



ILMU-ILMU TEKNIK KEBENCANAAN 2019

ILMU-ILMU TEKNIK
KEBENCANAAN 2019



UNIVERSITAS LAMPUNG
Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Gedong Meneng
Rajabasa, Bandar Lampung 35145
Indonesia
www.unila.ac.id

ISBN 978-602-73260-3-3



ILMU-ILMU TEKNIK: Kebencanaan 2019

Editor

Shirley Savetlana
Irza Sukmana
Meizano Ardhi Muhammad
Afri Yudamson

Penerbit

UPT Perpustakaan Universitas Lampung

ILMU-ILMU TEKNIK: KEBENCANAAN 2019

ISBN

978-602-73260-3-3

EDITOR

Shirley Savetlana

Irza Sukmana

Meizano Ardhi Muhammad

Afri Yudamson

SAMPUL DAN TATA LETAK

Tim SIMTEK 2019

PENERBIT

UPT Perpustakaan Universitas Lampung

ALAMAT

Gedung Perpustakaan Universitas Lampung

Jl. Soemantri Brojonegoro no. 1 Gedongmeneng

Rajabasa, Bandar Lampung, Indonesia

35145

email: library@kpa.unila.ac.id

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Edisi Pertama; Cetakan Pertama ~ 2020

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan Karunia Allah SWT sehingga penyusunan buku ini dapat selesai. Buku ILMU-ILMU TEKNIK: Kebencanaan 2019 memuat tulisan karya ilmiah dari Simposium Nasional Ilmu-ilmu Teknik (SIMTEK) 2019.

Seperti pembaca ketahui Indonesia akhir-akhir ini sering dilanda bencana. Untuk itu para akademisi dan praktisi yang melakukan penelitian dalam bidang kebencanaan menyumbangkan hasil penelitian dalam bentuk tulisan ini. Diharapkan buku ini menjadi salah satu buku referensi bagi stake holder dalam hal mitigasi bencana. Buku ini memuat tulisan karya ilmiah bidang mitigasi bencana dari berbagai disiplin ilmu teknik. Artikel-artikel antara lain dari Teknik Sipil, Teknik Geofisika, Teknik Arsitektur, Teknik Kimia, Teknik Mesin, Teknik Elektro, Teknik Lingkungan, Teknik Logistik, Teknik industri, Teknik Pertanian, dan Matematika. Semua bidang ilmu tersebut berkontribusi dalam bentuk tulisan ilmiah dari hasil penelitian para penulis di masing-masing bidang sehubungan dengan mitigasi bencana. Buku ini terdiri enam bagian yang terbagi dalam Bidang 1: Teknik Sipil, Planologi, dan Arsitektur, Bidang 2: Teknik Geologi, Geofisika, dan Geodesi, Bidang 3: Teknik Mesin dan Teknik Industri, Bidang 4: Teknik Elektro, Teknologi Informasi, dan Komputer, Bidang 5: Teknik Kimia dan Ilmu Lingkungan, dan Bidang 6: Sains Terapan dan Multidisiplin.

Akhir kata, kami berterima kasih kepada para penulis dan *reviewer* yang telah berkontribusi sehingga buku yang berisi hasil penelitian dalam bidang ilmu teknik dengan topik mitigasi bencana ini dapat terwujud. Kami berharap para pembaca menikmati buku ini dan buku ini dapat bermanfaat dalam hal mitigasi bencana di Indonesia.

Editor,
Shirley Savetlana
Irza Sukmana
Meizano Ardhi Muhammad
Afri Yudamson

DAFTAR ISI

EDITOR	II
KATA PENGANTAR	III
DAFTAR ISI.....	IV
BIDANG 1: TEKNIK SIPIL, PLANOLOGI, DAN ARSITEKTUR	1
Chapter 1: PROTOTIPE SISTEM MONITORING AIR LIMBAH INDUSTRI RAYON	3
Chapter 2: MITIGASI STRUKTURAL BENCANA PADA INFRASTRUKTUR SISTEM TRANSPORTASI	11
Chapter 3: PENGELOLAAN SUMBERDAYA AIR TERPADU BERBASIS GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) DI KABUPATEN MUSI RAWAS UTARA	21
Chapter 4: MODELING OF COLD LAVA FLOW SPATIAL ANALYSIS FOR MITIGATION OF VOLCANO DISASTER MERAPI	29
Chapter 5: ANALISIS KERENTANAN KAWASAN PERMUKIMAN TERHADAP BENCANA BANJIR (STUDI KASUS: KOTA PALEMBANG).....	45
Chapter 6: FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KEPUTUSAN MASYARAKAT TETAP BERMUKIM DI KAWASAN RAWAN BENCANA BANJIR (STUDI KASUS: KALIBALAU KENCANA, KOTA BANDAR LAMPUNG)	52
Chapter 7: BATA SEGITIGA KEDAP AIR SEBAGAI ALTERNATIF MATERIAL KONSTRUKSI	67
Chapter 8: POLA PERMUKIMAN KAWASAN PESISIR BERKETAHANAN BENCANA STUDI KASUS TELUK BETUNG TIMUR, KOTA BANDAR LAMPUNG	76
Chapter 9: INVESTIGASI DAN EVALUASI GETARAN PADA PELAT BETON BERTULANG	86
Chapter 10: KEARIFAN LOKAL DALAM KONSTRUKSI TAHAN GEMPA BANGUNAN TRADISIONAL DI LIWA LAMPUNG BARAT	96
BIDANG 2: TEKNIK GEOLOGI, GEOFISIKA, DAN GEODESI.....	107
Chapter 11: POTENTIAL RISK MAPPING OF EARTHQUAKE DISASTER BASED ON SEISMIC VULNERABILITY INDEX IN PRAMBANAN AREA OF SLEMAN – KLATEN	109
Chapter 12: ANALISIS HIPOSENTER GEMPA BUMI LOMBOK (NTB) MENGGUNAKAN METODE GRID SEARCH DAN GEIGER	118

Chapter 13: INVESTIGASI ZONA POTENSI BENCANA AMBLESAN BERBASIS DATA GEOLISTRIK SCHLUMBERGER DAN WENNER DI PONJONG, GUNUNG KIDUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA	127
Chapter 14: IDENTIFICATION OF SLIP SURFACE USING 2D RESISTIVITY METHOD, CASE STUDY IN PIDADA, BANDAR LAMPUNG.....	138
Chapter 15: ASPECT AND CRITERIA OF GEOLOGICAL CONDITIONS FOR GROUNDWATER QUANTITY CONTROL	148
Chapter 16: APLIKASI CITRA SAR UNTUK PEMETAAN DEFORMASI AKIBAT GEMPA BUMI DENGAN METODE DINSAR.....	159
Chapter 17: IDENTIFIKASI DIMENSI FRAKTAL <i>EVENT</i> GEMPA BUMI MENGGUNAKAN METODE <i>B-VALUE</i> PADA DAERAH AMBON DAN SEKITARNYA	171
BIDANG 3: TEKNIK MESIN DAN TEKNIK INDUSTRI	181
Chapter 18: PENGARUH TEMPERING TERHADAP KEKERASAN BAJA AISI 1045 YANG DI <i>QUENCHING</i> DI MEDIA PENDINGIN TERSIRKULASI	183
Chapter 19: PENGARUH PARAMETER PEMESINAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN Ti 6AL-4V ELI PADA PEMESINAN <i>MICRO-MILLING</i>	204
Chapter 20: PENGARUH STRUKTUR KARBON TERHADAP KAPASITANSI KAPASITOR BERBAHAN KARBON AKTIF UNTUK APLIKASI SEBAGAI KOMPONEN SENSOR	215
Chapter 21: PENGARUH SEBARAN <i>TITANIUM PIECES SPACE HOLDER</i> (TPSH) TERHADAP KUALITAS MAGNESIUM BERPORI UNTUK APLIKASI <i>SCAFFOLD</i> TULANG MAMPU TERDEGRADASI	221
Chapter 22: PENGARUH VARIASI SUHU SINTERING TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PRODUK MAGNESIUM BERPORI UNTUK APLIKASI IMPLAN TULANG	232
Chapter 23: PENGELOLAAN AIR BALAS KAPAL DI PERAIRAN PT. PELINDO I SESUAI REGULASI IMO MEPC 56/23 ANNEX 2 BERBASIS MITIGASI RISIKO LINGKUNGAN.....	242

BIDANG 4: TEKNIK ELEKTRO, TEKNOLOGI INFORMASI, DAN KOMPUTER	251
Chapter 24: <i>VIRTUAL REALITY TOUR</i> GUNUNG ANAK KRAKATAU ...	253
BIDANG 5: TEKNIK KIMIA DAN ILMU LINGKUNGAN	267
Chapter 25: KINETIKA REAKSI ETHERIFIKASI GLISEROL DAN TERT-BUTIL ALKOHOL MENJADI GLISEROL TERT-BUTIL ETER (GTBE)	269
Chapter 26: ETERIFIKASI GLISEROL DAN TERT-BUTIL ALKOHOL DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS PADAT MENJADI GLISEROL TERT-BUTIL ETER (GTBE) (TINJAUAN PENGARUH WAKTU REAKSI DAN JUMLAH KATALIS TERHADAP KONVERSI GTBE YANG DIHASILKAN)	278
BIDANG 6: SAINS TERAPAN DAN MULTIDISIPLIN.....	289
Chapter 27: ANALISIS PENEMPATAN GUDANG BANTUAN TANGGAP DARURAT BENCANA ALAM KABUPATEN PANGANDARAN MENGGUNAKAN <i>SET COVERING PROBLEM</i> DAN ANP..	291
Chapter 28: OPTIMASI PENDIRIAN FASILITAS PENGUMPULAN DONASI BENCANA MENGGUNAKAN <i>MAXIMUM COVERING PROBLEM</i> DAN <i>P-CENTER</i>	301
Chapter 29: KORESPONDENSI LINTASAN MATAHARI DAN BULAN SEBAGAI DASAR UNTUK MEMBANGUN MODEL DAN DATABASE EKSTREM KALENDERISASI BULAN PURNAMA DAN BULAN MATI.....	309
Chapter 30: PEMETAAN ESTIMASI DAERAH RAWAN TSUNAMI DAN WILAYAH LAYANAN EVAKUASI BERDASARKAN SKENARIO WAKTU KEPUTUSAN EVAKUASI DI WILAYAH PESISIR KOTA BANDAR LAMPUNG	316

**BIDANG 1:
TEKNIK SIPIL, PLANOLOGI, DAN ARSITEKTUR**

Halaman Kosong

PROTOTYPE SISTEM MONITORING AIR LIMBAH INDUSTRI RAYON

Latif Mawardi^{1,*}, Megajaya Pertiwi¹

¹Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof.DR. G.A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425

*Email: latif.mawardi@elektro.pnj.ac.id

Abstract: *The purpose of this research is to be able to monitor the condition of an industrial waste periodically. Industries where the waste is a cause of pollution are generally located on the banks of the river so it is difficult to reach, therefore this research intends to make prototypes of tools for this purpose. This research was carried out with literature learning methods, carrying out design and realization of tools, testing tools and measuring data and implementing equipment at the location where the monitoring of waste conditions was carried out. Waste sampling to determine the disposal population can be adjusted as needed for example every hour, every two hours etc. The parameters of the measured waste are pH, temperature and dissolved solids. The results of this study are prototypes of waste monitoring tools.*

Keywords: *liquid waste, pH, temperature, dissolved solids*

Abstrak: Tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat memonitor kondisi limbah sebuah industri secara periodik. Industri dimana limbahnya merupakan penyebab pencemaran pada umumnya berada di pinggiran sungai sehingga susah dijangkau. Oleh karena itu, penelitian ini bermaksud membuat prototipe alat untuk keperluan tersebut. Penelitian ini dilaksanakan dengan metoda pembelajaran literature, melakukan perancangan dan realisasi alat, pengujian alat dan pengukuran data serta implementasi peralatan di lokasi tempat dilakukannya monitoring kondisi limbah. Pengambilan sampel limbah untuk mengetahui populasi pembuangannya dapat diatur sesuai kebutuhan misalnya setiap jam, setiap dua jam dsb. Parameter dari limbah yang diukur adalah pH, suhu dan padatan terlarut. Hasil dari penelitian ini berupa prototype alat monitoring limbah.

Kata kunci: limbah cair, pH, suhu, padatan terlarut

I. PENDAHULUAN

Industri rayon merupakan salah satu industri tekstil yang menyumbang pendapatan negara cukup tinggi disetiap tahunnya. Rayon sendiri merupakan bahan tekstil selulosa jenis *cellulosic filament* (CF) yang diperoleh dari ekstraksi serat bubur kayu larut. Selain memberikan pendapatan pada negara, industri rayon memberikan dampak serius bagi lingkungan sekitar contohnya pada sungai, karena menghasilkan air limbah dalam proses produksinya. Air limbah yang dihasilkan akan dikeluarkan dengan syarat memenuhi baku mutu yang telah diatur oleh pemerintah.

Menurut peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia nomor P.93 tahun 2018 tentang pemantauan kualitas air limbah secara terus menerus dan dalam jaringan bagi usaha dan/atau kegiatan, maka dalam suatu industri yang memiliki air limbah diwajibkan mempunyai Instalasi Pengolahan Air Limbah pada *outlet Waste Water Treatment Plant*. Monitoring bertujuan untuk mengawasi keadaan air limbah

sesuai dengan keadaan yang memenuhi baku mutu sebelum air limbah dikeluarkan.

Standar baku mutu untuk air limbah rayon yaitu memiliki kadar pH 6 sampai 9 dan kadar total padatan terlarut maksimal 50 mg/L. Arduino Mega dapat dioperasikan sebagai pengontrol (Diana,2017,p120), membaca data sensor suhu dan kelembaban (Hadisuryo,2015,p651), data dari sensor diintegrasikan serta ditampilkan secara *real time* dengan mempergunakan data logger (Sanjaya, 2017,p114)

II. MATERIAL DAN METODE

Pembuatan prototipe alat pemantau mempergunakan sensor suhu DS18B20, sensor pH SEN0161 dan sensor turbidity SEN0189. Output dari ketiga sensor merupakan input dari Arduino Mega. Integrasi data dan pengukuran secara real time dilakukan oleh data logger dan untuk menampilkan hasilnya digunakan display LCD sebagai HMI.

2.1 Alat dan Bahan

2.1.1 Arduino Mega 2560

Arduino Mega adalah mikrokontroler berbasis ATmega2560. Memiliki 54 pin *input / output* digital, 14 pin diantaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM, 16 *input* analog, 4 UART sebagai *port* serial pada perangkat keras, osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, *power jack*, *header* ICSP, dan tombol *reset*. Fitur - fitur tersebut dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler. Penggunaan Arduino Mega 2560 cukup dihubungkan ke komputer dengan kabel USB atau dengan menghubungkan dengan adaptor AC ke DC atau baterai untuk memulai (Arifin,2016: p89-98).

2.1.2 Sensor suhu DS18B20

Sensor suhu yang digunakan pada rangkaian merupakan sensor termo digital yang sederhana. Sensor ini menggunakan komunikasi antarmuka *one-wire* dengan mikrokontroler sebagai *master* dan yang lainnya sebagai *slave*. Komunikasi *one-wire* dirancang untuk mengirimkan data yang berupa data sinyal dan daya dalam satu jalur (Utomo & Firdaus, 2013). Sensor ini mampu membaca suhu dengan ketelitian 9 hingga 12- bit, rentang -55°C hingga 125°C dengan ketelitian (+/-0.5°C). Sensor DS18B20 bisa mendapatkan daya dari 2 cara yaitu suplai dari luar dan suplai secara parasit. Untuk suplai dari luar maka *power supply* harus dihubungkan dengan pin Vdd, sedangkan jika menggunakan suplai secara parasit maka pin daya untuk DS18B20 tidak membutuhkan suplai dari luar (Astria, Subito, & Nugraha, 2014).

2.1.3 Sensor pH

Sensor pH SEN0161 merupakan instrumen ilmiah yang mengukur aktivitas ion hidrogen dalam larutan air, yang menunjukkan sifat asam atau basa dan dinyatakan dengan satuan pH. Sensor pH mengukur perbedaan potensial listrik antara elektroda pH dengan elektroda referensi (Gowtham, 2019,p3525).

2.1.4 Sensor Turbidity

Sensor Turbidity SEN0189 merupakan sensor yang berfungsi mengukur kualitas air dengan mendeteksi tingkat kekeruhannya. Sensor ini mendeteksi partikel tersuspensi dalam air lalu jika banyak partikel dalam air tersebut maka jumlah cahaya yang ditransmisikan juga berkurang dari sanalah dapat diukur tingkat kekeruhannya. Di dalam sensor *turbidity* berisi rangkaian probe yang meliputi *photo emitting diode* dan phototransistor yang menerima cahaya. Rangka luarnya dibuat tahan air tetapi pada bagian atasnya tidak kedap air (Faisal , 2016,p11).

2.1.5 Data logger

Data logger merupakan perangkat elektronika yang difungsikan untuk proses pencatatan data dalam rentang waktu yang terintegrasi dengan sensor atau instrumen lainnya. Sebuah *data logger* beroperasi menggunakan daya dari baterai dan dapat menyimpan data selama satu periode tertentu dalam suatu perangkat penyimpanan. *Data logger* memiliki kemampuan untuk pencatatan data secara mandiri dengan periode 24 jam (Diego, 2016, p126). Proses pengumpulan data yang dilakukan oleh *data logger* dikenal dengan istilah *logging data*. *Logging data* merupakan proses pencatatan data sensor atau instrumen lainnya dengan tujuan pengarsipan atau tujuan analisis.

Data logger dilengkapi dengan *Real Time Clock* atau RTC didalamnya sehingga dapat menampilkan waktu dan tanggal untuk memastikan bahwa setiap data yang dicatat sesuai. *Data logger* dilengkapi juga dengan memori eksternal yang digunakan untuk menyimpan data yang diperoleh dari proses pencatatan data.

2.2 Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan metode:

2.2.1 Studi Literatur

Mempelajari literatur yang berkaitan dengan regulasi limbah industri, pemahaman masalah sensor yang sesuai dengan kebutuhan pembuatan alat, pemrosesan data serta tampilan dari hasil pengukuran.

2.2.2 Perencanaan

Perencanaan meliputi perangkat keras yaitu rangkaian dari mikrokontroler beserta dengan sensor-sensornya dan perangkat lunak. Pembuatan software dengan Arduino IDE pada bagian sensor dan *data logger*, dan untuk bagian display dengan software bawaan modulnya.

2.2.3 Realisasi

Realisasi merupakan pembuatan alat pemonitor limbah sesuai dengan perencanaan dari tahap sebelumnya, pada tahap realisasi pekerjaan yang dilaksanakan adalah merangkai input sensor ke mikrokontroler, menghubungkan mikro kontroler ke data logger serta ke tampilan. Setelah semua selesai dirangkai dilanjutkan dengan pembuatan softwarena.

2.2.4 Uji coba

Tahap uji coba merupakan evaluasi apakah alat dapat bekerja sesuai dengan perencanaan, baik secara hardware maupun softwarena. Apabila ketidak sesuaian dengan perencanaan maka dilakukan penyempurnaan. Jika alat dapat beroperasi sesuai dengan perencanaan maka dilanjutkan ke tahapan berikutnya.

2.2.5 Implementasi

Tahap implementasi merupakan penerapan alat ke lapangan dimana alat akan ditempatkan seterusnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini berupa prototipe alat pemonitor limbah rayon seperti gambar berikut:



Gambar 1. Pemonitor Limbah Rayon.

3.1 Pengukuran pH

Hasil pengukuran pH limbah rayon, hasilnya dapat ditampilkan pada table 1 berikut.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Pendeteksian Sensor pH dengan pH Meter

No.	Sampel Uji	Pembacaan Sensor	Pembacaan pH meter
1.	Larutan pH 4.01	4,04	3,98
		3,96	4,00
		4,02	4,00
		3,97	4,01
		4,02	4,02
		3,98	4,01
		3,99	4,01
		3,97	4,01
		3,97	3,99
		4,02	4,00
2.	Larutan pH6.86	6,8	6,85
		6,79	6,86
		6,65	6,87
		6,74	6,87
		6,78	6,87
		6,63	6,86
		6,71	6,86
		6,73	6,86
		6,77	6,87
		6,65	6,87
3.	Larutan pH 9.18	9,14	9,18
		9,14	9,19
		9,14	9,20
		9,14	9,19
		9,14	9,19
		9,14	9,19
		9,15	9,18
		9,15	9,18
		9,14	9,17
		9,15	9,18

Penyesuaian pembacaan sensor dalam penggunaan sensor pH diperlukan karena nilai sensor yang terbaca sebelum dikalibrasi belum sesuai dengan nilai pH sebenarnya. Kalibrasi dilakukan dengan tujuan untuk memberikan nilai yang mendekati pH sebenarnya. Maka dari itu sensor akan dikalibrasi menggunakan pH buffer yang telah memenuhi standar dengan nilai pH 4, 6.86 dan 9.18.

3.2 Pengukuran Turbidity

Pengujian untuk sensor *turbidity* diperlukan untuk menentukan nilai yang stabil dalam menentukan batas terendah dan batas tertinggi suatu kekeruhan pada air. Dalam hal ini digunakan air mineral yang jernih sebagai batas terendah suatu kekeruhan dengan nilai 0 NTU dan air kopi pekat

dengan nilai tertinggi 100 NTU. Setelah diukur maka akan dicari persamaan linier lalu akan dimasukkan kedalam program arduino. Hasil pengukuran turbidity dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 2. Hasil Pendeteksian Turbidity

No.	Sampel Uji	Hasil Pembacaan Sensor	Tegangan
1.	Air Jernih	0 NTU	4,27
2.	Air Kopi Pekat	100 NTU	1,40

Cara menentukan nilai total padatan yang terlarut pada air dilakukan dengan penyaringan air limbah dibandingkan dengan tegangan pada sensor turbidity setelah penyaringan. Saringan berukuran 1,2u digunakan untuk menyaring air sebanyak 1 liter, kemudian kertas saring dikeringkan selama 2 jam. Kertas ditimbang untuk mencari kadar total padatan terlarut.

$$\text{Kadar TSS (mg/L)} = ((C-A_2) \times 10^{60}) / \text{mL contoh uji}$$

Sebagai pembanding, Tabel 3, merupakan hasil data dari penyaringan.

Tabel 3. Hasil Penyaringan Air Limbah (Metode Penyaringan)

No	Volume Air(ml)	Tegangan Sensor Turbidity	Kertas Saringan		TSS Dihitung mg/l
			Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	
1.	100	2,67	0.08	0.11	30
2.	100	2.66	0,08	0.11	30
3.	100	2.69	0,08	0.1	20
4.	100	2.67	0,08	0.11	30
5.	100	2.65	0,08	0.11	30
6.	100	2.68	0,08	0.1	20
7.	100	2.69	0,08	0.1	20
8.	100	2.68	0,08	0.1	20
9.	100	2.69	0,08	0.1	20
10.	100	2.66	0,08	0.11	30
11.	100	2.66	0,08	0.1	20
12.	100	2.68	0,08	0.1	20
13.	100	2.65	0,08	0.11	30
14.	100	2.65	0,08	0.11	30
15.	100	2.67	0,08	0.11	30

Tabel 4. Perbandingan Hasil Pembacaan Termometer Dengan Suhu DS18B20

No.	Sampel Uji	Pembacaan Sensor	Pembacaan Termometer
1	Air Es	1,44	2
		1,44	2
		1,44	2
		1,44	2
		1.38	2
2	Air Biasa	28.63	30
		28.63	30
		28.63	30
		28.63	30
		26.63	30
3	Air Hangat	62.81	62.5
		62.81	62.5
		62.88	62.5
		62.88	62.5
		62.94	62.5

IV. KESIMPULAN

Dengan mengoptimalkan komponen, alat dan bahan yang ada di pasaran dapat dibuat prototipe pemonitor limbah rayon. Arduino Mega 2560 sebagai kontroler menerima input dari sensor suhu, sensor pH dan sensor *turbidity*. Sesuai dengan tujuan dari penelitian ini untuk membuat sebuah prototipe pemonitor limbah rayon sudah terpenuhi. Namun dari hasil pembacaan sensor sensor dibandingkan dengan alat ukur pembanding terdapat perbedaan hasil pengukuran. Untuk memperkecil perbedaan disarankan mempergunakan sensor dengan ketelitian yang setara terhadap alat ukur pembanding.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Diana,D., Amperawan, Rasyid,J. (2017). Implementasi Sensor Kompas HMC5883L Terhadap Gerak Robot Micromouse dengan Menggunakan Algoritma PID. *Jurnal Teknik Elektro*,6: 120-124.
- [2] Harisuryo, R., Sumardi, Setiyono,Budi.,. (2015). Sistem Pengukuran Data Suhu, Kelembaban, dan Tekanan Udara Dengan Telemetry Berbasis Frekuensi Radio. *Transient*,4:651-659.
- [3] Sanjaya,I,G,M., Partha,Cok,G,I. , Krisne,D,C. (2017). Rancang Bangun Sistem Data Logger Berbasis Visual Pada Solar Cell. *Teknologi Elektro*,16:114-121
- [4] Arifin,J.,Zulita,N,N., Hermansyah. (2016). Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560. *Jurnal Media Infotama* 12: 89-98.

- [5] Astria, F., Subito, M., & Nugraha, D. W. (2014). Rancang Bangun Alat Ukur Ph Dan Suhu Berbasis Short Message Service (Sms) Gateway. *Jurnal Mektrik*, 47-55.
- [6] Gowtham, Hariharan, Hariprakash, & Rajasekaran. (2019). *Condition and Monitoring of Drinking Water In Water Purifier Using Iot*. *International Research Journal of Engineering and Technology (Irjet)*, 3524-3530.
- [7] Faisal, M., Harmadi, & Puryanti, D. (2016). Perancangan Sistem Monitoring Tingkat Kekeruhan Air Secara Realtime Menggunakan Sensor Tsd-10. *Jurnal Ilmu Fisika*: 9-16.
- [8] Diego,Sujono. (2016). Perancangan Sistem Data Logger Beban Arus Listrik Berbasis Mikrokontroler. Prosiding Seminar Nasional Multidisiplin Ilmu, 126-134. Universitas Budi Luhur, Jakarta.

MITIGASI STRUKTURAL BENCANA PADA INFRASTRUKTUR SISTEM TRANSPORTASI

Imam Basuki^{1,*}

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari 44, Yogyakarta 55281

*Email: imbas2004@gmail.com

Abstrak: Banyak kejadian bencana mengakibatkan adanya sekelompok masyarakat korban menjadi terisolir. Upaya tanggap darurat menjadi terkendala karena tidak adanya prasarana infrastruktur yang bisa secara langsung mencapainya. Mitigasi struktural bencana merupakan upaya preventif untuk mengurangi risiko bencana melalui pembangunan fisik sebelum terjadi bencana. Apabila terjadi bencana maka kegiatan penanganan pascabencana menjadi tahapan penting terutama terkait kehidupan manusia sebagai korban. Dalam kajian ini dilakukan identifikasi kegiatan penanganan pascabencana pada tahapan tanggap darurat sampai dengan tahap pemulihan. Dari hasil identifikasi dilakukan telaah balik terkait dengan prasarana infrastruktur sistem transportasi. Hasil yang diperoleh dari kajian ini yang utama adalah memetakan daerah rawan bencana menurut jenis dan macam bencana. Langkah kedua adalah memilih prioritas jalur evakuasi dari berbagai alternatif yang ada dengan menggunakan analisa multi kriteria. Pada jalur evakuasi terpilih dilakukan pengecekan lapangan untuk merinci kondisi dan kendala yang ada, sehingga bisa direncanakan upaya perbaikannya. Pada upaya perbaikan prasarana infrastruktur sistem transportasi juga dilakukan perhitungan tahapan skala prioritas pencapaiannya. Hasil akhir dari kajian adalah diperolehnya roadmap tahapan mitigasi struktural pada infrastruktur sistem transportasi dan peta status infrastruktur.

Kata kunci: mitigasi struktural, sistem transportasi, jalur evakuasi, analisa multi kriteria, peta status

I. PENDAHULUAN

Dalam banyak kejadian bencana mengakibatkan adanya sekelompok masyarakat korban menjadi terisolir. Upaya tanggap darurat menjadi terkendala karena tidak adanya prasarana infrastruktur yang bisa secara langsung mencapainya. Peristiwa gempa bumi di Sulawesi Tengah 28 September 2018, sampai dengan minggu kedua Oktober 2018, daerah Marawola Sigi masih terisolir dikarenakan infrastruktur jalan terputus. Bencana gempa bumi di Bantul 27 Mei 2006, beberapa desa terisolir dikarenakan akses jalan tertutup reruntuhan. Melihat beberapa contoh diatas masyarakat korban harus melakukan upaya sendiri dalam upaya menolong diri sendiri.

Menurut Undang-undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana, tanggap darurat bencana adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan dengan segera pada saat kejadian bencana untuk menangani dampak buruk yang ditimbulkan, yang meliputi kegiatan penyelamatan dan evakuasi korban, harta benda, pemenuhan kebutuhan dasar, perlindungan, pengurusan pengungsi, penyelamatan,

serta pemulihan prasarana dan sarana. Dengan melihat definisi tanggap darurat ini merupakan tahapan penting awal yang harus dilakukan untuk meminimalisir jatuhnya korban lebih lanjut yang diakibatkan terlambatnya penanganan awal pasca bencana.

Dengan permasalahan tersebut diatas maka perlu dilakukan persiapan atau upaya untuk mengantisipasi kejadian bencana sehingga masyarakat korban dapat sejak awal tertangani, Bencana memang adalah suatu peristiwa yang tidak terduga, namun dengan berkembangnya ilmu pengetahuan maka dapat dilakukan upaya dini dalam penanganannya sehingga dapat dilakukan perencanaan terutama dalam hal infrastruktur. Infrastruktur bisa berarti dalam hal bangunan fisik maupun peraturan perundangan penanganan kejadian.

Dalam pasal 13 Undang-undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana, lembaga Badan Nasional Penanggulangan Bencana mempunyai fungsi meliputi:

- a. perumusan dan penetapan kebijakan penanggulangan bencana dan penanganan pengungsi dengan bertindak cepat dan tepat serta efektif dan efisien; dan
- b. pengoordinasian pelaksanaan kegiatan penanggulangan bencana secara terencana, terpadu, dan menyeluruh.

Kegiatan penanggulangan bencana meliputi kegiatan prabencana, saat tanggap darurat dan pascabencana.

Dalam kajian ini hanya akan melihat kegiatan Penyelenggaraan penanggulangan bencana pada tahapan prabencana yang meliputi dalam situasi tidak terjadi bencana dan dalam situasu terdapat potensi terjadinya bencana. Kegiatan penanggulangan bencana dalam situasi terdapat potensi terjadi bencana meliputi kesiapsiagaan, peringatan dini dan mitigasi.

Mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. Mitigasi dilakukan untuk mengurangi risiko bencana bagi masyarakat yang berada pada kawasan rawan bencana. Kegiatan mitigasi dilakukan melalui:

- a. pelaksanaan penataan ruang;
- b. pengaturan pembangunan, pembangunan infrastruktur, tata bangunan; dan
- c. penyelenggaraan pendidikan, penyuluhan, dan pelatihan baik secara konvensional maupun modern.

Tujuan penulisan ini adalah untuk melakukan identifikasi langkah-langkah kongkrit dalam mempersiapkan upaya preventif sebelum terjadi

bencana. Sehingga apabila terjadi bencana dapat diminimalisir kondisi dimana korban terisolasi dan tidak bisa segera tertangani akibat kerusakan jaringan infrastruktur sistem transportasi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi dan Jenis Bencana

Definisi Bencana menurut Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana menyebutkan bahwa bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.

Definisi tersebut menyebutkan bahwa bencana disebabkan oleh faktor alam, non alam, dan manusia. Oleh karena itu, Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tersebut juga mendefinisikan mengenai bencana alam, bencana nonalam, dan bencana sosial.

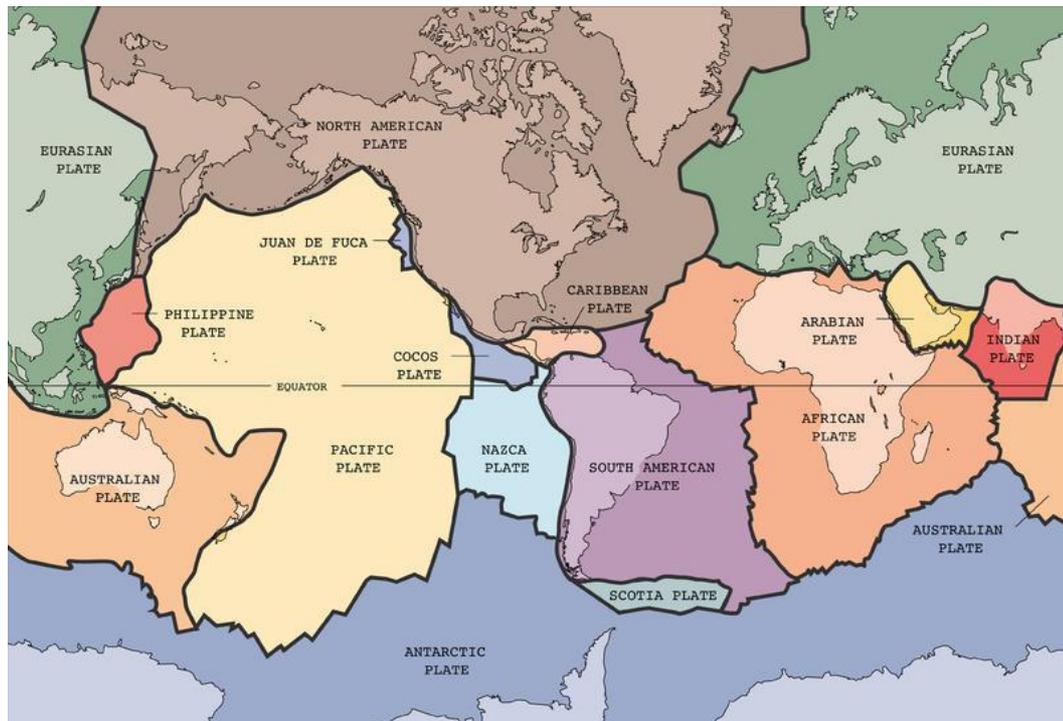
Bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor.

Bencana nonalam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau rangkaian peristiwa nonalam yang antara lain berupa gagal teknologi, gagal modernisasi, epidemi, dan wabah penyakit.

Bencana sosial adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang diakibatkan oleh manusia yang meliputi konflik sosial antarkelompok atau antarkomunitas masyarakat, dan teror.

2.2 Posisi Indonesia

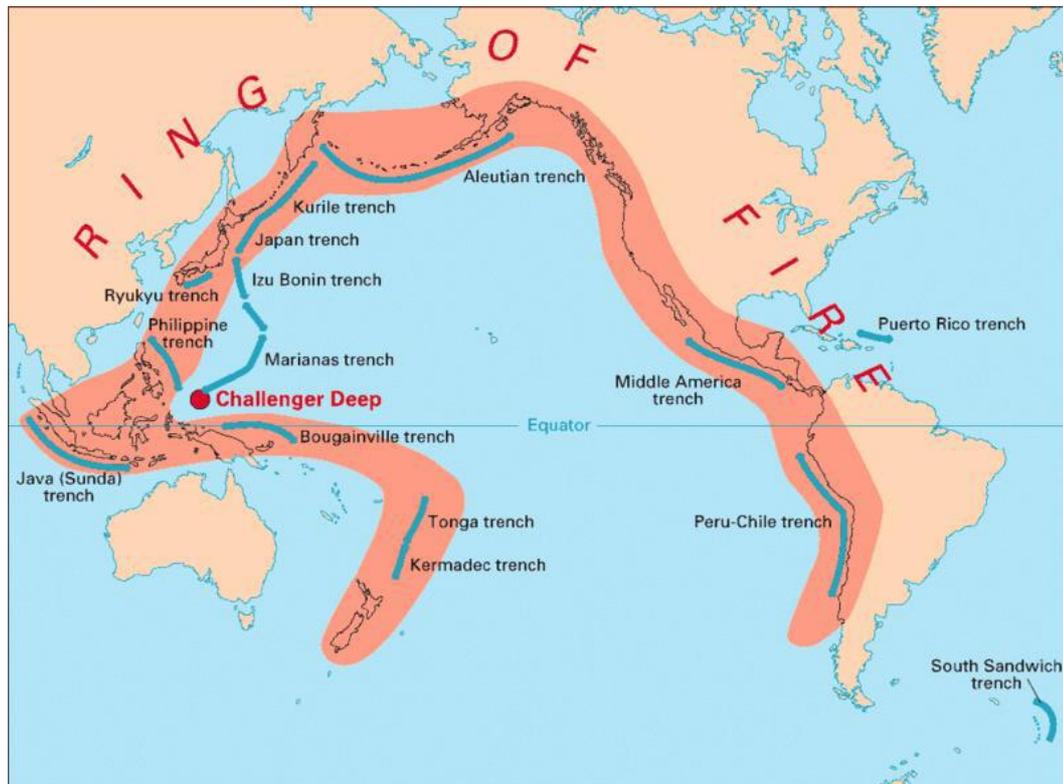
Menurut Dirjen Bina Marga, 2012 Bila ditinjau dari kondisi geologis dan geografis maka Indonesia termasuk dalam daerah/zona Rawan Bencana Alam. Terletak di daerah tropis, di antara dua samudera, di antara dua benua, dan Kondisi fisik yang berupa pulau-pulau baik besar maupun kecil dengan kondisi geomorfologi yang bervariasi dari lahan basah di dekat pantai sampai pegunungan berlereng terjal. Indonesia terletak pada pertemuan 3 lempeng tektonik dunia (Eurasia, Australia dan Pasifik) dan memiliki sesar lokal yang aktif, sehingga mengakibatkan seluruh wilayah Indonesia kecuali sebagian besar Kalimantan termasuk dalam zona rawan gempa tektonik (Gambar 1)



Gambar 1. Letak Indonesia pada pertemuan 3 lempeng tektonik dunia

Zona pertemuan antara lempeng Indo Australia dengan lempeng Eurasia di lepas pantai barat Sumatera, selatan Jawa dan Nusatenggara, sedangkan dengan lempeng Pasifik di bagian utara pulau Papua dan Halmahera. Zona ini umumnya juga ditandai dengan keberadaan palung yang cukup dalam (BNPB, 2016).

Aktivitas tektonik yang terjadi menyebabkan terbentuknya deretan gunungapi (*volcanic arc*) di sepanjang pulau Sumatera, Jawa-Bali-Nusa Tenggara, utara Sulawesi-Maluku, hingga Papua. Deret gunungapi di Indonesia merupakan bagian dari deret gunungapi sepanjang Asia-Pasifik yang sering di sebut sebagai *Ring of Fire* atau deret sirkum pasifik. Zona atau wilayah yang berada diantara pertemuan lempeng dan deret gunung api sering di sebut sebagai zona aktif atau dikenal dengan istilah busur depan (*fore arc*), diwilayah ini umumnya banyak terdapat patahan aktif dan sering terjadi gempa bumi, misalnya wilayah bagian barat dari bukit barisan, pesisir selatan Jawa, dan pesisir pantai utara Papua. Sedangkan zona atau wilayah yang berada disisi setelah deret gunungapi yang bisa dikenal sebagai busur belakang (*back arc*) cenderung lebih jarang dijumpai patahan aktif dan biasanya banyak dijumpai endapan alluvial dan rawa, seperti wilayah pesisir timur Sumatera, pesisir Utara Jawa, dan pesisir selatan Papua (Gambar 2).



Gambar 2. Peta sebaran jalur gunungapi Asia-Pasifik (*ring of fire*)

2.1 Mitigasi Bencana

Dalam Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana, mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. Mitigasi bencana mencakup baik perencanaan dan Pelaksanaan tindakan-tindakan untuk mengurangi resiko dampak dari suatu bencana yang dilakukan sebelum bencana itu terjadi, termasuk kesiapan dan tindakan pengurangan resiko jangka panjang.

Bentuk upaya mitigasi bencana:

- a. Mitigasi Struktural, merupakan upaya untuk meminimalkan bencana yang dilakukan melalui pembangunan berbagai prasarana fisik dan menggunakan pendekatan teknologi, seperti pembuatan kanal khusus untuk pencegahan banjir, alat pendeteksi aktivitas gunung berapi, bangunan yang bersifat tahan gempa, ataupun *Early Warning System* yang digunakan untuk memprediksi terjadinya gelombang tsunami. Mitigasi struktural adalah upaya untuk mengurangi kerentanan (*vulnerability*) terhadap bencana dengan cara rekayasa teknis bangunan tahan bencana. Bangunan tahan bencana adalah bangunan dengan struktur yang direncanakan

sedemikian rupa sehingga bangunan tersebut mampu bertahan atau mengalami kerusakan yang tidak membahayakan apabila bencana yang bersangkutan terjadi. Rekayasa teknis adalah prosedur perancangan struktur bangunan yang telah memperhitungkan karakteristik aksi dari bencana (Zakky, 2018).

b. Mitigasi Non-Struktural

Mitigasi nonstruktural adalah upaya mengurangi dampak bencana selain dari upaya tersebut diatas. Bisa dalam lingkup upaya pembuatan kebijakan seperti pembuatan suatu peraturan. Undang-Undang Penanggulangan Bencana adalah upaya non-struktural di bidang kebijakan dari mitigasi ini.

Contoh lainnya adalah pembuatan tata ruang kota, *capacity building* masyarakat, bahkan sampai menghidupkan berbagai aktivitas lain yang berguna bagi penguatan kapasitas masyarakat, juga bagian dari mitigasi ini. Ini semua dilakukan untuk, oleh dan di masyarakat yang hidup di sekitar daerah rawan bencana (Zakky, 2018).

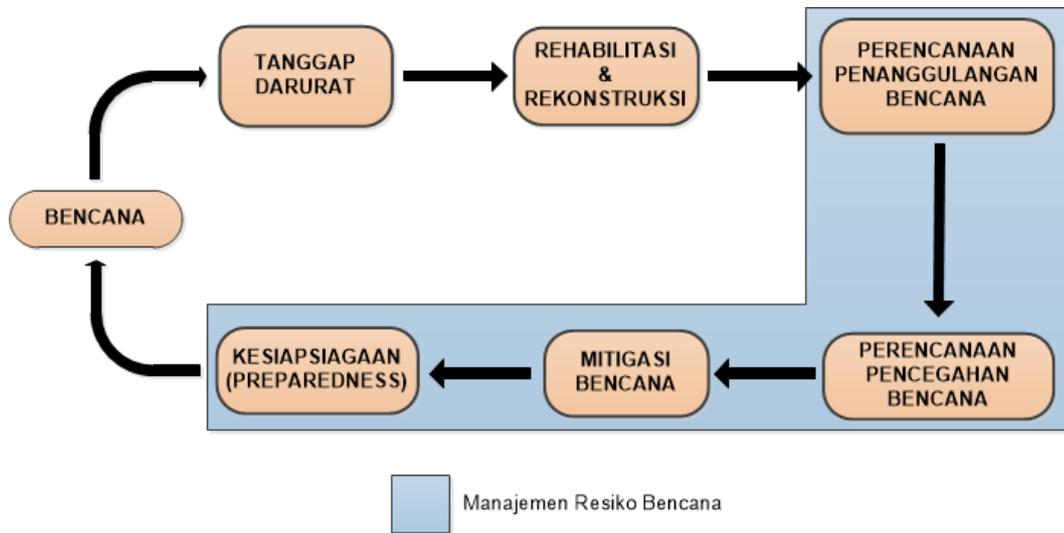
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tahapan Identifikasi Daerah Rawan Bencana

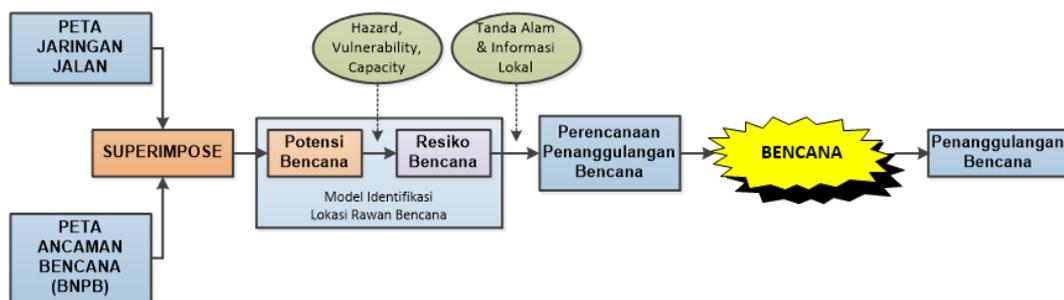
Siklus tahapan penanggulangan bencana merupakan merupakan rangkaian kegiatan secara beruntun yang menggambarkan kegiatan sebelum dan sesudah terjadi bencana, digambarkan dalam Gambar 3.

Manajemen Resiko Bencana terdiri atas segala bentuk aktivitas, termasuk mitigasi struktural dan non-struktural untuk menghindari (pencegahan) atau untuk membatasi (mitigasi dan kesiapsiagaan) dampak bencana.

Dalam upaya mitigasi struktural terlebih dahulu dilakukan analisis risiko bencana. Analisis resiko bencana ini bertujuan untuk mengidentifikasi wilayah atau daerah berdasarkan tingkat risikonya terhadap bencana. Untuk mitigasi struktural infrastruktur sistem transportasi adalah dengan menggabungkan peta jaringan jalan/transportasi dengan peta dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) terkait dengan peta resiko/potensi bencana yang ada. Berdasarkan gabungan (*superimpose*) dapat diidentifikasi lokasi jalan transportasi yang rawan/berpotensi terjadi bencana. Lokasi-lokasi tersebut ditinjau di lapangan dan dilakukan analisis secara teknis, evaluasi permasalahan dari lokasi tersebut untuk dapat dilakukan rekomendasi teknis penyelesaian permasalahan, pengendalian pelaksanaan serta penanggulangan daerah rawan bencana. Proses identifikasi tersebut mengikuti langkah seperti disampaikan dalam Gambar 4.



Gambar 3. Siklus Siklus tahapan penanggulangan bencana



Gambar 4. Langkah identifikasi mitigasi struktural daerah rawan bencana

Dalam proses identifikasi ini dilakukan dengan menggunakan berbagai peta potensi bencana baik itu bencana alam maupun non alam. Sebagai contoh hasil identifikasi tersebut disampaikan dalam Tabel 1.

Dari pemetaan lokasi rawan bencana dalam suatu wilayah tersebut dibuat dalam suatu list rekapitulasi hasil, untuk ditindak lanjuti dengan rekomendasi yang diperoleh. Sehingga apabila seluruh wilayah yang berpotensi terdampak akibat bencana dapat digambarkan, maka sejak awal dapat dilakukan mitigasi struktural untuk dapat diambil tindakan agar saat benar-benar terjadi bencana dapat diminimalisir potensi kerusakan sistem jaringan infrastruktur transportasi yang berpotensi menghambat proses tanggap darurat.

Tabel 1. Laporan hasil identifikasi

No	Keterangan Lokasi	Jenis Kerusakan	Faktor Penyebab	Mitigasi		
				Mitigasi Struktural Sementara	Mitigasi Struktural Permanen	Mitigasi Non Struktural
1	Nama Ruas: Batas Kabupaten Bantul - Gading Koordinat: X = 7°50'14" S Y = 110°28'57" E Lokasi: Km 14+700	Longsoran pada tebing Drainase tertutup material Sisa-sisa kenampakan runtuh tanah terlihat di beberapa titik di sekitar lokasi.	Kondisi tebing yang dipangkas memiliki kemiringan antara 35°-40°. Tidak adanya suling-suling air Vegetasi rumput dan tanaman liar pada lokasi dapat memperberat beban tanah	Pembersihan pada tebing dan saluran drainase	Penambahan dinding penahan tanah, turap Pembuatan retaining wall disisipi suling-suling air juga perlu dilakukan supaya tanah di bagian tebing tidak cepat jenuh air. Diperlukan pembuatan guard drill	Tersedianya dokumen NSPK terkait mitigasi bencana tanah longsor untuk jalan Pelatihan bagi penyusun rencana terkait mitigasi bencana pada umumnya, serta upaya mitigasi bencana yang dapat dilakukan pada jalan
Foto						
						
(a) Kondisi tebing di sisi kiri jalan;		(b) Kondisi dinding penahan tanah yang rusak;		(c) Kondisi jurang yang cukup curam		
2	Nama Ruas: Batas Kabupaten Bantul - Gading Koordinat: X = 7°51'52" S Y = 110°30'55" E Lokasi: Km 22+900	Longsoran pada tebing Tebing jalan pada sisi Timur sempit amblas Aspal di sisi Timur jalan mulai retak Tiang-tiang guard rail letaknya ada yang bergeser	Kondisi tanah yang kurang stabil lebih kurang 150 M Dinding penahan tanah merupakan tipe dinding batu kosong, sehingga dinding penahan tanah tidak dapat menahan beban dari tanah dan jalan	Dibuatkan drainase saluran air	Mengganti dinding penahan tanah batu kosong dengan dinding beton Dibuatkan suling air yang cukup Bagian bahu jalan juga perlu dilakukan pembetonan atau pengerasan.	Tersedianya dokumen NSPK terkait mitigasi bencana tanah longsor untuk jal Pelatihan bagi penyusun rencana terkait mitigasi bencana pada umumnya, serta upaya mitigasi bencana yang dapat dilakukan pada jalan
Foto						
						

3.2 Pemilihan Prioritas Mitigasi Struktural

Karena berbagai pertimbangan dalam pelaksanaan mitigasi struktural, maka dapat dilakukan pembangunan prioritas mitigasi struktural dengan menggunakan Analisis Multi Kriteria. Analisis multi kriteria dikembangkan dan digunakan dalam masalah pengambilan keputusan dan dimaksudkan untuk bisa mengakomodasi aspek-aspek di luar kriteria ekonomi dan finansial serta juga bisa mengikut sertakan berbagai pihak yang terkait dengan suatu proyek infrastruktur secara komprehensif dan *scientific* (kuantitatif maupun kualitatif).

Keuntungan penggunaan analisis multi kriteria tersebut antara lain:

- a. Proses pengambilan keputusan dilakukan secara terbuka bagi semua pihak berkepentingan,
- b. Variabel dan kriteria analisis yang digunakan dapat lebih luas, baik yang kuantitatif maupun yang kualitatif,
- c. Pemilihan variabel tujuan dan kriteria terbuka untuk dianalisis dan diubah jika dianggap tidak sesuai,
- d. Nilai dan bobot ditentukan secara terbuka sesuai dengan persepsi pihak terkait yang dilibatkan (*stakeholders*),
- e. Memberikan arti lebih terhadap proses komunikasi dalam pengambilan keputusan, diantara para penentu kebijakan, dan dalam hal tertentu dengan masyarakat luas.

Dari keseluruhan tahapan ini diperolehnya roadmap tahapan mitigasi struktural pada infrastruktur sistem transportasi dan peta status infrastruktur.

IV. KESIMPULAN

Mitigasi struktural bencana pada infrastruktur sistem transportasi merupakan upaya untuk memperkuat prasarana transportasi sehingga dapat tetap kokoh dan tidak rusak saat terjadi bencana, sehingga pelaksanaan tanggap darurat dapat berjalan dengan lancar tidak terkendala.

Hasil kajian ini adalah memetakan daerah rawan bencana menurut jenis dan macam bencana. Proses pemilihan pembangunan prioritas mitigasi struktural dengan menggunakan Analisis Multi Kriteria. Sehingga didapatkan roadmap tahapan mitigasi struktural pada infrastruktur sistem transportasi dan peta status infrastruktur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Bina Teknik Direktorat Jenderal Bina Marga. (2012). Mitigasi Bencana Bidang Jalan Dan Jembatan. Subdit Teknik Lingkungan Dan Keselamatan Jalan.

- [2] Direktorat Bina Teknik Direktorat Jenderal Bina Marga. (2012). Pengantar Kebijakan Lingkungan, Mitigasi, Keselamatan Jalan. Subdit Teknik Lingkungan Dan Keselamatan Jalan.
- [3] Direktorat Pengurangan Risiko Bencana. (2016). Risiko Bencana Indonesia. Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- [4] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana.
- [5] Zakky (8 Maret 2018). *Pengertian Mitigasi Bencana Alam Struktural dan Non Struktural* URL <https://www.zonareferensi.com/pengertian-mitigasi/>

PENGLOLAAN SUMBERDAYA AIR TERPADU BERBASIS GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) DI KABUPATEN MUSI RAWAS UTARA

Anna Emiliawati^{1,*}, Samsul Bahri²

¹ *Civil Engineering Department, Universitas Musi Rawas Jl. Pembangunan Komplek Pemkab, MURA Kel, Air Kuti Kec. Lubuklinggau Timur I Kota Lubuklinggau 31626*

² *Agrotechnology Department, Universitas Musi Rawas Jl. Pembangunan Komplek Pemkab, MURA Kel, Air Kuti Kec. Lubuklinggau Timur I Kota Lubuklinggau 31626*

*Email: anna.emiliawati221@gmail.com

Abstrak: Kabupaten Musi Rawas Utara merupakan kabupaten baru yang memiliki kekayaan sumberdaya alam, salah satunya sumberdaya air. Tetapi pada penggunaannya sumberdaya air tersebut tidak dimaksimalkan dan tidak terinventarisasi dengan baik. Hal ini dikarenakan kondisi daerah yang sulit terjangkau sehingga menyulitkan pemerintah daerah dalam memetakan situasi dan potensi sumberdaya air tersebut. Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi mengharuskan pemerintah daerah mempunyai sistem pendataan khusus bagi situasi pengelolaan sumberdaya air terutama yang dapat diakses oleh publik. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi jaringan irigasi dan potensi sumberdaya air berdasarkan data lapangan yang diambil serta menyediakan informasi mengenai data kondisi teritori jaringan irigasi tersebut serta potensi sumberdaya air yang dapat diakses oleh pemerintah maupun umum. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi gambaran umum mengenai informasi situasi guna menunjang program pemerintah dalam meningkatkan ketahanan pangan nasional dan potensi sumberdaya air di Kabupaten Musi Rawas Utara sehingga dapat menjadi acuan kerja serta pengambilan keputusan/kebijakan bagi Pemerintah/dinas terkait dalam usaha pengembangan pembangunan potensi sumberdaya air yang berkelanjutan. Lokasi penelitian adalah Kabupaten Musi Rawas Utara. Metode penelitian berupa survey lapangan. Survey yang dilakukan adalah mengambil data-data jaringan irigasi serta potensi sumberdaya air. Selanjutnya akan dilakukan identifikasi sistem hidrologi dan inventarisasi data. Lalu dianalisis data menggunakan aplikasi GIS. Peta berisi informasi data-data titik sarana dan prasarana jaringan irigasi serta potensi sumber daya air sebagai bagian dari informasi publik.

Kata Kunci: Jaringan Irigasi, Saluran, Potensi Sumberdaya Air, Pemetaan.

I. PENDAHULUAN

Menurut Sudjarwadi, dkk dalam buku Pengembangan Sumberdaya Air, air merupakan sumberdaya alam mengalir (*flowing resources*) yang keberadaannya senantiasa terbatas oleh waktu (musim), ruang (lokasi), jumlah (kuantitas) dan mutu (kualitas). Karakteristik Sumberdaya air antara lain bersifat sumberdaya mengalir, dipergunakan oleh berbagai sektor dan wilayah, dipergunakan antar generasi serta merupakan bagian dari siklus alam. Mempertimbangkan hal-hal tersebut, maka sumberdaya air merupakan hal yang sangat vital bagi keberlangsungan hidup manusia dan lingkungan. Sumberdaya air sangat berguna bagi pembangunan ekonomi

di daerah terutama dalam penyediaan air untuk jaringan irigasi guna meningkatkan swasembada pangan sehingga harus dikelola secara bijaksana dan profesional. Keberadaan sumberdaya air sendiri harus dipertahankan berdasarkan asas manfaat, keseimbangan, kelestarian dalam pengelolaannya.

Pada saat ini kondisi sumberdaya air di Kabupaten Musi Rawas Utara sering mengalami permasalahan baik dari segi sarana dan prasarana maupun segi potensinya seperti menurunnya kualitas air dan sering terjadinya bencana seperti banjir dan kekeringan. Pemerintah Kabupaten Musi Rawas Utara sendiri belum memiliki sistem pendataan khusus terkait pengelolaan sumberdaya air ataupun sistem pendataan secara komputerisasi guna pendataan aset untuk pengelolaan sumberdaya air terutama pada jaringan irigasi. Akibat belum adanya sistem pendataan tersebut maka kesiapsiagaan dalam menangani kebutuhan akan pangan sedikit terhambat. Informasi-informasi tersebut sangat diperlukan untuk mengevaluasi potensi sumberdaya air dan pengambilan kebijakan ataupun skenario dalam penanganan peningkatan ketahanan pangan serta pengembangan sumberdaya air berkelanjutan dalam memenuhi kebutuhan air di masa mendatang. Untuk itu dilakukanlah penyusunan informasi terkait data-data situasi dan potensi sumberdaya air berbasis digital yaitu dengan menggunakan perangkat lunak *software Arc-GIS*. Sistem ini memudahkan pemerintah maupun publik umum dalam mengakses data-data jaringan irigasi dan sumberdaya air di Kabupaten Musi Rawas Utara. Adapun Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengidentifikasi situasi jaringan irigasi dan mengevaluasi potensi sumberdaya air yang ada di Kabupaten Musi Rawas Utara. Sedangkan tujuan khususnya adalah:

- a. Memberikan informasi situasi jaringan irigasi di Kabupaten Musi Rawas Utara;
- b. Menyediakan data mengenai potensi sumberdaya air dan jaringan irigasi di Kabupaten Musi Rawas Utara;
- c. Menyusun kebijakan terkait penanggulangan jaringan irigasi dan pengembangan sumberdaya air di Kabupaten Musi Rawas Utara.

II. MATERIAL DAN METODE

Pengumpulan data dilakukan dalam dua tahap yaitu pengumpulan data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer diperoleh dengan melakukan kegiatan survey ke lapangan. Persiapan survey awal lapangan untuk kondisi dan bangunan air pada jaringan irigasi yang terdapat di Kabupaten Musi Rawas Utara. Pengambilan data primer berupa data karakteristik sungai, data koordinat bencana alam, data sumber-sumber

daya air, data sarana prasarana bangunan keairan. Sedangkan pengumpulan data sekunder berupa data peta Kabupaten Musi Rawas Utara ataupun data dari Dinas Pertanian dan Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Musi Rawas Utara.

Menganalisis data tabulasi saluran irigasi, selanjutnya pembuatan data spasial berupa peta jaringan irigasi dan potensi sumberdaya air dan sarana prasarana bangunan keairan yang tersedia yang dilakukan dengan menggunakan Arc-GIS. Pembuatan sistem informasi diawali dengan sketsa peta yang sudah ada, kemudian pembuatan data base yang berisi informasi-informasi titik jaringan irigasi beserta bangunan airnya dan potensi sumberdaya air. Setelah itu melakukan analisis database. Hasil-hasil analisis data tersebut, maka selanjutnya dibuatkan peta yang dapat diakses publik sebagai bahan informasi Kondisi jaringan irigasi serta potensi sumberdaya airnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Inventarisasi Data

Hasil dari inventarisasi data lapangan pada beberapa titik di Kabupaten Musi Rawas Utara adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Inventarisasi Daerah Irigasi

Nama D.I	Lokasi	Klasifikasi Jaringan	Luas Area (Ha)			Sumber Air		
			Baku	Potensia	Fungsiona	Dana	Sunga	Raw
Air Dulu	Karang Jaya	Semi Teknis	169,54	65,06	30,51	√	-	-
Tebat Gede	Karang Jaya	Semi Teknis	64,68	6,49	24,58	√	-	-
Bukit Langkap	Karang Jaya	Semi Teknis	178,18	43,85	50,10	-	√	-
Embangan Baru Ilir	Karang Jaya	Semi Teknis	58,24	43,50	11,74	√	-	-
Noman	Rupit	Semi Teknis	18,19	8,67	6,01	-	√	-
Maur	Muara Rupit	Sederhana	9,49	6,06	-	-	-	-
Merung	Rawas Ulu	Semi Teknis	18,27	4,93	6,81	-	√	-
Air Putat	Rawas Ulu	Semi Teknis	174,35	108,92	19,91	-	√	-
Tebat Sech / Sungai Baung	Rawas Ulu	Semi Teknis	57,36	26,66	9,66	√	-	-
Air Nitap	Rawas Ulu	Semi Teknis	88,59	11,70	14,18	-	√	-
Srijaya Makmur	Nibung	Sederhana	0,40	-	-	-	√	-
Krani Jaya Nibung	Nibung	Semi Teknis	99,83	-	-	-	√	-

Nama D.I	Lokasi	Klasifikasi Jaringan	Luas Area (Ha)			Sumber Air		
			Baku	Potensia	Fungsiona	Dana	Sunga	Raw
Air Jangkat	Ulu Rawas	Semi Teknis	10,44	-	-	-	√	-
Kuto Tanjung	Ulu Rawas	Semi Teknis	9,37	1,15	6,76	-	√	-
Napal Licin	Ulu Rawas	Semi Teknis	55,85	-	18,95	-	√	-
Sosokan	Ulu Rawas	Sederhana	10,49	2,41	5,59	-	√	-
Muara Kulam	Ulu Rawas	Semi Teknis	8,48	4,91	2,93	-	√	-
Pulau Kidak	Ulu Rawas	Semi Teknis	6,14	2,19	3,95	-	√	-
Pauh	Rawas Ilir	Semi Teknis	234,168	152,934	114,051	-	√	-
Batu Kucing	Rawas Ilir	Semi Teknis	98,25	84,59	-	-	-	-

3.2 Pembuatan Skema Irigasi

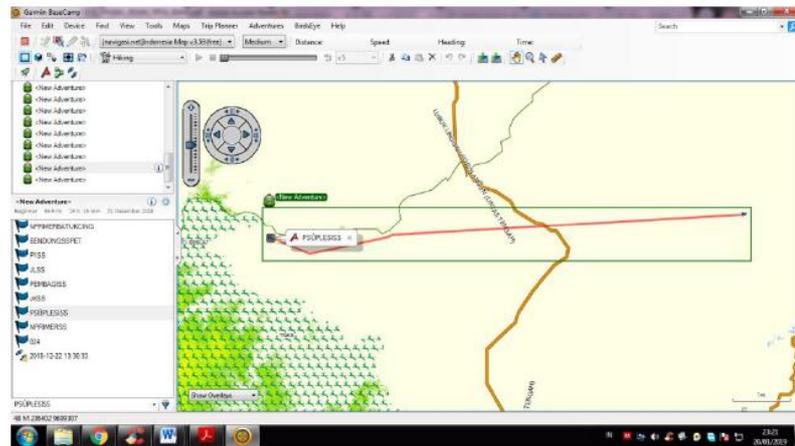
Skema titik jaringan irigasi adalah gambaran sketsa yang menunjukkan kondisi bangunan irigasi dan jumlah bangunan irigasi yang ada disekitar daerah tersebut seperti jumlah bangunan sadap, luas petak tersier, luas saluran sekunder, dan lain-lainnya.

3.3 Survey Existing

Sebelum membuat skema jaringan irigasi, maka dalam tahap pembuatannya harus mengetahui eksisting layout atau tata letak sistem irigasi permukaan. Survey dilakukan dengan pencatatan koordinat titik jaringan irigasi serta potensi sda yang ada disekitar dengan menggunakan GPS Garmin 64S, setting datum menggunakan WGS 84 zona 48S dan jenis koordinat menggunakan UTM. Sistem proyeksi koordinat UTM adalah rangkaian proyeksi Transverse Mercator untuk global dimana bumi dibagi 60 bagian zona.

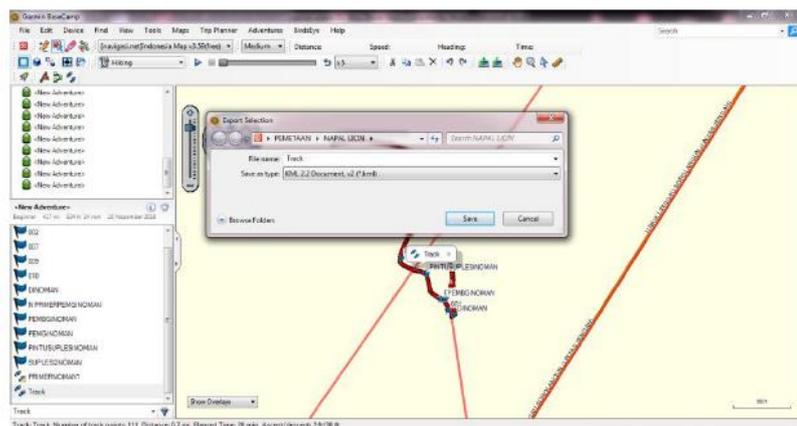
3.4 Pemindahan Data Hasil GPS

Data yang dikeluarkan GPS adalah file.gdb yang dibaca dengan software yang berhubungan dengan pemetaan dan koordinat. Pada kegiatan ini pemindahan file dilakukan terlebih dahulu dengan menggunakan Garmin Basecamp. Hal ini bertujuan untuk merapikan hasil tracking atau waypoint yang terhubung secara otomatis karena eror alat.



Gambar 1. Hasil Pemindahan Data GPS ke Garmin Basecamp

Perapian dilakukan dengan menggunakan export file.gdb menjadi file.kml pada hasil tracking yang dilakukan untuk mempermudah proses pembacaan.

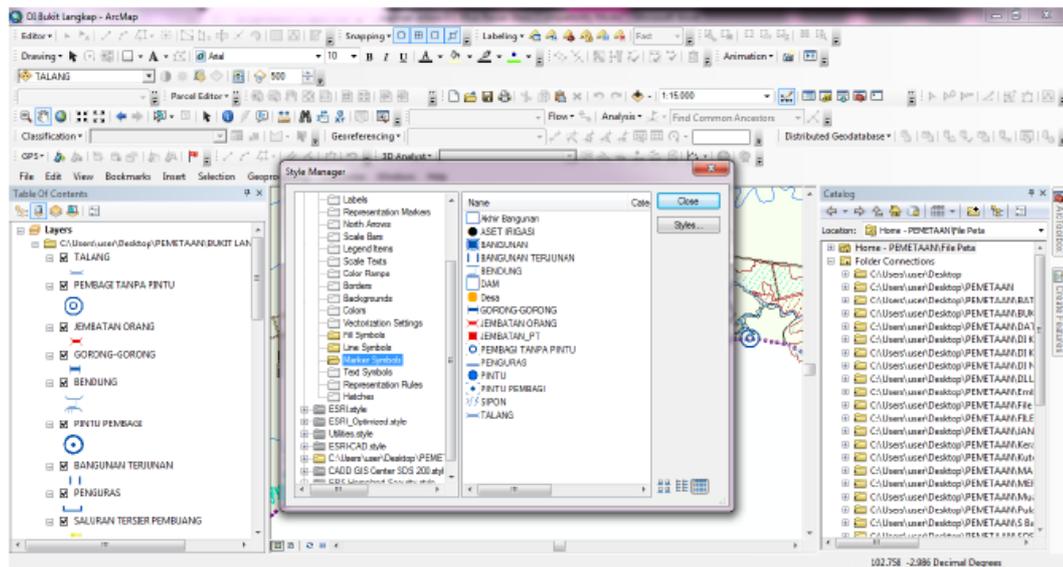


Gambar 2. Export file.gdb menjadi .kml

Setelah diperoleh file dalam bentuk .kml maka dilakukan proses digitasi letak titik posisi bangunan saluran irigasi dengan menggunakan ArcGis. Lalu selanjutnya dibuatkan dalam bentuk skema.

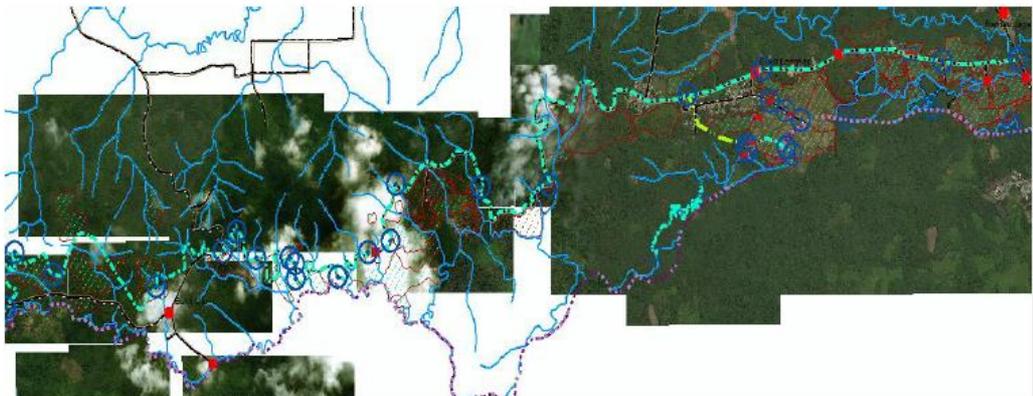
3.5 Pembuatan Peta dan Attribute dengan ArcGIS

Berdasarkan dari pembacaan dilapangan dan data GIS, maka dilakukan penggambaran pembuatan peta dengan menggunakan ArcMap. Data hasil GIS yang sudah diubah menjadi format data.kml dapat dibuka langsung dengan menggunakan software ArcGIS Map dan membantu proses digitasi.



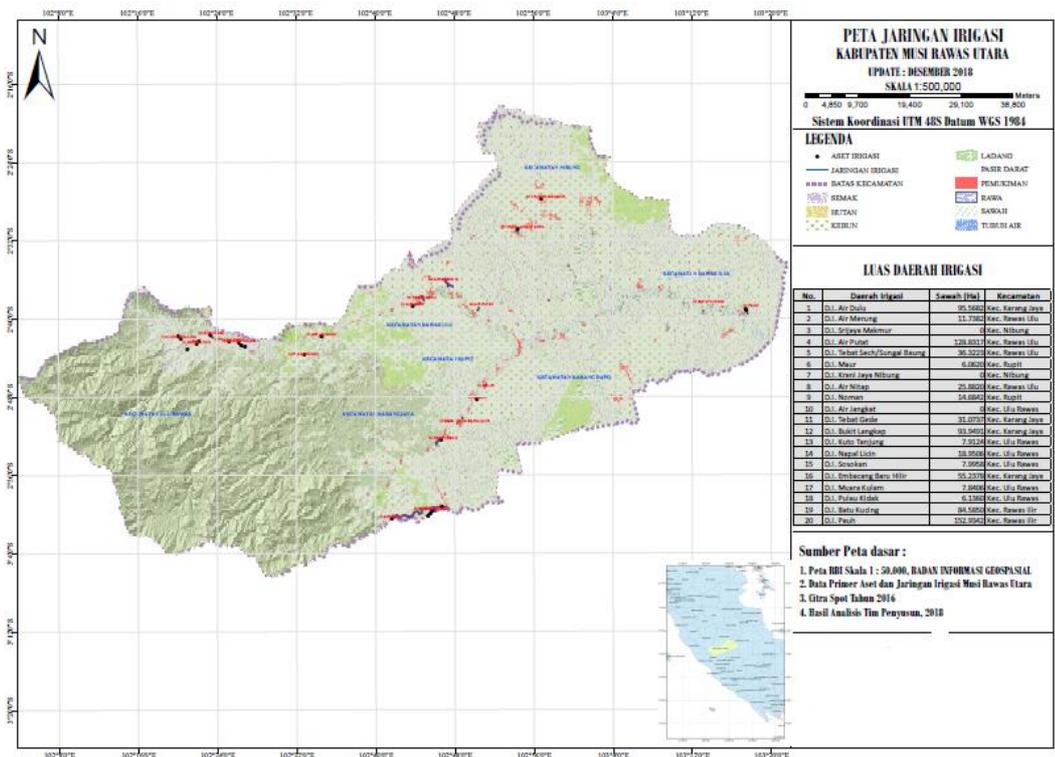
Gambar 3. Simbol Peta Jaringan

Selanjutnya dilakukan proses digitasi untuk line, point dan polygon berupa data dalam bentuk .shp. untuk peta dasar Kabupaten Musi Rawas Utara didapatkan dari website Badan Geospasial Informatika.

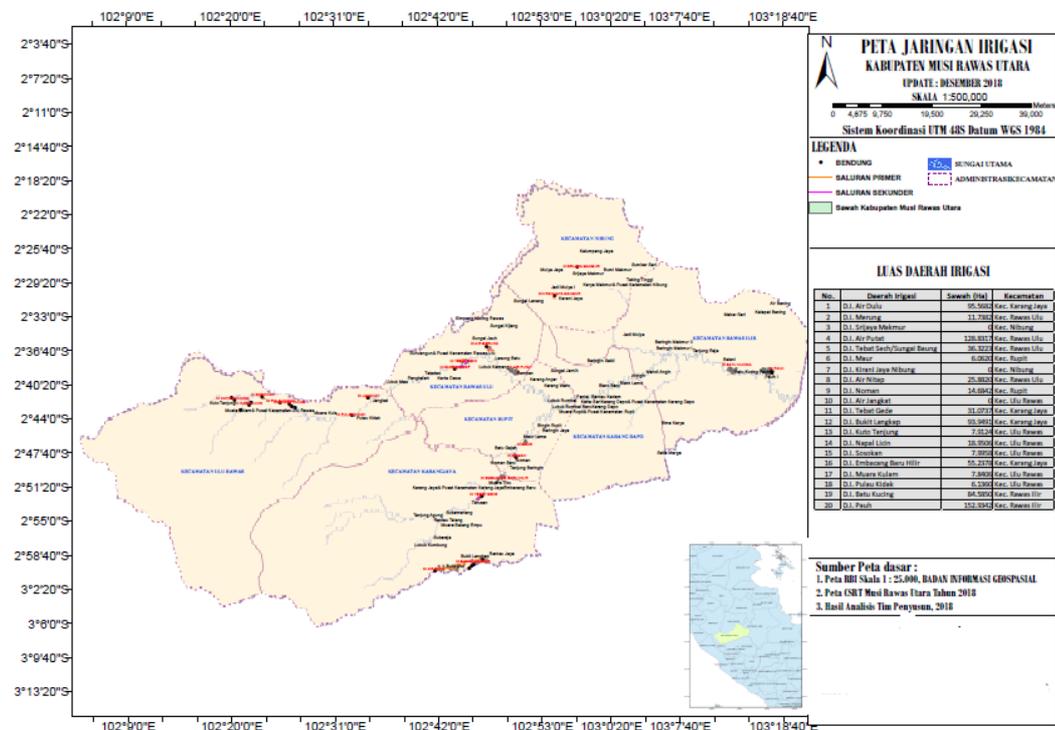


Gambar 4. Proses Digitasi Shape pada ArcGIS Map

Hasil layout peta titik daerah irigasi untuk Kabupaten Musi Rawas Utara akan ditampilkan dalam sebuah peta topografi.



Gambar 5. Peta Jaringan Irigasi Kab. Musi Rawas Utara



Gambar 6. Peta Daerah Irigasi Kab. Musi Rawas Utara

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa Daerah Irigasi dengan bangunan pelengkapya memiliki kondisi untuk segera direhab karena kondisi fisik prasarana irigasi telah banyak mengalami kerusakan, baik pada saluran maupun di bangunan irigasi sendiri sehingga untuk mengoptimalkan fungsi dari jaringan irigasi ini sangat susah. Pada beberapa titik saluran juga ada yang masih berupa tanah, sehingga fungsi dan pelayanan dari sistem irigasi sendiri mengalami penurunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bappeda Kab. Musi Rawas Utara, *Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Musi Rawas Utara Tahun 2015-2035*.
- Firdaus, dkk. 2016. *Kajian Pengelolaan Sumberdaya Air Permukaan Berbasis Geographics Information System (GIS) di Kota Bandar Lampung*.
- Indarto. 2012. *Pengembangan Sistem Informasi Sumberdaya Air Se Jawa Timur (SISDA-JATIM)*
- Presiden Republik Indonesia. 2012. *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*.

MODELING OF COLD LAVA FLOW SPATIAL ANALYSIS FOR MITIGATION OF VOLCANO DISASTER MERAPI

Armijon^{1,*}

¹ Geodesy & Geomatics Engineering Faculty of Engineering Lampung University

*Email: armijon@eng.unila.ac.id

Abstract. *The last ten years of the Merapi volcano has erupted almost routinely on a small or medium scale. The eruption on November 26, 2010, resulted in 334 people died and 7,129 houses were damaged. As a result of the eruption, the volume of cold lava at the summit of the Merapi volcano is getting bigger and reaching 150 million cubic meters (May 2018). To help the emergency response and mitigate cold lava disaster, it is necessary to do a mapping of Merapi cold lava disaster mitigation. If a cold lava flood occurs in Merapi what kind of cold lava is hit by it? Will it affect settlements that have the potential to cause fatalities? What is the volume of lava and how long does it take to get to the settlement? how to plan an evacuation route during the early warning of the Merapi cold lava flag?. The mitigation of the Merapi cold lava flood mitigation can be answered with a spatial analysis model simulation approach by applying several scenarios to find out how many areas are affected by the lava flow, the extent of the land use affected by the lava flow, and calculating the volume and time required by the lava to reach the settlement. The results of this study are the dangers of hazard zone maps and cold lava flood evacuation path maps of the Merapi volcano (identification of the impact of cold lava on potential casualties and cold lava disaster mitigation maps).*

Keywords: *Cold Lava Disaster; Modeling, and Simulation; Spatial Analysis.*

I. INTRODUCTION

The last ten years of Merapi Volcano erupted almost routinely on a small or medium scale. The danger of Merapi is that if it erupts it emits hot lava and hot clouds. Merapi eruption on November 26, 2010, which resulted in 334 people died and 7,129 houses were damaged [1] is the largest eruption in the last 100 years, the eruption is explosive that produces hot clouds. The amount of pyroclastic material spewed by Merapi reached 150 million m³ which is equivalent to 30 times the volume caused by the eruption in 2006 which was only 5 million m³, the size of the pyroclastic material made the potential for cold lava even greater [2].

The volume of cold lava at the peak of Merapi is already very large, so it will not be able to be accommodated by the infrastructure located in the rivers around Merapi. It is estimated that the volume of cold lava at the peak of Merapi reached 150 million cubic meters. If a huge eruption or very heavy rain can result in the possibility of cold lava floods. Cold lava flood around the peak of Merapi will result in the flow of eruption material following the river flow pattern. The swift flow and the amount of material can wash away everything in its path, including houses, rice fields, and even humans. The danger threatens residents who live around the river that has the upstream

at the peak of Merapi. Cold lava in the form of dust, gravel sand and rocks will flow through 15 rivers (Putih, Blongkeng, Pabelan, Woro, Gendol, Boyong, Krasak, Batang, Senowo, Trising, Opak, Bebeng, Kuning, Apu and Lamat) that tipped at Merapi. In the past few years, the government has built Sabo Dam which is used to accommodate cold lava flow from the summit so that it does not flow directly downstream which can damage anything that is passed. Until now, the sabo dam that has been built can only accommodate a capacity of 20 million cubic meters. So, it is not possible to accommodate the large volume of cold lava that is 150 million cubic meters from Merapi. The condition of the 15 river troughs is also almost full of cold lava material. In some locations even the potential to hit residential settlements, bridges, and highways.

As an effort to help the emergency response and mitigation of the Merapi cold lava disaster, it is necessary to do a mapping of Merapi cold lava disaster mitigation. If there is a cold lava flood disaster, what kind of cold lava hit by it? Will it affect settlements that have the potential to cause fatalities? What is the volume of lava and how long does it take to get to the settlement? how to plan an evacuation route during an early warning of the Merapi cold lava flood? The question due to the Merapi cold lava flood is expected to be answered by analyzing the spatial analyst.

Through this research, a dynamic model of the cold lava flow was developed in spatial analysis for mapping the mitigation of cold lava flood disasters in the Merapi volcano. Whereas the Research Objectives are to compile a model of Merapi cold lava flow, find out how many areas are affected by a lava flow, what is the area of land use affected by a lava flow, find out how much volume and time it takes for lava to reach settlement and mapping of flood disaster mitigation lava. Benefits The results of this study in the form of identifying the impact of cold lava on potential casualties and cold lava disaster mitigation maps are expected to be used as reference material and evaluation for the government and community in the study area to help mitigate the Merapi cold lava disaster, further the resulting model is expected to be able applied to model cold lava floods of other similar volcanoes.

Merapi is an andesitic-basaltic Strato type volcano and has erupted several times, but for more than a century, there have not been major eruptions. The eruption of Merapi on November 4 - 5, 2010 was the biggest eruption since 1872. Quite a lot of human victims, amounting to 366 people died [3]. Merapi eruption in October to November 2010 occurred very large and in a long time about 2 weeks [4]. The hot clouds spreading at a radius of 10-15 km have destroyed villages that are on the slopes of Merapi.

Volcanic ash is felt not only by the people on the slopes of Merapi but also by people who live 30 km away, even to West Java.

Each volcanic eruption produces a lot of ash and other loose material that accumulates on the slopes and valleys that are quite thick. When heavy rains fall in the peak area during or after an eruption, the rainwater mixed with these materials turns into lava can transport large blocks of lava and seem to float at the top of the lava flow. The speed depends on the volume and viscosity of the sludge, slope and roughness of the area in its path [6]. Several factors cause the magnitude of lava flooding in the western region of Merapi, including the characteristic deposition of volcanic material on the west side of Merapi which is lighter and the high intensity of rainfall in the Merapi area. The western region of Merapi has a lot of lighter Merapi material. The impact of the dominance of ash rain flow to the west causes the Merapi region in the west to store more light pyroclastic material resulting from vertically directed eruptions such as ash, sand and gravel material. Different from the material deposition conditions in the western region of Merapi, the material characteristics deposited in the southern region of Merapi are relatively heavier. This is due to the deposition of eruption material in the southern region of Merapi, which is more controlled by hot pyroclastic material spills so that the characteristics of larger material such as sand, gravel, karakul, and large boulders [2].

Merapi eruptions that have occurred have an impact on damage to settlements, agricultural land, and forests that are in the area of mountain peaks, mountain slopes and along rivers that are fed with eruption material. Delay in information about eruption activities that occur to all people who live around the peak of Merapi, has an impact on the high number of dead victims and material loss so that mitigation against cold lava flood disasters is seen as important to be continuously improved. One of them is the preparation of cold lava flood mitigation maps.

Lava is a terminology to describe a flow of high concentrations of mixture between rock debris, sand and water coming from a volcano. Lava, is a volcanic material flow that is mixed with water with a high enough concentration, either in the form of debris flow (debris flow) which is characterized by lava flow with a concentration of solid material > 60% or a flow with a very high sediment concentration (hyperconcentrated flow) with a concentration sediment of 20–60% [5].

The current volume of Merapi's peak cold lava is estimated to reach 150 million m³ ready to flow like a cold lava flood that has the potential to take lives. With the spatial analysis modelling approach, the impact of cold lava floods is modelled so that disaster mitigation maps are arranged to

reduce the potential for fatalities. This modeller is expected to be developed to mitigate other volcanic disasters in Indonesia. Modelling is a way to describe something that cannot be seen directly. Because all phenomena cannot be observed directly at the same time, a model can be used to simplify the situation. This can be done in a geographic information system in the form of map layers and the relationships contained in these maps are modelled with the help of spatial analysis. In general, spatial models can be divided into two, namely static models and dynamic models. In spatial modelling, especially those which are dynamic, always use raster data that displays, places and stores spatial data using matrix structures or pixels that form a grid [7]. Each pixel or cell has its attributes, including unique coordinates. The spatial entity raster is stored in a layer that is functionally correlated with its map elements. Dynamic spatial models have three main components, namely the dimensions of space, time and dynamic processes, both related to processes in earth science, ecology, sociology and economics. The cellular automata approach is often used for the application of dynamic spatial models, both modelling natural and human systems, such as the movement of eruption material and volcanic lava and the assessment of eruption hazard areas [7]. Spatial modelling is the process of seeing the specificity of several layers at each location to solve a problem. In general, the spatial model uses the optimum search concept to choose the place or model of suitability in choosing the best location, although the type and size of the data scale used are different, the problem can be solved in the same way.

II. RESEARCH METHODOLOGY

Methodology This research is concentrated utilizing DEMNas2014, RBI Maps, Thematic Maps and satellite images for visual current conditions. This visualization is examined by spatial analysis utilizing GIS to produce locations or areas affected by the Merapi cold lava flow. The activity process flow plan can be seen in Figure (1) Flow diagram of the research methodology. In modelling the spatial analysis four steps will be carried out in solving the problem. The first step: Formulate a problem that starts with thinking about what the expected results are by developing a diagram to show the flow of data in its operation as well as the spatial data collection needed. Second step: Describe the problem in the first step into goals.

The problem is broken down into more detail into smaller parts so that it can find out the data needed and steps to solve it. Steps are goals that must be solved to measure the suitability of each location. The definitions must be measurable. Reach the Initial suggestion to produce an existing

map by mapping using remote sensing technology. Each of these targets will become a data layer or theme in the form of maps. Third step: Establish appropriate values for each goal. In this step, a map for each target has been formed. then combining maps with GIS technology into a map that depicts potential areas in stages. To compare the price of one class with another is done by giving numerical values for each class in each map or theme by using spatial analysis. This is what was used as the initial model. Step Four: Resolve the problem by doing the initial model simulation that has been produced. To develop analytical studies, testing is done using various other scenarios by applying weighting to layers or measures to further examine data and their relationships that produce conformity maps. These suitability maps will later be combined with existing data to see or describe the results of the spatial analysis on a spatial basis. The results of the analysis will be used with GIS to build mitigation maps.

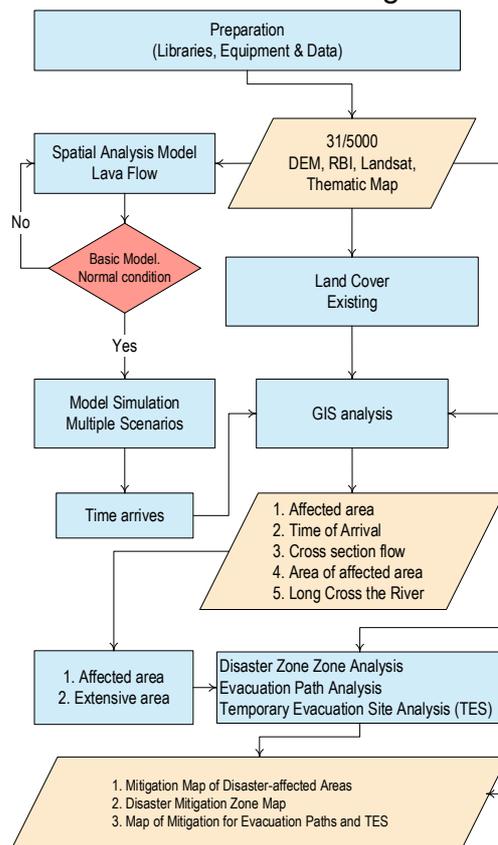


Figure 1. Flowchart of Research Methodology

The data used in this study uses DEMNas2014, RBI maps sourced from BIG, Merapi peak aerial photography data to determine the volume of lava sourced from PPMBG Bandung, and Landsat Satellite Imagery coverage of 2018 for existing land information in determining the suitability of existing

data and the suitability of mitigation map results. The development of this model was carried out by calculating DEMNas2014 with a level of accuracy of 5-10 m, Surface Hydrology, Energy Cone, Lava Flow Scenarios and studies using KRB maps (Disaster Prone Areas), Studies with Satellite Imagery, and Studies with land cover maps (existing).

The concept of surface hydrology is the flow in the hydrologic channel where the hydrological channel is obtained from the Digital Elevation Model (DEM) raster data on each pixel cell. This is done by way of Flow Direction, this method takes the surface as input and output raster that shows the direction of flow out of each cell. The flow direction algorithm that is commonly used is the D8 Tarboton method [8]. Determination of the direction of flow between pixels according to this algorithm is done by comparing the relative between one pixel against 8 pixels around it. Flow direction is obtained from Flow Accumulation results with a predetermined threshold value as shown in figure (2).

Horizontal & Vertical elevation of cells a1 Diagonal elevation of cell A

$$a_1 - b_1 = d_{a_1 b_1} \dots (1)$$

$$= d_{a_1 b_1} \dots (2)$$

$$\frac{a_1 - b_2}{\sqrt{2}} = d_{a_1 b_2} \dots (3)$$

To determine the flow direction algorithm, the highest elevation difference is taken (the elevation direction value must be negative), equation (1) (2) (3) shows the largest negative elevation value is at (1), the flow direction algorithm is a1 to b1. Likewise, in the same way, the flow direction algorithm of each cell is determined.

From this algorithm code, the flow value is calculated to get the flow accumulation, so that finally the surface hydrology flow will be obtained with a threshold value of 2000 meaning that the value of flow accumulation at these pixels is a minimum of 2000.

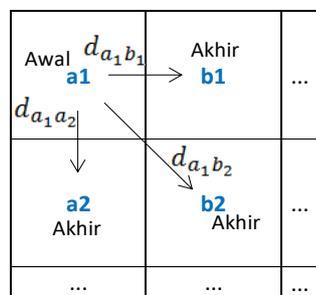


Figure 2. Calculation of code flow algorithm

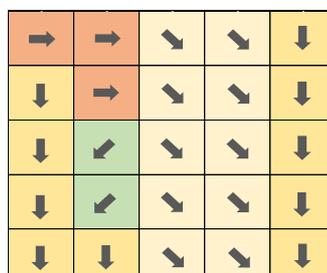


Figure 3. The results of the flow algorithm code



Figure 4. Flow Accumulation Results

2.1 Energy Cone

This stage is useful to produce an area of the volcanic material explosion, by entering the value of the slope volume obtained from the calculation of the ratio/slope of H to L, then entering the X and Y coordinates of the peak of Merapi. Calculations for slope are searched using equation (9).

$$S = \frac{H_1 - H_2}{L} \dots (4) \quad \begin{array}{l} H_1 = \text{End point elevation ; } S = \text{Slope} \\ H_2 = \text{Starting point elevation ; } L = \text{The distance of furthest lava range} \end{array}$$

2.2 Basic Lava Flow Scenarios

Lava flows in a certain volume of hydrological flow, the lava flow has the potential to cause the inundation. The river that will be lava flowed is: Krasak, Woro, Gendol, Bebeng, Putih, Boyong, Lamat, Senowo, Tlising, Apu and Bedog. Other parameters used are slope, the elevation of the river starting point, the elevation of base point of flow and distance of furthest lava range.

The Merapi volcano is shaped like a cone so it is assumed that the H/L value is the same for each river. Lava flow flows in the hydrologic channel with a certain volume; this lava flow has the potential to cause the inundation. To calculate potentially inundated areas, use statistics to derive equations connecting inundation areas to lava volume flow, with equations (4)&(5) [9].

$$A = 0,05 \times V^{\frac{2}{3}} \dots (4); \quad B = 200 \times V^{\frac{2}{3}} \dots (5)$$

{A=Cross Section; V=Volume; B=Planimetric Area}

In this lava flow simulation, the elevation of right and left cells will be compared with equations (4) and (5) to determine the direction of flow or fill cells that have lower elevations, to meet the specified volume value. The following is an example calculation with an estimated volume of 15 million cubic cold lava.

$$A = 0,05 \times 15,000,000^{\frac{2}{3}} = 3,041 ; \quad B = 200 \times 15,000,000^{\frac{2}{3}} = 12,164,404$$

So the value of each flow cross-section is 3,041 m³ and for the planimetric area is 12,164,404 m³. In this lava flow modelling, it is necessary to have the volume of lava that will be flowed in this model. For the next model, simulation is carried out with changes to; lava volume, slope, the elevation of base points, and farthest slope distances. Changes in lava volume flowing in scenarios I, II, III, and IV are 80K m³, 15M m³, 70M m³, and 135M m³, which in turn can simulate the scope and extent of the

affected area. The next step is to enter the parameters of volume, discharge, flow velocity, distance of lava network and the height of the point of the path in the flow area using equations (6), (7), (8) [10] to determine the estimated time of arrival of lava flow in certain areas such as in settlement.

$$Q = 0.000558 \times V^{0,831} \dots (6) \quad V = \text{Volume} ; Q = \text{Lava Discharge}$$

$$C = 2.1 \times Q^{0,3} \times S^{0,2} \dots (7) \quad C = \text{Lava Speed} ; S = \text{Slope}$$

$$T = \frac{D}{V} \dots (8) \quad T = \text{Mileage Time} ; D = \text{Mileage Distance}$$

The Final Process is a superimposed map of scenario results with a KRB Map to compare lava volume and also to compare the results of lava flow modelling with the existing river morphology from satellite imagery data and DEM to produce a cold lava flow model by existing conditions. Analysis of the impact of damage to lava use was carried out with the GIS method, namely, superimpose analysis of the results of scenarios maps with thematic maps of land cover. At this stage the predicted area of damage to land use affected by cold lava flow. Finally analyzes were carried out; distance of lava reach from eruption center, evacuation route analysis and gathering points to get; (1) map of the level of lava flood hazard zone based on maps of Merapi Disaster Prone Areas, (2) Maps of simulated disaster zone results, and (3) maps of evacuation routes and gathering points from analysis of distances, elevations and accessibility.

III. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Results

Based on the results of basic simulations compared with the results of the Long and Cros Section analysis shows the accumulation of flow has followed the pattern of deep and narrow river valleys shaped "V" without any significant obstacles. With an average valley depth of 30-40 meters, it means that the basic simulation is by existing conditions and is acceptable. The lava flow will fill the river basin reservoir area according to the volume scenario simulation used. The greater the volume of lava in the scenarios, the greater the lava flow inundation results. Differences in the area of lava flooding are not too significant for large volume scenarios, because for the downstream river basin conditions are not steep.

After the basic simulation is accepted, a volume scenario simulation (80K = 80,000m³, 1M = 1,000,000m³, 2K = 2,000,000m³, 3K = 3,000,000m³, ..., 135M = 135,000,000m³) is then determined in 4 scenarios The main scenarios are scenario I = 80K, scenario II = 15M, scenario III =

70M, and scenario IV = 135M which results in the distribution of the average coverage of lava flow from each river. The broadest coverage is from scenario IV which results in an area of 46,729,425 Ha. The 80K scenario simulation results from the lava flow model produce lava flow which is not yet dangerous and still follows the shape of river morphology, but for scenarios, volume starting from 2K lava flow starts to widen from river morphology, impacting the land use of the plantation. Residential areas began to be affected by lava flow in scenario II, whereas in the scenario of volume 30K to 135M the range of lahar has affected all land use so that the greater the volume of scenarios results in wider coverage of lava flow areas.

Verification of the model by superimposing the results of the lava flow model with the KRB Map results in all lava flows appear to be appropriate and flow above the KRB lava flow and pyroclastic flow, but there are differences in the direction of lava flow in the downstream river, this is caused by the steepness of the river valley increasingly small. There are also differences in the area of the lava flow, and this is possible because of differences in the parameters of the scenarios in the scenario when the lava flow modelling other than that the KRB Map only uses the parameters of the flow direction without using the impact of the flow.

The results of simulation scenario IV in 4 regencies (Magelang, Klaten, Boyolali, and Sleman) around Merapi on the Krasak river, Bebeng river, White river, Boyong river, Bedog river, Lamat river, Senowo river, Tlising river, Apu river and Apu river Gendol which is superimposed with the existing land use map produces lava flow impacts on; settlement of 669,911 ha (269 villages in 36 districts); 4,357,507 ha of rice fields; field 1,786,099; and gardens 3,247,239.

The slope of the lava flow can be searched by making longitudinal and transverse cross-sections of each river flow. The slope and discharge obtained can be used to determine the flow velocity in each river. The velocity obtained and the distance of the lahar flow will be able to produce when the estimated time of the lahar flow arrives in the residential area. Calculation of estimated time of arrival of the lava flow is carried out from the river channel understudy to the settlement of the population by assuming the distance travelled in the river near the settlement. The time of arrival at the settlement is calculated for estimation of decision making when action is needed to evacuate the population to the TES via the evacuation route.

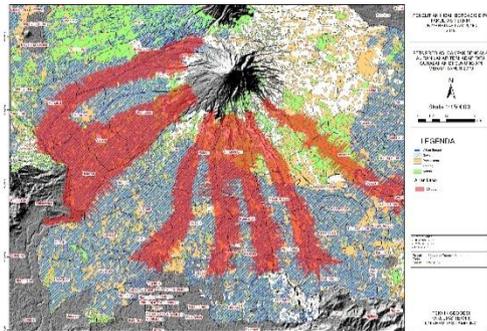


Figure 4. Impact on Land Use

Table 1. Travel time to the settlement

River	Distance (km)	Speed (km/hr)	Arrival Time (Minutes)			
			4M	9M	15M	30M
Krasak	13,3	47,38	16,84			
Woro	14,0	58,66	0	14,3		
Gendol	11,8	58,70	0	12,1		
Kuning	14,6	66,08	0	0	13,3	
Boyong	15,0	67,62	0	0	13,3	
Bedog	16,0	65,22	0	0	14,7	
Putih	14,0	63,36	0	0	13,3	
Senowo	14,6	77,42	0	0	0	11,3
Tlising	16,7	77,93	0	0	0	12,9
Apu	20,1	78,33	0	0	0	15,4

Table 1. shows that the fastest lava flow in the Senowo River with a distance of 14.6 km of lava with a volume of 30M can reach a residential area in 11.3 minutes. Also, it is seen that the greater the volume of the lava flow, the faster the lava travel time. Seeing the fast travel time it is necessary to make efforts to create Disaster-Prone Zones so that prediction areas affected especially settlements are not used as residential areas, then can be determined or compiled maps Evacuation Paths and Temporary Evacuation Places (TES) as supporting documents for Merapi cold lava disaster mitigation.

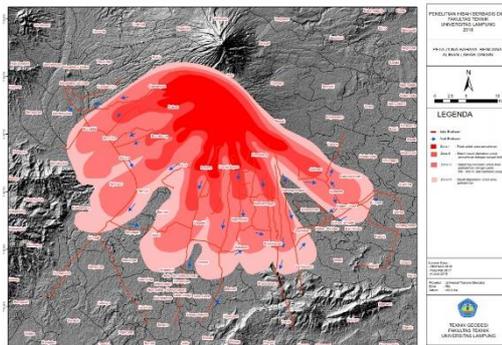


Figure 5. Map of Disaster Prone Zone

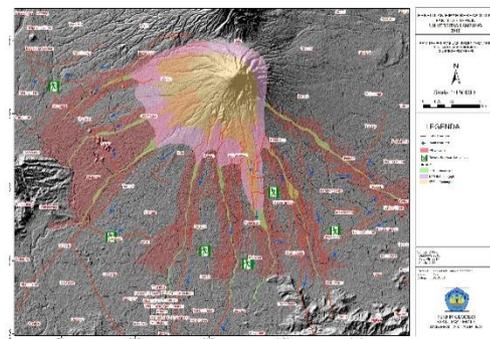


Figure 6. Map of Evacuation Paths and TES

3.2 Discussion

The Merapi lava flow model has several limitations. The modelled end of the lava flow looks sharp. Perhaps this is an indication of the prediction of the direction of river flow based on DEM resolution (1 pixel = 8 x 8 m), Pixels with the same height at the edge of the inundation area and the lava flow tip usually have a small amount [1]. Lava flow modelling predicts the direction of river flow in all directions, both north-south and west-east, the direction of lava flow follows river hydrology based on the number of pixels. So to get lava flow modelling with maximum results, DEM is needed with maximum accuracy.

The lava flow model in rivers generally stops in the plain. This is caused by the system in lava flow modelling that stops the modelling process when the predicted volume accumulated at the river cross-section is equal to or greater than the remaining volume of the lava flow modelled [1]. In this model do not include water parameters while the lava character in all volcanoes is assumed to be the same so that the lava characters in this model are built referring to some other volcanic characters in Indonesia. The characteristics of lava between one mountain and another are not necessarily the same so that when pyroclastic deposits unite with water will produce different viscosities, this will certainly determine the distribution of lava that will occur [2]. Rainfall is one of the parameters that trigger lava. In this lava, flow modelling does not include rainfall parameters in the modelling so it can not predict when the fall of lava but only predict the distribution of lava flow that will occur based on the estimated lava volume that has been determined.

When the lava flow model is superimposed with satellite imagery, it is clear that the lava flow model can flow following river morphology. Lava flow turns when there is a higher morphology in front of it. Lava flow can enter the valley and turn and do not widen following the width of the previous valley. The accuracy of this model is supported by DEM data whose resolution is high enough (8 m) so that it can be used to calculate narrow river cross-sections. The lava flow model follows the morphology of the river according to the chosen river flow direction, the direction of the river flow is based on the 2011 PVMBG publication. While on the KRB Map (map prepared based on disaster results), the flow direction is partly different from the model simulation results Predicted map of potential volcanic disasters. The disaster-prone area of the lava flow is an area that has the potential to flow with lava after an eruption which results in a pyroclastic flow. Pyroclastic flow deposition itself is still uncertain where the flow direction and how much volume so that the potential of the lahar can not be predicted from which valley and where the direction and how much volume [3].

In this lava flow model, the source and direction of the flow are determined. The source and direction of the flow are determined based on the lava potential that will occur. Prediction of lava flow volume is based on the history of the volcanic lava activity so that lava flow modelling can be done quickly, precisely, accurately, and objectively. Every user can do it with the same results provided the source, flow direction and volume are the same. The lahar flow model with large scale volume estimation predicts the potential danger of lava flow with the worst-case scenario. The lava flow on the KRB Map also predicts the potential for bad hazards. Results Both

proved to be different. This lava flow model can be used as consideration in evaluating the KRB Map, especially in cold lava flow so that it can determine the range of lava flow by the potential of the lava flow. To estimate the impact of lahar flow on land use, a superimpose was carried out between the lahar flow model and the existing Land Use Map. Lava volume estimates are taken from the smallest to largest volume scenarios. This is done because it is to predict the impact of fatalities because there are still many residents who live along the riverbanks that are crossed by cold streams.

Of all the scenarios of lava flow volume for settlements, gardens and fields the greatest impact is in Sleman Regency, while for the biggest impact paddy fields in Magelang Regency. The impact of the area in each district is influenced by its location in the area of lava flow inundation. Table 2 shows the area of land use affected and based on Figure 3 predictions of the affected population in the 135M volume scenario.

From table 3 it can be seen that the population most affected in Sleman Regency is 62,373,292 people/ha. With the predicted impact of the lava flow on spatial land use, it is expected that these regions can increase their vigilance and preparedness against the danger of cold lava flows, especially residential areas. The affected area has been buffered as far as 500 meters from the prediction of lava-affected settlements, with a distance of 20-25 km from the lahar deposit area which is a Disaster-Prone Areas II is expected that the area is not intended for residential areas to see the danger of lava and the speed of lava arriving in residential areas. The area should be recommended for protected forest areas.

Table 2. Impact of lava flow volume of 135M

Affected Area	Area of Affected District (Ha)				
	Boyolali	Klaten	Sleman	Magelng	Total
Settlement	476	3.372	3.701	3.201	10.751
Plantation	471	1.964	1.996	1.834	6.265
Fields.	154	1.086	1.360	781	3.381
Rice fields	241	3.912	8.353	9.970	22.475

Table 3. Predictions of populations affected by lava

Affected Population	Affected District Residents (People)				
	Boyolali	Klaten	Sleman	Magelang	Total
Population	3.206	57.652	63.273	44.884	169.016

To anticipate casualties, an analysis was also conducted to determine the Evacuation Route and the potential temporary Evacuation Points based on flow patterns and elevations. Finally, the results of this lava flow modelling can be used as one of the supporting data for the preparation of the Merapi Volcano Mitigation document.

IV. CONCLUSIONS

This study produced data to support Merapi cold lava disaster mitigation in the form of (1) maps of affected areas (2) Maps of Disaster-Prone Zone (3) Maps of Evacuation Paths and Points of Location for Temporary Evacuation Points (TES). The impact of the distribution of cold lava flow on land use with a volume of 135 million m³ of 42,815,783 Ha, (the largest distribution area of the district; rice fields in Magelang 9,969,592 Ha, residential areas in Sleman 3,701,475 Ha, Sleman fields 1,359,638 Ha and garden in Sleman 1,995,602 Ha). And what needs to be noted is that the estimated time to reach the fastest lava flow in a residential area is 10-11 minutes, so that only in this time the population can save themselves from the danger of cold lava.

There are wide differences in the coverage of lava flow between lava flow models developed with the KRB Map from PVMBG, this is possible because in the model developed using scenarios with changes in the parameters of lava flow volume and direction whereas in the study the KRB Map only uses lava flow direction parameters, so the model in this study more representative of the form of cold lava disaster that might occur.

The results of the preparation of the evacuation route map and TES show that at the study site there are many evacuation routes and TES points that can be utilized during a disaster to reduce fatalities. The lava arrival time when a disaster is short enough between 11-17 minutes needs to be considered, in preparing the disaster early warning system method.

Based on the study, there has been a significant change of land use to settlements so that there is a need for local government policy (can refer to the cold lava disaster hazard zone map) for limiting land-use change to settlements at locations affected by lava, the affected locations should be directed as protected areas.

ACKNOWLEDGMENTS

Acknowledgements to all those who helped to carry out this research, especially to Widy Indarwati (last year student of the Geodesy and Geomatics Engineering of the University of Lampung) who participated in developing and simulating spatial analysis models in this study. This research was funded by "DIPA Faculty of Engineering, the University of Lampung in 2018" as stated in the Decree of the Dean of the Faculty of Engineering, University of Lampung No.387/UN26.15/PN/2018.

REFERENCES

- [1] BNPB and BAPPENAS, *Rencana Aksi Rehabilitasi dan Konstruksi Pasca Bencana Erupsi Gunung Merapi 2011-2013*, no. 1. BNPB, 2011.
- [2] R. Rahayu, D. P. Ariyanto, K. Komariah, S. Hartati, J. Syamsiyah, and W. S. Dewi, "Dampak Erupsi Gunung Merapi Terhadap Lahan Dan Upaya-Upaya Pemulihannya," *Caraka Tani J. Sustain. Agric.*, vol. 29, no. 1, p. 61, 2014.
- [3] Sutikno and dkk, *Kerajaan merapi Sumber Daya Alam & Daya Dukungnya*. Yogyakarta: Badan Penerbit Fakultas Geografi (BPFGeografi) UGM, 2007.
- [4] Sumarti, "Aktivitas Gunung Merapi Periode Mei – Agustus," *Buletin Berkala Merapi*, vol 12/02/ Edisi Agustus 2013, pp. 1–6, 2013.
- [5] F. Lavigne, J. C. Thouret, B. Voight, H. Suwa, and A. Sumaryono, "Lahars at Merapi volcano, Central Java: an overview," *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 100, no. 1–4, pp. 423–456, 2000.
- [6] A. Rasyid and M. A. Harun, "Analisis Tingkat Kerusakan Penggunaan Lahan Akibat Banjir Lahar Pasca Erupsi Gunung Merapi Tahun 2010 Di Sub Das Kali Putih," Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2012.
- [7] P. Krugman, "Toward a counter-counterrevolution in development theory," *World Bank Econ. Rev.*, vol. 6, no. suppl_1, pp. 15–38, 1992.
- [8] D. G. Tarboton, "The analysis of river basins and channel networks using digital terrain data," Massachusetts Institute of Technology, 1989.
- [9] M. F. Sheridan and M. C. Malin, "Application of computer-assisted mapping to volcanic hazard evaluation of surge eruptions: Vulcano, Lipari, and Vesuvius," *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 17, no. 1–4, pp. 187–202, 1983.
- [10] J. Cahyono, *Penanggulangan Daya Rusak Aliran Debris*. 2012.
- [11] S. Aronoff, *Geographical Information System: A Management Perspective*. Ottawa, Canada: WDL publications.
- [12] A. Zaenudin, I. G. B. Darmawan, Armijon, S. Minardi, and N. Haerudin, "Land subsidence analysis in Bandar Lampung City based on InSAR," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1080, no. 1, 2018.
- [13] C. Van Westen, *Multi-hazard risk assessment*. Ne: UNU-ITC DGIM, 2009.
- [14] A. Tridawati, S. Darmawan, and A. Armijon, "Estimation the oil palm age based on optical remote sensing image in Landak Regency, West Kalimantan Indonesia," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 169, no. 1.

- [15] R. J. Gordon, *Macro Economics*. Boston: Little, Brown & Company, Inc, 1978.
- [16] W. D. Thornbury, *Principles of geomorphology*, Second. New York, USA: John Wiley and Sons, Inc, 1968.
- [17] S. P. Schilling, "LAHARZ; GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones," 1998.
- [18] R. Kumalawati, *Pengelolaan bencana lahar gunung api merapi*. Yogyakarta: Penerbit Ombak, 2015.
- [19] F. Lavigne, "Lahar hazard micro-zonation and risk assessment in Yogyakarta city, Indonesia," *GeoJournal*, vol. 49, no. 2, pp. 173–183, 1999.
- [20] Kushendratno, E. Sukiyah, N. Sulaksana, Weningsulistri, and Yohadi, "Pemodelan Aliran Lahar Menggunakan Perangkat Lunak LAHARZ Di," pp. 42–46.
- [21] A. Fajriyanto, Armijon, and E. Rahmadi, "Potential Dangers of Earthquake and Strain Analysis in the Sunda Strait Based GPS," *J. Eng.*, vol. 16, 2012.
- [22] C. Dewi, Armijon, and R. Fadly, "Analisis Pembuatan Peta Zona Rawan Bencana Tsunami pada Daerah Pesisir (Studi Lokasi: Pesisir Kota Bandar Lampung)," in *Prosiding Sembistek 2014*, 2015, vol. 1, no. 02, pp. 740–753.
- [23] R. A. de By *et al.*, *Principles of Geographic Information Systems*. Netherlands: The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Hengelosestraat 99, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands, 2000.
- [24] I. Meilano *et al.*, "Slip Rate Estimation of the Lembang Fault West Java from Geodetic Observation," *J. Disaster Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 12–18, 2016.
- [25] Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian 2012, *Kajian Cepat Dampak Erupsi Gunung Merapi 2010 Terhadap Sumberdaya Lahan Pertanian*. 2012.
- [26] Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana, *perka-5-tahun-2011-tentang-penetapan-rencana-aksi-rehabilitasi-dan-rekonstruksi-wilayah-pasca-bencana-erupsi-gunung-merapi-di-provinsi-yogyakarta-&-provinsi-jawa-tengah-thn-2011-2013*. 2011.
- [27] T. M. Lillesand and R. W. Kiefer, *Remote Sensing and Image Interpretation*, Fourth. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1990.

- [28] M. M. Fischer and P. Nijkamp, *Geographic Information Systems, Spatial Modeling, and Policy Evaluations*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993.
- [29] M. N. DeMers, *Fundamentals of GIS*. John Wiley & Sons, Inc, 2010.
- [30] V. M. Law and W. D. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, Third. .
- [31] MREP, *Spatial Analyst: Marine Resource Evaluation and Planning Project*. Jakarta: MREP, 1998.
- [32] Sidarto, *Perkembangan Teknologi Penginderaan Jauh dan Pemanfaatannya Untuk Geologi di Indonesia*, Suwiyanto; Bandung: Badan Geologi KESDM, 2013.
- [33] M. Alzwar, H. Samodra, and J. J. Tarigan, *Pengantar Dasar Ilmu Gunungapi*. Bandung: Bandung: Nova, 1998.

ANALISIS KERENTANAN KAWASAN PERMUKIMAN TERHADAP BENCANA BANJIR (STUDI KASUS: KOTA PALEMBANG)

Mona Foralisa Toyfur¹, Hanafiah^{2,*}

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jalan Srijayanegara
Palembang

*Email: monaforalisatoyfur@ft.unsri.ac.id

Abstract: *Flood is one of the natural disasters that often occurs in Palembang. Disaster risk assessment is an important thing to do to reduce the impact of disasters. One of the stages in disaster risk assessment is vulnerability analysis. The research was carried out by identifying vulnerability indicators, field observations and analyzing vulnerabilities. The method used is a combination of BNPB and Sub-DAS methods. The results obtained are a moderate level of vulnerability for the study area with a value of 0.45.*

Keywords: *vulnerability, housing, disaster, flood, risk management*

Abstrak: Banjir merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Kota Palembang. Penilaian risiko bencana merupakan hal yang penting dilakukan untuk mengurangi dampak bencana. Salah satu tahap dalam penilaian risiko bencana adalah analisis kerentanan. Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan identifikasi indikator kerentanan, observasi lapangan dan melakukan analisis terhadap kerentanan. Metode yang digunakan untuk melakukan identifikasi indikator kerentanan adalah gabungan antara metode BNPB dan Sub-DAS. Hasil yang didapatkan adalah tingkat kerentanan sedang untuk kawasan studi dengan nilai 0,45.

Kata kunci: kerentanan, permukiman, bencana, banjir, manajemen risiko

I. PENDAHULUAN

Kota Palembang pada umumnya merupakan dataran rendah dengan ketinggian rata-rata 4 – 12 meter di atas permukaan air laut, dengan komposisi: 48% tanah dataran yang tidak tergenang air, 15% tanah tergenang secara musiman, dan 35% tanah tergenang terus menerus sepanjang musim (Pokja Sanitasi Kota Palembang, 2010). Perkembangan pembangunan di kota-kota besar di Indonesia dapat menimbulkan permasalahan seperti menyebabkan menurunnya daya tampung lahan sehingga menimbulkan salah satu efek negatif yaitu terjadinya bencana banjir. Manajemen risiko bencana merupakan hal yang penting dilakukan untuk mengurangi dampak yang mungkin diakibatkan oleh kejadian bencana. Salah satu tahap yang harus dilakukan untuk melakukan manajemen risiko bencana adalah melakukan analisis kerentanan. Analisis kerentanan merupakan tahap awal dari siklus manajemen risiko bencana. Kerentanan akan sangat berpengaruh terhadap risiko bencana yang akan terjadi. Semakin rentan suatu komunitas atau bangunan terhadap satu bencana, maka dampak yang akan diakibatkan akan semakin parah.

Kawasan di Kota Palembang yang berpotensi dilanda bencana banjir terletak di wilayah yang terdapat di Kelurahan Talang Aman, Kecamatan Kemuning, dan Kelurahan 9 Ilir, Kecamatan Ilir Timur III, Palembang. Kawasan ini dilanda banjir setiap tahun dengan ketinggian genangan yang berkisar Kerentanan merupakan karakteristik dan kondisi sebuah komunitas, sistem atau aset yang membuatnya cenderung terkena dampak merusak yang diakibatkan ancaman bahaya.

II. TINJAUAN PUSTAKA DAN METODOLOGI PENELITIAN

Berikut diuraikan metode yang digunakan dalam menganalisis kerentanan dan metodologi penelitian .

2.1 Metode untuk menghitung kerentanan

Kerentanan meliputi beberapa aspek, yaitu aspek sosial, aspek ekonomi, aspek fisik, dan aspek lingkungan. Metode yang digunakan untuk menjadi acuan indikator kerentanan terhadap bencana banjir yaitu: Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana (Perka BNPB) No. 2 Tahun 2012 [1] dan metoda skala sub-DAS dan DAS [2,3].

Menurut Perka BNPB No. 2 Tahun 2012 untuk mendapatkan indeks kerentanan banjir dirumuskan sebagai berikut:

$$VHB = (0,4 \times VS) + (0,25 \times VE) + (0,25 \times VF) + (0,1 \times VL) \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- VHB : Kerentanan Ancaman Banjir
- VS : Kerentanan Sosial
- VE : Kerentanan Ekonomi
- VF : Kerentanan Fisik
- VL : Kerentanan Lingkungan

Connor dan Hiroki [2] merumuskan sebuah indeks kerentanan bencana banjir dengan merangkum beberapa faktor yang mempengaruhi yang terdiri atas empat komponen diantaranya adalah meteorologi, hidrologi, sosio-ekonomi, dan penanggulangan. Metodologi indeks kerentanan banjir untuk skala sub-DAS awalnya dikembangkan dengan menggunakan 71 indikator, akan tetapi hanya 28 indikator yang dipilih untuk persamaan indeks kerentanan banjir untuk sub-DAS. Sedangkan metodologi indeks kerentanan banjir untuk skala DAS awalnya menggunakan 58 indikator yang telah dipertimbangkan untuk skala geografis, namun hanya 26 indikator digunakan untuk mengembangkan persamaan indeks kerentanan banjir untuk DAS.

Penyebab banjir [4] diakibatkan oleh faktor alam dan faktor manusia. Factor alam dapat disebabkan oleh pengaruh air pasang, curah hujan/intensitas yang tinggi, pengaruh fisiografi, erosi dan sedimentasi, menurunnya kapasitas sungai. Factor manusia dapat disebabkan oleh penurunan fungsi DAS (daerah aliran sungai), kawasan kumuh, sampah, bending dan bangunan lain, kerusakan bangunan pengendali banjir, dan perencanaan system pengendali banjir yang tidak tepat.

2.2 Metodologi Penelitian

2.2.1 Identifikasi Indikator

Identifikasi indikator yang digunakan mengacu pada indikator yang terdapat pada Perka BNPB Nomor 2 Tahun 2012, Metode Skala Sub-DAS, serta beberapa penelitian terdahulu yang dinilai memiliki korelasi dengan penelitian ini.

Tabel 1. Indikator yang Digunakan

Jenis Kerentanan	Indikator
Sosial	Kepadatan penduduk Rasio jenis kelamin Rasio orang cacat (individu disabilitas) Rasio ketergantungan (kelompok umur)
Ekonomi	Pendapatan masyarakat (rasio kemiskinan)
Fisik	Jenis bangunan rumah Topografi wilayah
Lingkungan	Kondisi lingkungan Curah hujan

2.2.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan pada Kelurahan Talang Aman, Kecamatan Kemuning dan Kelurahan 9 Ilir, Kecamatan Ilir Timur III, Palembang. Sampel diambil pada 70 KK (Kepala Keluarga) di Kelurahan Talang Aman, Kecamatan Kemuning, dan 80 KK pada Kelurahan 9 Ilir, Kecamatan Ilir Timur III. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 (a) dan 1 (b).

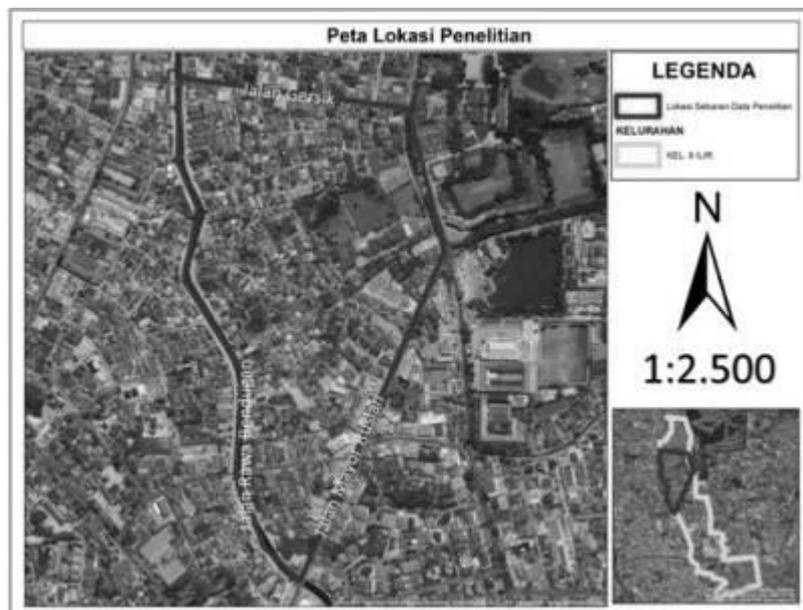
Data yang dikumpulkan dalam menunjang penelitian dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

- a. Data primer merupakan data hasil survei, yaitu data yang diperoleh dengan pengamatan langsung ke lokasi penelitian dan melalui wawancara pada responden di wilayah sampel yang telah ditentukan. Data primer yang didapatkan, antara lain; data

- perbandingan jenis kelamin, data usia rentan penduduk, data orang cacat, data pendapatan masyarakat, dan jenis bangunan rumah.
- b. Data sekunder merupakan data pendukung berupa data administrasi wilayah kelurahan, data kepadatan penduduk, data curah hujan, dan kenampakan fisik lingkungan, seperti: kondisi jaringan drainase.



Gambar 1 (a) Lokasi Penelitian di Kelurahan Talang Aman, Kecamatan Kemuning



Gambar 1 (b) Lokasi Penelitian di Kelurahan 9 Ilir, Kecamatan Ilir Timur III

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini adalah tingkat kerentanan dari aspek kerentanan fisik, sosial, ekonomi dan lingkungan. Beberapa indikator disesuaikan dengan data yang dapat dikumpulkan di lapangan. Aspek kerentanan lingkungan menggunakan metoda BNPB tidak dapat digunakan disebabkan tidak adanya data yang dibutuhkan yaitu lingkungan berupa hutan lindung, hutan alam, hutan bakau/mangrove, semak belukar dan rawa.

3.1 3.1 Kerentanan Sosial

Kerentanan sosial dinilai dari kepadatan penduduk, rasio jenis kelamin, rasio disabilitas, dan rasio ketergantungan kelompok umur.

Tabel 2. Kerentanan Sosial

Indikator	Kategori	Skor
Kepadatan Penduduk	Tinggi	1,00
Rasio Jenis Kelamin	Tinggi	1,00
Rasio Individu Disabilitas	Rendah	0,33
Rasio Ketergantungan	Sedang	0,66

Berdasarkan persamaan:

$$VS = \left[0,6 \times \frac{\log\left[\frac{KP}{0,01}\right]}{\log\left[\frac{100}{0,01}\right]} \right] + (0,1 \times RJK) + (0,1 \times RD) + (0,1 \times RK) \dots (2)$$

Didapatkan kerentanan sosial = 0,7. Berdasarkan klasifikasi Perka BNPB No 2/2012 kerentanan sosial tersebut digolongkan dalam kategori tinggi.

3.2 Kerentanan Ekonomi

Kerentanan ekonomi dinilai dari sampel pendapatan penduduk yang berada pada lokasi penelitian.

Tabel 3. Kerentanan Sosial

Indikator	Kategori	Skor
Rasio Kemiskinan	Tinggi	1,00

Kerentanan ekonomi pada Perka BNPB No 2/2012 dinilai dari parameter lahan produktif dan PDRB (Produk Domestik Regional Bruto). Penilaian kerentanan ini disesuaikan dengan ketersediaan data dan ruang lingkup penelitian. Lingkup penelitian yang hanya mencakup kelurahan menyebabkan parameter PDRB kemudian disesuaikan dengan *proxy indicator* yaitu pendapatan masyarakat pada lokasi studi. Hal ini dinyatakan dalam penelitian kerentanan masyarakat [5,6]

3.3 Kerentanan Fisik

Tabel 4. Kerentanan Fisik

Indikator	Kategori	Skor
Jenis Bangunan Rumah	Sedang	0,66

$VF = 0,4 \times 0,66 = 0,264$ termasuk dalam kategori rendah.

Rumah penduduk yang berada pada kawasan studi termasuk dalam kategori kerentanan rendah menurut Perka BNPB No 2/2012. Jenis bangunan rumah hanya dinilai dari jenis rumah permanen, semi-permanen dan non-permanen. Indikator ini perlu dikaji lebih lanjut, karena jenis rumah permanen, semi-permanen, dan non permanen tidak memperlihatkan kerentanan secara langsung terhadap banjir. Hal lain yang perlu ditinjau adalah perbedaan lantai dasar rumah terhadap level permukaan jalan yang berada di kawasan tersebut. Berdasarkan hasil penelitian didapat bahwa dengan ketinggian banjir rata-rata tahunan 57,21 cm maka akan ada 56,25% rumah penduduk yang tergenang. Apabila terjadi banjir maksimum dengan ketinggian 80 cm maka akan ada 98,75% rumah penduduk yang akan tergenang. Hal ini memperlihatkan bahwa konstruksi rumah dengan jenis permanen tetapi dengan ketinggian lantai dasar yang lebih rendah dari permukaan jalan, akan tetap terjadi kerentanan terhadap bencana banjir.

Nilai kerentanan total dapat dinilai dari Persamaan (1) didapatkan nilai 0,45 dengan penyesuaian terhadap kerentanan lingkungan. Kategori untuk nilai 0,45 adalah termasuk kategori sedang.

3.4 Rekomendasi Strategi yang Dapat Dilakukan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan maka, dapat direkomendasikan mitigasi struktural dan non-struktural untuk mengurangi tingkat kerentanan. Rekomendasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekomendasi Mitigasi

Aspek	Rencana (Mitigasi)	Tipe
Sosial	Melakukan sosialisasi atau simulasi terhadap bencana banjir. Sosialisasi atau simulasi mengenai tindakan yang harus dilakukan dalam menghadapi bencana banjir dilakukan pemerintah ke wilayah terjadi banjir dan juga memberikan pengetahuan atau pendidikan mengenai kebencanaan pada kurikulum pendidikan untuk pemahaman bencana sejak dini. Pada sosialisasi tersebut disampaikan pentingnya mitigasi risiko bila terjadinya bencana banjir serta perlunya memahami langkah-langkah penyelamatan ketika terjadi bencana banjir. Sehingga menimbulkan kesadaran pada masyarakat untuk lebih siap tanggap untuk mengatasi bencana banjir.	Non struktural

Aspek	Rencana (Mitigasi)	Tipe
Ekonomi	Membangun suatu Lembaga Keuangan Mikro (LKM). Pembangunan suatu Lembaga Keuangan Mikro (LKM) untuk mengatasi kendala perekonomian masyarakat berpendapatan menengah ke bawah. Lembaga Keuangan Mikro (LKM) adalah lembaga keuangan yang didirikan untuk memberikan jasa pengembangan usaha serta pemberdayaan masyarakat, baik melalui pinjaman dan pengelolaan simpanan. Semakin tinggi pendapatan masyarakat pada suatu wilayah, maka dapat mengatasi kerentanan pada wilayah tersebut.	Non struktural

IV. KESIMPULAN

Kerentanan wilayah Kelurahan Talang Aman Kecamatan Kemuning dan Kelurahan 9 Ilir, Kecamatan Ilir Timur III, Kota Palembang termasuk dalam kategori sedang terhadap bencana banjir untuk ketinggian banjir rata-rata ± 57 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana No 2. (2012).
- [2] Connor, R.F, Hiroki, K. (2005). Development of Method for Assessing Flood Vulnerability. *Water Science and Technology*, 51(5): 61-67.
- [3] Balica, S.F. (2012). Applying The Flood Vulnerability Index as A Knowledge Base for Flood Risk Assessment. *Thesis*, Science in Hydraulic Engineering and River Basin Management, UNESCO-IHE, Delft: Netherlands.
- [4] Kodoatie, R., Sugiyanto. (2002). *Banjir Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- [5] Danianti, R.P., Sarifuddin. (2015). Tingkat Kerentanan Masyarakat terhadap Bencana Banjir di Perumnas Tlogosari, Kota Semarang. *Jurnal Pengembangan Kota*, 3(2): 90-99
- [6] Erwin, R (2018). Kajian Kerentanan Bencana Banjir Bandang di Gampong Beuruenut Kecamatan Seulimum Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, 1(4): 961-970.

FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KEPUTUSAN MASYARAKAT TETAP BERMUKIM DI KAWASAN RAWAN BENCANA BANJIR (STUDI KASUS: KALIBALAU KENCANA, KOTA BANDAR LAMPUNG)

Citra Persada^{1,*}, Maymuni Nur Shabrina², Dwi Bayu Prasetya²

¹Program Studi Arsitektur, Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

²Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Jurusan Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera.

*Email: citra.persada@eng.unila.ac.id

ABSTRAK: Kota Bandar Lampung dialiri 2 sungai besar dan 23 sungai kecil, dimana pada musim hujan seringkali tidak mampu menampung debit air, sehingga rawan banjir. Pada kurun waktu 5 tahun terakhir Kelurahan Kalibalau Kencana menjadi salah satu lokasi yang sering terkena bencana banjir dengan 139 KK terkena dampaknya, namun demikian masyarakat tetap memilih untuk tidak meninggalkan tempat tinggalnya. Fenomena tetap bermukimnya masyarakat membuat peneliti ingin mengetahui faktor-faktor apa saja yang menjadi dasar pertimbangan masyarakat untuk tetap bermukim di kawasan rawan bencana banjir. Tiga sasaran untuk menjawab tujuan ini adalah 1) mengetahui karakteristik bencana banjir di Kelurahan Kalibalau Kencana; 2) menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi keputusan masyarakat tetap bermukim; 3) mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi keputusan masyarakat tetap bermukim di kawasan rawan bencana banjir. Metode analisis yang digunakan dalam ialah analisis statistik deskriptif dan analisis regresi logistik biner. Hasil analisis yang didapat menunjukkan bahwa banjir yang terjadi di Kelurahan Kalibalau Kencana merupakan banjir yang terjadi disebabkan oleh hujan yang lama dengan intensitas rendah, frekuensi banjir terjadi 1-3 kali dalam setahun dengan kedalaman 50-150cm; ada 13 faktor yang terpilih menjadi faktor tetap bermukim; faktor keputusan masyarakat dengan keinginan tetap bermukim memiliki nilai pengaruh sebesar 16,1% dengan nilai probabilitas sebesar 0,786. Variabel yang berpengaruh ialah kepemilikan rumah, lokasi pekerjaan dan jenis rumah. Variabel-variabel tersebut dapat diinterpretasikan sebagai berikut rumah merupakan tempat tinggal yang mana apabila rumah tersebut rumah pribadi seseorang memiliki keleluasaan untuk membangun maupun memperbaiki tempat tinggal dengan menggunakan bahan bangunan yang tidak mudah rusak dan digerus oleh banjir. Responden lebih memilih mencari tempat tinggal yang dengan tempat kerjanya dibandingkan harus tinggal ditempat yang jauh dari lokasi pekerjaannya dengan mempertimbangkan waktu dan jarak yang harus ditemputnya.

Kata Kunci: *Banjir, Kota, Kalibalau Kencana, faktor tetap bermukim*

I. PENDAHULUAN

Kota Bandar Lampung merupakan kota yang memiliki 2 sungai besar yaitu Way Kuripan dan Way Kuala dan 23 sungai-sungai kecil yang bermuara ke Teluk Lampung. Sungai yang melintasi Kota Bandar Lampung adalah sungai yang memiliki debit air yang kecil, sehingga pada musim kemarau cenderung mengering sedangkan pada musim penghujan debit air bertambah (RTRW Kota Bandar Lampung tahun 2010-2031). Kota

Bandar Lampung memiliki potensi bencana banjir akibat dari sistem drainase yang buruk, tersumbatnya gorong-gorong akibat banyaknya sampah, alih fungsi lahan, rusaknya kawasan penyerapan air, kurangnya penghijauan, penyempitan daerah aliran sungai akibat permukiman warga, dan adanya warga yang masih membuang sampah tidak pada tempatnya (Bunawa et al, 2018).

Berdasarkan Data BPBD Kota Bandar Lampung tahun 2018, pada kurun waktu 5 tahun terakhir Kelurahan Kalibalau Kencana menjadi salah satu lokasi yang sering terkena bencana banjir dengan 139 KK terkena dampaknya. Namun demikian, masyarakat tetap memilih untuk tidak meninggalkan tempat tinggalnya, dengan alasan banjir tidak terjadi dalam waktu yang lama. Menurut Himbawan (2010), hal pertama yang menjadi alasan tetap bermukimnya masyarakat di kawasan rawan bencana banjir ialah masyarakat mampu mengatasi kerawanan terhadap bencana tersebut sehingga mereka tetap bertahan dan bermukim. Hal kedua karena berkaitan dengan faktor-faktor yang melekat pada masing-masing individu. Fenomena tetap bermukimnya masyarakat membuat peneliti ingin mengetahui faktor-faktor apa saja yang menjadi dasar pertimbangan seseorang untuk tetap bermukim di kawasan rawan bencana banjir.

II. MATERIAL DAN METODE

2.1 Alat dan Bahan

Instrumen yang digunakan berupa lembar observasi lapangan dan kuesioner. Lembar observasi digunakan pada saat observasi lapangan yang bertujuan agar peneliti memperoleh fakta dari wilayah studi untuk melengkapi data yang tidak diperoleh dari telaah dokumen. Kuesioner digunakan untuk memperoleh informasi dalam rangka pencapaian sasaran.

2.2 Metode Penelitian

2.2.1 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan Data terdiri dari pengumpulan data sekunder dan data primer. Informasi data sekunder yang digunakan berupa Dokumen RTRW Kota Bandar Lampung 2010-2023 dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kota Bandar Lampung, Kota Bandar Lampung dalam Angka dan Kecamatan Kedamaian dalam Angka dari Badan Pusat Statistik Kota Bandar Lampung, Data Kejadian Bencana Kota Bandar Lampung 2011-2018 dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Bandar Lampung, serta dari beberapa jurnal dan peta sebagainya. Pengumpulan data primer dilakukan dengan cara melakukan tinjauan dan pengumpulan data secara langsung di Kelurahan Kalibalau Kencana Kecamatan Kedamaian Kota Bandar Lampung.

Teknik pengambilan sampel yang digunakan ialah teknik *stratified random sampling*, dimana pengambilan sampel dengan membagi populasi menjadi beberapa kelompok sesuai dengan klasifikasinya dengan mendasarkan diri pada relevansi, kebutuhan dan keselarasan dengan tujuan studi. Kriteria pengambilan populasi tersebut adalah: (a) Kelurahan yang akan dilakukan survei merupakan daerah yang sering terjadi banjir, dan berpotensi menggenangi rumah warga, (b) Responden adalah warga Kelurahan Kalibalau Kencana, (c) Responden merupakan warga yang terkena bencana banjir dan sudah di data oleh Badan Penganggulangan Bencana Daerah Kota Bandar Lampung tahun 2016.

Penentuan jumlah sampel yang digunakan menggunakan metode *Slovin*, dengan mempertimbangkan eror sampel sebesar 5% maka didapatkan jumlah sampel yang diambil di Kelurahan Kalibalau Kencana, Kecamatan Kedamaian Kota Bandar Lampung sebanyak 104 Kepala Keluarga.

2.2.2 Metode Analisis

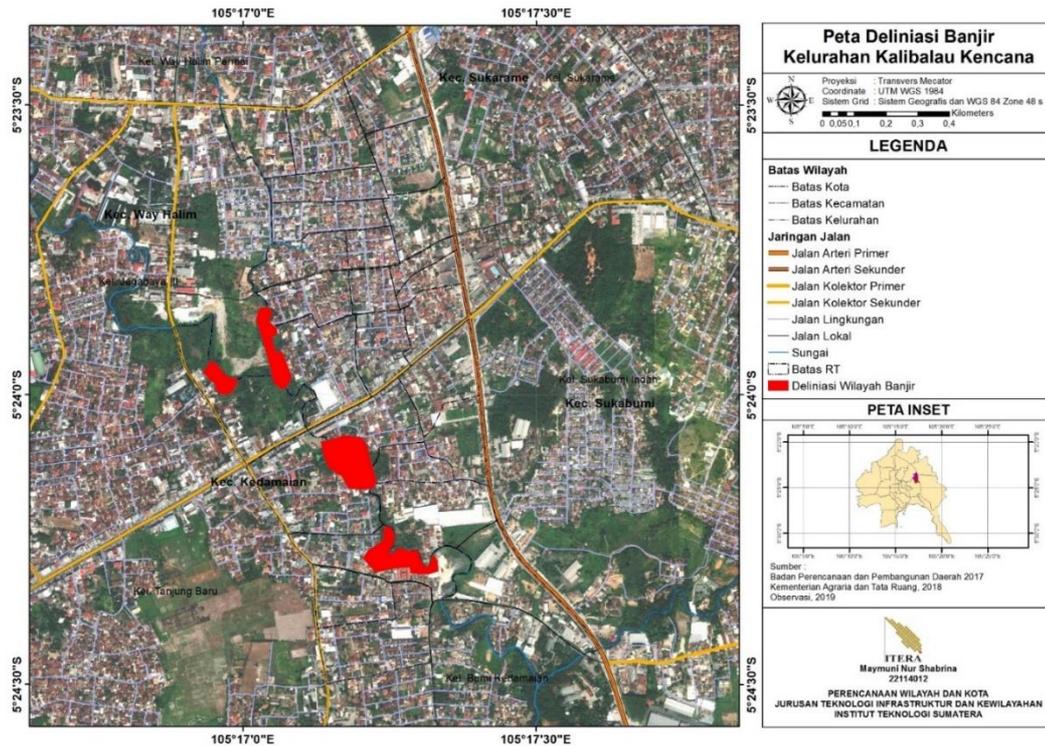
Metode analisis yang digunakan ialah metode kuantitatif yang menggunakan data penelitian berupa angka dan analisis statistik. Metode ini termasuk sebagai metode ilmiah karena telah memenuhi kaidah-kaidah ilmiah yang terukur, kongkrit dan sistematis (Sugiyono, 2014). Analisis yang digunakan dalam mencapai sasaran dan tujuan sebagai berikut: (a) **Analisis Statistik Deskriptif**: Analisis statistik deskriptif adalah analisis yang digunakan untuk menggambarkan atau mendeskripsikan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa membuat kesimpulan yang bersifat umum atau generalisasi (Sugiyono, 2014). Sasaran pertama berupa teridentifikasinya karakteristik banjir di wilayah studi. Karakteristik yang dimaksud berupa intensitas frekuensi banjir dalam setahun, tinggi genangan dan lama genangan. Sasaran ke dua ialah teridentifikasinya faktor –faktor yang mempengaruhi keputusan masyarakat untuk tetap bermukim di kawasan rawan banjir. Data-data yang diperoleh akan disajikan dalam bentuk tabulasi, chart, maupun grafik sehingga mempermudah dalam membaca data. (b) **Analisis Regresi Logistik Biner**. Analisis regresi dalam ilmu statistik merupakan salah satu metode yang digunakan dalam menentukan suatu hubungan sebab akibat (hubungan kausal) yang termasuk ke dalam bentuk rumusan masalah dalam penelitian assosiatif. Rumusan masalah assosiatif menurut Sugiyono (2014) merupakan rumusan masalah penelitian yang sifatnya mempertanyakan suatu hubungan di antara dua atau lebih variabel. Regresi logistik dalam penelitian ini termasuk ke dalam kelompok analisis regresi berganda.

Setelah melakukan penilaian model di atas, maka dilakukan interpretasi dengan *wald test* dan *odds ratio Exp (B)*. Penjelasan teknik analisis data di atas merupakan penjelasan untuk menjawab sasaran ketiga. Sasaran ketiga, yaitu mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi keputusan masyarakat tetap bermukim terhadap keinginan masyarakat tetap bermukim di lokasi rawan banjir. Pada bagian sasaran ini, jawaban sasaran didapatkan dengan pengumpulan data primer berupa kuesioner pada masyarakat Kelurahan Kalibalau Kencana seperti yang dijelaskan sebelumnya. Hasil kuesioner tersebut selanjutnya diinput ke dalam *software SPSS* yang kemudian dianalisis menggunakan teknik analisis regresi logistik biner untuk memperoleh informasi yang faktual, logis dan dapat dimengerti mengenai seberapa signifikan pengaruh pembangunan kampus.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Banjir Kelurahan Kalibalau Kencana

Karakteristik banjir di Kelurahan Kalibalau Kencana Kota Bandar Lampung dari frekuensi kejadian banjir dapat terjadi antara dua sampai tiga kali dalam setahun yang bersifat musiman, terutama pada saat-saat musim penghujan. Penyebab terjadinya banjir di Kelurahan Kalibalau Kencana ialah air kiriman dari daerah lain, pendangkalan sungai dan sampah. Dilihat dari karakteristik penyebab terjadinya, banjir di Kelurahan Kalibalau Kencana Kecamatan Kedamaian Kota Bandar Lampung terjadi karena hujan yang lama dengan intensitas hujan yang tinggi dalam beberapa jam dan meluapnya air sungai Way Balau yang tidak mampu menampung debit air sehingga menyebabkan genangan banjir.



GAMBAR 3. 1 Persebaran Lokasi Banjir Kelurahan Kalibalau Kencana, Kecamatan Kedamaian, Kota Bandar Lampung

Berdasarkan gambar 3.1 wilayah RT 02 LK I dan RT 03 LK I mengalami dampak paling parah bila terjadi banjir. Hal ini dikarenakan pada RT 02 LK I terdapat pertemuan dua aliran sungai dan belum dibangunnya talud disepanjang sungai, sedangkan pada RT 03 LK I diakibatkan oleh banyaknya belokan pada aliran sungai sehingga berdampak pada arus sungai apabila terjadi banjir. Sedangkan wilayah RT 01 LK I, RT 10 LK III dan RT 03 LK II yang mengalami genangan yang paling rendah diakibatkan oleh jarak permukiman penduduk agak jauh dengan sungai Way Balau serta sungai yang sudah ditalud. Lama genangan banjir yang terjadi di Kelurahan Kalibalau Kencana bergantung dengan durasi hujan dan curah hujan, apabila hujan sudah berhenti kemungkinan waktu surut banjir berkisar 1 sampai 3 jam bahkan lebih di beberapa lokasi lainnya.

3.2 Sintesa Penelitian

Sintesa penelitian merupakan tahap akhir dalam penentuan faktor-faktor yang digunakan untuk menganalisis yang menggunakan metode skoring/pembobotan. Pensintesaan faktor dan subfaktor terdiri dari tiga tahap yaitu tahap identifikasi, tahap verifikasi dan tahap penetapan faktor dan sub faktor.

3.3 Identifikasi Faktor

Tahap identifikasi faktor akan dilakukan penstrukturan dari hasil pengelompokan faktor yang telah dilakukan sebelumnya. Dalam penelitian ini, yang akan dijadikan faktor untuk dianalisis lebih lanjut dan menjadi fokus penelitian adalah bagian subfaktor dari berbagai literatur yang ada. Identifikasi faktor akan disesuaikan dengan karakteristik lokasi wilayah studi. Hasil identifikasi sub faktor dijelaskan pada Tabel 1 Lampiran.

3.4 Proses Verifikasi Faktor

Dengan mempertimbangkan gabungan dari seluruh faktor yang dikaji, maka terpilih beberapa sub faktor yang akan digunakan dalam penelitian. Faktor yang telah teridentifikasi memiliki kemungkinan kesamaan antar sub-faktor perlu dilakukan verifikasi sub faktor yang terpilih hanya yang sesuai saja. Selain itu pemilihan sub faktor didasarkan pada jumlah sub faktor yang sering muncul pada lima sumber penelitian yang dikaji. Diperoleh 13 sub faktor yang terpilih dan digunakan dalam menganalisis tetap bermukimnya masyarakat di kawasan rawan banjir Kelurahan Kalibalau Kencana, Kecamatan Kedamaian: tingkat pendidikan, ikatan sosial, interaksi sosial, lama tinggal, kepemilikan lahan, status hunian, tingkat pendapatan, mata pencaharian, lokasi pekerjaan, jenis rumah, bentuk rumah, jarak rumah dan sungai, serta program pemerintah di kawasan rawan banjir.

3.5 Penentuan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Keputusan Masyarakat Tetap Bermukim

Hasil dari tahapan identifikasi sampai verifikasi pada sub-faktor ialah terpilihnya 13 sub-faktor yang dapat digunakan sebagai pedoman analisis keputusan masyarakat tetap bermukim di kawasan rawan bencana banjir. Dari 13 sub-faktor yang telah dipilih akan dibentuk pula faktor yang dibentuk berdasarkan kesamaan kriteria sub-faktor yaitu (1) faktor sosial yang meliputi: tingkat pendidikan, ikatan sosial, interaksi sosial, lama tinggal; (2) faktor ekonomi yang meliputi: mata pencaharian, tingkat pendapatan dan lokasi pekerjaan; (3) faktor fisik yang meliputi: jenis rumah, bentuk rumah dan jarak rumah dengan sungai; (4) faktor kebijakan yaitu ada tidaknya program pemerintah menangani banjir.

Faktor yang Mempengaruhi Keputusan Tetap Bermukim di Kawasan Rawan Bencana Banjir

Dalam menentukan faktor yang mempengaruhi masyarakat tetap bermukim menggunakan analisis regresi logistik biner. Regresi logistik adalah sebuah pendekatan untuk membuat model prediksi seperti regresi linear, dengan perbedaannya berupa memprediksi variabel terikat yang berskala dikotomi. Analisis dilakukan dengan metode *backwash stepwise*

(*continue*) dengan cara memasukkan variabel bebas secara keseluruhan kemudian mengeliminasi satu persatu hingga tersisa prediktor yang signifikan saja. Output *Case Processing Summary* menjelaskan bahwa seluruh kasus atau case teramati semua sebanyak 104 sampel, artinya tidak ada sampel yang hilang/*missing* dalam penelitian ini.

Sementara ketika variabel independen sudah diinput ke dalam model, hasil analisis menunjukkan bahwa model FIT dengan data. Nilai *Chi Square* bagian ini yaitu pada $\alpha = 0,05$ dan *degree of freedom* (*df*) = N-jumlah variabel independen-1 = $104 - 20 - 1 = 83$ adalah 105,2672. Model dikatakan FIT karena nilai $-2 \text{ Log Likelihood}$ (90,824) < nilai *Chi Square* tabel (105,2672). Berdasarkan Nilai Chi Model FIT ini menunjukkan bahwa ada pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat, dimana terdapat pengaruh beberapa faktor dengan keinginan tetap bermukim masyarakat di kawasan rawan bencana banjir. Selanjutnya hasil Omnibus Test digunakan untuk melakukan uji overall. Pengambilan keputusan dilakukan dengan uji hipotesis.

1. Hipotesis:
 - a. H_0 : Tidak ada variabel yang mempengaruhi Keputusan Masyarakat yang signifikan mempengaruhi variabel Keinginan Tetap Bermukim
 - b. H_1 : Minimal ada satu variabel yang mempengaruhi Keputusan Masyarakat yang signifikan mempengaruhi variabel Keinginan Tetap Bermukim
2. Dasar Pengambilan Keputusan:
 - a. Sig. < 0,05 maka H_0 ditolak
 - b. Sig. > 0,05 maka H_0 diterima

Diperoleh nilai *Chi Square* sebesar 17,321. Hasil uji ini menunjukkan nilai *Chi Square Omnibus Test* (11,002) < nilai *Chi Square* tabel pada *df* 3 (7,8147). Kemudian nilai Sig. dari *omnibus test* menunjukkan nilai Sig. (0,012) < nilai *alpha* (0,05). Maka H_0 diterima yang artinya minimal ada variabel yang mempengaruhi keputusan masyarakat (independen) yang signifikan mempengaruhi variabel keinginan tetap bermukim (dependen). Kedua hal tersebut menunjukkan bahwa pengurangan variabel independen dapat memberikan pengaruh nyata terhadap model yang dinyatakan dengan model FIT, sehingga analisis dapat dilanjutkan.

1. Hosmer and Lemeshow Test

Uji Hosmer and Lemeshow Test digunakan untuk menguji secara statistik apakah ada atau tidak perbedaan yang signifikan antara model dengan nilai observasi. Penjelasan kelayakan model dalam menjelaskan

data, dijelaskan melalui nilai Chi Square dari Hosmer and Lemeshow Test. Dimana nilai Chi Square dari Hosmer and Lemeshow Test (2,079) < nilai Chi Square tabel pada df 4 (9,4877). Kemudian nilai Sig. (0,721) > nilai alpha (0,05). Berdasarkan uji Hosmer and Lemeshow ini diartikan bahwa model telah cukup menjelaskan data (*Goodness of fit*) dengan kata lain bahwa faktor keputusan masyarakat tetap bermukim berpengaruh terhadap keinginan tetap bermukim.

2. Pseudo R Square (Nagelkerke R Square)

Kemampuan suatu variabel independen dalam menjelaskan variabel dependennya dapat dijelaskan menggunakan nilai Cox & Snell R Square dan Nagelkerke R Square. Nilai Nagelkerke R Square merupakan modifikasi dari koefisien Cox & Snell R Square untuk memastikan bahwa nilai bervariasi dari 0 – 1, dimana nilainya dapat diinterpretasikan seperti nilai R^2 pada regresi berganda. Pada hasil analisis, nilai Nagelkerke R Square sebesar 0,100 dan nilai Cox & Snell R Square sebesar 0,161, dimana nilai-nilai tersebut menjelaskan bahwa keputusan masyarakat tetap bermukim berpengaruh terhadap keinginan tetap bermukim 10%. Hal ini juga menjelaskan bahwa pengaruh faktor keputusan masyarakat tetap bermukim berpengaruh terhadap keinginan tetap bermukim sebesar 10%, dimana sisanya yaitu 90% dipengaruhi oleh variabel lain yang berada di luar model atau di luar variabel independen yang digunakan pada penelitian ini.

Interpretasi model analisis regresi logistik biner ini didasarkan pada besarnya nilai Odds Ratio atau nilai Exp (B) pada hasil output SPSS. Nilai tersebut menunjukkan adanya variabel bebas yang memiliki pengaruh parsial yang signifikan terhadap variabel terikat. Kemudian untuk persamaan rumus regresi dapat ditentukan dengan memperhatikan nilai pada kolom B. Selain faktor yang mempengaruhi secara parsial dan penentuan persamaan, hasil analisis juga dapat menjelaskan interpretasi peluang responden lain di luar responden penelitian. Interpretasi peluang dapat diketahui melalui penurunan rumus dari penentuan rumus hasil analisis. Ketiga hal tersebut dapat dijelaskan dengan memperhatikan nilai-nilai yang ada pada Tabel III.1.

TABEL III.1. HASIL ANALISIS VARIABLE IN THE EQUATION

Variables in the Equation

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
							Lower	Upper
Step 11 ^a								
Kepemilikan_Rumah	-,584	,292	4,009	1	,045	,558	,315	,988
Lokasi_Pekerjaan	1,093	,614	3,175	1	,075	2,985	,896	9,938
Jenis_Rumah	19,378	10918,993	,000	1	,999	260402489,955	,000	.
Constant	-18,585	10918,993	,000	1	,999	,000		

a. Variable(s) entered on step 1: Pendidikan, Kepemilikan_Rumah, Kepemilikan_Lahan, Lama_Tinggal, Hubungan_Sosial, Hubungan_Kekerabatan, Pekerjaan, Pendapatan, Lokasi_Pekerjaan, Jenis_Rumah, Bentuk_Rumah, JarakRumahdenganSungai, ProgramPemerintah.

Sumber: *Peneliti, 2019*

Hal yang perlu diperhatikan dari *output* analisis pada tabel III.1, sebagai berikut:

1. Pemilihan Variabel Terbaik yang Mempengaruhi secara Parsial
Penyajian hasil analisis pada **Tabel III.1** menunjukkan variabel independen pada bagian *method = backward stepwise (conditional)* yang harus diperhatikan adalah nilai (Sig.) < 0,05. Nilai Sig. variabel kepemilikan rumah sebesar 0,045 < 0,05. Dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan kepemilikan rumah terhadap keinginan tetap bermukim dengan nilai koefisien pengaruh sebesar -0,584. Sedangkan untuk nilai sig. variabel lokasi pekerjaan dan jenis rumah > 0,05, sehingga tidak terdapat pengaruh yang signifikan antar lokasi pekerjaan dan jenis rumah terhadap keinginan tetap bermukim.

Besaran pengaruh variabel ditunjukkan melalui nilai Exp (B) atau *Odds Ratio*. Berdasarkan hasil **Tabel III.1** bisa diinterpretasikan sebagai berikut orang yang memiliki rumah dilokasi rawan banjir memilih untuk tetap tinggal sebanyak 0,588 kali lipat dibandingkan dengan orang yang tidak memiliki rumah; seseorang yang memiliki lokasi pekerjaan di lokasi rawan banjir akan memilih untuk tetap tinggal sebanyak 2,985 kali lipat dibandingkan orang yang bekerja di luar lokasi tempat tinggal; dan seseorang yang memiliki jenis rumah yang permanen akan memilih tetap tinggal dengan nilai sebesar 260.402.489,955 kali lipat dibandingkan dengan orang yang memiliki jenis rumah yang yang tidak permanen. Semakin tinggi nilai kepemilikan rumah, lokasi pekerjaan dan jenis rumah maka probabilitas atau kemungkinan terjadi keinginan tetap bermukim semakin tinggi.

2. Persamaan Model

Penyajian hasil analisis pada **Tabel III.1** pada kolom B menunjukkan bahwa nilai B bernilai positif yang menjelaskan bahwa hubungan kedua variabel independen yang berpengaruh secara parsial terhadap perubahan guna lahan mempunyai hubungan yang

positif. Merujuk pada persamaan logit dibawah ini, sehingga diperoleh persamaan model regresi logistik pada penelitian ini, sebagai berikut:

$$g(x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$$

Keterangan:

$g(x)$: logit

β_0 : Konstanta

$\beta_1 - \beta_p$: Koefisien regresi

$X_1 - X_p$: Variabel Keinginan Tetap Bermukim

Berdasarkan persamaan diatas yang disesuaikan dengan perolehan nilai penyajian data **Tabel III.1**. Nilai konstanta pada kolom B disusun pada persamaan yaitu di bagian β_0 . Nilai koefisien pada kolom B disusun pada persamaan yaitu di bagian β_1 dan β_2 . Variabel independen kepemilikan rumah disusun pada persamaan yaitu di bagian x_1 , variabel independen lokasi pekerjaan disusun pada persamaan yaitu di bagian x_2 , dan variabel jenis rumah disusun pada persamaan yaitu di bagian x_3 . Berdasarkan penyusunan tersebut, maka persamaan model yang didapat, sebagai berikut:

$$g(x) = -18,585 + -0,584 \text{ kepemilikan rumah} + 1,093 \text{ lokasi pekerjaan} + 19,378 \text{ jenis rumah}$$

Keterangan:

$g(x)$: variabel dependen (perubahan penggunaan lahan)

-18,585 : konstanta

-0,584 : koefisien kepemilikan rumah

1,093 : koefisien lokasi pekerjaan

19,378 : koefisien jenis rumah

Kepemilikan Rumah : variabel independen (x_1)

Lokasi Pekerjaan : variabel independen (x_2)

Jenis Rumah : variabel independen (x_3)

Hasil persamaan diatas merupakan model hasil olahan analisis regresi logistik biner yang disesuaikan dari fakta empiris di lapangan. Persamaan tersebut menunjukkan jika peluang terjadinya tetap bermukim. Peluang tersebut dipengaruhi oleh variabel independen berupa kepemilikan rumah, lokasi pekerjaan dan jenis rumah. Koefisien regresi pada umumnya menjelaskan bahwa jika variabel independennya "X" naik sebesar satu satuan maka variabel dependennya "Y" pun naik satu satuan. Koefisien

tersebut lebih berorientasi kepada nilai jumlah. Akan tetapi, koefisien regresi logistik menjelaskan bahwa apabila responden memiliki nilai variabel independen “X” lebih tinggi, maka peluang terjadinya atau peluang mempengaruhi variabel dependen “Y” sebesar nilai Exp (B). Koefisien tersebut lebih berorientasi kepada peluang dibandingkan jumlah kenaikan satu satuan. Jadi semakin tinggi nilai “X” maka semakin tinggi peluang terjadinya suatu peristiwa. Pada penelitian ini, jika nilai kepemilikan rumah, nilai lokasi pekerjaan dan nilai jenis rumah semakin tinggi maka peluang terjadinya suatu peristiwa semakin tinggi.

Penerapannya yaitu dapat dilihat pada kolom *lower* dan *upper* pada **Tabel III.1**. Kolom tersebut menyajikan *range* peluang atau nilai *odds ratio* batas bawah (*lower*) hingga batas atas (*upper*). Sebagai contoh, variabel independen kepemilikan rumah dengan keinginan tetap bermukim memiliki peluang sebesar 0,315 hingga 0,988 kali. Interpretasinya, jika masyarakat memiliki rumah sebesar *range* tersebut maka lebih berpeluang untuk tetap bermukim dibandingkan masyarakat yang tidak memiliki rumah dengan nilai rendah dari *odds ratio* tersebut. Sama halnya dengan variabel independen lokasi pekerjaan dengan keinginan tetap bermukim memiliki peluang 0,896 hingga 9,938 kali. Interpretasinya, jika masyarakat memiliki pekerjaan di dekat tempat tinggalnya sebesar *range* tersebut maka lebih berpeluang untuk tetap bermukim dibandingkan masyarakat yang memiliki pekerjaan di luar tempat tinggalnya maka nilai *odds ratio* lebih rendah dari batas bawah tersebut.

3. Perhitungan Peluang

Persamaan hasil analisis regresi logistik yang telah diperoleh digunakan dalam perhitungan peluang. Perhitungan peluang yang dimaksud merupakan peluang responden di luar responden di dalam penelitian ini. Interpretasinya, jika kampus ingin terjadi adanya perubahan penggunaan lahan di Desa Way Huwi, maka dapat ditentukan peluang terjadinya perubahan penggunaan lahan berdasarkan hasil persamaan yang telah didapat. Penentuan perumusan peluang ini merujuk pada persamaan model regresi logistik, yaitu:

$$g(x) = \ln \left\{ \frac{\pi(x)}{1-\pi(x)} \right\} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$$

$$\ln \left\{ \frac{\pi(x)}{1-\pi(x)} \right\} = -18,585 + -0,584 \text{ kepemilikan rumah} + 1,093 \text{ lokasi pekerjaan} + 19,378 \text{ jenis rumah}$$

Sehingga:

$$\pi(x) = \frac{e^{-18,585 + -0,584 \text{ kepemilikan rumah} + 1,093 \text{ lokasi pekerjaan} + 19,378 \text{ jenis rumah}}}{1 + e^{-18,585 + -0,584 \text{ kepemilikan rumah} + 1,093 \text{ lokasi pekerjaan} + 19,378 \text{ jenis rumah}}}$$

Keterangan:

$\pi(x)$: variabel dependen (perubahan penggunaan lahan)

-18,585 : konstanta

-0,584 : koefisien kepemilikan rumah

1,093 : koefisien lokasi pekerjaan

19,378 : koefisien jenis rumah

Kepemilikan Rumah : variabel independen (x_1)

Lokasi Pekerjaan : variabel independen (x_2)

Jenis Rumah : variabel independen (x_3)

Persamaan tersebut dapat digunakan untuk memodelkan peluang pengaruh keinginan tetap bermukim melalui variabel kepemilikan rumah, lokasi pekerjaan dan jenis rumah. Perhitungan peluang ini berkisar antara 0 – 1. Dimana nilai 0 dinilai tidak terjadi perubahan penggunaan lahan dan nilai 1 dinilai terjadi perubahan penggunaan lahan. Diasumsikan bahwa nilai kepemilikan rumah sebesar 1, nilai lokasi pekerjaan sebesar 1, dan nilai jenis rumah sebesar 1 sehingga peluang yang diperoleh, sebagai berikut:

$$\pi(x) = \frac{e^{-18,585 + -0,584 \text{ kepemilikan rumah} + 1,093 \text{ lokasi pekerjaan} + 19,378 \text{ jenis rumah}}}{1 + e^{-18,585 + -0,584 \text{ kepemilikan rumah} + 1,093 \text{ lokasi pekerjaan} + 19,378 \text{ jenis rumah}}}$$

$$\pi(x) = \frac{e^{-18,585 + -0,584 (1) + 1,093 (1) + 19,378 (1)}}{1 + e^{-18,585 + -0,584 (1) + 1,093 (1) + 19,378 (1)}}$$

$$P = 0,786$$

Berdasarkan hasil tersebut peluang variabel independen kepemilikan rumah, lokasi pekerjaan, dan jenis rumah mempengaruhi variabel dependen berupa keinginan tetap bermukim sebesar 0,798. Nilai peluang semakin mendekati nilai 1 maka peluang tetap bermukimnya masyarakat di kawasan rawan bencana banjir semakin besar. Dari hasil tersebut variabel-variabel tersebut yang dapat dijadikan bahan pertimbangan kedepannya bagi pemerintah untuk dapat menentukan peluang terjadi atau tidaknya perubahan penggunaan lahan di Kelurahan Kalibalau Kencana.

IV. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) karakteristik banjir yang terjadi di Kelurahan Kalibalau Kencana merupakan banjir yang terjadi disebabkan oleh hujan yang lama dengan intensitas rendah, frekuensi banjir terjadi 1-3 kali dalam setahun dengan kedalaman 50-150cm; (2) faktor yang terpilih menjadi faktor tetap bermukim ialah lama tinggal, kepemilikan lahan, status hunian, ikatan sosial, interaksi sosial, tingkat pendidikan, mata pencaharian, tingkat pendapatan, lokasi pekerjaan, jenis rumah, bentuk rumah, jarak rumah dengan sungai dan ada tidaknya program pemerintah dalam menangani banjir; (3) faktor keputusan masyarakat dengan keinginan tetap bermukim memiliki nilai pengaruh sebesar 16,1% dengan nilai probabilitas sebesar 0,786. Variabel yang berpengaruh ialah kepemilikan rumah, lokasi pekerjaan dan jenis rumah. Variabel-variabel tersebut dapat diinterpretasikan sebagai berikut rumah merupakan tempat tinggal yang mana apabila rumah tersebut rumah pribadi seseorang memiliki keleluasaan untuk membangun maupun memperbaiki tempat tinggal dengan menggunakan bahan bangunan yang tidak mudah rusak dan digerus oleh banjir. Responden lebih memilih mencari tempat tinggal yang dengan tempat kerjanya dibandingkan harus tinggal ditempat yang jauh dari lokasi pekerjaannya dengan mempertimbangkan waktu dan jarak yang harus ditempuhnya.

Rekomendasi yang dapat diberikan kepada masyarakat dan pemerintah adalah perlu dilakukan adaptasi dan mitigasi bencana berupa desain rumah panggung dan penggunaan material rumah yang tahan air. Pemerintah bersama masyarakat juga hendaklah menambah area resapan air dan menjaga kebersihan lingkungan agar jika banjir tidak menambah kerugian.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, Mukhammad et all. 2015 Kajian Kerentanan di Kawasan Permukiman Rawan Bencana Kecamatan Semarang Barat, Kota Semarang. Jurnal Teknik PWK Volume 4 No. 2.
- Brooks, Nick. (2003). Vulnerability, Risk and Adaptation: A Conceptual Framework. Tyndall Centre For Climate Change Research .
- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kota Bandar Lampung. 2018. Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Bandar Lampung Tahun 2010-2031.
- Badan Pusat Statistik Kota Bandar Lampung. 2018. Kota Bandar Lampung Dalam Angka.

- Badan Pusat Statistik Kota Bandar Lampung. 2018. Kecamatan Kedamaian Dalam Angka.
- Banuwa, Irwan S. Et all. 2018. Analisis dan Solusi Banjir di Provinsi Lampung. Lokakarya Banjir di Provinsi Lampung dan Solusinya: Bandar Lampung.
- Bungkolu, Ivone Paula et all. 2017. Analisis Kerentanan Kawasan Permukiman Pada Kawasan Rawan Banjir di Bagian Hilir Sungai Sario. Jurnal Agri-SosioEkonomi Unsrat Volume 13 No. 3A.
- Himbawan, Gigih. 2010. Penyebab Tetap Bermukimnya Masyarakat di Kawasan Rawan Bencana Banjir Kelurahan Tanjung Agung Kota Bengkulu. Tesis. Semarang.
- Macchi, Mirjam. 2008. Indigenous and Traditional Peoples and Climate Change. IUCN.
- Pradana, Ananto Bangkit dan Mussadun. 2014. Faktor Faktor Yang Mempengaruhi Preferensi Masyarakat Untuk Tetap Tinggal Di Kawasan Rawan Bencana Rob Kel. Kemijen Kec. Semarang Timur Kota Semarang. Jurnal Ruang Volume 2 Nomor 1.
- Rukandar, Dadan. 2018. Banjir (Pengertian Penyebab, Dampak Dan Usaha Penanggulangannya). Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Banten.
- Setyaning, Kenida Ajeng, Fitri Yusman. 2014. Kajian Faktor Yang Mmpengaruhi Warga Tetap Tinggal di Perumahan Rawan Longsor (Studi Kasus: Perumahan Bukit Manyaran Permai). Jurnal Teknik PWK Volume 03 Nomor 4.
- Sugiyono. 2014. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Alfabet: Bandung.

Lampiran 1: Faktor dan Sub Faktor Tetap Bermukimnya Masyarakat di Kawasan Rawan Banjir

Faktor	Sub-Faktor	Himbawan (2010)	Arief (2015)	Macchi (2008)	Brooks (2004)	Setyaning (2014)
Sosial	Tingkat Pendidikan	√	√	√	√	
	Ikatan Sosial	√	√		√	
	Interaksi Sosial	√		√	√	√
	Hubungan Kekerabatan					√
	Lama Tinggal					√
	Kepemilikan Lahan			√		
	Status Hunian			√		
Ekonomi	Tingkat Pendapatan	√	√	√	√	√
	Mata Pencaharian	√	√	√	√	
	Lokasi Pekerjaan	√	√		√	
	Beban Tanggung Jawab			√		
Lingkungan	Jenis Rumah	√	√	√	√	
	Kondisi Lingkungan					√
	Suasana Lingkungan					√
	Ketersediaan Fasilitas Kesehatan dan Pendidikan			√		
	Kondisi Lingkungan			√		
	Penggunaan Lahan			√		
	Tutupan Lahan			√		
Program	Program Pemerintah di Kawasan Rawan Banjir	√				

Sumber: Peneliti, 2018

BATA SEGITIGA KEDAP AIR SEBAGAI ALTERNATIF MATERIAL KONSTRUKSI

Ely Mulyati¹, Anna Emilawati^{1,*}

¹ Universitas Musi Rawas, Jl Pembangunan Komplek Perkantoran PEMDA Kab. Musi Rawas

*email: ely.mazpar@gmail.com

Abstrak: Bata merupakan salah satu material bangunan yang banyak digunakan di wilayah Indonesia. Ada beberapa jenis bata yang sedang berkembang dan digunakan di Indonesia antara lain bata merah, batako dan bata ringan (hebel). Daerah Kabupaten Musi Rawas dan Kota Lubuklinggau terutama di Kecamatan Tugu Mulyo dikenal sebagai sentra pembuatan batu bata yang terbuat dari tanah lempung. Di wilayah ini memiliki bahan baku untuk pembuatan bata cukup banyak, hal ini menyebabkan sebagian kecil penduduknya memiliki usaha pembuatan bata merah, namun bata yang diproduksi masih berupa bata konvensional dengan ukuran standar (segi empat). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat tekan capaian bata segitiga sama sisi dengan ukuran 20cm x 20cm x 20cm Ide pembuatan bata segitiga mengacu pada teori triangulasi. Proses perencanaan komposisi menggunakan perbandingan 1: 2 (Pasir: Tanah Lempung) dan diberi bahan tambah damdek *waterproof* dengan variasi sampel bata pejal dan berlubang dan penambahan damdek dengan komposisi 2% dan 5% dari jumlah air. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan didapat rata-rata hasil uji tekan yang diperoleh bata pejal dengan Kode A damdek 2% dan 5% adalah 9,6kg/cm² dan 8,1 kg/cm², dan bata berlubang kode B dengan damdek 2% dan 5% adalah 9,8 kg/cm² dan 8,8 kg/cm².

Kata kunci: Triangulasi, Bata Segitiga, Kuat Tekan Bata

I. PENDAHULUAN

Bata merupakan salah satu bahan dasar bangunan konstruksi yang digunakan pada dinding. Bata adalah bahan material yang sangat penting dalam proses pelaksanaan pembangunan sebuah bangunan infrastruktur terutama pada bangunan rumah dan gedung. Ada beberapa jenis bata yang sedang berkembang dan digunakan di Indonesia antara lain bata merah, batako dan bata ringan (hebel). Untuk wilayah Kota Lubuklinggau dan Kabupaten Musi Rawas dan sekitarnya bata merah lebih banyak digunakan daripada bata ringan dan batako press, karena selain sudah teruji kekuatannya bata merah mudah didapatkan. Bata merah banyak digunakan pada bangunan dikarenakan mudah diproduksi dan ekonomis dari sisi biaya (Mehmed Canbaz and Ugur Albayrak, 2018).

Daerah Kabupaten Musi Rawas dan Kota Lubuklinggau terutama di Kecamatan Tugu Mulyo dikenal sebagai sentra pembuatan batu bata dan genteng yang terbuat dari tanah lempung. Di wilayah ini memiliki bahan baku untuk pembuatan bata cukup banyak, hal ini menyebabkan sebagian kecil penduduknya memiliki usaha pembuatan bata merah, namun bata

yang diproduksi masih berupa bata konvensional dengan ukuran standar (segi empat).

Ide pembuatan bata segitiga mengacu pada teori triangulasi yang diambil dari mata kuliah Teknologi Bahan Konstruksi dan Analisis Struktur terutama pembahasan tentang Rangka batang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat tekan capaian bata segitiga sama sisi dengan ukuran 20cm x 20cm x 20cm.

II. MATERIAL DAN METODE

Proses pencetakan bata dilakukan di lokasi pencetakan bata di salah satu pencetakan bata di kecamatan Tugu Mulyo Kabupaten Musi Rawas, sedangkan untuk pelaksanaan uji kuat tekan bata dilakukan di laboratorium CV. Niaga di Kecamatan Selangit Kabupaten Musi Rawas. Metode yang digunakan adalah metode *trial and error* yang mengacu pada ASTM – C67 - 1994 dan SNI 15-2094 -2000 di Laboratorium sampai ditemukan komposisi yang ditargetkan sesuai dengan tujuan penelitian.

2.1 Alat dan Bahan

a. Tanah Lempung

Tanah Lempung (*Clay*) sebagian besar terdiri dari dari partikel mikroskopik (berukuran sangat kecil) dan sub mikroskopik (tak dapat dilihat, hanya dengan mikroskop). Berukuran lebih kecil dari 0,002 mm (2 micron). Namun tanah yang lebih kecil belum tentu lempung. Tanah lempung merupakan tanah yang berukuran lebih dari 2 micron yang mempunyai mineral tertentu yang menghasilkan sifat palstis bila dicampur dengan air.

b. Air

Syarat Air yang bisa digunakan dalam pencampuran beton haruslah bersih, tidak boleh mengandung asam, alkali, minyak, zat organik atau bahan lain yang dapat merusak beton, Mulyono Tri, 2005.

c. Bahan Tambah

Bahan tambah merupakan bahan –bahan yang dimasukkan kedalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung (Mulyono Tri, 2007). Untuk mengurangi rembesan air yang terjadi yang mem(kedap air) digunakan bahan tambah pembantu kedap air (*water proofing*) yang mempunyai partikel – partikel dan gradasi menerus yang mengurangi permeabilitas air.

2.2 Metode Penelitian

a. Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan melakukan survei awal untuk mencari sumber bahan baku yang baik untuk bata yang direncanakan baik berupa sumber tanah lempung maupun bahan kedap airnya.

b. Pengujian Bahan/Material

Bahan yang akan diuji berupa agregat halus (pasir) yang didapat dari beberapa sumber di wilayah kota Lubuklinggau dan sekitarnya. Pengujian yang dilakukan dengan analisis saringan (*sieve analysis*), sementara untuk tanah lempung uji laboratorium yang akan dilakukan adalah uji kadar air. Pada uji laboratorium ini baik ketua maupun peneliti secara bersama –sama melakukan pengujian dan menganalisis data hasil uji yang dilakukan. Setelah didapatkan agregat halus dan tanah lempung yang diinginkan dan sesuai dengan karakteristik yang menjadi tujuan penelitian maka ketua melakukan penentuan komposisi (*job mix formula*) dari desain bata yang akan dijadikan sampel.

c. Penentuan Komposisi (*Job Mix Formula*)

Pada tahap ini dicari komposisi (formula) yang tepat untuk membuat bata kedap air.

d. Pengadukan, Pembuatan dan pencetakan Sampel

Komposisi yang sudah didapat kemudian dicampur menjadi adukan yang homogen kemudian dicetak menggunakan alat pencetak bata segitiga sama sisi dengan ukuran 20 cm x 20 cm x 20 cm dengan ketebalan 10 cm.

e. Uji Laboratorium

Untuk tahap awal setelah pencetakan selesai maka berdasarkan SNI 16 -2094 -2000 dilakukan uji laboratorium berupa uji Kadar air, uji Tekan dan Uji Kedap Air.

f. Analisis Data

Dari hasil uji laboratorium maka dapat dianalisis tingkat keberhasilan dari bata yang direncanakan, apabila dari JMF dan hasil laboratorium tidak sesuai dengan target rencana maka penelitian kembali lagi ke prosedur c (Penentuan Komposisi (*Job Mix Formula*)) sampai ditemukan komposisi yang tepat sesuai dengan tujuan penelitian.

Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur, semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi mutu beton yang dihasilkan (Mulyono Tri, 2005).

Menurut ASTM C 67 – 03 Kuat tekan batu bata merupakan kekuatan maksimum yang mampu diterima bata persatuan luas. Standar kuat tekanyang disyaratkan ASTM C 67 – 03 adalah 10, 40 Mpa dengan kecepatan tekan 907, 125 kg/menit. Untuk menghitung kuat tekan batadigunakan rumus:

$$C = \frac{W}{A}$$

Dengan C adalah kuat tekan batu bata (kg/cm²), W adalah beban maksimum yang mampu diterima oleh bata (kg) dan A adalah luas permukaan yang dibebani (cm²).

g. Penarikan Kesimpulan

Setelah dilakukan *trial and error* komposisi (JMF) dan hasil uji laboratorium maka dapat ditarik kesimpulan Komposisi mana yang tepat untuk bata kedap air.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemeriksaan Pasir

a. Pemeriksaan Analisa Saringan Pasir

Pasir yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir Siring Agung yang berasal dari wilayah kecamatan Tugu Mulyo, adapun hasil dari analisis saringan sebagaimana tercantum dalam tabel 3.1 dibawah ini:

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Pasir

Berat contoh: 1500 gram				
No Saringan	Berat setelah diayak (gram)	Jumlah berat tertahan (gram)	Persentase tertahan (%)	Persentase lolos (%)
10	27	27	1,92	98,08
30	173	200	14,19	85,81
60	632	832	59,05	40,95
100	381	1213	86,09	13,91
200	154	1367	97,02	2,98
Pan	42	1409	100	0
Jumlah	1409	5048	358,27	241,73

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{\text{Jumlah Persentase Tertahan}}{100} = \frac{358,27}{100} = 3,58\%$$

Jadi, Modulus Halus Butir agregat halus memenuhi syarat yang telah ditentukan yaitu $\geq 1,5$ dan $\leq 3,8$.

b. Pemeriksaan Kadar Air Pasir

Tujuan dari pemeriksaan kadar air pada material pasir ini, untuk mengetahui seberapa besar kandungan air didalam material pasir ini. Yang dapat mempengaruhi seberapa besar air yang akan dibutuhkan dalam pembuatan batu bata merah. Berikut hasil dari analisa kadar air pasir.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Pasir

Pemeriksaan		Berat
Berat Cawan	W_1 (gr)	320
Berat Cawan + Tanah Basah	W_2 (gr)	2322
Berat Cawan + Tanah Kering	W_3 (gr)	2049
Berat Air	$W_2 - W_3$ (gr)	273
Berat Tanah Kering	$W_3 - W_1$ (gr)	1729
Kadar Air	$\frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \%$	15.79

Berdasarkan hasil pengujian kadar air pasir didapat 15,79%, dapat dinyatakan bahwa pasir yang diuji ini adalah pasir halus. Sebelum dicampurkan untuk adukan batu bata merah sebaiknya agregat dikeringkan terlebih dahulu.

3.2 Pemeriksaan Tanah Lempung

a. Pemeriksaan Analisa Saringan Tanah Lempung

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Tanah Lempung

Berat contoh: 1500 gram				
Saringan No	Berat setelah diayak (gram)	Σ Berat tanah tertahan (%)	% Kumulatif	
			Tertahan (%)	Lolos (%)
10	56	3.76	3.76	96.24
30	65	4.36	8.12	91.88
60	253	16.97	25.08	74.92
100	651	43.66	68.75	31.25
200	416	27.90	96.65	3.35
Pan	50	3.35	100.00	0.00
Jumlah	1491			

Jadi, berdasarkan persentase hasil analisa saringan bahwa tanah sebelum di analisa saring berat tanah sebesar 1500 gram dan setelah diayak didapat berat tanah sebesar 1491 gram. Dikarenakan bahwa tanah lempung tersebut setelah diopen dihancurkan kecil-kecil terlebih dahulu sebelum diayak. Dari analisis kemungkinan ada tanah yang masih nempel di saringan dan ada juga yang jatuh waktu dimasukan didalam alat analisa saringan.

b. Pemeriksaan Kadar Air Tanah Lempung

Sebelum melakukan pembuatan batu bata merah segitiga tanah lempung terlebih dahulu akan melalui proses analisa kadar air untuk mengetahui seberapa besar kandungan air ditanah lempung tersebut. Persentase ini menandakan banyak atau sedikitnya kandungan air dalam agregat halus yang digunakan, yang dapat mempengaruhi besarnya kebutuhan air dalam adukan bata. Hasil pemeriksaan yang didapat seperti pada Tabel 4 sebagai berikut ini.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Tanah Lempung

Pemeriksaan		Berat
Berat Cawan	W_1 (gr)	320
Berat Cawan + Tanah Basah	W_2 (gr)	2219
Berat Cawan + Tanah Kering	W_3 (gr)	1989
Berat Air	$W_2 - W_3$ (gr)	230
Berat Tanah Kering	$W_3 - W_1$ (gr)	1669
Kadar Air	$\frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \%$	13.78

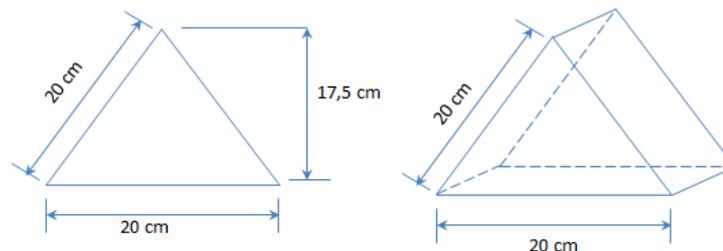
Berdasarkan hasil pengujian kadar air tanah lempung didapat 13, 78%.

3.3 Pemeriksaan PH Air

Tes penentuan pH air merupakan yang paling penting digunakan pada kimia air, pH digunakan pada penentuan alkalinitas, CO_2 , serta dalam kesetimbangan asam basa. Air adalah bahan pelarut yang baik maka dibantu dengan pH yang tidak netral dapat melarutkan berbagai elemen kimia yang dilaluinya. Hasil pengujian pH air yang dilakukan dengan menggunakan kertas pH universal di celupkan selama 30 detik diperoleh hasil pH = 7,0. Sehingga air dapat digunakan untuk campuran pembuatan batu bata merah.

3.4 Pelaksanaan Pembuatan Batu Bata Merah Segitiga

Pada penelitian ini akan dibuat bentuk segitiga sama sisi dengan ukuran panjang 20 cm lebar 10 cm dan tinggi 17,5 cm.



Gambar 1. Rencana Desain Bata yang Akan di buat

Sebelum dilaksanakan proses pembuatan bata, berikut kombinasi campuran bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 5. Kombinasi Campuran Batako

Uraian	Komposisi Campuran			Jumlah Sampel	
Sampel I	1 PS	2 TL	1 Air	2% Bahan Tambah	30
				5% Bahan Tambah	30
Sampel II	1 PS	2 TL	1 Air	2% Bahan Tambah	30
				5% Bahan Tambah	30
TOTAL				120	

Persentase bahan tambah yang digunakan adalah terhadap semen yang dipakai. Pengerjaan *mix design* bata di lapangan dilakukan berdasarkan perbandingan tabel di atas.

Kebutuhan bahan untuk satu cetakan segitiga pejal:

$$\begin{aligned} \text{Volume segitiga} &= \frac{1}{2} \times l \times w \times h \\ &= \frac{1}{2} \times 20 \text{ cm} \times 17,5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \\ &= 1750 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Dalam pembuatan batu bata merah segitiga menggunakan mesin cetak. Sebelum pencetakan batu bata merah material bahan terlebih dahulu ditimbang agar dapat menentukan kombinasi campuran, setelah selesai proses penimbangan, material dimasukkan kedalam mesin aduk kemudian dicetak.

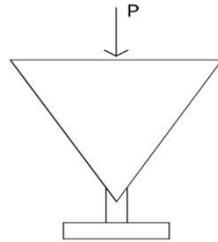


Gambar 2 Hasil Pembuatan Sampel Bata Segitiga

3.5 Hasil kuat tekan batako normal

Sebelum proses pengujian kuat tekan sebaiknya batu bata dalam kondisi sudah dibakar dan kering, karena apabila batu bata dalam keadaan basah akan mempengaruhi kuat tekan. Proses perhitungan kuat tekan batu bata merah segitiga diperlukan hasil pengukuran yaitu luas bidang tekan dengan beban tekan. Kedua hasil tersebut diukur dengan menggunakan alat yaitu untuk luas bidang tekan menggunakan mistar sebagai alat ukur (panjang dan lebar), sedangkan untuk beban tekan menggunakan alat *Proving Ring Cbr*.

Berdasarkan pertimbangan, luas penampang benda uji yang digunakan adalah 66,7 cm². Hal ini disebabkan karena luas penampang bawah benda uji adalah 1/3 dari luas penampang atas. Perhitungan luas penampang tersebut adalah sebagai berikut:



$$A = (l \times b) = 10 \times 20 = 200 \text{ cm}^2$$

$$A = 200 \times \frac{1}{3} = 66,7 \text{ cm}^2$$

Tabel 6. Hasil Uji Tekan Bata Segitiga

Uraian	Komposisi Campuran				Jumlah Sampel (Unit)	Uji Tekan Rata-rata (Kg/cm ²)
Sampel I	1 PS	2 TL	1 Air	2% Bahan Tambah	13	6,3
				5% Bahan Tambah	13	5,3
Sampel II	1 PS	2 TL	1 Air	2% Bahan Tambah	12	6,4
				5% Bahan Tambah	13	5,7
TOTAL					51	5,9

Dari hasil sampel yang dibuat masing masing sebanyak 30 unit yang dilakukan uji tekan sekitar 12-13 Unit, dari hasil uji tekan maka diperoleh hasil uji tekan rata-rata 5,9 Kg/cm².



Gambar 3 Hasil Uji Tekan Bata Segitiga

Berdasarkan SNI 15-2094 -2000 kuat tekan minimum adalah 50 Kg/cm² dengan menggunakan prosedur uji tekan dengan tambahan bantuan berupa papan kayu dan pelat baja. Namun pada penelitian ini uji tekan langsung dilakukan dengan penekanan pada bata secara langsung, sehingga hasil yang diperoleh masih rendah dan tidak memenuhi standar SNI 15-2094 -2000.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan maka diperoleh kesimpulan:

- a. Komposisi yang dipakai untuk pembuatan bata adalah 1 pasir: 2 Tanah Lempung.
- b. Hasil uji tekan yang sudah dilakukan belum memenuhi standar yang ada pada SNI 15-2094 -2000 minimal 50 Kg/cm², sementara hasil dari uji tekan diperoleh rata-rata 5,9 Kg/cm². Hal ini disebabkan karena pada saat pengujian kuat tekan belum memenuhi prosedur standar SNI. Disarankan untuk penelitian selanjutnya perlu adanya variasi yang lebih variatif lagi menambah bahan tambah.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM Internasional (*An American National Standard*), 2002 *ASTM – C67 - 02c Standard Test Material For Sampling And Testing Bricks And Structural Clay Tile*, West Conshohoken, PA,192428 -2959 United States.

Badan Standarisasi Nasional, 2000. *SNI 03 – 2094 – 2000 Tentang Bata Pejal Untuk Pasangan Dinding*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Badan Standarisasi Nasional, 2002. *SNI 03 – 6882 – 2002 Tentang Spesifikasi Untuk Pekerjaan Unit Pasangan*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

Basoenondo, E.A. 2008. *Lateral Load response of Cikarang Brick Structures – An Experimental Study*. Queensland University Of Technology.

Budi Santoso, Heri Suprpto, Suryadi, 1998, “Dasar Mekanika Tanah”, Guna Darma, Jakarta.

Mehmed Canbaz and Ugur Albayrak, 2018, “ *Properties Of Ancient Style Handmade Clay Bricks Using Bottom Ash, Anadolu University Journal Of Scient And Technology A-Aplied Sciences And Engeneering Vol 19 No.1 Page 104-113*”, Turkey, Anadolu University.

Mulyono Tri, 2005, “Teknologi Beton”, Andi, Yogyakarta.

Schodek Daniel, 1999, “Srtuktur Edisi Kedua”, Erlangga, Jakarta.

POLA PERMUKIMAN KAWASAN PESISIR BERKETAHANAN BENCANA STUDI KASUS TELUK BETUNG TIMUR, KOTA BANDAR LAMPUNG

Yunita Kesuma^{1,*}, Citra Persada¹, Fadhilah Rusmiati¹

¹ Program Studi Arsitektur, Jurusan Arsitektur Universitas Lampung, Bandar Lampung Jl.

Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

*Email: yunitakesuma@eng.unila.ac.id

Abstrak: Teluk Betung Timur khususnya Kotakarang dan Kotakarang Raya menyimpan potensi sumber daya pesisir perkotaan mengalami degradasi lingkungan akibat tekanan lingkungan sehingga mempengaruhi tingkat ketahanan dan kerentanan terhadap bencana pesisir. Penelitian ini bertujuan untuk menemukenali karakter pola permukiman kawasan pesisir berdasarkan potensi fisik permukiman kawasan dan faktor-faktor pengaruh kerentanan permukiman terhadap bencana pesisir. Metode yang digunakan adalah metode deskriptif kualitatif. Penelitian dititik-beratkan pada potensi fisik *urban fabric* pembentuk pola permukiman dengan faktor ketahanan bencana yang mempengaruhinya. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan 4 karakteristik pola permukiman berketahanan bencana, yaitu: 1) Lapisan penyangga/ lapisan pertama yang memiliki risiko banjir akibat luapan sungai Way Kunyit dan luapan air laut pasang; 2) Lapisan kedua, diidentifikasi struktur kelompok *solid* fungsi hunian di bagian tengah lebih teratur dan homogen membentuk pola curvilinear dengan tingkat risiko bencana sedang; 3) Zona inti/ tengah, diidentifikasi memiliki pola blok persegi yang teratur dan homogen mengisi *void*; dan 4) Pulau Pasaran, merupakan zona terluar dengan butiran-butiran *solid* cenderung menyebar dan mengelilingi *void*. Pola permukiman diharapkan dapat menjadi landasan konseptual pengembangan kawasan wisata di pesisir Kota Bandar Lampung guna menguatkan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan kawasan pesisir berketahanan bencana berbasis masyarakat untuk mendukung manfaat sosial ekonomi bagi masyarakat dan pengembangan kawasan pesisir perkotaan Kota Bandar Lampung secara berkelanjutan.

Kata kunci: Pola permukiman, *urban fabric*, kawasan pesisir, Teluk Betung, ketahanan bencana

I. PENDAHULUAN

Teluk Betung Timur yang menyimpan potensi sumber daya pesisir. Kota Karang dan Kota Karang Raya yang termasuk dalam kawasan potensial di pinggiran Kota Bandar Lampung dan merupakan jantung pintu gerbang Kecamatan Teluk Betung Timur mengalami degradasi lingkungan akibat tekanan aktivitas lingkungan kawasan perkotaan. Sementara itu, perkembangan kawasan perkotaan sering tidak dinamis dan sangat dipengaruhi faktor ekologi lingkungan. Salah satu bentuk dinamika ekologi lingkungan yang sering terjadi di Indonesia adalah bencana alam. Semakin padatnya ruang-ruang huni masyarakat pesisir dengan keterbatasan pelayanan jaringan prasarana dan sarana perkotaan yang kurang memadai, mengakibatkan meningkatnya permukiman kumuh di kawasan pesisir dan secara tidak langsung akan mempengaruhi tingkat kerentanan dan ketahanan terhadap bencana pesisir seperti banjir rob, gempa, hingga

tsunami. Hal ini pada dasarnya bertentangan dengan konsep pengembangan kawasan permukiman dalam UU Nomor 1 Tahun 2011 Tentang Perumahan dan Kawasan Permukiman dimana menjadi hak bagi setiap warga negara untuk bertempat tinggal yang layak dalam lingkungan yang sehat, aman, serasi, dan teratur serta menjamin kepastian bermukim. Ditinjau dari mata pencahariannya sebagian besar penduduk Teluk Betung Timur bermata pencaharian sebagian besar nelayan, buruh bangunan, dan wiraswasta/ berdagang. Dengan demikian perlu adanya studi mengenai bagaimana karakter pola permukiman kawasan pesisir berdasarkan potensi fisik permukiman kawasan pesisir Kotakarang dan Kotakarang Raya dan faktor ketahanan bencana yang mempengaruhinya,

II. MATERIAL DAN METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif kualitatif. Penelitian dititik-beratkan pada pengamatan potensi fisik *urban fabric* sebagai pembentuk pola permukiman kawasan pesisir dengan faktor ketahanan bencana yang mempengaruhinya.

2.1 Alat dan Bahan

Pola sebuah kawasan dapat tergambar melalui struktur fisik sebuah kawasan (Lynch, 1985:8). tekstur dan pola tata ruang kawasan/ *urban fabric* diidentifikasi dengan cara menghubungkan *urban solid* (padat) maupun *urban void* (ruang terbuka). Konfigurasi keteraturan massa/ruang kawasan (Zahnd, 1999:79) diidentifikasi menggunakan pendekatan *figure ground theory* sebagai alat pendekatan untuk menganalisis pola-pola tekstur kawasan dari bentukan *solid/ figure* dan *void/ ground* sehingga dapat menunjukkan karakter pola tata ruangnya. Tekstur kawasan diartikan sebagai derajat keteraturan dan kepadatan massa dan ruang dalam kawasan. Berdasarkan Peraturan Menteri Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2014 tentang Pedoman Mitigasi Bencana Alam Bidang Perumahan dan Kawasan Permukiman, jenis ketahanan fisik dan lingkungan suatu kawasan permukiman dapat diidentifikasi beberapa diantaranya melalui kelengkapan sarana evakuasi dan kualitas lingkungan fisik alami yang mampu mengurangi dampak bencana alam. Dengan demikian, dasar penilaian terhadap kondisi di lapangan mengenai pola tata ruang kawasan/ *urban fabric (solid-void linkage)* dalam membentuk pola ketahanan permukiman pesisir terhadap bencana di pesisir Teluk Betung Timur, indikator yang digunakan adalah: (1) ketahanan massa bangunan (*solid*) antara lain kepadatan massa bangunan (permanen, semi permanen, non permanen) dan fungsi bangunan (hunian/ fungsi perdagangan, ketersediaan fasilitas umum); (2) ketahanan ruang terbuka (*void* dan

linkage) berupa jalur sirkulasi sebagai jalur evakuasi dan ruang terbuka/lahan produktif; (3) ketahanan lingkungan berupa tutupan lahan dan jenis vegetasi.

2.2 Metode Penelitian

Pengumpulan data primer dan data sekunder dalam penelitian ini menggunakan metode gabungan antara metode pengumpulan foto udara dan *metode tracking* peta kawasan, observasi, merekam kondisi/ fenomena secara visual yang terjadi di kawasan pesisir, membuat olah data berupa *figure ground* untuk mengetahui pola *urban fabric (solid-void linkage)*, *indept interview* dengan beberapa narasumber yang berada di kawasan pesisir, dukungan data sejarah kawasan, dan profil kawasan kumuh dari pihak Pokja PKP Nuwo Berseri tentang kawasan pesisir Teluk Betung Timur Tahun 2017. Analisis dilakukan dengan cara *mapping* dokumen peta dasar yang dibuat dalam bentuk *figure ground* dari foto udara *Google Earth* Tahun 2001 dan foto udara terbaru Tahun 2019 untuk mengidentifikasi perkembangan *urban fabric* melalui *superimpose* pola fisik (*solid*) dan pola *void-linkage* hasil observasi lapangan terhadap elemen fisik dan lingkungan di kawasan pesisir Kota Karang dan Kota Karang Raya tahun 2019. Proses pengambilan kesimpulan dibatasi pada identifikasi pola kawasan permukiman pesisir terhadap ketahanan bencana di kawasan Teluk Betung Timur yaitu berupa ketahanan fisik (*urban fabric*) dan ketahanan lingkungan pesisir di kawasan permukiman pesisir Teluk Betung Timur. Hal-hal yang berhubungan langsung dengan pokok bahasan digunakan sebagai bahan pendukung untuk kemudahan dan keakuratan dalam proses analisis/pembahasan hingga ditarik suatu simpulan yang merupakan hasil akhir penelitian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kawasan pesisir Kota Bandar Lampung yang dijadikan lokus amatan adalah kawasan dengan karakter pola *urban fabric* dengan potensi yang berbeda dengan Kawasan lainnya namun berada di satu wilayah Pesisir, yaitu kawasan Kotakarang, Kotakarang Raya, dan Pulau Pasaran. Potensi kawasan Kotakarang yang memiliki nilai sejarah, sehingga dapat diamati bagaimana pola elemen fisik yang bertahan hingga saat ini. Potensi kawasan Karang Raya yang merupakan kawasan dengan pertumbuhan permukiman, ditambah keberadaan dermaga lama yang saat ini digunakan sebagai sandaran kapal/ perahu nelayan, sedangkan Pulau Pasaran yang dikenal sebagai kawasan penghasil ikan asin, memiliki potensi ruang terbuka (*void*) sebagai fungsi utama yaitu ruang produksi ikan asin.

3.1 Ketahanan Fisik Kawasan

Pola *Urban Fabric* terkait fungsi *Solid-Void*

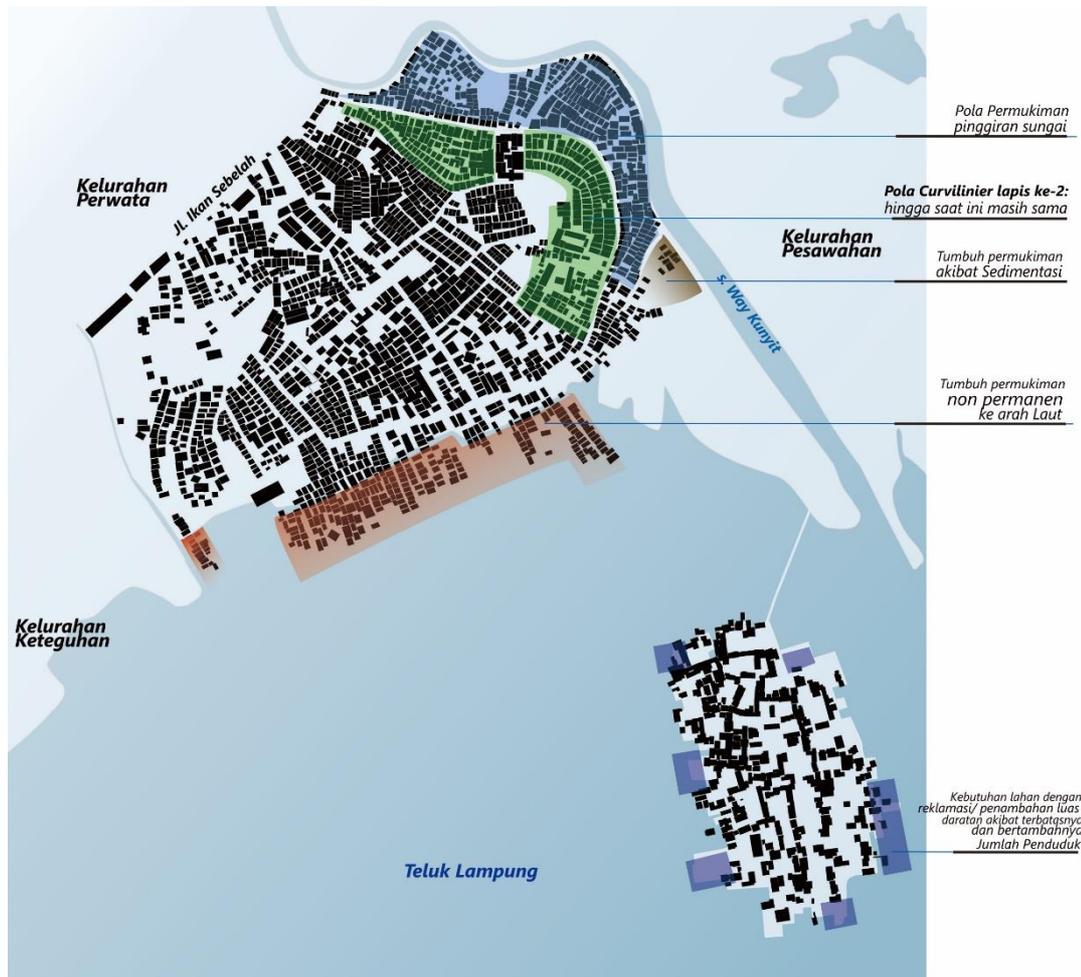
Pola ketahanan *urban fabric* kawasan pesisir terbentuk dari pengaruh ketahanan elemen fisik berupa kelompok massa bangunan dan ruang terbuka (*solid void*) terhadap potensi bencana pesisir yang terjadi. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan terhadap pola *solid-void* kawasan pesisir Teluk Betung Timur terlihat bahwa bentuk *solid-void* di sisi Timur terdiri dari besaran butiran-butiran massa bangunan yang cenderung sama dengan bentuk konfigurasi *solid* yang tampak berlapis mengikuti pola kurvilinier (Gambar 1).

Berdasarkan sebaran butiran dan konfigurasi bentuk *solid* permukiman Kotakarang yang berada di tepi sungai Way Kunyit ke arah tengah kawasan, didapatkan tiga karakter tekstural yaitu:

- a. **Lapis pertama**, kelompok butiran massa bangunan yang berbatasan dengan perairan (sungai Way Kunyit dan Teluk Lampung). Posisi area sungai diidentifikasi memiliki risiko banjir akibat luapan sungai Way Kunyit. Dilihat dari karakter bangunan, sebagian kondisi bangunan non permanen.
- b. **Lapis kedua**, diidentifikasi merupakan daerah permukiman dengan tingkat risiko bencana yang lebih aman. Kondisi bangunan di zona lapis kedua ini merupakan bangunan permanen.
- c. **Zona inti/tengah**, diidentifikasi memiliki pola yang teratur dan homogen, berbeda dengan pola lapis 1 dan 2 yang curvilinier. Fungsi bangunan hunian baru (perumahan) yang dibangun sekitar Tahun 2000-an, yang sebelumnya merupakan ruang terbuka.



Gambar 1. Ground Kawasan Kotakarang dan Kotakarang Raya Tahun 2001
sumber: olah data, 2019



Gambar 2. Ground Kawasan Kotakarang dan Kotakarang Raya 2019

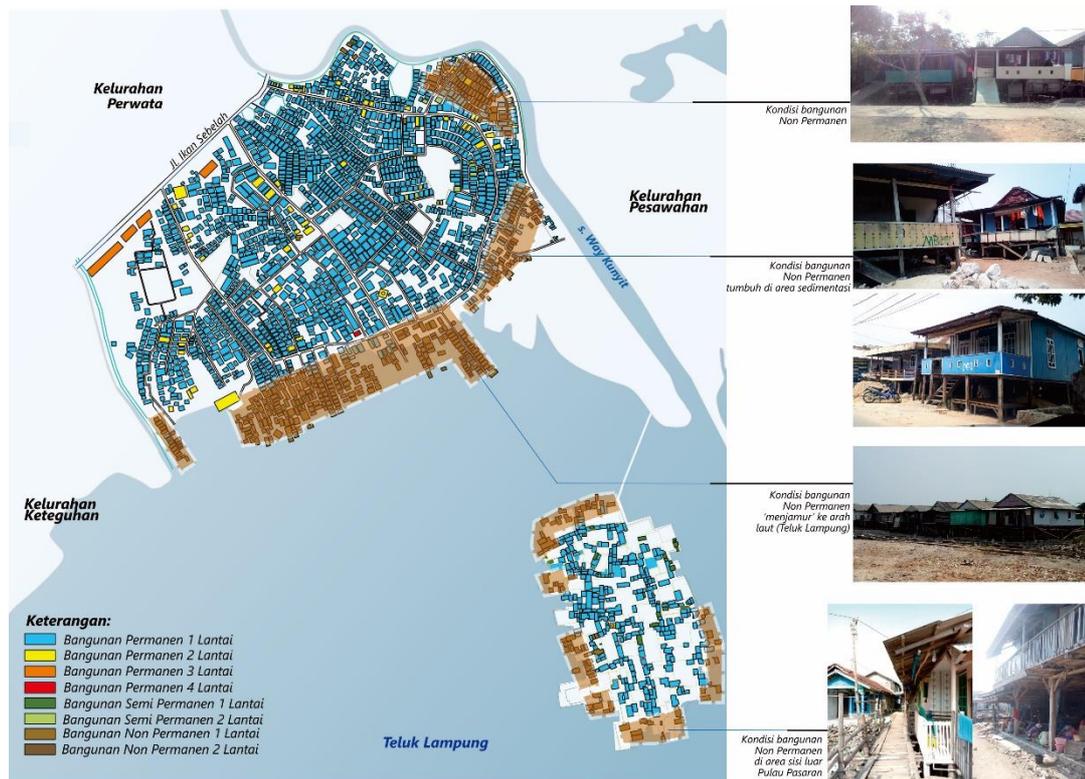
sumber: olah data, 2019

Butiran dan pola kelompok massa bangunan tersebut, diidentifikasi dari Gambar 2 *ground* Tahun 2001 hingga saat ini (medio 2019) lapis pertama dan lapis kedua tidak ada perubahan secara signifikan, sedangkan di area inti terbangun hunian-hunian dengan konsep berbeda karakter dengan bangunan di lapis pertama dan kedua. Pulau Pasaran, butiran-butiran massa bangunan cenderung menyebar dan mengelilingi *void*. *Void* pada Pulau pasaran berfungsi sebagai ruang produksi yaitu tempat menjemur produk olahan ikan asin.

A. Karakter Bangunan

Ditinjau dari karakter bangunan pesisir adalah non permanen, fungsi bangunan hunian dengan bentuk rumah panggung yang sebagian besar masyarakatnya bermata-pencarian sebagai nelayan. Masyarakat pesisir di wilayah Kotakarang yang sebagian besar berasal dari suku Bugis (Bone dan Wajo). Masyarakat Bugis identik dengan aktivitasnya sebagai pelaut,

suka bertualang, dan merantau (Pengkajian dan Pembinaan Nilai-nilai Budaya Lampung, 1998;83). Rumah panggung identik dengan bangunan yang dibangun di atas tiang-tiang, karena menyesuaikan dengan keberadaan lingkungan perairan yang pasang-surut. Material yang digunakan masih menggunakan material lokal seperti balok kayu pada tiang, rangka bangunan dan atap, serta papan kayu sebagai dinding dan lantai rumah.



Gambar 3. Analisis karakter Bangunan Pesisir Tahun 2019
sumber: olah data, 2019



Gambar 4. Zonasi Kawasan Kotakarang, Kotakarang Raya, dan Pulau Pasaran sumber: olah data, 2019

3.2 Ketahanan Lingkungan Kawasan



Gambar 5. Void Linkage Kawasan Kotakarang, Kotakarang Raya, dan Pulau Pasaran sumber: olah data, 2019

Pola ketahanan lingkungan kawasan pesisir ditinjau dari *urban fabric* yaitu *void* berupa ruang terbuka produktif dan non produktif dihubungkan oleh *linkage* berupa jalur sirkulasi kawasan. Pengamatan yang dilakukan terhadap pola *void-linkage* kawasan pesisir Teluk Betung Timur (Gambar 4), terlihat bahwa bentuk *void-linkage* di dalam permukiman Kotakarang dan Kotakarang Raya membentuk pola radial dengan *void* berada di tengah kawasan, sedangkan *void* dalam Pulau Pasaran berupa ruang untuk menjemur ikan asin, dengan pola *linkage* saling menghubungkan antar *void*. *Void* berupa tutupan lahan tertutup oleh hutan mangrove. Hutan mangrove sebagai tutupan lahan yang terjadi dikarenakan sedimentasi ini berfungsi untuk mencegah naiknya air laut ke daratan. *Void* dan *linkage* dalam mitigasi bencana berfungsi sebagai jalur evakuasi dan titik kumpul saat bencana terjadi.

IV. KESIMPULAN

Karakter tekstur pola permukiman di kawasan pesisir berimplikasi terhadap karakter kawasan berketahanan bencana yang akan dikembangkan. Selain kondisi alam dan lingkungan, karakter *solid-void* dan *linkage* di Kawasan Pesisir Teluk Betung Timur juga dipengaruhi oleh kekuatan budaya setempat khususnya di kawasan Kampung Bugis di Kelurahan Kotakarang.

Ketahanan fisik diidentifikasi melalui karakter tekstural pola *solid-void* kawasan pesisir Teluk Betung Timur didapatkan beberapa karakter pola permukiman terbentuk dengan tingkat kerentanan berbeda, antara lain: (1) sub kawasan dengan fungsi permukiman sebagai lapisan penyangga dengan tingkat kerentanan cukup tinggi; (2) sub kawasan permukiman Negeri Mina Kampung Bugis sebagai lapisan kedua, diidentifikasi struktur kelompok *solid* fungsi hunian di bagian tengah lebih teratur dan homogen membentuk pola curvilinear dengan tingkat risiko bencana dan kerentanan sedang karena dilingkupi oleh zona penyangga (lapisan 1); (3) sub pusat kawasan atau inti kawasan yang memiliki pola blok persegi yang teratur dan homogen mengisi *void*. *Void* di sub kawasan ini dapat dimanfaatkan sebagai fasilitas kritis bencana atau zona titik kumpul terpusat dengan kerentanan sedang; (4) sub kawasan Pulau Pasaran merupakan zona terluar diidentifikasi memiliki butiran-butiran *solid* yang cenderung menyebar dan mengelilingi *void* dengan tingkat kerentanan tinggi, sehingga perlu upaya peningkatan ketahanan bencana.

Ketahanan Lingkungan didasarkan dari identifikasi karakter pola *void-linkage* kawasan pesisir Teluk betung Timur yang dapat dimanfaatkan sebagai jalur evakuasi dan titik kumpul dalam mitigasi bencana. Terdapat 3

jenis ketahanan, antara lain: (1) Jalur sirkulasi utama dalam kawasan dengan pola radial, sebagai jalur evakuasi utama penghubung luar kawasan; (2) Ruang-ruang terbuka yang saling terhubung sebagai jalur evakuasi yang fleksibel; (3) Tutupan lahan Hutan mangrove sebagai penghambat naiknya air laut secara cepat.

Hal ini dapat dijadikan kekuatan dalam membentuk konsep pengembangan kawasan berketahanan bencana di Kota Bandar Lampung sesuai potensi yang dimiliki oleh masing-masing sub kawasan dengan memaksimalkan fungsi sarana dan prasarana lingkungan kawasan permukiman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada LPPM Universitas Lampung yang telah mendanai kegiatan penelitian ini melalui DIPA BLU Universitas Lampung tahun 2019 dengan nomor kontrak: 2611/UN26.21/PN/2019. Terima kasih kepada Pokja PKP Nuwo Berseri dan warga Kotakarang dan Kotakarang Raya atas informasi yang diberikan. Terima kasih disampaikan juga kepada mahasiswa yang terlibat dalam survey, olah data, serta analisis pola permukiman pesisir Teluk Betung Timur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2011 Tentang Perumahan dan Kawasan Permukiman.
- [2] Peraturan Menteri Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2014 tentang Pedoman Mitigasi Bencana Alam Bidang Perumahan dan Kawasan Permukiman.
- [3] Bagian Proyek Pengkajian dan Pembinaan Nilai-nilai Budaya Lampung. (1998). *Sejarah Daerah Lampung*. Depdikbud, Kantor Wilayah Provinsi Lampung.
- [4] Lynch, Kevin. (1960). *The Image of The City*. MIT Press, Cambridge.
- [5] Pokja PKP Nuwo Berseri. (2017). *Slum Improvement Action Plan (SIAP) Berdasarkan Hasil Memorandum Program Tahun 2017*. Bappeda Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung
- [6] Zahnd, Markus. (1999). *Perancangan Kota Secara Terpadu*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.

INVESTIGASI DAN EVALUASI GETARAN PADA PELAT BETON BERTULANG

Fikri Alami^{1,4*}, Masdar Helmi², Vera Agustriana N³

^{1,2,3} Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung

⁴ Mahasiswa Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Lampung

*E-mail korespondensi: fikri.alami@eng.unila.ac.id

Abstrak. Getaran pada gedung bertingkat dapat terjadi diakibatkan beban dinamik yang dapat diklasifikasikan sebagai beban *harmonic*, *periodic*, *transient*, dan impulsif. Tulisan ini berdasarkan hasil investigasi lapangan dan evaluasi pada panel pelat dua tingkat yang berfungsi sebagai kantor / tempat kuliah. Pelat merupakan pelat beton bertulang yang di tumpu pada bagian tengahnya oleh dua balok anak yang membagi pelat menjadi dua bagian. Investigasi mencakup getaran alami struktur pelat, getaran akibat orang berjalan dan getaran akibat orang melompat. Data diperoleh secara eksperimen dengan meletakkan satu buah *accelerometer* pada bagian tengah pelat yang dihubungkan secara *Bluetooth* ke sebuah alat (*standalone interface*) dengan resolusi tinggi dan *touch screen* untuk mudah secara intuisi memperoleh, menganalisis, dan mendistribusikannya.

Kata kunci: getaran, frekuensi alami, *accelerometer*, pelat beton

I. PENDAHULUAN

Desain *ultimate* pada struktur pelat beton bertulang memungkinkan pelat didesain lebih tipis/ ramping. Namun dengan pelat tipis permasalahan timbul seperti getaran akibat aktivitas manusia. Permasalahan semakin nyata ketika ada aktivitas diatas pelat yang menimbulkan beban dinamik pada pelat tersebut, sehingga pelat bergetar dan dirasakan oleh pemakai/penghuni yang menimbulkan ketidaknyamanan. Getaran pada sistem pelat lantai gedung bertingkat dapat terjadi akibat eksitasi yang timbul dari kegiatan manusia yang bersifat ritmik seperti gerakan berlari, menari dan aerobik. Investigasi dan evaluasi secara eksperimental pada pelat beton bertulang dari suatu gedung kuliah dua lantai dilakukan untuk melihat secara nyata permasalahan yang timbul pada lantai gedung tersebut yang banyak digunakan untuk aktivitas perkuliahan sehari-hari.

II. FREKUENSI ALAMI DAN WALKING VIBRATION

Getaran adalah gerakan bolak balik (*reciprocating*), memantul ke atas dan kebawah atau ke belakang dan kedepan. Gerakan tersebut terjadi secara teratur dari benda atau media dengan arah bolak balik dari kedudukannya. Ketika benda bergetar maka memiliki periode dan frekuensi. Sedangkan, frekuensi sendiri memiliki arti yakni besaran ukuran jumlah putaran ulang suatu peristiwa dalam waktu tertentu. Dalam getaran, frekuensi adalah jumlah getaran yang melewati titik tertentu dalam satu

detik. Satuan frekuensi adalah Hertz (Hz) atau putaran perdetik. Getaran menjadi masalah yang serius karena pemakaian bahan berkekuatan tinggi, system lantai yang ringan, dan arena bukaan girder yang besar [3].

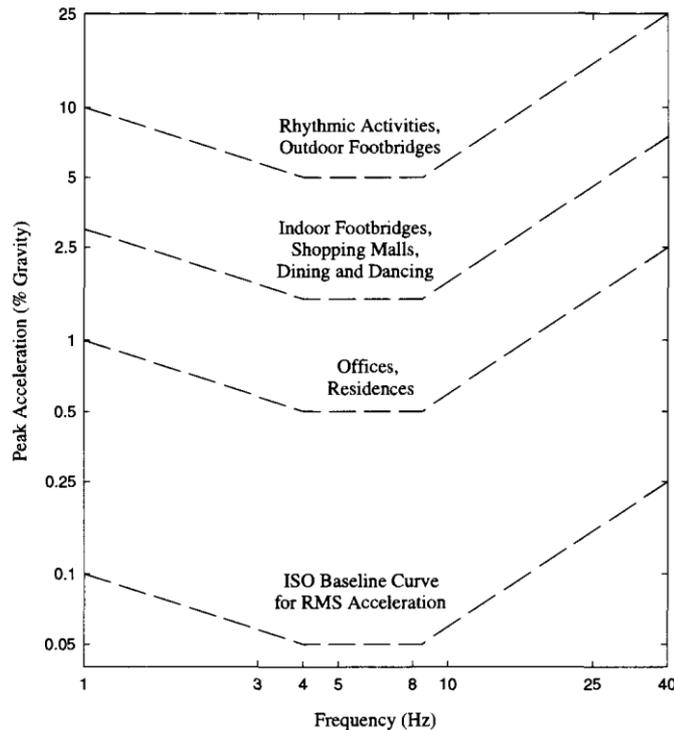
Struktur mempunyai getaran walau dalam kondisi nampaknya diam. Jika sebuah struktur bergetar pada suatu frekuensi yang sesuai dengan frekuensi alami, maka struktur tersebut akan memberikan respon berupa amplitudo yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya waktu, membutuhkan energi yang sangat sedikit, sampai pada suatu waktu struktur itu menjadi kelebihan tegangan dan runtuh

Untuk menganalisis integritas struktur secara keseluruhan, frekuensi alami harus dihitung agar dapat dibandingkan dengan beban tergantung waktu yang bekerja pada struktur dimana frekuensinya berbeda dengan frekuensi alaminya. Sehingga struktur tersebut tidak akan mengalami lendutan yang berlebihan atau tegangan yang terlalu besar, dan dapat menghindari terjadinya resonansi dimana frekuensi yang disebabkan oleh beban tergantung waktu sama dengan frekuensi alami. Semua struktur memiliki besaran jumlah frekuensi alami. Frekuensi alami balok dapat diperkirakan menggunakan rumus:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad [1]$$

Dimana, f adalah frekuensi alami dalam Hz, k adalah kekakuan dalam (N/m), dan m adalah massa dalam satuan (kg).

Frekuensi dan amplitudo yang diakibatkan oleh kegiatan manusia seperti berjalan, menari dan melompat menimbulkan gaya-gaya pada lantai. Gaya-gaya ini yang akan menimbulkan getaran pada sistem lantai karena antara struktur gedung dengan gaya gerakan manusia tidak dapat diisolasi [4]. Getaran yang ditimbulkan pejalan kaki dapat menginduksi beban berirama dinamis impulsif pada arah vertikal dan horisontal yang didominasi oleh tingkat mondar-mandir. Tingkat mondar-mandir untuk berjalan adalah antara 1,6 dan 2,4 langkah per detik, yaitu 1,6-2,4 Hz (berjalan lambat sampai dengan cepat) sementara untuk kecepatan langkah jogging adalah sekitar 3 Hz [1]. Gambar 1 dibawah ini merupakan kriteria desain dari getaran yang disebabkan orang berjalan.



Gambar 1. Rekomendasi untuk akselerasi puncak dari kenyamanan manusia untuk getaran akibat aktivitas manusia [4]

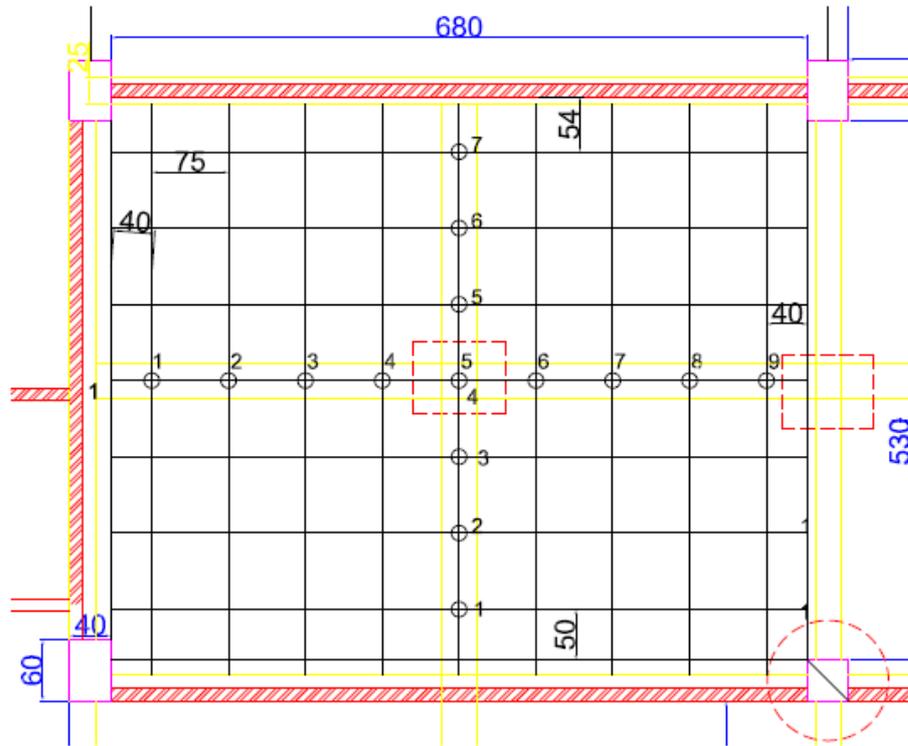
III. INVESTIGASI DAN EVALUASI

3.1 Uji Natural Frequency

Uji natural frequency pada pelat di lakukan pada pelat panel dibawah ini dengan ukuran pelat 6,8 m x 5,3 m. Pelat di support oleh ke-4 balok induk (BI) pada ke empat sisinya. Pada bagian tengah pelat juga di support oleh balok anak (BA) yang dipasang saling tegak lurus membagi pelat panel tampak pada gambar dibawah ini.

Untuk pengujian frekuensi alami, accelerometer diletakkan di tengah bentang pelat, tepatnya pada titik 5 dengan arah sumbu-x searah panjang pelat 6,8 m dan arah y searah dengan arah panjang pelat 5,3 m dan arah z kearah bawah pelat/arah vertikal.

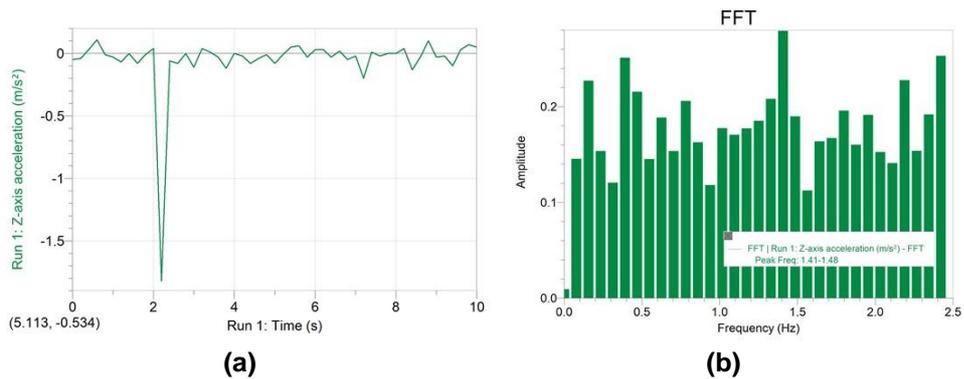
Untuk pengujian ini tidak ada beban luar berada diatas pelat.



Gambar 2. Daerah Pembebanan pada pelat beton LT 2 Gedung E Fakultas Teknik UNILA

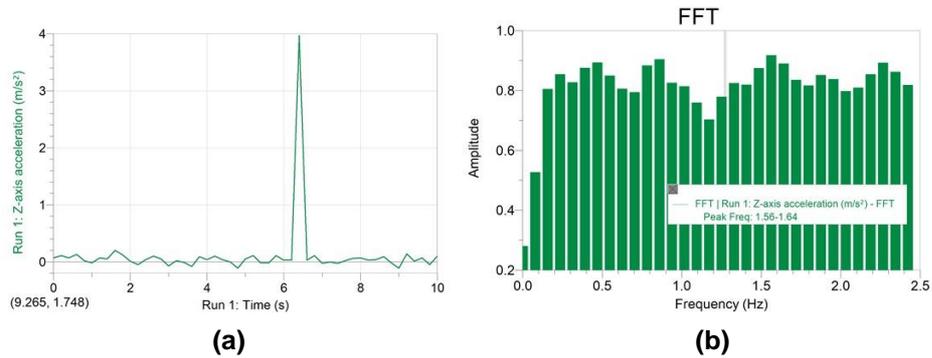
3.2 Frekuensi Alami Pelat

Gambar 3 menunjukkan frekuensi alami pelat tanpa pembebanan atau hanya menahan berat sendirinya. Panel pelat tersebut bergetar pada frekuensi antara 1,41 – 1,48 Hz. Frekuensi ini masih dibawah yang diisyaratkan untuk desain pelat yaitu sebesar 8 Hz.



Gambar 3. (a) Frekuensi-Acceleration arah Z untuk pengujian frekuensi alami pelat
 (b) Fast Fourier Transverse (FFT) untuk Frekuensi-Acceleration arah Z untuk pengujian frekuensi alami pelat dengan peak 1,41 – 1,48 Hz

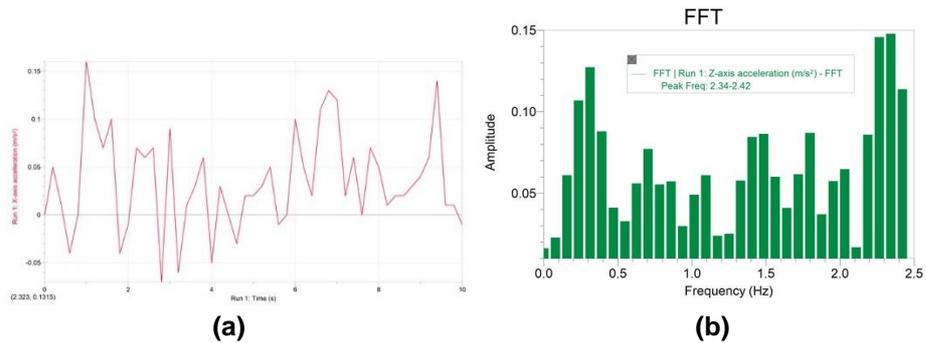
Sedangkan Gambar 4 adalah pengujian kedua yang dilakukan pada pelat yang sama. Range frekuensi yang mendekati sama yaitu sebesar 1,56 Hz – 1,64 Hz.



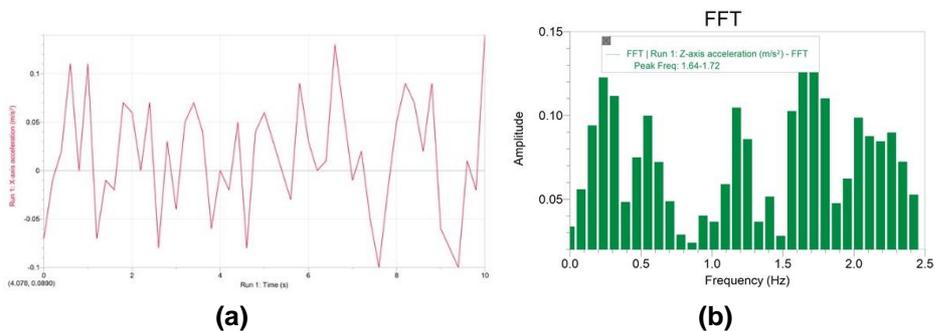
Gambar 4. (a) Frekuensi-Acceleration arah Z untuk pengujian frekuensi alami pelat pengujian kedua (b) Fast Fourier Transverse (FFT) untuk Frekuensi-Acceleration arah Z untuk pengujian frekuensi alami pelat dengan peak 1,56 – 1,64 Hz

3.3 Uji Getar Akibat Orang Berjalan pada Pelat Arah Memanjang

Gambar 5 dibawah ini menunjukkan uji getaran akibat orang berjalan. Seseorang berjalan dalam arah memanjang pelat dengan berat 60 kg menghasilkan getaran dengan frekuensi sebesar 2,34 Hz – 2,42 Hz.



Gambar 5. (a) Getaran orang berjalan seberat 60 kg dalam arah memanjang pelat (b) Frekuensi pelat akibat orang berjalan arah x dengan berat 60 kg (uji 1)



Gambar 6. (a) Getaran orang berjalan seberat 60 kg dalam arah memanjang pelat. (b) Frekuensi pelat akibat orang berjalan arah x dengan berat 60 kg (uji 2)

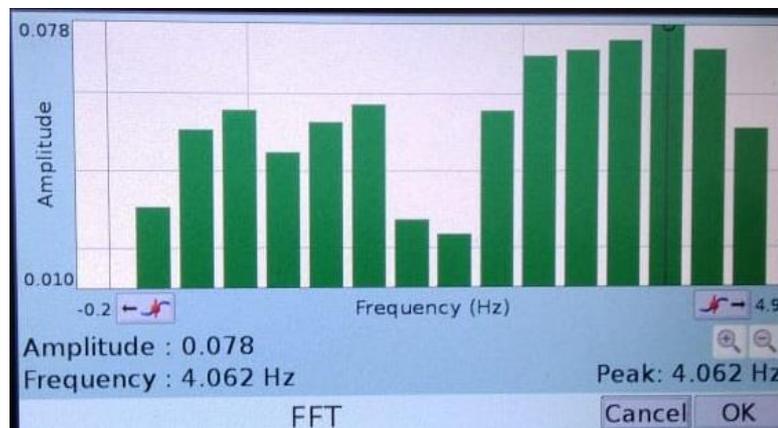
3.4 Uji Getar Beban Statis dan Dinamis

Ada dua scenario pembebanan yang dilakukan pada pelat beton bertulang dengan panel 6,8 m x 5,3 m. Pertama adalah pembebanan statis dengan menggunakan tiga kali pembebanan statis yaitu pembebanan dengan menggunakan 20 orang, 40 orang dan 80 orang.



Gambar 7. Setting pembebanan untuk 20 orang (file:BAA11 (Beban 20 orang))

Seperti dapat dilihat pada Gambar 7, dua puluh orang berdiri pada bagian tengah pelat atau tepatnya diatas kedua balok anak yang bersilang di bawah pelat. Terhadap beban statis ini, didapat nilai defleksi dibawah lantai sebesar 0,11 mm. Pengambilan data dinamik selama 2 menit dengan nilai Frequency. f sebesar 4.062 Hz dengan nilai Amplitudo = 0,078 seperti terlihat pada Gambar 4.16.

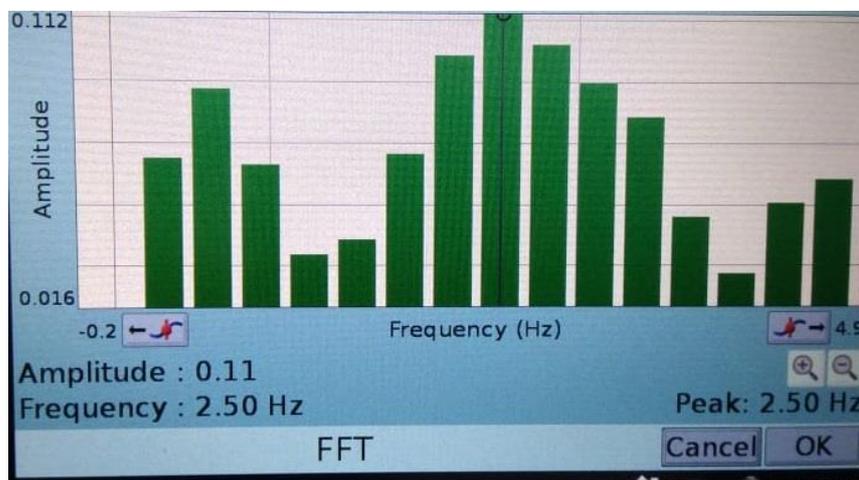


Gambar 8. Analisis FFT untuk pelat yang dibebani oleh 20 orang yang difokuskan pada daerah sekitar diatas balok anak menyilang pada pelat.

Gambar 9 menunjukkan pelat di bebani dengan 40 orang dengan konfigurasi seperti tergambar. Empat puluh orang membebani pelat yang dibawahnya ada dua balok anak yang besilangan. Pengujian ini menghasilka lendutan/displacement sebesar 0,24 mm. Akibat beban ini pelat mempunyai frekuensi f sebesar 2,5 Hz , dengan nilai Amlitudo = 0,11 (Gambar 10).



Gambar 9. Setting pemebanan untuk 40 orang pada pelat difokuskan diatas balok anak menyilang dibawah pelat.



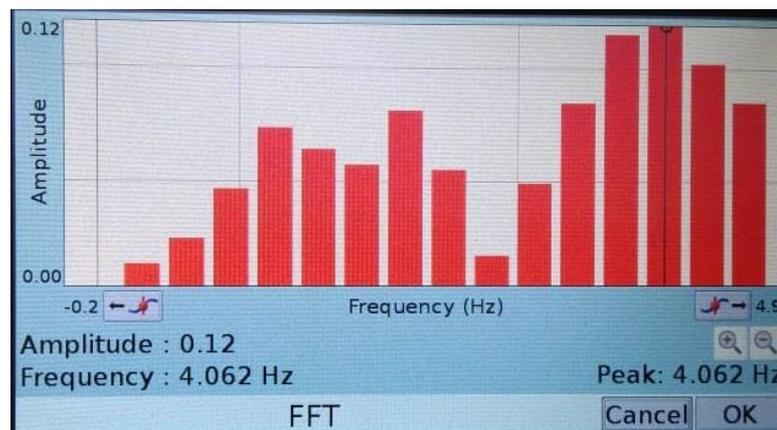
Gambar 10. Analisis FFT untuk pelat yang dibebani oleh 40 orang yang difokuskan pada daerah sekitar diatas balok anak menyilang pada pelat.

Gambar 11 menunjukkan pelat di bebani dengan 80 orang dengan konfigurasi seperti tergambar. Delapan puluh orang membebani pelat yang dibawahnya ada dua balok anak yang bersilangan. Pengujian ini menghasilka lendutan/displacement sebesar 0,39 mm. Akibat beban ini

pelat mempunyai frekuensi f sebesar 4.062 Hz , dengan nilai Amplitudo 0,12. Hasil ini dapat dilihat pada Gambar 12 dimana data getaran dianalisis dengan analisis FFT.



Gambar 11. Setting pembebanan untuk 80 orang ditempatkan diatas balok anak menyilang diantara tengah pelat

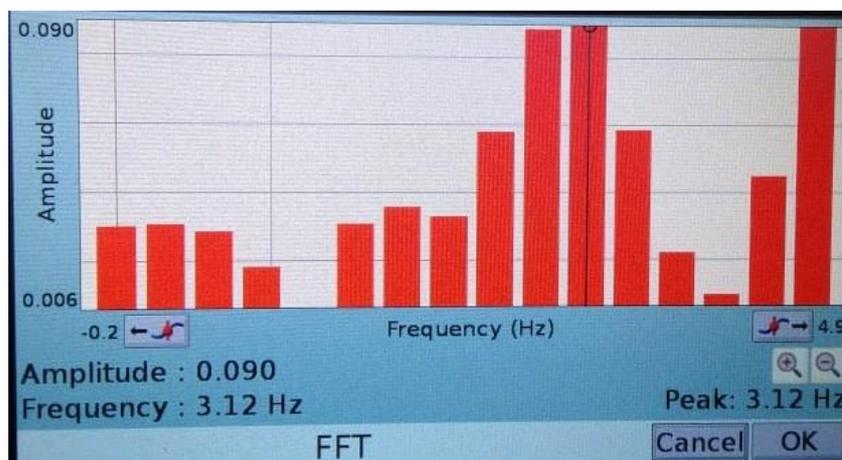


Gambar 12. Analisis FFT untuk pelat yang dibebani oleh 80 orang yang difokuskan pada daerah sekitar diatas balok anak menyilang pada pelat.

Sementara Gambar 13 menunjukkan bahwa pelat dibebani oleh 80 orang yang tersebar merata sepanjang luas lantai. Pembebanan pelat secara statis ini menghasilkan defleksi pada tengah lantai sebesar 0,33 mm. Sementara Frequency f yang tercatat adalah sebesar 3,12 Hz dengan nilai Amplitudo = 0,09.



Gambar 13. Setting pembebanan untuk 80 orang (file:BA21 (beban 80 orang) orang bergeser ke masing-masing kotak dan tiap kotak diisi oleh 2 orang



Gambar 14. Analisis FFT untuk pelat yang dibebani oleh 80 orang yang disebar merata pada pelat.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimental dan kajian secara teori serta pembahasan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut:

- a) Frekuensi alami pelat masih berada jauh dari yang diisyaratkan oleh peraturan yaitu sebesar 8 Hz
- b) Frekuensi pelat akibat orang berjalan juga sangat kecil berada dikisaran 1,64 Hz – 2,42 Hz yang beririsan dengan frekuensi alami pelat, sehingga pelat terjadi resonansi.
- c) Untuk pembebanan pelat dengan beban 20 orang menghasilkan defleksi tengah bentang sebesar 0,11 mm. Pengambilan data dinamik selama 2 menit dengan nilai frekuensi. f sebesar 4.062 Hz dengan nilai Amplitudo 0,078.

- d) Pembebanan pelat dengan 40 orang menghasilkan defleksi pada pelat sebesar 0,19 mm. Akibat beban ini pelat mempunyai frekuensi f sebesar 2,50 Hz , dengan nilai Amplitudo 0,11
- e) Pembebanan pelat dengan 80 orang menghasilkan defleksi pada pelat sebesar 0,41 mm. Akibat beban ini pelat mempunyai frekuensi f sebesar 1,56 Hz , dengan nilai Amplitudo 0,063
- f) Pembebanan pelat dengan 80 orang dan disebar merata seluas pelat yang ada akan menghasilkan defleksi vertical sebesar 0,33 mm, dan frekuensi sebesar 3,12 Hz dengan nilai amplitude 0,09.
- g) Semakin banyak orang membebani pelat yang disebar diatas balok anak menyilang dibawah pelat maka akan menghasilkan defleksi yang semakin besar, dan frekuensi pelat akan menurun.
- h) Namun jika beban disebar seluas pelat yang ada maka defleksi akan lebih kecil dibandingkan dengan pelat yang dibebani hanya daerah sekitar balok anak. Dan frekuensi pelat akan meningkat kembali.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Lampung atas bantuan dana Hibah Penelitian Unggulan Tahun 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Collette, F. (2004). Comfort an Vibrations on Floors due to Walking Loads. CQWI Publications, The Scandinavian Vibration Society (SVIB). Stockholm.
- [2] Bachroni, C.B. (2015). Penanggulangan Getaran Pada Pelat Lantai Beton Bertulang. Jurnal Pemukiman. Vol.10 No. 1 Mei 2015: 1-10.
- [3] Xuhong Z, Jiang L, and Jiepeng L. (2015). Vibration of Prestressed Cable RC Truss Floor System due to Human Activity. Journal of Structure Engineering. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001447.
- [4] Murray T.M, Allen, D. E., Unggar E. E. (2003). Floor Vibration due to Human Activity. AISC. Steel Design Guide Series 11.

KEARIFAN LOKAL DALAM KONSTRUKSI TAHAN GEMPA BANGUNAN TRADISIONAL DI LIWA LAMPUNG BARAT

Sita Ayu Zain¹, Agung Cahyo Nugroho^{1,*}

¹Arsitektur Universitas Lampung

*Email: agung.cahyo@eng.unila.ac.id

Abstrak: Liwa Lampung Barat merupakan wilayah yang memiliki potensi gempa dengan magnitudo tertinggi di Provinsi Lampung, sebagaimana nampak pada kejadian gempa bumi Liwa pada tahun 1933 dan 1994. Kondisi ini mengakibatkan kerusakan parah pada bangunan dan lingkungan di kawasan terdampak. Dalam kejadian tersebut, terdapat banyak bangunan dengan konstruksi tradisional memiliki ketahanan tinggi terhadap guncangan gempa. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa sistem struktur tradisional dengan konstruksi kayu yang unik menjadi faktor penentu ketahanan bangunan dari guncangan gempa. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana bentuk konstruksi pada bangunan tradisional yang dianggap dan terbukti tahan terhadap guncangan gempa sebagai salah satu kearifan lokal (*local wisdom*) yang harus dijaga dan dikembangkan. Kajian keunikan ini diperlukan dalam rangka peningkatan kemampuan kapasitas dan sumber daya yang terkait dengan proses konstruksi bangunan gedung. Metode penelitian ini dilakukan dengan menganalisis eksploratif terhadap beberapa sampel bangunan tradisional yang secara struktural bertahan dari guncangan gempa. Analisis dilakukan dengan dokumentasi, pengukuran, *redrawing*, dan interpretasi tiga dimensional terhadap bangunan dan detil konstruksinya. Dari sampel tersebut dapat diketahui bahwa dalam sistem struktur tradisional dan konstruksi sambungan kayu dari beberapa bangunan yang diamati memiliki keunikan tersendiri dan menjadi bagian dari aspek arsitektural bangunan yang spesifik di Liwa. Keunikan ini dapat menjadi salah satu solusi alternatif pengembangan sistem konstruksi bangunan gedung yang tahan gempa di masa depan.

Kata Kunci: kearifan lokal, struktur, konstruksi, bangunan tradisional

I. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan getaran atau serentetan getaran dari kulit bumi yang bersifat tidak stabil dan kemudian menyebar kesegala arah (Howel dalam Mulyo, 2004). Indonesia merupakan salah satu negara yang sangat rawan akan terjadinya gempa bumi di dunia, termasuk daerah Lampung. Lampung dan sekitarnya merupakan jalur patahan yang sangat kompleks sehingga daerah ini sering terjadi gempa. Gempa yang banyak terjadi rata-rata berada di laut bagian barat Bengkulu dan Lampung Barat. Namun, terdapat pula gempa yang terjadi di daratan yang terletak di Lampung Bagian Barat, seperti yang terjadi pada tahun 1933, 1994 dan tahun 2004 yang memiliki skala > 6 skala richter. Ancaman terjadinya bencana alam gempa bumi ada disepanjang pulau sumatera, karena sumatera memiliki jalur sesar besar yang membujur dari ujung sabang pulau Sumatera hingga ujung selatan pulau Sumatera yaitu merupakan daerah Lampung. Pulau Sumatera merupakan pulau yang terdapat

pertemuan dua lempeng, yaitu lempeng Indo-Australia dan lempeng Indo-Eurasia. Provinsi Lampung merupakan provinsi yang memiliki laju pembangunan yang cukup pesat, dimana apabila terjadinya bencana gempa bumi akan langsung berpengaruh besar terhadap bangunan yang ada di Lampung. Liwa Lampung Barat merupakan wilayah yang memiliki potensi gempa dengan magnitudo tertinggi di Provinsi Lampung, sebagaimana nampak pada kejadian gempa bumi Liwa pada tahun 1933 dan 1994. Kondisi ini mengakibatkan kerusakan parah pada bangunan dan lingkungan di kawasan terdampak. Dalam kejadian tersebut, terdapat banyak bangunan dengan konstruksi tradisional memiliki ketahanan tinggi terhadap guncangan gempa.

II. MATERIAL DAN METODE

2.1 ALAT DAN BAHAN

Alat dan bahan yang digunakan selama dilakukannya penelitian adalah berupa alat ukur meteran, kamera untuk dokumentasi elektronik, laptop untuk menginput semua data penelitian, software AUTOCAD, kertas, dan juga alat gambar.

2.2 METODE PENELITIAN

Metode Penelitian dalam penelitian ini adalah menggunakan metode penelitian kuantitatif dimana dalam penelitian ini bersifat deskriptif dan cenderung menggunakan analisis. Metode ini memaparkan dan menjelaskan mengenai konstruksi tahan gempa pada rumah panggung adat Lampung. Dalam penelitian ini menggunakan dua tahapan diantaranya adalah:

- a. Pengumpulan data primer dengan melakukan observasi dan wawancara sehingga dapat mengetahui dan dapat menjadi bahan pertimbangan terutama mengetahui terhadap objek sejenis yang sudah ada sebelumnya maupun membandingkan antara objek satu dengan lainnya. Dan juga menggunakan data sekunder dengan pengambilan data melalui dokumentasi tertulis maupun berupa elektronik dari lembaga / institusi yang diperlukan untuk mendukung kelengkapan data lain.
- b. Analisis data
Hasil kesimpulan keseluruhan nantinya merupakan solusi atau *problem solving* untuk dijadikan referensi dalam penerapan struktur rumah panggung tahan gempa.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 GAMBAR OBSERVASI

Pada penelitian ini, sampel rumah yang digunakan adalah rumah yang utuh dan kokoh pasca terjadinya bencana alam gempa bumi 1933 dan 1994 di Liwa, Lampung Barat. Rumah ini terdapat pada kecamatan Batu Brak, Kabupaten Lampung Barat.

Pada rumah pertama, rumah kepemilikan dari bapak Drs. Helmi, M.M.



Gambar 1. Rumah milik Bapak Helmi (Sumber: Dokumentasi pribadi)

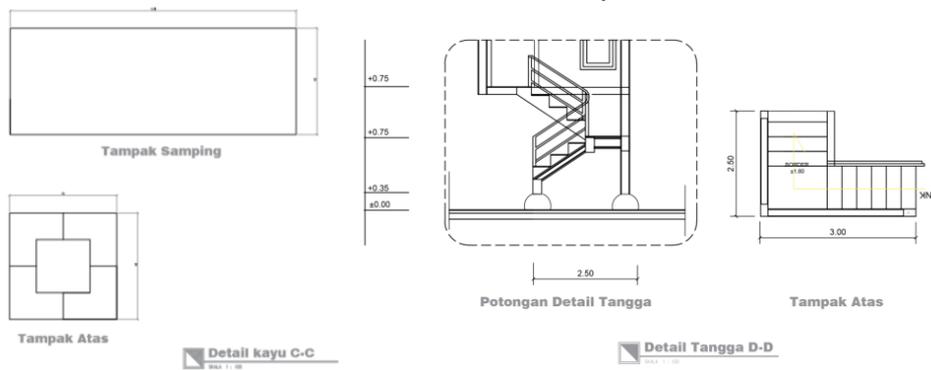
Lalu untuk sampel rumah kedua, rumah dari kepemilikan bapak Nas'ad, yang bertempat di sukarama.



Gambar 2. Rumah milik Bapak Nas'ad (Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 3. Denah Rumah milik bapak Helmi dan bapak Nas'ad (sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4. Detail kayu rumah dan tangga (sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 5. Detail konstruksi kayu (sumber: Dokumentasi Pribadi)

3.2 PENJELASAN HASIL OBSERVASI

3.2.1 Kondisi Sosial Daerah Penelitian

Kabupaten Lampung Barat merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Lampung dari 15 Kabupaten yang ada. Kabupaten ini dipenuhi dengan lingkungan pegunungan dan perbukitan, Lampung Barat sendiri memiliki luas wilayah $\pm 4.950 \text{ km}^2$. Sebagian penduduk Liwa ini bermata pencaharian sebagai petani sawah dan petani perkebunan. Wilayah kabupaten Lampung Barat secara administratif terdiri dari 15 kecamatan, 5 kelurahan, dan 131 pekon. Dengan jumlah penduduknya mencapai 301.131 jiwa.

3.2.2 Kondisi Kegempaan

Setiap bangunan memiliki beban dari beberapa gaya yang bekerja didalamnya. Beban ini meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, beban hujan, beban gempa dan beban tekanan air. Salah satu jenis dari kesemua beban diatas adalah beban gempa yang merupakan jenis beban gaya yang mungkin muncul (sesaat) didalam rentang usia masa pemakaian gedung atau ada kemungkinan tidak muncul (Pradono dan Wisyanto,2016). Beban ini biasanya yang mampu merusak gedung, bila dalam pembangunannya tidak memperhatikan aspek beban gempa. Beban gempa akan bekerja pada bangunan dalam arah vertikal maupun horizontal.

Kabupaten Lampung Barat ini sendiri memiliki sejarah kegempaan yang termasuk dalam klasifikasi tinggi dan berbahaya. Terdapat beberapa kemungkinan sumber terjadinya gempa yang berpotensi mempengaruhi wilayah Lampung Barat, yaitu gempa yang berada pada sekitar Sesar Semangko, ada pula gempa yang berada dalam tubuh lempeng yang menyusup dan gempa –gempa yang berasal dari sesar Sumatera (shallow crustal).

3.2.3 Konstruksi Rumah Panggung Tahan Gempa

Rumah panggung tahan gempa yang ada di Lampung Barat, memiliki konstruksi yang berbeda dari konstruksi rumah panggung pada umumnya. Dalam penelitian ini, daerah yang diangkat untuk dijadikan sampel rumah panggung tahan gempa, yaitu daerah Batu Brak, Lampung Barat dimana masih terdapat rumah yang berdiri kokoh pasca terjadinya tragedi gempa bumi yang maha dahsyat pada tahun 1933 dan 1994 yang memporak-porandakan kabupaten Lampung Barat, sehingga banyak menimbulkan korban jiwa dimana sebagian besar korban jiwa berasal karena tertimpah reruntuhan bangunan. Dari peristiwa tersebut dapat ditarik kesimpulan

bahwa kurangnya pengetahuan akan penggunaan konstruksi bangunan tahan gempa.

Konstruksi tahan gempa yang baik tercipta dari material yang kuat, tahan lama, dan juga elastis. Menurut hasil observasi yang telah dilakukan, material yang dipakai oleh rumah-rumah yang masih kokoh berdiri semenjak terjadinya bencana alam gempa bumi, mereka menggunakan material kayu, seperti kayu klutum, kayu meranti, kayu tenam, kayu cempaka, kayu kemit, dan kayu mulu. Pada zaman sekarang material-material kayu yang kuat sudah sangat jarang ditemukan, karena kualitas kayu yang digunakan merupakan kayu yang telah memiliki umur tua karena kayu yang telah tua memiliki serat yang lebih padat, kuat dan bisa menjaga keelastisan. Setelah menentukan material yang cocok dan pas yang sesuai dengan standart kekuatan dan keelastisan pada bangunan rumah panggung, maka selanjutnya dilakukan penentuan pemasangan konstruksi, dengan menggunakan konstruksi khasuk (menerus).

Seperti pada hasil observasi yang telah dilakukan pada rumah-rumah warga yang masih utuh pasca bencana gempa bumi liwa 1933 dan 1994, yaitu pada salah satunya rumah milik Bapak Helmi yang sudah berumur sekitar 93 tahun dan lolos tidak rubuh pada saat terjadi gempa pada 1933 dan 1994. Gambar denah maupun detil konstruksi terdapat pada gambar 01, gambar 02, gambar 03 dan juga gambar 04. Pada gambar 01, rumah yang dimiliki oleh beliau merupakan rumah yang telah dibangun sejak tahun 1934 atau sudah ditempati pada generasi rumah ke tiga. Rumah ini memiliki tinggi awal hanya satu setengah meter, namun karena kebutuhan pengguna rumah sekarang di tinggikan menjadi 2 meter. Untuk detail pemasangan konstruksi rumah digambarkan pada gambar 02. Gambar ini mendeskripsikan terdapat dua kayu yang saling menjepit satu sama lain, sehingga saat terjadinya gempa, rumah tersebut tetap kokoh karena memiliki konstruksi yang saling mengikat satu sama lain sehingga rumah tidak rubuh dan tetap elastis mengikuti guncangan gempa bumi tersebut. Berikut merupakan contoh detail konstruksi yang digunakan pada rumah bapak Helmi:



Gambar 6. Hasil Gambar Survey (sumber: Dokumentasi Pribadi)

Sampel penelitian berikutnya adalah rumah Bapak Nas'ad yang sudah di dirikan sejak tahun 1925 dan sudah memasuki generasi ke tiga, dimana material yang digunakan pada rumah ini merupakan jenis material kayu kemit. Kayu kemit ini termasuk kayu yang kuat dan elastis untuk digunakan menjadi material utama rumah panggung.



Gambar 7. Hasil Gambar Survey pada rumah bapak Nas'ad (sumber: Dokumentasi Pribadi)

3.2.4 Hasil Perbandingan

Setelah melakukan survey dan pengumpulan data lapangan ke beberapa rumah warga yang masih “utuh”, rumah panggung tahan gempa yang elastis terhadap gerakan gempa bumi, terdapat beberapa perbandingan, yang dapat digunakan sebagai hasil referensi konstruksi rumah panggung tahan gempa, yaitu pada rumah 01 rumah milik bapak Drs. Helmi, M.M:

1. Material kayu yang digunakan pada rumah ini menggunakan material kayu jenis kayu mulu dan kayu klutum.

2. Kolom pada bangunan berbentuk seperti kayu pada umumnya dengan ukuran 15 x 15



Gambar 8. Gambar Kolom rumah bapak Helmi (sumber: Dokumentasi Pribadi)

3. Terdapat kolom menerus dari ujung bawah pondasi hingga ke atap sebagai kolom utama.
4. Balok horizontal memanjang ke samping sepanjang 9 meter tanpa adanya sambungan kayu, dan 20 meter ke belakang tanpa adanya sambungan kayu lain.

Sedangkan, pada rumah ke dua kepemilikan bapak Nas'ad:

1. Material kayu yang digunakan merupakan jenis kayu klutum dan kayu merbau
2. Kolom pada bagian bawah bangunan berbentuk bulat seperti bentuk pohon pada umumnya, lalu di sambung dengan kayu 15x15 untuk lanjutan kolom bagian dinding



Gambar 9. Gambar Kolom rumah bapak Nas'ad (sumber: Dokumentasi Pribadi)

3. Kolom tidak menggunakan kolom menerus, terdapat sambungan antara kolom bagian bawah dan bagian atas.
4. Balok horizontal menerus sepanjang 10 meter kesamping dan balok horinzontal ke belakang sepanjang 20 meter tanpa adanya sambungan kayu.

IV. KESIMPULAN

Didaerah rawan bencana alam, pentingnya pengetahuan dan edukasi mengenai sistem konstruksi tahan gempa, yang digunakan pada rumah panggung tradisional. Digunakan pada rumah panggung karena, dengan menggunakan konstruksi ini, dapat meminimalisir terjadinya bangunan kolaps, karena guncangan gempa bumi, yang dimana akan otomatis penurunan terjatuhnya korban jiwa.

Material kayu yang digunakan pada bangunan tahan gempa menggunakan material kayu yang tua dan kokoh, seperti pada jenis kayu merbau, kayu klutum, kayu kemit, dsb.

Sesuai hasil analisis konstruksi bangunan yang dipilih menggunakan konstruksi khasuk atau menerus untuk mengurangi presentase terjadinya kolaps pada bangunan. Berikut merupakan detail penerapan konstruksi untuk kayu, agar balok saling mengikat satu sama lain, sehingga apabila terjadinya gempa, bangunan akan elastis karena kolom sudah saling mengikat satu sama lain.



Gambar 10. Penerapan Konstruksi Kayu (sumber: Dokumentasi Pribadi)

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada Kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Muhammad Irvan Al Aziz atas kerjasamanya dan diskusinya saat melaksanakan pembuatan gambar kerja untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wisyanto, (2017). Analisis Potensi Ancaman Gempa Terhadap Bangunan di Krui, Kabupaten Pesisir Barat

- [2] Naryanto, H.S. dan Wisyanto, 2016, Kajian Risiko Gempa bumi terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Air di Daerah Sumatera Utara – Aceh, Laporan Internal, BPPT. -----, 2013, Pesisir Barat Dalam Angka 2013, BPS Kabupaten Pesisir Barat
- [3] Pradono, M.H. dan Wisyanto, 2016, Kaji Cepat Gedung Bertingkat, Laporan Internal, Pusat Teknologi Risiko Reduksi Bencana, BPPT.
- [4] http://file.upi.edu/Direktori/FPIPS/JUR._PEND._GEOGRAFI/198304032008012-NANIN_TRIANA_SUGITO/BUKU_AJAR_GEOLOGI.pdf

Halaman Kosong

**BIDANG 2:
TEKNIK GEOLOGI, GEOFISIKA, DAN GEODESI**

Halaman Kosong

POTENTIAL RISK MAPPING OF EARTHQUAKE DISASTER BASED ON SEISMIC VULNERABILITY INDEX IN PRAMBANAN AREA OF SLEMAN – KLATEN

Hesti^{1*}, Akroma Hidayatika¹, Rahmi Mulyasari¹

¹Geophysical Engineering, Faculty of Engineering, University of Lampung

*email: hesti.9201@eng.unila.ac.id

Abstract: Prambanan is an area that suffered severe damage in the earthquake in Yogyakarta in 2006 was marked by damage of houses and Prambanan buildings. The purpose of this study is to map the level of vulnerability earthquake events to minimize the risk of loss. This research was conducted using a single station microtremor data at 124 measurement points. Microtremor data were analyzed by the HVSR method to obtain the dominance frequency (f_0) and amplification (A_0) values. Furthermore, the seismic vulnerability index value obtained at each point based on the value dominant frequency (f_0) and amplification (A_0). Seismic vulnerability index values in this study ranged from 0.16-179.38. The factors are then mapped by dividing the 4 zones of vulnerability to the herd that is very high, high, medium, and low.

Keywords: Microtremor, HVSR, Dominant Period, Dominant Frequency, Seismic Vulnerability Index

I. INTRODUCTION

Prambanan District is located on the border between Yogyakarta and Klaten. Yogyakarta and Klaten areas are part of the route earthquake that stretches from the islands of Sumatra, Java, Bali to Nusa Tenggara. As an area located in the earthquake lane, the physiographic conditions of the Regions of Yogyakarta and Klaten are greatly influenced by the Indo-Australian plate collision activity with the Eurasian plate. This condition makes the Yogyakarta and Klaten Regions one areas with high levels of seismic activity in Indonesia. Besides being prone to earthquake due to plate collision activity, the Region Yogyakarta is also a prone to earthquake due to the activity of several local faults on the mainland^[2].

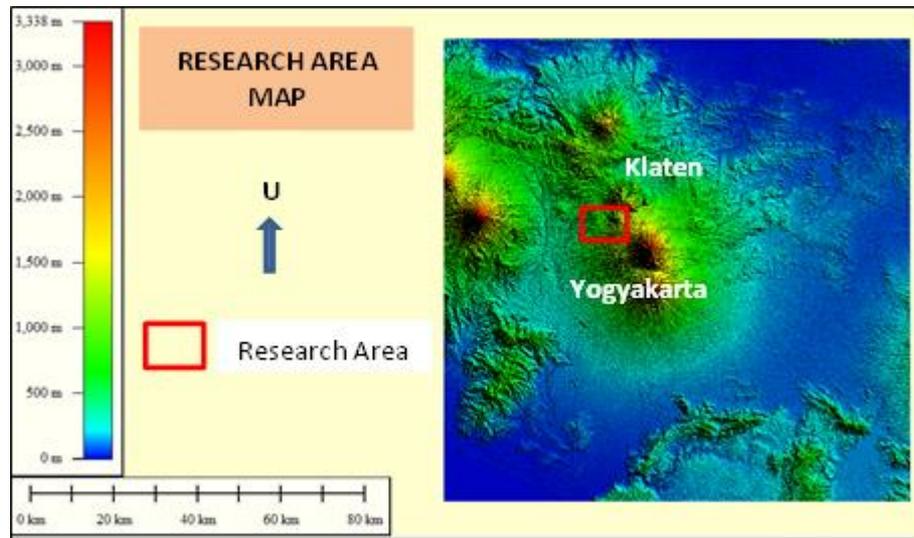


Figure 1. Research area map

In the 2006 Yogyakarta earthquake the Prambanan area get enough damage is marked by damage Prambanan temple buildings especially the Brahmana temple which was damaged on the stupa and fall in a radial pattern around them (Figure 2).



Figure 2. Damage of Prambanan Temple due to the 2006 Yogyakarta earthquake^[3]

Research in the Prambanan temple complex has been carried out by Djumarma et al (2010). The results of this study indicate that in the area it is covered by sufficiently young Merapi Volcano deposits which is around 30-40 meters thick and has not been consolidated strong so that it makes the complex area of Prambanan Temple become quite risky when shaken by an earthquake. Research area is the Merapi Muda volcanic deposit which is in the Quaternary age^[7].

This study conducted by analyzing the microtremor data to get seismic vulnerability index parameters, where this parameter can be used to see a vulnerability region by looking at the value of its seismic activity. Then zone the area to see areas with very high levels and high to low of vulnerability indeks on earthquake events.

II. MATERIALS AND METHODS

2.1 Tools and Materials

This study use a single station microtremor data, software Matlab to change CSV data format to SAF, Geopsy software to get the value of f_0 and A_0 , and ArcGis 10.2 software to create a vulnerability map.

2.2 Research Methods

The method in this study contains several stages performed, namely analysis of the horizontal to vertical spectral ratio (HVSr) curve, calculation of the value of seismic vulnerability index (K_g), and create a map vulnerability zone. In simple terms this research method is in Figure 3.

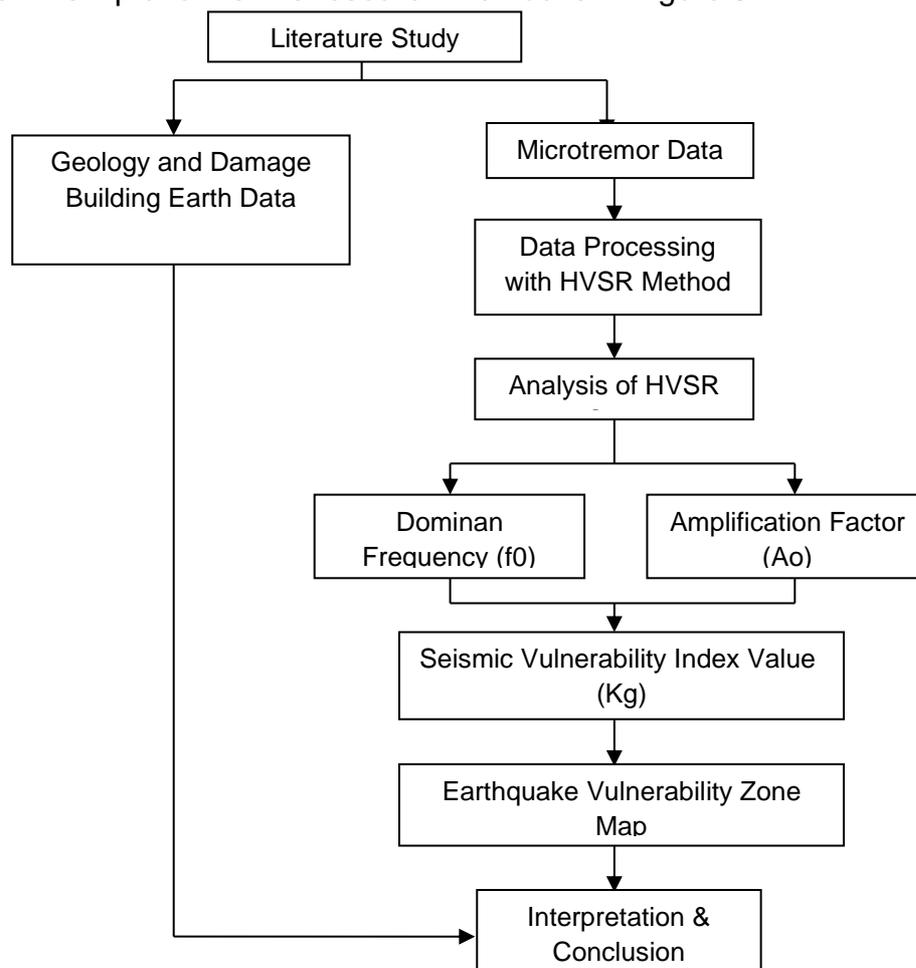


Figure 3. Flowchart of research methods

2.2.1 Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) Analysis

Microtremor data analysis can be done using Horizontal to Vertical Spectrum Ratio (HVSR) method. HVSR method, or often called the Nakamura method, is an empirical technique to estimate the resonance characteristics of the sedimentary layers below surface^[4].

HVSR analysis is done by analyzing the HVSR curve from microtremor data processing using GEOPSY software. Analysis HVSR is needed to get the value of the dominant frequency factor (f_0), dominant period factor (T_0) and amplification factor (A_0). Vertical component of HVSR curve shows the magnitude of the amplification value (A_0) and horizontal component shows the magnitude of the dominant frequency value (f_0). The dominant period value (T_0) is obtained from its relationship with the frequency value dominant (f_0) which has a reverse relationship.

Processing on the Geopsy software begins with opening 3 component microtremor data which is data in the time domain. This data is displayed in raw data as shown in Figure 4.

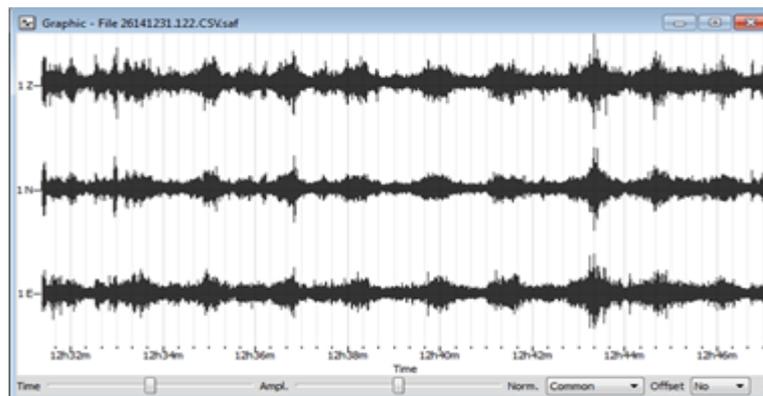


Figure 4. Raw 3 component microtremor data for point 4 signal recording

By carrying out several stages of data processing using the HVSR method the HVSR curve is obtained. The result of HVSR curve will look rough so it is necessary smoothing process (smoothing) in order to obtain a curve smooth one. The difference in the HVSR curve that is experienced refinement of data and no, can be seen in Figure 5. This research using a bandwidth value of 10 in order to obtain the HVSR curve with small standard deviation.

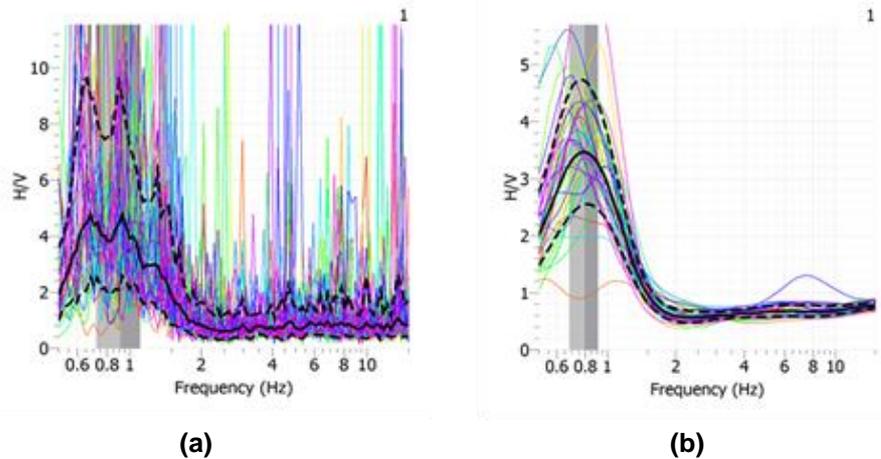


Figure 5 . Signal spectrum measured by point 4 (a) Display of the previous signal smoothing is done, (b) Display the signal after smoothing is done

The value of dominant frequency (f_0) and amplification factor (A_0) in the area measurements can be determined based on the HVSR curve produced as in Figure 5.

2.2.2 Determination of the value of Seismic Vulnerability Index (K_g)

Nakamura introduces seismic vulnerability index parameters (K_g) which can describe the level of vulnerability of the soil layer which the surface against deformation when an earthquake occurs^[5]. Wave seismic originating from earthquake including mechanical waves. Seismic vulnerability index values at each measurement point are calculated use the following equation:

$$\frac{A^2}{f_0} = K_g \quad (1.1)$$

Where:

K_g = seismic vulnerability index

f_0 = dominant frequency (Hz)

A_0 = Amplification factor

2.2.3 Making a Vulnerability Map

The final stage of this research is to create a vulnerability earthquakes level zoning map based on the distribution of vulnerability seismic index values in Prambanan District. Map of vulnerability is shared into 4 zoning namely very high, high, medium, and low. Vulnerability map zone is create using ArcGis software version 10.2

III. RESULTS AND DISCUSSION

The first results in this study are HVSR curves which has the amplification value A_0 and dominant frequency f_0 . HVSR curve obtained from data processing with a single station microtremor using the HVSR method. The HVSR curve display is exemplified in Figure 6.

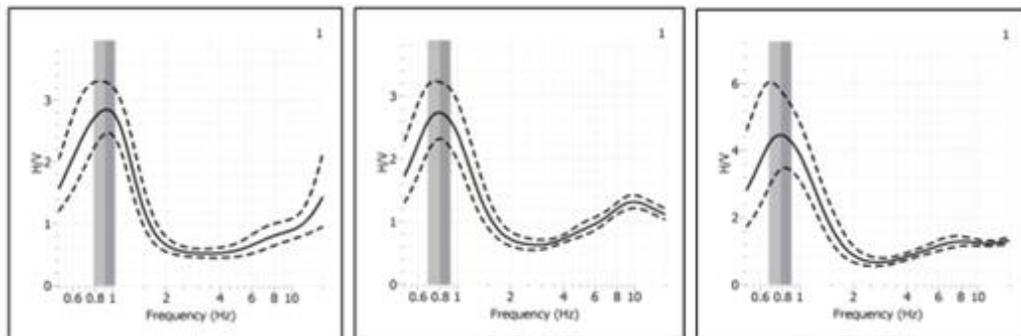


Figure 6 Example of the HVSR curve spectrum at 3 measurement points

The vertical component of the HVSR curve shows the value amplification (A_0) and horizontal components indicate the magnitude of the value dominant frequency (f_0). The dominant period value (T_0) is obtained from relation to the dominant frequency value (f_0) that has a relationship the opposite.

The dominant frequency values obtained in this study range between 0.63 - 6.78 Hz, while the dominant period values are the results of this study 0.15 s - 1.57 s and the amplification value is between 0.75 - 12.81 times. From the dominant frequency value (f_0) and Amplification (A_0), the value is obtained Seismic Vulnerability Index (K_g) using equation (1.1).

Seismic vulnerability index values in the study area ranged 0.16-179.38. Map of the distribution of seismic vulnerability index values in Prambanan area is divided into 4 zones, namely the red zone, yellow, blue and green. The lowest seismic vulnerability index is shown in green with a value of less than 4. Seismic vulnerability index medium is shown in blue with values ranging from 4- 8. A high seismic vulnerability index is shown in yellow with values ranging from 8-12. The seismic vulnerability index is very high indicated in red with a value of more than 12.

Areas that have a very high vulnerability index include a fairly large area in the research area, namely in the village of Bokoharjo, Kebondalem Kidul, Taji, Sanggrahan, Kemudo, Kebondalem Lord and Tologo. Areas that have a partially high seismic vulnerability index .The big one is located in the villages of Tlogo, Bugisan, and Kebondalem Lor, an area which is has a medium vulnerability index mostly located in villages Tlogo, Bugisan,

Kokosan and Kebondalem Lor. Area that has Low seismic vulnerability index covers a narrow area and scattered in the villages of Tlogo and Kokosan. Detail can be seen in (Figure 7).

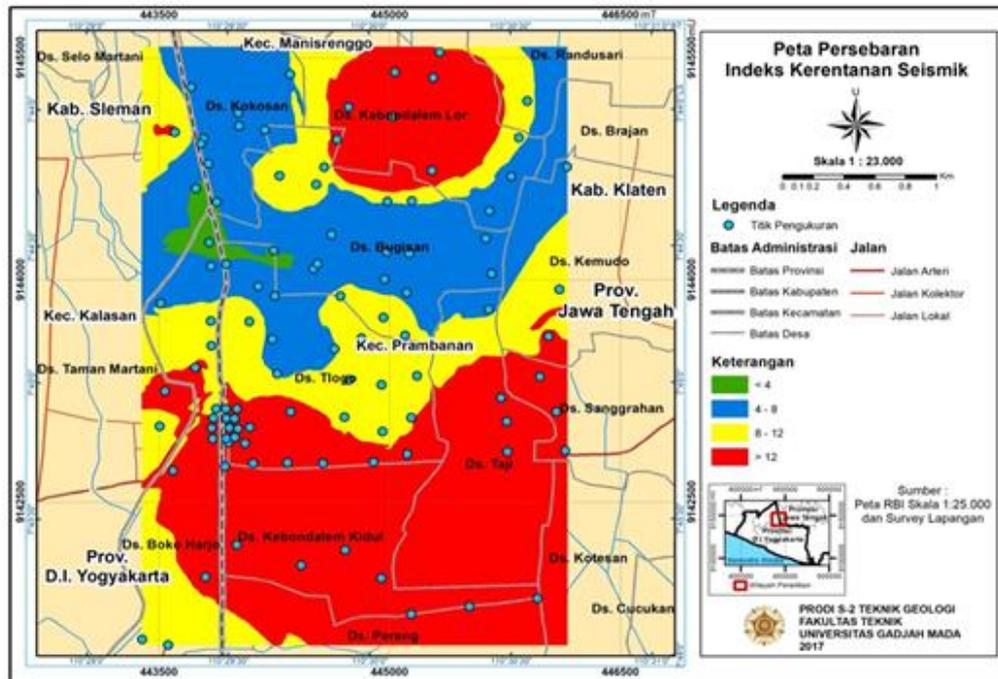


Figure 7. Map of the distribution of seismic vulnerability index values in the Prambanan area

The magnitude of variations in the seismic vulnerability index is strongly influenced by the type of lithology an area. Silt and thin sand material have a low seismic susceptibility index while sand and material thick clay has a very high seismic vulnerability index and vulnerable to seismic waves^[8]. Research area is a thick sedimentary layer in the form of sandstone with a thickness of 50 m so it has a high seismic vulnerability index value. Seismic vulnerability index value of the study area is high in the middle then continue to the south area.

The value of seismic vulnerability index (K_v) indicates ability a sedimentary layer is deformed. The greater the seismic vulnerability index value will make it easier for rocks to deformation. Thus an area that has a high seismic vulnerability index value will be more vulnerable to risk damage caused by an earthquake.

We can see in Figure 7 where Taji village, Kebondalem Kidul, and Kebondalem Lor have the highest seismic vulnerability index value compared to other regions. This is in line with damage data that occurred in

this location where some of these villages suffered severe damage due to the Yogyakarta earthquake May 27 2006.

Table 1. Data on Damage to Houses in Prambanan in Yogyakarta Yogyakarta May 27 2006^[6]

Village Name	Total Damage	Damaged Heavy	Damaged Lightly
Kokosan	9	122	380
Kebondalem Kidul	412	419	111
Kebondalem Lor	42	90	193
Taji	691	314	87
Bugisan	196	416	207

Seismic vulnerability index values describe the level of damage land and buildings when experiencing an earthquake whose value will be higher in areas with thick soft sedimentary layers^[5]. The distribution of seismic vulnerability index values is high corresponding with areas that experienced land fractures when an earthquake occurred^[1].

IV. CONCLUSION

The results of this study indicate that the District area Prambanan is vulnerable to earthquakes due in large part the study area has a high seismic vulnerability index value with the highest vulnerability values are mostly in the southern area of the study.

ACKNOWLEDGMENTS

The author thanks Prof. Subagyo Pramumijoyo and Ir. Djoko Wintolo for their contribution to the process of this research. The author also thanks Mr. Pyi Soe Thein and his team for their contribution about collected data at the field.

REFERENCES

- [1] Daryono, 2011, Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor pada Setiap Satuan Bentuk lahan di Zona Graben Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, Dissertation, Postgraduate Program Faculty of Geography, Gadjah Mada University, Yogyakarta (unpublished).
- [2] Daryono, Sutikno, Sartohadi, J., Dulbahri, and Brotopuspito, KS (2009). Effect Local Site Effect in Graben Bantul Based on t Microtremor Measurmen, International Conference Earth Science and Technology, Department Geological Engineering, Faculty of Engineering, UGM h: 119-124.

- [3] Djumarma, A., Soehaimi, A., and Mariyono, 2010, Geoseismic Research Concerning The Safeguard from The Earthquake Hazards to the world heritage of Prambanan Temple, *Volcanology and Geological Disasters Bulletin*, Vol. 5 No.2: 7-13.
- [4] Nakamura, Y. (1989) A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface. *Quarterly Report of RTRI*, 30 (1): 25-33.
- [5] Nakamura, Y. (1996) Real Time Information Systems for Seismic Hazards Mitigation UrEDAS, HERAS and PIC, *Quarterly Report of RTRI*, Vol. 37, No. 3, 112-127.
- [6] Puspitasari, D. (2014). *Tingkat Pengetahuan Siswa Kelas VII Dalam Mitigasi Bencana Gempa bumi di SMP Negeri 1 Prambanan Kabupaten Klaten*, Manuscript Publication, Geography Education, University of Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- [7] Rahardjo, W., Sukandarrumidi, and Rosidi, HMD (1995). *Geological Map Sheets Yogyakarta*, Geology Research and Development Center, Bandung.
- [8] Rusdin, AA, Hadmoko, DS, Sunarto, and Saaduddin (2016). *Analisis Pengaruh Karakteristik Sedimen dan Kedalaman Muka Airtanah Terhadap Indeks Kerentanan Seismik Kota Makassar*, National Seminar Proceedings Geophysics, Makassar

ANALISIS HIPOSENTER GEMPA BUMI LOMBOK (NTB) MENGUNAKAN METODE GRID SEARCH DAN GEIGER

Iis Ratna Sari¹, Ahmad Zaenudin¹

¹ Teknik Geofisika. Gedung L Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung, Lampung 35145, Indonesia
*email: iisratna790@gmail.com

Abstract: Lombok Island is one of the disaster prone areas located in the back arc thrust zone, stretching along the northern part of Bali to Wetar Island. The back arc thrust zone was formed due to the infiltration of the Indo-Australian plate and the Flores Fault, this fault has been proven several times to be the cause of the earthquake. The effects caused by the earthquake are influenced by several factors, namely time, earthquake strength, location of the hypocenter, soil structure and building structure. Hypocenter analysis of an earthquake is needed to determine the position of the earthquake, the cause of the earthquake, and the factors that influence the results of the calculation of the position of the earthquake. The data used in the form of earthquake data that occurred on the island of Lombok (NTB) on December 22, 2018. The earthquake hypocenter was determined using the Grid Search method and the Geiger method. The combination of the two methods is quite effective in determining the location of an earthquake hypocenter. From the results of processing, the position of the earthquake was in the area of Central Lombok Island and included in the category of shallow earthquakes with an earthquake depth of 13.41 km located at coordinates 116.29°LS and 8.57°BT. The factors that influence the calculation results are in the form of accuracy when determining P and S waves, the number of phases used, the number of grids, and the initial t_{obs} value initiation.

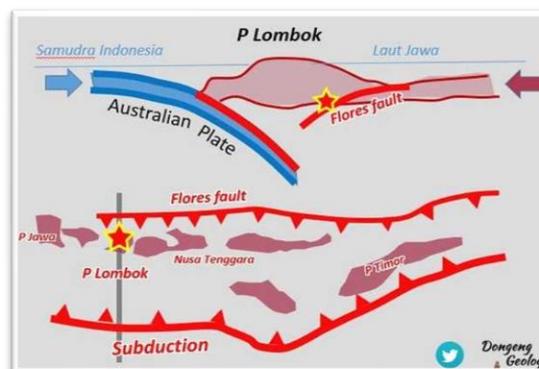
Keywords: earthquake, grid search method, geiger method, hypocenter

Abstrak: Pulau Lombok merupakan salah satu daerah rawan bencana yang berada pada zona back arc thrust, membentang di sepanjang bagian utara Bali sampai pulau Wetar. Zona back arc thrust terbentuk akibat penyusupan lempeng indo-australia dan lempeng eurasia. Sesar ini sudah terbukti nyata beberapa kali menjadi penyebab gempa bumi. Efek yang ditimbulkan oleh gempa bumi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu waktu, kekuatan gempa, letak hiposenter, struktur tanah dan struktur bangunan. Analisis hiposenter gempa bumi sangat diperlukan untuk menentukan posisi gempa bumi, penyebab terjadinya gempa bumi, dan faktor yang mempengaruhi hasil perhitungan posisi gempa bumi. Data yang digunakan berupa data gempa bumi yang terjadi di Pulau Lombok (NTB) pada tanggal 22 Desember 2018. Hiposenter gempa bumi ditentukan menggunakan metode Grid Search dan metode Geiger. Perpaduan dari kedua metode tersebut cukup efektif dalam menentukan letak hiposenter gempa bumi. Dari hasil pengolahan, posisi gempa bumi berada di daerah Pulau Lombok Tengah dan termasuk kedalam kategori gempa bumi dangkal dengan kedalaman gempa 13,41 km terletak pada koordinat 116.29°LS dan 8.57°BT. Adapun faktor yang mempengaruhi hasil perhitungan yaitu berupa ketepatan saat menentukan gelombang P dan S, Jumlah fase yang digunakan, Jumlah grid, dan inisiasi nilai t_{obs} awal.

Kata kunci: gempa bumi, metode *grid search*, metode *geiger*, hiposenter

I. PENDAHULUAN

Pulau Lombok di Nusa Tenggara Barat memiliki struktur tektonik yaitu berupa sesar naik belakang busur kepulauan (zona *back arc thrust*) yang terbentuk akibat tunjaman balik lempeng Eurasia terhadap lempeng Samudra Indo-Australia. *Back arc thrust* membujur di Laut Flores sejajar dengan busur Kepulauan Bali dan Nusa Tenggara dalam bentuk segmen-segmen, yaitu diantaranya segmen utama dan segmen minor. Sesar ini (*back arc thrust*) sudah terbukti nyata beberapa kali menjadi penyebab gempa mematikan karena ciri gempanya yang dangkal dengan magnitudo besar (Hidayati, dkk. 2018).



Gambar 1. Kondisi Geologi Pulau Lombok

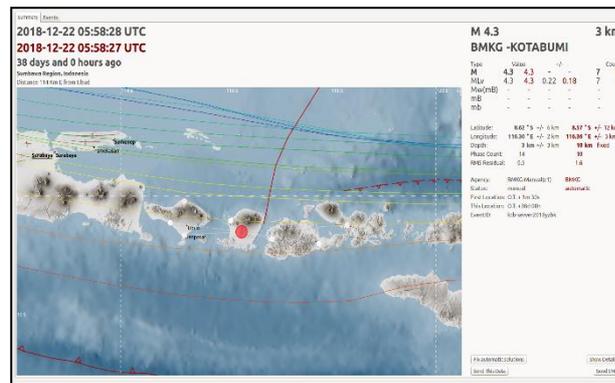
Aktivitas dari pergerakan suatu lempeng tektonik dapat diketahui dengan pemetaan lokasi gempa bumi. Pemetaan ataupun penentuan lokasi absolut gempa dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu geometri stasiun pengamat, akurasi pembacaan waktu tiba gelombang gempa, fasa gelombang yang tersedia, dan pengetahuan tentang struktur geologi pada daerah studi (Gomberg dkk., 1990).

Namun untuk skala lokal, faktor geometri dan ketersediaan data bisa diperbaiki dengan menambah jumlah stasiun pengamat pada daerah penelitian. Faktor kesalahan model kecepatan gelombang seismik dan penentuan waktu tiba dapat diminimalisir dengan analisis yang lebih lanjut (Akbar, dkk. 2012).

Penentuan pusat gempa dengan presisi yang tinggi sangat perlu dilakukan untuk membantu upaya mitigasi bencana gempa bumi. Ketelitian sangat diperlukan karena adanya heterogenitas materi bumi yang dilewati gelombang gempa dari hiposenter ke stasiun pencatat.

Oleh karena itu, diperlukan suatu cara untuk menentukan posisi gempa bumi dengan baik. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan analisis hiposenter pada lokasi atau daerah yang telah terjadi gempa bumi.

Pada penelitian ini, studi kasus yang dipilih yaitu gempa bumi di Nusa Tenggara Barat, tepatnya berada di Kepulauan Lombok, yang terjadi pada tanggal 22 Desember 2018. Lokasi titik pusat gempa bumi yang tercatat pada katalog BMKG berada pada koordinat 116,30°LS dan 8.62°BT.



Gambar 2. Lokasi Titik Gempa bumi Yang Tercatat Pada Katalog BMKG

Analisis hiposenter menggunakan 7 sensor seismik gempa. Adapun lokasi setiap stasiun yang digunakan dapat di lihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Koordinat Sensor Seismik Gempa bumi

Stasiun	X	Y	t(obs)
SRBI	115.21°LS	8.08°BT	109
RTBI	114.94°LS	8.45°BT	113,9
DNP	115.21°LS	8.68°BT	108,3
KLNI	116.09°LS	8.42°BT	93,5
TWSI	116.88°LS	8.74°BT	98,5
PLAI	117.72°LS	8.70°BT	117
DBNI	118.31°LS	8.50°BT	126

Tujuan dari analisis hiposenter ini yaitu selain untuk mengetahui letak posisi pusat gempa bumi, juga untuk mengetahui lebih detail tentang penyebab terjadinya gempa bumi, karakteristik kegempaan di suatu wilayah, dan dapat digunakan sebagai acuan ketika terjadi gempa yang sama di wilayah tersebut.

II. MATERIAL DAN METODE

2.1 Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu software seiscomp3, software arcgis, software surfer, microsoft excel. Sedangkan

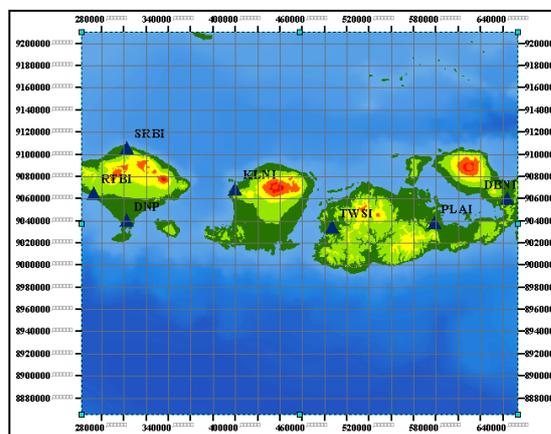
data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data primer gelombang gempa bumi yang diperoleh dari katalog Gempa BMKG.

2.2 Metode Penelitian

Penelitian analisis hiposenter ini, menggunakan perpaduan antara metode *Grid Search* dan Geiger. Latar belakang digunakannya perpaduan metode ini yaitu agar batas ruang eksplorasi model semakin lama semakin dipersempit sehingga proses iterasi lebih cepat dan memiliki nilai error yang minimum. Perpaduan dari kedua metode tersebut dinilai cukup efektif dengan ketelitian yang cukup tinggi.

2.2.1 Metode Grid Search

Metoda *Grid Search* merupakan metode solusi inversi non-linier menggunakan pendekatan global (Nugroho, dkk.2017). Dengan cara membuat grid dalam ruang di suatu area yang diduga menjadi lokasi sumber gempa bumi. Titik grid yang memiliki nilai kesalahan minimum merupakan lokasi sumber gempa bumi. Dalam pengolahan menggunakan metode *grid search* diperlukan nilai t_{obs} dari masing-masing stasiun pencatat. T_{obs} merupakan waktu tempuh gelombang P pertama yang tercatat pada stasiun pencatat (sensor seismik). Hal pertama yang dilakukan adalah menggrid area yang mencakup semua stasiun dan dugaan awal titik pusat gempa bumi.



Gambar 4. Meng-grid Area Penelitian

Kemudian, melakukan perhitungan nilai travel time (t_{tra}) tiap stasiun, nilai arrival time, residual, dan RMS.

$$t_{tra} = \frac{(x_0+x_i)^2+(y_0+y_i)^2+(z_0)^2}{v_p} \dots\dots\dots (1)$$

$$t_{arr} = (t_{tra}) + (t_0) \dots\dots\dots (2)$$

$$residual = (t_{obs}) - (t_{arr}) \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{RMS} = (r_1^2 + r_2^2 + \text{dst})/n_s \dots\dots\dots (4)$$

Sedangkan untuk menentukan kedalaman gempa bumi, kita gunakan koordinat dari nilai RMS terkecil yang telah di peroleh. Lakukan kembali perhitungan nilai travel time dengan rumus:

$$t_{\text{tra}} = \frac{(x+x_i)^2 + (y+y_i)^2 + (z)^2}{v_p} \dots\dots\dots (5)$$

Pada tahap ini juga akan diperoleh nilai rms, kedalaman gempa bumi dapat ditentukan dengan melihat hasil RMS terkecil.

2.2.2 Metode Geiger

Metode Geiger merupakan teknik pemodelan dengan cara mencoba-coba dan memodifikasi parameter model sehingga diperoleh kecocokan antara data perhitungan atau data estimasi dengan data lapangan. Caranya yaitu dengan memberikan harga awal hiposenter, kemudian menghitung waktu rambat gelombang untuk setiap stasiun yang digunakan. Dari perhitungan ini maka akan diperoleh nilai residu, yaitu perbedaan antara waktu rambat gelombang yang diamati dengan waktu rambat gelombang yang dihitung untuk setiap stasiun.

Pada pengolahan menggunakan metode geiger, data yang dibutuhkan adalah nilai koordinat dan kedalaman gempa bumi hasil pengolahan dari metode *Grid Search*. Adapun yang dihitung yaitu nilai arrival time, nilai residual, delta x, delta y, dan delta z.

$$\text{residual} = t(\text{obs})_i - t(\text{arr})_i \dots\dots\dots (6)$$

$$t(\text{arr})_i = \frac{(x_0+x_i)^2 + (y_0+y_i)^2}{v_p + t_0} \dots\dots\dots (7)$$

$$x = \frac{(x_0+x_i)}{v_p [(x_0+x_i)^2 + (y_0+y_i)^2 + (z_0)^2]} \dots\dots\dots (8)$$

$$y = \frac{(y_0+y_i)}{v_p [(x_0+x_i)^2 + (y_0+y_i)^2 + (z_0)^2]} \dots\dots\dots (9)$$

$$z = \frac{(z_0)}{[(x_0+x_i)^2 + (y_0+y_i)^2 + (z_0)^2]^{v_p}} \dots\dots\dots (10)$$

Selanjutnya lakukan regresi secara berulang, sampai nilai yang diperoleh konstan atau nilai rms nya mendekati nol.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gempa bumi merupakan gelombang seismik yang menyebabkan getaran di permukaan bumi, karena adanya pelepasan energi dari dalam bumi secara tiba-tiba. Gempa bumi dapat disebabkan oleh berbagai macam hal, seperti akibat aktivitas tektonik, runtuhannya/longsor, vulkanik, dan ada juga gempa bumi akibat aktivitas manusia (gempa bumi buatan).

Pada tahap pengolahan menggunakan metode grid search, grid yang digunakan harus mencakup lokasi gempa dan seluruh stasiun pencatat gempa. Kerapatan grid sangat mempengaruhi hasil perhitungan. Semakin rapat grid yang digunakan maka hasil yang diperoleh akan semakin relevan atau bisa dikatakan nilai error nya kecil. Adapun hasil pengolahan metode *Grid Search* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Hasil Pengolahan *Grid Search*

No.	Keterangan	Nilai
1.	t ₀	89.5
2.	v _p	5800 m/s
3.	n _s	7
4.	Rms rata-rata	1.947.832
5.	Rms min	1.540.157.578
6.	OT	05:58:11.61 UTC
7.	Koordinat Gempa bumi	116.27°LS - 8.50°BT
8.	Kedalaman Gempa bumi	5000 m

Selanjutnya, dugaan hiposenter hasil pengolahan metode *grid search* digunakan sebagai acuan dalam perhitungan titik hiposenter menggunakan metode geiger.

Pada pengolahan menggunakan metode geiger, tahap yang paling menentukan hasil pengolahan adalah nilai inisiasi t-obs awal yang diperoleh dari hasil pengolahan metode *grid search* diatas, karena metode geiger memerlukan nilai dugaan episenter awal yang terdekat. Adapun hasil perhitungan atau analisis hiposenter menggunakan metode geiger yaitu sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Pengolahan Geiger

No.	Koordinat	h (km)	t0 (s)
1.	116.29 LS 8.56 BT	24,07	88,05
2.	116.29 LS 8.57 BT	14,67	88,1
3.	116.29 LS 8.57 BT	13,47	88,06
4.	116.29 LS 8.57 BT	13,41	88,07
5.	116.29 LS 8.57 BT	13,41	88,07
6.	116.29 LS 8.57 BT	13,41	88,07
7.	116.29 LS 8.57 BT	13,41	88,07
8.	116.29 LS 8.57 BT	13,41	88,07

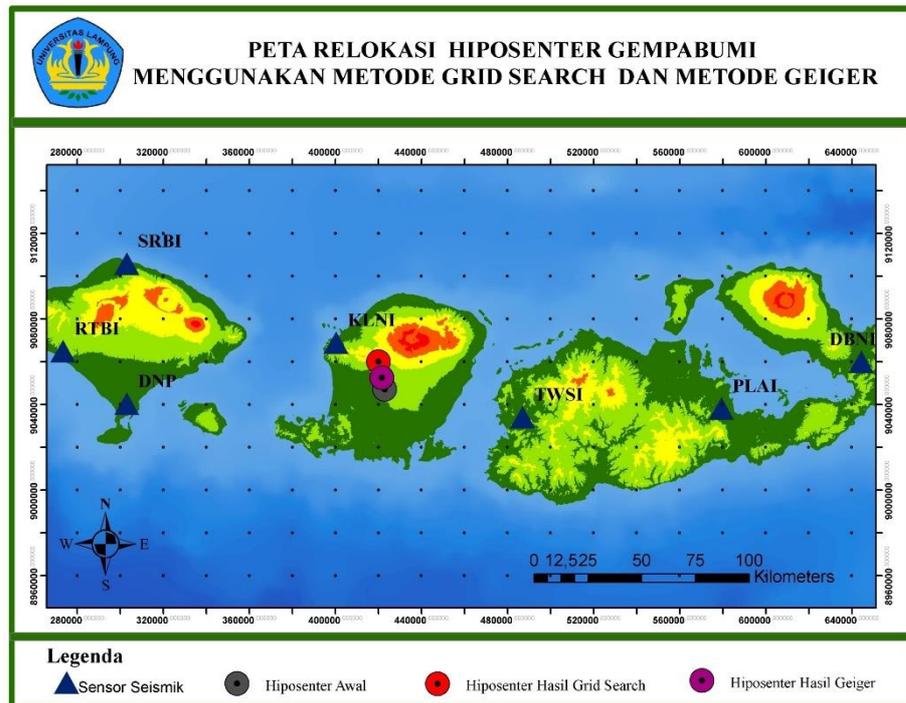
Kemudian bandingkan hasil analisis hiposenter gempa bumi yang telah diperoleh menggunakan kedua metode tersebut.

Tabel 4. Perbandingan Hasil

HASIL	(X,Y)	Kedalaman	OT (UTC)
Katalog BMKG	116.30 LS 8.62 BT	3 km	05:58:28.0
<i>Grid Search</i>	116.27 LS 8.50 BT	5km	05:58:11.61
Geiger	116.29 LS 8.57 BT	13,42 km	05:58:28.07

Ketika gempa bumi terjadi, stasiun BMKG yang tersebar di beberapa wilayah di Indonesia mencatat kejadian gempa tersebut. Namun, tentunya akan memiliki hasil yang berbeda-beda tiap stasiun terkait penentuan posisi dan kedalaman gempa. Hal ini karena adanya perbedaan heterogenitas materi bumi yang dilewati gelombang gempa dari hiposenter ke stasiun pencatat. Contohnya pada kasus gempa Lombok 22 Desember 2018, dimana masih terjadi silang pendapat atau perbedaan tentang posisi hiposenter saat gempa utama (*main shock*).

Hasil dari analisis hiposenter pada penelitian ini, penulis berhasil menentukan posisi hiposenter yang lebih baik (lihat pada tabel 4). Posisi sumber gempa hasil relokasi lebih bergeser ke daerah Lombok tengah, sedangkan kedalaman bergeser menjadi 13,42 km.



Gambar 5. Peta Relokasi Hiposenter

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dengan menggunakan perpaduan dua metode tersebut, diperoleh bahwa: Gempa bumi pada 22 Desember 2018 merupakan gempa bumi dangkal dengan kedalaman 13,42 km berada di daerah Lombok Tengah (NTB) pada koordinat $116.29^{\circ}\text{LS } 8.57^{\circ}\text{BT}$. Gempa bumi ini terjadi akibat aktivitas pada sesar naik Flores atau lebih dikenal dengan zona *back arc thrust*. Adapun faktor yang mempengaruhi hasil pengolahan dengan menggunakan kedua metode ini yaitu: ketepatan saat menentukan gelombang P dan S, jumlah fase yang digunakan, jumlah grid, dan inisiasi t_{obs} awal. Penentuan hiposenter gempa dengan pepaduan metoda grid search dan geiger menghasilkan posisi hiposenter yang lebih baik. Relokasi hiposenter gempa sangat perlu dilakukan untuk memperoleh hiposenter yang lebih baik, sehingga BMKG memiliki historis data gempa yang baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menghaturkan terimakasih kepada Stasiun Geofisika Kelas III BMKG Kota Bumi Lampung Utara yang telah menyediakan data pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akbar, A.F., Nugraha, A.D., dan Juanda, A.A. (2012). Penentuan Hiposenter Menggunakan Simulated Annealing Dan Guided Error Search Serta Penentuan Model Kecepatan Gelombang Seismik 1D Pada Lapangan Geothermal. *Jurnal Geofisika* Vol. 13 No 1.
- [2] Gomberg, J. S., Shedlock, K. M. and Roecker, S. M. (1990). The effect of S-wave arrival times on the accuracy of hypocenter estimation. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 80: 1605-1628.
- [3] Hidayati, N., Trisnawati, Sativa, O., Wallansha, R., Sakti, A.P., Promono, S., dan Permana, D. (2018). Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempa Lombok Timur 29 Juli 2018. *Bidang Seismologi Teknik. BMKG.*
- [4] Nugroho, H., Widiyantoro, S., Ibrahim, G. (2007). Penentuan Posisi Hiposenter Gempa bumi Dengan Menggunakan Metoda Guided Grid Search Dan Model Struktur Kecepatan Tiga Dimensi. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 8(1): 48-60.

INVESTIGASI ZONA POTENSI BENCANA AMBLESAN BERBASIS DATA GEOLISTRIK SCHLUMBERGER DAN WENNER DI PONJONG, GUNUNG KIDUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Al Hussein Flowers Rizqi¹

¹ Program Studi Teknik Geologi, Departemen Teknik, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

*Email: alhussein@sttnas.ac.id

Abstrak: Beberapa kejadian amblesan (*sinkhole*) pernah terjadi di Desa Bedoyo dan Tambakromo. Kecamatan Ponjong, Gunung Kidul di tahun 2018. Secara administratif daerah penelitian termasuk ke dalam Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunung Kidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang secara geografis berada pada koordinat 07°56'30" - 08°1'0" LS dan 110°42'30" - 110°46'0" BT. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi stratigrafi bawah permukaan di daerah penelitian serta menganalisis kedalaman lapisan batuan yang berpotensi terjadi amblesan (*sinkhole*) berdasarkan nilai tahanan jenis batuan di daerah Ponjong. Metode penelitian yang dilakukan yaitu dengan metode geofisika yaitu geolistrik tahanan jenis konfigurasi *Schlumberger* dan *Wenner*. Berdasarkan hasil penelitian, daerah penelitian dengan potensi paling rawan terjadi amblesan adalah pada daerah dengan litologi batuan karbonat Formasi Wonosari (batugamping kristalin dan batugamping *chalky*) yang berada pada Desa Asem Lulang dengan nilai tahanan batuan yang sangat kecil yaitu berkisar antara 0.1 sampai dengan < 1 (Ωm) pada kedalaman 15-63 meter dan pada kedalaman > 123 meter dibandingkan Desa Sawahombo dan Desa Kenteng yang relatif potensi amblesannya hanya berada pada kedalaman dangkal dan dekat dengan permukaan yaitu 10 - 15 meter. Hasil kajian menggunakan konfigurasi Wenner menggambarkan bahwa zona potensi amblesan berdimensi lebar 3 - 10 meter dan di kedalaman 2 - 4 meter.

Kata kunci: amblesan, geolistrik, ponjong, schlumberger, wenner

I. PENDAHULUAN

Amblesan (*subsidence*) adalah gerakan ke bawah di permukaan bumi dari suatu datum, sehingga elevasi muka tanahnya berkurang atau menjadi lebih rendah dari semula. Amblesan dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain ekstraksi cairan (seperti air tanah, minyak termasuk gas dan geotermal). Potensi amblesan (*sinkhole*) merupakan potensi permasalahan geologi yang cukup rawan terjadi didaerah dengan bentang alam karst seperti pada Formasi Wonosari yang ada di daerah Kabupaten Gunung Kidul ini. Hal tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor baik itu secara alamiah seperti sifat fisik batumannya ataupun beberapa kondisi geologi tertentu yang ada didaerah tersebut ataupun oleh akibat aktivitas manusia. Salah satu pemicu alamiah terjadinya amblesan tanah adalah proses pelarutan batuan bawah permukaan oleh air yang umum terjadi pada

batuan karbonat (batugamping, dolomit), endapan garam dan gypsum (Allen,1984) seperti pada daerah Ponjong ini yang merupakan daerah bentang alam Karst dari Formasi Wonosari (Surono dkk, 1992) (Gambar 1) yang didominasi tersusun oleh batuan karbonat (batugamping). Di Gunung Kidul khususnya di Kecamatan Ponjong, kejadian amblesan pada kurun waktu 2018 telah terjadi amblesan di beberapa desa yang terjadi pada 11 titik yang berbeda dengan diameter dan kedalaman lubang yang bervariasi (kompas.com, 2018). Sifat amblesan tanah yang lambat, bertahap dan meluas membuat bencana ini jarang dikenali dan disadari oleh masyarakat, walaupun dampaknya telah tampak nyata seperti kerusakan bangunan, jalan, kawasan industri dan lainnya (Abidin dkk., 2013; Marfai dan King, 2008; Arbiyakto dan Kadaryanto, 2002).

Dalam upaya mitigasi bencana amblesan tersebut diperlukan informasi kondisi bawah permukaan seperti litologi dan tingkat curah hujan. Untuk mencapai tujuan tersebut, observasi lapangan dan evaluasi data sekunder dilakukan untuk mengumpulkan data morfologi, litologi, kelurusan geologi, dan keberadaan *sinkhole* serta kejadian amblesan yang sudah ada. Korelasi antara keberadaan *sinkhole* dengan morfologi, litologi serta kelurusan geologi dilakukan untuk memahami faktor pengontrol yang berpengaruh terhadap keberadaan amblesan /*sinkhole*.



Gambar 1. Peta Citra DEM dan Peta Geologi Regional daerah telitian (Google earth, 2019) (Surono dkk,1992). Lokasi penelitian ditunjukkan dengan kotak berwarna merah.

Pemetaan geologi permukaan dirasa masih belum cukup untuk menentukan zona dan potensi bahaya amblesan dengan akurat. Oleh karena itu, dalam penelitian ini ditunjang dengan menggunakan kajian

geofisika untuk memetakan kondisi geologi bawah permukaan di daerah penelitian. Pemetaan bawah permukaan ini dilakukan untuk menggambarkan bentuk dan keadaan bawah permukaan di lokasi penelitian yang berpotensi terjadinya amblesan. Adanya peta bahaya amblesan yang menjadi luaran penelitian diharapkan dapat memberikan arahan untuk pengembangan wilayah berbasis bencana geologi yang tepat untuk wilayah Kecamatan Ponjong, Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

II. MATERIAL DAN METODE

Pada penelitian yang dilakukan di Kecamatan Ponjong, Gunung Kidul ini dilakukan beberapa rangkaian atau skema tahapan penelitian seperti berikut ini meliputi (Gambar 2):

2.1 Alat dan Bahan

Akuisisi data geofisika menggunakan metode geolistrik konfigurasi *Schlumberger*. Perangkat keras yang digunakan adalah satu set *Resistivitymeter* (Gambar 2), *Global Positioning System* (GPS), dan buku kerja serta Peta Geologi Regional dan peta topografi. Akuisisi data dilakukan dalam tiga lintasan pada tiga desa yang berbeda (Tabel 1).

Tabel 1 Lokasi Pengambilan data geolistrik Schlumberger dan Wenner

No	Lokasi dan bentangan (Schlumberger dan Wenner)	Sounding / Wenner	Kordinat
1	Desa Sawahombo, (200 m dan 100 m)	1	S 7°56'36.1" dan E 110°45'06.6"
2	Desa Kenteng, 1 (100 m dan 75 m)	2	S 7°59'18.6" dan E 110°45'4.1"
3	Desa Asem Lulang, (100 m dan 100m)	3	S 7°59'54.6" dan E 110°42'45.8"

2.2 Metode Penelitian

2.2.1 Studi Pustaka

Dalam tahapan ini, hasil data sekunder atau analisis peneliti terdahulu digunakan sebagai data pendukung atau acuan untuk menentukan tahapan yang akan dilakukan di lokasi penelitian, baik terkait kondisi geologi regional daerah Surakarta – Giritontro (Surono, 1992) serta penelitian terkait potensi amblesan secara regional di daerah penelitian.

2.2.2 Pengolahan Data

Dalam tahapan ini, proses pengolahan data geolistrik menggunakan perangkat lunak (*software*) yang digunakan adalah *software Microsoft*

Office, Microsoft Excel, Software Progress, dan Corel Draw. Microsoft Office dan Micosoft Excel digunakan dalam perekaman data lapangan. *Software Progress* yang digunakan untuk mengolah data berupa nilai tahanan jenis batuan yang diperoleh dari tahapan akuisisi data dilapangan menjadi data sounding atau *Vertical Electrical Sounding (VES)* yang menampilkan data perubahan resistivitas batuan secara vertikal (*Resisitvity Log*) yang bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas batuan di bawah permukaan bumi secara vertikal. *Corel Draw* digunakan dalam editing dan pembuatan *lay out* serta pewarnaan litologi pada *resistivity log*. Pada tahap penyelesaian, pengolahan data akan dibuat menjadi beberapa kolom litologi berdasarkan klasifikasi resistivitas batuan menurut Telford (1990).

2.2.3 Analisis Data dan Kesimpulan

Tahapan ini merupakan tahapan akhir yang meliputi proses evaluasi pengolahan data serta kebenaran data lapangan yang diperoleh dalam akuisisi data lapangan (secara langsung / primer) sehingga didapatkan interpretasi mengenai data geolistrik berupa konfigurasi *Schlumberger* (pemodelan 2D). Hasil pemodelan 2 D ini, dapat dikorelasikan dengan data lapangan yang dapat digunakan untuk proses interpretasi. Analisis terhadap adanya potensi amblesan yang ada di masa mendatang dapat menjadi kontribusi pemahaman serta bermanfaat bagi masyarakat sekitar secara umumnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara geologi, daerah penelitian terdapat pada fisiografi Zona Pegunungan Selatan, Sub Zona Gunung Sewu (van Bemmelen, 1949). Pada peta citra DEM, menunjukkan adanya kontur melingkar yang merupakan *conicle hill* (Gambar 3) sehingga kenampakan di lapangan banyak dijumpai bukit kars. Di antara bukit-bukit kars terdapat beberapa cekungan atau dataran rendah (dolina, polje). Litologi yang menyusun bukit tersebut adalah batugamping. Batugamping yang umum dijumpai di lapangan adalah batugamping klastik (berlapis) dan non klastik (kristalin). Kedua jenis batugamping tersebut termasuk pada Formasi Wonosari (Surono, 1992). Toha, dkk (1994) menyebutkan penyusun utama Formasi Wonosari-Punung berupa batugamping berlapis dan batugamping terumbu. Data yang diperoleh diproses di dalam pengolahan data menggunakan software *Progress 3.0* yaitu berupa data AB/2 (jarak tanam) elektroda serta nilai hambatan (Ωm) yang didapatkan di lapangan dan disajikan hasil pengolahan data berupa *resistivity log*.

3.1 Konfigurasi stratigrafi bawah permukaan

Konfigurasi stratigrafi bawah permukaan di daerah penelitian tersusun atas tiga kolom litologi yang berasal dari data sounding 1, 2, dan 3 yang akan dijelaskan seperti berikut ini

3.1.1 Sounding 1

Sounding 1 terletak pada Desa Sawahombo, Kecamatan Ponjong, Gunung Kidul. Berdasarkan hasil pengolahan data resistivitas di daerah ini, stratigrafi bawah permukaan (*resistivity log*) daerah ini meliputi (Tabel 2):

1. Lapisan 1 diinterpretasikan sebagai soil dengan nilai tahanan jenis 1.38-9.13 (Ωm) pada kedalaman 0-10 meter dan dengan ketebalan lapisan berkisar antara 10 meter.
2. Lapisan 2 didapati nilai resistivitas cukup ekstrem yaitu 0.03 (Ωm) pada kedalaman 10-12 meter dengan ketebalan 2 meter yang diinterpretasikan sebagai akuifer dengan kedalaman dangkal pada daerah ini.
3. Pada lapisan 3 yaitu pada kedalaman 12-30 meter (ketebalan 18 meter) ditemui lapisan dengan nilai tahanan jenis berkisar antara 5.53-18.17 (Ωm) yang diinterpretasikan sebagai lapisan material lepas hasil lapukan batupasir kuarsa dan merupakan lapisan akuifer dangkal.
4. Pada lapisan 4 dengan kedalaman 30-58 meter ditemukan lapisan setebal ± 28 meter dengan nilai resistivitas sebesar berkisar antara 19.19-14.11 (Ωm) yang diinterpretasikan sebagai lapisan batupasir pada daerah ini.
5. Pada lapisan 5 yaitu pada kedalaman >58 meter sampai 73 meter ditemukan lapisan dengan nilai tahanan jenis berkisar antara 1.43. Lapisan ini diidentifikasi sebagai potensi amblesan.
6. Pada lapisan 6 berada pada 73 sampai 270 meter dengan nilai resistivitas 2.82 (Ωm) yang diinterpretasikan sebagai lapisan batupasir yang merupakan akuifer dalam pada daerah ini dan mendominasi litologi yang ada pada daerah ini.

Tabel 2. Dugaan / Interpretasi litologi pada Sounding 1

Lapisan	Kedalaman	Resistivitas	Litologi / Interpretasi
1	0 – 10 meter	1.38 – 9.13 Ωm	soil / tanah
2	10 – 12 meter	0.03 Ωm	akuifer
3	12 – 30 meter	5.53 – 18.17 Ωm	pasir
4	30 – 58 meter	14.11 – 19.19 Ωm	pasir
5	58 – 73 meter	1.43 Ωm	potensi amblesan
6	73 – 270 meter	2.82 Ωm	pasir

3.1.2 Sounding 2

Sounding 2 berada pada Desa Kenteng (Sounding 2) berdasarkan hasil pengolahan data resistivitas terlihat bahwa stratigrafi bawah permukaan (*resistivity log*) daerah ini meliputi (Tabel 3):

1. Lapisan 1 diinterpretasikan sebagai *soil* dengan nilai tahanan jenis 4.13-2.48 (Ωm) pada kedalaman 0-13 meter dengan letebalan berkisar 13 meter yang diinterpretasikan sebagai *soil* / tanah pada daerah ini.
2. Lapisan 2 didapati nilai resistivitas cukup ekstrem yaitu 0,18 (Ωm) pada kedalaman 13-14 meter dengan ketebalan 1 meter yang diinterpretasikan sebagai amblesan.
3. Pada lapisan 3 yaitu pada kedalaman 14-30 meter (ketebalan 16 meter) ditemukan lapisan dengan nilai tahanan jenis berkisar antara 14.64-22.58 (Ωm) yang diinterpretasikan sebagai lapisan batupasir.
4. Pada lapisan 4 dengan kedalaman 30-69 meter ditemukan lapisan setebal ± 29 meter dengan nilai resistivitas sebesar 325.90 (Ωm) yang diinterpretasikan sebagai lapisan batugamping kristalin Formasi Wonosari.
5. Pada lapisan 5 yaitu pada kedalaman 69-74 meter (ketebalan 5 meter) ditemukan lapisan dengan nilai tahanan jenis berkisar antara 3.97 (Ωm) yang diinterpretasikan sebagai lapisan batupasir yang merupakan akuifer dalam pada daerah ini.
6. Pada lapisan 6 dengan kedalaman 74-128 meter ditemukan lapisan setebal ± 54 meter dengan nilai resistivitas sebesar 372.11 (Ωm) yang diinterpretasikan sebagai lapisan batugamping kristalin Formasi Wonosari.
7. Pada lapisan 7 yaitu pada kedalaman >128-180 meter ditemukan lapisan dengan nilai tahanan jenis 22.45 (Ωm) yang diinterpretasikan sebagai lapisan batupasir.

Tabel 3. Dugaan / Intepretasi litologi pada Sounding 2

Lapisan	Kedalaman	Resistivitas	Litologi / intepretasi
1	0 – 13 meter	4.13 – 2.48 Ωm	<i>soil</i> / tanah
2	13 – 14 meter	0.18 Ωm	potensi amblesan
3	14 – 30 meter	14.64 – 22.58 Ωm	batupasir
4	30 – 69 meter	325.90 Ωm	batugamping kristalin
5	69 – 74 meter	3.97 Ωm	akuifer
6	74 – 128 meter	372.11 Ωm	batugamping kristalin
7	128 meter – 180 meter	22.45 Ωm	batupasir

3.1.3 Sounding 3

Sounding 3 berada pada Desa Asem Lulang. Berdasarkan hasil pengolahan data resistivity terlihat kondisi bawah permukaan (*resistivity log*) daerah ini berupa (Tabel 4):

1. Lapisan 1 *Soil* dengan nilai tahanan jenis 1.70 – 6.08 (Ωm) pada kedalaman 0-7 meter dengan ketebalan berkisar 7 meter dan merupakan lapisan akuifer dangkal.
2. Lapisan 2 didapatkan lapisan dengan nilai resistivitas berkisar antara 5.90 - 4.63 (Ωm) pada kedalaman 7-14 meter yang diinterpretasikan sebagai endapan material lepas.
3. Pada lapisan 3 didapatkan nilai resistivitas sangat kecil yaitu bernilai 0.18 (Ωm) pada kedalaman 14-63 meter dan ketebalan 48 meter. Lapisan ini diinterpretasikan sebagai amblesan atau (*sinkhole*) pada lokasi sounding 3 ini.
4. Pada lapisan 4 yaitu pada kedalaman 63-73 meter (ketebalan 10 meter) ditemukan lapisan dengan nilai resistivity sebesar 124.90 (Ωm) yang diinterpretasikan sebagai lapisan batugamping klastik (*chalky*).
5. Pada lapisan 5 dengan kedalaman 73-94 meter ditemukan lapisan setebal ± 21 meter dengan nilai resistivitas sebesar 698.78 yang diinterpretasikan sebagai lapisan batugamping kristalin Formasi Wonosari.
6. Dan pada lapisan 6 dengan kedalaman 94-103 meter didapatkan lapisan dengan nilai resistivitas berkisar 129.96 yang diinterpretasikan sebagai perulangan lapisan batugamping klastik (*chalky*) Formasi Wonosari.
7. Pada lapisan 7 ditemui lapisan dengan nilai resistivitas sebesar 998.12 (Ωm) dengan kedalaman antara 103-123 meter yang diinterpretasikan sebagai lapisan batugamping kristalin Formasi Wonosari.
8. Pada kedalaman > 123 meter, ditemukan lapisan dengan nilai resistivitas yang cukup ekstrem lagi yaitu 0.25 (Ωm) yang diinterpretasikan sebagai potensi amblesan.

Tabel 4. Dugaan / Intepretasi litologi pada Sounding 3

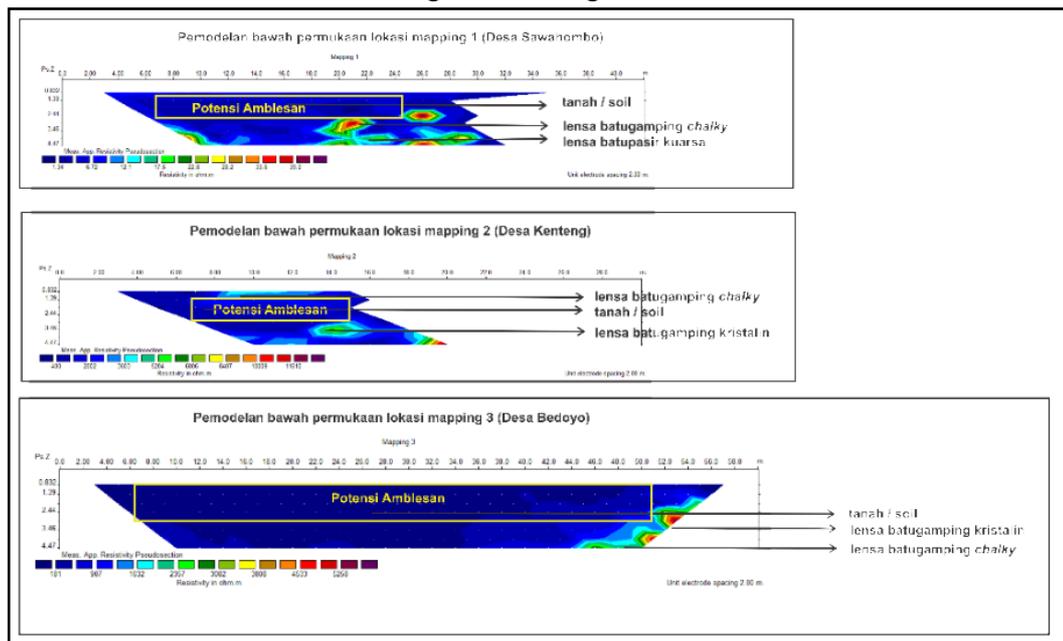
Lapisan	Kedalaman	Resistivitas	Litologi / Intepretasi
1	0 – 7 meter	1.70 – 6.08 Ωm	<i>soil</i> / tanah
2	7 – 14 meter	5.09 – 4.63 Ωm	pasir
3	14 – 63 meter	0.18 Ωm	potensi amblesan
4	63 – 73 meter	124.90 Ωm	batugamping klastik (<i>chalky</i>)
5	73 – 94 meter	698.78 Ωm	batugamping kristalin
6	94 – 103 meter	126.96 Ωm	batugampng klastik (<i>chalky</i>)

Lapisan	Kedalaman	Resistivitas	Litologi / Intepretasi
7	103 – 123 meter	998.12 Ω m	batugamping kristalin
8	123 meter – 180 meter	0.25 Ω m	potensi amblesan

3.1.4 Konfigurasi Wenner

Konfigurasi Wenner dilakukan pada 3 lokasi dengan panjang bentangan yang berbeda dengan menyesuaikan medan dan kondisi lapangan. Pada lokasi 1 diukur di Desa Sawahombo pada topografi berupa dolina. Hasil pemodelan bawah permukaan menggambarkan tanah / soil, batugamping chalky, dan lensa batupasir kuarsa. Dugaan adanya potensi amblesan terdapat di kedalaman 2,5 – 3 meter dengan diameter 10 – 22 meter (Gambar 2).

Di lokasi 2, diambil data geolistrik Wenner di Desa Kenteng dengan kondisi lapangan terdapat sinkhole di permukaan. Hasil pemodelan bawah permukaan menggambarkan tanah/soil lensa batugamping chalky, dan lensa batugamping kristalin. Interpretasi potensi amblesan terdapat di kedalaman 1,5 – 2 meter dengan kemungkinan diameter 8 – 10 meter.

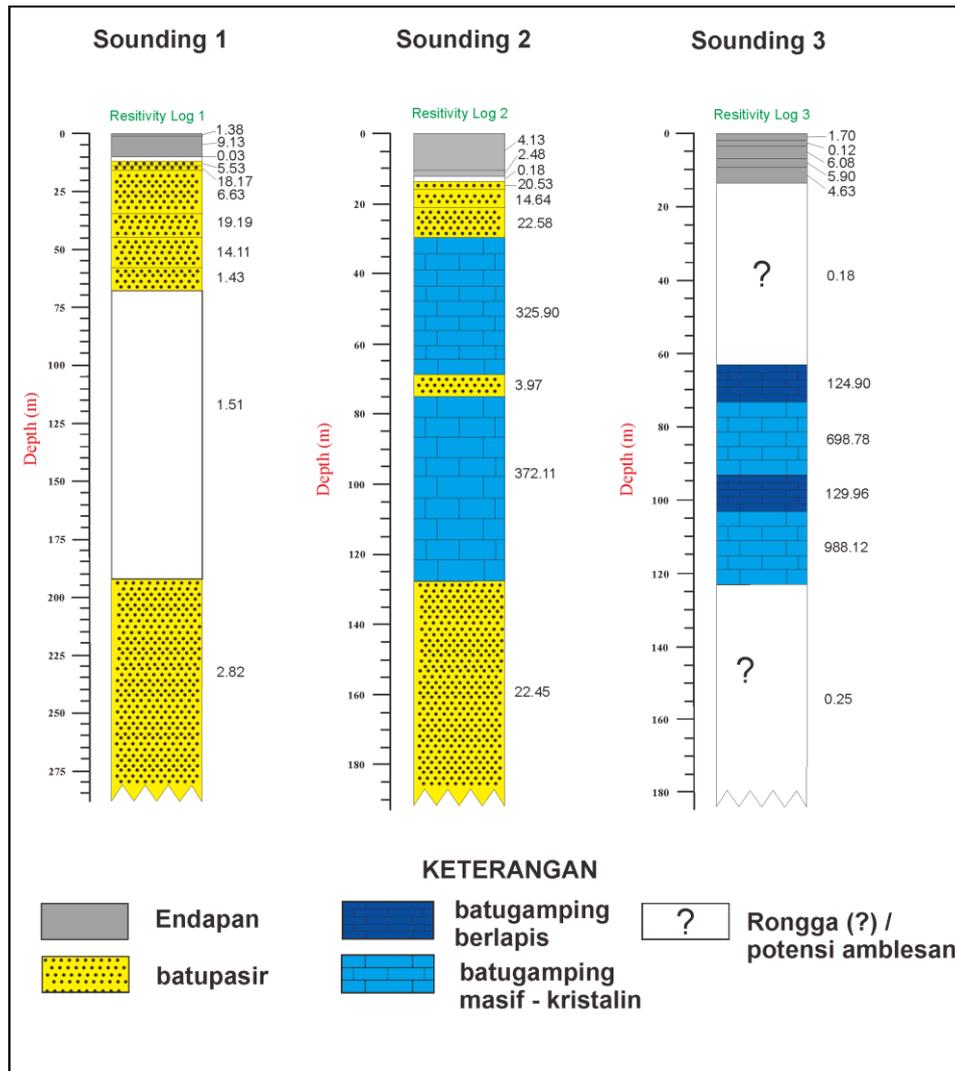


Gambar 2. Resistivity Log dan Intepretasi Kolom Litologi Pada Sounding 1, Sounding 2 Dan Sounding 3

Pada lokasi 3, diambil data geolistrik Wenner di Desa Bedoyo dengan kondisi lapangan terdapat amblesan (*sinkhole*) di permukaan. Hasil pemodelan bawah permukaan menggambarkan tanah/soil lensa batugamping chalky, dan lensa batugamping kristalin. Interpretasi potensi amblesan terdapat di kedalaman 0,5 – 4 meter dengan kemungkinan diameter 10 – 22 meter. Potensi amblesan di daerah ini juga dipicu dengan adanya bekas tambang batugamping.

3.2 Potensi Amblesan

Berdasarkan korelasi dari ke tiga lokasi tersebut dan dari adanya variasi nilai tahanan jenis secara vertikal, diperoleh adanya perbedaan kedalaman zona amblesan pada masing-masing titik lokasi pengamatan. Perbedaan keterdapatan amblesan ke tiga titik dapat dilihat dalam Gambar 3.



Gambar 3. Resistivity Log dan Intepretasi Kolom Litologi Pada Sounding 1, Sounding 2 Dan Sounding 3

Pada lokasi pengambilan data geolistrik Sounding 1 (Tabel 2) memiliki nilai resistivitas kecil yang berpotensi sebagai amblesan pada kedalaman 58 meter. Sounding 2 dan 3 memiliki potensi amblesan pada kedalaman relatif dekat permukaan. Hal ini didukung dengan adanya data lapangan berupa amblesan di sekitar lokasi pengambilan data geolistrik di Desa Kenteng (Sounding 2) (Tabel 3). Pada Sounding 3 juga memiliki zona amblesan yang lebih dekat dengan titik sounding 1 dan 2. Hal ini dibuktikan

dengan adanya gejala amblesan pada lokasi pengambilan data di Desa Asem Lulang (Sounding 3) (Tabel 4). Pada sounding 3 potensi amblesan pada kedalaman 128 meter merupakan letak kedalaman amblesan yang paling dalam dari ketiga sounding. Interpretasi litologi pada Sounding 1 dominan batupasir yang diduga berasal dari Formasi Semilir (Samodra, 2016). Litologi batugamping klastik dan kristalin berasal dari Formasi Wonosari (Surono, dkk, 1992).

Berdasarkan data nilai tahanan jenis dan pemodelan secara vertikal diperoleh juga perbedaan resistivitas tahanan jenis untuk setiap sounding. Zona amblesan secara keseluruhan berada pada kisaran nilai resistivitas 0.18 – 1.43 Ω m. Hal ini menunjukkan adanya rongga / pori batuan pada kedalaman titik pengambilan data (sounding). Sounding 1 memiliki resistivitas 1.43 Ω m, Sounding 2 memiliki resistivitas sebesar 0.18 Ω m. Zona amblesan pada Sounding 3 memiliki nilai resistivitas 0.18 dan 0.25 Ω m yang lebih dekat dengan titik sounding 1 dan 3. Perbedaan keterdapatan nilai resistivitas ke tiga titik dapat dilihat pada Tabel 5

IV. KESIMPULAN

Daerah Ponjong, Gunung Kidul tersusun atas litologi soil, pasir, batupasir, batugamping klastik (*chalky*), batugamping kristalin, lapisan akuifer, dan zona potensi amblesan. Berdasarkan konfigurasi Schlumberger, litologi batupasir dan pasir dijumpai pada Sounding 1 dan 2. Pada Sounding 3 didominasi litologi batugamping. Berdasarkan hasil pemrosesan data sounding, potensi amblesan diinterpretasikan dari nilai resistivitas rendah (sangat rendah), berkisar antara 0.18 – 1.43 Ω m. Keberadaan amblesan ada pada setiap lokasi pengambilan data dengan kedalaman yang berbeda. Keterdapatan potensi amblesan paling dangkal dijumpai pada kedalaman 13 meter dan yang paling dalam dijumpai pada kedalaman 120 meter. Pada konfigurasi Wenner, potensi zona potensi amblesan berdimensi lebar 3 - 10 meter dan di kedalaman 2 - 4 meter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dirjen Belmawa Kemenristekdikti selaku pemberi dana penelitian dan kepada Institut Teknologi Nasional Yogyakarta yang telah membantu pendanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abidin, H.Z., Andreas, H., Gumilar, I., Sidiq, T. P., dan Fukuda, Y. (2013): Land subsidence in coastal city of Semarang (Indonesia):

- Characteristics, impacts and causes. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* v.4 no. 3, p. 226-240. DOI: 10.1080/19475705.2012.692336.
- [2] Allen, A.S., 1984. Types of Land Subsidence, in: Poland, J.F., (ed.), *Guidebook to Studies of Land Subsidence due to Groundwater Withdrawal, Studies and Report in Hydrology*, UNESCO, p.133-141.
- [3] Alfisyahrin, A., 2015 Analisa Keterdapatan Air Tanah Dengan Metode Geolistrik pada Daerah Aropoe Kecamatan Tanete Rilau Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan.
- [4] Arbiyakto, D. Dan Kadaryanto, D. (2002): Identifikasi Pengukuran Kerugian Fisik Bangunan Rumah dan Kerugian Sosial Penduduk Kawasan Pantai Kota Semarang. *Prosiding Seminar Dampak Kenaikan Muka Air Laut pada Kota-Kota Pantai di Indonesia*. Bandung 12-13 Maret 2002. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. Badan Penelitian dan Pengembangan Kimpraswil. Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman.
- [5] Marfai, M.A. dan King, L.(2008): Coastal flood management in Semarang, Indonesia. *Environmental Geology*, vol 55, Springer, 1507-1518.
- [6] Poland J. F., dan Davis G. H., 1986. Subsidence of the land surface in the Tulare Wasco, Delano and Los Banos-Kettlement city areas, San Joaquin Valley, American Geophysical Union Trans, California.
- [7] Surono, Toha.B., dan Sudarno, 1992. Peta Geologi Lembar Surakarta - Giritontro, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- [8] Samodra, H., 2017. Batupasir Kuarsa Wediwutah: Asal Kuarsa dan Informasi Keragaman Geologi Formasi Wonosari, Kabupaten Gunung Kidul. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 17(2), pp.73-84.
- [9] Telford W.M., L.P Geldart, dan R.E Sheriff, 1990, *Applied Geophysics*, Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge. pp. 522-524.
- [10] Toha, B., Purtyasti, R. D., Srijono, S., Rahardjo, W., & Pramumijoyo, S. (1994). Geologi Daerah Pegunungan Selatan: Suatu Kontribusi. *Geologi dan Geoteknik P. Jawa, Sejak Akhir Mesozoik hingga Kuartar*, 19-36.
- [11] Yuwono, Markus. 2018. Tanah Ambles di Gunung Kidul, *kompas.com*, 7 Februari 2018.

IDENTIFICATION OF SLIP SURFACE USING 2D RESISTIVITY METHOD, CASE STUDY IN PIDADA, BANDAR LAMPUNG

**Rahmi Mulyasari^{1,*}, I Gede Boy Darmawan¹, Dersan Surya Efendi¹,
Hesti¹, Akroma Hidayatika¹ dan Nandi Haerudin¹**

Geophysics Department, University of Lampung, Prof. Soemantri Brojonegoro Street,
Bandar Lampung 35145

*Email: rahmi.mulyasari@eng.unila.ac.id

Abstract: *Landslide is a disaster that occurs influenced by morphology, lithology, geological structure, hydrogeology and land use factors. Pidada Urban Village, Panjang District, Bandar Lampung is an area with morphological conditions in the form of hills with steep slopes. Based on data from the Center for Volcanology and Disaster Mitigation (PVMBG) in January-October 2019, the research area in Panjang District has the potential for medium-high mass movement. Criteria for the occurrence of landslides are steep slopes, the presence of slip surface below the surface of water saturated soil and the amount of water content that comes from rain water that seeps into the ground. One of the geophysical methods that can detect skid fields is the 2D Resistivity Method of Wenner-Schlumberger Configuration. Through this method it is known that areas that have high water content are indicated by low resistivity values. In this study, measurements were carried out on the slip area in a landslide prone area. After measuring the 2 lines, depth of the slip area of the study area was obtained.*

Keywords: *slip surface, landslide, resistivity*

I. BACKGROUND

Bandar Lampung is a densely populated urban area consisting of land and water with several plateaus and mountains that lie in Bandar Lampung City [1]. Based on the Geological Map of Tanjungkarang Sheet [2], the geological condition in Bandar Lampung City is under the influence of Lampung-Panjang fault/ active fault. The existence of the fault is reflected in the morphological conditions in the form of hills with steep slopes. Lithology that dominates Bandar Lampung area is the former coastal sediment and rivers which are scattered around the Lampung Bay and around Tanjung Karang are dominated by weathered soil resulting from young volcanic activity from the Lampung Formation which is generally in the form of tuff rock. This geological condition creates the risk of terrestrial disasters, one of which is the land movement/ landslide.

Pidada Urban Village, Panjang District, Bandar Lampung City is an area with morphological conditions in the form of hills with steep slopes. Based on data from the Center for Volcanology and Disaster Mitigation

(PVMBG) in January-October 2019 [3], the research area located in Panjang District has the medium-high potential mass movement. On Sunday, February 24, 2019 night, heavy rain triggered a landslide on Pidada Urban Village, Panjang District, Bandar Lampung [4]. The disaster caused land in the hilly areas fall and uproot a number of trees. According to data from the Bandar Lampung City Disaster Management Agency (BPBD), 2 houses in the area were affected and 2 other houses were severely damaged and the walls were broken down [5].

Landslide is a movement down or out of a slope by the mass of the soil or rocks making up the slope, or mixing both of them as a razor material, due to disturbance of the stability of the soil or rocks making up the slope landslide is a disaster that occurs influenced by morphology, lithology, geological structure, hydrogeology and land use factors.

One of the factors that cause landslides which is very influential is the slip surface or shear surface. In general, lands that experience landslides will move above the slip plane. One method that can be used to investigate slip fields is the resistivity method [7]. The resistivity method is non-environmentally damaging, relatively inexpensive and able to detect subsurface structure. Therefore, this method can be used to survey landslide-prone areas, especially to determine the thickness of layers with a potential for landslides and lithology of rock layers beneath the surface.

Measurement of the resistivity method is done in 2 lines namely resistivity mapping and resistivity sounding. Resistivity mapping is intended to determine the horizontal distribution of soil layers and resistivity sounding to determine the distribution of rock conductivity vertically. In this study the Wenner-Schlumberger configuration is used, this configuration is a combination of resistivity mapping measurements using the Wenner configuration and resistivity sounding using the Schlumberger configuration. When compared with the Wenner configuration, the Schlumberger configuration has a penetration depth of 10% greater [8].

The identification of slip surfaces and subsurface structures in landslide prone areas of Pidada Urban Village, Panjang Sub-District was carried out as an effort to monitor landslides and disaster mitigation recommendations. This investigation utilizes the resistivity method with the Wenner-Schlumberger configuration.

II. MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in August to October 2019 in Pidada Urban Village, Panjang District, Bandar Lampung City with a Wenner-Schlumberger configuration resistivity method.

2.1 Tools and Materials

2.1.1 Research Tools

The tools used in this study include:

- [1] GF Instrument ARES 3000, used to read measurement results.
- [2] Four electrodes, consisting of two current electrodes C1 and C2 and two potential electrodes P1 and P2.
- [3] Roll meter, used to measure distance of the line and spacing between the electrodes.
- [4] Four wire coils, used to connect the electrodes with a geoelectric device.
- [5] Accu, used as a voltage source.
- [6] Three Handy talky (HT), Garmin 78 S Global Positioning System (GPS), to determine the position of the measurement point.
- [7] Hammer, to make stakes at each measurement point.
- [8] Jacob Staff, for elevation measurements.
- [9] One laptop unit, complete with software: Microsoft Excel, and Res2Dinv Software
- [10] Satu unit laptop, lengkap dengan perangkat lunak: Microsoft excel, dan Software Res2Dinv
- [11] Field notebooks and stationery.

2.1.2 Materials Tools

The materials used in this study include:

- [1] Regional Geological Map Tanjungkarang Sheet sourced from the Center for Geological Research and Development.
- [2] Google earth map, obtained from the Google Earth.
- [3] Secondary data, including data from the results of previous studies covering the geology of the study area from regional geological maps, other secondary data relating to the research area and literature as a theoretical basis.

2.2 Research Method

The first stage of this research is a literature study on the geology of research area regionally and locally, google earth maps, and historical landslide data in landslide prone zones. The second stage, a preliminary survey was conducted to find out the general condition and explore information at the research location such as topography and location of the population's housing. This was done to create a survey design in the actual location.

The third stage, 2D resistivity measurements were carried out, this measurement uses a 115 meter cable stretch with a 5 meter electrode distance. 2D resistivity measurements are carried out on 2 lines in areas with high potential hazard. 2D resistivity measurements using the GF Instrument ARES 3000, as well as for topography were obtained from GPS Garmin 78S elevation data and manual measurements with Jacob Staff. The measurement results obtained from the field in the form of data resistivity type stored automatically GF ARES 3000 Instruments. Then, this data processed using Microsoft Excel to get pseudo resistivity values (ρ pseudo) then the inversion process is done using Res2Dinv software.

Data interpretation is done by looking at characteristics of rocks and resistivity values obtained from the results of inverse least square modeling with Res2Dinv Software. Interpretation is done by correlating the 2D cross section of the Res2Dinv software data processing with the topography of the study area, as well as the geological data obtained on the Geological Map of the Tanjungkarang Sheet. The data generated from this modeling are information on the value of subsurface resistivity, thickness of subsurface material, composing lithology, and topography of study area.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The study area is composed of lowland morphology and hills with an altitude 20 to 150 masl. Based on geological observations, Panjang district area is composed of lithology in the form of very thick sedimentary tuff. Based on Tanjungkarang Geological Sheet Map [2], the research location is located in Tarahan Formation (Tpot) with the composition of solid tuff, breccias with chert insertion.

Data collection in the study area was carried out on 2 lines using the Wenner-Schlumberger configuration with a length of 115 meters each. The first line with the transverse direction to the northeast. Point 0 measurement is located at coordinates E 535851 and N 9395722 with an elevation of 23 meters above sea level and an end point that is with a stretch 115 m located at coordinates E 535908 and N 9395820 with an elevation 64 meters above sea level. The second line with the transverse direction to the northeast. Point of measurement 0 is located at coordinates E 535873 and N 9395690 with elevation of 19 masl and the end point of 115 m is located at coordinates E 535987 and N 9395693 with elevation of 55 masl. The measurement map is presented in Figure 1 and the visualization of the research area is presented in Figure 2.

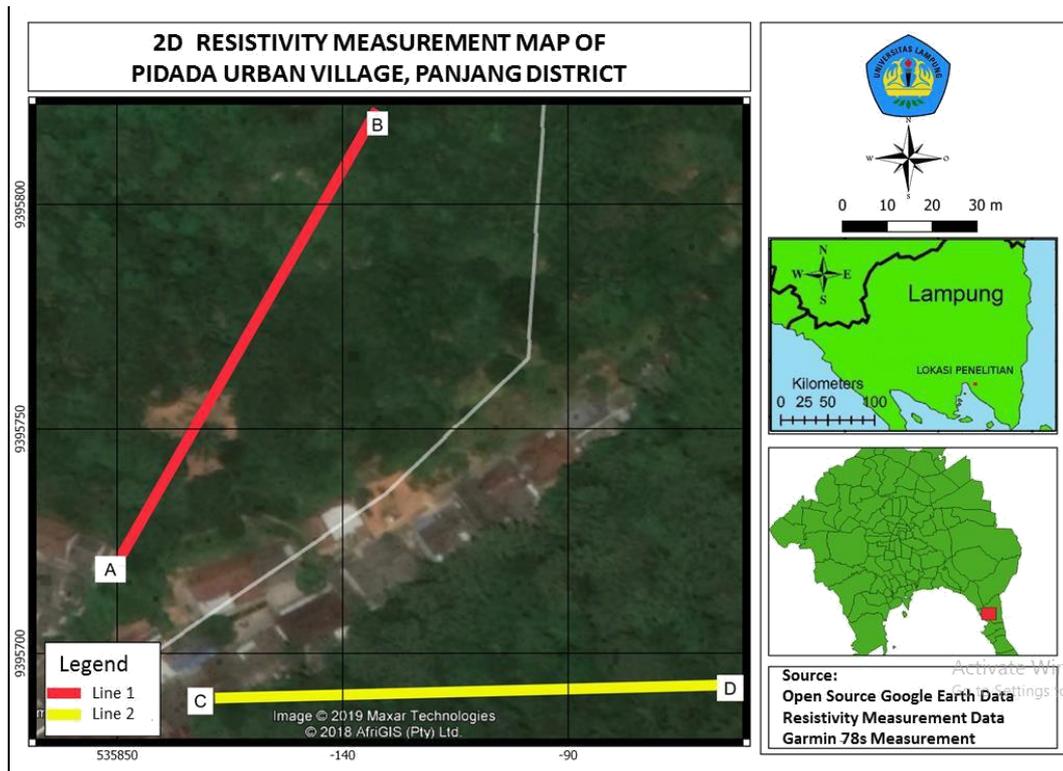


Figure 1. 2D resistivity measurement map of Pidada Urban Village, Panjang District.



Figure 2. Visualization of the Research area.

3.1 3.1 Analysis on Line 1

The results of processing for the first line, having a difference in height ranging from 41 m. The results of topographic data were obtained with GPS 78S, which then carried out elevation measurements with the Jacob Staff, so as to produce a type of inverse resistance model presented in Figure 3.

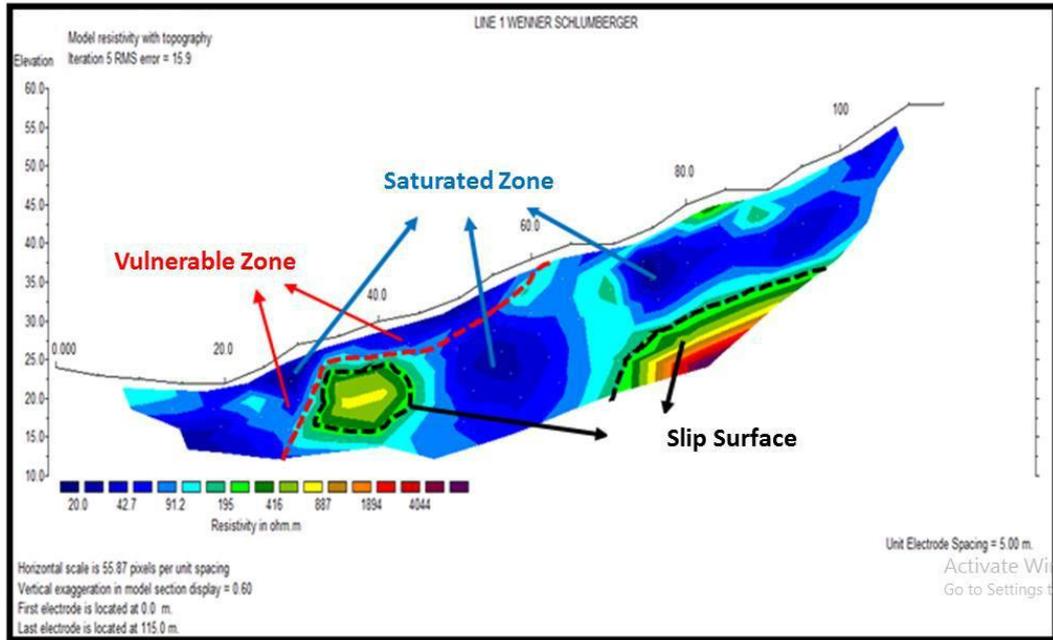


Figure 3. Cross check of Line 1.

Based on Table 1 [9], line 1 can be divided into 3 layers, namely tuff sediment with a resistivity value 1-91 Ω m and the image in the modeling that is dark blue, sandstone with a resistivity value 91-250 Ω m and the image in the modeling sky blue to light green, and breccia with resistivity values > 250 Ω m with images modeling dark green to dark purple. The total penetration of the inverse resistivity modeling on line 1 reached 24 m with iteration 5 resulting in a root mean square error value of 15.9%, with a very deep tuff sediment thickness reaching 0-15 m depth.

Table 1. Resistivity value of rocks and minerals [9].

Resistivity material	(Ohm meter)	Resistivity material	(Ohm meter)
Topsoil	50-100	Graphitic schist	10-500
Loose sand	500-5000	Slates	500-500.000
Gravel	100-600	Quartzite	500-800.000
Clay	1-100	Pyrite	0,01-100
Weathered bedrock	100-1000	Pyrrhotite	0,001-0,01
Sandstone	200-8000	Chalcopyrite	0,005-0,1
Limestone	500-10.000	Galena	0,001-100
Greenstone	500-200.000	Sphalerite	1000-1.000.000
Gabbro	100-500.000	Magnetit	0,01-1000
Granite	200-100.000	Cassiterite	0,001-10.000
Basalt	200-100.000	Hematit	0,01-1.000.000

In general, soil tuff sediment types are very easy to absorb water, because the porosity value of this medium is very high, but the water holding capacity is very less, coupled with contact resistivity values that differ from breccias. The upper layers of the skid plane (imaged with a black dotted line) were detected suspected as a layer of weathered rock or vulnerable zones (imaged with a red dotted line) that is in the form of a layer of tuff sediment and sandstone which can become a zone saturated by water, in lane 1 there are water saturated zones at lengths of lines 27, 47, and 72 m with each depth ranging from 5, 12, and 8 m. if high rainfall allows water to accumulate in these layers, so that in the event of an avalanche of the layers that experience movement. In this first lane, the vulnerable zone area is right next to the settlement or located at the bottom of lane 1 and at the bottom of cross section 1 has a slope of $> 30^{\circ}$ which makes this area prone to landslide disaster.

In general, tuff sediment types are very easy to absorb water, because the porosity value of this medium is very high, but the water holding capacity is very less, coupled with contact resistivity values that differ from breccias. The upper layers of the slip surface (imaged with a black dotted line) were detected suspected as a layer of weathered rock or vulnerable zones (imaged with a red dotted line) that is in the form of a layer of tuff sediment and sandstone which can become a zone saturated by water, in line 1 there are water saturated zones at lengths of lines 27, 47, and 72 m with each depth ranging from 5, 12, and 8 m. If high rainfall allows water to accumulate in these layers, thus causing these layers have movement. In this first line, the vulnerable zone area is right next to the settlement or located at the bottom of line 1 and at the bottom of cross section 1 has a slope of $> 30^{\circ}$ which makes this area prone to landslide disaster.

3.2 3.2 Analysis on Line 2

The results processing for the second line, has a height difference 36 m. The results of topographic data were obtained with GPS 78S, which then carried out elevation measurements with a Jacob Staff, resulting resistivity inversion models are presented in Figure 4.

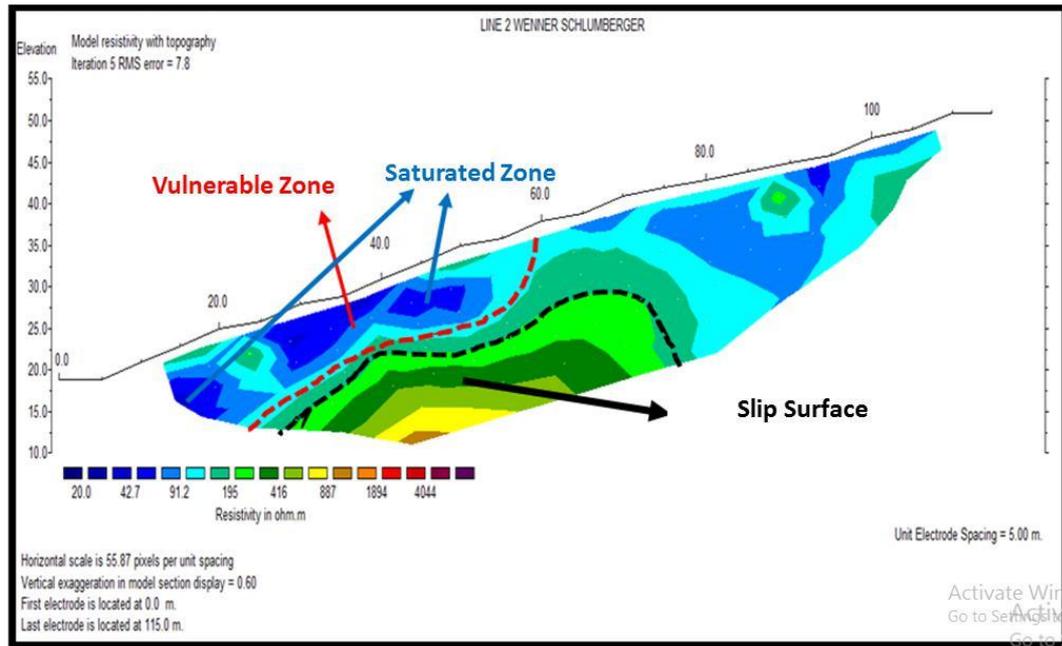


Figure 4. Cross check of Line 2.

Based on Table 1, line 2 can be divided into 3 layers, namely tuff sediments with resistivity values 1-91 Ω m with the image modeling dark blue, sandstone with resistivity value 91-250 Ω m with the image sky blue to light green, and breccia with resistivity value $> 250 \Omega$ m and modeling image dark green to deep purple. The total penetration of inverse resistivity modeling at line 1 is 24 m with iteration 5 resulting in a root mean square error of 7.8%, with a very deep tuff sediment thickness reaching 0-11 at a point of 0 line up to a range of 60 m, as well as thick tuff sedimentary layers in the range of 61-115 m.

Line 2 generally has the same characteristics of subsurface medium as Line 1. Layer of the slip surface is obtained between the contrast value of resistivity between two mediums which are close together. It is imaged with a black dotted line which is an area suspected as a layer of weathered rock or vulnerable zones imaged by a red dotted line in the form of a layer of sediment tuff and sand sand which can be a zone saturated by water, in this path 1 there is 3 water saturated zones at a length of 12, and 45 m with a depth of 5 and 6 m respectively. If high rainfall allows water to accumulate in these layers, thus causing these layers have movement. In this second line, the prone zone area is located right next to the settlement or is at the bottom of lane 1 and at the bottom of cross section 1 has a slope of $> 30^\circ$ which makes this area a prone to landslide disaster, as evidenced by the

occurrence of landslides in February which caused a destroyed house. The location of the landslide or ground movement is presented in Figure 5.



Figure 5. Location of landslide on line 2.

IV. CONCLUSION

Through this method it is known that areas that have high water content are indicated by low resistivity values. In this study, measurements were carried out on the slip area in a landslide prone area. After measuring the 2 lines, information on the value of subsistence resistivity, thickness of subsurface material, lithology, and topography of the study area were obtained.

ACKNOWLEDGMENTS

Thank you to the Unila Research and Service Institute (LPPM) for providing funding for research activities in the Beginner Lecturer Research scheme. This research was funded by the Unila BLU Grant. Furthermore, thank you also to the Panjang District Government for granting permission for this research.

REFERENCES

- [1] The government of Bandar Lampung City (2017) (16 May 2018). *Sekilas Kota* URL <https://BandarLampungkota.go.id/sekilas-kota/>.
- [2] Mangga, S. A., Amirudin, T., Suwarti, S., Gafoer and Sidarto. (1993). *Geological Map of Tanjungkarang Sheet, Sumatra*, Bandung: Center for Geological Research and Development.
- [3] Center for Volcanology and Geological Disaster Mitigation (2019) (17 October 2019). *Wilayah Potensi Gerakan Tanah di Lampung* URL <http://www.vsi.esdm.go.id/>.

- [4] Solichin, E. A. (11 August 2019). *Longsor di Panjang, Pohon-pohon Bertumbangan* URL <https://lampung.tribunnews.com/2019/02/25/longsor-di-panjang-pohon-pohon-bertumbangan>.
- [5] Fernando, O. (11 August 2019). *Rumah di Panjang terkena dampak longsor akibat hujan lebat* URL <https://kumparan.com/lampunggeh/10-rumah-di-panjang-terkena-dampak-longsor-akibat-hujan-lebat-1551163571543569541>.
- [6] Karnawati, D., (2005). *Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*. Yogyakarta: Geological Engineering Department, Engineering Faculty Gadjah Mada University.
- [7] Sugito, Irayani, Z. and Jati, I.P. (2010). Investigasi bidang gelincir tanah longsor menggunakan metode geolistrik tahanan jenis di Desa Kebarongan Kec. Kemranjen Kab. Banyumas. *Berkala Fisika*, 13 (2): 49-54.
- [8] Bukhari, Saputra, A. D., Pratama, A. H., Abdullah, F., Yanis, M. and Ismail, N. (2017). Identifikasi struktur berpotensi longsor berdasarkan model resistivitas listrik 2D. In *Proceeding of Semirata 2017 in the Field of Mathematics and Natural Sciences BKS-PTN West Region*, 942-953.
- [9] Telford, W. M, Geldard, L.P, Sherrif, R.E., and Keys, D. A. (1990). *Applied Geophysics*, London: Cambridge University Press.

ASPECT AND CRITERIA OF GEOLOGICAL CONDITIONS FOR GROUNDWATER QUANTITY CONTROL

Sugeng Purwo Saputro^{1,*}, Rahmi Mulyasari²

¹ Indonesian Institute of Sciences (LIPI), Kebumen

² University of Lampung (Unila), Lampung

*Email: sugeng.purwo.saputro@lipi.go.id

Abstract: Groundwater has an important role for all elements of life. Groundwater loss due to decreasing quantity can be a disaster for nature. Understanding of groundwater supply control is important, especially in terms of the geological conditions of the local area. This study uses data from observations and geological data collection, as well as measurement of groundwater quantity. The method used is a statistical approach from the frequency of data occurrence of drought in six sub-districts in Kebumen Regency/Districts, Central Java. The study area is divided into three zones, they are the safe zone (Adimulyo and Ambal sub-districts), the moderate danger zone (Ayah and Buayan sub-districts), and the high danger zone (Karanggayam and Karangsembung sub-districts). The infiltration and percolation process which is hampered is the reason the quantity of groundwater decreases. The process is controlled by the geological conditions of the local area, so an understanding of the geological conditions is needed to obtain large quantities of groundwater.

Keywords: groundwater, drought, statistics, zoning, geology

Abstrak: Air tanah memiliki peran penting untuk semua unsur kehidupan. Kehilangan air tanah akibat dari menurunnya kuantitas dapat menjadi sebuah bencana bagi alam. Pemahaman mengenai pengontrol suplai air tanah menjadi penting untuk diketahui, utamanya dari sisi kondisi geologi daerah setempat. Penelitian ini menggunakan data berupa hasil pengamatan dan pengambilan data geologi, serta pengukuran kuantitas air tanah. Metode yang digunakan berupa pendekatan statistik dari data frekuensi terjadinya kekeringan pada enam kecamatan di Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah. Daerah penelitian terbagi menjadi tiga zona, yaitu zona aman (Kecamatan Adimulyo dan Ambal), zona bahaya sedang (Kecamatan Ayah dan Buayan), dan zona bahaya tinggi (Kecamatan Karanggayam dan Karangsembung). Proses infiltrasi dan perkolasi yang terhambat menjadi alasan kuantitas air tanah menurun. Proses tersebut dikontrol oleh kondisi geologi dari daerah setempat, sehingga pemahaman tentang kondisi geologi diperlukan untuk mendapatkan air tanah dengan kuantitas yang besar.

Kata kunci: air tanah, kekeringan, statistik, zonasi, geologi

I. INTRODUCTION

Groundwater is an important component that is inseparable in the life cycle of living things, especially for the human life cycle. The sources of groundwater are varied, ranging from rainwater to surface water (rivers, lakes, etc.) that enter the soil or rocks and are stored there in the form of aquifer columns. Humans use groundwater for various needs, such as drinking, cooking, bathing, washing, and so on, so that the maintained supply of ground water (quantity) becomes very important.

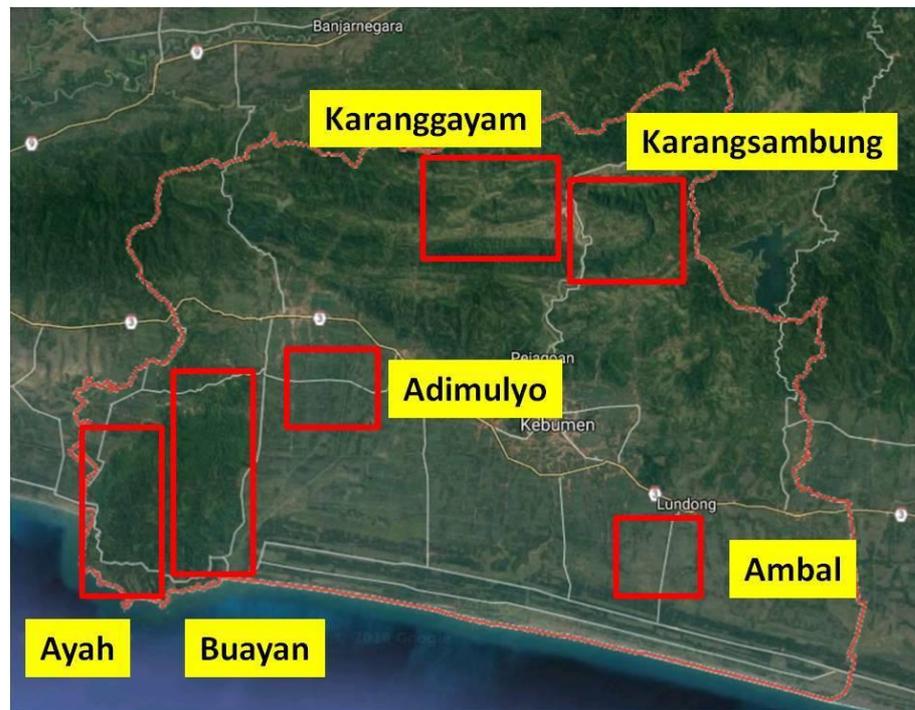


Figure 1. Map of the study area (Google Earth modification, 2019).

Indonesia is a tropical country that is controlled by the two climate (dry and wet), each of them lasted six months normally. The balanced climate duration should make Indonesia have an abundant supply of groundwater, but in reality some regions in Indonesia still have a shortage of groundwater supply. Kebumen Districts is one of the regions with a diversity of rock types that has experienced this, there are several sub-districts that have maintained groundwater supply and some are deficient. The reduction supply of groundwater (drought) if it is very disruptive to the cycle of human life, it can be classified as a disaster (Alcántara-Ayala, 2002; Liu et al., 2019). The research conducted in Kebumen Districts aims to determine the control of geological conditions from all aspects and criteria for the quantity of groundwater.

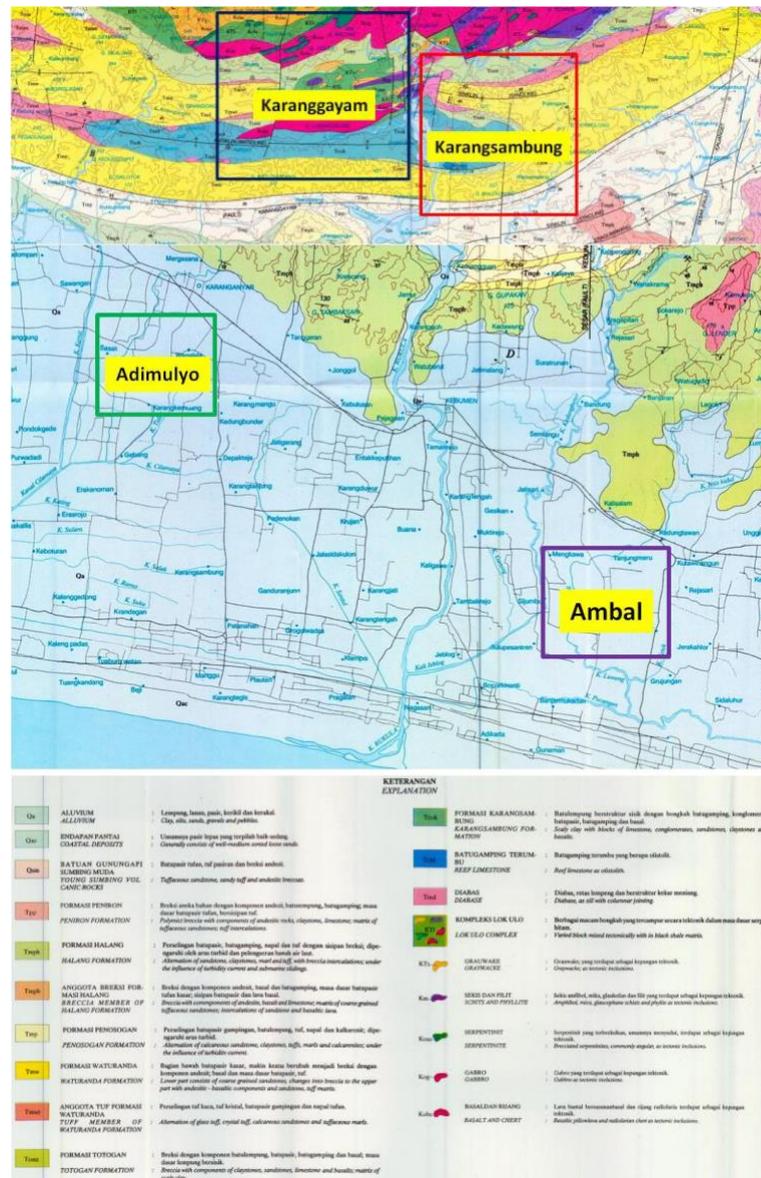


Figure 2. Geological map of the study area, Kebumen sheet (Asikin et al., 1992).

II. MATERIALS AND METHODS

Research location is in Kebumen Districts, Central Java (Figure 1). The study was conducted in a period of five months and covered six sub-districts, namely Karanggayam, Karangsembung, Adimulyo, Ambal, Ayah, and Buayan.

2.1 Tools and Materials

The tools and materials used are mostly general needs for field activities, such as geological hammers, geological compasses, field books, cameras, HCl, loop, and sample bags.

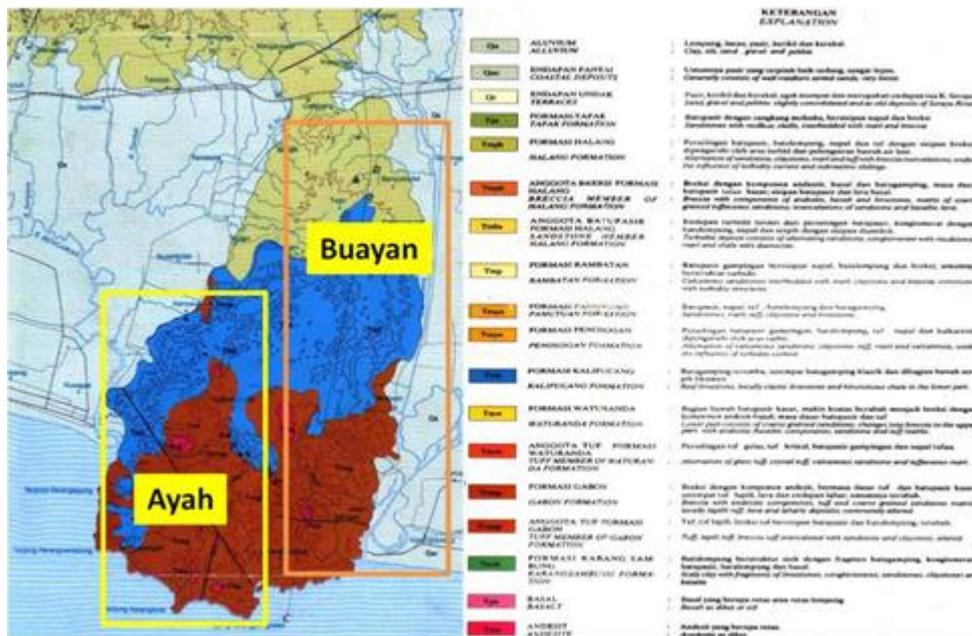


Figure 3. Geological map of the study area, Banyumas sheet (Asikin et al., 1992).

2.2 Research Method

The data which is used is coming from observations and geological data collection, as well as measurement of the quantity of ground water using tools from- and carried out by- the BPBD (Regional Disaster Management Agency) of the local area. The approach used is a statistical analysis of data on the frequency of occurrence of drought in six sub-districts in the study area (Table 1). Area zoning is the output of the statistical analysis (Figure 5), which is linked to the geological conditions of the study area. This study was done to determine the control of geological conditions on the quantity of ground water.

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 Geology

The study area is included in the geological map of Kebumen (Figure 2) and Banyumas (Figure 3) sheets. The rock formations are very varied, ranging from the Lok Ulo Complex which is in the tens of hundreds of millions (million years ago) to the Alluvials of the Resen age. The rock formation is largely deformed very strong due to tectonic processes, reflected in the appearance of geomorphology and rock conditions in the study area.

Karanggayam and Karangsembung sub-districts are composed of igneous, sedimentary, and metamorphic rocks, with the predominance of igneous and metamorphic rocks. These rocks include gabbro, basalt, tuff, serpentinite, schist, phyllite, claystone with the texture of scales,

sandstones, limestones, breccias, and chert. Geological structures such as anticline, syncline, to various types of faults complement the geological conditions in these two sub-districts.

Table 1. Drought frequency table (BPBD Kebumen, 2018).

No.	Districts	Position	Sub-district	Frequency of Drought / Month					Number of Villages		Frequency of Drought (July-November 2018)
				July	August	September	October	November	Total	Drought	
1	Kebumen	North	Karanggayam	26	90	95	130	20	19	8	361
2			Karangsambung	3	40	55	63	0	14	5	161
3		South	Adimulyo	0	0	0	5	0	23	1	5
4			Ambal	0	0	0	0	0	32	-	0
5			Ayah	20	55	44	71	0	18	8	190
6			Buayan	23	45	51	71	0	20	4	190

Both sub-districts are geographically located in the northern side of Kebumen Districts, while the Adimulyo, Ambal, Ayah, and Buayan sub-districts are in the southern side. Thick alluvial is a constituent of rock formations in the sub-districts of Adimulyo and Ambal, consist of clay, silt, sand, gravel, and crustal sediments. These sediments are very well disaggregated and have not yet begun the lithification process. The geological structure in these two sub-districts cannot be properly identified, because it is covered by thick sediment.

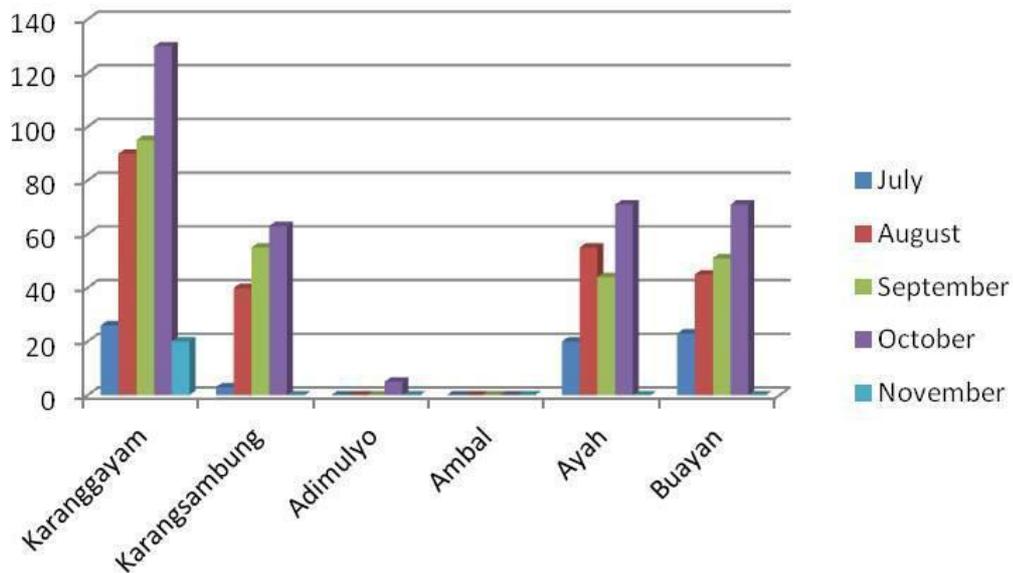


Figure 4. Drought per month frequency graph.

The rocks in the west of Adimulyo and Ambal sub-districts, precisely in the sub-districts of Ayah and Buayan are dominated by volcanic rocks and shallow marine sediments. These rocks include breccia (andesite fragments, tuff and coarse sandstones matrixs), reef and clastic limestone,

and layers of sandstone-claystone. The geological structure that is present in these two sub-districts is a sliding fault.

3.2 Quantity of Groundwater

Measurement of groundwater quantity (Figure 4) shows that the study area can be divided into three zones (Figure 5), namely the safe zone, the medium danger zone, and the high danger zone. Adimulyo and Ambal sub-districts are included in the safe zone, out of 23 villages in Adimulyo sub-district and 32 villages in Ambal sub-district, only one village has experienced drought. The frequency of occurrence was only five times, which are scattered around the village.

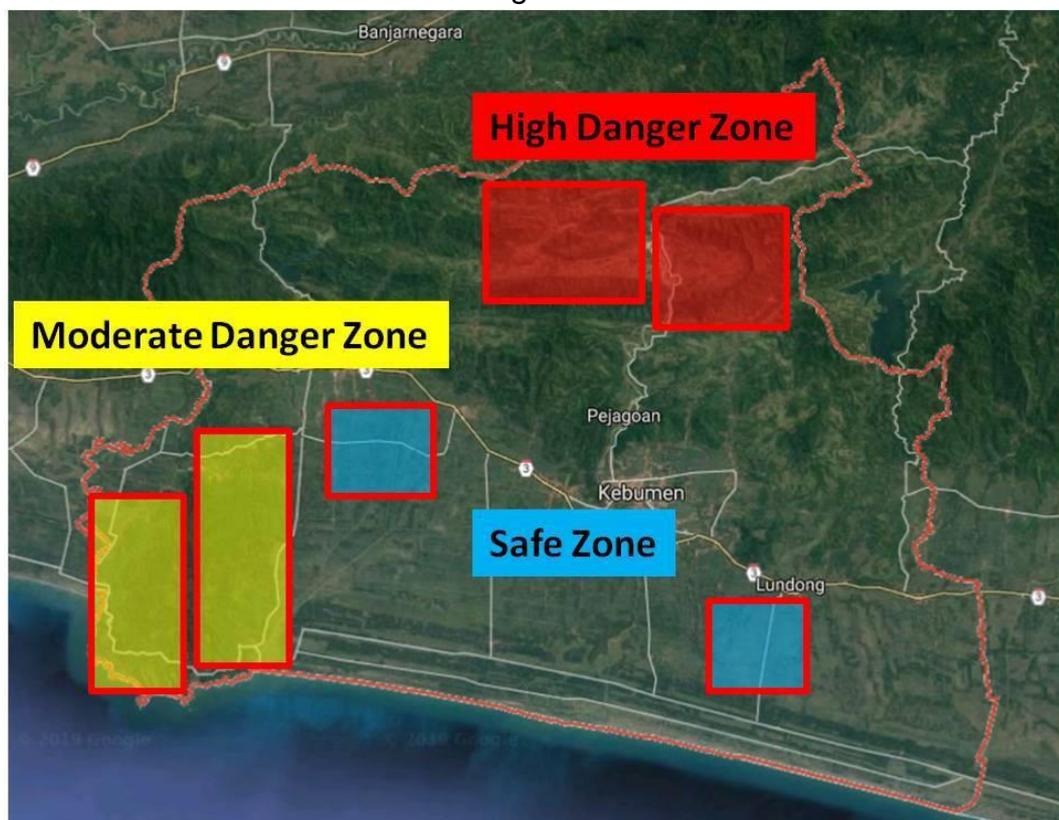


Figure 5. Zoning of drought hazards of the study area (Google Earth modification, 2019).

The moderate danger zone covers eight villages in the Ayah sub-district of a total of 18 villages, and four villages in the Buayan sub-district of a total of 20 villages. Each of these sub-districts contributed 190 droughts in 12 affected villages. Karanggayam and Karangsembung sub-districts were the worst compared to the other four, because of the total of 19 villages in Karanggayam sub-district and 14 villages in Karangsembung sub-district there were eight and five villages experiencing drought respectively. The frequency of drought that occurred in the two sub-districts 361 times and 161 times respectively.

3.3 Hazard, Disaster, and Drought

Hazard is a result of a long process, but the trigger only takes a minute in critical condition to turn a normal state into a hazard. There are various types of hazards, one of which is natural hazard. Natural hazard is a condition related to natural phenomena or conditions, acting as a hazard on the scale of space and time. Natural hazards in general can provide damage both physically and socially, and do not occur only at certain moments but rather long-term events (Alcántara-Ayala, 2002). When the hazard has a large impact on the social environment and/or infrastructure, it becomes a natural disaster.

Natural disasters for developing countries can be fatal, because the frequency of occurrence is very frequent. There are two factors that influence this (Alcántara-Ayala, 2002). The first is the relationship between geographic location and geological-geomorphological conditions (settings), for example, locations close to volcanoes, or areas where earthquakes, floods, etc. Second is the history of development, whether economic, social, political, or cultural, which tends to turn negative in line with the increasing vulnerability of natural disasters.

One example of a natural disaster is drought, which occurs because the precipitation process is less than normal levels in a certain period, causing water losses in areas such as rivers, lakes, and soils (groundwater aquifers). The cause of the reduced precipitation process can be caused by a inhibited infiltration and percolation processes (Ren et al., 2015; Liu et al., 2019). Factors influencing infiltration and percolation include slope gradients, rock cracks, weathering degrees, climate, surface water, edaphic characters, and anthropogenic interventions (Todd, 1959; Ganapuram et al., 2008; Mishra et al., 2018). Drought is a natural and socio-economic product, in the sphere of space and time that affects human life or the ecological environment (Liu et al., 2019).

3.4 Geographical and Geomorphological Characteristics

One of the parameters to determine the condition of groundwater in an area is to observe the geographical and geomorphological characteristics. There are eight characteristics (Yizhaq et al., 2017; Mishra et al., 2018), namely soil physiognomy, geomorphological formation, geological conditions (settings), land use/land cover, infiltration-percolation value, slope, curvature, and lineament density. Each of these characteristics has a certain role of drought in the study area.

Karanggayam and Karangsambung sub-districts include to poor soil physiognomy and curvature, because they are composed of hard-rocks and there are only a few weathered on it. This causes the surface water cannot

undergo infiltration, so that the infiltration-percolation process is hampered. The infiltration-percolation process can work well, if one it is in areas with sloping geomorphological and slope formation, such as in Adimulyo and Ambal sub-districts. That is because the water on the surface has enough time for infiltration, or in other words the slope angle is proportional to the runoff and lineament density. However, high infiltration values do not necessarily indicate low runoff values, for example in the sub-districts of Ayah and Buayan. The infiltration and runoff values in the two sub-districts are high, it's just that the value of the percolation is low due to the results of rock weathering (topsoil) having a low permeability.

Hard-rocks (igneous and metamorphic) in the Karanggayam and Karangsembung sub-districts in general can be good aquifers, because rocks in the area are much affected by geological structures that can be a space for supply and stored water. However, in particular this cannot be happened, because the geological structures in the area are not well connected to one another due to a very strong tectonic process. The availability and movement of groundwater is also influenced by micro-fracture factors along rock layers, scour zones, and permeable weathering zones (Mishra et al., 2018; Liu et al., 2019).

3.5 Permeability, Porosity, and Pressure

Permeability is the ability of porous media that allows fluids, gases, or solutes to pass through the geometry of their intermittent space due to difference pressure (Ma et al., 2018). The permeability of rock mass can be determined by considering the condition of discontinuity (Kayabasi et al., 2015), such as persistence, opening, physical surface rock (roughness), filling, weathering conditions, discontinuity distance, and RQD (Rock Quality Designation). Hard-rocks generally has two types of permeability, first is the permeability caused by the presence of the discontinuity field and second is the permeability of the rock matrixes. The water ability to pass hard-rocks will be even greater if there are many- and large size discontinuities, and the matrixes have good porosity (Ren et al., 2015). Factors that affect permeability (starting from the most influential) include (Liu and Jeng, 2019), porosity, particle size distribution, particle surface, and particle shape.

Adimulyo and Ambal sub-districts which are only composed of sediment have very good permeability. Good porosity, uniform particle size distribution, smooth particle surface and rounded particle shape are the reasons for this. Rocks in these two sub-districts permeability and porosity will decrease only when effective pressure increases (Zheng et al., 2015). Poor permeability is found in Ayah, Buayan, Karanggayam, and Karangsembung sub-districts, because most of the rocks in the sub-

districts are hard-rocks that have poor porosity, non-uniform particle size distribution, rough particle surface, and irregularly tapered particle shape. This is supported by the condition of the discontinuity field that are not well connected to each other, thus further worsening the value of permeability.

3.6 Dissolution, Cementation, and Compaction

Ayah and Buayan sub-districts are study areas that have a fairly large quantity of shallow marine sediment products (almost part of the territory), in the form of reef and clastic limestones. The rock has undergone a fairly intensive dissolution process, so that it has good inter-pore connectivity (Rashid et al., 2015). This is the reason why Ayah and Buayan sub-districts fall into the medium danger zone, because the poor permeability and porosity of volcanic products is slightly offset by the permeability and good porosity of shallow marine sediment products.

Karanggayam and Karangsembung sub-districts also have rocks that are composed of carbonates similar to those in Ayah and Buayan sub-districts, but carbonate rocks in Karanggayam and Karangsembung sub-districts experience very high pressure due to tectonic processes. This pressure causes compacting and cementation to be more optimal. This compacting and cementation causes the rock to experience a decrease in porosity (Rashid et al., 2015; Hollis et al., 2017), inversely proportional to carbonate rocks in the sub-districts of Ayah and Buayan.

IV. CONCLUSION

Natural disasters such as drought are caused by obstructions in the process of infiltration and percolation. The inhibiting parameters are controlled by eight geographic and geomorphological characteristics, permeability, porosity, and pressure values, as well as dissolution, cementation and compacting processes. Understanding the geological conditions of an area can help in terms of maintaining and maximizing the quantity of groundwater.

ACKNOWLEDGMENT

Thank you to the Kebumen BPBD for providing assistance in the form of additional natural disaster data for this research.

REFERENCES

- [1] Alcántara-Ayala I. (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47: 107-124.

- [2] Asikin, S., Handoyo, A., Busono, H., Gafoer, S. (1992). *Geologic map of the Kebumen Quadrangle, Jawa*. Geological Research and Development Centre Asikin, S., Handoyo, A., Prastistho, B., Gafoer, S. (1992). *Geologic map of the Banyumas Quadrangle, Jawa*. Geological Research and Development Centre.
- [3] BPBD Kebumen. (2018). *Bencana Alam Kekeringan Kabupaten Kebumen, Technical Report*, BPBD Kebumen.
- [4] Ganapuram, S., Kumar, G.V., Krishna, I.M., Kahya, E., Demirel, M.C. (2008). Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *Adv. Eng. Softw*, 40 (7), 506-518.
- [5] Google Earth. (2 Oktober 2019). *Citing Internet sources* URL [https://www.google.com/maps/place/Kebumen+Regency,+Central+Java/@-](https://www.google.com/maps/place/Kebumen+Regency,+Central+Java/@-7.6439184,109.4692368,51912m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x2e7ab505040d2c31:0x3027a76e352ba90!8m2!3d-7.6680559!4d109.6524575)
7.6439184,109.4692368,51912m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x2e7ab505040d2c31:0x3027a76e352ba90!8m2!3d-7.6680559!4d109.6524575.
- [6] Hollis, C., Lawrence, D.A., Deville de Perière, M., Darmaki, F.A. (2017). Controls on porosity preservation within a Jurassic oolitic reservoir complex, UAE. *Marine and Petroleum Geology*, 88: 888-906.
- [7] Kayabasi, A., Yesiloglu-Gultekin, N., Gokceoglu, C. (2015). Use of non-linear prediction tools to assess rock mass permeability using various discontinuity parameters. *Engineering Geology*, 185: 1-9.
- [8] Liu, X., Guo, P., Tan, Q., Xin, J., Li, Y., Tang, Y. (2019). Drought risk evaluation model with interval number ranking and its application. *Science of the Total Environment*, 685: 1042-1057.
- [9] Liu, Y.F., Jeng, D-S. (2019). Pore scale study of the influence of particle geometry on soil permeability. *Adv. in Water Resources*, 129: 232-249.
- [10] Liu, C., Yin, G., Li, M., Shang, D., Deng, B., Song, Z. (2019). Deformation and permeability evolution of coals considering the effect of beddings. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 117: 49-62.
- [11] Ma, B., Shi, L., Huang, C., Xu, Q. (2018). Effect of nanoscale pore structure on permeability and relative permeability loss analyzed by GPU enhanced Multiple-Relaxation-Time LBM. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 117: 584-594.
- [12] Mishra, A.K., Upadhyay, A., Srivastava, A., Rai, S.C. (2018). Probabilistic groundwater recharge zonation in hard rock terrain using geospatial techniques in Veniar watershed, South India. *Ecohydrology & Hydrobiology*, xxx: xxx-xxx.

- [13] Rashid, F., Glover, P.W.J., Lorinczi, P., Collier, R., Lawrence, J. (2015). Porosity and permeability of tight carbonate reservoir rocks in the north of Iraq. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 133: 147-161.
- [14] Ren, F., Ma, G., Fu, G., Zhang, K. (2015). Investigation of the permeability anisotropy of 2D fractured rock masses. *Engineering Geology*, 196: 171-182.
- [15] Todd, D.K. (1959). *Ground Water Hydrology*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- [16] Yizhaq, H., Stavi, I., Shachak, M., Bel, G. (2017). Geodiversity increases ecosystem durability to prolonged droughts. *Ecological Complexity*, 31: 96-103.
- [17] Zheng, J., Zheng, L., Liu, H-H., Ju, Y. (2015). Relationship between permeability, porosity and effective stress for low-permeability sedimentary rock. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 78: 304-318.

APLIKASI CITRA SAR UNTUK PEMETAAN DEFORMASI AKIBAT GEMPA BUMI DENGAN METODE DINSAR

I Gede Boy Darmawan^{1,2,*}, Muhamad Farhan Yassar^{1,2}, Ahmad
Asmara Kandi^{1,2}, Ida Bagus Suananda Yogi^{1,2}

¹ Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung

² Tim Riset Unila Geoscience Teknik Geofisika Universitas Lampung

*Email: igedeboy@staff.unila.ac.id

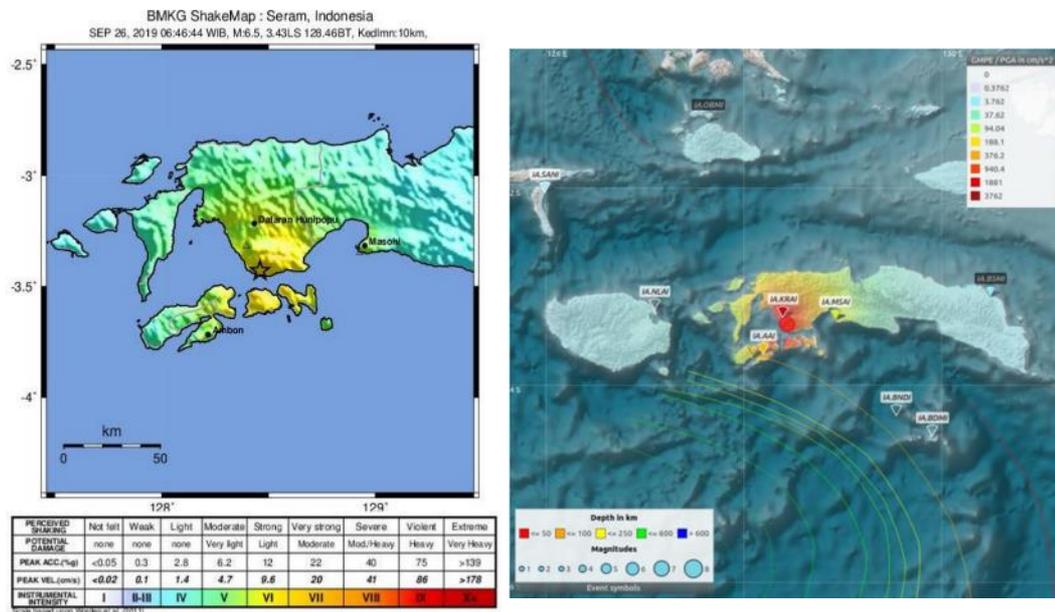
Abstrak: Deretan kejadian gempa Ambon yang terjadi sejak gempa utama tanggal 26 September 2019 telah menimbulkan banyak korban jiwa dan harta benda. Peristiwa ini menyebabkan kerusakan bangunan dan longsor akibat deformasi batuan permukaan. Deformasi batuan ini mencerminkan sebaran energi gempa bumi dan kerusakan yang diakibatkannya. Kegiatan pemetaan deformasi akibat gempa bumi penting dilakukan untuk mengetahui karakteristik sebaran energi gempa bumi serta dampak yang diakibatkannya. Kesulitan akses di lokasi bencana menimbulkan hambatan dalam kegiatan pemetaan deformasi di lapangan, sehingga diperlukan solusi pemetaan dengan penginderaan jauh. Dengan mengaplikasikan metode DInSAR pada citra SAR khususnya Sentinel-1 (A & B) dapat diperoleh sebaran deformasi batuan permukaan. Metode ini memanfaatkan perbedaan fase antara dua citra SAR yang diakuisisi sebelum dan setelah peristiwa gempa bumi. Hasil pengolahan data SAR menunjukkan sebaran deformasi yang terdeteksi berada di Pulau Ambon antara (-0,54) – (+0,55) m terhadap *Line of Sight* (LOS). Sementara di Pulau Haruku, Seram dan Saparua nilai deformasi cenderung negatif antara (-0,88) – (+0,18) m. Kondisi ini mengindikasikan adanya pola deformasi positif/naik di Pulau Ambon yang secara gradasional menurun menjadi deformasi negatif ke arah Timur sampai di Pulau Saparua. Meskipun demikian, *fringes* (perbedaan fase) yang jelas hanya muncul di beberapa area dengan nilai koherensi yang rendah, sedangkan yang ditumbuhi oleh vegetasi menyebabkan nilai koherensi area tersebut sangat rendah, sehingga tidak dapat digunakan dalam analisis deformasi. Hasil pemetaan deformasi ini dapat digunakan untuk penyusunan peta kawasan siaga bencana untuk memitigasi bencana gempa bumi di kemudian hari.

Kata kunci: gempa bumi, deformasi, interferometri, DInSAR, fringes.

I. PENDAHULUAN

Ambon merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang berada dekat dengan zona kolisi di busur banda. Secara tektonik, daerah ini memiliki energi tersimpan yang cukup besar akibat dari pertemuan lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia serta lempeng Pasifik. Pelepasan energi akibat pergerakan ini terekam dengan sangat jelas dari sebaran kejadian gempa dan episenter gempa bumi di wilayah tersebut. Energi ini dilepaskan melalui sesar-sesar dan *fracture* yang terbentuk di sekitar Pulau Ambon, Seram dan Buru [1]. Salah satu peristiwa pelepasan energi gempa bumi yang cukup besar di wilayah ini terjadi pada tanggal 26 September 2019. Gempa ini terjadi pada kedalaman 10 km dengan posisi *epicenter* berada

di Pulau Seram tepatnya pada koordinat Bujur dan Lintang (128,46° BT, 3,43° LS) [2].



Gambar 1. Lokasi episenter dan sebaran kekuatan guncangan gempa pada skala MMI (Modified Mercalli Intensity) pada gempa Ambon 26 September 2019 [2].

Menurut laporan BMKG, gempa yang terjadi di wilayah Ambon dapat diklasifikasikan sebagai gempa bumi yang dangkal. Gempa ini memiliki mekanisme sumber berjenis *strike-slip* dengan arah timur laut – barat daya. Penyebab gempa ini diperkirakan akibat dari aktivitas sesar geser yang ada di Pulau Seram. Namun keberadaan sesar ini belum dapat diidentifikasi dengan baik sehingga umumnya gempa ini dikategorikan sebagai *background*. Berdasarkan pada Gambar 1, sebaran guncangan gempa ini dirasakan pada skala V-VI MMI di Ambon dan Kairatu yang kemudian melemah ke skala II-III di Paso dan II MMI di Banda [2].

II. MATERIAL DAN METODE

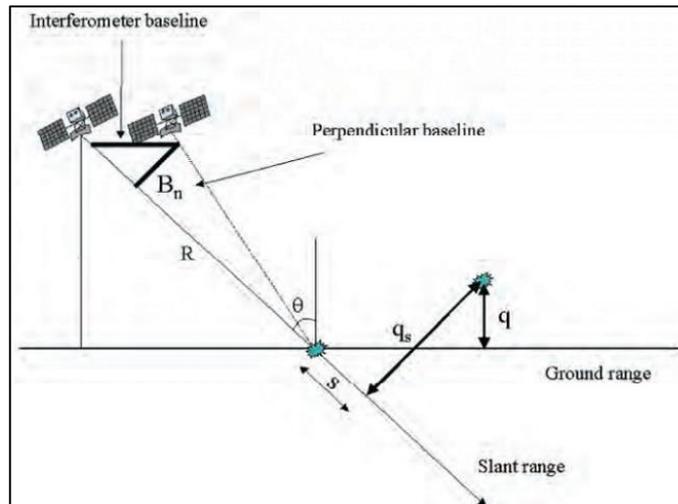
SAR *interferometry* atau InSAR dikembangkan untuk menghasilkan topografi suatu area dengan teknik interferogram yang memerlukan minimal dua citra SAR dalam format *single look complex* (SLC) [3-4]. Citra SAR yang pertama disebut *master* dan yang kedua disebut *slave*. Amplitudo dari interferogram merupakan perkalian antara amplitudo citra *master* dengan citra *slave* sementara fase interferogram merupakan perbedaan antara fase *master* dan fase *slave*.

$$\text{Interferogram} = y(\text{master}) \times y(\text{slave}) \tag{1.1}$$

$$\text{Interferogram} = A_m A_s e^{i(\phi_m - \phi_s)} \tag{1.2}$$

$$\phi_G = \phi_m - \phi_s = \tan^{-1} \left(\frac{1}{R} \right) = -\frac{4\pi(R_m - R_s)}{\lambda} \quad (1.3)$$

dengan ϕ_G merupakan fase interferometri atau beda fase yang dihasilkan dari citra *master* dan *slave* pada satu titik (Gambar 2), sementara R_m dan R_s merupakan jarak geometri dari satelit ke target dan waktu akuisisi, serta λ adalah panjang gelombang dari citra SAR yang digunakan [3].



Gambar 2. Parameter geometri dari sistem satelit interferometri SAR [5].

Pengembangan dari metode InSAR yang memanfaatkan perbedaan fase antara dua pasang citra SAR yang diambil pada waktu yang berbeda untuk pendeteksian dalam skala sentimeter (Massonet, dkk., 1993 dalam [6]) suatu deformasi relatif pada suatu daerah disebut *Differential Interferometric SAR* atau *DInSAR*. Persamaan yang lebih realistis untuk diferensial *interferogram* harus mempertimbangkan sinyal lain yang mewakili sumber utama fase deformasi. Dengan demikian persamaan fase dalam suatu *interferogram* adalah:

$$\Delta\phi_{DInSAR} = \Delta\phi_{defo} + \Delta\phi_{res_orbit} + \Delta\phi_{res_topo} + \Delta\phi_{atm} + \Delta\phi_{noise} \quad (1.4)$$

dimana:

$\Delta\phi_{defo}$ adalah sinyal deformasi yang sesuai dengan perpindahan yang terjadi selama selang akuisisi berulang.

$\Delta\phi_{res_orbit} \cong \frac{4\pi}{\lambda} \left(\frac{R-R_0}{R \tan \theta} \Delta B_{\perp} + \frac{h}{R \sin \theta} \Delta B_{\perp} \right)$ merepresentasikan *residual fringes* akibat ketidakakuratan mengenai posisi sensor pada orbit.

$\Delta\phi_{res_topo} \cong \frac{4\pi}{\lambda} \left(\frac{B_{\perp}}{R \sin \theta} \Delta h \right)$ adalah residual sinyal topografi akibat kesalahan tentang informasi mengenai medan topografi pada *scene*, atau kesalahan *resampling* DEM ke dalam koordinat SAR (*slant range*).

$\Delta\Phi_{atm}$ adalah efek inhomogenitas indeks bias atmosfer yang menyebabkan *phase noise* yang biasa disebut dengan *atmospheric artifacts*. *atmospheric phase screen* (APS) dapat di-filter menggunakan prosedur spasial-temporal yang sesuai.

$\Delta\Phi_{noise}$ adalah kontribusi derau (*noise*) adiktif [6].

Pada dasarnya, faktor *cross-correlation* akan bergantung pada sumber *noise* yang berbeda, dan dapat difaktorkan sebagai produk dari faktor *cross-correlation* yang relevan untuk setiap sumber *noise* (Zebker dan Villasenor, 1992 dikutip dari [6] sebagai berikut:

$$\chi = \chi_{thermal} \cdot \chi_{spatial} \cdot \chi_{doppler} \cdot \chi_{misregistration} \cdot e^{j\frac{4\pi}{\lambda}\delta r'} \quad (1.5)$$

Ketika dua citra SAR tidak diakuisisi secara bersamaan tetapi pada interval waktu tertentu dengan *spatial baseline* dan geometri pengamatan yang sama, maka dekorelasi spasial tidak akan terjadi. Namun, perubahan fungsi reflektifitas suatu objek di permukaan bumi antara dua citra SAR tersebut tidak bisa diabaikan, terutama timbulnya sumber dekorelasi yang lain, yang biasa disebut dekorelasi temporal.

2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan dua pasang (*pair*) citra SAR yaitu citra Sentinel-1 yang diperoleh dari <https://www.asf.alaska.edu/>. Pasangan tersebut masing-masing berada pada mode akuisisi *ascending* dan *descending*. Data Sentinel-1 yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 1 berikut ini.

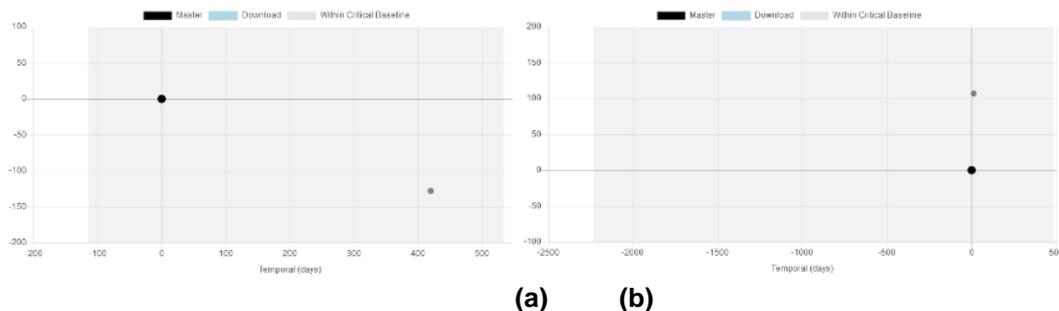
Tabel 1. Data Sentinel-1 yang digunakan untuk analisis DInSAR gempa Ambon yang diperoleh dari ASF.

Mode Akuisisi	Master	Slave	Prep. Baseline (m)	Temp. Baseline (hari)
Ascending	S1A_IW_SLC__1SDV_20180809T094518_20180809T094548_023167_028453_AE80	S1A_IW_SLC__1SDV_20191003T094530_20191003T094605_029292_035423_E5FF	-134	-420
	S1A_IW_SLC__1SDV_20190917T210236_20190917T210303_029066_034C72_4860	S1A_IW_SLC__1SDV_20190929T210237_20190929T210304_029241_035278_B58A		
Descending	S1A_IW_SLC__1SDV_20190917T210236_20190917T210303_029066_034C72_4860	S1A_IW_SLC__1SDV_20190929T210237_20190929T210304_029241_035278_B58A	104,868	-12

Dengan pasangan data yang difokuskan pada deformasi akibat gempa pada tanggal 26 september 2019 maka digunakan data pasangan InSAR 17 – 29 September 2019 untuk mode *descending*, sedangkan untuk mode *ascending* hanya diperoleh pasangan data pada tanggal 9 agustus 2018 – 3 oktober 2019 seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 1. Kondisi ini

menyebabkan *baseline* data pada mode *ascending* cukup jauh dan mempengaruhi nilai koherensinya.

Untuk mengetahui gambaran *baseline* data InSAR yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3 berikut ini.

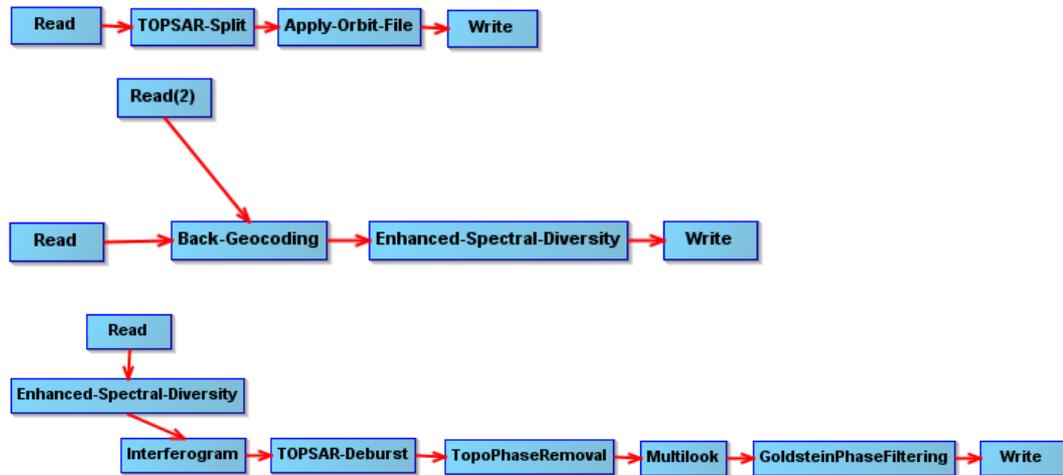


Gambar 3. Grafik yang menunjukkan *perpendicular* dan *temporal baseline* dari data Sentinel-1 mode *ascending* (a) dan *descending* (b) yang digunakan dalam metode InSAR gempa Ambon.

Hasil plot *baseline* dari pasangan data InSAR yang digunakan pada mode *descending* cukup optimal dengan nilai *baseline* rendah. Sementara untuk *baseline* pada mode *ascending* terkendala oleh *temporal baseline* yang cukup besar. Kondisi ini disebabkan oleh keterbatasan arsip data yang diperoleh dari ASF (*Alaska Satellite Facility*). Besarnya nilai *temporal baseline* ini akan sangat mempengaruhi nilai koherensi dari proses *coregistration* mode *ascending*.

2.2 Metode Penelitian

Proses pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode DInSAR. Metode ini merupakan kombinasi antara metode InSAR yang fokus pada perubahan/deformasi yang terjadi di permukaan bumi dengan menghitung adanya perbedaan fase yang diterima oleh sensor dari dua waktu akuisisi data yang berbeda. Pengolahan data Sentinel-1 dilakukan dengan menggunakan SNAP versi 7. Tahapan pengolahan data dengan metode InSAR yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 4 berikut ini. Setelah tahapan InSAR menghasilkan data interferogram [7], tahap selanjutnya adalah mentransformasikan nilai *fringes* yang mengindikasikan perbedaan fase gelombang menjadi nilai deformasi. Teknik yang digunakan adalah DInSAR atau *Differential SAR Interferometry* [8-9]. Teknik ini menggunakan perangkat lunak SNAPHU [10] yang menerapkan algoritma *Minimum Cost Flow* (MCF).



Gambar 4. Tahapan dalam pengolahan data Sentinel-1 untuk metode InSAR gempa Ambon.

Tahapan terakhir adalah mengimpor kembali hasil transformasi data interferogram ke deformasi ke SNAP. Seluruh data hasil pengolahan tersebut ditransformasikan ke sistem koordinat untuk mengembalikan posisi koordinat *slant range* ke koordinat peta. Setiap hasil transformasi tersebut menghasilkan peta koherensi, interferogram dan deformasi sesuai dengan pasangan data masing-masing. Hasil ini akan menunjukkan nilai deformasi untuk tiap mode akuisisi baik secara *ascending* maupun *descending*.

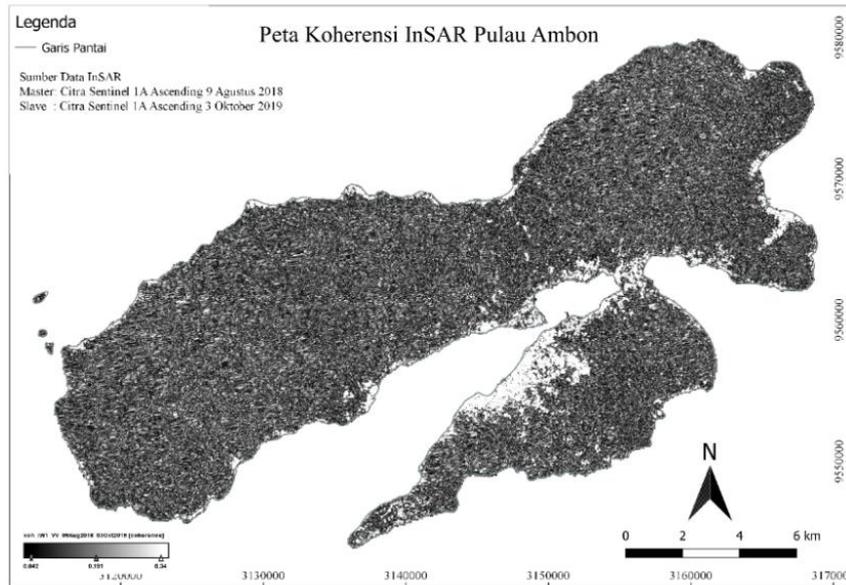
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan metode DInSAR pada data Sentinel-1 di wilayah Ambon diperoleh gambaran berupa perubahan morfologi atau topografi permukaan. Gambaran perubahan/deformasi permukaan ini diperoleh dari rekaman fase gelombang elektromagnetik yang dipantulkan dari permukaan target dan diproses dengan teknik DInSAR. Namun tidak seluruh data hasil pengolahan citra SAR dapat menghasilkan nilai deformasi yang jelas. Kondisi ini disebabkan oleh pengaruh nilai koherensi pasangan data yang rendah akibat *baseline* yang buruk serta pengaruh vegetasi.

3.1 InSAR Pada Mode Akuisisi *Ascending*

Pasangan data *ascending* yang digunakan pada penelitian ini adalah data Sentinel-1 yang diakuisisi pada tanggal 9 Agustus 2018 – 3 Oktober 2019. Besarnya nilai *temporal baseline* pada pasangan data InSAR mode

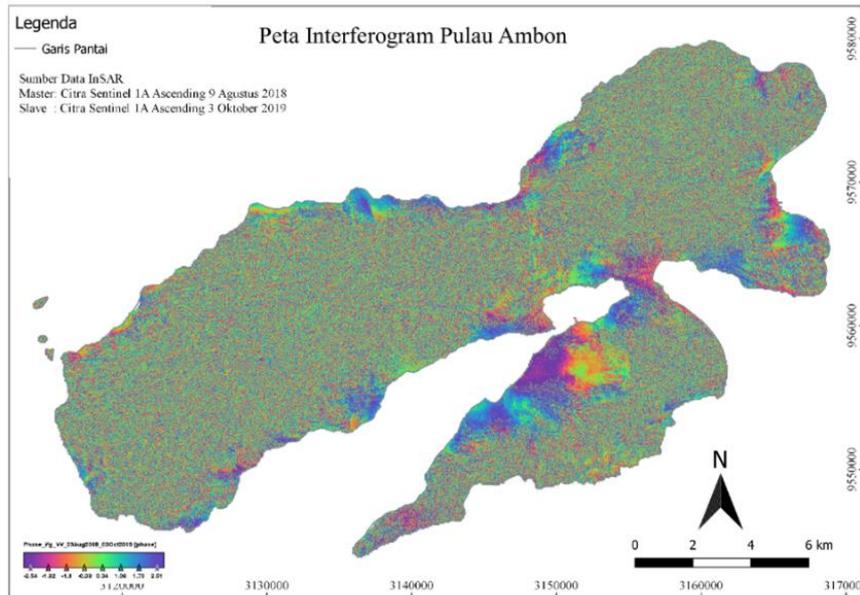
ascending menyebabkan nilai koherensinya rendah di sebagian besar area penelitian seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Sebaran nilai koherensi hasil pengolahan data SAR pada mode ascending di Pulau Ambon.

Nilai koherensi yang ditunjukkan oleh Gambar 5 sebagian besar cukup rendah dengan disimbolkan oleh warna gelap. Area koherensi rendah ini berada di wilayah yang pada oleh vegetasi. Sifat vegetasi yang berubah secara cepat mempengaruhi konsistensi pantulan fase gelombang elektromagnetik dari citra SAR, sehingga nilai koherensi dari area vegetasi menjadi kecil. Sementara nilai koherensi yang tinggi disimbolkan dengan warna putih. Sebaran warna putih untuk nilai koherensi tinggi berada di kawasan permukiman seperti kota Ambon dan wilayah permukiman di pesisir pantai.

Berdasarkan peta sebaran nilai koherensi pada data InSAR dengan mode *ascending*, diperoleh peta interferogram yang ditunjukkan oleh Gambar 6. Peta interferogram juga menunjukkan adanya *fringes* yang nampak jelas di area yang memiliki nilai koherensi tinggi. Kondisi ini mencerminkan area deformasi yang dapat dianalisis hanya pada lokasi koherensi tinggi dan interferogram yang memiliki pola yang jelas. Perubahan warna yang berpola (*fringes*) pada data interferogram mengindikasikan adanya perubahan fase dari pantulan permukaan yang mencerminkan deformasi permukaan.



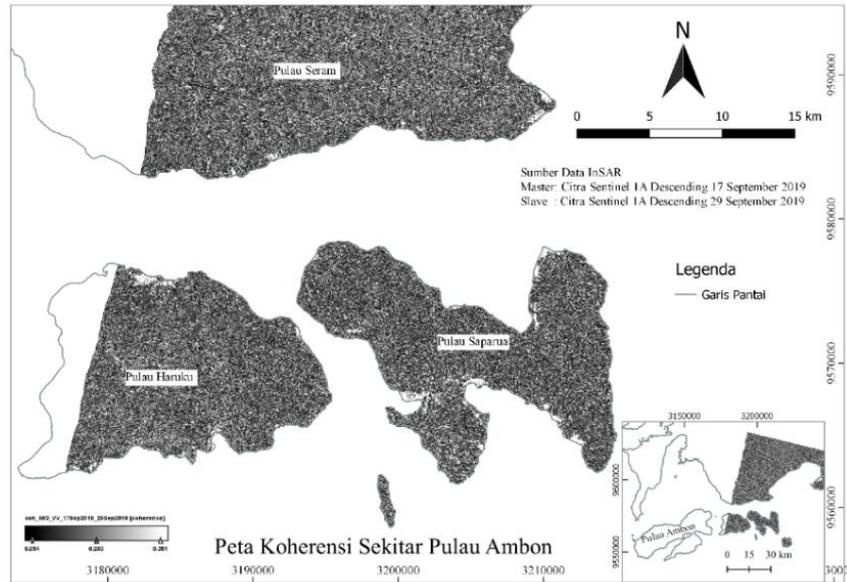
Gambar 6. Peta interferogram hasil pengolahan data Sentinel-1 dengan metode InSAR pada gempa Ambon.

Konsentrasi deformasi di wilayah kota Ambon dan beberapa permukiman di pesisir pantai tidak menunjukkan pola yang tegas, namun cukup menunjukkan indikasi deformasi tanah akibat gempa Ambon 26 september 2019.

3.2 InSAR Pada Mode Akuisisi *Descending*

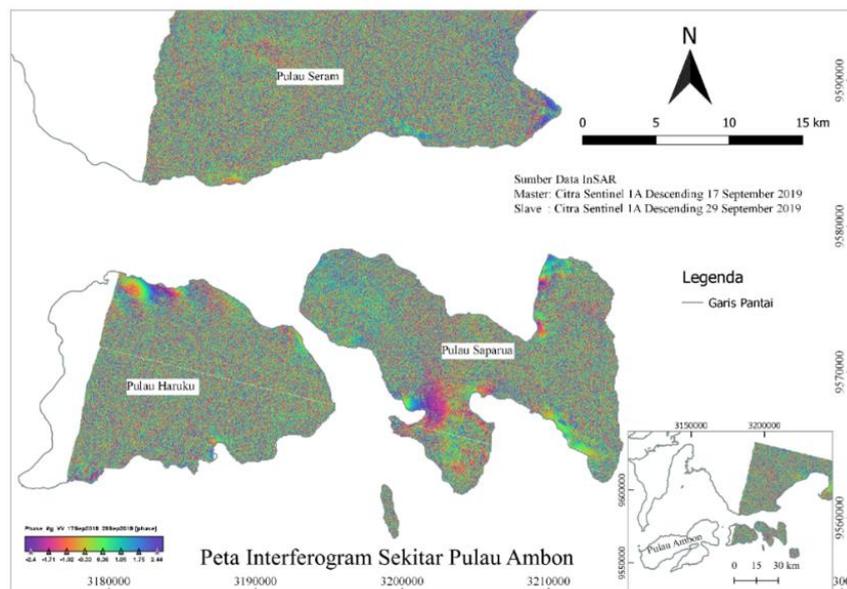
Pasangan data lainnya merupakan mode *descending* dengan waktu akuisisi data Sentinel-1 adalah 17 dan 29 september 2019. Berbeda dengan mode *ascending*, pada mode ini tidak diperoleh arsip data Sentinel-1 yang tepat melintasi wilayah kota Ambon. Namun demikian, terdapat data yang berada tepat di sebelah timur wilayah kota Ambon yang berada di selatan episenter gempa termasuk Pulau Seram. Data ini memiliki nilai *baseline* yang cukup baik untuk pengolahan dengan metode InSAR. Hasil pengolahan data InSAR menunjukkan sebaran nilai koherensi pasangan data mode *descending* ditunjukkan oleh Gambar 7 berikut ini.

Nilai koherensi yang baik untuk konsistensi data deformasi sangat minim dan hanya terkonsentrasi di wilayah permukiman penduduk di pesisir pantai. Peta ini juga menunjukkan sebagian besar wilayahnya ditutupi oleh vegetasi. Oleh karena itu, data interferogram yang dapat digunakan untuk memetakan deformasi permukaan yang baik hanya pada daerah dengan nilai koherensi tinggi, yaitu pada wilayah permukiman yang tidak tertutup vegetasi yang lebat.



Gambar 7. Sebaran nilai koherensi hasil pengolahan data SAR pada mode *descending* di Pulau Ambon

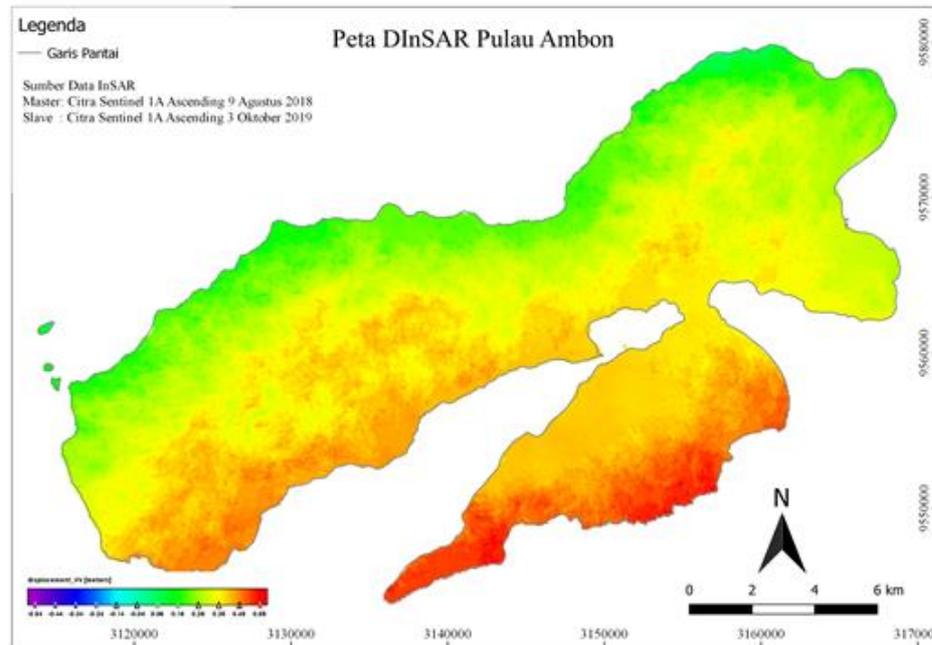
Berdasarkan peta interferogram yang ditunjukkan oleh Gambar 8, diperoleh gambaran bahwa gempa telah menyebabkan deformasi hampir di seluruh wilayah permukiman di sekitar Ambon. Fringes yang sangat jelas ditunjukkan di wilayah permukiman di utara Pulau Haruku. Lokasi ini sangat dengan dengan posisi episenter gempa Ambon sehingga diperkirakan menjadi area dengan deformasi permukaan yang cukup kuat.



Gambar 8. Peta interferogram hasil pengolahan data Sentinel-1 dengan metode InSAR pada gempa Ambon.

3.3 Deformasi Permukaan Akibat Gempa Bumi Ambon

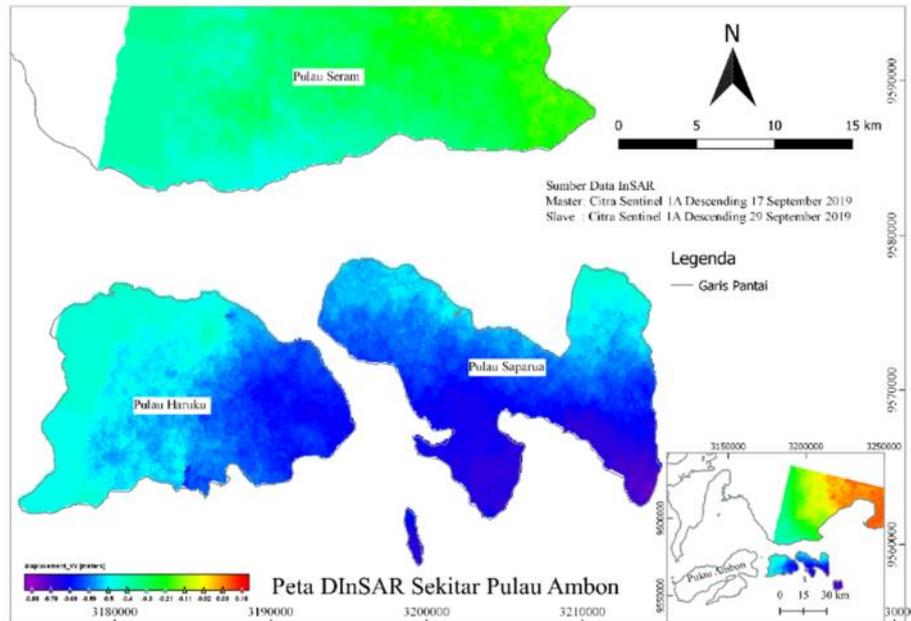
Hasil pengolahan data SAR dengan metode InSAR digunakan sebagai input data dalam teknik DInSAR sehingga besarnya deformasi tanah yang terjadi dapat dipetakan. Hasil transformasi dari data interferogram yang merupakan besarnya perubahan atau perbedaan fase menjadi deformasi permukaan ditunjukkan oleh Gambar 9 dan 10 berikut ini. Gambar 9 menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi di Pulau Ambon di sepanjang Line of Sight (LOS) pada mode *ascending*. Deformasi pada Pulau Ambon menunjukkan dominasi deformasi positif ke arah LOS dari selatan pulau dan menurun ke arah utara pulau.



Gambar 9. Peta deformasi permukaan hasil pengolahan data interferogram dengan metode DInSAR gempa Ambon dengan mode *ascending*.

Peta deformasi pada Gambar 9 menunjukkan rentang nilai deformasi gempa Ambon berkisar antara -0,54 sampai +0,55 meter searah LOS. Sementara untuk deformasi yang dilihat dari arah sebaliknya (*mode descending*) ditunjukkan oleh Gambar 10 berikut ini. Deformasi permukaan pada mode *descending* menunjukkan pola menjauhi sensor (LOS) sehingga didominasi oleh nilai negatif. Nilai deformasi tersebut berkisar antara -0,88 sampai +0,18 meter searah LOS. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi deformasi *uplift* di lokasi episenter yang tersebar di sekitar kota Ambon dan berorientasi pada arah barat daya – timur laut dan berpusat di episenter gempa. Hasil ini belum dapat menggambarkan secara lengkap

terkait proses deformasi akibat gempa Ambon ini. Namun metode ini mampu memetakan sebaran dan karakteristik awal dari deformasi akibat gempa Ambon sampai ke *remote area* dengan cukup baik.



Gambar 10. Peta deformasi permukaan hasil pengolahan data interferogram dengan metode DInSAR gempa Ambon dengan mode *descending*.

IV. KESIMPULAN

Dengan mengaplikasikan metode DInSAR pada citra SAR khususnya Sentinel-1 (A & B) dapat diperoleh sebaran deformasi batuan permukaan. Hasil pengolahan data SAR menunjukkan sebaran deformasi yang terdeteksi berada di Pulau Ambon antara -0,54 sampai +0,55 meter terhadap Line of Sight (LOS) dengan mode *ascending*. Sementara di Pulau Haruku, Seram dan Saparua nilai deformasi cenderung negatif antara -0,88 – 0,18 meter terhadap LOS dengan mode *descending*. Kondisi ini mengindikasikan adanya pola deformasi positif/naik di Pulau Ambon yang secara gradasional menurun menjadi deformasi negatif ke arah Timur sampai di Pulau Saparua.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa dengan teknik DInSAR, deformasi permukaan dapat diidentifikasi dengan baik selama nilai koherensi antar pasangan data yang digunakan memiliki *baseline* dan nilai koherensi yang baik. Nilai *baseline* sangat dipengaruhi oleh orbit dan rentang waktu akuisisi data. Sementara itu, nilai koherensi sangat dipengaruhi oleh adanya vegetasi dan objek lainnya yang dapat berubah dengan cepat terhadap waktu. Sehingga *temporal baseline* juga sangat mempengaruhi nilai koherensi data InSAR.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada *Alaska Satellite Facility (ASF)* yang telah memberikan akses data Sentinel-1 dan terima kasih kepada *European Space Agency (ESA)* yang telah memberikan akses penggunaan software SNAP dalam kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Apandi, T. dan Sudana, D. (1980). *Peta Geologi Lembar Ternate, Maluku Utara, Skala 1:250.000*. Badan Geologi - Bandung.
- [2] BMKG. (2019). Ulasan guncangan tanah akibat gempa bumi di Ambon Maluku. *Laporan bidang seismologi teknik – BMKG*.
- [3] Agustan. (2010). Ground deformation detection based on ALOS-PALSAR data utilizing DInSAR technique in Indonesia. *Unpublished PhD thesis*, Nagoya University.
- [4] Zaenudin, A., Darmawan, I. G. B., Armijon, Minardi, S. dan Haerudin, N. (2018). Land subsidence analysis in Bandar Lampung city based on InSAR. *Jurnal of Physics: Conf. Series*, 1080: 1-7.
- [5] Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C. dan Rocca, F. (2007). InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. *ESA Publications*, Belanda.
- [6] Casu, F. (2009). The Small Baseline Subset Technique: Performance Assessment and New Development for Surface Deformation Analysis of Very Extended Areas. *Disertasi*, University of Cagliari.
- [7] Vajedian, S., Motagh, M. dan Nilfouroushan, F. (2015). StaMPS Improvement for Deformation Analysis in Mountainous Regions: Implications for the Damavand Volcano and Moshafault in Alborz. *Remote Sensing*, 7: 8323-8347.
- [8] Bakon, M., Perissin, D., Lazecky, M. dan Papco, J. (2014). Infrastructure Non-Linear Deformation Monitoring Via Satellite Radar Interferometry. *Procedia Technology*, 16: 294-300.
- [9] Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-Gonzalez, M., Devanthery, N. dan Crippa, B. (2016). Persistent scatterer Interferometry: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115: 78-89.
- [10] Hoser, T. (2018). Analysing the Capabilities and Limitations of InSAR using Sentinel-1 data for Landslide Detection and Monitoring. *Thesis for the Degree of Master of Science*, Department of Geography, University of Bonn.

IDENTIFIKASI DIMENSI FRAKTAL *EVENT* GEMPA BUMI MENGUNAKAN METODE *B-VALUE* PADA DAERAH AMBON DAN SEKITARNYA

**Muhamad Farhan Yassar^{1,2}, Ahmad Asmara Kandi^{1,2}, Ozza Dinata^{1,2},
Ida Bagus Suananda Yogi^{1,2}, I Gede Boy Darmawan^{1,2,*}**

¹ Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung

² Tim Riset Unila Geoscience Teknik Geofisika Universitas Lampung

*Email: igedeboy@staff.unila.ac.id

Abstrak: Gempa bumi yang terjadi pada tanggal 26 September 2019 di daerah Ambon, Maluku telah menimbulkan guncangan pada beberapa daerah dengan intensitas antara V hingga VI dalam skala *Mercalli Modified Intensity* (MMI). Gempa bumi yang terjadi ini dapat diklasifikasikan sebagai gempa bumi dangkal yang dengan mekanisme sumber gempa bumi berjenis *strike-slip* berarah Timur Laut - Barat Daya. Gempa bumi yang sering bersifat acak dan sulit diperkirakan membuat kegiatan untuk memprediksi kejadiannya juga sulit, baik magnitudo maupun lokasinya. Studi seismisitas dan kegempaan telah banyak dilakukan untuk memperkirakan pola kegempaan, salah satunya adalah analisis *b-value* sebagai parameter penting yang berkontribusi dalam penentuan besaran percepatan muka tanah dengan Teori Probabilitas Total. Penelitian ini menganalisis *b-value* menggunakan data katalog gempa bumi (USGS) berupa gempa *mainshock* sebanyak 912 *event* dalam rentang tahun 1700-2019. Hasil pengolahan data *mainshock* dengan ZMAP diperoleh nilai *b-value* sebesar $1,03 \pm 0,03$, sedangkan berdasarkan pengolahan secara numerik diperoleh nilai *b-value* sebesar 1,0069. Hasil ini menunjukkan karakteristik gempa di wilayah Ambon dan sekitarnya didominasi oleh deformasi pada daerah *shallow intraplate*. Selanjutnya dengan menggunakan persebaran gempa yang pernah terjadi beserta dengan nilai *b value* diperoleh nilai dimensi fraktal (*d-fractal*) sebesar $2,03 \pm 0,03$. Kondisi ini mengindikasikan potensi *event* gempa bumi di wilayah Ambon dan sekitarnya relatif masih cukup besar.

Kata kunci: *b-value*, dimensi fraktal, gempa bumi, magnitudo, *mainshock*

I. PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah berguncangnya bumi yang diakibatkan oleh adanya patahan aktif, aktivitas gunung api, runtuhannya batuan, dan tumbukan akibat pergerakan lempeng bumi [1]. Pergerakan lempeng-lempeng bumi ini menghasilkan akumulasi energi yang menjadi penyebab utama terjadinya gempa bumi. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah dalam bentuk gelombang seismik sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi sebagai getaran atau guncangan tanah [2]. Secara garis besar di wilayah pesisir teluk Ambon terdapat dua satuan morfologi, yaitu satuan morfologi perbukitan tinggi dan satuan morfologi dataran pantai. Daerah perbukitan tinggi memiliki lereng-lereng yang terjal dengan kemiringan 30-70%, dan jalur-jalur punggung yang mengarah ke teluk Ambon. Pulau Buru, Pulau Ambon, dan Pulau Seram memiliki

karakteristik geomorfologi yang sama yaitu didominasi oleh pegunungan struktural. Pulau Buru merupakan hasil pengangkatan berbentuk pegunungan dome yang dikelilingi oleh basin. Sedangkan pada Pulau Seram bagian baratnya merupakan pegunungan struktural yang tinggi (1.000-1.300 mdpal).

Pada hari Kamis, tanggal 26 September 2019 jam 06:46:44 WIB dengan magnitudo 6.5. Pusat gempa bumi (*epicenter*) terletak pada koordinat 3.43 °LS - 128.46 °BT terletak di Pulau Seram, Indonesia pada kedalaman 10 km. Gempa bumi tersebut telah menimbulkan guncangan pada beberapa daerah dengan intensitas antara V hingga VI dalam skala *Mercalli Modified Intensity* (MMI). Gempa bumi yang terjadi ini bisa diklasifikasikan sebagai gempa bumi dangkal yang dengan mekanisme sumber gempa berjenis *strike-slip* berarah timur laut barat daya [3]. Sifat gempa yang sering bersifat acak dan sulit diperkirakan membuat banyak peneliti tidak bisa memprediksi kejadiannya, baik *magnitude* maupun lokasinya.

Studi seismisitas telah banyak dilakukan untuk memperkirakan pola kegempaan, misalnya analisa nilai-b sebagai parameter penting yang berkontribusi dalam penentuan besaran percepatan muka tanah dengan teori Probabilitas Total [4]. Di samping itu, heterogenitas geologis suatu wilayah yang berbeda, memiliki dampak bahaya gempa yang juga berbeda. Umumnya ketidakaturan pola hiposenter gempa, dapat diamati berdasarkan kegempaan yang pernah terjadi sebelumnya, karena secara geofisis daerah yang pernah mengalami gempa akan mengakibatkan terjadinya deformasi pada batuan di dalam lapisan tanah sebagai akibat dari akumulasi energi yang tersimpan cukup lama [2]. Pola aktivitas kegempaan pada zona gempa di suatu wilayah dapat diamati dengan distribusi fraktal. Dalam beberapa penelitian terdahulu, berdasarkan analisa fraktal, terdapat kecenderungan pola gempa yang tak biasa sebelum gempa besar terjadi [5].

II. MATERIAL DAN METODE

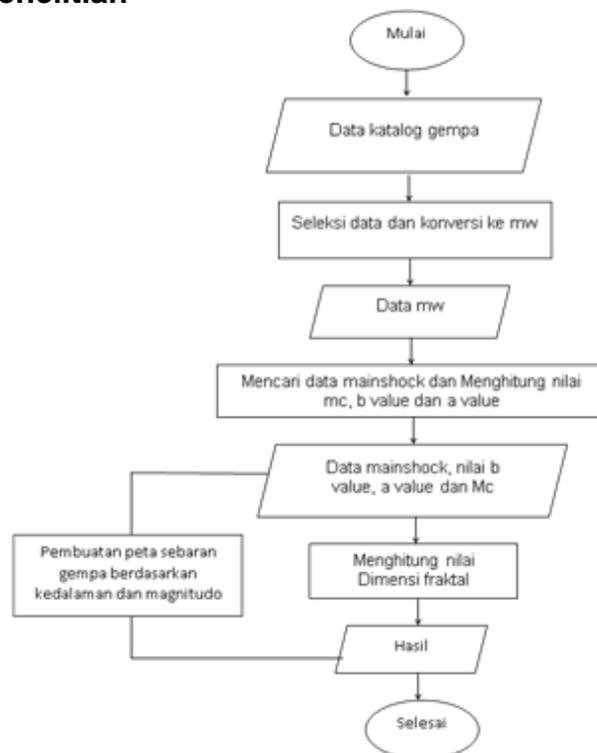
Katalog Gempa wilayah Ambon dan sekitarnya meliputi pulau Ambon sampai laut Banda, dimulai dari tahun 1700-2019 dari dari katalog Preliminary National Earthquake Information Center USGS (NEIC-USGS). magnitudo yang memenuhi syarat untuk dihitung dimensi fraktalnya adalah antara 4,5 hingga 6,5 sehingga data yang diambil adalah data yang bermagnitudo antara 4,5 – 6,5 [6].

2.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam pengolahan data pada penelitian ini antara lain adalah laptop, *software* zmap, *software* matlab, Microsoft excel dan data katalog gempa USGS. Laptop digunakan untuk mengolah keseluruhan pekerjaan, kemudian *software* matlab dan. ZMAP digunakan untuk menghitung besar Histogram, kedalaman, waktu, dan jam dalam sehari pengguna dapat dengan cepat memilih himpunan bagian dalam ruang, waktu, dan magnitudo, histogram plot, menghitung nilai b atau p , membandingkan distribusi frekuensi-magnitudo periode dan lokasi waktu yang berbeda, membandingkan aktivitas siang dan malam hari, menghitung dimensi fraktal dari hiposenter, membuat penampang, topografi *overlay*, menghitung inversi *stres-tensor*, dan banyak lagi.

Perangkat lunak lainnya adalah QGIS, yang mana QGIS memungkinkan pengguna untuk membuat peta dengan banyak lapisan menggunakan berbagai proyeksi peta. Peta dapat dihimpun dalam format yang berbeda dan untuk kegunaan yang berbeda. QGIS memungkinkan peta yang akan terdiri dari lapisan raster atau vektor. Tipikal untuk jenis perangkat lunak, data vektor disimpan baik sebagai titik, garis, atau ciri-poligon. Berbagai jenis citra raster yang didukung, dan perangkat lunak ini dapat menampilkan citra georeferensi [4-5, 7].

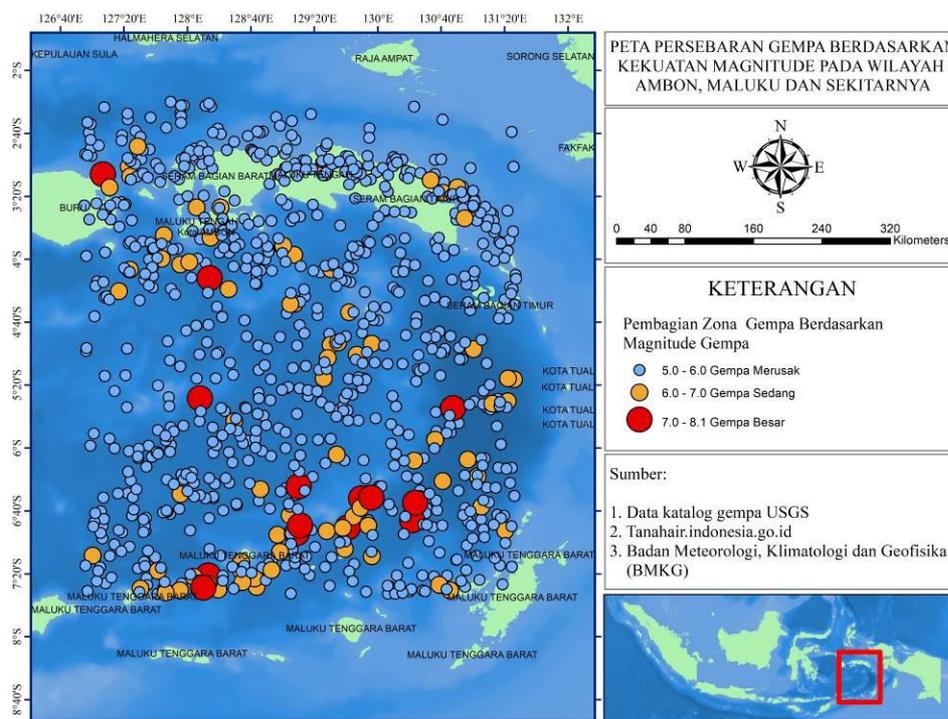
2.2 Metode Penelitian



Gambar 1. Tahapan kegiatan pengolahan data gempa

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

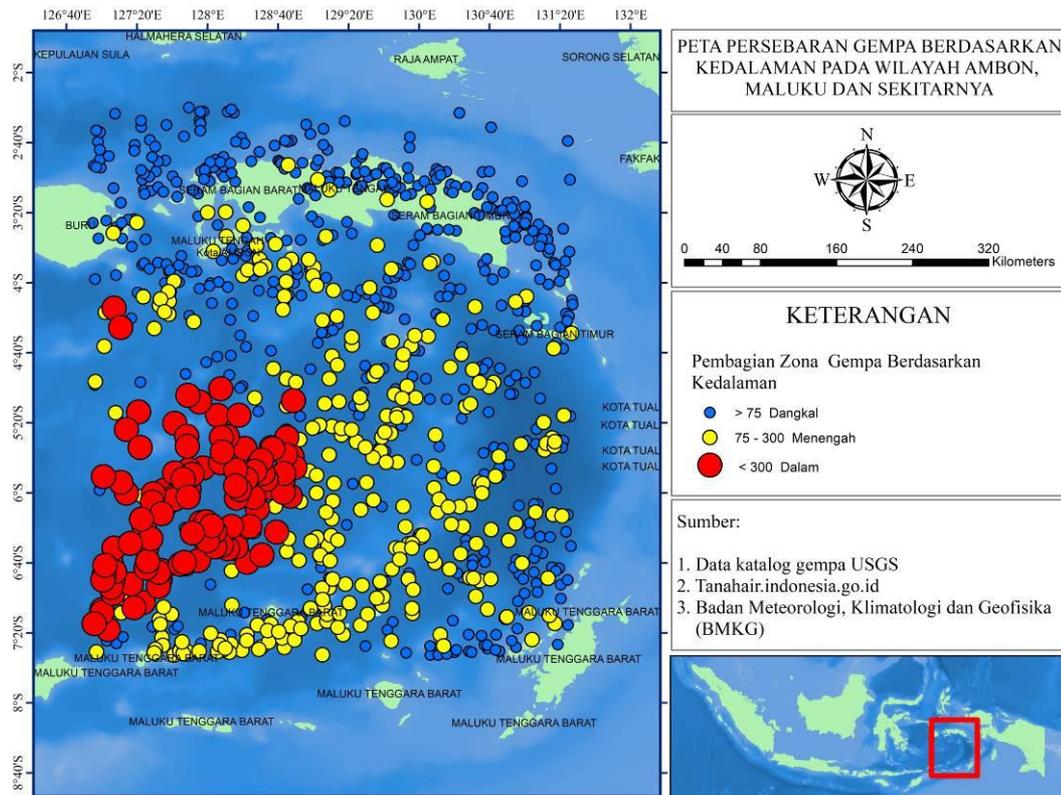
Berdasarkan data gempa bumi periode 1700-2019 atau sekitar 319 tahun yang diperoleh dari data katalog gempa USGS (*United States Geological Survey*), dapat diketahui gempa yang terjadi di wilayah ambon dan sekitarnya berjumlah 9512 event gempa bumi, akan tetapi setelah dilakukan pengolahan data lebih lanjut menggunakan software matlab didapatkan data gempa main shock 917 event data gempa bumi dengan magnitude of completeness (M_c) lebih dari sama dengan 5.3 SR.



Gambar 2. Peta sebaran magnitude *mainshock* di wilayah sekitar Pulau Ambon.

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa distribusi frekuensi dari magnitude yang di hasilkan pada peta menjelaskan mengenai hubungan antara magnitude dengan banyaknya jumlah gempa yang terjadi. Berdasarkan peta sebaran magnitude yang telah dibuat maka dapat diperhatikan bahwa gempa dengan magnitude besar banyak terjadi di wilayah laut banda hal ini dikarenakan pada daerah tersebut terdapat zona subduksi sehingga pergerakan antar lempeng tersebut menyebabkan terjadinya gempa. Menurut BMKG, gempa berdasarkan kekuatannya dapat dibedakan menjadi 7 bagian yaitu gempa bumi sangat besar $M > 8$ SR (Skala Richter), gempa bumi besar $M 7-8$ SR, gempa bumi merusak $M 5-6$ SR, gempa bumi sedang $M 4-5$ SR, gempa bumi kecil $M 3-4$ SR, gempa bumi mikro $M 1-3$ SR dan gempa bumi ultra mikro $M < 1$ SR. Berdasarkan klasifikasi dari

BMKG tersebut maka dapat dikatakan bahwa gempa yang berada pada wilayah Ambon dan sekitarnya berada dalam kategori gempa merusak hal ini dikarenakan *mainshock* yang didapatkan memiliki kekuatan gempa paling rendah berada pada 5 SR.

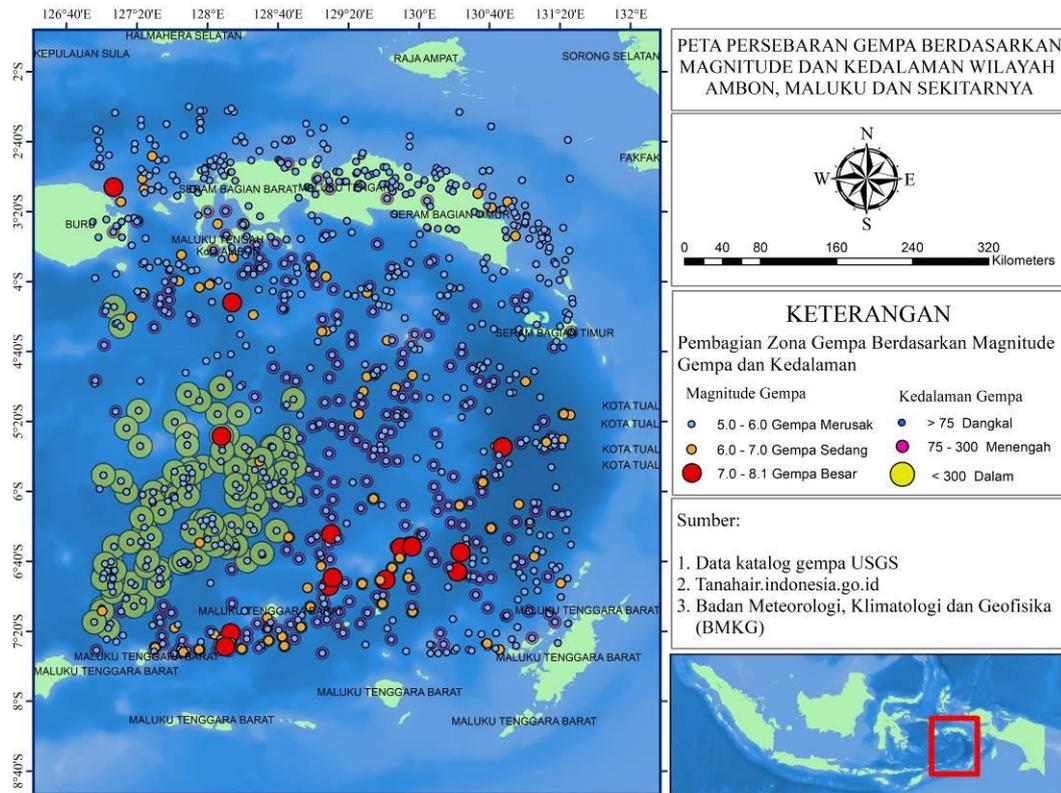


Gambar 3. Peta sebaran gempa berdasarkan kedalaman di sekitar Pulau Ambon.

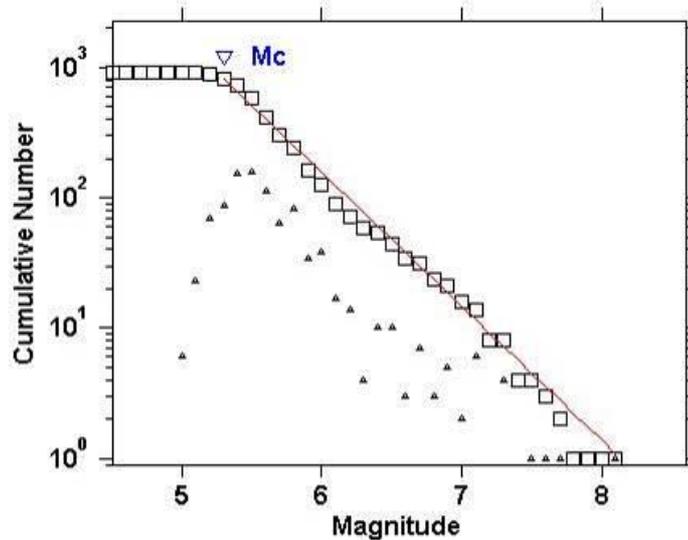
Klasifikasi kedalaman gempa bumi dibedakan menjadi tiga bagian yaitu: kedalaman fokus (*hypocentre*) sebagai berikut: gempa bumi dangkal, (*shallow*) kurang dari 70 km, gempa bumi menengah (*intermediate*), kurang dari 300 km, dan gempa bumi dalam (*deep*) lebih dari 300 km atau 450 km. Berdasarkan klasifikasi tersebut maka pada Gambar 3 menjelaskan bahwa kedalaman gempa yang terjadi pada daerah penelitian rata-rata berada pada tingkat menengah yaitu pada kedalaman antara 75 km sampai dengan 300 km [8].

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat korelasi antara kedalaman dan magnitudo gempa pada daerah penelitian yaitu pada daerah dekat dengan pulau maluku banyak sekali gempa yang terjadi dengan kedalaman kurang dari 75 km akan tetapi memiliki intensitas gempa 5-6 SR, kemudian terdapat pula gempa yang memiliki kedalaman yang sama yaitu kurang dari 75 km akan tetapi gempa tersebut memiliki tingkat intensitas dengan range 6-8

SR, gempa dengan intensitas sebesar itu dikhawatirkan akan dan kemungkinan besar akan menyebabkan tsunami.



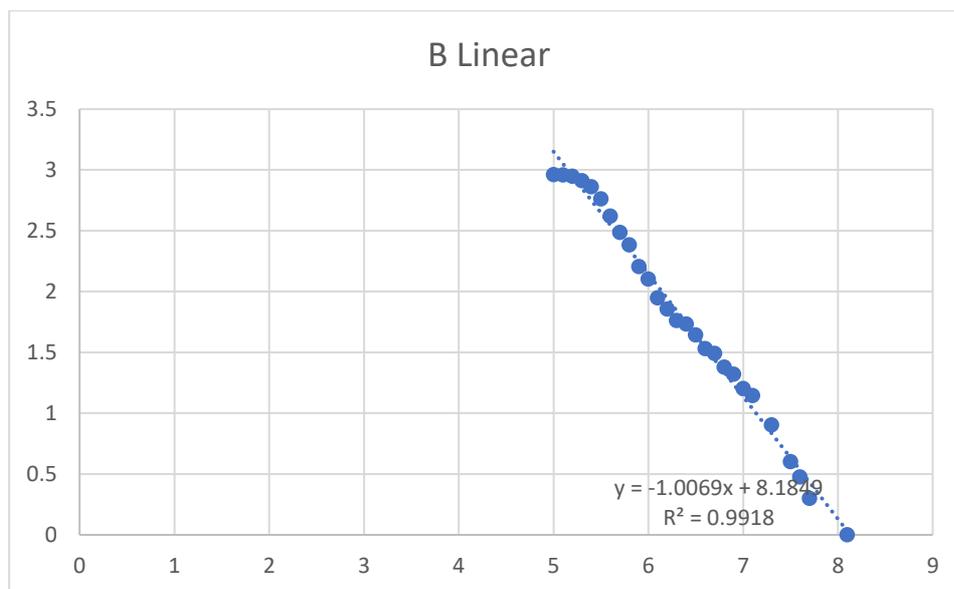
Gambar 4. Sebaran kedalaman dan magnitude gempa di sekitar Pulau Ambon.



Maximum Likelihood Solution
 b-value = 1.03 +/- 0.03, a value = 8.35, a value (annual) = 6.35
 Magnitude of Completeness = 5.3

Gambar 5. Nilai a value, b value dan Mc dengan software z-map pada data gempa di sekitar Pulau Ambon

Pada penelitian ini digunakan dua cara berbeda untuk menentukan nilai *b-value* yang berdasarkan data *mainshock* yang sama, hal ini dilakukan agar dapat membandingkan dan membuktikan mengenai keakuratan dan benar atau tidaknya data yang didapatkan berdasarkan pengolahan secara manual dan otomatis. Secara teori *b-value* merupakan parameter keadaan tektonik suatu daerah dimana terjadi gempa bumi tergantung dari sifat batuan setempat dan berdasarkan hasil penelitian para ahli sebelumnya.



Gambar 6. Grafik *a-value* dan *b-value* hasil analisis fraktal data gempa di sekitar Pulau Ambon.

Nilai *b-value* yang tinggi memiliki tingkat kerapuhan batuan yang tinggi pula dan daya tahan batuan terhadap *stress* rendah, sedangkan *b-value* yang kecil berarti makin kecil pula tingkat kerapuhan batuan dan daya tahan batuan terhadap *stress* besar [9]. Berdasarkan hasil yang didapatkan dengan menggunakan perhitungan secara otomatis menggunakan software *zmap* didapatkan nilai *b-value* sebesar 1.03 dengan ± 0.03 , sedangkan secara perhitungan manual didapatkan nilai *b-value* sebesar 1.0069 dengan R^2 sebesar 0.9918. Berdasarkan kedua perhitungan tersebut maka dapat dikatakan bahwa hasil perhitungan yang dihasilkan sangat akurat baik secara otomatis ataupun secara manual, hal ini dibuktikan dengan diduplikasinya nilai R^2 pada pengolahan manual sebesar 0.9918, nilai tersebut menjelaskan jika perhitungan yang dilakukan hampir sama persis dengan kondisi sebenarnya dengan tingkat kesalahan yang dihasilkan hanya 0.0082.

IV. KESIMPULAN

Hasil pengolahan data *mainshock* dengan ZMAP diperoleh nilai *b-value* sebesar $1,03 \pm 0,03$, sedangkan berdasarkan pengolahan secara numerik diperoleh nilai *b-value* sebesar 1,0069. Hasil ini menunjukkan karakteristik gempa di wilayah Ambon dan sekitarnya didominasi oleh deformasi pada daerah shallow intraplate. Selanjutnya dengan menggunakan persebaran gempa yang pernah terjadi beserta dengan nilai *b-value* diperoleh nilai dimensi fraktal (*d-fractal*) sebesar $2,03 \pm 0,03$. Kondisi ini mengindikasikan potensi *event* gempa bumi di wilayah Ambon dan sekitarnya relatif masih cukup besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada USGS atas pemberian penggunaan data katalog gempa bumi, serta seluruh pihak yang membantu dalam penulisan hasil penelitian ini seperti ZMAP dan QGIS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Supartoyo, Solikhin, A., Hidayati, S., Omang, A., Afif, H., Subandriyo, Kristianto, Syahrial, E., Minarno, P.A., Natalia, M.C., Turjono, G., Juanda dan Yayo. (2016). Hasil survei tanggap darurat gempa bumi Pidie 6.5 SR. *Laporan kegiatan*, Jakarta.
- [2] BMKG. (2010). Integrasi Pengamatan Parameter Geofisika Dalam Usaha Prediktabilitas Gempa bumi. *Laporan Akhir Program Insentif Kementerian Negara Riset dan Teknologi Tahun 2010*. Puslitbang BMKG, Jakarta.
- [3] BMKG. (2019). Ulasan guncangan tanah akibat gempa bumi di Ambon Maluku. *Laporan bidang seismologi teknik – BMKG*.
- [4] Makrup, L. (2011). Kurva Percepatan Tanah Puncak dan Seismik Hazard. *Laporan Penelitian Hibah Institut*, Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- [5] Ramadhani, A.Y., (2012), Seismicity in Java, Indonesia; Spatial & Temporal Study Using Fractal Dimension & *b-value*. *Thesis*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- [6] Turcotte, D. L. (1992). Fractals, chaos, self-organized criticality and tectonics. *Terra Nova*, 4(1), 4–12.
- [7] Malone, Steve. 2001, *Electronic Seismologist*. Geophysics., Seattle, University of Washington
- [8] Fowler, C. M. (1996). *The Solid Earth: An Introduction to global geophysics*. cambridge: cambridge university press.

- [9] Scholz, C., 1968, the Frequency Magnitude Relation of Micro Fracturing in Rock and its Relation to Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America 58: 399-415.

Halaman Kosong

**BIDANG 3:
TEKNIK MESIN DAN TEKNIK INDUSTRI**

Halaman Kosong

PENGARUH TEMPERING TERHADAP KEKERASAN BAJA AISI 1045 YANG DI *QUENCHING* DI MEDIA PENDINGIN TERSIRKULASI

Harnowo Supriadi¹, Hanif^{1,*}, Zulhanif¹, Moh. Badaruddin¹, Shirley Savetlana¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung Jln. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro no 1 Bandar Lampung 35145

*Email: hanifsp4@gmail.com

Abstrak: Baja aisi 1045 adalah baja yang tergolong sebagai baja karbon sedang karena memiliki kadar karbon 0,45 %. Karakteristik pada baja sendiri terkadang tidak sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan, oleh karena itu baja tersebut membutuhkan perlakuan lain untuk merubah sifat dan struktur baja aisi 1045. Karakteristik pada baja dapat dirubah dengan memberikan perlakuan panas, salah satu proses yang dilakukan adalah proses *quenching tempering*. *Quenching* adalah proses pengerjaan logam dengan pendinginan secara cepat pada variasi media yang telah ditentukan dengan tujuan untuk meningkatkan kekerasan baja aisi 1045, sedangkan *tempering* merupakan proses pemanasan kembali baja yang sudah dikeraskan dengan tujuan untuk memperoleh keuletan dan ketangguhan yang tinggi. Proses *quenching* menggunakan suhu 800 °C dengan lama waktu tunggu 60 menit kemudian didinginkan secara cepat dengan variasi solar, air, dan air garam dengan proses tersirkulasi 180°. Sedangkan variasi temperatur *tempering* yang digunakan adalah 450 °C, 550 °C, dan 650 °C dengan lama waktu tunggu 60 menit. Hasil dari uji kekerasan menggunakan metode *rockwell*. pada hasil *quenching* yang tersirkulasi pada media solar yaitu (80,6 HRB, 79,3 HRB, 81,3 HRB), nilai kekerasan pada media air (89,2 HRB, 89 HRB, 89,6 HRB), dan media air garam yaitu (94,6 HRB, 96 HRB, 94,6 HRB). Nilai kekerasan variasi temperatur temper 450 °C media solar (72,6 HRB 73 HRB, 72,6 HRB), media air (83,6 HRB, 82,6 HRB, 83 HRB), air garam yaitu (86,3 HRB, 86,6 HRB, 87,3 HRB). Nilai kekerasan temperatur *temper* 550 °C media solar yaitu (70,3 HRB, 70,3 HRB, 70,6 HRB) media air yaitu (81,3 HRB, 81,3 HRB, 80,6 HRB) media air garam (84,3 HRB, 83,6 HRB, 84,6 HRB). Nilai kekerasan variasi temperatur *temper* 650 °C , media solar yaitu (68,3 HRB, 68,6 HRB, 68,8 HRB) media air (79 HRB, 79,3 HRB, 79,3 HRB) dan media air gar (81,3 HRB, 81,6 HRB, 82 HRB).

Kata kunci: aisi 1045, *quenching*, *tempering*, HRB

I. PENDAHULUAN

Baja karbon AISI 1045 merupakan jenis baja yang tergolong dalam baja paduan karbon sedang yang banyak digunakan sebagai bahan utama pada mesin seperti poros, gear, dan batang penghubung piston pada kendaraan bermotor. Baja karbon sedang merupakan salah satu material yang sering banyak digunakan dan diproduksi dan digunakan untuk membuat alat-alat atau bagian-bagian mesin, karena baja karbon sedang memiliki sifat yang dapat dimodifikasi sedikit ulet (*ductile*) dan tangguh (*toughness*) (Sastrawan, 2010).

Heat treatment adalah suatu proses kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan suatu logam untuk menghasilkan sifat-sifat tertentu dari logam tersebut. Perlakuan panas dengan metode *Quenching* yaitu suatu proses pemanasan suatu logam atau baja sampai pada temperatur austenite kemudian didinginkan secara cepat sehingga akan menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi. Proses *Quenching* pada baja AISI 1045 dapat menghasilkan sifat mekanik yang lebih tangguh dari sebelumnya, hal tersebut disebabkan oleh berubahnya struktur baja AISI 1045 dari struktur *austenite* ke *martensit*, dimana *austenite* merupakan fasa tidak stabil suatu logam dan memerlukan suatu perlakuan lain untuk menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik, sedangkan *martensit* adalah fasa yang terbentuk dari suatu logam yang mengalami perlakuan panas yang memiliki sifat kekerasan pada logam tersebut.

Tempering adalah proses dimana baja yang sudah dikeraskan, dipanaskan kembali pada temperatur tertentu dan ditahan selama waktu tertentu untuk menghilangkan atau mengurangi tegangan sisa dan mengembalikan sebagai keuletan dan ketangguhannya. Kembalinya sebagai keuletan dan ketangguhannya ini didapat dengan mengorbankan sebagian kekuatan dan kekerasan yang telah dicapai pada proses pengerasan.

Temperatur temper pada tempering mempunyai pengaruh yang cukup besar dalam memperoleh kembali keuletan dari baja. Oleh karena itu kita perlu mengetahui dan memahami beberapa tinggi temperatur pada tempering yang harus dilakukan untuk mendapatkan baja dengan karakteristik dan sifat mekanis tertentu. Proses tempering juga berubah struktur mikro dari baja. Dengan berubahnya struktur mikro maka sifat mekanis pada baja juga akan mengalami perubahannya.

Menurut penelitian sebelumnya dengan proses *Quencing* menggunakan baja AISI 1045 yang tersirkulasi dengan pengujian metode *vickers* diperoleh sebagai berikut Q1 pengujian RAW material mendapatkan hasil 130 HVN, Q2 tanpa agitasi ($V=0$ m/s) dengan kekerasan 308 VHN, Q3 dengan kecepatan ($V=0,597$ m/s) dengan kekerasan 417,6 VHN, Q4 dengan kecepatan ($V=0,696$ m/s) dengan kekerasan 429,3 VHN, dan Q5 dengan kecepatan ($V=0,833$ m/s) dengan kekerasan 735 VHN. (Sri N, 2005: 25).

Berdasarkan penelitian dari Kirono Sasi, dkk mendapatkan sifat fisik (komposisi, struktur mikro), dan sifat mekanis (kekerasan dan kekuatan tarik) pada baja AISI 4340 diperoleh kekuatan tarik pada spesimen tanpa perlakuan panas sebesar $1115,7$ N/mm² dengan VHN sebesar 347, setelah proses hardening 850 °C kekuatan tarik menjadi $1234,8$ N/mm² dengan

HVN sebesar 527,4 Tempering 200 °C diperoleh kekuatan tarik sebesar 1813,4 N/mm² dengan HVN sebesar 507,6 Tempering 400 °C hasil sebesar 1402,4 N/mm² dengan HVN sebesar 435,6, sedangkan pada proses tempering pada temperatur 600 °C diperoleh kekuatan tarik sebesar 1039,1 dengan HVN sebesar 332,8. Jadi semakin tinggi temperatur pemanasan pada proses tempering kekuatan tarik dan kekerasan menurun.

Oleh Gunawan Dwi, Haryadi yang berjudul Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Pada Baja K-460. Dengan material dasar yang berbeda yaitu dengan baja K-460, proses tempering dengan variasi suhu yang berbeda dengan data 100 °C kekuatan tarik maksimumnya 2014,8 Mpa, dan suhu 200 °C, 300 °C, dan 400 °C masing masing kekuatan tarik maksimumnya adalah 1671,1 Mpa, 1444,6 Mpa, dan 1023,3 Mpa.

Dalam penelitian ini yang menggunakan spesimen baja AISI 1045 dengan proses *Quencing – Tempering*. Proses *Quencing* dengan temperatur 800 °C waktu penahan 60 menit, variasi media pendingina menggunakan solar, air, dan air garam 25% yang tersirkulasi, selanjutnya tempering dengan temperatur 450 °C, 550 °C, dan 650 °C dengan waktu penahan 60 menit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dan struktur mikro pada baja AISI 1045. Maka judul penelitian ini adalah “ Pengaruh Temperatur *Tempering* Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja AISI 1045 Yang *Diquencing* Dalam Media Pendingin Tersirkulasi”

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja Karbon

Baja adalah logam paduan antara besi (Fe) dan karbon (C), dimana besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,1% - 1,7% sesuai tingkatnya. Proses pembuatan baja akan terdapat suatu unsur-unsur lain, selain karbon yang akan tertinggal di dalam baja seperti mangan (Mn), silikon (Si), kromium (Cr), vanadium (V), dan unsur lainnya. Berdasarkan komposisi dalam prakteknya baja terdiri dari beberapa macam yaitu: Baja Karbon (*Carbon Steel*), dan Baja Paduan (*Alloy Steel*).

2.1.1 Klasifikasi Baja

Menurut salah seorang peneliti yang bernama Anggi karbon memiliki klasifikasi yang mengacu berdasarkan tingkatan kandungan karbon (C) itu terhadap berat besi (Fe) pada baja tersebut. Adapun klasifikasi dari baja karbon adalah:

- a) Baja Karbon Rendah (*low Carbon Steel*) mengandung karbon antara 0,10 s/d 0,30 %. Baja karbon ini dalam perdagangan dibuat dalam plat baja, baja strip dan baja batangan atau profit.
- b) Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*) mengandung karbon antara 0,30 % - 0.60 % C. Baja karbon menengah ini banyak digunakan untuk keperluan alat - alat perkakas bagian mesin ini juga dapat dipergunakan untuk berbagai keperluan seperti untuk keperluan industri kendaraan, roda gigi, pegas dan sebagainya.
- c) Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*) mengandung kadar karbon antara 0,60% - 1,7% C. Baja ini mempunyai tegangan tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material tools. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalm pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat – alat perkakas seperti: palu gergaji atau pahat potong (Anggi, 2012).

2.2 Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 adalah adalah baja karbon yang mempunyai kandungan karbon sekitar 0,43 - 0,50 dan termasuk golongan baja karbon menengah Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen automotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor. Komposisi kimia dari baja AISI 1045 dapat dilihat tabel dibawah

Tabel 1. Komposisi kimia baja AISI 1045

Kode	C%	Si%	Mn%	Mo%	P%	S%
AISI 1045	0,4-0,45	0,1-0,3	0,60-0,90	0,025	0,04 max	0,05 max

Baja AISI 1045 disebut sebagai baja karbon karena sesuai dengan pengkodean internasional, yaitu seri 10xx berdasarkan nomenklatur yang dikeluarkan oleh AISI dan SAE (*Society of automotive engineers*). Pada angka 10 pertama merupakan kode yang menunjukkan plain carbon kemudian kode xxx setelah angka 10 menunjukkan komposisi karbon. Jadi baja AISI 1045 berarti baja karbon atau plain *carbon steel* yang mempunyai komposisi karbon sebesar 0,45%. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen roda gigi, poros dan bantalan. Pada aplikasinya ini baja tersebut harus mempunyai ketahanan aus yang baik karena sesuai dengan fungsinya harus mampu menahan keausan akibat bergesekan dengan rantai. Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan (Pramono A, 2011, hal 32), Pada umumnya ketahanan aus berbanding lurus dengan kekerasan.

Baja AISI 1045 termasuk dalam baja karbon sedang karena memiliki kadar karbon 0,45 %. Pengaplikasiannya biasanya dalam pembuatan komponen permesinan dimana dapat dilakukan dengan cara pengelasan gesek (Maulana D, 2017). AISI merupakan kepanjangan dari (*American Institute For Steel And Iron*) cara pembacanya dari AISI 1045 yaitu angka 10 menunjukkan kandungan paduan baja sedangkan untuk angka 45 menunjukkan kadar karbon.

Tabel 2. Sifat-sifat mekanis baja karbon AISI 1045 (Maulana D, 2017).

No	Hardness (BHN)	Tensile Strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation %
1	190 - 270	640 – 850	500 – 650	8

Table 2.4 Unsur kimia baja AISI 1045 (Brammer Standard Company, Inc).

Element	%	Element	%
Carbon	0.457	Aluminum	0.002
Manganese	0.75	Antimony	(0.002)
Phosphorus	0.016	Arsenic	(0.005)
Sulfur	0.024	Boron	(0.0004)
Silicon	0.34	Calcium	0.0012
Copper	0.22	Cobalt	0.009
Nickel	0.056	Nitrogen	0.0090
Chromium	0.058	Tin	0.029
Molybdenum	0.012	Titanium	0.002
Vanadium	0.013	Tungsten	<0.005

2.3 Sifat Mekanik Baja

Sifat mekanik suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan beban – beban yang dikenakan padanya. Beban – beban tersebut dapat berupa beban Tarik, tekan, bengkok, geser, punter, atau beban kombinasi. Sifat – sifat mekanik yang terpenting antara lain:

1. Kekuatan (*strength*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan tersebut menjadi

patah. Kekuatan ini ada berapa macam, dan ini tergantung pada beban yang bekerja antara lain beban yang bekerja antara lain dapat dilihat dari kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan punter, dan kekuatan bengkok.

2. *Kekerasan (hardness)* dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk bertahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi), penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan sifat keausan (*wear resistance*). Dimana kekerasan ini juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.
3. *Kekenyalan (elasticity)* menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk yang permanen mulai terjadi, dengan kata lain kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.
4. *Kekakuan (stiffness)* menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) atau defleksi. Dalam beberapa hal kekakuan ini lebih penting dari pada kekuatan.
5. *Plastisitas (plasticity)* menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis yang permanen tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai proses pembentukan seperti, *forging, rolling, extruding* dan sebagainya. Sifat ini sering juga disebut sebagai keuletan/kekenyalan (*ductility*).
6. *Ketangguhan (toughness)* menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja, pada suatu kondisi tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga sifat ini sulit untuk diukur.
7. *Kelelahan (fatigue)* merupakan kecenderungan dari logam untuk patah apabila menerima tegangan berulang-ulang (*cyclic stress*) yang besarnya masih jauh dibawah batas kekuatan elastisitasnya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan. Karenanya kelelahan merupakan sifat yang sangat penting tetapi sifat ini juga sulit diukur karena sangat banyak faktor yang mempengaruhinya.

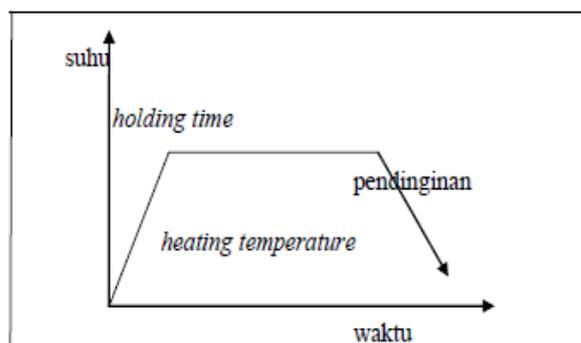
8. Keretakan (*creep*) merupakan kecenderungan suatu logam mengalami deformasi plastis yang besarnya merupakan fungsi waktu, pada saat bahan tersebut menerima beban yang besarnya relatif tetap (RY Novianto, 2013).

2.4 Heat Treatment

Proses perlakuan panas pada umumnya untuk memodifikasi struktur mikro baja sehingga meningkatkan sifat mekanik, salah satunya yaitu kekerasan. Perlakuan panas didefinisikan sebagai kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan menggunakan variasi media dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam paduan dalam keadaan padat, sebagai upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Perubahan sifat tersebut terjadi karena ada perubahan struktur mikro selama proses pemanasan dan pendinginan dimana sifat logam atau paduan sangat dipengaruhi oleh struktur mikro.

Proses perlakuan panas terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dari proses pemanasan bahan hingga pada suhu tertentu dan selanjutnya didinginkan juga dengan cara tertentu. Tujuan dari perlakuan panas adalah mendapatkan sifat-sifat mekanik yang lebih baik dan sesuai dengan yang diinginkan seperti meningkatkan kekuatan dan kekerasan, mengurangi tegangan, melunakkan, mengembalikan pada kondisi normal akibat pengaruh pada pengerjaan sebelumnya, dan menghaluskan butir kristal yang akan berpengaruh pada pengerjaan sebelumnya, dan menghaluskan butir kristal yang akan berpengaruh pada keuletan bahan. Secara umum, proses perlakuan panas adalah:

1. Memanaskan logam/paduannya sampai pada suhu tertentu. Mempertahankan pada suhu pemanasan tersebut dalam waktu tertentu.
2. Mendinginkan dengan media pendingin dan laju tertentu. Skema pada proses ini secara sederhana dapat digambarkan melalui diagram temperatur terhadap waktu seperti Gambar dibawah ini:



Gambar 1. Diagram Temperatur Terhadap Waktu (Mustofa Z, 2016).

2.5 Quenching

Quenching merupakan proses pengerjaan logam dengan pendinginan secara cepat. Sehingga melalui *quenching* akan mencegah adanya proses yang dapat terjadi pada pendinginan lambat seperti pertumbuhan butir. Secara umum, *quenching* akan menyebabkan menurunnya ukuran butir dan dapat meningkatkan nilai kekerasan pada suatu paduan logam. Pada umumnya baja yang telah mengalami proses *quenching* memiliki kekerasan yang tinggi serta dapat mencapai kekerasan yang maksimum tetapi agak rapuh. Dengan adanya sifat yang rapuh, maka kita harus mengurangnya dengan melakukan proses lebih lanjut seperti *tempering*. Dalam penelitian ini proses *quenching* yang digunakan adalah quenching agitasi Berikut ini adalah factor - faktor yang mempengaruhi nilai kekerasan pada proses *quenching*:

1. Komposisi kimia spesimen
2. Media pendingin
3. Waktu pemanasan
4. Kecepatan agitasi

Semakin tinggi kecepatan air yang mengalir pada spesimen maka nilai kekerasan yang dihasilkan akan semakin besar (jurnal waluyo, 2010: 26).

2.6 Media Pendingin

Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan baja bermacam-macam. Berbagai bahan media pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antara lain:

1. Air

Air adalah media pendinginan yang paling umum digunakan. Air menghasilkan tingkat pendinginan mendekati tingkat maksimum. Keunggulan air sebagai media pendingin adalah murah, mudah tersedia, mudah dibuang dengan minimal polusi atau bahaya kesehatan. Air juga efektif dalam menghilangkanscaling dari permukaan bagian baja yang di-quenching. Oleh karena itu air sering digunakan sebagai media quenching karena tidak mengakibatkan distorsi berlebihan atau retak. Air banyak digunakan untuk pendinginan logam *nonferrous*, baja tahan karat *austenit*, dan logam lainnya yang telah diperlakukan panas.
2. Larutan garam

Garam dipakai sebagai media pendingin disebabkan memiliki sifat pendingin yang teratur dan cepat. Air garam memiliki nilai viskositas yang rendah dan massa jenis yang besar sehingga laju pendinginan cepat.

3. Solar

Solar digunakan sebagai media pendingin proses *quenching* karena memiliki nilai viskositas yang rendah dibandingkan dengan oli, dengan harapan mendapatkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dari pada oli.

2.7 Tempering

Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan kurang cocok digunakan. Melalui temper, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi syarat penggunaan. Proses temper terdiri dari pemanasan kembali baja yang telah dipanaskan atau dikeraskan pada suhu di bawah suhu kritis disusul dengan pendinginan. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lunak, proses ini berbeda dengan proses *anil* karena disini sifat-sifat dapat dikendalikan dengan cermat. Temper dimungkinkan oleh karena sifat struktur martensit yang tidak stabil (jurnal Haryadi D, 2006 hal: 2).

Struktur logam yang tidak stabil tidak berguna untuk tujuan penggunaan, karena dapat mengakibatkan pecah. Dengan penemperan, tegangan dan kegetasan diperlunak dan kekerasan sesuai dengan penggunaan. Ketinggian suhu penemperan dan waktu penghentian benda kerja tergantung pada jenis baja dan kekerasan yang dikehendaki. Sebagai pedoman berlaku, bahwa benda kerja ditemper sejauh tercapainya keuletan setinggi-tingginya pada kekerasan yang memadai.

Penemperan harus dilakukan segera setelah pengejukan karena tegangan kekerasan pada umumnya baru timbul beberapa saat setelah pengejukan. Jika penemperan tidak dapat langsung mengikuti pengejukan maka bahaya pembentukan retak dapat dikurangi dengan jalan memasukan benda kerja ke dalam air yang mendidih untuk beberapa jam lamanya. Temper pada suhu rendah antara 150 °C – 230 °C tidak akan menghasilkan penurunan yang berarti, karena pemanasan akan menghilangkan tegangan dalam terlebih dahulu. Penemperan pada suhu hingga 200 °C ini disebut penuaan buatan. Baja yang memperoleh perlakuan seperti ini memiliki ukuran yang tetap untuk waktu lama pada suhu ruangan. Penemperan antara suhu 200 °C – 380 °C untuk memperlunak kekerasn yang berlebihan dan meningkatkan keuletan, sedangkan perubahan ukuran yang terjadi pada pengejukan diperkecil. Penemperan pada suhu antara 550 °C – 650 °C untuk meningkatkan kekerasn dengan menguraikan karbid. Penemperannya hanya pada baja perkakas paduan tinggi. Penemperan baja bukan paduan berlangsung pada suhu penemperan yang berpedoman pada karbon dan kekerasan yang dikehendaki.

(jurnal Haryadi D, 2006 hal 3) Proses temper pada pemanasan sampai suhu temperatur tertentu (temperatur kritis) dan didinginkan dengan lambat. Pemanasan dilakukan sampai temperatur yang diperlukan, biasanya antara 200 °C – 600 °C tergantung pada keperluan. Makin tinggi temperatur pemanasan makin besar penurunan kekerasan sedangkan kekenyalannya bertambah. Di antara suhu 500 °C dan 600 °C difusi berlangsung lebih cepat, dan atom karbon yang berdifusi di antara atom besi dapat membentuk *cementit*.

Menurut tujuannya proses tempering dibedakan sebagai berikut:

1. Tempering pada suhu rendah (150 °C – 300 °C). Tempering ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja, biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.
2. Tempering pada suhu menengah (300 °C – 550 °C). Tempering pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, pegas. Suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 500 °C pada proses tempering.
3. Tempering pada suhu tinggi (550 °C – 650 °C). Tempering suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah misalnya pada roda gigi, poros batang penggerak dan sebagainya.

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah

1. Untuk mengetahui pengaruh temperatur *Tempering* dengan media pendingin (air, larutan garam 25%, dan solar) yang tersirkulasi terhadap perubahan nilai kekerasan pada baja AISI 1045.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi pendinginan terhadap spesimen baja AISI 1045.
3. Untuk mengetahui pengaruh *quenching-tempering* terhadap nilai kekerasan pada baja AISI 1045

III. MATERIAL DAN METODE

3.1 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini penulis menggunakan alat instalasi *quenching* tersirkulasi dan bahan bahan yang mendukung dalam melakukan penelitian



Gambar 2. Alat instalasi sistem *quenching* tersirkulasi

Pada penelitian ini spesimen yang telah dinaikkan temperaturnya dengan menggunakan *furnace* langsung dimasukkan kedalam alat instalasi *quenching* tersirkulasi yang telah dirancang dan dibuat pada penelitian sebelumnya, alat ini menggunakan pompa untuk mensirkulasikan media pendingin yang digunakan dengan katup sebagai pengatur kecepatan dan *flowmeter* untuk melihat besarnya debit aliran media pendingin.



Gambar 3. baja AISI 1045

Baja AISI 1045 merupakan baja karbon sedang dengan kadar karbon 0,45%. Baja AISI 1045 digunakan karena berdasarkan pada referensi dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya adapun beberapa spesifikasi spesimen yang digunakan untuk pengujian kekerasan sesuai dengan standar ASTM E-23 adalah panjang 3,3 cm, tinggi 4 mm dan lebar 2,5 cm.



Gambar 4. Universal Hardness Tester

Universal Hardness tester merupakan alat uji kekerasan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Rockwell dimana dengan menggunakan diameter bola baja 1/16".

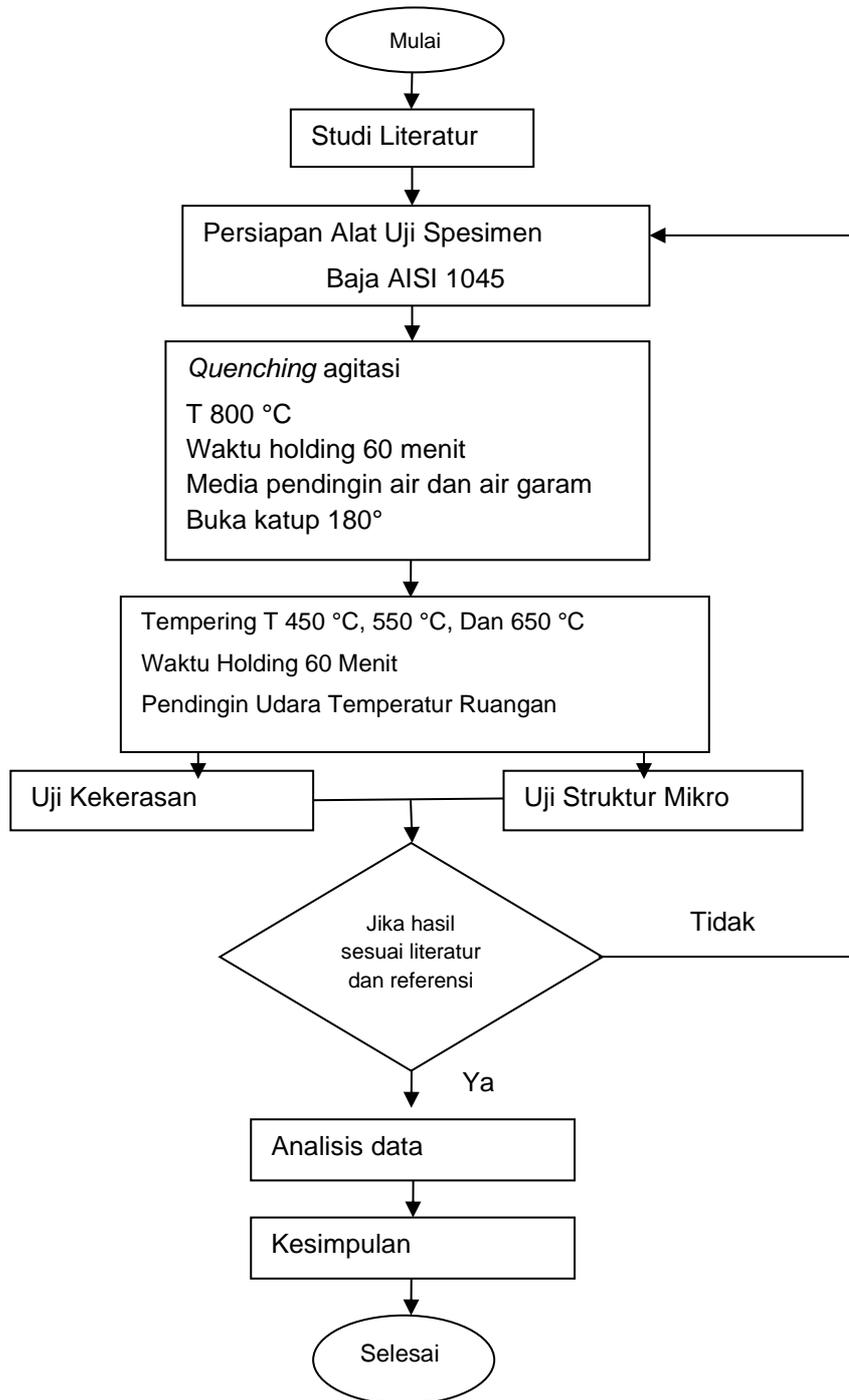


Gambar 5. Furnace

Furnace (tungku pembakaran) yang merupakan oven pemanas, pada penelitian ini digunakan untuk memanaskan spesimen baja AISI 1045 sampai temperatur 800°C dan ditahan selama satu jam agar mendapatkan nilai kekerasan yang terbaik.

3.2 Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan pengujian nilai kekerasan dengan metode Rockwell dan *quenching-tempering*.



Gambar 6. Metode Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Dari pengujian yang sudah dilakukan maka didapatkan beberapa data yang akan dijelaskan adalah sebagai berikut:

Komposisi Baja AISI 1045:

Tabel 1. komposisi dari Baja AISI 1045 adalah sebagai berikut:

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P	S
Persentase	98,4	0,53	0,32	0,65	0,015	0,112

Nilai kekerasan Baja AISI 1045 adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai kekerasan RAW Baja AISI 1045 Tanpa Perlakuan

Jenis Perlakuan	Indentor	beban	Hasil Pengujian			Rata-Rata
			1	2	3	
Tanpa perlakuan	1/16"	100 kgf	61	62	61	61.33

4.2 Hasil Pengujian Variasi Media Pendingin, Bukaan Katup Penuh dan *Tempering*

Hasil kekerasan variasi media pendingin yang disirkulasikan dan bukaan katup dan hasil *tempering* adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Data *Quenching* Hasil Uji Kekerasan Pengujian Media Air

Spesimen	Media	Bukaan katup	Vi (lpm)	Vii (lpm)	Uji <i>rockwell</i> (HRB)			Rata-rata
					i	ii	iii	
1	Air	180	12	12	89	90	89	89,3
2	Air	180	10	10	89	88	90	89
3	Air	180	11	11	90	90	89	89,6

Tabel 4. Data *Quenching* Hasil Uji Kekerasan Pengujian Media Air Garam

Spesimen	Media	Bukaan katup	Vi (lpm)	Vii (lpm)	Uji <i>rockwell</i> (HRB)			Rata-rata
					i	ii	iii	
1	A garam	180	12	12	94	95	95	94,6
2	A garam	180	10	10	95	96	97	96
3	A garam	180	11	11	95	95	94	94,6

Tabel 5. Data *Quenching* Hasil Uji Kekerasan Pengujian Media Solar

Specimen	Media	Bukaan katup	Vi (lpm)	Vii (lpm)	Uji <i>rockwell</i> (HRB)			Rata-rata
					i	ii	iii	
1	solar	180	12	12	80	81	81	80,6
2	solar	180	10	10	80	79	79	79,3
3	solar	180	11	11	81	82	81	81,3

Tabel 6. Data *Tempering* Temperatur 450 °C Media Air

No	keterangan	spesimen	Uji <i>rockwell</i> (HRB)			Rata-rata
			i	ii	iii	
1	Air <i>Tempering</i> 450 °C	1	84	83	84	83,6
2		2	83	83	82	82,6
3		3	84	83	82	83

Tabel 7. Data *Tempering* Temperatur 550 °C Media Air

No	keterangan	spesimen	Uji <i>rockwell</i> (HRB)			Rata-rata
			i	ii	iii	
1	Air <i>Tempering</i> 550 °C	1	81	82	81	81,3
2		2	82	81	81	81,3
3		3	80	81	81	80,6

Tabel 8. Data Tempering Temperatur 650 °C Media Air

No	keterangan	spesimen	Uji rockwell (HRB)			Rata-rata
			i	ii	iii	
1	Air Tempering 650 °C	1	78	80	79	79
2		2	80	80	78	79,3
3		3	79	80	79	79,3

Tabel 9. Data Tempering Temperatur 450 °C Media Air Garam

No	keterangan	spesimen	Uji rockwell (HRB)			Rata-rata
			i	ii	iii	
1	Air Garam Tempering 450 °C	1	87	86	86	86,3
2		2	87	87	86	86,6
3		3	88	87	87	87,3

Tabel 10. Data Tempering Temperatur 550 °C Media Air Garam

No	keterangan	spesimen	Uji rockwell (HRB)			Rata-rata
			i	ii	iii	
1	Air Garam Tempering 550 °C	1	85	84	84	84,3
2		2	84	84	83	83,6
3		3	85	85	84	84,6

Tabel 11. Data Tempering Temperatur 650 °C Media Air Garam

No	keterangan	spesimen	Uji rockwell (HRB)			Rata-rata
			i	ii	iii	
1	Air Garam Tempering 650 °C	1	82	80	82	81,3
2		2	82	82	81	81,6
3		3	82	82	82	82

Tabel 12. Data Tempering Temperatur 450 °C Media Solar

No	keterangan	spesimen	Uji rockwell (HRB)			Rata-rata
			i	ii	iii	
1	Solar Tempering 450 °C	1	73	73	72	72,6
2		2	73	73	73	73
3		3	72	73	73	72,6

Tabel 13. Data Tempering Temperatur 550 °C Media Solar

No	keterangan	spesimen	Uji rockwell (HRB)			Rata-rata
			i	ii	iii	
1	Solar Tempering 550 °C	1	70	71	70	70,3
2		2	71	70	70	70,3
3		3	71	71	70	70,6

Tabel 14. Data Tempering Temperatur 650 °C Media Solar

No	keterangan	spesimen	Uji rockwell (HRB)			Rata-rata
			i	ii	iii	
1	Solar Tempering 650 °C	1	68	69	68	68,3
2		2	69	68	68	68,6
3		3	69	68	69	68,6

4.3 Pembahasan

Pada penelitian ini menggunakan jenis baja AISI 1045 dengan panjang 3,3 cm, lebar 2,5 cm, dan tebal 4 mm, yang dilakukan proses perlakuan panas *quenching* pada temperatur *austenite* yaitu temperatur 800 °C dan ditahan selama 60 menit, kemudian dicelupkan kedalam variasi media yang disirkulasikan (air, air garam dan solar) dan pada bukaan katup penuh. Pada masing-masing media pendingin dan bukaan katup kecepatan dipengaruhi oleh densitas fluida masing-masing media pendingin. Pada media air memiliki densitas 1000 kg/ m³, air garam memiliki densitas 1060 kg/ m³, dan solar memiliki densitas 815 kg/ m³. Semakin rendah densitas suatu fluida maka aliran yang didapatkan akan semakin besar. Setelah dilakukan proses *quenching* kemudian dilakukan proses *tempering* dengan suhu yang berbeda yaitu 450 °C, 550 °C, dan 650 °C dengan waktu masing-masing penahan 60 menit. Setelah dilakukan proses *quenching-tempering* kemudian baja AISI 1045 dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui kekuatan mekanik berupa pengujian kekerasan dan struktur mikro.

Pada pengujian menggunakan kekerasan *Rockwell* menggunakan skala B dengan beban 100 kg dan menggunakan indentor yang diameter 1/16". Pengujian kekerasan *Rockwell* pada permukaan spesimen diambil kekerasannya di beberapa titik yang sudah ditentukan dan setiap spesimen diambil tiga titik pengujian. Pada pengujian pertama adalah baja AISI 1045 yang tidak dilakukan proses *Quenching* yaitu proses tanpa perlakuan (RAW material), pengujian RAW material ini menggunakan satu spesimen yang diambil tiga titik pada permukaan spesimen dengan menggunakan metode *Rockwell* mendapatkan hasil 78 HRB, 78 HRB, dan 79 HRB dengan nilai rata-rata 78,3 HRB.

Pengujian kekerasan kedua yang dilakukan dengan menggunakan baja AISI 1045 yang *diquenching* menggunakan media air yang disirkulasikan dan bukaan katup penuh dengan debit aliran 12 Lpm. pengujian pada media air menggunakan tiga spesimen yang berbeda pada spesimen pertama didapatkan rata-rata 89,3 HRB, pada spesimen yang kedua di dapatkan hasil rata-rata 89 HRB, dan pada spesimen yang ketiga di dapatkan hasil rata-rata 89,6 HRB. Pengujian pada media air garam yang disirkulasikan dan bukaan katup penuh dengan debit aliran 10 Lpm, pengujian pada media air garam menggunakan tiga spesimen yang berbeda pada spesimen pertama didapatkan hasil rata-rata 94,6 HRB, spesimen kedua dengan hasil rata-rata 96 HRB, dan spesimen ketiga didapatkan hasil rata-rata 94,6 HRB. Selanjutnya pengujian kekerasan yang *diquenching* menggunakan media solar yang disirkulasikan dan bukaan katup penuh dengan debit aliran 11 Lpm, pada spesimen pertama

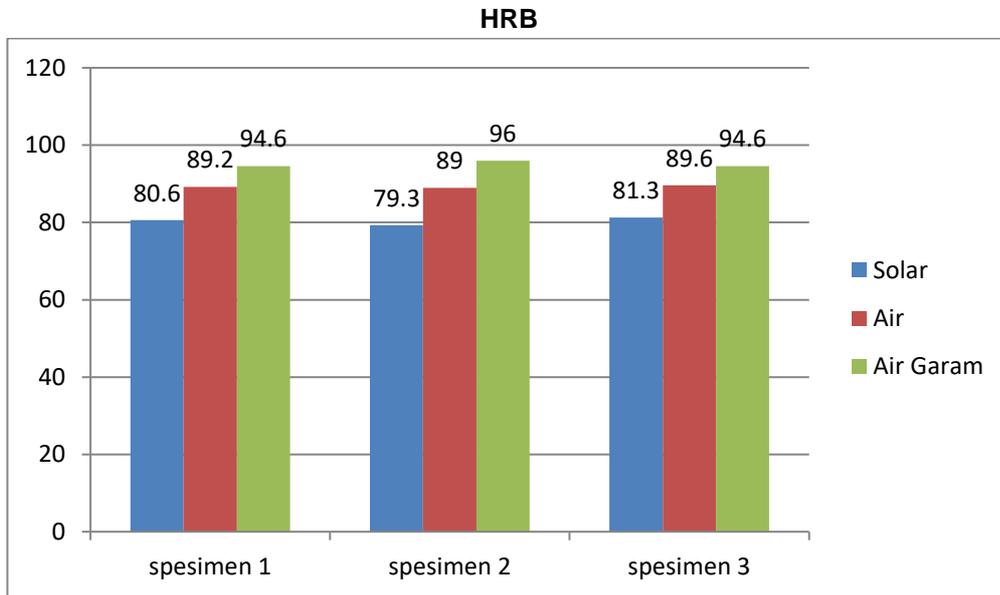
mendapatkan hasil rata-rata 80,6 HRB, pada spesimen kedua mendapatkan hasil rata-rata 79,3 HRB, dan yang ketiga hasil rata-rata 81,3 HRB.

Pengujian kekerasan ketiga menggunakan spesimen baja AISI 1045 yang *diquenching-tempering* media air dengan temperatur *temper* masing-masing (450 °C, 550 °C, dan 650 °C), pengujian pada media air ini menggunakan 9 spesimen yang berbeda yang masing-masing spesimen pada temperatur *temper* 450 °C memiliki spesimen 3, pada temperatur *temper* 550 °C memiliki 3 spesimen dan pada temperatur *temper* 650 °C memiliki 3 spesimen. Setelah dilakukan pengujian kekerasan *Rockwell* temperatur *tempering* 450 °C maka didapatkan hasil rata-rata yaitu (83,6 HRB, 82,6 HRB, dan 83 HRB). Pada temperatur tempering 550 °C maka didapatkan hasil rata-rata yaitu (81,3 HRB, 81,3 HRB, dan 80,6 HRB). Pengujian kekerasan pada temperatur tempering 650 °C maka didapatkan hasil rata-rata yaitu (79 HRB, 79,3 HRB, dan 79,3 HRB).

Pengujian kekerasan keempat menggunakan spesimen baja AISI 1045 yang di *quenching-tempering* media air garam dengan temperatur *temper* masing-masing (450 °C, 550 °C, dan 650 °C), pengujian pada media air garam ini menggunakan 9 spesimen yang berbeda yang masing-masing spesimen pada temperatur *temper* 450 °C memiliki spesimen 3, pada temperatur *temper* 550 °C memiliki 3 spesimen dan pada temperatur *temper* 650 °C memiliki 3 spesimen. Setelah dilakukan pengujian kekerasan *Rockwell* temperatur *tempering* 450 °C maka didapatkan hasil rata-rata yaitu (86,3 HRB, 86,6 HRB, dan 87,3 HRB). Pengujian kekerasan *Rockwell* temperatur *tempering* 550 °C maka didapatkan hasil rata-rata yaitu (84,3 HRB, 83,6, dan 84,6 HRB). Pengujian kekerasan *Rockwell* temperatur *tempering* 650 °C maka didapatkan hasil rata-rata yaitu (81,3 HRB, 81,6 HRB, dan 82 HRB).

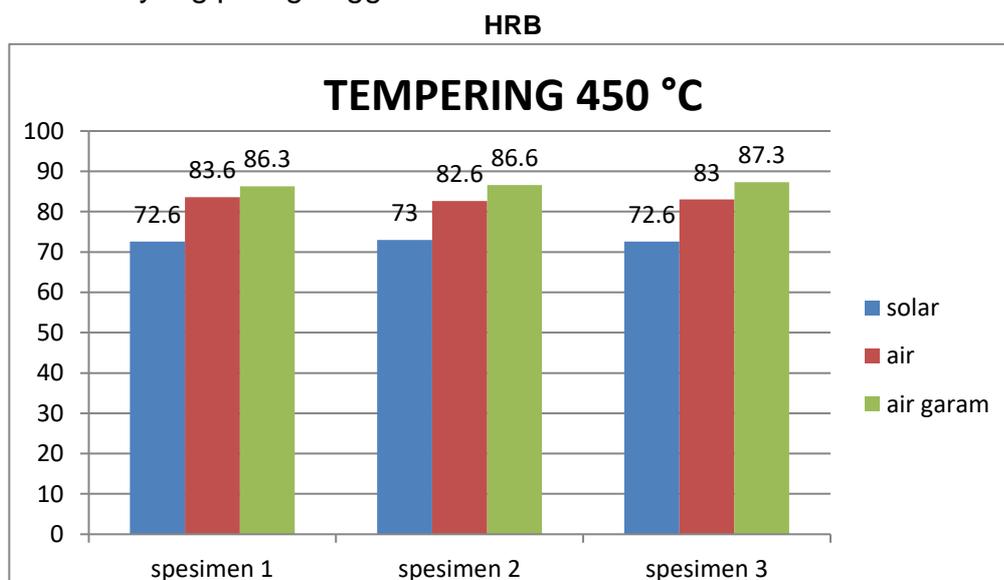
Pengujian kekerasan kelima menggunakan spesimen baja AISI 1045 yang di *quenching-tempering* media solar dengan temperatur *temper* masing-masing (450 °C, 550 °C, dan 650 °C), pengujian pada media solar ini menggunakan 9 spesimen yang berbeda yang masing-masing spesimen pada temperatur *temper* 450 °C memiliki spesimen 3, pada temperatur *temper* 550 °C memiliki 3 spesimen dan pada temperatur *temper* 650 °C memiliki 3 spesimen. Setelah dilakukan pengujian kekerasan *Rockwell* temperatur *tempering* 450 °C maka didapatkan hasil rata-rata yaitu (72,6 HRB, 73 HRB, dan 72,6 HRB). Pengujian kekerasan *Rockwell* temperatur *tempering* 550 °C maka didapatkan hasil rata-rata yaitu (70,3 HRB, 70,3 HRB, dan 70,6 HRB). Pengujian kekerasan *Rockwell* temperatur *tempering* 650 °C maka didapatkan hasil rata-rata yaitu (68,3 HRB, 68,6 HRB, dan

68,6 HRB). Dari hasil yang telah di jelaskan dengan detail tersebut didapatkan grafik sebagai berikut:

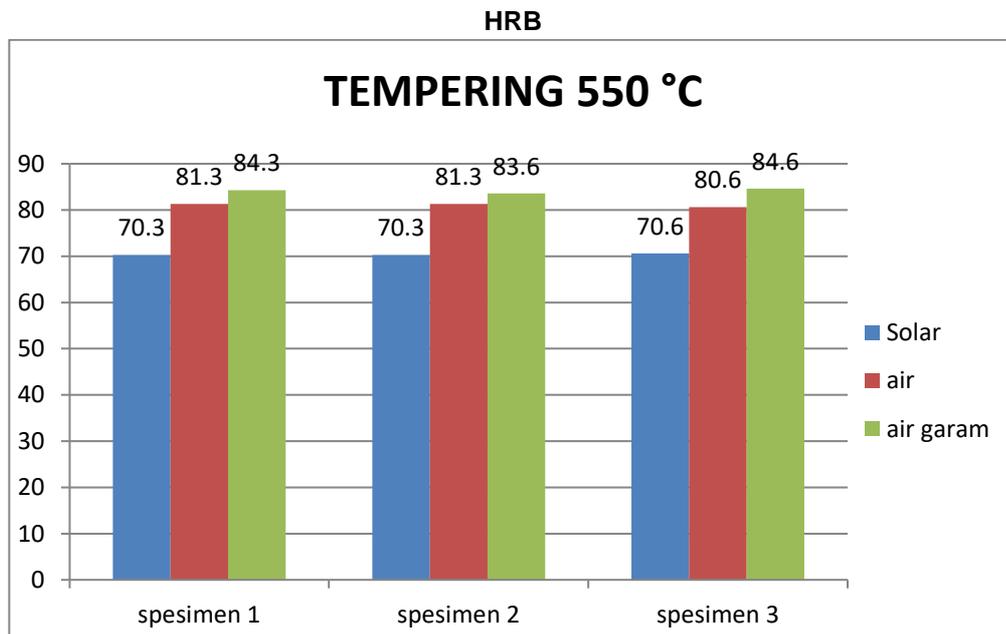


Gambar 5.4. Grafik variasi media pendingin

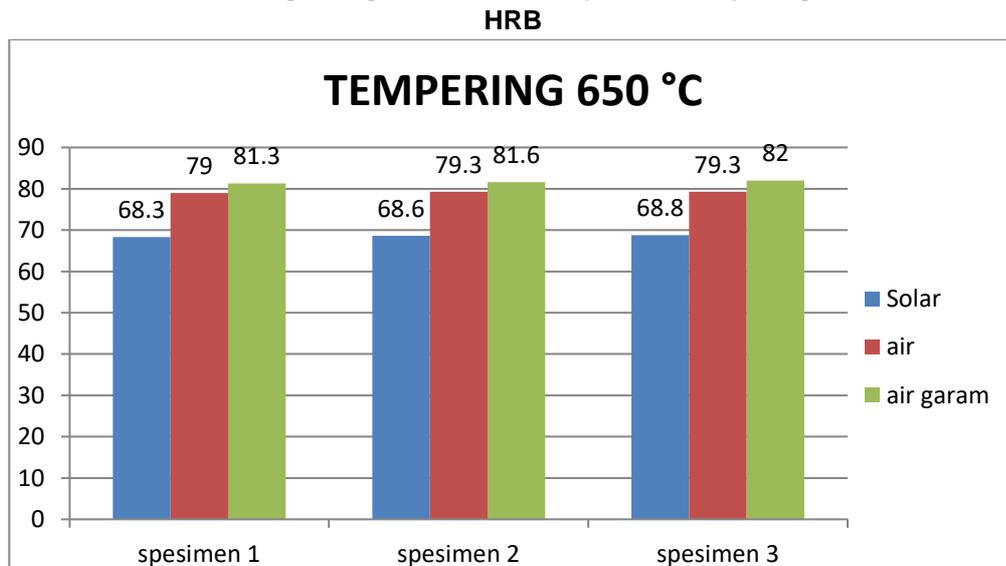
Dari grafik diatas dapat dilihat kenaikan pada setiap variasi media pendingin yang disirkulasikan dimana hasil pengujian kekerasan yang terbaik yaitu menggunakan media air garam dengan nilai kekerasan 94,6 HRB, 96 HRB, dan 94,6 HRB. Air garam mendapatkan nilai kekerasan yang terbaik karena air gram memiliki cepat rambat dingin yang lebih cepat dibandingkan dengan media air dan solar, sehingga menghasilkan kekerasan yang paling tinggi.



Gambar 5.5. grafik variasi temperatur tempering 450 °C



Gambar 5.6. grafik grafik variasi temperatur *tempering* 550 °C



Gambar 5.7. grafik grafik variasi temperatur *tempering* 550 °C

Dari grafik *tempering* diatas memperlihatkan bahwa untuk nilai kekerasan setelah perlakuan *heat treatment* dan melakukan *quenching*, yang penguji lakukan yaitu proses *tempering*. Dari nilai kekerasan untuk setiap perlakuan dari gambar 5.2 sampai gambar 5.4 terlihat untuk suhu tempering dari yang terendah (450 °C) sampai yang tertinggi (650 °C) nilai kekerasannya semakin kecil. Hal tersebut sesuai dengan teori yang menyatakan, Pengaruh suhu penemperan terhadap sifat-sifat baja adalah apabila suhu *tempering* semakin tinggi maka mempunyai sifat kekerasan yang semakin menurun.

V. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapatkan berdasarkan penelitian mengenai pengaruh variasi media pendingin yang disirkulasikan dan bukaan katup penuh pada proses *quenching tempering* terhadap kekerasan pada baja AISI 1045 adalah:

1. Proses *heat treatment* menggunakan proses *quenching* dengan variasi media dan bukaan katup dapat meningkatkan kekerasasn dan memepengaruhi stuktur pada baja AISI 1045.
2. Nilai kekerasan pada baja tanpa perlakuan panas (RAW) yaiyu 61,33 HRB
3. Media pendingin paling keras yaitu pada media air garam dengan hasil rata-rata 94,6 HRB, 96 HRB, dan 94,6 HRB.
4. Media pendingin air garam adalah media yang paling baik untuk meningkatkan kekerasan baja dan menghasilkan *martensit* yang banyak.
5. Pengaruh suhu penemperan terhadap sifat-sifat baja adalah apabila suhu *tempering* semaking tinggi maka mempunyai sifat kekerasan yang semakin menurun.

TERIMA KASIH

Saya sangat berterima kasih bagi semua pihak yang ikut serta berpartisipasi dalam penelitian ini kepada bapak Harnowo Supriadi selaku pembimbing satu saya, kepada bapak Zulhanif selaku pembimbing 2, dan bapak Moh Badaruddin dan ibu Shirley Savetlana. Terutama kepada bapak Harnowo selaku pemberi dana untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, H dan Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara. Jakarta. Halaman 63-87.
- ASMH and book. 1991. *Heat Treating*. ASMH and book Committee. Volume 4. Page 4.
- Haryadi Dwi, 2006 . *Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Pada Baja K-460*. Volume 8, no 2 april 2006 hal: 1-8
- Joko waluyo. 2009 *Pengaruh Temperatur Dan Waktu Tahan Pada Proses Karburisasi Cair Terhadap Kekerasan Baja AISI 1025 Dengan Media Pendinginan Air*.
- Kirono Sasi. *Analisa Pengaruh Temperatur Pada Proses Tempering Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Baja AISI 4340*. Universitas Muhammadiyah Jakarta.

- Maulana, Deni. 2017. *Karakterisasi Pengelasan Dissimilar Baja AISI 1045 Dan AISI 4140 Dengan Metode Friction Welding*. Universitas Jember.
- M Novry dan Ir. Muslih Nasution. 2016. *Pengaruh Media Quenching Terhadap Kekuatan Baja AISI 1045*. Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknik Harapan.
- Mustofa Z, 2016. *Analisa Pengaruh Pendingin Terhadap Kekerasan Bahan Aisi 1045 Pada Proses Heat Treatment*. Universitas Nusantara Persatuan Guru Republik Indonesia. UN PGRI Kediri.
- Nugroho, Sri dan Haryadi, Gunawan Dwi. 2005. *Pengaruh media Quenching Air Tersirkulasi (Circulated Water) Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Pada Baja AISI 1045*. Jurnal Rotasi Volume 7 No. 1.
- Purnomo, Agus. 2011. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM*. Vol. 5. No. 1. April 2011. Hal 32–38. Banten.
- Rozaq, Soeharto 2013. *Jurnal Teknk POMTS Vol 2, No 1, Hal B21-B25*. Surabaya.
- Sastrawan, 2010. *Baja*. <https://anzdoc.com/ii-tinjauan-pustaka-baja-adalah-logam-paduan-dimana-logam-be.html>. diakses pada tanggal 1 juli 2018.
- USU. 2011. *Repository USU*. Dapat di akses pada <http://repository.usu.ac.id> di akses pada tanggal 12 juli 2018.
- Yusman F, 2018. *Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Quenching Terhadap Kekerasan Dan Strukur Mikro Baja Aisi 1045*. Universitas lampung. Bandar Lampung.

PENGARUH PARAMETER PEMESINAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN Ti 6AL-4V ELI PADA PEMESINAN *MICRO-MILLING*

**Arinal Hamni¹, Gusri Akhyar Ibrahim¹, Armulani Patihawa², Eko Agus
Supriyadi²**

¹ Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung

² Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No.1 Kedaton Bandar Lampung 35145

*Email: armulani.patihawa019@gmail.com

Abstrak: Implan merupakan suatu perangkat medis yang dapat ditempatkan didalam tubuh manusia berfungsi untuk menggantikan struktur dan fungsi sebagai pengganti tulang, oleh karenanya perlu pemilihan material dan proses pemesinan (parameter pemesinan) yang akan menghasilkan kualitas yang lebih baik. Titanium 6AL-4V ELI merupakan material yang memiliki sifat biokompatibel tetapi memiliki sifat konduktifitas termal yang rendah sehingga diperlukan pemilihan parameter pemesinan yang sesuai agar menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang baik. Pada penelitian ini parameter pemesinan yang digunakan adalah kecepatan putaran (n) 10000, 15000 rpm, gerak makan (f) 0.001, 0.005 mm/rev, kedalaman potong (t) 100, 150 μ m dan diameter pahat 1 dan 2 mm. Menggunakan mesin CNC *milling 4060 route* yang dikendalikan langsung oleh monitor, aplikasi *rhinoceros* untuk menggambar atau membuat alur yang diingikan lalu selanjutnya menginput parameter menggunakan *mach3 loader*. Pahat yang digunakan merupakan pahat karbida. Nilai kekasaran permukaan minimum pada proses pemesinan *micromilling* Ti 6AL-4V ELI adalah sebesar 0,26 μ m pada kecepatan putaran (n) 15000 rpm, gerak makan (f) 0,005 mm/rev, kedalam potong (t) 100 μ m dan diameter pahat 2 mm. Sedangkan nilai kekasaran permukaan maksimum adalah sebesar 0,90 μ m pada kecepatan putaran (n) 15000 rpm, gerak makan (f) 0,005 mm/rev, kedalam potong (t) 150 μ m dan diameter pahat 1 mm.

Kata kunci: Parameter pemesinan, kekasaran permukaan, *micro-milling*, Ti 6AL-4V ELI

I. PENDAHULUAN

Bencana alam merupakan peristiwa bencana yang disebabkan oleh faktor alam, seperti gempa, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan dan tanah longsor. Serangkaian upaya untuk mengurangi resiko bencana banyak dilakukan seperti melalui pembangunan fisik maupun kesadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi bencana. Mitigasi merupakan suatu upaya yang dilakukan untuk mengurangi kerugian-kerugian pada saat terjadi bencana. Tujuan utama dari mitigasi adalah untuk mengurangi resiko kematian dan cedera terhadap penduduk atau masyarakat. Penduduk atau masyarakat yang mengalami cedera seperti patah tulang sangat membutuhkan pen atau implant logam khusus. Pen atau *implant* dipasang supaya tulang yang patah dapat cepat pulih dan menyambung kembali. Meningkatnya kebutuhan implant membuat impor implant menjadi meningkat, dimana peralatan kesehatan ortopedi menjadi

lebih sulit dijangkau karena harga yang mahal. Titanium dan paduannya banyak digunakan untuk material peralatan kesehatan ortopedi. Titanium memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah tahan korosi, ringan dan memiliki ketangguhan yang relatif lebih baik dibandingkan dengan material lain dan memiliki sifat *biokompatibel* atau kemampuan suatu material untuk dapat di tanamkan dalam tubuh manusia tanpa menimbulkan reaksi negatif sehingga dapat digunakan dalam tubuh manusia [1].

Titanium memiliki kelemahan yaitu mampu mesin yang kurang baik sehingga permukaan titanium yang dimesin mudah mengalami kerusakan. Kekasaran permukaan merupakan salah satu karakteristik yang menunjukkan kualitas kritis permukaan pada proses pemesinan. Kekasaran permukaan memiliki peranan penting karena dapat mempengaruhi koefisien gesek dari suatu komponen apabila komponen tersebut dipasangkan dengan komponen lainnya [2,3]. Penelitian mengenai pemesinan paduan titanium yang bertujuan untuk mengidentifikasi nilai kekasaran permukaan dan kekerasan permukaan bahan yang dimesin (paduan titanium, Ti6Al-4V ELI), menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan sangat ditentukan oleh *feeding* dan juga jari-jari ujung pahat potong [4]. Salah satu pemesinan yang digunakan adalah pemesinan mikro.

Tujuan pemesinan mikro untuk memungkinkan produksi bagian miniatur atau pun bagian tersulit pada bagian komponen yang akan dimesin. Produk dengan permukaan berkualitas tinggi dapat diperoleh dengan memilih parameter pemotongan yang tepat, terutama untuk operasi pemotongan permukaan. Beberapa peneliti telah melakukan investigasi untuk memantau proses pemesinan, terutama di ranah makro, menggunakan berbagai variabel dan sensor [5,6]. Penelitian-penelitian sebelumnya menjelaskan faktor-faktor parameter pemesinan yang mempengaruhi kekasaran permukaan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter pemesinan terhadap kekasaran permukaan Ti 6AL-4V ELI pada pemesinan micro-milling. *Agar Indonesia dapat memproduksi sendiri kebutuhan peralatan kesehatan ortopedik.*

II. MATERIAL DAN METODE

2.1 Alat dan Bahan



Gambar 1. Bahan Uji Ti 6AL-4V ELI



Gambar 2. Pahat Karbida

Titanium paduan 6Al-4V ELI jenis ini biasanya digunakan pada implan biomedis, kompatibilitas dengan jaringan dan tulang manusia, sifat biokompatibel titanium memungkinkan untuk dapat di tanamkan dalam tubuh manusia tanpa menimbulkan reaksi negatif terhadap sistem biologi tubuh makhluk hidup [1]. Titanium paduan 6A1-4V ELI juga memiliki kombinasi kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik serta memiliki ketahanan terhadap korosi [1,7].

Pahat frais karbida memiliki sifat yang tahan terhadap pengikisan (abrasi). Karbida merupakan material yang kaku di mana pahat frais karbida dapat dipakai untuk menyayat benda kerja yang terbuat dari material yang keras. Pahat frais karbida bisa dipakai pada kecepatan tinggi dengan keausan lebih sedikit sehingga dalam jangka panjang pahat frais dari material karbida lebih ekonomis.



Gambar 3. Mesin cnc *micro-milling*



Gambar 4. Surface tester

Mesin CNC *milling* 4060 router merupakan mesin yang mampu melakukan banyak pekerjaan bila dibandingkan mesin perkakas yang lain. Pada Proses penyayatan benda kerja menggunakan pahat potong dengan mata potong yang berputar. Proses penyayatan dengan mata potong yang mengitari pahat ini bisa menghasilkan proses pemesinan lebih cepat. Permukaan yang disayat bisa berbentuk datar, menyudut, atau melengkung sesuai dengan dimensi yang dikehendaki.

Surface tester berfungsi untuk mengukur kekasaran dari suatu permukaan dengan ketelitian alat 0.01 μm . Pengukuran kekasaran permukaan diperoleh dari sinyal pergerakan stylus berbentuk diamond yang bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan sebagai indikator pengukur kekasaran benda uji. *Surface tester* dapat digunakan dengan cara meletakkan benda uji (berupa metal blok) dial indicator (berupa jarum) diatur sehingga ujung dari dial indicator berada dalam posisi stabil (di tengah skala).

2.2 Metode Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini menentukan kondisi pemesinan. Pada penelitian ini parameter proses pemesinan *micro-milling* yang digunakan seperti *Feeding* (f), kedalaman potong (t), kecepatan putaran (n) dan diameter pahat. Adapun variasi parameter tersebut yang akan dijadikan penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Variasi Parameter Pemesinan

No	Diameter Pahat (mm)	Kecepatan putar (rpm)	Gerak makan (mm/rev)	Kedalaman potong (μm)
1	1	10000	0,001	100
2	2	15000	0,005	150

Sistem kerja alat *Roughness Tester* dengan menggunakan *stylus*. *Stylus* merupakan peraba dari alat ukur kekasaran permukaan yang bentuknya konis atau piramida. Bila *stylus* bergeser maka setiap perubahan yang dialami oleh *stylus* karena permukaan yang tidak halus akan nampak pada peralatan ukurnya karena perubahan ini terekam secara otomatis. Hasil nilai kekasaran permukaan juga akan tertampil pada tampilan layar yang ada pada alat. Hasil pengukuran akan ditampilkan pada tampilan yang ada pada *traverse unit*. Pengukuran dilakukan dengan 4 kali pada setiap sisi pemesinan. Setelah didapatkan nilai kekasaran permukaan R_1 , R_2 , R_3 dan R_4 dapat diketahui nilai R_a rata-rata dari setiap pengujian.

Setelah mendapatkan data pada hasil penelitian maka selanjutnya akan dilakukan analisa. Analisis teoritis dimana analisis teoritis ini bertujuan dimana teori-teori yang telah ada dapat menjadi acuan pada penelitian ini,

teori-teori yang ada atau penelitian-penelitian sebelumnya dapat dibandingkan oleh penelitian ini agar menjadi pandangan dalam penelitian lainnya. Agar mengetahui parameter mana yang sangat mempengaruhi kekasaran permukaan pada penelitian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

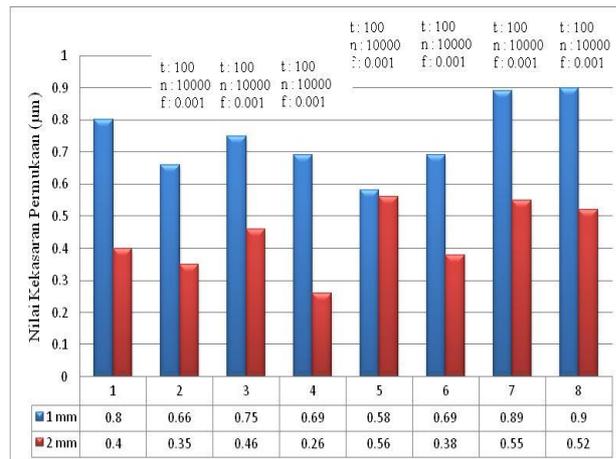
Tabel 2. Data hasil pengukuran nilai kekasaran permukaan Ra

No	Diameter (mm)	Kecepatan Putaran (rpm)	Feed (mm/rev)	Kedalaman Potong (μm)	Nilai Kekasaran				Rata-Rata Ra (μm)
					Ra1	Ra2	Ra3	Ra4	
1	1	15000	0.005	150	0,77	0,88	0,99	0,96	0,90
2	2	10000	0.005	150	0,29	0,30	0,36	0,57	0,38
3	1	15000	0.001	150	0,94	0,85	0,86	0,90	0,89
4	2	15000	0.001	100	0,54	0,43	0,55	0,33	0,46
5	1	15000	0.001	100	0,84	0,75	0,86	0,57	0,75
6	1	15000	0.005	100	0,85	0,57	0,50	0,84	0,69
7	1	10000	0.001	150	0,45	0,70	0,65	0,50	0,58
8	2	10000	0.001	100	0,29	0,29	0,56	0,62	0,44
9	2	15000	0.001	150	0,57	0,29	0,87	0,46	0,55
10	1	10000	0.005	150	0,83	0,60	0,49	0,84	0,69
11	1	10000	0.001	100	0,83	0,80	0,93	0,65	0,80
12	2	15000	0.005	100	0,22	0,30	0,2	0,32	0,26
13	2	10000	0.001	150	0,76	0,43	0,64	0,44	0,56
14	1	10000	0.005	100	0,61	0,65	0,74	0,64	0,66
15	2	10000	0.005	100	0,43	0,15	0,54	0,28	0,35
16	2	15000	0.005	150	0,65	0,46	0,38	0,58	0,52

Adapun nilai kekasaran permukaan Ra minimum adalah sebesar 0,26 μm yaitu dengan parameter pemesinan diameter pahat 2 mm, kecepatan putaran 15000 rpm, gerak makan 0,005 mm/rev dan kedalaman potong 100 μm . Sedangkan nilai kekasaran permukaan Ra maksimum adalah sebesar 0,9 μm yaitu dengan parameter pemesinan diameter pahat 1 mm, kecepatan putaran 15000 Rpm, gerak makan 0,005 mm/rev dan kedalaman potong 150 μm . Variasi parameter diameter pahat mempengaruhi nilai kekasaran permukaan hasil pemesinan *micro-milling* pada material titanium 6AL-4V ELI. Nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan oleh proses pemesinan *micro-milling* Ti 6AL-4V ELI dengan menggunakan pahat berdiameter 1 mm menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih

besar dibandingkan dengan nilai kekasaran permukaan dengan pahat yang berdiameter 2 mm. Kekakuan pahat dengan diameter yang lebih kecil membuat defleksi pahat menjadi lebih signifikan dan getaran pahat juga lebih serius sehingga menghasilkan kualitas permukaan yang buruk [8].

3.1 Pengaruh Diameter Pahat Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan

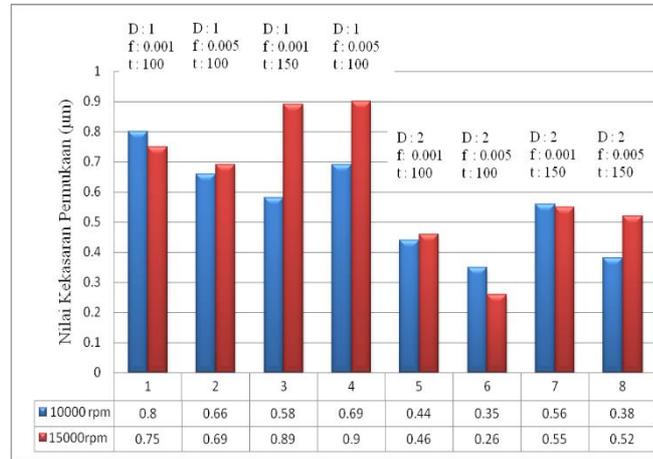


Gambar 5. Pengaruh Diameter Pahat

Perbandingan diameter pahat dengan setiap parameter, dimana diameter pahat memberikan pengaruh secara signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan yang menunjukkan peningkatan atau penurunan secara linier terhadap nilai kekasaran permukaan. Dimana dengan menggunakan diameter pahat yang lebih besar nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan akan lebih baik terlihat pada Gambar 5.

Pada penelitian yang dilakukan oleh baldo [9] memperhitungkan jari-jari pahat lebih berpengaruh pada kekasaran permukaan. Semakin besar diameter pahat yang digunakan maka nilai kekasaran permukaan akan semakin baik karena kekakuan pahat dengan diameter yang lebih besar membuat defleksi pada pahat lebih kecil [8]. Tetapi berbeda dengan bajpai [10] yang menyatakan bahwa dengan meningkatkan diameter pahat dari 300 μm menjadi 500 μm meningkatkan nilai kekasaran permukaan, tetapi dengan jumlah flutes yang banyak dapat menurunkan nilai kekasaran permukaan. Hal ini terjadi karena dengan jumlah flutes yang banyak beban yang dibutuhkan pahat pada saat proses pemesinan menjadi berkurang.

3.2 Pengaruh Kecepatan Putaran Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan



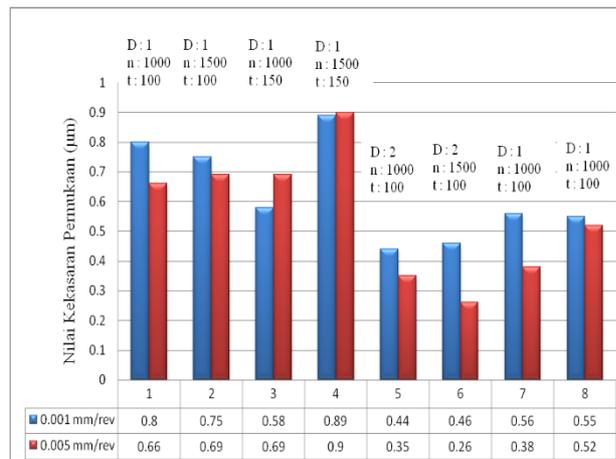
Gambar 6. Pengaruh Kecepatan Putaran

Perbandingan kecepatan putaran dengan setiap parameter, dimana kecepatan putaran tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan yang tidak menunjukkan peningkatan atau penurunan secara linier terhadap nilai kekasaran permukaan.

Secara teori dengan kecepatan potong yang tinggi akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang rendah, kecepatan potong yang tinggi menyebabkan tingginya suhu pemotongan, membuat material akan lebih lunak dan gaya pemotongan menjadi rendah, sehingga nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan lebih rendah. Wang [11] menyatakan sifat material mempengaruhi nilai kekasaran permukaan.

Pada Gambar 6 menunjukkan terdapat kecepatan putaran yang tinggi meningkatkan nilai kekasaran permukaan. Hasil yang sama juga didapat pada penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan [1] kecepatan potong yang tinggi menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang buruk. Pada material Ti 6AL 4V ELI memiliki karakteristik konduktivitas termal yang rendah sehingga dengan kecepatan potong yang tinggi menyebabkan kerusakan pada permukaan dikarenakan suhu pemotongan yang tinggi akan memicu tumbuhnya BUE (*Build Up Edge*) yang akan mempengaruhi bentuk geometri pahat dimana pahat akan menjadi tumpul dan menyebabkan kekasaran permukaan menjadi meningkat.

3.3 Pengaruh Gerak Makan Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan

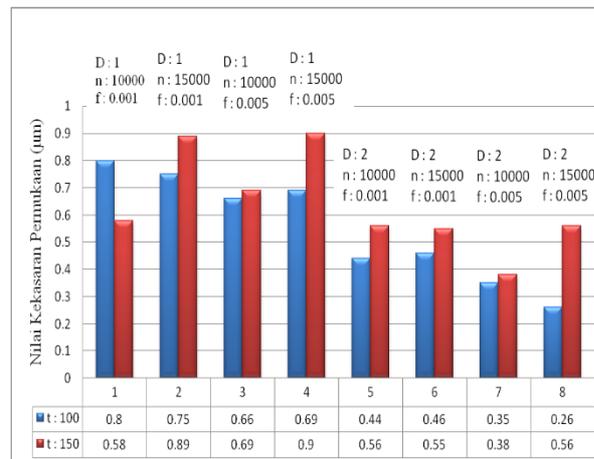


Gambar 7. Pengaruh Gerak Makan

Perbandingan gerak makan dengan setiap parameter, dimana gerak makan tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan yang tidak menunjukkan peningkatan atau penurunan secara linier terhadap nilai kekasaran permukaan. Filiz et al [12] menyatakan dengan gerak makan yang lebih tinggi, kekasaran permukaan akan meningkat karena meningkatkan efek geometri. Ibrahim [13] menyatakan gerak makan 0,10 mm/rev menghasilkan nilai kekasaran permukaan lebih besar dibandingkan pada gerak makan 0,05 mm/rev dan 0,15 mm/rev hal ini dikarenakan gaya geser antara pahat potong dan benda kerja besar sehingga menyebabkan permukaan potong menjadi lebih besar. Sedangkan Wang [11] menyatakan bahwa gerak makan tidak berpengaruh pada nilai kekasaran permukaan.

Dimana pada penelitian ini gerak makan yang lebih besar menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih baik. Berbanding terbalik dengan teori yang ada dimana dengan gerak makan yang lebih besar nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan akan lebih tinggi. Pada penelitian ini dimana alat ukur kekasaran permukaan yang digunakan adalah *surface taster* merk mitotoyo SJ 201, karena level gerak makan yang digunakan pada penelitian ini sangat kecil yaitu 0,001 mm/rev dan 0,005 mm/rev sehingga *stylus* pada *surface taster* tidak dapat menjangkau bagian lembah terdalam pada permukaan.

3.4 Pengaruh kedalaman potong terhadap nilai kekasaran permukaan



Gambar 8. Pengaruh Kedalaman Potong

Perbandingan kedalaman potong dengan setiap parameter, dimana dengan kedalaman potong yang rendah akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih rendah. Hal ini disebabkan dengan semakin besar kedalaman potong akan membuat pahat membutuhkan daya yang besar pada saat proses pemesinan sehingga menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu semakin rendah kedalaman potong maka semakin rendah nilai kekasarannya [14,15]. Sedangkan pada penelitian Baldo [9] dimana kedalaman potong tidak mempengaruhi nilai kekasaran permukaan pada Gambar 4.5 terlihat pada parameter diameter 1 mm, kecepatan putaran 10000 rpm dan feed 0.001 menunjukkan kedalaman potong 100 menghasilkan nilai kekasaran lebih tinggi dibandingkan dengan kedalaman 150 berbeda dengan hasil dari parameter yang lain. Kemungkinan dapat disebabkan saat proses pemesinan sebagian chip menempel dipermukaan.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil pemesinan micromilling pada paduan titanium Ti-6Al-4V ELI dengan parameter diameter pahat 2 mm, kecepatan putaran 15000 rpm, feed 0,005 mm/rev dan kedalaman potong 100 µm menghasilkan nilai kekasaran permukaan paling rendah yaitu 0,26 µm. Sedangkan pada parameter diameter pahat 1 mm, kecepatan putaran 15000 rpm, feed 0,005 dan kedalaman potong 150 µm menghasilkan nilai kekasaran permukaan tertinggi yaitu 0,90 µm. Parameter yang berpengaruh pada penelitian ini adalah diameter pahat.

DAFTAR PUSTAKA

- Kurniawan, Muchdy. 2018. Analisis Kekasaran Permukaan Ddan Getaran Pada Pemesinan Bubut Menggunakan Pahat Putar Modular (Modular Rotary Tools) Untuk Material Titanium 6Al-4V ELI. Universitas Lampung. Lampung
- Bai, J. Bai, Q. Tong, Z. 2018. Experimental and Multiscale Numerical Investigation of Wearmechanism and Cutting Performance of Polycrystalline Diamond Tools in Micro-End Milling of Titanium Alloy Ti-6Al-4V. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*.
- Ibrahim, G A. Che Haron C H. Ghani, J A. 2009. *Surface Integrity of Ti-6AL-4V ELI When Machined Using Coated Carbide Tools Under Dry Cutting Condition*. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*.Vol.4No. 2, 191-196
- Ibrahim, Gusri Akhyar. 2014. Pengaruh Pemesinan Kering Terhadap Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Paduan Titanium. Universitas Lampung. Lampung.
- Kiswanto, G. Zariatin, D I. Ko, T J. 2014. The Effect of Spindle Speed, Feed-Rate and Machining Time to The Surface Roughness and Burr Formation of Aluminum Alloy 1100 in Micro-Milling Operation. *Journal of Manufacturing Processes*.
- Malekian, M. Park, S S. Jun, M B G. 2009. *Tool Wear Monitoring of Micro-Milling Operations*. *Journal of Materials Processing Technologi*.
- Leyens, C. dan Peters M. 2003. *Titanium and Titanium Alloys*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA.
- Jing, X. Li, H. Wang, J. et al. 2016. *An Investigation of surface roughness in micro-end-milling of metals*. *Australian Journal of Mechanical Engineering*.
- Baldo, D. Filho, S L M R. Lauro, C H. Delfino, A C S. Brandao, L C. 2014. *Analysis of Surface Roughness in Micro Milling of Ti-6Al-4V Titanium Alloy*. *Trans Tech Vols 1079-1080 pp 3-6*.
- Bajpai, V. Kushwaha, A K. Singh, R K. 2013. *Burr Formation and Surface Quality In High Speed Micromilling Alloy (TI6AL4V)*. Indian Institute of Technology Bombay.
- Wang, W. Kweon, S H. Yang, S H. 2005. A Study on Roughness of The Micro-End-Milled Surface Produced By A Miniature Machine Tool. *Journal of Materials Processing Technology*.
- Filiz, S. Xie, Luke. et al. 2008. *Micromilling of Microbarbs For Medical Implants*.*International Jurnal of Machine Tools and Manufacture*.

- Ibrahim, G A. Hamni, A. Tarkono. Mutaqqin, M. Su'udi, A. 2018. Pengaruh Gerak Makan dan Kedalaman Potong Terhadap Kekasaran Permukaan Magnesium pada Pemesinan Freis dengan Teknik MQL. Prosiding SNTTM XVII
- Siswanto, B. Sunyoto. 2018. Pengaruh Kecepatan dan Kedalaman Potong pada Proses Pembubutan Konvensional Terhadap Kekasaran Permukaan Lubang. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Tschatsch, H. (2009). *Applied machining technology*. Dresden: Springer.

PENGARUH STRUKTUR KARBON TERHADAP KAPASITANSI KAPASITOR BERBAHAN KARBON AKTIF UNTUK APLIKASI SEBAGAI KOMPONEN SENSOR

Shirley Savetlana¹, Martinus¹, Sugiyanto¹, Rico Ardian Pramana¹

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung
Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar
Lampung 35145

E-mail: ricopramana@gmail.com

Abstrak: Sensor merupakan salah satu komponen penting dalam mitigasi bencana. Sensor terdiri dari beberapa komponen antara lain kapasitor. Kapasitor merupakan alat yang menyimpan energi didalam medan listrik. Bahan kapasitor antara lain karbon hitam. Dalam penelitian ini digunakan karbon hitam seri N220, N330 dan N550. Proses pembuatan kapasitor adalah sebagai berikut: pertama, karbon aktif direndam dengan larutan NaOH selama 24 jam kemudian di saring dan dibilas dengan aquades. Campuran tersebut kemudian dikeringkan didalam oven pada temperatur 150°C selama 3 jam. Campuran tersebut digunakan untuk melapisi aluminium foil dengan menggunakan epoxy sebagai pengikat. Selanjutnya aluminium foil di gulung. Pengujian kapasitansi dilakukan menggunakan rangkaian sederhana yang terdiri dari arduino uno, resistor, dan LCD I 2C. Pengujian menunjukkan kapasitor menggunakan bahan tersebut dapat digunakan sebagai kapasitor dengan kapasitansi 175 nano farad untuk kapasitor yang dibuat dengan karbon hitam seri N220.

Kata kunci: Kapasitor, Karbon hitam, Kapasitansi, sensor dan partikel karbon

I. PENDAHULUAN

Material kapasitor terbuat dari bahan-bahan yaitu polimer, keramik¹ dan komposit². Kapasitor terdiri dari dua pelat konduktor yang diisi dengan material dielectric tertentu³. Kapasitansi ditentukan hanya dimensi konduktor dan permitivitas dari bahan dielektrik. Kapasitansi tidak tergantung pada beda potensial.

Ada empat macam bahan dielektrik, yaitu linear dielektrik contohnya alumina dan kaca, ferroelektrik dengan polarisasi spontan contohnya BaTiO₃ dan PbTiO₃, relaxor ferroelektrik contohnya (Pb, La) (Zr,Ti) O₃ dan antiferroelektrik contohnya PbZrO₃. Bahan-bahan tersebut mempunyai berbagai kekurangan, misalnya linear dielektrik yang mempunyai breakdown field yang lebih tinggi dan kehilangan energi yang kecil tetapi nilai polarisasi yang kecil membuat bahan ini tidak dapat menyimpan energi yang besar³. Bahan-bahan baru dikembangkan antara lain menggunakan teknologi komposit. Bahan tersebut seperti *glass-keramik*, ferroelectric dengan bahan dasar polimer yang menggabungkan *breakdown field* yang tinggi dan *large polarization* yang tinggi. Bahan dielektrik dari bahan komposit misalnya keramik-kaca di buat dengan cara *powder sintering*. Saat ini komposit yang banyak diteliti adalah komposit berbasis keramik

BaTiO₃. Komposisi keramik dan kaca menentukan permisiviti yang dihasilkan. *Ferroelectric* berbasis bahan polimer mempunyai *breakdown field* yang tinggi, temperatur pembuatannya yang rendah dan fleksibilitas bahan yang tinggi. Polimer yang dilaporkan telah digunakan antara lain *polypropylene (PP)*, *polyester (PT)*, *polycarbonate (PC)*, *polyvinylidene fluoride (PVDF)*. PVDF yang banyak dipelajari karena permitiviti yang tinggi dari sifat *ferroelectric* alami bahan tersebut. Namun permitiviti dari bahan polimer tidak cukup tinggi sehingga dipikirkan untuk menggabungkan antara polimer dan keramik. Ditemukan kapasitor berbahan komposit dengan basis polimer meningkatkan permitivitas dibandingkan hanya menggunakan polimer. Meskipun begitu, di beberapa kasus penggunaan material komposit menunjukkan turunnya *breakdown strength* dan meningkatkan *energy loss*. Hal ini disebabkan penggumpalan dari serbuk keramik dikarenakan energi permukaan partikel keramik yang tinggi serta tidak menyatunya antara polimer dan keramik. Hal ini meninggalkan banyak cacat pada produk berbahan komposit polimer-keramik³. Komponen untuk sensor *displacement* dan tekanan juga menggunakan bahan-bahan seperti keramik dan komposit yang memiliki sifat *piezoelectric*⁴. Kapasitor dari bahan alami misalnya karbon yang berasal dari biomass mempunyai pengotor yang lebih sedikit dibandingkan dengan karbon yang berasal dari batubara atau bahan bakar. Kandungan pengotor yang lebih sedikit membuat karbon lebih stabil pada penggunaannya di Electric double layer capacitors (EDLCs) elektroda⁵. Dari penelitian tersebut ingin diketahui lebih jauh pengaruh ukuran karbon terhadap kapasitansi.

Pada penelitian ini kapasitor dibuat dari bahan keramik karbon hitam dengan ukuran partikel karbon yang berbeda. Karbon hitam yang digunakan dengan seri N220, N330 dan N550. Selanjutnya kapasitansi diukur dengan rangkaian sederhana. Nilai kapasitor dibandingkan antara kapasitor dengan bahan karbon hitam dari tiga seri tersebut. Nilai kapasitansi juga dibandingkan dengan kapasitor aluminium tanpa karbon dan material referensi.

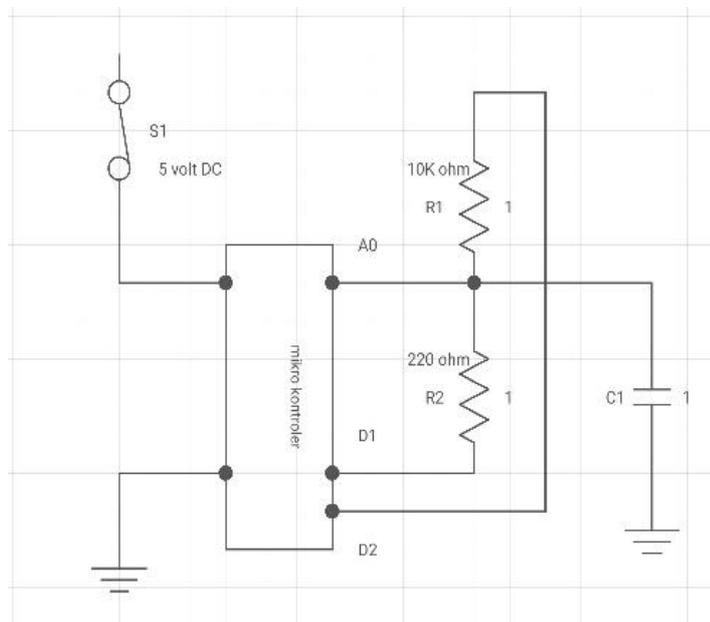
II. MATERIAL DAN METODE

Bahan kapasitor terdiri dari aluminium film dan pengisi karbon hitam. Karbon aktif yang digunakan adalah karbon aktif dengan seri strukturnya yaitu N220 N330, dan N550. Bahan aktivasinya yaitu NaOH dan air dengan konsentrasi NaOH 40%. Aluminium foil yang digunakan seri tape BGA dengan ketebalan 0,06 mm dan memiliki lebar produk 75 mm.

Proses pembuatan kapasitor dengan cara mengaktivasi karbon hitam ukuran N220, N330, dan N550 secara kimia. Larutan yang digunakan untuk

aktivasi adalah NaOH. Proses aktivasi dengan cara merendam karbon hitam dengan larutan NaOH selama 24 jam kemudian di cuci menggunakan larutan aquades dan di keringkan di dalam *Microwave* pada temperatur 250 °C selama 30 menit. Kemudian aluminium foil dilapisi dengan Karbon hitam yang sudah di aktivasi dengan ketebalan 2 mm. selanjutnya dilakukan proses penggulungan aluminium membentuk kapasitor berbentuk silinder.

Pengujian kapasitansi dilakukan dengan menggunakan rangkaian sederhana yang terdiri dari arduino uno, resistor dan LCD 1 2C. Rangkaian tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 rangkaian uji kapasitansi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan proses pembuatan kapasitor dengan menggunakan variasi karbon hitam N220, N330, dan N550 dengan campuran aktivasi larutan NaOH, nilai kapasitansi dapat dilihat pada Tabel 1.

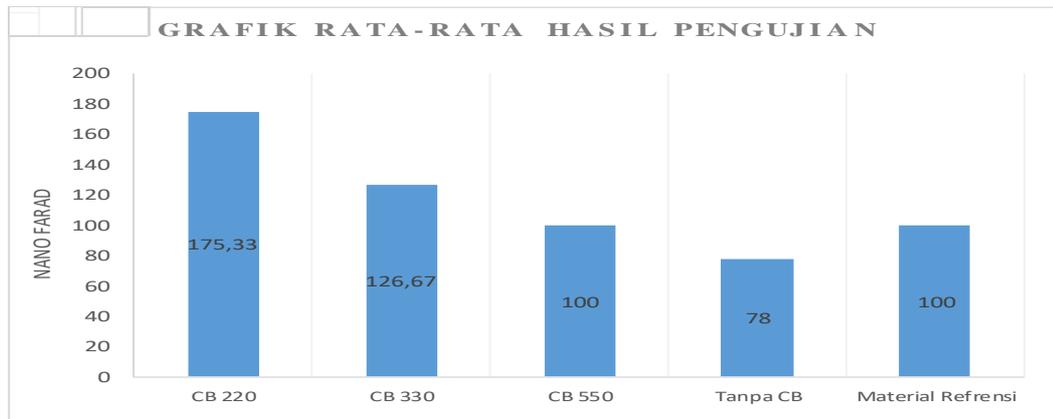
Tabel 1. Data Hasil Pengujian Kapasitansi

Nama Spesimen	Seri Karbon hitam	Kapasitansi (C)	Kapasitansi rata-rata (C)
Spesimen 1	N220	179 nano farad	175,33
Spesimen 2		168 nano farad	
Spesimen 3		179 nano farad	
Spesimen 1	N330	123 nano farad	126,67
Spesimen 2		123 nano farad	
Spesimen 3		134 nano farad	
Spesimen 1	N550	99 nano farad	100
Spesimen 2		101 nano farad	
Spesimen 3		100 nano farad	

Nama Spesimen	Seri Karbon hitam	Kapasitansi (C)	Kapasitansi rata-rata (C)
Spesimen 1	Tanpa karbon	78 nano farad	78
Spesimen 2		78 nano farad	
Spesimen 3		78 nano farad	
Spesimen 1	Referensi	100 nano farad	100
Spesimen 2		100 nano farad	
Spesimen 3		100 nano farad	

Hasil pengukuran kapasitansi kapasitor dapat dilihat pada gambar 2. Nilai kapasitansi aluminium foil dengan karbon lebih tinggi daripada nilai kapasitansi aluminium foil tanpa karbon dan nilai kapasitor referensi komersil. Kapasitor yang dibuat dari bahan karbon N220 memiliki kapasitansi yang paling tinggi yaitu 175.33 nano farad dibandingkan kapasitor yang dibuat dengan karbon hitam seri N330 dan N550. Seperti diketahui bahwa semakin rendah seri karbon hitam maka akan semakin kecil ukuran partikel karbon. Kapasitor dengan ukuran karbon hitam N220 memiliki kapasitansi yang paling tinggi disebabkan ukuran partikel karbon yang lebih halus dibandingkan kapasitor dengan bahan karbon hitam N330 dan N550. Partikel karbon hitam dengan ukuran partikel yang lebih kecil secara keseluruhan mempunyai luas permukaan total yang lebih besar dibandingkan dengan partikel dengan ukuran yang lebih besar. Hasil penelitian karbon sebagai reinforcement pada karet alam juga menunjukkan sifat tarik yang paling tinggi untuk karet yang diperkuat dengan karbon hitam seri N220 dibandingkan seri lain seperti N330, N550 dan N660. Gambar SEM menunjukkan partikel karbon hitam N220 berbentuk tak beraturan dan mempunyai ukuran *agglomerate* sekitar $10 \mu\text{m}^7$.

Persyaratan untuk partikel karbon yang digunakan pada kapasitor juga sama seperti karbon aktif super yang digunakan untuk aplikasi pada ELDC, dimana partikel karbon harus mempunyai konduktivitas listrik yang tinggi, ukuran partikel yang seragam dan *specific surface area* yang tinggi⁵ dan ukuran pori yang sesuai dengan ukuran ion dari elektrolit yang dipilih. Hasil penelitian lain yang melakukan pembuatan karbon dari serbuk kentang dengan aktivasi menggunakan larutan KOH pada $900 \text{ }^\circ\text{C}$ menghasilkan partikel karbon dengan *specific surface area* $1579.4 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, *average pore size* of 2.9663 nm , and *pore size distribution* of $1.3\text{--}3.5 \text{ nm}$ menghasilkan kapasitansi 160.6 dan 151.2 Fg^{-1} masing-masing didalam aqua dan larutan elektrolit⁸.



Gambar 4 Nilai rata-rata kapasitansi kapasitor tanpa karbon hitam, kapasitor dengan karbon hitam dan material referensi.

KESIMPULAN

Kapasitor dibuat dengan menggunakan karbon hitam yang diaktifkan dengan larutan NaOH. Partikel karbon hitam yang digunakan yaitu karbon hitam seri N220, N330 dan N550. Hasil pengujian kapasitansi dengan menggunakan rangkaian sederhana menunjukkan bahwa aluminium foil yang dilapisi karbon hitam mempunyai nilai kapasitansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan aluminium foil yang tidak dilapisi karbon hitam. Berdasarkan seri karbon hitam, kapasitor yang dibuat dengan karbon hitam seri N220 menunjukkan kapasitansi tertinggi. Hal ini disebabkan ukuran partikel hitam N220 yang lebih kecil dan konfigurasi partikel yang berbeda dibandingkan dengan partikel karbon hitam N330 dan N550.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chen, X., Zhang, H., Cao, F., Wang, G., Dong, X., Gu, Y., He, H. and Liu. Y. (2009). Charge-discharge properties of lead zirconate stannate titanate ceramics. *Journal Apply Physic*, 106: 1256-1260.
- [2] Eric, Y., Kedar, K. (2020). Experimental data on electrical properties of epoxy/carbon composites used as structural capacitance. *Data in brief*, 28: 1-5.
- [3] Hao, X., (2013). A review on the dielectric materials for high energy-storage application. *Journal of advance dielectric*, 3: 1-14.
- [4] Akdogan, E.K., Allahverdi, M., Safari, A. (2005). IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control, 52(5): 1-30.
- [5] B. Hu, K. Wang, L. Wu, S.-H. Yu, M. Antonietti, M.-M. Titirici, (2010). Engineering carbon materials from the hydrothermal carbonization process of biomass, *Advance Materials*. 22:813–828.
- [6] Simon, P., Burke, A., (2008). Nanostructure carbon; double layer capacitance and more. *Electrochemical society interface*, 17: 38-43.

- [7] Savetlana, S., Zuhendri, Sukmana, I., Saputra, F. A., (2017). The effect of carbon black loading and structure on tensile property of natural rubber composite, *Material Science Engineering*, 223: 1-9.
- [8] Kim, Y.I., Lee, Y.J., Yoo, J., Kim, J-H., (2019). High-capacitance activated bio-carbons with controlled pore size distribution for sustainable energy storage, *Journal of power sources*, 438:

PENGARUH SEBARAN *TITANIUM PIECES SPACE HOLDER* (TPSH) TERHADAP KUALITAS MAGNESIUM BERPORI UNTUK APLIKASI *SCAFFOLD* TULANG MAMPU TERDEGRADASI

**Rizal Adi Saputra¹, Yanuar Burhanudin¹, Mahruri Arif Wicaksono¹,
Hadi Nur², Irza Sukmana^{1,*}**

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145, Indonesia

²Ibnu Sina Institute, Universiti Teknologi Malaysia, UTM Johor Bahru, Skudai, Malaysia

* Email: irza.sukmana@gmail.com

Abstract: *Natural disaster, traffic accident, and aging may result bone fracture and defect. One of the famous techniques to cure the bone defect is to implanted a temporary template or bone scaffold, mainly for cases in cancellous bone. In this study, we are able to produce porous magnesium structure using Titanium (Ti) pieces space holder (TPSH). Firstly, wire Ti were cut into pieces before mixed with powder magnesium of 100, 200, and 250 μm size then compacted and sintered at temperature of 400 $^{\circ}\text{C}$. Mg-Ti composite structure then immersed in hydrofluoric acid solution to get porous structure once the Ti pieces degraded. Physical and mechanical testing of porous Mg shows the bigger the Mg powder size resulted the better quality of our porous Mg product.*

Keywords: *Porous Magnesium, bone scaffold, titanium pieces, sintering temperature*

Abstrak: Bencana alam, kecelakaan lalu-lintas dan penuaan dapat menjadi penyebab tulang patah (*bone fracture*) dan keropos. Salah satu teknik penyembuhan tulang yang rusak (*bone defect*) adalah dengan mengimplankan struktur tulang buatan atau skafol tulang yang dapat menginisiasi pertumbuhan jaringan tulang baru. *Bone scaffold* terutama untuk aplikasi kerusakan tulang berpori (*cancellous bone*) yang terletak di bagian dalam struktur tulang. Dalam penelitian ini, diujikan pengaruh sebaran potongan titanium sebagai material penyangga (*titanium pieces space holder*) terhadap kualitas produk magnesium berpori untuk aplikasi skafol tulang. Titanium (Ti) *pieces* disiapkan dalam ukuran campur (*random*) dan berasal dari potongan kawat titanium murni (*pure titanium wire*) untuk dicampurkan dengan serbuk Magnesium (Mg) dengan ukuran 100, 200, dan 250 μm . Campuran bahan tersebut kemudian dikompaksi dan dipanaskan (*sintering*) pada temperatur 400 $^{\circ}\text{C}$ untuk mendapatkan bahan dasar magnesium. Struktur Mg berpori dihasilkan melalui proses degradasi potongan Ti dalam larutan asam hidrofleurik (*hydrofluoric acid*, HF) sehingga terbentuk sruktur pori pada bahan Mg. Hasil pengujian fisika dan mekanika menunjukkan semakin besar ukuran serbuk Mg, akan menghasilkan sebaran potongan Ti yang semakin merata sehingga meningkatkan kualitas produk magnesium berpori.

Kata kunci: Magnesium berpori, skafol tulang, potongan titanium, temperature sinter

I. PENDAHULUAN

Bencana alam, kecelakaan lalu lintas dan penuaan dapat menjadi penyebab tulang patah (*bone fracture*) dan keropos. Salah satu teknik penyembuhan tulang yang rusak (*bone defect*) adalah dengan mengimplankan struktur tulang buatan atau skafol tulang yang dapat menginisiasi pertumbuhan jaringan tulang baru dan untuk membantu menopang tulang agar dapat berfungsi kembali. *Bone scaffold* ditujukan khusus pada bagian tulang berongga (*cancellous bone*). Implantasi tulang menggunakan material biomedis yang biasa dikenal dengan biomaterial.

1.1 Biomaterial *Biodegradable*

Biomaterial adalah material yang berinteraksi langsung dengan jaringan tubuh dan cairan biologis tubuh makhluk hidup untuk mengobati, memperbaiki, mengganti dan meregenerasi bagian anatomi tubuh makhluk hidup atau disebut sebagai bahan implan (Rodrigues dan Gonzales, 2009). Penggunaan biomaterial *biodegradable* bertujuan agar tidak dilakukan pencabutan kembali setelah biomaterial tersebut ditanam didalam tubuh, karena sifat *non toxicity*, *biocompatible*, dan mampu terdegradasi secara alami (Navarro dkk, 2008).

1.2 Logam Berpori

Logam berpori memiliki berat yang rendah dan dapat disesuaikan kepadatannya (Lefevbre dkk., 2008). Sifat gabungan yang baik dari logam dan pori membuat logam berpori cocok untuk aplikasi struktural dan fungsional (Chiras dkk., 2002). Logam berpori sangat baik digunakan untuk logam implan struktur tulang *cancellous*, pori yang terbentuk pada material akan membantu merangsang jaringan tulang untuk tumbuh, dan tidak menghalangi proses pertumbuhan. Disamping itu material yang ditanamkan pada tulang akan bertindak sebagai *scaffold* tulang atau pembentuk struktural sementara dan dapat membantu memperkuat struktur tulang yang mengalami pengkeroposan.

1.3 Fabrikasi dan Pengujian Logam Berpori

Untuk menggunakan sifat mampu terdegradasi secara alami material yang digunakan untuk logam berpori menggunakan logam magnesium (Mg) yaitu logam yang mampu terdegradasi secara alami didalam tubuh (Sukmana, 2017). Magnesium (Mg) memiliki kemampuan sebagai bahan implan tulang yang aman, memiliki sifat biodegradabilitasnya, tidak beracun, dan sifat fisik dan mekanik yang sangat baik, yang mirip dengan sifat asli tulang (Witte dkk, 2006). Magnesium (Mg) akan dipadukan dengan Titanium (Ti) karena sifat titanium yang ringan dan sifat kimia-mekanik yang baik (Li dkk., 1994). Magnesium berpori dibuat dengan material serbuk

magnesium yang dipadukan dengan titanium (*wire*), sebagai pembentuk ruang sementara (*Space Holder*) (Cheng dkk., 2016)

Spesimen dibuat dengan metode kompaksi-*sintering* menggunakan alat *squeeze casting*. Kemudian spesimen dilakukan analisis struktur makro, dan pengujian korosi untuk mengetahui laju korosi. Pembentukan magnesium berpori dengan cara mengkorosi titanium (*wire*), kemudian dilakukan pengujian densitas-porositas, uji mekanik menggunakan pengujian kekerasan vickers, analisis struktur mikro, dan uji SEM-EDX sehingga didapatkan hasil karakterisasi magnesium berpori yang mendekati sifat asli tulang berongga *cancelluos bone*, sebagai bahan implan tulang biomedis.

II. MATERIAL DAN METODE

Fabrikasi magnesium berpori menggunakan serbuk yang dipadukan dengan titanium *wire* (*space holder*) dengan menggunakan metode kompaksi-*sintering* dan pengkorosian titanium menggunakan larutan HF (asam fluorida) kemudian dilakukan karakterisasi fisik dan mekanik.

2.1 Alat dan Bahan

Material yang digunakan yaitu serbuk magnesium AZ31 dengan ukuran serbuk 100 μm , 200 μm dan 250 μm dan titanium *wire* 32 GA (AWG) 200 μm , perangkat kompaksi-*sintering*, dan larutan asam fluorida (HF) 1 M. Perangkat kompaksi-*sintering* terdiri dari mesin *press* hidraulik berkapasitas 20 ton, perangkat *heater coil* berkapasitas 800°C, *unit control heater* TC4M, *dies-punch*, dan gas argon seperti pada gambar 1.



Keterangan :

1. Rangka Mesin *Press* Hidraulik
2. Tabung Hidraulik
3. Indikator Hidraulik
4. Unit *Sintering*
5. *Punch*
6. *Heater Controller*
7. *Nozzle* Argon
8. Pompa Hidraulik
9. Tabung Argon
10. Indikator Argon

Gambar 1. Perangkat Kompaksi-*Sintering*(*Squeeze Casting*)

2.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu berdasarkan parameter dan variabel penelitian seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Penelitian dan Variasi Penelitian

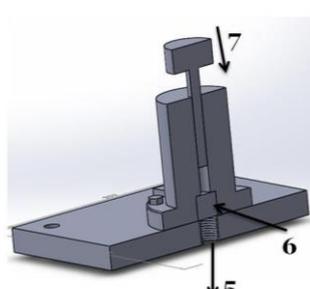
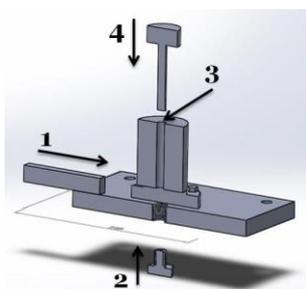
No	Pori Mg-Ti	Serbuk Mg	Serbuk Ti	Mg-Ti	P	Durasi Penekanan	T°C	Holding Time
1	P-Mg 100 µm	100 µm	200 µm	3: 1	250 MPa	2 menit	400°C	5 menit
2	P-Mg 200 µm	200 µm	200 µm	3: 1	250 MPa	2 menit	400°C	5 menit
3	P-Mg 250 µm	250 µm	200 µm	3: 1	250 MPa	2 menit	400°C	5 menit

2.2.1 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan yaitu pertama merangkai peralatan *squeeze casting* seperti pada gambar 2. Kemudian mencampurkan serbuk magnesium ukuran 100 µm, 200 µm dan 250 µm dengan serbuk titanium (*wire*) 200 µm dengan fraksi massa 3: 1, kemudian serbuk dimasukkan kedalam *dies* dan dilakukan kompaksi sebesar 250 MPa selama 2 menit, kemudian spesimen dikeluarkan dari *dies* dan dimasukkan lagi kedalam *dies* dengan *sintering* sebesar 400°C selama 5 menit, kemudian spesimen dikeluarkan dari dalam *dies*, seperti pada gambar 3.



Gambar 2. Perangkat Kompaksi-Sintering (*Squeeze Casting*)



Keterangan :

1. Memasang *slider ejector*
2. Memasang baut pengunci
3. Memasukkan serbuk Mg-Ti
4. Menekan pompa hidrolik
5. Melepas baut pengunci
6. Mengeluarkan *slider ejector*
7. Menekan pompa hidrolik sampai spesimen keluar

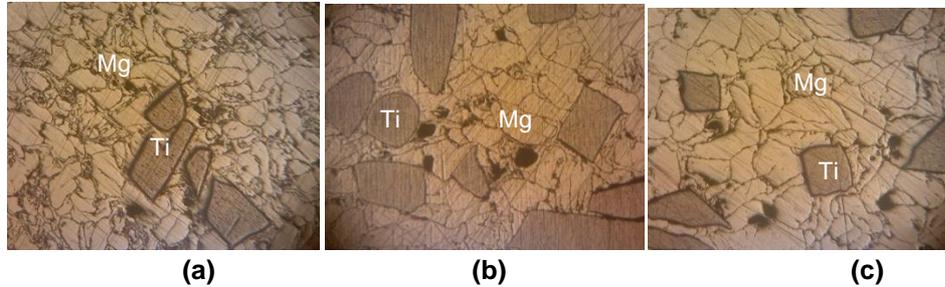
Gambar 3. Prosedur Kompaksi-Sintering

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil data penelitian berupa pengujian struktur makro, uji korosi, uji densitas-porositas, uji kekerasan mikro, struktur mikro dan SEM-EDX.

3.1 Analisis Struktur Makro

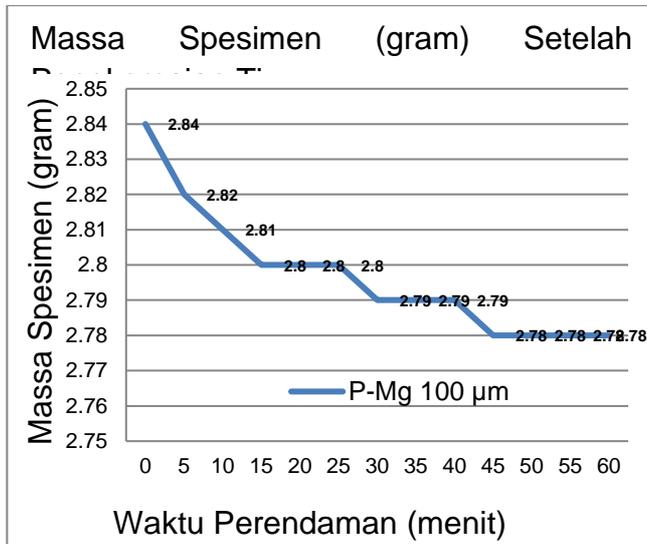
Analisis struktur makro bertujuan untuk melihat persebaran titanium dan ikatan butir serbuk pada P-Mg 100 μm , P-Mg 200 μm dan P-Mg 250 μm dengan pembesaran 25 x seperti pada gambar 4.



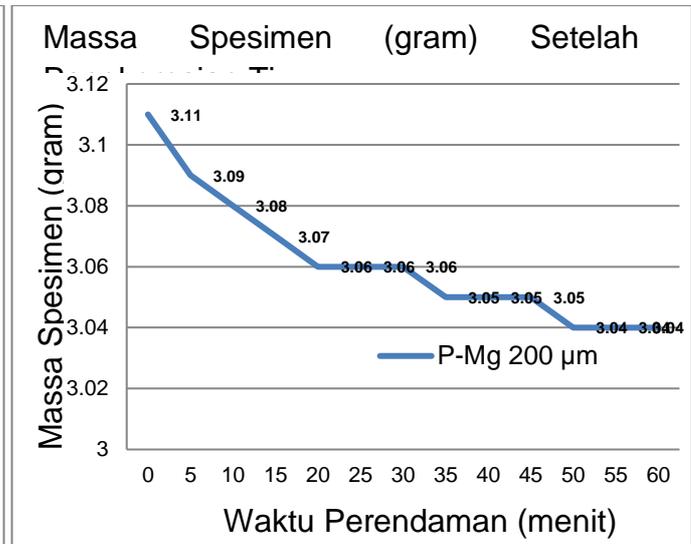
Gambar 4. Struktur Makro (a). P-Mg 100 μm , (b). P-Mg 200 μm dan (c). P-Mg 250 μm

3.2 Uji Korosi

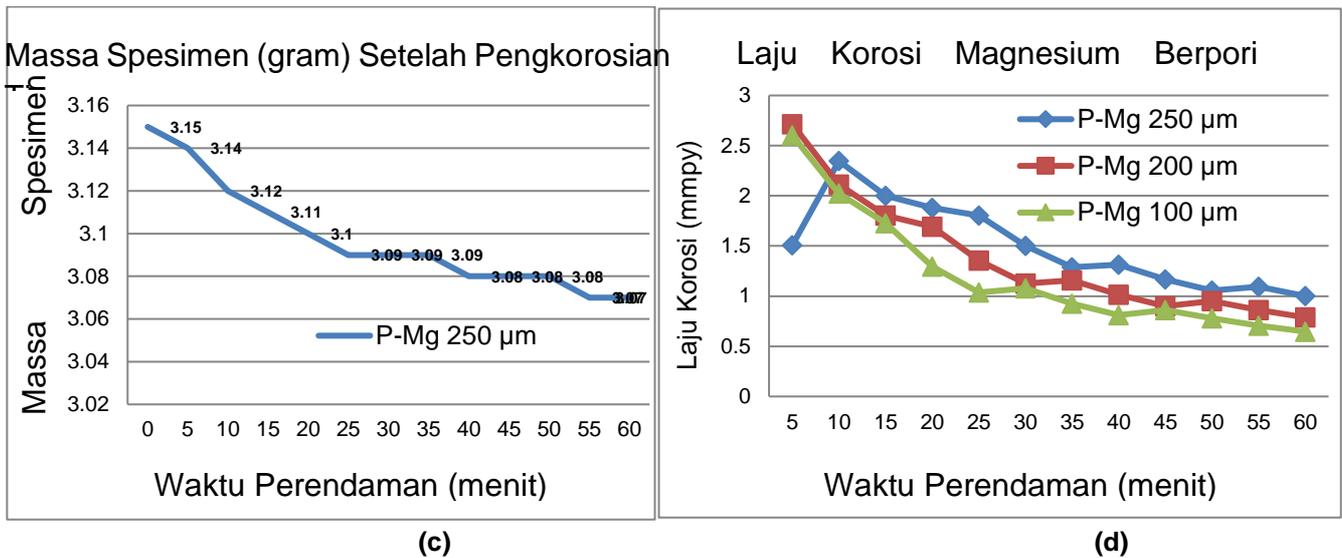
Uji korosi bertujuan untuk mengetahui laju pengurangan masa, laju korosi dan pembentukan magnesium berpori dengan perhitungan pengurangan massa (CPR) *corrosion per rate* seperti pada gambar 5.



(a)



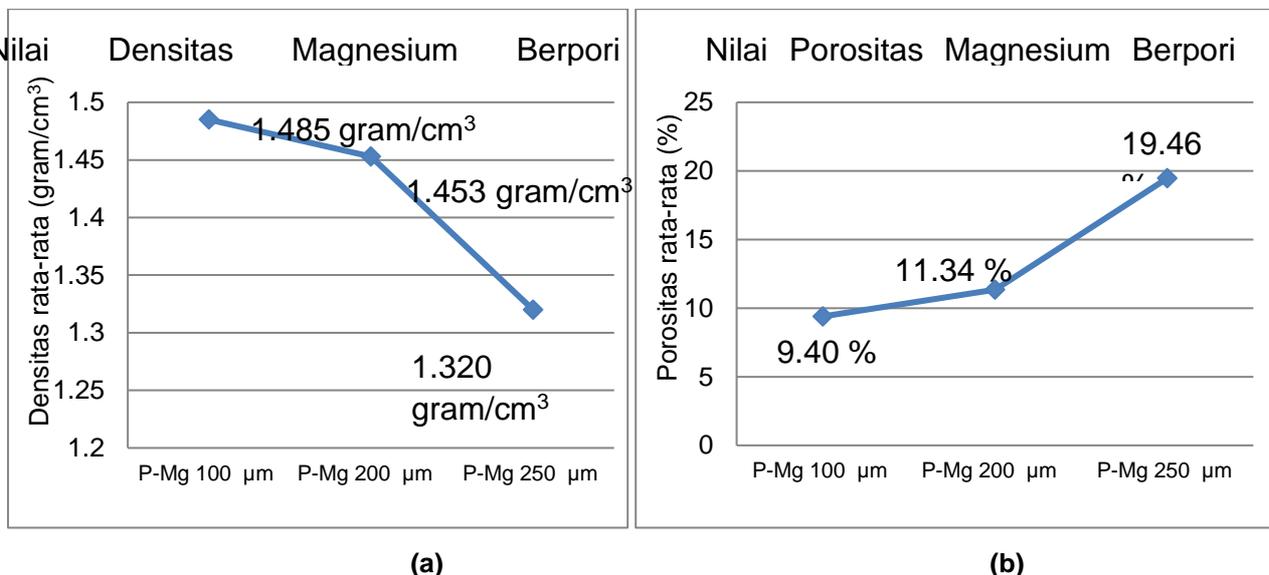
(b)



Gambar 5. Pengurangan Massa Titanium pada (a). P-Mg 100 μm , (b). P-Mg 200 μm , (c). P-Mg 250 μm , dan (c). Laju Korosi Magnesium Berpori

3.3 Uji Densitas-Porositas

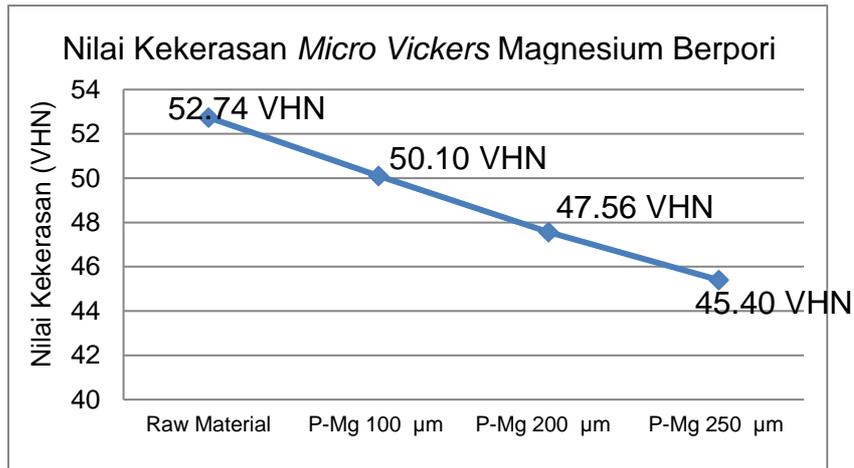
Uji densitas-porositas bertujuan untuk mengetahui kepadatan dan porositas magnesium berpori. Hasil pengujian menggunakan standar ASTM C373-88 berdasarkan hukum Archimedes. Hasil uji densitas-porositas yaitu pada gambar 6 sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik Nilai (a). Densitas dan (b) Porositas

3.4 Uji Kekerasan *Micro Vickers*

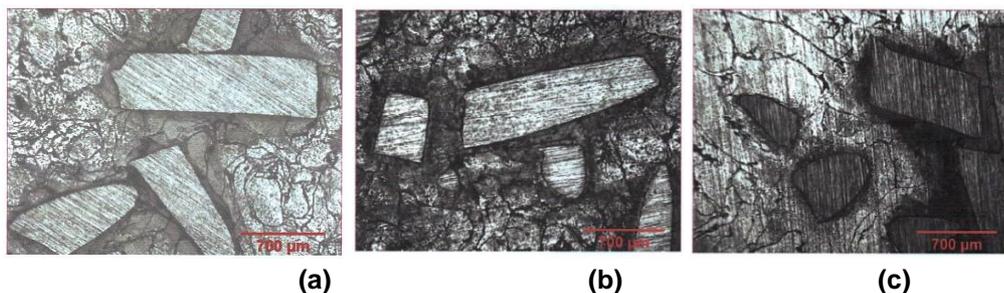
Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dengan standar pengujian JIS B 7725:2010, pengujian kekerasan dilakukan dengan pembebanan 0.1 N penekanan selama 12 detik dengan 6 kali pengujian dengan posisi berbeda. Hasil dari uji kekerasan seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Nilai Kekerasan *Micro Vickers* P-Mg 100 µm, P-Mg 200 µm dan P-Mg 250 µm

3.5 Analisis Struktur Mikro

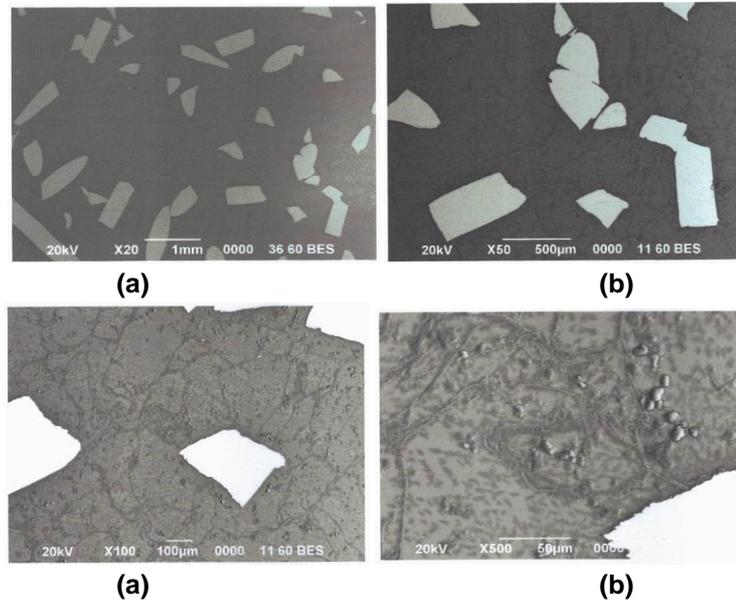
Analisis struktur mikro bertujuan untuk melihat struktur dan *metallography*. Pengujian menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 50 x dengan *etsa picric acid*. Hasil dari uji mikroskopi seperti pada gambar 8.



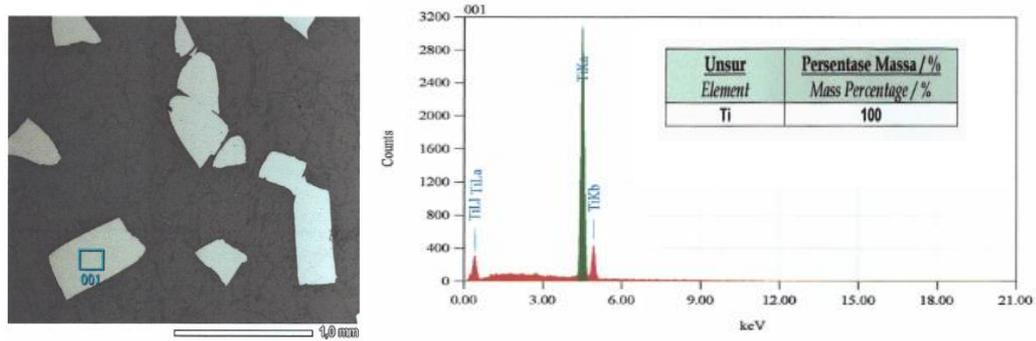
Gambar 8. Struktur Mikro Spesimen (a). P-Mg 100 µm, P-Mg 200 µm dan (c). P-Mg 250 µm

3.6 SEM-EDX

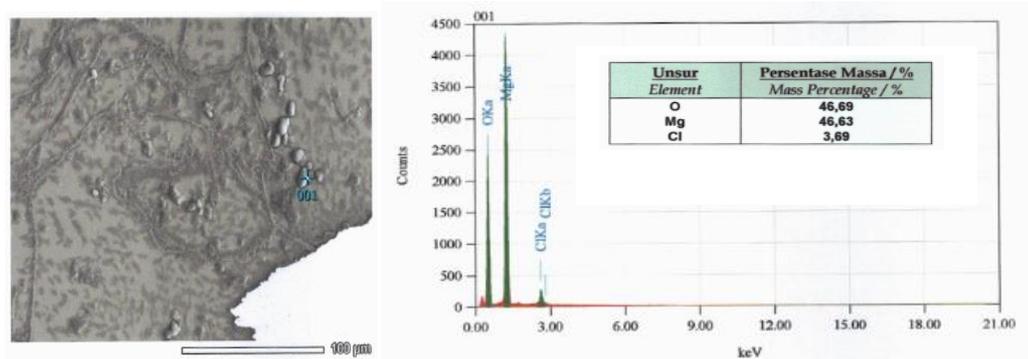
Pengujian SEM-EDX bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dan karakteristik komposisi struktur menggunakan sampel P-Mg 200 µm setelah pengkorosian. Hasil pengujian SEM-EDX pada gambar 9.



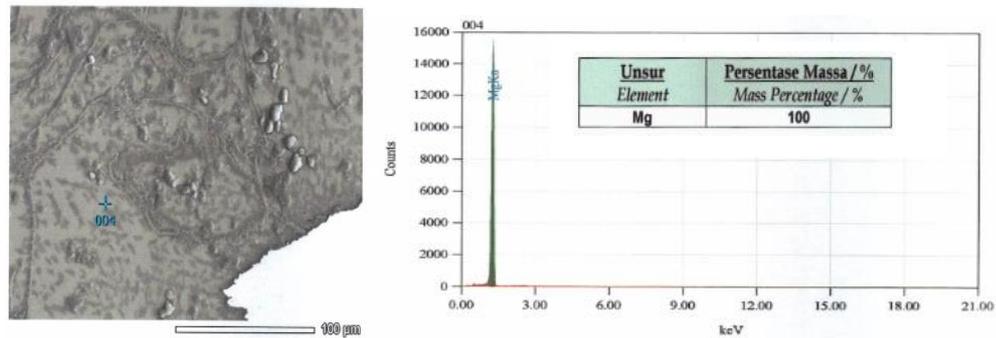
Gambar 9. Foto Mikroskop Elektron P-Mg 200 μm Pembesaran (a) 20x, (b). 50 x, (c) 100x, dan (c) 500x



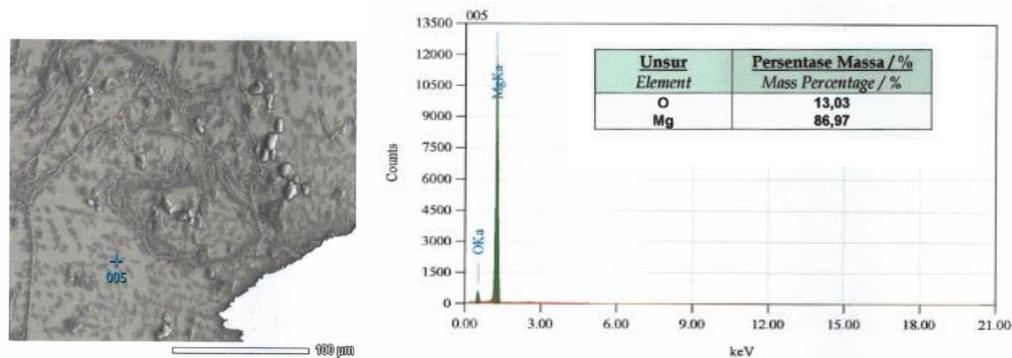
Gambar 10. Grafik Analisis Kualitatif P-Mg 200 μm (Pembesaran 50x)



Gambar 11. Grafik Analisis Kualitatif P-Mg 200 μm (Pembesaran 500x)



Gambar 12. Grafik Analisis Kualitatif P-Mg 200 μm (Pembesaran 500x)



Gambar 13. Grafik Analisis Kualitatif P-Mg 200 μm (Pembesaran 500x)

3.7 PEMBAHASAN

Bencana alam, kecelakaan lalu lintas, faktor usia dapat menjadi penyebab kerusakan pada tulang, patah tulang, retak tulang dan keroposnya tulang pada *cortical bone* maupun pada tulang berongga (*cancelluos bone*). Pada hasil penelitian pembuatan magnesium berpori sebagai bahan implan tulang mampu terdegradasi menunjukkan hasil yang baik namun masih terdapat kekurangan untuk bisa diperbaiki pada penelitian selanjutnya. Pada analisis struktur makro menunjukkan bahwa persebaran Ti (*wire*) akan mengendap dibagian tengah dan dasar spesimen, disebabkan karena massa jenis Ti yang lebih besar dari Mg. Hasil pengujian korosi menunjukkan adanya pengurangan massa spesimen akibat pengkorosian Ti menggunakan larutan HF. Pada spesimen P-Mg 250 μm merupakan spesimen dengan laju korosi yang paling tinggi yaitu sebesar 0.08 gram/jam dan laju korosi sebesar 1.001 cm/jam. Hasil dari pengujian densitas-porositas menunjukkan spesimen P-Mg 250 μm memiliki densitas sebesar 1.453 gram/cm³ dan porositas sebesar 11.34 % semakin besar ukuran serbuk Mg yang dipadukan dengan Ti (*wire*) maka densitas akan semakin rendah dan porositas akan semakin tinggi.

Hasil dari uji kekerasan mikro menunjukkan bahwa nilai kekerasan *raw material* 52.74 VHN, P-Mg 100 μm sebesar 50.10 VHN, P-Mg 200 μm sebesar 47.56 VHN dan P-Mg 250 μm sebesar 45.40 VHN. Nilai tersebut

masih terlalu besar dari nilai kekerasan tulang *cancelluos bone*. Hasil dari pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa ikatan serbuk Mg sangat baik hasil proses kompaksi-*sintering*, namun masih terdapat unsur Ti pada spesimen hal tersebut menunjukkan pengkorosian Ti hanya terjadi pada permukaan spesimen. Hasil dari pengujian SEM-EDX menunjukkan *metallography* spesimen yang baik. Pada pengujian EDX menunjukkan adanya kandungan unsur O disebabkan karena terdapat gelembung udara yang terjebak didalam spesimen saat dilakukan kompaksi-*sintering*. Terdapat juga unsur Ti yang terlalu besar dikarenakan masih terdapat unsur Ti didalam spesimen, karena saat pengkorosian Ti tidak berjalan dengan baik sehingga masih tersisa dan hanya bagian permukaan saja yang terkorosi. Hal ini disebabkan karena serbuk Ti dalam bentuk serbuk (*wire*) sehingga saat dipadukan dengan serbuk Mg persebarannya tidak merata sehingga sulit mengkorosi Ti dibagian dalam spesimen karena tidak terjadi konektivitas sesama serbuk Ti. Namun secara fabrikasi magnesium berpori berpotensi sebagai bahan implan biomedis sebagai skafol tulang berongga (*cancelluos bone*).

IV. KESIMPULAN

Hasil fabrikasi magnesium berpori dengan hasil pengujian fisik maupun mekanik berpotensi sebagai skafol tulang berongga (*cancelluos bone*) sebagai bahan implan biomedis. Proses degradasi Ti pada bahan magnesium tercepat adalah pada kondisi besar butir terbesar (250 μm), yaitu sebesar 0.07 gram/jam, dan laju korosi sebesar 0.7916 mmpy. Selanjutnya, densitas-porositas menunjukkan spesimen P-Mg 250 μm memiliki nilai densitas sebesar 1.453 gram/cm³ dan porositas sebesar 11.34 % yang mendekati dengan sifat asli tulang *cancelluos bone* porositas sebesar 15-30 %. Hasil uji kekerasan *micro vickers* menunjukkan nilai kekerasan *raw material* 52.74 VHN, P-Mg 100 μm sebesar 50.10 VHN, P-Mg 200 μm sebesar 47.56 VHN dan P-Mg 250 μm sebesar 45.40 VHN terlalu besar untuk kekerasan tulang sebesar 10.20 VHN. Sebaran potongan Ti yang merata (homogen) akan meningkatkan kualitas produk magnesium berpori.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada LPPM Unila atas supportnya melalui Hibah BLU Unila.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cheng, M.Q., Wahafu, T., Jiang, G.f., Liu, W., Qiao, Y.Q., Peng, C.X., Cheng, T., Zhang, X.L., He, G., & Liu, X.Y. (2016). *A Novel Open-Porous Magnesium Scaffold with Controllable Microstructures and Properties for Bone Regeneration*. Scientific. Reports.
- [2] Chiras, S., Mumm, D.R., Evans, A.G., Wicks, N., Hutchinson, J.W., Dharmasena, K., Wadley, H.N.G., & Fichter, S. (2002). *The Structural Performance of Near-Optimized Truss Core Panels*. International Journal of Solids and Structures. Vol. 39, hal. 15.
- [3] Iqbal, M. (2018). *Pengaruh Holding Time pada Proses Pengecoran Tekan Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Magnesium AZ31*. Skripsi. Universitas Lampung. Lampung.
- [4] Lefebvre, L., Banhart, J., & Dunand, D.C. (2008). *Porous Metals and Metallic Foams : Current Status and Recent Developments*. Advanced Engineering Materials. Vol.10(9), hal. 775–787.
- [5] Navarro, X., et.al. (2008). *Neural Plasticity After Peripheral Nerve Injury Regeneration. Group of Neuroplasticity and Regeneration*. Institute of Neurosciences Departement of Cell Biology. Physiology and Immunology. Universitat Autònoma de Barcelona
- [6] Sukmana, Irza. (2017). *Ilmu dan Teknologi Biomaterial*. Edisi Pertama. Teknosain: Yogyakarta.
- [7] Wakhid, N. (2018). *Rancang Bangun Perangkat Squeeze Casting untuk Pembuatan Bahan Dasar Material Baut Tulang Berbasis Magnesium AZ31*. Skripsi. Universitas Lampung. Lampung
- [8] Witte, F., Fischer, J., Nellesen, J., Crostack, H.A., Kaese, V., Pisch, A., Beckmann, & Windhagen, H. (2006). *Biomaterials*. Ed. 27, vol. 10, hal. 13.

PENGARUH VARIASI SUHU SINTERING TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PRODUK MAGNESIUM BERPORI UNTUK APLIKASI IMPLAN TULANG

Mahruri Arif Wicaksono¹, Shirley Savetlana¹, Yanuar Burhanuddin, Hadi Nur², Irza Sukmana^{1,*}

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145, Indonesia

² Ibnu Sina Institute, Universiti Teknologi Malaysia, UTM Johor Bahru, Skudai, Malaysia

* Email: irza.sukmana@gmail.com

Abstract: *The development of materials engineering science has reached to many aspects, including medical engineering and science. One of the examples is production technology to produce a porous material for the application of bone scaffold. Bone scaffold is a temporary template implemented for the healing process on bone defect that may causes by natural disasters, traffic accident, and aging. This study aims to produce and determine the physical and mechanical properties of porous magnesium (pMg) product using squeeze casting method of 200 μm powder Mg and 0.3 mm Ti wire-pieces. Powder Mg and Ti pieces were mixed then compacted in 250 MPa then sintered at 3 (three) different sintering temperature, i.e., 300, 400, dan 500°C. Physical and mechanical testing of the pMg results that the lower sintering temperature the lower hardness number. Our optimum sintering temperature is at 400°C.*

Keywords: *Sintering temperature, bone scaffold, porous magnesium, squeeze casting*

Abstrak: Pengembangan ilmu material teknik telah menjangkau berbagai aspek, termasuk bidang kedokteran dan biomedik. Salah satunya adalah teknik produksi bahan berpori untuk aplikasi skafol tulang (*bone scaffold*), terutama untuk kerusakan tulang karena bencana alam (*natural disaster*), kecelakaan lalu lintas, dan penuaan (*aging*). Penelitian ini bertujuan memproduksi bahan magnesium berpori (pMg) menggunakan teknik pengecoran tekan (*squeeze casting*) serbuk Mg berukuran 200 μm dan potongan kawat titanium diameter 0.3 mm (*pieces of titanium wire*) sebagai material penyangga (*space holder*). Struktur pMg didapat dengan mendegradasikan potongan Ti dalam larutan asam hidrofleurik (*hydrofluoric acid, HF*). Bahan pMg didapat dengan proses pengecoran pada tekanan 250 MPa dengan variasi suhu sinter 300, 400, dan 500°C. Hasil pengujian fisik dan mekanik terhadap produk pMg menunjukkan semakin rendah temperatur sinter, semakin cepat proses korosi Ti dan semakin rendah angka kekerasannya. Suhu sinter yang optimum dalam penelitian ini adalah 400°C.

Kata kunci: Temperatur sinter, skafol tulang, magnesium berpori, pengecoran tekan

I. PENDAHULUAN

Sebagai negara yang memiliki letak wilayah unik, terdapat beberapa lempeng di sekeliling Indonesia. Indonesia berada di tiga lempeng aktif yakni Indo-Australia dari selatan, Eurasia dari utara, dan Pasifik dari timur.

Keadaan ini pun mengakibatkan kondisi geologi di bawah permukaan Indonesia terus saja berkejolak setiap waktunya. Akibatnya, munculnya sebuah gunung api baru, gempa bumi, atau tsunami tidaklah bisa dihindari oleh masyarakat tanah air. Maka dari itu pentingnya sebuah mitigasi bencana untuk meminimalisir hal tersebut. Rekayasa material dalam bidang kedokteran digunakan untuk membantu penyembuhan luka pada tubuh manusia pasca bencana. Dapat berupa rekayasa jaringan pada tubuh manusia. Magnesium dipilih karena merupakan material yang *biokompatibelitas*. Salah satu rekayasa biomaterial ini yaitu dengan pembentukan pori pada poros magnesium. Struktur pori sangatlah penting untuk membangun sebuah jaringan *ortopedi* sehingga jaringan tubuh pada manusia khususnya jaringan tulang akan mengalami pertumbuhan jaringan mineral ke dalam jaringan berpori (Karageorgiou et al., 2005). Penelitian ini diharapkan mampu membantu proses penyembuhan luka pada tubuh manusia khususnya kerusakan pada tulang manusia.

1.1 Biomaterial

Biomaterial adalah suatu bahan atau paduan bahan yang berasal dari alam atau sintetis, yang bertujuan untuk memperbaiki, mengganti, atau meregenerasi *tissue*, organ atau fungsi didalam tubuh manusia. Bidang ilmu biomaterial mengarah pada bidang keilmuan material, bidang keilmuan kimia dan bidang keilmuan biologi.

1.2 Prosedur Pengujian Biomaterial

Secara umum pengujian material terdapat 3 tahapan yaitu *In vivo* (Skala lab), *In vitro* (Skala Hewan) dan *Clinis* (Skala pasien). Pengujian skala laboratorium bertujuan untuk menguji respon atau tanggapan dari sel hidup biologi terhadap biomaterial. Pengujian *in vitro* umumnya digunakan untuk jenis sel biologis yang khusus sesuai dengan daerah aplikasi biomaterial. Untuk biomaterial tulang (*in vitro test*) dilakukan untuk mengetahui respon sel tulang seperti *osteoblast*, *osteoclas*, dan *cartilage* (sel tulang hewan) (Safuan dkk, 2014).

1.2.1 Paduan Magnesium dengan kalsium hidrida sebagai *space holder*

Pada penelitian pembentukan logam berpori Mg-Zn dengan Kalsium Hidrida (CaH₂). Komposisi yang digunakan Zn yaitu sebanyak 3% dan CaH₂ sebesar 5% konstan kemudian di tekan dengan menggunakan beban sebesar 200 psi dalam cetakan berbentuk silinder dengan diameter $\phi=10$ mm. Proses sintering dilakukan pada suhu 550°, 600° dan 650°C selama 5 jam dengan di aliri gas argon secara terus menerus kemudian di dinginkan dengan sistem *annealing* (Haibel et al., 2006). Pada suhu sintering 650°C

terbentuk pori sebesar 50-300µm sedangkan pada suhu sintering 550°C terbentuk ukuran pori sebesar 20-100 µm serta pada suhu sintering 600°C menghasilkan pori sebesar 20-200µm. Sedangkan porositas yang terjadi yaitu sekitar 15,64 – 34,57 % berdasarkan uji komposisi 20% NaCl memiliki porositas sebesar 34 % pada suhu sintering 650 °C dengan kekuatan tekan sebesar 194 MPa.

II. MATERIAL DAN METODE

Penelitian pengaruh variasi suhu sintering terhadap pembentukan magnesium berpori menggunakan alat seperti seperangkat sistem kompaksi serta sintering, neraca, gas argon dan seperangkat tool. Sedangkan untuk bahan yang digunakan berupa serbuk magnesium ukuran 200 µm, dan potongan kawat titanium 0.3 mm, larutan asam flourida (HF). Untuk pengujian kekerasan menggunakan standar Test Methods for Knoop and Vickers Hardness Materials ASTM 384 dengan sudut 136° untuk nilai pembebanan 0.1 N waktu indentasi selama 12s, sedangkan untuk pengujian densitas porositas menggunakan standar perhitungan Archimedes.

Menghitung laju korosi yaitu sebagai berikut (Munasir, 2009)

$$CPR = 87.6 \frac{W}{A.T.D} \dots\dots\dots(1)$$

nilai densitas secara actual

$$\rho_{actual} = \frac{M_k}{(M_b - M_g)} \times \rho_{air} \dots\dots\dots(2)$$

$$\rho_{teoritis} = \rho_{Mg} \cdot V_{Mg} - \rho_{Ti} \cdot V_{Ti} \dots\dots\dots(3)$$

menghitung porositas dengan hukum archimedes dan densitas teoritik

$$\Phi = \frac{(\rho_{teoritis} - \rho_{aktual})}{\rho_{teoritik}} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian variasi suhu sintering terhadap pembentukan magnesium berpori di antaranya serbuk mg 200 µm, potongan kawat titanium 0.3 mm, perangkat kompaksi dan sintering dan larutann asam flourida (HF).

2.1.1 Serbuk magnesium dan kawat Titanium

Serbuk magnesium merupakan material utama yang digunakan untuk penelitian dengan ukuran 200 µm sedangkan titanium yang digunakan menggunakan kawat titanium 28 GA (AWG) dengan diameter kawat sebesar 0.3 mm.

2.1.2 perangkat kompaksi dan sintering

perangkat kompaksi terdiri dari beberapa komponen sebagai diantaranya hidrolik press 20 ton, *dies-punch*, dan kerangka alat kompaksi, controller TC4M, elemen pemanas kapasitas 710°C, *thermocouple*, cover *dies-punch*.



Gambar 1. Perangkat alat kompaksi dan sintering

2.1.3 Asam flourida (HF)

Larutan asam fluorida digunakan untuk merendam spesimen Mg-Ti yang telah dilakukan kompaksi dan *sintering* dengan kosentrasi 1 M dengan volume 15 ml.

2.2 Metode Penelitian

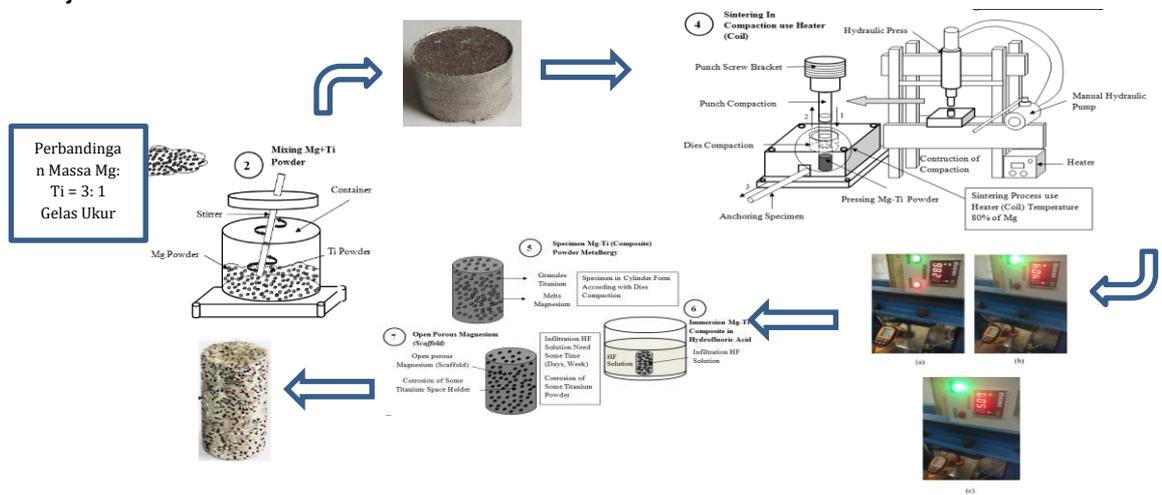
Metode yang digunakan berdasarkan parameter dan variable yang telah ditentukan. Sebagaimana tabel dibawah ini

Tabel.1 parameter penelitian

No.	Ukuran serbuk Mg	Ukuran Ti	Fraksi massa Serbuk Mg: Ti	Holding Time penekanan	Tekanan	Kompaksi serbuk	Temperatur sintering	Holding Time Sintering
1			3: 1			P-mg 300 °C	300°C	
2	200 µm	potonganTi Wire 0.3 mm	8.5 g: 2.83 g	2 menit	250 MPa	P-mg 400 °C	400°C	5 menit
3						P-mg 500 °C	500°C	

2.2.1 Prosedur Penelitian

Mencampurkan serbuk magnesium ukuran 200 μm dengan serbuk titanium perbandingan massa magnesium: titanium 3: 1 dengan massa magnesium sebesar 8,5 gram sedangkan titanium sebesar 2,83 gram. Memasukan campuran serbuk titanium dan magnesium kedalam *dies* Menekan pompa hidraulik sebesar 250 MPa selama 2 menit. Mengatur suhu *heater* dengan temperatur sampai sebesar 300°C, 400°C dan 500 °C. Menyemprotkan gas argon untuk menghilangkan kadar oksigen pada dies agar magnesium tidak berinteraksi dengan oksigen supaya tidak terbakar. Memasukan spesimen hasil kompaksi-*sintering* kedalam larutan HF selama 3-5 jam.



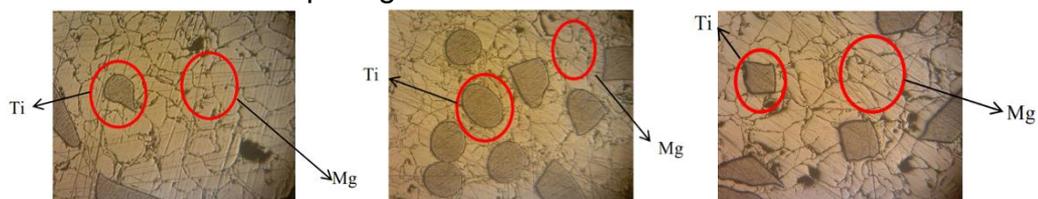
Gambar 2. Metode Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

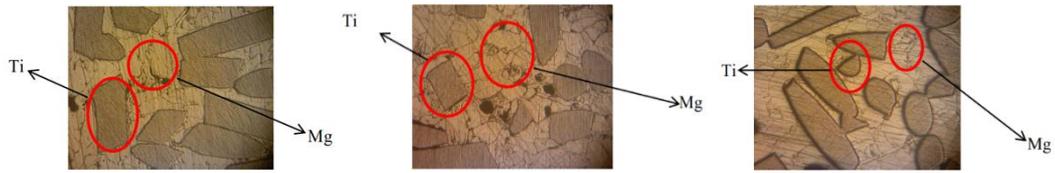
Adapun data dari hasil pengujian magnesium berpori yaitu analisis makro, Pengurangan massa, laju korosi, Densitas-Porositas, Uji kekerasan, Struktur mikro dan SEM-EDX.

3.1 Analisis Struktur makro

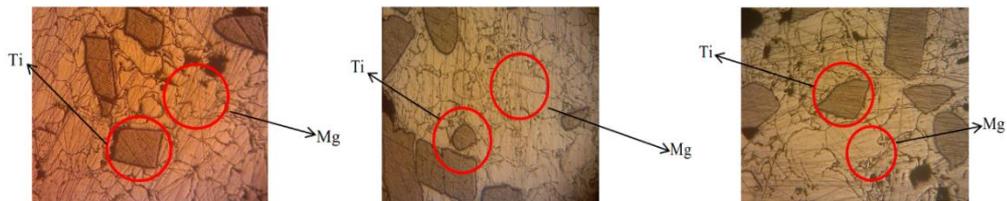
Hasil analisis *optical microscope* (OM) dari material magnesium dan titanium terdapat 3 variasi suhu sintering yang berbeda dengan pembesaran 5 x 5. Seperti gambar dibawah ini.



Gambar 3. Struktur Makro P-Mg 300°C (a) Bagian Permukaan Atas (b) Permukaan Tengah dan (c) Permukaan Bawah



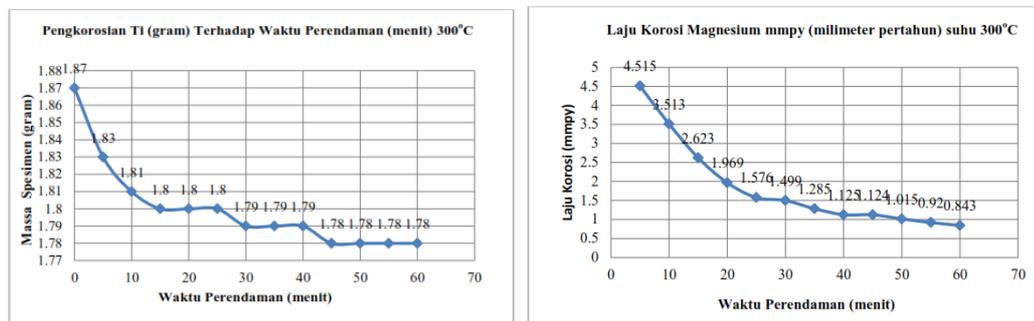
Gambar 4. Struktur Makro P-Mg 400°C (a) Bagian Permukaan Atas (b) Permukaan Tengah dan (c) Permukaan Bawah



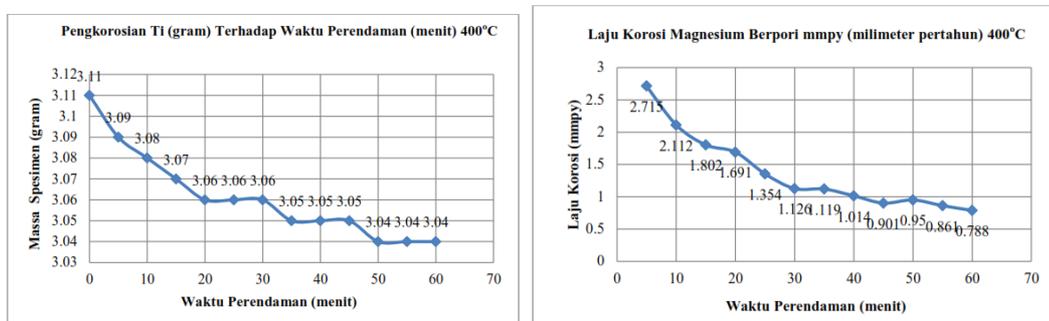
Gambar 5. Struktur Makro P-Mg 500°C (a) Bagian Permukaan Atas (b) Permukaan Tengah dan (c) Permukaan Bawah

3.2 Hubungan pengurangan massa dan laju korosi

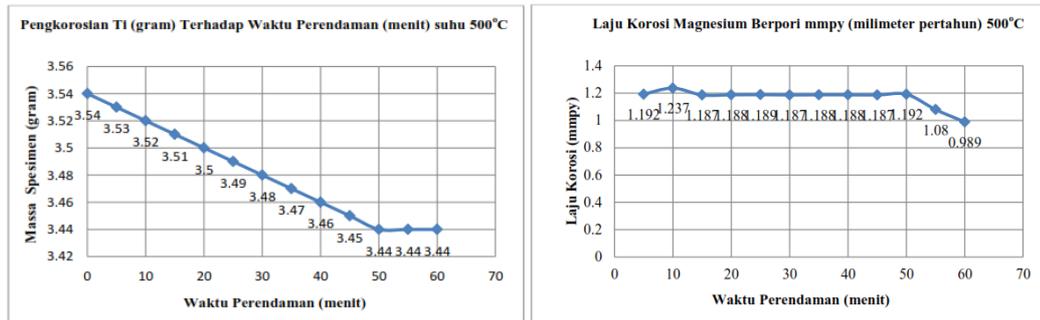
Uji korosi bertujuan untuk mengetahui laju pengurangan masa, laju korosi dan pembentukan magnesium berpori.



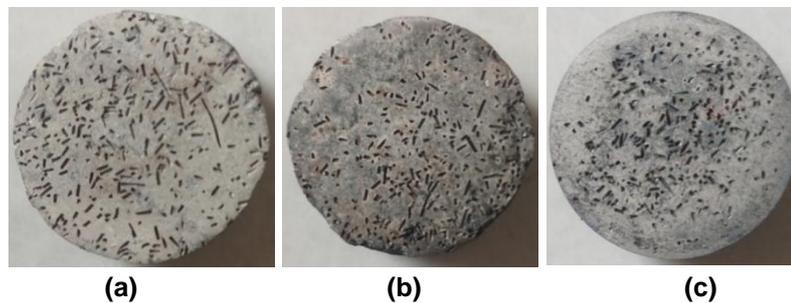
Gambar 6. Grafik hubungan antara pengurangan massa dengan Laju korosi P-Mg 300°C



Gambar 7. Grafik hubungan antara pengurangan massa dengan Laju korosi P-Mg 400°C



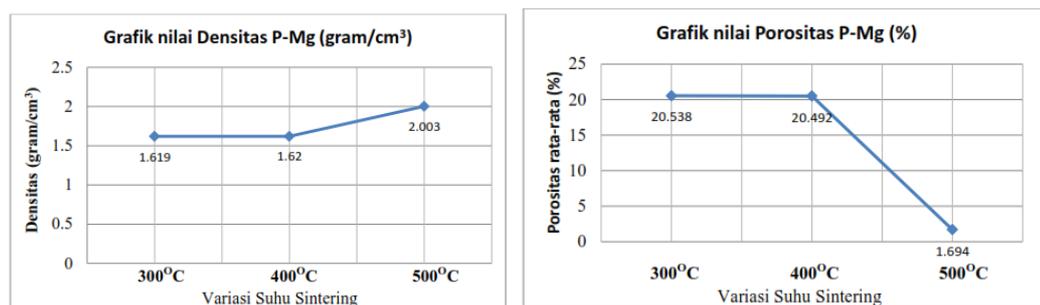
Gambar 8. Grafik hubungan antara pengurangan massa dengan Laju korosi P-Mg 500°C



Gambar 9. Gambar Magnesium Berpori (a). P-Mg 300°C (b). 400°C dan (c). P-Mg 500°C

3.3 Densitas-Porositas

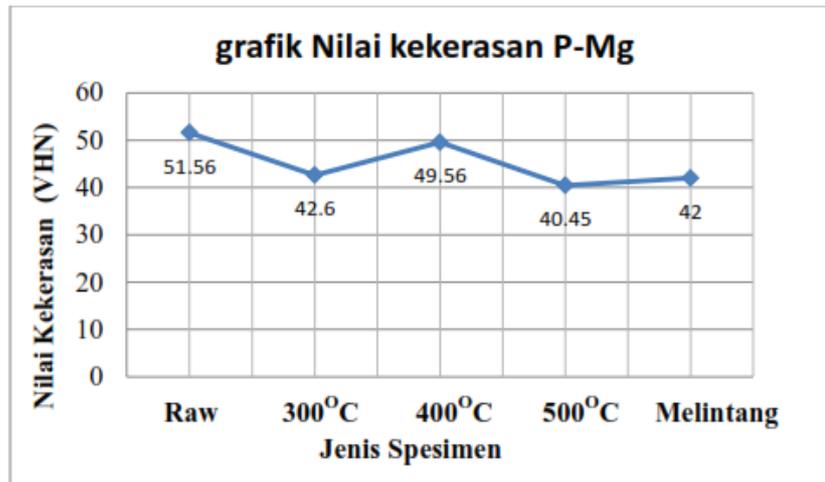
Pengujian densitas-porositas bertujuan untuk mengetahui kepadatan dan porositas magnesium berpori. Hasil pengujian menggunakan standar ASTM C373-88 berdasarkan hukum Archimedes.



Gambar 10. Grafik Densitas dan Porositas P-Mg 300°C, 400°C dan 500°C

3.4 Pengujian Kekerasan

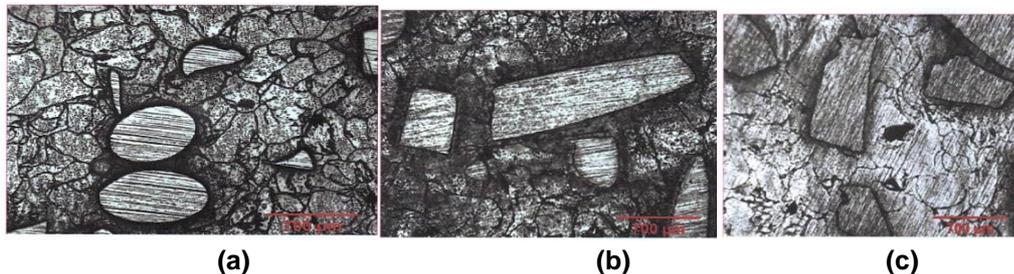
Pengujian kekerasan magnesium berpori mengacu pada ASTM 384 Standard Test Methods for Knoop and Vickers Hardness Materials ASTM 384. Jenis indentore yang digunakan berbentuk piramida intan dengan sudut 136° untuk nilai pembebanan 0.1 N waktu indentasi selama 12s.



Gambar 11. Grafik kekerasan magnesium berpori, Raw material, P-Mg 300°C, 400°C, dan 500°C dalam posisi melintang

3.5 Analisis Struktur mikro

Analisis struktur mikro bertujuan untuk melihat metalografi hasil kompaksi-sintering spesimen Mg-Ti. Pengujian menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 50 x dengan etsa picric acid.

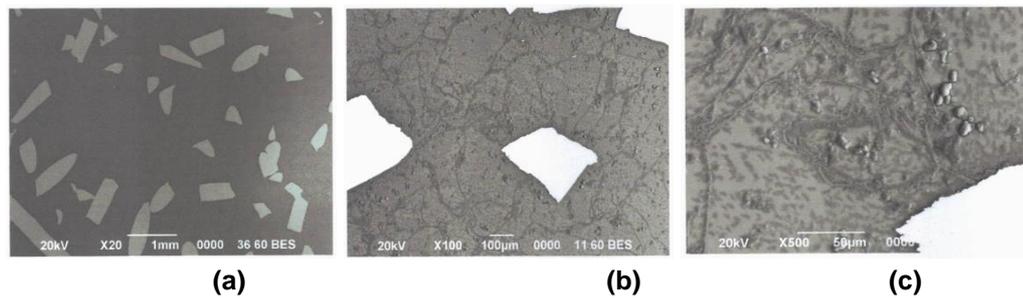


Gambar 12. Struktur mikro spesimen 300°C, 400°C, P-Mg 500°C

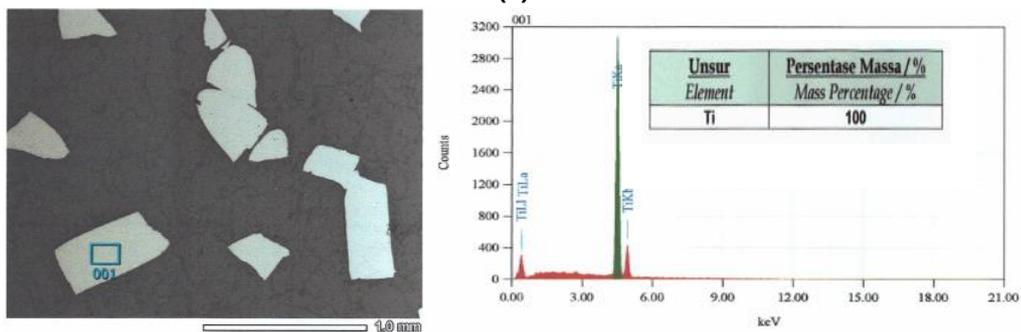
Pada variasi suhu sintering 300°C dapat kita ketahui bahwa porositas yang terjadi cukup besar karena pada suhu tersebut ikatan serbuk masih terlihat renggang sehingga infiltrasi larutan HF dapat meresap sampai ke titanium. Sedangkan pada suhu 400°C ikatan serbuk cukup kuat karena hampir mengalami melting sehingga infiltrasi HF susah untuk meresap dan pada 500°C ikatan serbuk menumpuk dikarenakan serbuk magnesium sudah melting sehingga infiltrasi HF tidak dapat meresap dengan baik.

3.6 SEM-EDX

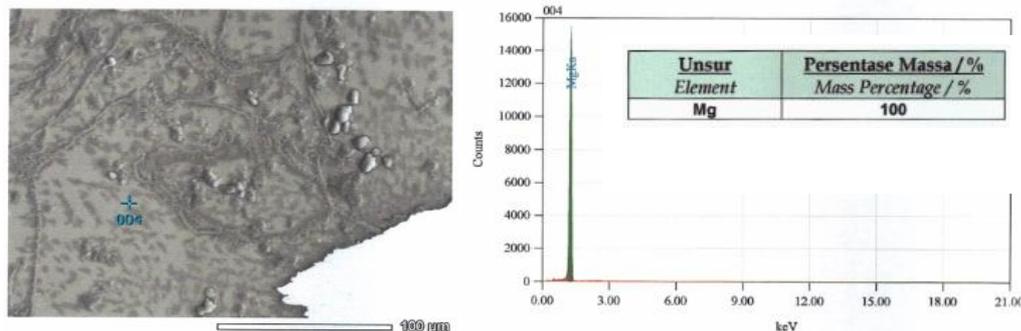
Pengujian SEM-EDX bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dan karakteristik komposisi struktur pembentukan magnesium berpori. Data hasil uji SEM-EDX berupa gambar dengan pembesaran 20x, 50x, 100x dan 500x dan grafik analisis kualitatif (500x).



Gambar 13. Permukaan Elektron Mikroskop Area 1 pembesaran (a) 20x, (b) 100x, dan (c) 500x



Gambar 14. Grafik Analisis Kualitatif Area titanium (Pembesaran 50x)



Gambar 15. Grafik Analisis Kualitatif Area magnesium (Pembesaran 500x)

IV. KESIMPULAN

Pada pengamatan struktur mikro dapat kita ketahui bahwa porositas dan laju korosi tertinggi terjadi pada variasi suhu 300°C tetapi mengalami densitas rendah karena ikatan terlihat renggang karena masih jauh dengan suhu melting. Sedangkan pengujian kekerasan tertinggi pada temperatur 400°C karena pada temperatur tersebut merupakan kondisi cukup untuk menciptakan fase yang bagus sekitar 75% sebelum suhu melting, tetapi pada suhu 300°C tingkat kekerasan rendah dikarenakan ikatan yang tidak sempurna masih jauh dari fase melting, tetapi pada suhu 400°C lebih tinggi daripada suhu 500°C dikarenakan suhu 500°C material menjadi lunak tetapi ulet, pada pengamatan SEM-EDX bahwasanya titanium hanya terkorosi pada bagian permukaan saja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada LPPM Unila atas supportnya melalui Hibah BLU Unila.

DAFTAR PUSTAKA

- Hausner, Henry H, Kumar Mal. 1982. *Handbook of Powder Metallurgy*, 2 Edition. New York: Chemical Publishing Co.,Inc.
- Al-Qureishi, H.A. dkk. 2008. "Analysis of The Fundamental Parameter of Cold Die Compaction of Powder Metallurgy". *Journal of Materials Processing Technology* 199; 417-424
- Al Ruhaimi KA. 2001. Bone graft substitutes: a comparative qualitative histologic review of current osteoconductive grafting materials. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2001;16 (1):105–14.
- German, R. M. 1984. *Powder Metallurgy Science*. (USA: Metal powder Industries Federation,) Giannoudis PV, Dinopoulos H, Tsiridis E. Bone substitutes: an update. *Injury* 2005;36(Suppl. 3):S20–7.
- S. Lee, M. Porter, S. Wasko, G. Lau, P. Chen, E. E. Novitskaya, A. P. Tomsia, A. Almutairi, M. A. Meyers, dan J. Mckittrick. 2012. "Potential bone replacement materials prepared by two methods," *MRS Proceedings*, vol. 1418, 2012.
- Diana, F. N. 2010. Simulasi dengan Metode Monte Carlo untuk Proses Pembuatan Nano Material Menggunakan Ball Mill. Skripsi Sarjana. Universitas Indonesia. Depok.

PENGELOLAAN AIR BALAS KAPAL DI PERAIRAN PT. PELINDO I SESUAI REGULASI IMO MEPC 56/23 ANNEX 2 BERBASIS MITIGASI RISIKO LINGKUNGAN

Minto Basuki¹, Lukmandono², Maria Margareta Zau Beu³

¹Jurusan Teknik Perkapalan, FTMK- ITATS

²Jurusan Teknik Industri FTI-ITATS

email: mintobasuki@itats.ac.id

Abstrak: Penelitian ini bertujuan mengetahui dan menghitung pengaruh *ballasting* dan *deballasting* terhadap lingkungan disekitar pelabuhan wilayah PT. Pelindo I dengan pusat di Medan. Sesuai regulasi *International Maritime Organization (IMO) MEPC 56/23 ANNEX 2*, air balas kapal tidak boleh langsung dibuang pada perairan dan harus diolah dahulu menggunakan alat pengolah. Untuk kapal-kapal baru, implementasi regulasi tersebut tidak menjadi masalah, peralatan bisa dipasang dikapal. Pada kapal lama, akan menjadi sebuah masalah, berkaitan dengan kebutuhan ruangan untuk meletakkan alat, biaya dan waktu untuk *docking*. Data yang dipakai untuk analisis berdasarkan data jumlah kunjungan kapal, jumlah air balas yang dibuang kapal, berkaitan dengan pengaruh risiko lingkungan. Metode yang dipakai adalah analitis dengan menghitung kemungkinan air balas kapal yang dibuang pada perairan pelabuhan, *net cash flow* dan eskternalitas pelabuhan. Hasil penelitian didapatkan potensi air balas kapal yang dibuang sebesar 140.000 ton atau setara 141.000 kilo liter setiap tahun dengan asumsi 60% kapal yang membuang air balas. Biaya eksternalitas akibat kerusakan lingkungan perairan laut rata-rata pada tahun 2013-2017 adalah 5,08 milyar rupiah.

Kata kunci: IMO, air balas, pengolahan, eksternalitas, kapal

I. PENDAHULUAN

Secara logika, pelayaran dari satu daerah kedaerah lain, maka pada saat kapal berlayar pulang pergi, muatan kapal harus dalam keadaan penuh, sehingga akan menguntungkan pihak pemilik kapal, dan kapal harus tetap dijaga dalam kinerja yang optimal. Kinerja kapal yang optimal akan diperoleh pada saat kapal berlayar dalam posisi sarat maksimal, sehingga propeller juga bisa bekerja secara optimal untuk menghasilkan daya dorong. Pada saat kapal dalam kondisi kosong, untuk menjaga kinerja propeller tetap optimal, diperlukan tambahan sarat kapal dengan menambahkan beban berupa air balas. Kegiatan memasukkan dan mengeluarkan air laut dari dan ke dalam kapal tampaknya seperti kegiatan yang tidak menimbulkan masalah dan juga kegiatan yang tidak ada salahnya dan kegiatan ballasting kapal ini sangat penting untuk pengoperasi pelayaran kapal yang aman dan efisien, namun tidak disadari bahwa kegiatan ini dapat menimbulkan perubahan ekologi laut, menimbulkan permasalahan ekonomi dan menimbulkan dampak kesehatan yang serius pada biota laut dan manusia karena banyaknya

kedatangan spesies laut yang diakibatkan oleh adanya air balas kapal. Kegiatan balas ini telah diatur dalam konvensi internasional oleh IMO (*International Maritime Organization*) yang lahir dari *London Protocol* dan *London Convention*, tentang Pencegahan Pencemaran Laut karena Pembuangan Limbah dan Material lain. Tujuan dari Konvensi London dan Protokol London adalah untuk mengontrol semua sumber pencemaran laut dan mencegah pencemaran laut melalui peraturan dumping dari bahan limbah. Limbah disebut sebagai *black and grey-list* (daftar hitam dan daftar abu-abu) yang dianggap sebagai limbah, yang dapat dipertimbangkan untuk dilakukan pembuangan di laut sesuai dengan kadar bahayanya pada lingkungan. Untuk item yang masuk dalam daftar hitam dilarang dibuang di laut. Berdasarkan peraturan Menteri Lingkungan Hidup nomor 11 tahun 2006, industri galangan kapal yang melakukan pekerjaan reparasi kapal yang berpotensi menghasilkan limbah cair (*air ballast*, pengecatan lambung kapal dan menghasilkan limbah B3) maupun menghasilkan limbah gas dan debu dari kegiatan *sand blasting* dan pengecatan untuk ukuran lebih dari 50.000 DWT harus dilengkapi dengan amdal. Perlindungan lingkungan secara internasional tercantum dalam MARPOL (*Marine Pollution*) yang terbagi dalam 6 annex. Annex tersebut meliputi: (i) perlindungan dari minyak, (ii) perlindungan cairan NOx berbentuk curah, (iii) perlindungan barang berbahaya dalam kemasan, (iv) perlindungan dari air kotor/air buangan, (v) perlindungan dari sampah dan (vi) perlindungan dari polusi udara.

Mulai tahun 2005, Brazil telah menerapkan regulasi berkaitan dengan *ballast water management*. Penerapan dan implementasi ini telah dilakukan pada 39 pelabuhan yang ada di Brazil. Setelah 5 tahun penerapan, telah membawa dampak pada tingkat penerapan sampai 97% oleh industri maritim yang ada [3]. Indonesia telah meratifikasi konvensi ballast water management pada tanggal 24 Nopember 2015. Sejalan dengan ratifikasi tersebut, maka Indonesia telah memasukan peraturan *ballast water management* dalam Peraturan Pemerintah. Peraturan yang mengatur adalah Peraturan Presiden Nomor 132 tahun 2015 mengenai pengesahan Konvensi internasional untuk pengendalian dan manajemen air ballas dan sedimen dari kapal 2004 (*The International Convention for the control and management of ships ballast water and sediment's 2004*).

Penelitian berkaitan dengan *Ballast Water Management* telah dilakukan oleh beberapa peneliti, antara lain. Basuki dkk [8] melakukan penilaian risiko akibat pembuangan air balas kapal menggunakan deterministik dan matrik risiko. [9] melakukan proses penilaian risiko lingkungan akibat pembuangan air balas kapal di Pelabuhan Tanjung Perak

Surabaya berdasarkan jumlah kunjungan kapal internasional, potensi kerusakan ekologi laut dan mengusulkan model penanganan buangan air balas kapal. Perlunya penerapan aturan nasional dan internasional (IMO) dalam pengelolaan air balas kapal. Didaerah Pelindo II Jakarta, ada potensi air balas kapal yang langsung dibuang kapal ke lingkungan laut sebesar 48,741.06 kL pertahun, dan ini harus dikelola dengan baik [10]. Diperlukan pengurangan *Biological invasions* seperti yang disyaratkan oleh IMO pada proses pembuangan air balas kapal [1]. Metode pengolahan air balas kapal dilakukan dengan beberapa metode, perlu dipilih metode yang optimum dengan membandingkan metode *Ultraviolet Irradiation And Electrochlorination* dalam penanganan air balas kapal ditinjau dari segi biaya [5]. Menggunakan UV treatment untuk mengotrol air balas kapal yang dibuang pada pelabuhan, seperti persyaratan IMO regulasi D2, [4] [2].

Transportasi barang menggunakan moda laut, terus tumbuh dai tahun ke tahun. Sekitar 90% barang dunia ditransportasikan melalui media laut hal ini akan menyebabkan perpindahan spesies dari satu daerah ke daerah lain akibat air balas yang dibuang oleh kapal pengangkut. Perbandingan metode pengolahan air balas menggunakan UV *irradiation* dengan *electrochlorination* menggunakan perbandingan efisiensi biaya berdasarkan pemakaian bahan bakar [5]. Penelitian berkaitan dengan *Marine Phytoplankton* pada empat pelabuhan di Tanjung Priok, dengan membandingkan *Marine Phytoplankton* pada perairan pelabuhan dan yang terkandung dalam air balas kapal yang dibuang kapal pada pelabuhan. Sampel air balas di pilih dari beberapa tipe kapal yang berlabuh dan membuang air balas, pada periode Nopember 2011 sampai Oktober 2012 [6]. Analisis spesies yang terkandung dalam air balas yang dibuang kapal di Valdez, Alaska dari beberapa kapal yang berkunjung dari perairan Pasifik di USA. Dari hasil analisis terdapat hasil yang berkorelasi antara spesies yang invasive dari hasil pembuangan air balas kapal [7]. Model pengolahan air balas kapal di pelabuhan di Indonesia bisa dilakukan dengan metode pengolahan di darat dan model pengolahan ditampung pada tongkang [11].

II. MATERIAL DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada wilayah kerja PT. Pelindo I dengan pusat di Medan. Penelitian ini adalah tipe penelitian dengan data lapangan, berupa jumlah kunjungan kapal, baik kapal nasional (domestik) dan kapal asing. Dari jumlah kunjungan kapal, dilakukan analisis berupa jumlah air balas kapal yang dibuang pada perairan pelabuhan. Analisis juga dilakukan berkaitan dengan faktor eksternalitas akibat kunjungan kapal, operasional kapal dan operasional pendukung lain.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Wilayah perairan Indonesia yang begitu luas mempunyai potensi sangat luar biasa, salah satunya adalah dalam bidang ekonomi maritim. Pengelolaan ekonomi maritim dilakukan melalui proses perdagangan antar wilayah secara domestik dan secara internasional. Salah satu faktor pendukung dalam mengelola ekonomi maritim dalam kaitan dengan konektivitas antar wilayah adalah pelabuhan. Secara garis besar, pengelolaan pelabuhan di Indonesia dilakukan oleh BUMN pelabuhan, yaitu PT. Pelindo. PT. Pelindo di bagi menjadi 4, yaitu PT. Pelindo I, II, III dan IV, pembagian ini berdasarkan wilayah dan kondisi geografis.

Peningkatan perdagangan domestik dan internasional yang diikuti dengan proses transportasi barang dan jasa yang dipindahkan, maka juga akan diikuti dengan meningkatnya kebutuhan alat transportasi dan segala fasilitasnya. Hal ini juga akan menjadi peluang dan tantangan bagi pengelola pelabuhan, karena akan mempunyai dampak positif dan negatif. Dampak positif, bahwa pada daerah tersebut telah berkembang perekonomiannya dan akan terjadi konektivitas antar wilayah, mengurangi disparitas harga. Dampak negatif, adanya pengaruh terhadap budaya, lingkungan social dan lingkungan alam pada umumnya. Tabel menunjukkan jumlah kunjungan kapal yang bongkar dan muat di daerah PT. Pelindo I, baik arus kapal domestik dan arus kapal internasional.

Tabel 1. Kunjungan Kapal Domestik dan Internasional di PT. Pelindo I

No	Alur Pelayaran	Satuan	Tahun				
			2013	2014	2015	2016	2017
1	Kapal Asing	Unit	9,288	10,587	10,037	9,375	9,713
		GT	21,028,175	23,597,031	23,057,422	25,260,000	21,044,512
2	Kapal Nasional	Unit	55,728	63,519	60,221	56,251	58,276
		GT	126,169,052	141,582,184	138,344,533	151,560,002	126,267,074
Total		Unit	65,016.00	74,106.00	70,258.00	65,626.00	67,989.00
		GT	147,197,227.00	165,179,215.00	161,401,955.00	176,820,002.00	147,311,586.00

Berdasarkan tabel tersebut diatas, dapat dilihat bahwa kunjungan kapal domestik (nasional) masih mendominasi dan mempunyai kecenderungan fluktuatif. Demikian juga kunjungan kapal dengan rute internasional masih cenderung fluktuatif. Melihat data pada tabel tersebut juga, khususnya kunjungan kapal rute internasional, maka perlu dipikirkan adanya pembuangan air balas kapal (*deballasting*) yang diindikasikan adanya spesies terikut dan bersifat invasive.

Arus kunjungan kapal seperti tersebut dalam tabel diatas, pasti akan diikuti dengan arus bongkar muat barang pada daerah tersebut. Arus barang bisa dilakukan dalam bentuk yang dikemas dalam petikemas atau barang dalam bentuk non petikemas (curah, karung, general cargo). Arus petikemas pada perdagangan domestik dan internasional yang dikelola

oleh PT. Pelindo I, selama kurun waktu tahun 2013 – 2017 seperti pada tabel 2. Arus barang dalam bentuk non petikemas yang mengikuti arus kunjungan kapal, pada perdagangan domestik dan internasional seperti pada tabel 3.

Tabel 2. Arus Petikemas Yang Dikelola PT. Pelindo I

No	Alur Pelayaran	Satuan	Tahun				
			2013	2014	2015	2016	2017
1	Perdagangan Internasional	TEU's	606,881.36	601,155.91	544,041.36	523,610.00	521,338.18
2	Perdagangan Domestik	TEU's	728,257.64	288,239.00	354,902.00	583,942.00	784,920.00
	Total	TEU's	1,335,139.00	1,322,543.00	1,196,891.00	1,151,942.00	1,146,944.00

Tabel 3. Arus Barang NonPetikemas Yang Dikelola PT. Pelindo I

No	Alur Pelayaran	Satuan	Tahun				
			2013	2014	2015	2016	2017
1	Perdagangan Internasional	Ton	33,549,129.55	35,064,004.09	21,320,920.45	24,924,023.18	22,677,454.09
2	Perdagangan Domestik	Ton	40,258,955.45	42,076,804.91	25,585,104.55	29,908,827.82	27,212,944.91
	Total	Ton	73,808,085.00	77,140,809.00	46,906,025.00	54,832,851.00	49,890,399.00

3.1. Dampak Kunjungan Kapal dan Arus Barang

Konsumsi terhadap barang publik sering menimbulkan apa yang disebut sebagai eksternalitas atau dampak eksternal. Secara umum eksternalitas didefinisikan sebagai dampak (positif atau negatif) atau dalam bahasa formal ekonomi sebagai *net cost* atau *benefit* dari tindakan satu pihak terhadap pihak lain. Lebih spesifik lagi eksternalitas terjadi jika kegiatan produksi atau konsumsi dari satu pihak mempengaruhi utilitas/kegunaan dari pihak lain secara tidak diinginkan, dan pihak pembuat eksternalitas tidak menyediakan kompensasi terhadap pihak yang terkena dampak. Eksternalitas merupakan fenomena yang kita hadapi sehari-hari, yang tidak hanya terbatas pada pengelolaan sumber daya alam. Didalam sebuah sistim ekonomi, fungsi mendasar dari produksi, distribusi dan konsumsi terjadi dalam sebuah lingkungan alam. Lingkungan alam ini memainkan peran sebagai penyedia barang-barang mentah dan bahan-bahan energi, yang tanpanya proses produksi dan konsumsi tidak akan terjadi. Hasil dari proses produksi dan konsumsi selain barang dan jasa, adalah limbah atau sampah yang merupakan efek samping dari proses produksi dan konsumsi dan limbah ini bisa dibuang kembali ke alam setelah melalui proses pemurnian, atau limbah bisa didaur ulang (*recycle*). Hal tersebut juga berlaku dalam proses operasional di pelabuhan, khususnya dampak terhadap lingkungan udara dan dampak terhadap lingkungan laut.

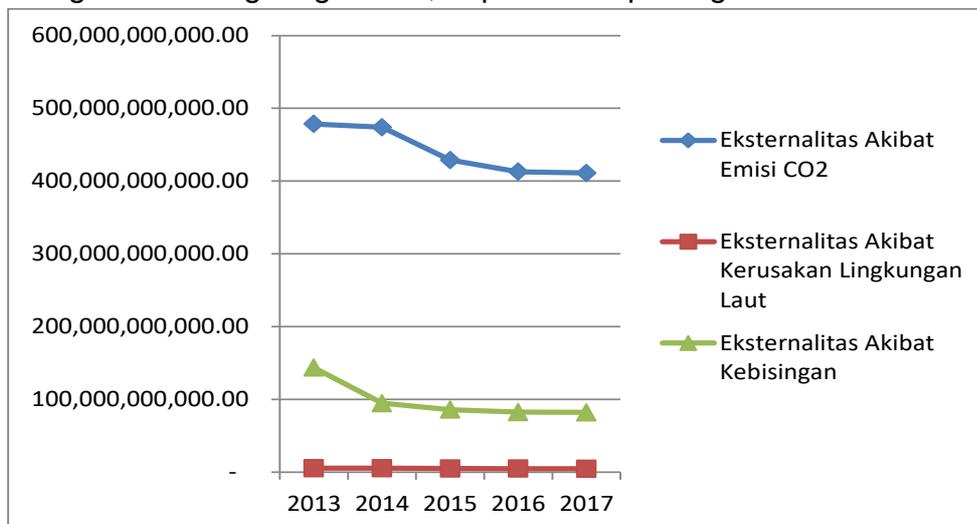
Melihat kecenderungan peningkatan kunjungan kapal dan peningkatan arus barang yang ditrasportasikan melalui moda laut, akan memberikan dampak pada lingkungan pelabuhan. Dampak terhadap lingkungan pelabuhan, berupa dampak kepada lingkungan udara dan lingkungan laut.

Faktor eksternalitas ini juga harus diantisipasi oleh pengelola pelabuhan, berkaitan dengan biaya yang harus ditanggung oleh operator pelabuhan, dalam kaitannya dengan masyarakat, akibat dampak yang ditimbulkannya. Biaya berkaitan dengan faktor eksternalitas didekati dengan *Net Cash Flow*. *Net Cash Flow* merupakan transaksi yang terjadi sebetulnya antara masyarakat sekitar dengan operator pelabuhan, dalam hal ini PT. Pelindo I. *Net cash flow* adalah *benefit* dikurangi dengan *cost*, keduanya dalam *direct* maupun *indirect*. Juga dalam analisis ini digunakan konversi, 1 \$ adalah sama dengan Rp. 14.000,-. Secara lengkap perhitungan *net cash flow* dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. *Net Cash Flow* Tahun 2013-2017 PT. Pelindo I

Komponen	2013	2014	2015	2016	2017
Benefit Direct:					
Tambat Internasional	38,565,673,474.00	43,276,954,330.00	42,287,312,210.00	46,326,840,524.00	38,595,635,532.00
Tambat Domestik	14,635,609,998.86	16,423,533,377.14	16,047,965,811.43	17,580,960,198.86	14,646,980,550.86
Air Bersih Internasional	20,805,120,000.00	23,713,920,000.00	22,482,560,000.00	21,000,320,000.00	21,756,480,000.00
Air Bersih Domestik	13,932,000,000.00	15,879,857,142.86	15,055,285,714.29	14,062,714,285.71	14,569,071,428.57
Cargo handling Internasional	4,881,449,386,715.91	4,935,000,212,110.45	3,899,873,726,088.64	3,992,924,529,989.55	3,859,297,410,405.91
Cargo handling Domestik	3,780,078,488,124.55	2,917,945,164,590.73	2,166,603,048,913.64	2,901,980,746,547.45	3,194,295,714,770.73
Penumpukan barang	276,009,644,181.82	197,604,791,545.46	195,289,175,818.18	230,369,578,000.00	333,665,086,909.09
Wharf Fee	74,387,269,385.00	73,685,483,245.00	66,684,782,065.00	64,180,448,530.00	63,901,984,960.00
Transshipment	1,804,100,504,936.36	1,172,443,076,190.91	1,194,505,827,336.36	1,493,566,981,400.00	10,565,648,128.00
Benefit Indirect:					
Tenaga Kerja	6,275,482,200,000.00	6,506,369,208,000.00	4,238,995,320,000.00	4,777,363,512,000.00	4,417,908,408,000.00
Total Benefit	17,179,445,896,816.50	15,902,342,200,532.50	11,857,825,003,957.50	13,559,356,631,475.60	11,969,202,420,685.20
Cost Direct:					
Operasional	5,153,833,769,044.95	4,770,702,660,159.76	3,557,347,501,187.26	4,067,806,989,442.67	3,590,760,726,205.55
Cost Indirect:					
Biaya eksternalitas akibat emisi CO2	478,529,191,884.89	474,014,640,440.45	428,979,516,742.68	412,869,277,549.58	411,077,936,797.01
Biaya eksternalitas akibat kerusakan lingkungan laut	5,514,199,032.49	5,462,176,845.28	4,943,227,030.44	4,757,585,136.74	4,736,943,116.13
Biaya Kebisingan	143,558,757,565.47	94,802,928,088.09	85,795,903,348.54	82,573,855,509.92	82,215,587,359.40
Tenaga Kerja	6,275,482,200,000.00	207,532,080,000.00	255,529,440,000.00	420,438,240,000.00	565,142,400,000.00
Pajak dari Benefit direct	1,635,594,554,522.47	1,409,395,948,879.88	1,142,824,452,593.63	1,317,298,967,921.34	1,132,694,101,902.77
Total Cost	13,692,512,672,050.30	6,961,910,434,413.46	5,475,420,040,902.54	6,305,744,915,560.24	5,786,627,695,380.86
Net Cash Flow	3,486,933,224,766.22	8,940,431,766,119.08	6,382,404,963,054.99	7,253,611,715,915.33	6,182,574,725,304.30

Eksternalitas yang harus ditanggung oleh operator pelabuhan (PT. Pelindo I), berkaitan dengan lingkungan udara akibat emisi CO2 dan kebisingan serta lingkungan laut, dapat dilihat pada gambar 1.

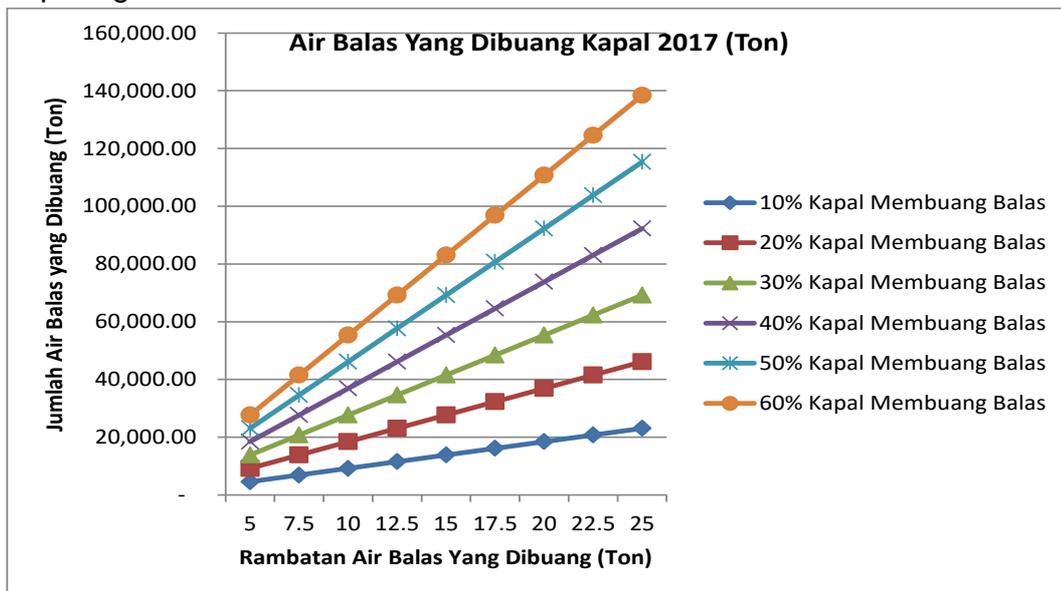


Gambar 1. Eksternalitas Lingkungan Akibat Operasional Pelabuhan di PT. Pelindo I

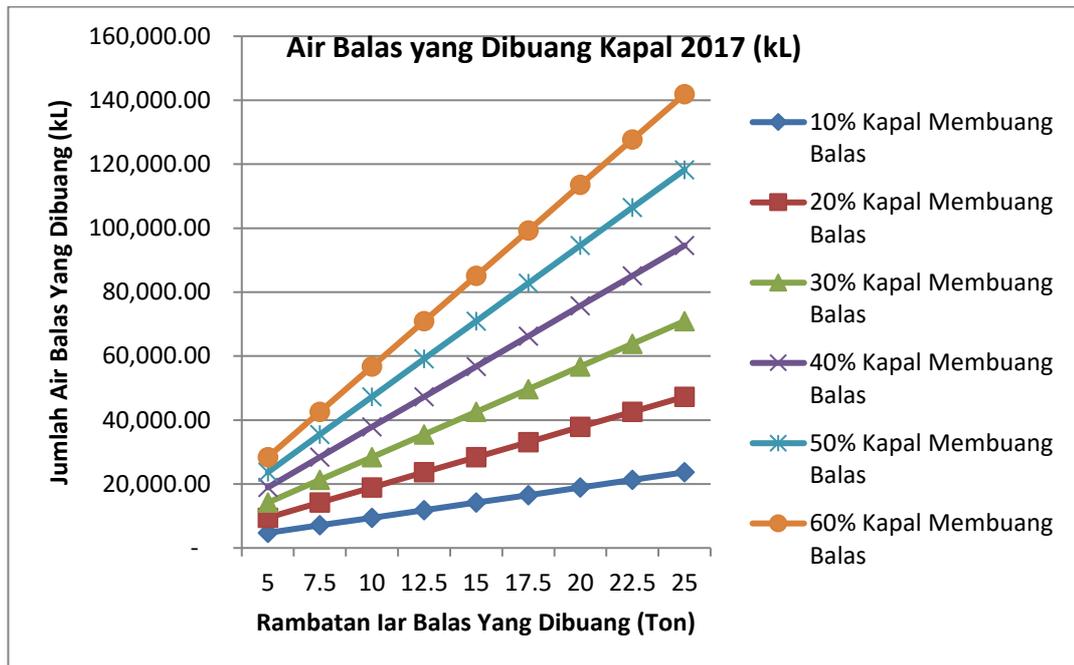
Melihat gambar 1 diatas, semakin banyak kunjungan kapal, bongkar muat akan berdampak logis pada operasional pelabuhan. Dampak nyata adalah peningkatan jumlah alat dengan penggerak mula berbasis bahan bakar fosil (truk, forklift, dan alat angkat dan alat angkut lain). Pemberlakuan aturan IMO (*International Maritime Organization*) berkaitan dengan pengelolaan air sudah diberlakukan dan Indonesia sudah meratifikasi aturan tersebut pada Nopember 2015. Aturan internasional tersebut harus diantisipasi dengan baik, karena hal ini akan berpengaruh pada perlindungan lingkungan laut.

3.2 Pengelolaan Air Balas Kapal

Berdasarkan regulasi internasional yang dikeluarkan badan maritim dunia yaitu IMO (*International Maritime Organization*) yang berkaitan dengan *Ballast Water Management*, pembuangan air balas kapal tidak boleh sembarangan. Sebelum air balas kapal dibuang pada pelabuhan tujuan, maka air balas tersebut harus diolah sedemikian rupa, sehingga spesies-spesies terikut yang invasive bisa dicegah. Berdasarkan jumlah kunjungan kapal, khususnya kapal-kapal rute internasional, maka dapat diprediksikan jumlah air balas yang dibuang. Jumlah air balas yang dibuang kapal, didekati dengan menghitung jumlah kapal, yaitu 10% sampai 60% seluruh kapal membuang air balas. Jumlah air balas yang dibuang tiap kapal divariasikan antara 5 ton sampai 25 ton dengan rambatan 2,5 ton, seperti gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Jumlah Air Balas Kapal Yang Dibuang Tahun 2017 (Ton)



Gambar 3. Jumlah Air Balas Kapal Yang Dibuang Tahun 2017 (kL)

IV. KESIMPULAN

Pada tahun 2017, ada potensi air balas kapal yang dibuang sebesar 140.000 ton atau setara 141.000 kilo liter setiap tahun dengan asumsi 60% kapal yang membuang air balas dan tiap kapal membuang 25 ton. Biaya eksternalitas akibat kerusakan lingkungan perairan laut rata-rata pada tahun 2013-2017 adalah 5,08 milyar rupiah. Biaya ini dipakai untuk mitigasi risiko lingkungan akibat kerusakan lingkungan perairan pelabuhan akibat buangan air balas kapal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih peneliti sampaikan kepada DRPM DIKTI yang telah membiayai penelitian ini untuk tahun anggaran 2019, dengan nomor kontrak 7/E/KPT/2019 antara DRPM dengan LL7 Dikti, serta nomor kontrak 046/SP2H/LT/MULTI/L7/2019 antara LL7 Dikti dengan ITATS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Briski, E., Linley, R.D., Adams, J.K. and Bailey, S.A., (2014), *Evaluating Efficacy Of A Ballast Water Filtration System for Reducing Spread of Aquatic Species In Freshwater Ecosystems*, Management of Biological Invasions, 5 (3), pp 245–253.
- [2] First, M.R., and Drake, L.A., (2014), *Life After Treatment: Detecting Living Microorganisms Following Exposure To UV Light And Chlorine Dioxide*, Journal Applied Phycology, 26, pp. 227–235.

- [3] Castro, M.C.T., Hall-Spencer, J.M, Poggian, C.,F. and Timothy W. Fileman, T., W., (2017), *Ten Years of Brazilian Ballast Water Management*, Journal of Sea Research.
- [4] Bradie, J., Gianoli, C., He, J., Curto, A.L., Peter Stehouwer, P., Veldhuis, M., Welschmeyer, N., Younan, L., Zaake, A., Sarah Bailey, S., (2017), *Detection Of UV-Treatment Effects On Plankton By Rapid Analytic Tools For Ballast Water Compliance Monitoring Immediately Following Treatment*, Journal of Sea Research, 09 (02).
- [5] Vorkapić, A., Radonja, R., And Zec, D., (2018), *Cost Efficiency Of Ballast Water Treatment Systems Based On Ultraviolet Irradiation And Electrochlorination*, Traffic & Transportation, Volume 30, No. 3, pp. 343-348
- [6] Thoha, H. and Rachman, A., (2018), *Marine Phytoplankton in Port and Ship's Ballast Water at Tanjung Priok Harbour, North Jakarta, Indonesia*, ASEAN Journal on Science & Technology for Development, Vol. 35, No. 1-2, pp 71-77.
- [7] Darling, J.A., Martinson, J., Gong, Y., Okum, S., Erik Pilgrim, E., Lohan, K.M.P., Katharine J. Carney, K.J., and Ruiz, G.M., (2018), *Ballast Water Exchange and Invasion Risk Posed by Intracoastal Vessel Traffic: An Evaluation Using High Throughput Sequencing*, Environmental Science & Technology, July 2018.
- [8] Basuki, M, Lukmandono, dan Margareta, M.Z.B, (2018a), *Ballast Water Management Berbasis Environmental Risk Assessment di Perairan Indonesia*, Simposium Nasional Kelautan dan Perikanan V UNHAS, Makasar.
- [9] Basuki, M, Lukmandono, dan Margareta, M.Z.B, (2018b), *Pengelolaan Air Balas Kapal Berbasis Environmental Risk Assessment Di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya Sebagai Upaya Pencegahan Marine Pollution*, Seminar Nasional Sekolah Pasca Sarjana USU, Medan.
- [10] Basuki, M, Lukmandono, dan Margareta, M.Z.B, (2018c), *Implementation IMO Regulation of Ballast Water Management at Inaport 2nd Jakarta Based Environmental Risk Assessment*, 1st International Conference ICATECH, ITATS, Surabaya.
- [11] Basuki, M, Lukmandono, dan Margareta, M.Z.B, (2019), *Model Pengelolaan Air Balas Kapal Di Perairan Indonesia Sesuai Regulasi IMO MEPC 56/23 Annex 2*, 2nd Conference Proceeding on Waste Treatment and Technology, PPNS Surabaya.

**BIDANG 4:
TEKNIK ELEKTRO, TEKNOLOGI INFORMASI, DAN
KOMPUTER**

Halaman Kosong

VIRTUAL REALITY TOUR GUNUNG ANAK KRAKATAU

Mona Arif Muda¹, Meizano Ardhi Muhammad¹, Briyan Sitinjak^{1,*}

Program Studi Teknik Informatika Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung Jl.
Soemantri Brojonegoro no. 1 Gedongmeneng Bandar Lampung Indonesia

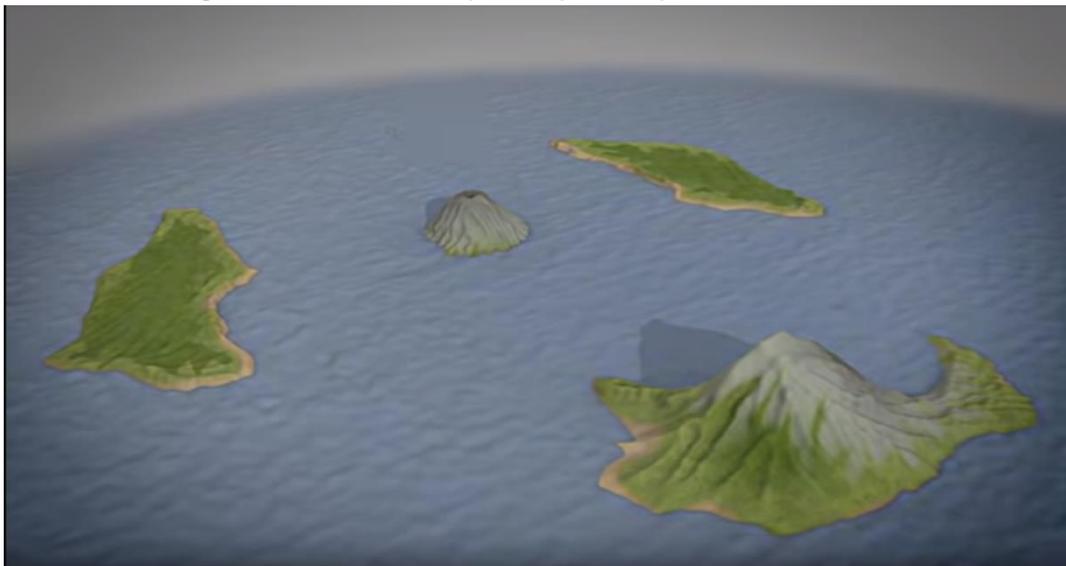
*Email: imanbriyan@gmail.com

Abstrak: Penelitian *virtual reality* Kawasan Krakatau dilakukan untuk memberikan kesadaran kepada masyarakat tentang Gunung Anak Krakatau yang berada di Lampung. *Virtual Reality* adalah sebuah teknologi yang dapat membawa pengguna masuk ke dalam sebuah lingkungan virtual dengan menggunakan bantuan dari *hardware* dan *software* komputer. Tujuan dari penelitian ini adalah membangun *virtual reality* untuk memberikan informasi tentang Gunung Anak Krakatau Provinsi Lampung. Metode untuk melakukan pembuatan layanan tersebut menggunakan metode *Design Science Research Process (DSRP)*. Metode tersebut mengutamakan pemanfaatan *CASE Tools* dan pembatasan waktu yang singkat (60-90 hari). Besarnya ukuran data yang diolah untuk *virtual reality* membuat sistem dirancang menampilkan data secara efektif dengan gambar yang terkompresi. Format gambar yang digunakan adalah *equirectangular*. *Virtual Reality Tour* Gunung Anak Krakatau telah berhasil dibangun. Dan, aplikasi ini dapat disosialisasikan melalui media *smartphone* dengan *platform* Android yang dibantu menggunakan *cardboard* sehingga dapat memberikan kontribusi dalam hal edukasi terhadap kawasan Gunung Anak Krakatau (GAK) bagi masyarakat khususnya bagi mahasiswa Universitas Lampung.

Kata Kunci: *Virtual Reality*, Gunung Anak Krakatau, *equirectangular*

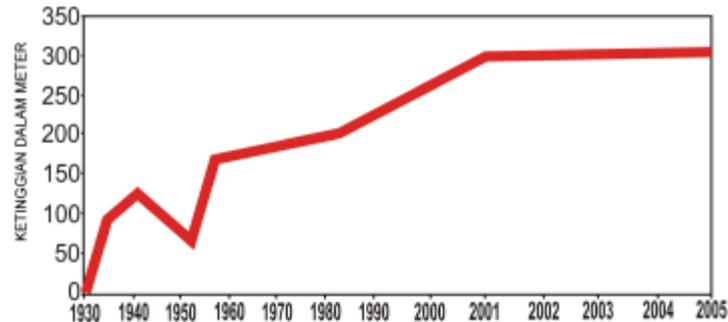
I. PENDAHULUAN

Gunung Anak Krakatau (GAK) adalah salah satu gunung api aktif dari 129 gunung api yang berada di Indonesia dengan keberadaan yang masuk kedalam Provinsi Lampung wilayah Lampung Selatan. Gunung Anak Krakatau sejak lahirnya pada tahun 1929 sampai saat ini telah mengalami letusan kurang lebih 80 kali berupa erupsi eksplosif atau efusif.



Gambar 1.1 Gambaran tentang Gunung Anak Krakatau pada tahun 1929

Gunung Anak Krakatau muncul dari letusan Krakatau pada tahun 1883 yang kekuatannya sekitar 21.574 kali bom atom. Hingga pada tahun 2005 GAK mengalami pertumbuhan yang cukup signifikan dimulai dari 1929 [1].



Gambar 1.2 Grafik pertumbuhan GAK sejak lahirnya tahun 1929

Pada tahun 22 Desember 2018 terjadi kembali letusan pada Gunung Anak Krakatau yang mengakibatkan longsor ke dalam laut. Longsor tersebut terjadi karena runtuhnya bagian dari pada Gunung Anak Krakatau. Akibatnya, tsunami menerjang beberapa daerah yang ada di sekitar Gunung Anak Krakatau yang tingginya mencapai kurang lebih 1 meter.



Gambar 1.3 Letusan Gunung Anak Krakatau yang menyebabkan Tsunami

Kurangnya pengetahuan masyarakat Lampung tentang Gunung Anak Krakatau merupakan salah satu permasalahan yang mengakibatkan bencana alam ini bisa terjadi dan membuat korban jiwa. Pada saat ini hal itu mungkin bisa dihindari dengan adanya pengetahuan. Pengetahuan bisa

didapat dengan menggunakan teknologi yang menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari pada saat ini. Generasi Z adalah generasi yang menggunakan teknologi sebagai bagian kehidupan sehari-hari dan bahkan berasumsi bahwa semuanya tersedia dalam *digitalisasi* yang berarti semua yang ada di dunia nyata bisa diadakan di dunia maya yang mengakibatkan tidak terikat oleh ruang dan waktu.

Ada beberapa media sehingga seseorang bisa mendapatkan informasi, akan tetapi yang paling diminati adalah dengan menggunakan media gambar. Dalam suatu media gambar pasti akan terdapat informasi didalamnya. Media Gambar adalah suatu media informasi yang ada saat ini yang paling diminati di dalam dunia yang serba digital. Pada era ini media gambar adalah sarana informasi yang dapat dipercayai untuk menyampaikan informasi bersifat nyata. Dalam perkembangannya, media gambar saat dapat dilihat pada gambar panorama 360°.



Gambar 1.4 Contoh foto *equirectangular* 360° gunung

Virtual tour adalah sebuah media informasi yang dipergunakan dalam menyampaikan suatu informasi dengan mengajak user masuk ke dalam dunia maya yang seolah olah user berada di dalam lokasi tersebut dan bisa dilihat dengan jelas dengan jarak pandang yang luas dan tidak terputus-putus. Dalam *virtual tour* biasanya menggunakan juga tambahan berupa efek suara, narasi, musik dan juga teks yang dapat membantu user sehingga mendapatkan informasi lebih jelas dari pada hanya melihat gambar gambar.

Dengan sebuah penampil *virtual reality*, dapat secara langsung menggunakan *virtual tour* sehingga dapat melihat secara nyata yang berada di dunia maya yang dapat dirasakan oleh pengguna. *Virtual Reality* dapat menciptakan sebuah kesan yang sama dengan nyata tanpa dihalangi oleh ruang dan waktu karena didalamnya terdapat beberapa elemen-

elemen dasar dari *virtual reality* seperti lingkungan yang virtual, kehadiran secara virtual [2].



Gambar 1.5 Contoh Gambar *Virtual Reality*

Melalui *virtual reality* dapat membuka kemungkinan untuk memberikan informasi yang lebih dekat dan mudah dipahami oleh generasi saat ini. Dengan permasalahan yang diangkat maka akan dilakukan penelitian dan membuat suatu sistem yang dapat digunakan dalam menemukan informasi pada Gunung Anak Krakatau dengan menggunakan *virtual tour* sebagai sarana informasi. Sistem ini akan menampilkan informasi-informasi dari yang ada disekitar Gunung Anak Krakatau.

II. MATERIAL DAN METODE

Pada bagian ini berisi penjelasanterkait dengan metode yang digunakan pada peneltian ini serta alat dan bahan yang ada pada saat penelitian ini dilaksanakan.

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk menunjang penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Alat Penelitian

No	Nama Alat	Spesifikasi	Deskripsi
1	Laptop	Intel Core i3, 4GB RAM 4 GB dan sistem operasi Windows 10	Hardware yang berfungsi memproses semua data yang digunakan dalam pengerjaan penelitian

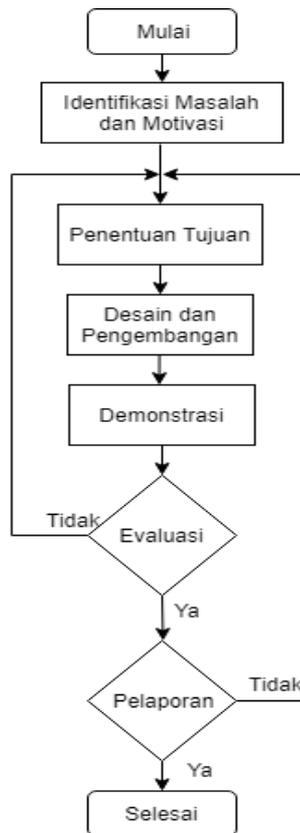
No	Nama Alat	Spesifikasi	Deskripsi
2	Camera 360°	Samsung Gear 360°: NFC, Bluetooth, Kamera CMOS 15.0, Baterai 1350 mAh	Perangkat yang berfungsi mengambil data berupa foto 360°
3	Monopod Takara Lightweight Eco-173A	Tinggi ; Maks 175cm, Min 55cm, Berat 400g	Alat yang berfungsi sebagai penyangga kamera 360° yang akan digunakan
4	Headset Virtual Realty	Lensa professional, spons yang nyaman dan tali pengikat yang elastis	Perangkat yang digunakan untuk melihat VR dengan objeknya yaitu <i>smartphone</i> .
5	Microsoft Visual Studio	Microsoft Visual Studio Community 2019, Version 16.2.0	Software untuk pembuatan dan editing script dalam Unity 3D
6	Google My Maps	Versi 2.2.1.4	Software yang digunakan untuk membuat denah pengambilan data
7	Unity 3D	Versi 2019.2.8f1	Software yang digunakan untuk membuat aplikasi <i>virtual tour</i>

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil pengambilan foto 360°
2. Denah Gunung Anak Krakatau
3. Sistem Informasi Gunung Anak Krakatau

2.2 Metode Penelitian

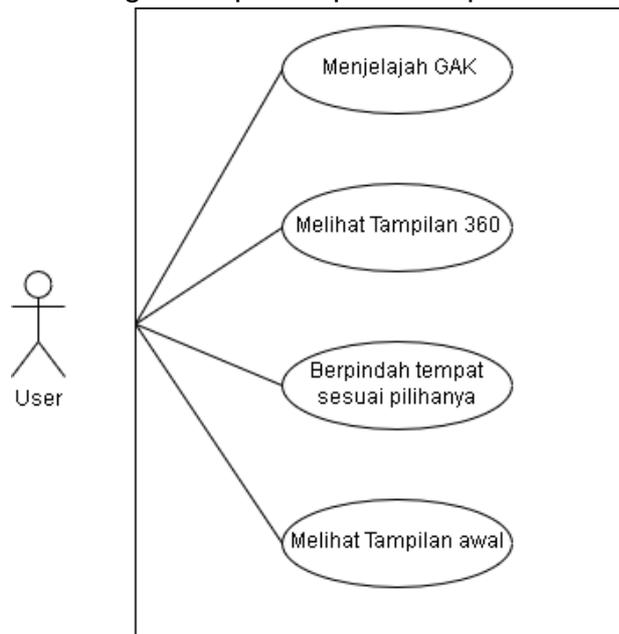
Penelitian ini menggunakan metode *Design Science Research Process* (DSRP). Secara garis besar metode ini melakukan proses dengan beberapa tahapan penelitian yang mana dimulai dengan Identifikasi Masalah dan Motivasi yang bertujuan untuk dilakukannya penentuan latar belakang dan motivasi dalam penelitian ini. Lalu terdapat Penentuan Tujuan dimana pada tahap ini akan dibahas tujuan seperti apa yang akan dicapai nantinya dalam penelitian. Kemudian, masuk kedalam Desain dan Pengembangan yang mana dilakukan pembuatan solusi yang dikerjakan dengan menggunakan metode pengembangan perangkat lunak *prototyping* untuk mendesain sistem. Lalu Demonstrasi yang mana bertujuan untuk menguji protipe yang dibuat untuk melihat kesesuaian rancangan dengan harapan yang ingin didapat. Kemudian Evaluasi yang mana dilakukan dengan menggunakan 2 tahapan yaitu dengan *blackbox* dan UAT (*User Acceptance Testing*). Jika didalam tahapan Demonstrasi da Evaluasi terdapat hal yang tidak sesuai , maka dapat ditinjau kembali kedalam Penentuan Tujuan. Terakhir adalah Pelaporan yang didapat dari semua tahapan yang sudah dikerjakan [3].



Gambar 3.1 Alur Penelitian

2.3 Use Case Diagram

Menjelaskan tentang kebutuhan fungsional yang akan dibuat pada aplikasi. Kebutuhan fungsional pada aplikasi dapat dilihat di Gambar 2.1.



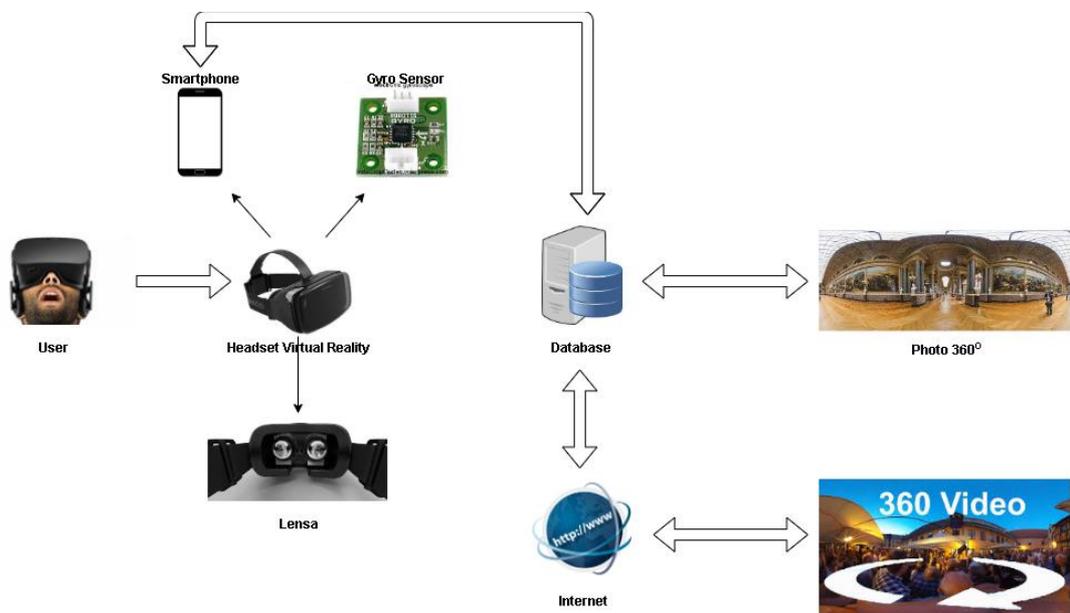
Gambar 2.1. Use Case Diagram

Kemudian kebutuhan non fungsional yang diharapkan dari peneliti pada aplikasi adalah:

1. Pengguna dapat menggunakan *google cardboard* atau hanya menggunakan tampilan biasa
2. Pengguna dapat mendapatkan kesan imersif terhadap Gunung Anak Krakatau
3. *Virtual Tour* disajikan dengan foto 360° dan video 360°

2.4 Topologi Sistem

Pada Topologi Sistem yang dirancang untuk *Virtual Reality Tour* Gunung Anak Krakatau memiliki komponen - komponen penunjang didalamnya. Komponen tersebut diantaranya *smartphone* yang akan dibangun aplikasi didalamnya dan akan di uji aplikasi yang dibangun tersebut. Kemudian terdapat *Headset Virtual Reality* yang berfungsi sebagai alat untuk melihat aplikasi yang sudah ter-*install* ke dalam *smartphone*. Lalu aplikasi akan mengambil data kedalam basis data internal yang ada di dalam aplikasi berupa gambar 360°. Jika akan mengambil data berupa video 360°, maka harus terhubung dengan koneksi internet



Gambar 2.2. Topologi Sistem Aplikasi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan aplikasi menggunakan software Unity 3D dengan data utam yaitu foto 360°(equirectangular). Pengujian yang dilakukan pada aplikasi menggunakan pengujian Black Box dan UAT (*User Acceptance Test*).

3.1 Screenshot Aplikasi



Gambar 3.1. Tampilan Aplikasi Menu Home



Gambar 3.2. Tampilan Aplikasi Menu Utama

3.2 Borang Penilaian

Borang penilaian aplikasi dalam pengujian *User Acceptance Test*.

Borang Penilaian *Virtual Reality Tour Gunung Anak Krakatau (GAK)*

Nama :

Umur : Menilai sebagai :

No.	Pertanyaan	1	2	3	4	5
1 S	Apakah tampilan tiap tempat yang disajikan menarik?					
2 S	Apakah kualitas ikon untuk menyajikan info sudah tepat?					
3 A	Apakah informasi yang diberikan mudah dicerna?					
4 S	Apakah tampilan dari <i>border</i> tiap informasi sudah tepat?					
5 S	Apakah perpaduan warna yang disajikan sudah tepat?					
6 A	Apakah gambar 360° pada tiap tempat jelas terlihat?					
7 A	Apakah penempatan ikon di tiap tempat sudah sesuai?					
8 A	Apakah informasi yang disajikan penting untuk diketahui?					
9 S	Apakah huruf yang digunakan mudah dibaca?					
10 S	Apakah waktu yang diperlukan untuk menampilkan informasi pada ikon cukup cepat?					
11 A	Apakah tampilan <i>home</i> yang disajikan dapat dimengerti?					
12 S	Apakah ikon-ikon pada tampilan <i>home</i> secara sekilas mudah dipahami?					
13 A	Apakah informasi <i>credit</i> dan <i>info</i> yang disampaikan pada tampilan <i>home</i> mudah dipahami?					
14 A	Apakah informasi berupa gambar di tiap tempat (gambar inset) jelas terlihat?					
15 F	Sesudah mengikuti <i>virtual tour</i> ini, apakah anda semakin peduli dengan GAK?					
16 F	Apakah anda merasa berada dalam perjalanan ke GAK?					
17 F	Sesudah mengikuti <i>virtual tour</i> ini, apakah anda mendapatkan pengetahuan baru tentang GAK?					
18 F	Apakah anda akan menggunakannya kembali?					
19 F	Apakah anda akan merekomendasikannya kepada teman – teman anda?					
20 F	Bagaimana penilaian anda mengenai keseluruhan aplikasi ini?					

Gambar 3.3. Borang Penilaian UAT: Efektif (A, *Affordance*), Efisien (S, *Signifier*), Apresiasi (F, *Feedback*)

3.3 Penghitungan Jumlah Responden

Jumlah responden untuk kuisioner yang dibagikan yaitu 44 responden. Penentuan jumlah responden dihitung dengan menggunakan rumus *random sampling Slovin*.

$$n = N / (1 + (N \times e^2))$$

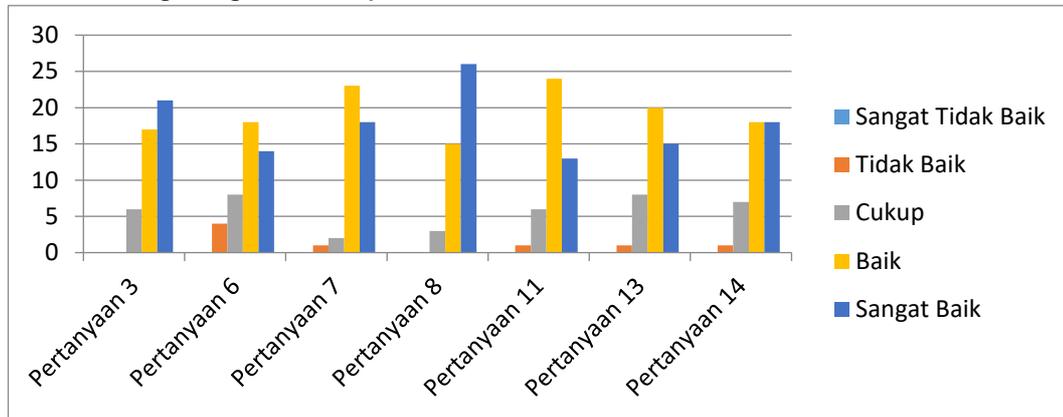
$$n = 3000 / (1 + (3000 \times 0,15^2))$$

$$n = 3000 / (1 + (67,5))$$

$$n = \frac{3000}{68,5}$$

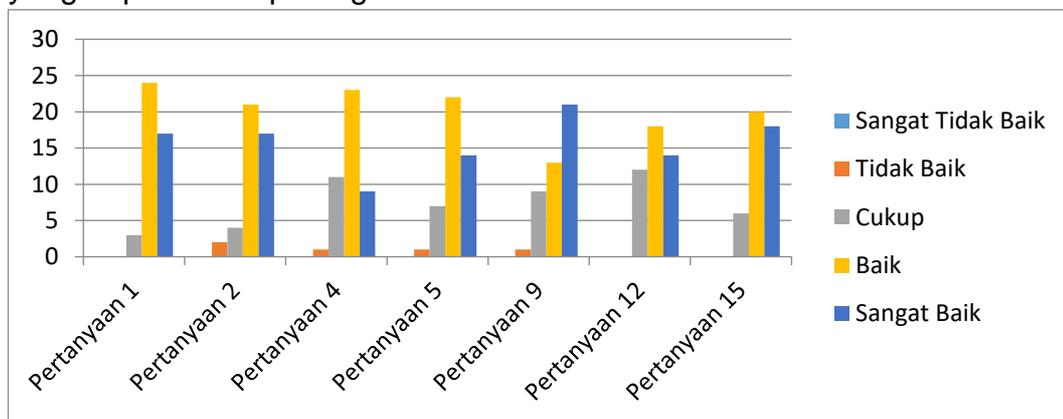
$$n = 43,7 = 44 \text{ responden}$$

Dalam pengujian UAT, terbagi menjadi 3 kriteria yaitu: Efektif (*Affordance*), Efisien (*Signifier*), dan Apresiasi (*Feedback*) yang dinilai secara langsung oleh responden.



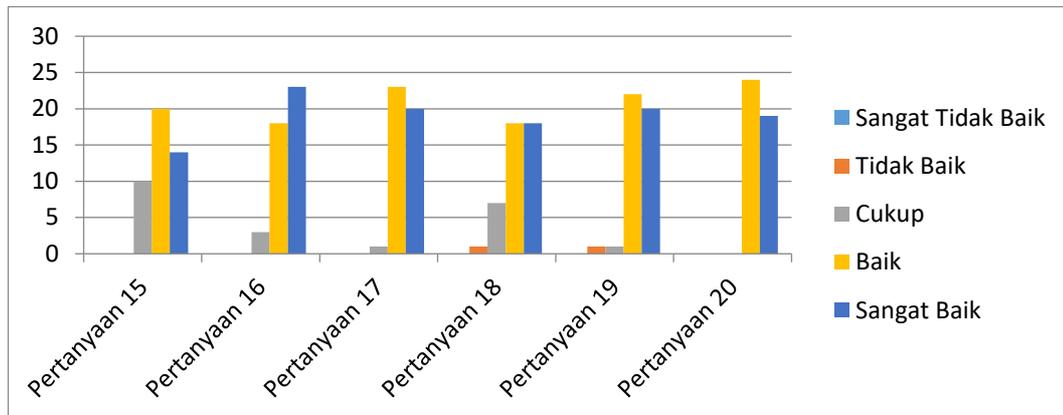
Gambar 3.4. Total UAT Kriteria Efektif

Berdasarkan data yang dihasilkan maka dapat dibuat grafik *affordance* atau efektif. Skor yang didapatkan paling tinggi dengan skala Sangat Baik yaitu pada pertanyaan ke-8 dengan nilai sebanyak 26 skor. Kemudian dilanjutkan dengan penilaian dominan pada skala Baik dengan nilai 15-25 yang dapat dilihat pada gambar.



Gambar 3.5. Total UAT Kriteria Efisien

Berdasarkan data yang dihasilkan maka dapat dibuat grafik *signifier* atau efisien. Skor yang didapatkan paling tinggi dengan Skala Baik yaitu pada pertanyaan ke-1 dengan nilai sebanyak 24 skor. Kemudian dilanjutkan dengan penilaian dominan pada skala Sangat Baik dengan nilai 10 – 20 yang dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 3.6. Total UAT Kriteria Apresiasi

Berdasarkan data yang dihasilkan maka dapat dibuat grafik *feedback* atau apresiasi. Skor yang didapatkan paling tinggi dengan Skala Baik yaitu pada pertanyaan ke-20 dengan nilai sebanyak 24 skor. Kemudian dilanjutkan dengan penilaian dominan pada skala Sangat Baik dan skala Baik yang dapat dilihat pada gambar dibawah.

3.4 Analisis

Sistem ini dibangun dengan data utama berupa gambar 360° sebagai gambar utama dan juga gambar *inset* sebagai penampil informasinya. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 20 – 21 Juli, Sabtu dan Minggu 2019. Alat yang digunakan dalam pengambilan data berupa *Camera 360°* dan *monopod*. Pengambilan dimulai dari Dermaga Canti sebanyak 2 titik. Kemudian Pulau Sebesi sebanyak 3 titik. Lalu Perjalanan menuju Gunung Anak Krakatau (GAK) sebanyak 1 titik. Kemudian kawasan Gunung Anak Krakatau (GAK) sebanyak 6 titik. Pengambilan data berupa gambar 360° dan gambar *inset* diambil dengan metode "3-in-a-row" yang artinya pada satu titik diambil data minimal 3 (tiga) kali sehingga data yang akan disajikan berupa data terbaik karena dibandingkan dengan data yang sama. Kesulitan yang dialami peneliti dalam pengambilan data berupa gangguan cuaca seperti angin, cahaya matahari, gelombang laut dan suhu. Angin dan gelombang membuat alat yang digunakan menjadi tidak stabil sehingga membuat beberapa data tidak simetris dengan pengelihatn manusia normal. Cahaya matahari membuat gambar yang ditangkap oleh *Camera 360°* mengalami kelebihan cahaya yang jatuh ke gambar atau yang biasa disebut *exposure* sehingga gambar yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang diharapkan. Sedangkan suhu membuat alat yang digunakan menjadi cepat berembun yang menyebabkan pengambilan gambar terkendala.

Hambatan yang dialami oleh peneliti dalam membangun aplikasi yaitu ketika mengambil data. Pengambilan data yang dilakukan cukup lama dipengaruhi beberapa faktor yaitu erupsi dari Gunung Anak Krakatau (GAK)

yang menyebabkan terhalangnya akses untuk dapat masuk ke dalam kawasan GAK. Kesibukan beberapa pihak yang mempunyai akses menuju Gunung Anak Krakatau pun menjadi penghambat pengambilan data.

Aplikasi ini dapat dijalankan dengan menggunakan *platform* Android dengan minimum versi Android 6.0 (*Marshmallow*) dengan API level 23. Semua data yang disajikan di dalam aplikasi ini bersifat *embedded* atau tertanam didalam aplikasi sehingga untuk menjalankannya tidak memerlukan koneksi internet. Ukurannya sebesar 164 MB (Mega Byte) dengan versi rilis yang sudah dikembangkan hingga versi 1.15. Perhitungan versi oleh peneliti adalah dengan cara menghitung banyaknya jumlah *build* dalam bentuk apk. Dalam menjalankan aplikasi, *smartphone* yang terinstall aplikasi wajib mempunyai sensor *gyroscope* sebagai pendeteksi adanya gerakan sesuai gravitasi dengan kata laini mendeteksi gerakan dari *user*.

Melalui UAT yang sudah diberikan kepada responden dapat ditentukan tanggapan dari pengguna ketika menggunakan aplikasi *Virtual Reality Tour* Gunung Anak Krakatau. Dilihat dengan pertanyaan ke-20 mendapatkan skor dengan skala 4 (Baik) 24 skor dan skala 5 (Sangat Baik) 20 skor. Pada saat pemberian UAT, terdapat beberapa perbaikan yang diberikan kepada penulis terkait dengan aplikasi, salah satunya penilaian pada foto *equirectangular* yang terlihat kurang jelas kepada beberapa orang. Ada dua asumsi yang diberikan user kepada penulis yaitu data yang disajikan kurang baik dan *cardboard* yang dipakai memiliki lensa yang kurang bagus. Kemudian, tanggapan pengguna yang secara langsung diberikan kepada penulis adalah *user* merasa pusing sesudah memakai aplikasi *Virtual Reality Tour* Gunung Anak Krakatau ini.

IV. KESIMPULAN

Aplikasi *Virtual Reality Tour* Gunung Anak Krakatau telah berhasil dibangun yang dapat menyajikan semua kebutuhan fungsional terhadap *user*, dan aplikasi ini dapat disosialisasikan melalui media *smartphone* dengan *platform* Android yang dibantu menggunakan *cardboard* sehingga dapat memberikan kontribusi dalam hal edukasi terhadap kawasan Gunung Anak Krakatau (GAK) bagi masyarakat khususnya bagi mahasiswa Universitas Lampung.

Berdasarkan pengujian UAT, aplikasi ini berhasil menyajikan informasi secara efektif yang dominan memilih dengan skala Sangat Baik – Baik dan secara efisien yang dominan memilih dengan skala Baik – Sangat Baik. Pada kriteria Apresiasi, aplikasi ini berhasil yang dominan memilih dengan skala Baik – Sangat Baik. Kebanyakan *user* memberikan mengapresiasi aplikasi dengan memberikan penilaian secara positif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan perhatian terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. G. Indonesia, G. A. Danan, P. Rakata, and P. Panjang, "Pertumbuhan Gunung Api Anak Krakatau setelah letusan katastro fi s 1883," vol. 1, no. 3, pp. 143–153, 2020.
- [2] H. T. Putro, U. T. Yogyakarta, V. Reality, A. An, A. For, and D. Heritage, "Kajian Virtual Reality Makalah Studi Mandiri Kajian Virtual Reality Program Studi Teknik Arsitektur dan Perencanaan Oleh Pembimbing : Ir . Jatmika Adi Suryabrata ., MSc ., Ph . D .," no. January, 2015.
- [3] P. Offermann, O. Levina, and M. Schönherr, "Outline of a Design Science Research Process," no. January, 2009.

Halaman Kosong

**BIDANG 5:
TEKNIK KIMIA DAN ILMU LINGKUNGAN**

Halaman Kosong

KINETIKA REAKSI ETHERIFIKASI GLISEROL DAN TERT-BUTIL ALKOHOL MENJADI GLISEROL TERT-BUTIL ETER (GTBE)

Radina Ajeng Prameswari^{1,*}, Heri Rustamaji¹

¹ Teknik Kimia Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No. 1 Gedong Meneng Bandar Lampung 35145

*Email: radinaap@gmail.com

Abstract: The kinetics study of the glycerol etherification with tert-butyl alcohol was carried out to get the equation of the reaction rate and the values of the reaction rate constant and also the relation between concentration of glyserol to time and reaction rate constant to temperature. This experiment was done using Dowex 50Wx2 as catalyst in a batch reactor with temperature variations 60°C, 70°C and 80°C for 1, 2, 3, 4, and 5 hours. The Runge Kutta method and optimization were used to solve the simultaneous differential equations. The calculation results showed that the values of the reaction rate constants are $k_1 = 0,5098$ and $k_2 = 0,0734$ ($L.mol^{-1}.min^{-1}$) for reversible non elementer reaction. Meanwhile, the values of collision frequency factor are 187,92 and 391,90 ($L.mol^{-1}.min^{-1}$) and also the activation energies for this reaction are 17.359,63 and 25.149,85 ($J.mol^{-1}$). From this experiment, we can see that the concentration of glycerol will decrease with increasing reaction time and the values of the reaction rate constant will increase as the temperature gets higher.

Keywords: etherification, glycerol, reaction kinetics, reaction rate constant

Abstrak: Penelitian kinetika reaksi eterifikasi gliserol dan tert-butyl alkohol dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan persamaan laju reaksi dan nilai konstanta laju reaksi serta untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi gliserol terhadap waktu dan hubungan antara konstanta laju reaksi terhadap temperatur. Penelitian ini dilakukan menggunakan katalis Dowex 50Wx2 di dalam reaktor *batch* dengan variasi temperatur 60°C, 70°C dan 80°C selama 1, 2, 3, 4, dan 5 jam. Model kinetika reaksi kimia disusun dan diselesaikan dengan metode Runge Kutta dan optimasi. Hasil penelitian diperoleh nilai konstanta laju reaksi $k_1 = 0,5098$ dan $k_2 = 0,0734$ ($L.mol^{-1}.menit^{-1}$) untuk reaksi *reversible non elementer*. Sementara itu didapat nilai faktor frekuensi tumbukan sebesar 187,92 dan 391,90 ($L.mol^{-1}.menit^{-1}$) serta nilai energi aktivasi reaksi berturut-turut adalah 17.359,63 dan 25.149,85 ($J.mol^{-1}$). Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa konsentrasi gliserol akan menurun seiring dengan bertambahnya waktu reaksi dan nilai konstanta laju reaksi akan semakin meningkat ketika temperatur semakin tinggi.

Kata kunci: etherifikasi, gliserol, kinetika reaksi, konstanta laju reaksi

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia maupun di dunia kini semakin meningkat. Upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kelangkaan energi adalah mencari sumber-sumber energi lain yang dikenal sebagai energi terbarukan. Salah satu jenis dari energi terbarukan tersebut adalah biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang bersifat dapat diperbaharui dan secara umum didefinisikan sebagai ester monoalkil dari minyak tanaman dan lemak hewan.

Pada tahun 2017 produksi biodiesel Indonesia mencapai 2,6 juta kL [1]. Peningkatan produksi biodiesel mengakibatkan peningkatan produk hasil sampingnya seperti gliserol dimana dihasilkan gliserol sebanyak 260 kL di tahun 2017. Sebagai produk samping industri biodiesel, gliserol belum banyak diolah sehingga masih memiliki nilai jual yang rendah. Untuk meningkatkan nilai ekonomi dan fungsi gliserol dilakukan dengan mengkonversi gliserol menjadi produk turunan yang mempunyai nilai jual lebih [2].

Gliserol telah diteliti dan dimodifikasi menjadi gliserol tert-butyl eter (GTBE) atau tri tetra butyl eter gliserol (TTBEG) yang berpotensi digunakan sebagai *fuel additive* pada biodiesel dan gasolin juga sebagai *octane booster* untuk gasolin. Namun gliserol tidak dapat larut dalam biodiesel sehingga perlu dimodifikasi salah satunya dengan proses eterifikasi [3].

Eterifikasi gliserol dapat dilakukan menggunakan tert-butyl alkohol (TBA) sebagai pelarut dan katalis asam heterogen. Katalis asam heterogen cenderung lebih dipilih karena lebih ramah lingkungan daripada katalis homogen [4].

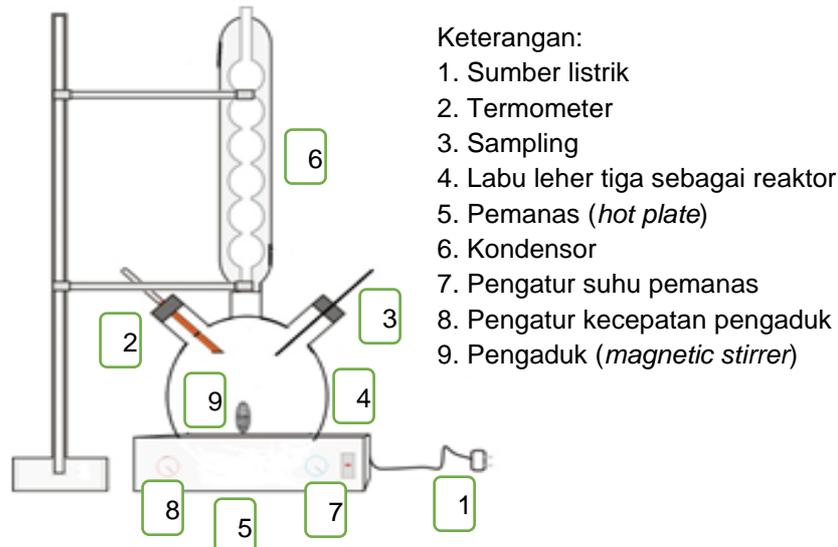
Pada tahun 2009, Frusteri dkk melakukan penelitian tentang eterifikasi gliserol dengan tert-butyl alkohol menggunakan beberapa jenis katalis dalam kisaran temperatur 303 sampai 363 K. Berdasarkan persamaan dan data yang diperoleh didapatkan bahwa nilai konstanta laju reaksi (k) meningkat seiring meningkatnya temperatur yaitu pada temperatur 303 K didapat nilai k sebesar $0,5 \text{ Mol}^{-1}\text{min}^{-1}$ dan pada temperatur 363 K diperoleh nilai k sebesar $45,0 \text{ Mol}^{-1}\text{min}^{-1}$ [5].

Konsentrasi Gliserol Tert Butyl Eter (GTBE) yang terbentuk dari reaksi eterifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain suhu, waktu, jenis dan jumlah katalis serta rasio molar gliserol dengan TBA atau isobutilen [6]. Oleh karena itu penulis ingin meneliti tentang pengaruh temperatur dan waktu reaksi pada gliserol dengan TBA terhadap konversi GTBE yang dihasilkan sehingga diperoleh kondisi reaksi yang optimum dan akan disusun persamaan laju reaksi sehingga didapatkan nilai konstanta laju reaksinya juga diketahui hubungan antara konsentrasi gliserol terhadap waktu serta hubungan antara konstanta laju reaksi terhadap temperatur. Selain itu akan dianalisis kesesuaian sifat fisik dan sifat kimia produk gliserol tert-butyl eter tersebut dengan standar *fuel additive*.

II. MATERIAL DAN METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan berupa rangkaian reaktor *batch* yang dilengkapi dengan pemanas dan pengaduk. Rangkaian alat yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Alat Esterifikasi

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain gliserol dengan kemurnian 85% diperoleh dari CV. Bratachem Bandar Lampung, tert-butyl alkohol (TBA) diperoleh dari PT. Kurnia Makmur Abadi Jaya Semarang, dan katalis Dowex 50Wx2 yang diperoleh dari Sigma-Aldrich Pte Ltd Singapura.

2.2 Metode Penelitian

Langkah pertama yang dilakukan yaitu mencampurkan bahan baku gliserol, TBA, dan katalis Dowex 50Wx2 sesuai dengan jumlah yang telah ditentukan ke dalam reaktor *batch* berpengaduk. Langkah selanjutnya yaitu melakukan pengontrolan temperatur sehingga didapatkan temperatur bahan di dalam reaktor sebesar 60°C, 70°C, dan 80°C. Saat temperatur sudah mencapai yang ditentukan maka dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* hingga 1000 rpm dan mereaksikan campuran selama variasi waktu yang ditentukan yaitu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam. Kemudian produk diuapkan untuk memurnikan hasil GTBE. Sampel diambil pada setiap waktu yang ditentukan. Analisis yang dilakukan antara lain analisis sisa gliserol untuk menghitung konversi GTBE dan analisis sifat fisik dan sifat kimia.

Selanjutnya dilakukan pengolahan data dan menentukan model kinetika laju reaksi dengan menggunakan persamaan diferensial yang diselesaikan dengan metode Runge Kutta sehingga didapatkan nilai konstanta laju reaksi. Telah diajukan tiga model reaksi yaitu reaksi *irreversible*, reaksi *reversible elementer*, dan reaksi *reversible non elementer* dimana bentuk persamaannya masing-masing sebagai berikut.

$$\frac{dx}{dt} = \frac{k C_{A0}(1-x)(C_{B0}-C_{A0}x)^3}{C_{A0}} \quad (1)$$

$$\frac{dx}{dt} = k_1 C_{A0}^3 \cdot (1-x) \cdot (M-3x)^3 - 27k_2 \cdot C_{A0}^3 \cdot x^4 \quad (2)$$

$$\frac{dx}{dt} = k_1 C_{A0}(1-x)(M-x) - k_2 \cdot C_{A0} \cdot x^2 \quad (3)$$

Persamaan (1) sampai (3) merupakan persamaan diferensial ordiner yang dapat diselesaikan secara numerik. Nilai konstanta (k) dicari dengan cara optimasi dua variabel sampai memberikan *sum of square of errors* (SSE) minimum dari data konversi percobaan terhadap data konversi terhitung [7].

$$SSE = (\sum (X_{hitung} - X_{data})^2) = f(k_1, k_2) \quad (4)$$

Energi aktivasi (E_A) dan faktor tumbukan (A) diperoleh dengan melakukan regresi linear menggunakan persamaan Arrhenius sebagai fungsi suhu.

$$k = A \cdot e^{\frac{-E_A}{RT}} \quad (5)$$

$$\ln k = -\frac{E_A}{R} \frac{1}{T} + \ln A \quad (6)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konversi GTBE yang diperoleh dari penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konversi GTBE

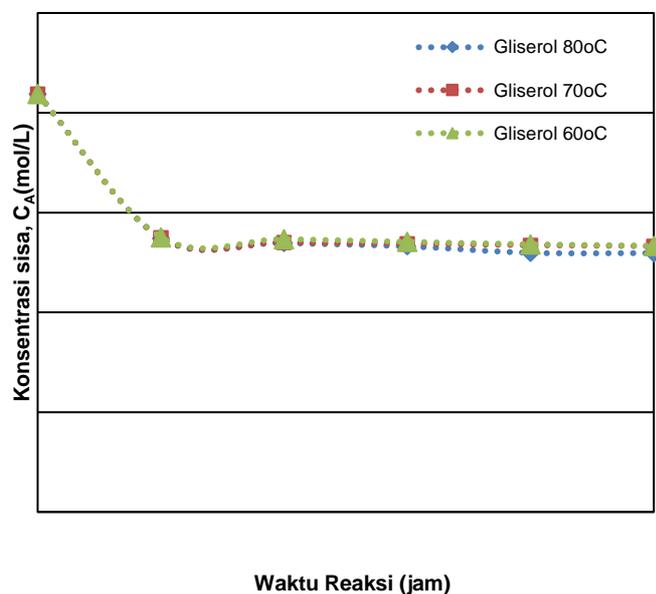
Waktu(jam)	Konversi (%) pada temperatur (T)		
	60°C	70°C	80°C
0	0	0	0
1	96,3270	96,3655	96,4031
2	96,4843	96,7344	96,7814
3	96,6983	96,8306	97,0265
4	96,8761	96,9430	97,4386
5	96,9886	97,0086	97,4564

Keterangan: Rasio TBA/Gliserol 6mol/mol, dengan n = 1000 rpm, dan 7%wt katalis

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa konversi meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur. Hal ini dikarenakan penambahan panas pada suatu zat akan meningkatkan aktivitas molekular dan frekuensi tumbukan

yang mengakibatkan semakin cepat laju reaksinya. Selain itu pengaruh waktu reaksi juga dapat dilihat pada Tabel 1 dimana semakin lama waktu reaksi maka waktu kontak antar zat semakin besar sehingga akan menghasilkan konversi yang semakin besar. Namun demikian, berdasarkan data diatas kenaikan konversi tidak terlalu signifikan.

Hubungan antara konsentrasi gliserol terhadap waktu disajikan pada Gambar 2 yang menunjukkan bahwa semakin lama waktu reaksi maka konsentrasi gliserol akan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan gliserol yang berperan sebagai reaktan mulai berubah menjadi produk seiring dengan bertambahnya waktu reaksi.



Gambar 2. Hubungan konsentrasi gliserol dengan waktu reaksi

Konstanta laju reaksi untuk ketiga model reaksi dihitung dengan persamaan (1) sampai (3) yang diselesaikan dengan metode Runge Kutta dan optimasi sehingga diperoleh SSE minimum dari masing-masing model persamaan yang diajukan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai $k_{\text{pada}} \text{ temperatur } 80^{\circ}\text{C} > k_{\text{pada}} \text{ temperatur } 70^{\circ}\text{C} > k_{\text{pada}} \text{ temperatur } 60^{\circ}\text{C}$. Hal ini sesuai dengan hukum Arrhenius yang menyatakan bahwa konstanta laju reaksi akan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur dan disertai dengan energi aktivasi yang rendah. Selama temperatur dinaikkan maka tumbukan antar molekul akan semakin sering dan molekul bergerak lebih cepat.

Tabel 2. Nilai k model reaksi *irreversible*

Konstanta Laju Reaksi (k)		
Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	k ($\text{L.mol}^{-1}.\text{menit}^{-1}$)	SSE
60	0,3223	0,0270
70	0,3900	0,0255
80	0,5348	0,0217

Untuk reaksi *irreversible*, laju reaksi selalu meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur pada komposisi berapapun sehingga laju tertinggi terjadi pada temperatur tertinggi yang diizinkan [8].

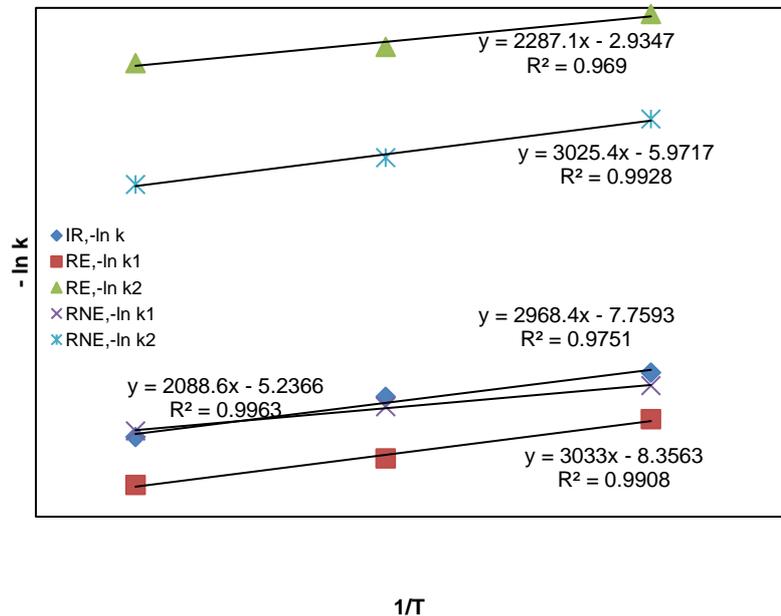
Tabel 3. Nilai k model reaksi *reversible elementer*

Temperatur (°C)	Konstanta Laju Reaksi (k)		SSE
	k_1 (L.mol ⁻¹ .menit ⁻¹)	k_2 (L.mol ⁻¹ .menit ⁻¹)	
60	0,4650	0,0192	1,79x10 ⁻⁹
70	0,6328	0,0249	3,55x10 ⁻⁷
80	0,7784	0,0283	3,37x10 ⁻⁷

Tabel 4. Nilai k model reaksi *reversible non elementer*

Temperatur (°C)	Konstanta Laju Reaksi (k)		SSE
	k_1 (L.mol ⁻¹ .menit ⁻¹)	k_2 (L.mol ⁻¹ .menit ⁻¹)	
60	0,3572	0,0439	3,84x10 ⁻¹³
70	0,4210	0,0594	1,47x10 ⁻⁹
80	0,5098	0,0734	1,15x10 ⁻¹²

Dari Tabel 3 dan Tabel 4 dapat dilihat bahwa kecepatan reaksi ke kanan lebih besar daripada kecepatan reaksi ke kiri, sehingga konversi yang dihasilkan semakin meningkat. Hasil SSE minimum dalam optimasi dua variabel yang telah dilakukan untuk masing-masing model reaksi diperoleh pada model reaksi *reversible non elementer* yaitu sebesar 3,84x10⁻¹³. SSE merupakan salah satu metode statistik yang digunakan untuk mengukur selisih total dari konversi hitung terhadap konversi aktual yang didapat [9]. Nilai energi aktivasi dan faktor tumbukan dalam hubungan Arrhenius ditentukan dengan membuat grafik hubungan antara $-\ln(k)$ terhadap $1/T$ yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara $-\ln k$ dengan $1/T$

Dari Gambar 3 diperoleh nilai faktor frekuensi tumbukan dan energi aktivasi untuk setiap model reaksi berdasarkan persamaan (5) dan (6). Nilai faktor frekuensi tumbukan untuk model reaksi *irreversible*, *reversible elementer*, dan *reversible non elementer* terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5. Energi aktivasi dan faktor tumbukan untuk setiap model reaksi

Model Persamaan	Konstanta Kecepatan Reaksi (k)	Energi Aktivasi, E_a (J.mol ⁻¹)	Faktor Tumbukan, A
<i>Irreversible</i>	k	24675,95	2342,56
<i>Reversible elementer</i>	$k_{1,RE}$	25216,36	4255,64
	$k_{2,RE}$	19014,12	18,80
<i>Reversible non elementer</i>	$k_{1,RNE}$	17359,63	187,92
	$k_{2,RNE}$	25149,85	391,90

Berdasarkan Tabel 5 nilai E_a terkecil terdapat pada model reaksi *reversible non elementer* dimana semakin tinggi energi aktivasi akan menyebabkan laju reaksi semakin melambat sehingga dibutuhkan temperatur yang semakin tinggi agar energi aktivasi yang dibutuhkan dapat menurun dan akan meningkatkan frekuensi tumbukan. Berdasarkan Tabel 5 pada penelitian ini faktor tumbukan yang paling besar terdapat pada model reaksi *reversible elementer*. Hubungan antara temperatur reaksi

dengan konstanta laju reaksi untuk masing-masing model reaksi dapat dinyatakan dengan persamaan (7) – (11).

$$k = 2342,56 \exp\left(\frac{24675,95}{RT}\right) \quad (7)$$

$$k_{1,RE} = 4255,64 \exp\left(\frac{25216,36}{RT}\right) \quad (8)$$

$$k_{2,RE} = 18,80 \exp\left(\frac{19014,12}{RT}\right) \quad (9)$$

$$k_{1,RNE} = 187,92 \exp\left(\frac{17359,63}{RT}\right) \quad (10)$$

$$k_{2,RNE} = 391,90 \exp\left(\frac{25149,85}{RT}\right) \quad (11)$$

Berdasarkan hasil optimasi dua variabel diperoleh SSE terkecil pada model reaksi *reversible non elementer* yaitu sebesar $3,84 \times 10^{-13}$ sehingga persamaan laju reaksi etherifikasi gliserol dan tert-butyl alkohol dapat didekati dengan persamaan *reversible non elementer* dimana laju reaksinya sebesar:

$$-r_A = 187,92 \exp\left(\frac{17359,63}{RT}\right) C_A C_B - 391,90 \exp\left(\frac{25149,85}{RT}\right) C_C C_D \quad (12)$$

IV. KESIMPULAN

Reaksi etherifikasi gliserol dan tert-butyl alkohol menjadi GTBE dapat diajukan dengan tiga model persamaan reaksi yaitu model reaksi *irreversible*, *reversible elementer*, dan *reversible non elementer*. Nilai SSE terkecil diperoleh pada model persamaan *reversible non elementer* sehingga persamaan laju reaksi etherifikasi gliserol dan tert-butyl alkohol dapat didekati dengan persamaan *reversible non elementer* dengan nilai $k_1 = 187,92 \exp\left(\frac{17359,63}{RT}\right)$ dan $k_2 = 391,90 \exp\left(\frac{25149,85}{RT}\right)$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pelaksanaan dan penulisan penelitian ini.

DAFTAR NOTASI

C_{A0}, C_{B0}	konsentrasi gliserol dan tert-butyl alkohol mula-mula (mol/L)
C_A, C_B, C_C, C_D	konsentrasi gliserol, tert-butyl alkohol, GTBE, air (mol/L)
M	perbandingan ekivalen tert-butyl alkohol awal dan gliserol awal
x	konversi GTBE
dx/dt	perubahan konversi tiap satuan waktu
R	tetapan gas, 8,314 (J/mol K)
T	temperatur (K)
k	konstanta laju reaksi <i>irreversible</i> (L.mol ⁻¹ .menit ⁻¹)
$k_{1,RE}, k_{2,RE}$	konstanta laju reaksi <i>reversible elementer</i> (L.mol ⁻¹ .menit ⁻¹)

$k_{1,RNE}, k_{2,RNE}$	konstanta laju reaksi <i>reversible non elementer</i> ($L \cdot mol^{-1} \cdot menit^{-1}$)
A	faktor tumbukan
EA	energi aktivasi ($J \cdot mol^{-1}$)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indonesian Palm Oil Association. (2017). *Citing Internet sources* URL <https://gapki.id/>
- [2] Kiatkittipong W, dkk. (2011). Glycerol Ethers Syntesis from Glycerol Etherification with Tert-Butyl Alcohol in Reactive Distillation. *Journal Computers and Chemical Engineering*, vol. 35, no. 10: 2034-2043.
- [3] Karinen RS and Krause AOI. (2006). New Biocomponent from Glycerol. *Journal of Applied Catalyst A: General* 306: 128-133.
- [4] Onal MUS, Srikaya YU, Alemdaroglu TU. (2002). The effect of Acid Activation on Some Physicochemical Properties of a bentonite. *Turk J Chem* 26: 409-416.
- [5] Frusteri F, dkk. (2009). Catalytic Etherification of Glycerol by Tert Butyl Alcohol to Produce Oxygenated Additives for Diessel Fuel. *Journal Applied Catalyst A*, vol. 367, no. 1-2: 77-83.
- [6] Nouredini HS, Dailey WR, Hunt BA. (1998). Production of Glycerol Ether from Crude Glycerol – The by-Product of Biodiesel Production. *Paper in Biomaterial 1998*. Chemical and Biomolecular Engineering Research and Publication.
- [7] Rustamaji H, Sulisty H, Budiman A. (2010). Pemodelan dan Simulasi Kinetika Reaksi Alkoholisis Minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*) dengan Katalisator Zirkonia Tersulfatasi. *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 4, no. 1: 21.
- [8] Levenspiel, O. (1999). *Chemical Reaction Engineering Third Edition*. J Willey & Sons. USA.
- [9] Dinarjo T. (2011). Regresi Linier Sederhana. Program Pascasarjana Universitas Islam As-Syafi'iyah.

ETERIFIKASI GLISEROL DAN TERT-BUTIL ALKOHOL DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS PADAT MENJADI GLISEROL TERT-BUTIL ETER (GTBE) (TINJAUAN PENGARUH WAKTU REAKSI DAN JUMLAH KATALIS TERHADAP KONVERSI GTBE YANG DIHASILKAN)

Aulia Chania^{1,*}, Heri Rustamaji^{2,*}, Radina Ajeng P^{3,*}

Chemical Engineering, Lampung University Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No. 1
Gedong Meneng Bandar Lampung 35145

*Email: Auliachania31@gmail.com; heri.rustamaji@eng.unila.ac.id; radinaap@gmail.com

Abstract: Esterification of glycerol and tert-butyl alcohol with a dowex50WX2 catalyst was carried out using a batch reactor. The research parameters varied were reaction time 3 hours, 4 hours, and 5 hours and the amount of catalyst with a variation of 7, 8 and 9 % weight glycerol. This study aims to modify glycerol into fuel additive, determine the effect of reaction time and the amount of Dowex 50WX2 catalysts on the conversion of GTBE produced, and determine the physical and chemical properties of glycerol tert-butyl ether products produced from the etherification reaction. The results of this study indicate that the lowest glycerol conversion was obtained at the reaction time of 3 hours and the amount of catalyst 7 % weight glycerol is 96.8043%, and the highest glycerol conversion was obtained at the reaction time of 5 hours and the amount of catalyst 8 % weight glycerol is 98.0362%. The physical and chemical properties of the product based on the analysis that has been done describe that the resulting GTBE products are in accordance with applicable fuel additive standards.

Keywords: Dowex50WX2, Esterification, Glycerol, Glycerol Tert-Butyl Ether, Tert-Butyl Alcohol.

Abstrak: Eterifikasi gliserol dan tert-butil alkohol dengan katalis Dowex50WX2 dilakukan dengan menggunakan reaktor *batch*. Parameter penelitian yang divariasikan yaitu waktu reaksi 3jam, 4jam, dan 5jam serta jumlah katalis dengan variasi 7, 8 dan 9% berat. Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi gliserol menjadi *fuel additive*, mengetahui pengaruh waktu reaksi dan jumlah katalis Dowex 50WX2 terhadap konversi GTBE yang dihasilkan, dan mengetahui sifat fisik dan sifat kimia produk gliserol tert-butil eter yang dihasilkan dari reaksi eterifikasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konversi gliserol terendah diperoleh pada waktu reaksi 3 jam dan jumlah katalis 7% berat yaitu 96,8043% , serta konversi gliserol tertinggi diperoleh pada waktu reaksi 5 jam dan jumlah katalis 8% berat yaitu 98,0362%. sifat fisik dan sifat kimia produk berdasarkan analisis yang telah dilakukan mendeskripsikan bahwa produk GTBE yang dihasilkan sesuai dengan standar *fuel additive* yang berlaku.

Kata Kunci: Gliserol, Tert-Butil Alkohol, Katalis Dowex50WX2, Eterifikasi, GTBE.

I. PENDAHULUAN

Saat ini Indonesia memiliki 29 perusahaan biodiesel dengan total produk 2.600.000 kilo liter (kl) pada tahun 2017, dengan rincian produksi biodiesel pada tabel berikut.

Tabel 1. Permintaan Dan Penawaran Biodiesel Indonesia

Tahun	Produksi (kl)	Ekspor (kl)	Penggunaan (kl)
2008	630.000	610	23
2009	330.000	204	60
2010	740.000	563	220
2011	1.800.000	1440	670
2012	2.200.000	1515	670
2013	2.800.000	1800	1048
2014	3.000.000	1350	1600
2015	1.180.000	343	860
2016	2.450.000	200	2250
2017	2.600.000	100	2400

Sumber: GAPKI, Indonesi Palm Oil Association, 2017

Tabel. 2. Data Estimasi 10% Produksi Gliserol

Produksi Biodiesel (kl)	Estimasi Produksi Gliserol (kl)
630.000	63.000
330.000	33.000
740.000	74.000
1.800.000	180.000
2.200.000	220.000
2.800.000	280.000
3.000.000	300.000
1.180.000	118.000
2.450.000	245.000
2.600.000	260.000

Sumber: GAPKI, Indonesia Palm Oil Association, 2017

Tingginya produksi biodiesel di Indonesia menjadi dasar pemerintah untuk mengeluarkan kebijakan, dimana peran bahan bakar nabati (biodiesel) akan ditingkatkan penggunaannya dari 10% (B10) menjadi 20% (B20). Peningkatan bahan bakar nabati (BBN) tersebut sesuai dengan peraturan pemerintah nomor 1 tahun 2006, tentang penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (*biofuel*) sebagai bahan bakar lain dan peraturan Menteri Energidan Sumber Daya Mineral Republik Indonesi (PERMEN RI) nomor 32 tahun 2008, dimana sektor transportasi, industri dan pembangkit tenaga listrik diwajibkan untuk mensubstitusikan bahan bakar fosil dengan bahan bakar nabati (biodiesel) pada persentase tertentu dan secara bertahap. Implementasi peraturan-peraturan tersebut adalah peningkatan produksi BBN di Indonesia seperti biodiesel. Peningkatan produksi biodiesel sebagai BBN juga akan meningkatkan produksi gliserol sebagai hasil samping produk biodiesel.

Menurut Rahmat dkk. (2010), gliserol telah diteliti dan dimodifikasi menjadi gliserol tert butil eter (GTBE) atau tri tetra butyl eter gliserol yang berpotensi digunakan sebagai *fuel additive* pada biodiesel dan gasoline, jumlah CO dan partikel emisi dapat berkurang dengan terjadinya pembakaran yang lebih sempurna serta berfungsi sebagai *octane booster* untuk gasoline. Gliserol mempunyai karakteristik sebagai zat anti beku, tetapi gliserol tidak dapat ditambahkan langsung kedalam biodiesel karena perbedaan polaritas, terdekomposisi dan terpolimerisasi selama pembakaran yang dapat menyebabkan masalah pada mesin sehingga perlunya modifikasi dengan proses eterifikasi (Karine dan Krause, 2006).

Beberapa penelitian terdahulu antara lain, Klepacova dkk. (2003) yang meneliti mengenai proses eterifikasi gliserol dengan tert-butanol menggunakan Amberlyst-15 sebagai katalis, konversi maksimum gliserol tert butil eter sebesar 96% dicapai pada suhu 70°C, rasio molar tert-butanol/gliserol = 6:1 setelah 300 menit. Aktivitas katalitik amberlyst-15 dibandingkan dengan dua zeolite berpori besar (zeolite H-Y dan zeolite H-BEA) konversi akhir gliserol yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan dengan zeolite H-Y dan zeolite H-BEA.

Beberapa jenis katalis resin yang pernah digunakan adalah Amberlyst-15, Amberlyst-36 dan Dowex 50Wx2. Katalis-katalis tersebut dapat digunakan untuk reaksi eterifikasi gliserol dan tert-butyl alkohol untuk menjadi GTBE. Jenis-jenis katalis tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Amberlyst-15 memiliki fase padat dengan struktur macrorecticular, diameter pori 30 nm dan temperature maksimal yaitu 120°C serta keasaman 4,7 mmol/g, sedangkan Amberlyst-36 memiliki sifat yang hampir sama dengan Amberlyst-15 yaitu memiliki fase padat dengan suhu maksimum 150°C, dengan keasaman 5,4 mmol/g. Kemudian Dowex 50Wx2 memiliki fase padat berbentuk gel dengan struktur *macroreticular*, diameter pori 50 nm (*mesoporous*), dan temperature maksimal yaitu 150°C serta nilai keasaman 5,7 mmol/g.

Karakteristik berbagai katalis dapat memberikan informasi yang penting tentang kesesuaian sifat fisik dan kimia untuk pembentukan GTBE sebagai modifikasi gliserol untuk zat aditif sesuai dengan yang disyaratkan (standar *fuel additive*). Adanya beberapa faktor seperti suhu reaksi, waktu reaksi, jenis dan jumlah katalis serta rasio molar gliserol pada saat proses eterifikasi gliserol dengan TBA atau isobutilen akan mempengaruhi konsentrasi Gliserol Tert Butil Eter (GTBE) yang terbentuk dari reaksi eterifikasi maka penulis meneliti tentang pengaruh jumlah katalis dan waktu reaksi pada gliserol dengan TBA terhadap konversi GTBE yang dihasilkan sehingga diperoleh kondisi reaksi yang optimum. Selain itu, akan dianalisis

kesesuaian sifat fisik dan sifat kimia produk gliserol tert-butyl eter dengan standar *fuel additive*.

II. MATERIAL DAN METODE

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Gliserol, Tert-butyl alcohol, dan katalis Dowex 50Wx2. Penelitian dilakukan dengan mencampurkan bahan baku Gliserol, Tert-butyl alcohol, dan katalis Dowex 50Wx2 sesuai dengan jumlah yang telah ditentukan kedalam reaktor *batch* berpengaduk. Suhu reaktor dijaga konstan 80°C, setelah suhu reaksi tercapai maka dimulai proses perhitungan waktu reaksi selama waktu reaksi 3-5 jam dengan kecepatan pengadukan 1000 rpm. Pada akhir reaksi produk dikeluarkan dari reaktor diuapkan untuk memurnikan hasil GTBE dengan menghilangkan Tert-butyl alcohol dan air.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Konversi GTBE

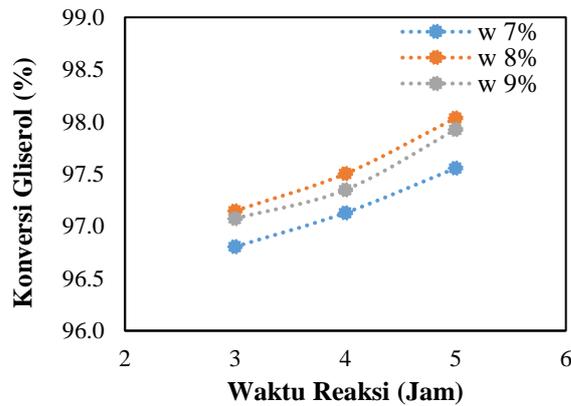
Konversi yang diperoleh dari hasil penelitian ditunjukkan pada tabel 3 Berikut.

Tabel 3. Konversi GTBE

No	Waktu reaksi (jam)	Jumlah katalis (% berat gliserol)	Konversi GTBE (%)
1	3	7%	96,8043
2		8%	97,1481
3		9%	97,0737
4	4	7%	97,1293
5		8%	97,5032
6		9%	97,3494
7	5	7%	97,5561
8		8%	98,0362
9		9%	97,9258

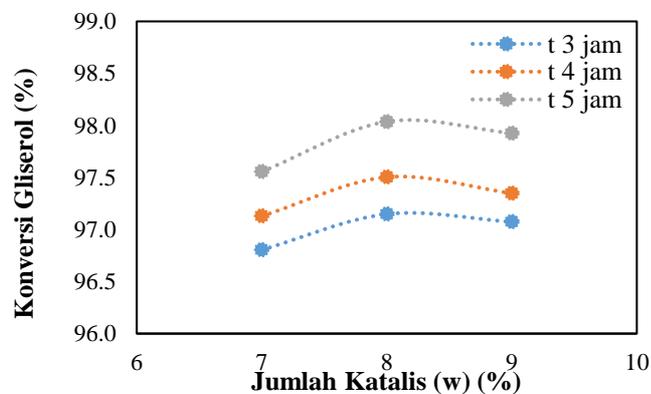
3.2 Pengaruh Waktu Reaksi dan Jumlah Katalis Terhadap Konversi Gliserol

Hubungan waktu reaksi dan jumlah katalis terhadap konversi gliserol yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 1. berikut:



Gambar 1. Hubungan Waktu Reaksi dan Jumlah Katalis terhadap Konversi Gliserol

Pada gambar 1. terlihat bahwa dengan peningkatan waktu reaksi dari 3 jam menjadi 4 jam dan 5 jam, konversi gliserol tert butil eter mengalami peningkatan dari 96,8043% menjadi 97,1293% dan 97,5561% pada jumlah katalis 7% berat. kemudian dengan bertambahnya waktu reaksi dari 3 jam menjadi 4 jam dan 5 jam, konversi gliserol tert-butil eter yang dihasilkan juga mengalami peningkatan dari 97,1481% menjadi 97,5032% dan 98,0362% pada jumlah katalis 8% berat. Selanjutnya dengan waktu reaksi yang bertambah dari 3 jam menjadi 4 jam dan 5 jam, konversi gliserol tert-butil eter yang dihasilkan juga mengalami peningkatan 97,0737% menjadi 97,3494% dan 97,9258% pada jumlah katalis 9% berat. Sehingga dapat disimpulkan dengan waktu reaksi yang bertambah maka semakin besar pula konversi gliserol yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu reaksi maka tumbukan dan kontak antar zat akan semakin besar sehingga menghasilkan konversi yang meningkat pula dan akan membentuk produk gliserol tert-butil eter yang diinginkan. Hubungan jumlah katalis Dowex 50WX2 terhadap konversi gliserol tert-butil eter yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 2. Berikut



Gambar 2. Hubungan Jumlah Katalis dan Waktu Reaksi terhadap Konversi Gliserol

Pada gambar 2. terlihat bahwa pada jumlah katalis dari 7% berat didapatkan hasil konversi gliserol 96,8043%, 97,1293%, dan 97,5561%, sedangkan untuk jumlah katalis 8% beerat didapatkan konversi gliserol 97,1481%, 97,5031%, dan 98,0362% serta pada jumlah katalis 9% berat konversi yang didapatkan mengalami penurunan, yaitu 97,0737%, 97,3494% dan 97,9258% dari jumlah katalis sebelumnya. Secara keseluruhan konversi tertinggi diperoleh pada jumlah katalis 8% yaitu 98,0362% sedangkan untuk konversi gliserol terendah diperoleh pada jumlah katalis 7% berat yaitu 96,8043%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah katalis tidak berbanding lurus dengan peningkatan konversi, yang disebabkan karena reaksi eterifikasi gliserol dan tert-butil alkohol menjadi GTBE merupakan reaksi reversibel (dapat balik) sehingga setelah terjadinya kesetimbangan reaksi hasil produk tersebut bisa kembali menjadi reaktan.

3.3 Analisis Sifat Fisik dan Sifat Kimia GTBE

Analisi sifat fisik yang dilakukan pada gliserol tert-butyl eter yang dihasilkan berupa viskositas, densitas, titik nyala, titik awan, titik tuang dan *octane number*, kemudian hasil analisis sifat fisik tersebut akan dibandingkan dengan standar *fuel additive*. Perbandingan sifat fisik dan sifat kimia hasil GTBE dengan standar *fuel additive* dapat dilihat pada tabel 4. Berikut:

Tabel 4. Perbandingan Sifat Fisik GTBE dengan Standar Fuel Additive.

No	Parameter	Hasil Analisi GTBE	Standar Fuel Additive
1	Densitas (gr/cm ³)	0,88029	0,75-0,95
2	Viskositas (mm ² /s)	3,805	1,9-6,0
3	Titik nyala (°C)	126,811	Min 100
4	Titik awan (°C)	20,573	Min -36
5	Titik tuang (°C)	6,302	Maks 18
6	<i>Octane number</i>	94,28	90-99

Berdasarkan tabel 4. diatas, hasil analisis sifat fisik gliserol tert-butyl eter yang telah dilakukan secara keseluruhan sesuai dengan standar *fuel additive*. Hal itu dibuktikan dengan didapatkan densitas dan viskositas sebesar 0,88029gr/cm³ dan 3,805mm²/s sesuai dengan standar *fuel additive* yang berlaku, untuk titik nyala, titik awan melebihi standar minimum *fuel additive* yaitu 126, 811°C untuk titik nyala dan 20,573°C untuk titik awan. Kemudian untuk titik tuang juga sesuai dengan standar *fuel additive* yang berlaku yaitu kurang dari standar maksimumnya 6,302°C. Selanjutnya untuk angka oktan dari hasil gliserol tert-butyl eter pun sesuai dengan standar *fuel additive* yang di syaratkan yaitu 94,28.

3.4 Analisis Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

Berdasarkan hasil analisis GCMS yang telah dilakukan produk GTBE bahwa Gliserol tert-butyl eter yang terbentuk berupa 2-tert-butoxy-propane-1,3-diol (mono-tert-butyl eter gliserol); 3-tert-butoxy-propane-1,2-diol (mono-tert-butyl eter gliserol); 3-tert-butoxy-propane-1,3-diol (mono-tert-butyl eter gliserol); 1,3-di-tert-butoxy-propan-2-ol (di-tert-butyl eter gliserol); 1,2-di-tert-butoxy-propan-3-ol (di-tert-butyl eter gliserol); dan 1,2,3-tri-tert-butoxy-propane (tri-tert-butyl eter gliserol). Dengan persentasi komposisi yang terbentuk antara lain mono-tert-butyl eter gliserol 58,4%, di-tert-butyl eter gliserol 23,5%, tri-tert-butyl eter gliserol 14,2% dan sisanya adalah gliserol yaitu 3,9%.

3.5 Analisis Performa Mesin Terhadap Penggunaan GTBE

Analisis performa mesin terhadap GTBE dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung, mesin yang digunakan untuk analisis ini adalah motor bensin 4 langkah 1 silinder yang terkopel dengan dinamometer dengan sistem pembebanan menggunakan laju air bertekanan 1 bar. Mesin ini dilengkapi dengan unit instrumen VDAS (*Versatile Data Acquisition System*) dan Software Tecquipment VDAS. Hasil analisis motor bakar dapat dilihat pada tabel 5. Berikut:

Tabel 5. Analisis Motor Bakar

Parameter	Hasil Analisis pertalite dan GTBE	Hasil Analisis Pertalite Murni
Torque (Nm)	12,9	12,8
Speed (min ⁻¹)	2506	2490
Power (W)	3381	3348
Air Fuel Ration	13,08	12,96
Spesifik Consumption (kg/kWh ⁻¹)	0,28	0,28
Thermal Efficiency (%)	29,35	29,00
Volumetric Efficiency (%)	67,46	67,45
Heat of Combution on (W)	11518	11544

Torsi atau momen putar penggunaan campuran bahan bakar pertalite dan GTBE mengalami peningkatan nilai torsi 0,1 Nm dari bahan bakar pertalite murni. Sedangkan untuk besaran kemampuan motor melakukan kerja dengan peningkatan nilai torsi 0,1 yaitu sebesar 3381W lebih besar dibandingkan bahan bakar pertalite yang menghasilkan daya 3348W sehingga kecepatan motor yang dihasilkan lebih besar bahan bakar campuran pertalite dan GTBE yaitu 2506 min⁻¹ dibandingkan dengan pertalite yaitu 2490 min⁻¹. *Spesific Consumption* antara kedua bahan bakar memiliki kemampuan yang sama dalam penggunaan bahan bakar yaitu sebesar 0,28kg/kWh⁻¹. Efisiensi termal, bahan bakar campuran

pertalite dengan GTBE mengalami peningkatan dibandingkan dengan pertalite murni yaitu 29,35% untuk campuran pertalite dan GTBE dan 29,00% untuk pertalite murni dengan nilai peningkatan sebesar 0,35%. Bahan bakar campuran pertalite dan GTBE menghasilkan *Volumetric Efficiency* sebesar 67,46% lebih besar dibandingkan bahan bakar pertalite murni dengan nilai *Volumetric Efficiency* sebesar 67,45%. Hal ini menunjukkan bahwa bahan bakar campuran pertalite dan GTBE menghasilkan tenaga yang dihasilkan lebih besar 0,1% dibandingkan pertalite murni.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Konversi gliserol tertinggi yaitu 98,0363% diperoleh dengan lama waktu reaksi 5 jam dan jumlah katalis 8% sedangkan konversi terendah yaitu 96,8043% diperoleh dengan lama waktu reaksi 3 jam dan jumlah katalis 7%.

Berdasarkan hasil analisis GCMS perolehan konversi tertinggi yaitu 98,0362% pada lama waktu reaksi 5 jam dan jumlah katalis 8%, didapatkan komposisi senyawa yang antara lain mono-tert-butyl eter gliserol 58,4%, di-tert-butyl eter gliserol 23,5%, tri-tert-butyl eter gliserol 14,2% dan sisanya adalah gliserol yaitu 3,9%.

Analisis sifat fisik GTBE yang dihasilkan menyatakan bahwa GTBE dengan konversi tertinggi sesuai dengan standar *fuel additive*, dengan rician nilai analisis yang didapat yaitu densita 0,88029 gr/cm³, viskositas 3,805 mm²/s, titik nyala 126,811°C, titik awan 20,573°C, titik tuang 6,302°C, dan *octane number* 94,28.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat terselesaikan tidak lepas dari bantuan dan dukungan serta bimbingan berbagai pihak, oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Laboratorium Kimia Terapan Teknik Kimia Universitas Lampung yang telah memfasilitasi penelitian ini dan terimakasih kepada berbagai laboratorium untuk analisis hasil penelitian ini yakni Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Lampung, Laboratorium Teknologi Hasil Pertanian Politeknik Negeri Lampung, Laboratorium Energi Dan Lingkungan (LPPM) ITS, dan Laboratorium Kimia Organik FMIPA UGM .

DAFTAR PUSTAKA

- Dow, 2017. Dowex Fine Mesh Spherical Ion Exchange Resins. Trademark Of The Dow Chemical Company.
- Frusteri F, *et al.* 2009. Catalytic Etherification of Glycerol by Tert Butyl Alcohol to Produce Oxygenated Additives for Diessel Fuel. *Journal Applied Catalyst A*, vol. 367, no. 1-2, pp. 77-83.
- Huang R, *et al.* 2015. Catalytic Synthesis of Glycerol Tert Butyl Ethers as Fuel Additives From the Biodiesel by Product Glycerol. *Journal of Chemisty*.
- Karinen RS dan Krause AOI. 2006. New Biocomponent from Glycerol. *Journal of Applied Catalyst A: General* 306: 128-133.
- Kiatkittipong W, *et al.* 2011. Glycerol Ethers Syntesis From Glycerol Etherification with Tert-Butyl Alcohol in Reactive Distillation. *Journal Computers and Chemical Engineering*, vol. 35, no. 10, pp. 2034-2043.
- Klepáková K, Mravec D, Hájeková E, Bajus M. 2003. Etherification of Glycerol. *Journal of Petroleum and Coal* 45 (1-2): 54-57.
- Klepáčová K, Mravec D, Bajus M. 2005. Tert Butylation of Glycerol Catalysed by Ion Exchange Resins. *Journal Applied Catalysis A: General* 294: 141–147.
- Knote, Gerhard, Jon Van Gerpen, Jurgen Krahl. 2004. *The Biodiesel Handbook*. Illinois: AOCS Press.
- Noureddini HS, Bailey WR, Hunt BA. 1988. Production of Glycerol Ether From Crude Glycerol – The by-Product of Biodiesel Production. *Papers in Biomaterial 1988*. Chemical and Biomolecular Engineering Research and Publication.
- Onal MUS, Srikaya YU, Alemdaroglu TU. 2002. The effect of Acid Activation on Some Physicochemical Properties of A bentonite. *Turk J Chem* 26:409-416.
- Pico MP, *et al*, 2012. Etherification of Glycerol by Tert Butyl Alcohol: Kinetic Model. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, no. 51, pp. 9500-9509.
- Rahmat N, *et al.* 2010. Recent Progress on Innovative and Potential Technologies for Glycerol Tranformation into Fuel Additives: a Critical Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 3, pp. 987-1000.
- Setyaningsih D, dkk. 2008. Peningkatan Kualitas Biodiesel Jarak Pagar Melalui Sintesis Gliserol Eter Sebagai Aditif Penurun Titik Awan dan Titik Tuang. *Laporan Penelitian*. Surfactant and Bioenergy Research Center, IPB, Bogor.

Sherwood J.N, et al. 1991. Physical Properties of Materials, 2nd Edition. Technology and Engineering Book. New York.

Sigma-Aldrich Pte Ltd (Co. Registration No. 199403788W) 1 Science Park Road. *Safety Data Sheet Amberlyst-15*. The Capricorn, S'pore Sci. Pkll. Singapura.

Halaman Kosong

**BIDANG 6:
SAINS TERAPAN DAN MULTIDISIPLIN**

Halaman Kosong

ANALISIS PENEMPATAN GUDANG BANTUAN TANGGAP DARURAT BENCANA ALAM KABUPATEN PANGANDARAN MENGGUNAKAN *SET COVERING PROBLEM* DAN ANP

M. Welano Kharisma^{1,*}, Rifqi Rahmadanti Agustin¹, A.A.N. Perwira Redi¹

¹Program Studi Teknik Logistik Universitas Pertamina
Jalan Teuku Nyak Arief, Simprug, Kebayoran Lama, Jakarta 12220

*Email: welanokharisma@gmail.com

Abstrak: Secara geografis Indonesia dihimpit oleh tiga lempeng benua yaitu Indo-Australia dari selatan, Eurasia dari utara, dan Pasifik dari timur yang menyebabkan munculnya jalur gempa, rangkaian gunung aktif di seluruh Indonesia, dan tsunami yang tidak terhindarkan. Mengingat besarnya potensi dan risiko yang ditimbulkan dari bencana alam tersebut, mitigasi bencana menjadi langkah penting untuk meminimalisir risiko bencana salah satunya melalui *humanitarian logistics*. Kabupaten Pangandaran menjadi fokus penelitian ini karena Pangandaran merupakan daerah urutan ke 16 rawan bencana dari 514 kabupaten/kota di Indonesia, dan urutan ke 5 dari 27 kabupaten/kota di Jawa Barat tercatat pada tahun 2018. Hal tersebut dipandang sangat riskan apabila mitigasi, persiapan, dan respon implementasi di Kabupaten Pangandaran tidak dilakukan dengan benar. Persiapan yang matang dalam menentukan strategi efektif penyaluran cepat dan optimal menjadi kunci sukses dalam perspektif logistik kebencanaan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *set covering problem* dan *Analytical Network Process (ANP)* untuk menentukan lokasi strategis penempatan gudang bantuan bencana dengan *resources* dan *constraints* yang ada tetapi masih dapat meng-cover kebutuhan logistik di keseluruhan kabupaten Pangandaran tanpa terkecuali. Dari hasil penelitian ini peneliti mengajukan beberapa titik yang dapat dipertimbangkan menjadi gudang bantuan bencana yang bisa untuk meng-cover kebutuhan logistik di semua kabupaten yang ada di Pangandaran secara efisien.

Kata kunci: *humanitarian logistics*, Pangandaran, *set covering problem*, ANP

I. PENDAHULUAN

Kepulauan Indonesia secara geografis dikelilingi oleh lingkaran api pasifik (*Pacific Ring Of Fire*) yang berbentuk menyerupai tapal kuda melengkung sepanjang pulau Sumatera, Jawa hingga Sulawesi. Selain itu, letak Indonesia yang berada diantara pertemuan 3 lempeng benua diantaranya Indo-Australia dari selatan, Eurasia dari utara, dan Pasifik dari Timur yang menjadikan Indonesia berada di jalur gempa teraktif di dunia. Hal ini menyebabkan wilayah Indonesia rawan bencana mulai dari letusan gunung berapi, gempa bumi dan tsunami. Tsunami dapat dikatakan sebagai salah satu bencana alam yang paling mematikan dan membuat kerugian sangat besar bagi penduduk pesisir pantai. Tsunami dapat disebabkan oleh gempa bumi atau gangguan dasar laut yang menyebabkan ketidakstabilan air laut.

Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki tingkat ancaman tsunami yang tinggi adalah Kabupaten Pangandaran yang tergolong sangat riskan karena gempa bumi dan tsunami di sekitar pantai selatan pulau Jawa dapat terjadi setiap saat. Menurut LIPI, bencana tersebut sulit untuk dapat diprediksi dengan baik. Seperti tsunami yang terjadi di Pangandaran pada 17 Juli 2006 silam yang masih meninggalkan bekas luka dan trauma bagi penduduk sekitar Pangandaran. Menurut hasil penelitian Endra Gunawan beserta tim dari Institut Teknologi Bandung (ITB) sampai saat ini masih terdapat pergerakan deformasi di wilayah episentrum akibat tsunami tersebut yang berpotensi memicu gempa selanjutnya [1].

Tindakan awal sangat perlu dilakukan untuk mengantisipasi agar meminimalisir risiko kerugian yang diakibatkan oleh tsunami yang diprediksi dapat terjadi lagi tanpa adanya peringatan adalah tindakan penanggulangan bencana. Sehingga koban jiwa, kerugian material, mental dan lingkungan dapat diminimalisir dan terkendali. Mitigasi bencana menjadi sebuah kunci sukses dalam penanggulangan bencana gawat darurat apabila disertai dengan persiapan dan respon implementasi yang tanggap dan matang [2]. Penelitian ini bertujuan untuk mencari lokasi strategis penempatan gudang bantuan bencana sebagai dasar dalam tindakan mitigasi agar distribusi barang bantuan untuk memenuhi kebutuhan primer saat terjadinya bencana dapat dilakukan dengan cepat, efektif, dan akurat.

II. MATERIAL DAN METODE

Material yang digunakan untuk menganalisis penempatan gudang bantuan bencana yang tepat dan optimal di daerah kawasan bencana Pangandaran adalah kandidat lokasi fasilitas yang memungkinkan dari beberapa kecamatan di Pangandaran, jarak antar kecamatannya, dan biaya yang diperlukan untuk membangun satu unit fasilitas tersebut. Sedangkan metode yang digunakan adalah *Set Covering Problem* (SCP) dan *Analytical Network Process* (ANP). Metode *Set Covering Problem* dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\text{Minimasi} \quad \sum_{j \in J} f_j X_j \quad (1)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{j \in J} a_{ij} X_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall i \in J \quad (3)$$

Dimana,

X_j = bernilai 1 apabila memutuskan untuk membuka fasilitas $j \in J$,
dan nilai 0 apabila tidak

- f_j = biaya untuk membuka fasilitas di $j \in J$
 a_{ij} = bernilai 1 apabila kandidat fasilitas $j \in J$ meng-cover permintaan pada *node* $i \in I$, dan nilai 0 apabila tidak [3]

Fungsi tujuan (1) bertujuan untuk meminimasi total biaya pembangunan fasilitas, batasan pada persamaan (2) memastikan bahwa setiap permintaan pada *node* i dilayani oleh setidaknya 1 fasilitas, sedangkan persamaan (3) memastikan bahwa nilai *variable* keputusan bernilai biner yaitu 0 atau 1.

Sedangkan untuk metode *Analytical Network Process* perbandingan berpasangan dilakukan dengan matriks dan vektor prioritas dengan menyelesaikan persamaan:

$$A \times w = \lambda \max \times w$$

Dimana,

A = matriks perbandingan berpasangan

w = *eigen vector*

$\lambda \max$ = nilai *eigen value* terbesar A

Pengumpulan data-data yang diperlukan untuk menunjang metode-metode diatas dimulai dari pemilihan kandidat lokasi gudang bantuan bencana dengan memperhatikan jarak tempuh untuk masing-masing kecamatan, biaya yang dibutuhkan untuk membangun satu fasilitas pada setiap *node*, data historis kerugian dan kerusakan dari masing-masing kecamatan yang terdampak tsunami tahun 2006 [4]. Prosedur pengumpulan data dilakukan dengan mencari referensi teori dan hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan kasus yang kami angkat di Pangandaran. Setelah melakukan pengumpulan dan pengolahan data menggunakan metode SCP dan ANP, selanjutnya menganalisis apakah jumlah gudang bantuan bencana yang akan dibangun di daerah Pangandaran sudah paling optimal dan apakah lokasinya tepat sehingga dapat memenuhi semua permintaan kebutuhan warga terdampak sesuai dengan *resources* dan *constraint* yang ada.

2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini bersumber dari referensi teori dan hasil penelitian sebelumnya yang menjadi bahan dalam pengumpulan dan pengolahan data. Sedangkan alat ukur yang kami gunakan adalah *software* AMPL untuk menentukan jumlah gudang bantuan bencana yang akan dibangun dan lokasi yang paling tepat untuk membangun gudang tersebut agar seluruh kecamatan di Pangandaran dapat ter-cover oleh gudang yang akan dibangun [5,6], dan *Software Super Decision* yang digunakan untuk

menghitung besarnya bobot untuk setiap kriteria kecamatan di Pangandaran agar ditemukan prioritas lokasi gudang bantuan bencana [7].

2.2 Metode Penelitian

Metode penelitian terfokus kepada langkah-langkah yang diambil mulai dari mengidentifikasi permasalahan, mengambil data, mengolah data, menganalisis data yang didapatkan dari hasil pengolahan data sebelumnya, sampai pada proses penarikan kesimpulan.

2.2.1 Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data kecamatan yang ada di Kabupaten Pangandaran dilakukan dengan melihat website Kabupaten pangandaran dan untuk data jarak antar kecamatan didapatkan melalui *google mymaps* [5,6].

2.2.2 Kriteria Pemilihan Lokasi Gudang

Kriteria yang digunakan untuk pemilihan lokasi gudang bantuan tanggap darurat bencana diadopsi dari analisis literatur dan sebuah referensi [8]. Dalam hal ini, penelitian yang telah dilakukannya yaitu menggunakan kriteria tersebut untuk memilih gudang darurat bencana di Kabupaten Cilacap [8].

Tabel 1. Kriteria Untuk Pemilihan Gudang Bantuan Tanggap Darurat Bencana

Kriteria	Deskripsi	Sumber
Akses jalan	Lokasi gudang yang harus dipilih haruslah dapat dijangkau oleh alat transportasi agar pengiriman ke gudang dan dari gudang untuk didistribusikan	[8]
Aliran listrik	Jaringan listrik dibutuhkan untuk pemilihan lokasi gudang guna mengoperasikan peralatan listrik dan lampu penerangan gudang	[8]
Harga tanah	Untuk melihat kesanggupan dana dari BNPB	Analisis penulis
Jumlah yang dicover	Semakin banyak kecamatan yang bisa dicover oleh suatu gudang maka akan semakin bagus lokasi gudang tersebut	Analisi penulis
Keamanan dari dampak bencana	Lokasi penempatan yang aman dan strategis dari daerah yang terdampak bencana alam	[8]
Komunikasi	Komunikasi yang cepat, tepat dan efisien guna memberikan informasi terkini untuk menentukan kebijakan selanjutnya	[8]

2.2.3 Prioritas Kriteria Pemilihan Gudang

Setelah menentukan beberapa kriteria yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi gudang bantuan bencana, langkah selanjutnya adalah menentukan prioritas dari kriteria tersebut mana yang paling penting untuk dipertimbangkan. Berdasarkan asumsi dan data penelitian sebelumnya, didapatkan prioritas pertama adalah keamanan dari dampak bencana. Gudang bantuan bencana harus berada di lokasi yang steril dari dampak bencana karena jika ditempatkan di daerah yang dekat dengan rawan bencana ditakutkan gudang bencana tersebut rusak dan kehilangan tujuan utamanya. Prioritas kedua adalah banyaknya jumlah daerah atau kecamatan yang di-cover oleh gudang tersebut agar bisa memaksimalkan jumlah kecamatan di Pangandaran yang dapat menerima bantuan bencana. Prioritas ketiga adalah akses jalan yang semakin bagus menandakan akses transportasi yang semakin mudah untuk menyalurkan bantuan bencana ke gudang. Aliran listrik merupakan prioritas keempat karena merupakan kriteria yang kurang kuat dimana fungsi penerangan gudang kurang dibutuhkan saat terjadinya bencana, yang terpenting adalah fungsi utama dalam penyaluran bantuan. Prioritas kelima adalah aliran komunikasi dimana informasi dan kebijakan dapat tersalurkan kepada semua warga di Pangandaran. Hal tersebut masih bisa dipertimbangkan di akhir karena relasi efektifitas terhadap terwujudnya tujuan utama kurang. Sedangkan kriteria terakhir adalah harga tanah untuk meminimasi biaya yang dikeluarkan atas pembangunan gudang bantuan bencana tersebut.

2.2.4 Alternatif Lokasi Gudang

Alternatif dari lokasi gudang diletakkan di setiap kecamatan yang ada di Kabupaten Pangandaran

Tabel 2. Alternatif Lokasi Gudang

Kecamatan	Kode Kecamatan
Kecamatan Cilujang	A
Kecamatan Cimerak	B
Kecamatan Cigugur	C
Kecamatan Kalipucang	D
Kecamatan Langkaplancar	E
Kecamatan Mangunjaya	F
Kecamatan Padaherang	G
Kecamatan Pangandaran	H
Kecamatan Parigi	I
Kecamatan Sidamulih	J

2.2.5 Pengolahan Data Dengan Set Covering dan Analisis

Set covering digunakan menentukan berapa jangkauan dari setiap kandidat gudang yang ada [9]. Kandidat gudang yang ditetapkan adalah berada pada setiap kecamatan yang ada di Kabupaten Pangandaran. Kemudian pada tahap ini, data jarak antar kecamatan yang ada di Kabupaten Pangandaran tersebut menjadi *input* pada proses pengolahan data *set covering* untuk mendapatkan beberapa *alternative* gudang bantuan yang dapat meng-*cover* semua kecamatan. Kemudian hasil dari *set covering* ini menjadi *input* data dalam pembobotan melalui ANP.

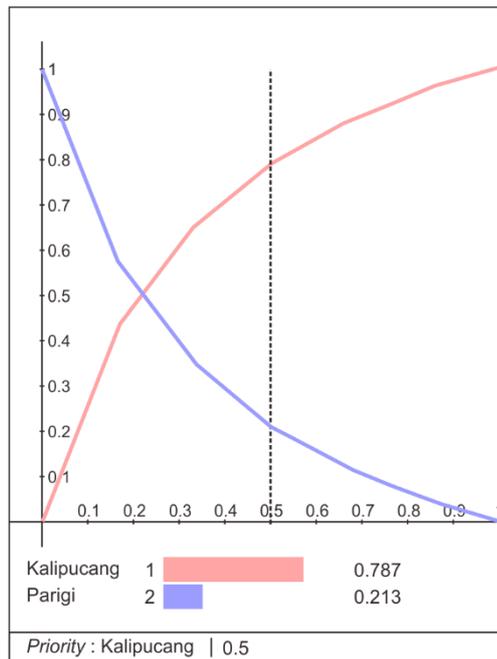
2.2.6 Pengolahan Data Dengan ANP dan Analisis

ANP merupakan bentuk umum pengambilan keputusan multi kriteria AHP yang banyak digunakan. ANP merupakan proses yang memungkinkan seseorang untuk memasukkan semua faktor atau kriteria yang sifatnya berwujud atau tidak berwujud untuk mengambil keputusan terbaik. Dalam pengolahan data ANP hal pertama yang harus dilakukan adalah membuat model *hierarchical pairwise* dengan bantuan *software Super Decision*. Model terdiri dari 3 *level*, yaitu *level* pertama adalah *level* tujuan yang akan dicapai, kemudian yang kedua adalah kriteria dari tujuan tersebut dan *level* terakhir adalah beberapa *alternative* yang tersedia. Berikut adalah gambar *hierarchical pairwise*.

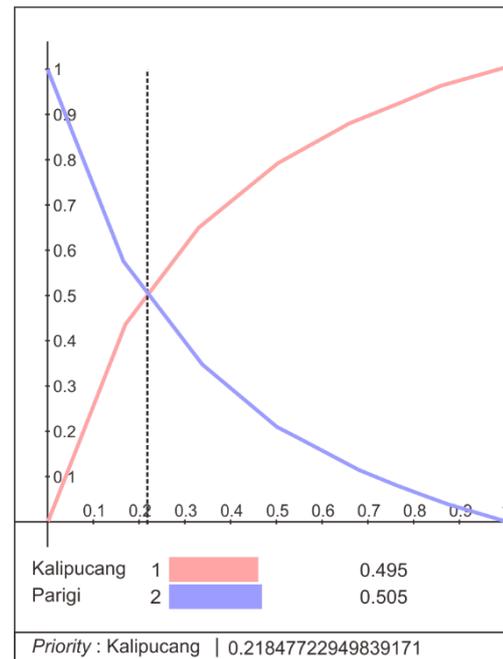


Gambar 1. Model Hierarchical Pairwise

Selanjutnya adalah membuat *rating* untuk perbandingan antar kriteria, dan juga membuat bobot pada antar *alternative* berdasarkan kriteria yang ada, Bobot dibuat oleh penulis berdasarkan kepada analisis dari data literatur yang ada. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui rasio konsistensinya pada setiap bobot elemen yang saling berkaitan. Perbandingan bobot setiap elemen harus kecil dari 0.1 untuk memastikan bahwa bobot yang telah diberikan mempunyai konsistensi.



Gambar 2. Uji Sensitivitas



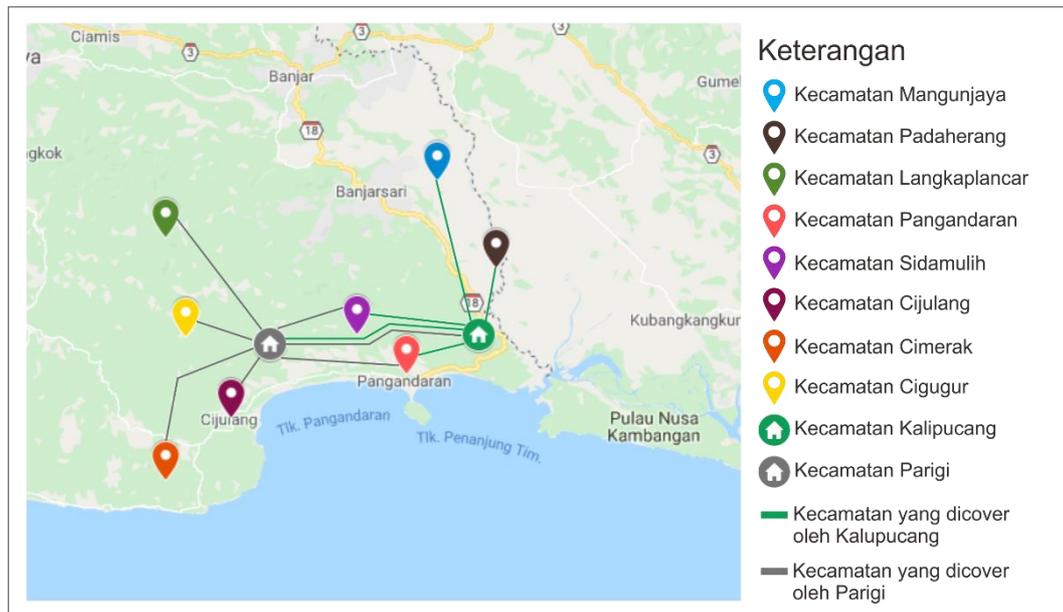
Gambar 3. Perubahan Urutan Prioritas

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengantisipasi perubahan yang telah dilakukan sebelumnya dan melihat sejauh mana stabilitas dari *alternative* yang telah diprioritaskan. Garis *vertical* menandakan nilai bobot masing-masing *alternative*. Pada gambar 2 dengan bobot 0.5 maka *alternative* prioritasnya adalah Kecamatan Kalipucang, namun jika bobotnya dikurangi sampai 0.2185 seperti gambar 3, maka *alternative* prioritas akan berubah yaitu menjadi Kecamatan Parigi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil dan Pembahasan Set Covering

Berdasarkan model *set covering* dari 10 kecamatan kandidat didapatkan 2 *alternative* lokasi gudang tanggap darurat yaitu di Kecamatan Kalipucang dan Parigi. 2 *alternative* tersebut bisa meng-cover semua wilayah yang ada di Kabupaten Pangandaran sehingga tidak perlu untuk membangun gudang tanggap darurat disetiap kecamatan yang ada sehingga lebih efektif dan efisien.



Gambar 4. Hasil Perhitungan Menggunakan AMPL

Berdasarkan hasil model AMPL, hasil dari X yang bernilai 0 merupakan gudang yang tidak dibangun dan sebaliknya yang bernilai 1 adalah gudang yang akan dibangun. Dalam hal ini *solver* yang digunakan adalah gurobi yang bisa memecahkan permasalahan yang sederhana seperti *linier programming*.

3.2 Hasil dan Pembahasan ANP

Metode ANP disini untuk menentukan kecamatan mana yang lebih prioritas diantara Kecamatan Kalipucang dan Kecamatan Parigi. Setelah dilakukan pengolahan data didapatkan bahwa Kecamatan Kalipucang merupakan kecamatan yang lebih prioritas daripada Kecamatan Parigi yaitu dengan bobot 0.630224 berbanding 0.369776.

Tabel 3. Hasil Bobot Akhir

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Kalipucang	<div style="width: 63%; background-color: #00aaff;"></div>	1.000000	0.630224	0.315112
Parigi	<div style="width: 37%; background-color: #00aaff;"></div>	0.586738	0.369776	0.184888

Tabel 4. Hasil Prioritas

Name	Graphic	Normalizes by Cluster	Limiting
Kalipucang	<div style="width: 60%; background-color: #00aaff;"></div>	0.60205	0.301025
Parigi	<div style="width: 39%; background-color: #00aaff;"></div>	0.39795	0.198975
Akses jalan	<div style="width: 12%; background-color: #00aaff;"></div>	0.12115	0.060575
Aliran listrik	<div style="width: 9%; background-color: #00aaff;"></div>	0.09403	0.047017
Harga tanah	<div style="width: 4%; background-color: #00aaff;"></div>	0.04633	0.023167
Jumlah daerah yang dicover	<div style="width: 27%; background-color: #00aaff;"></div>	0.27580	0.137901
Keamanan dari dampak bencana	<div style="width: 42%; background-color: #00aaff;"></div>	0.42071	0.210356
Komunikasi	<div style="width: 4%; background-color: #00aaff;"></div>	0.04197	0.020984

Berdasarkan hasil tabel 4 semakin aman daerah tersebut dari dampak bencana semakin baik. Keamanan gudang dalam bencana adalah hal yang vital supaya tetap bisa mengirimkan bantuan ketika terjadi bencana di Kabupaten Pangandaran.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian dan analisis data, dapat disimpulkan bahwa lebih efektif dan efisien untuk membangun 2 gudang bantuan bencana yaitu di Kecamatan Kalipucang dan Kecamatan Parigi yang mana kecamatan ini sudah bisa meng-cover keseluruhan permintaan di semua kecamatan di Kabupaten Pangandaran. Setelah diketahui jumlah dan lokasi gudang bantuan bencana yang akan dibangun, langkah selanjutnya adalah menentukan prioritas lokasi gudang yang paling optimal dan paling banyak meng-cover permintaan di setiap kecamatan, hal ini bertujuan sebagai pertimbangan kemampuan pemerintah dalam membiayai pembangunan jika dana yang dimiliki hanya bisa dialokasikan untuk 1 gudang bantuan bencana saja. Penentuan prioritas tersebut dilakukan dengan bantuan *software super decision* dan didapatkan bahwa Kecamatan Kalipucang merupakan kecamatan yang lebih prioritas daripada Kecamatan Parigi yaitu dengan bobot 0.630224 berbanding 0.369776.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Putra, L. M. (25 Juli 2017). *Citing Internet source* URL <https://sains.kompas.com/read/2017/07/25/063000623/11-tahun-setelah-kejadiannya-keunikan-gempa-pangandaran-2006-diungkap?page=all>
- [2] Marlyono, S. G. (2013). Perbandingan Tingkat Kesiapsiagaan Peserta Didik Sd, Smp, Dan Sma Dalam Menghadapi Bencana Tsunami Di Kecamatan Pangandaran Kabupaten Ciamis.
- [3] Suletra, I. W., Priyandari, Y., & Jauhari, W. A. (2018). Capacitated set-covering model considering the distance objective and dependency of alternative facilities. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- [4] Liputan6. (18 Juli 2006). *Citing Internet source* URL <https://www.liputan6.com/news/read/126022/korban-tsunami-pangandaran-mencapai-ratusan>
- [5] Purba, S. R. P., Lasmana, I. D., & Redi, A. P. (2018). Pemilihan Loker Otomatis sebagai Media Pengumpulan Donasi Bencana Menggunakan Optimasi Dua Fase: P-Median dan VRP.

- [6] Kamil, A. P., Adzkia, H. F., & Redi, A. P. (2018). Pemilihan Lokasi Parkir Penyewaan Sepeda Menggunakan Maximum Demand Covering Problem Studi Kasus: Kawasan Monas.
- [7] Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- [8] Dodi Priyango, U. C., Panji Suwarno. (2016). Analisis Penempatan Gudang Bantuan Tanggap Darurat Bencana Alam Menggunakan Metode Set Covering Dan ANP(Studi Kasus di Kabupaten Cilacap).
- [9] Malekinezhad, A., Shirazi, E., & Aryanezhad, M. (2011). A multi-objective set covering problem: A case study of warehouse allocation in truck industry. *Management Science Letters*, 1(1), 73-80.

OPTIMASI PENDIRIAN FASILITAS PENGUMPULAN DONASI BENCANA MENGGUNAKAN *MAXIMUM COVERING PROBLEM* DAN *P-CENTER*

**Ina Dwi Lasmana^{1,*}, Samuel Ro Paian Purba¹, Raihan Ahmad Fadhil¹,
Anak Agung Ngurah Perwira Redi¹**

¹Jurusan Teknik Logistik, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Pertamina, Jalan
Teuku Nyak Arief, Jakarta, 12220, Indonesia
Email: inadwilasmana@gmail.com

Abstract: *Effective and efficient logistics delivery is crucial when disaster emergencies occur. One of the activities in disaster logistics that is related with the community is done through donation collection activities. The mechanism for collecting donations is generally done manually by sending donations directly to the donation center. Nowadays, there are facilities with automated parcel locker technology which are widely used by the public, in which this facility allows locker's owner to be able to access their lockers at any time. This research proposes is to use the automated parcel lockers as a facility to collect disaster donations. To collect donations in an effective way, the maximum covering problem and p-center models are used to determine where the facility will be built. The maximum covering problem model will determine the location of the facility by considering the number of donations is covered as much as possible, while the p-center model will determine the location of the facility by considering the maximum distance from the donation center to the donor to be as minimum as possible. Thus, modeling the maximum covering problem and p-center for designing disaster donation collection networks using automated parcel lockers in Indonesia can help connect the disaster logistics chain more effectively and efficiently.*

Keywords: *automated parcel locker, maximum covering problem, p-center*

Abstrak: Pengiriman logistik yang efektif dan efisien merupakan hal yang krusial ketika terjadi keadaan darurat bencana. Salah satu aktivitas dalam logistik bencana yang berkaitan dengan partisipasi masyarakat adalah kegiatan pengumpulan donasi. Mekanisme pengumpulan donasi secara umum dilakukan secara manual dengan mengirimkan donasi secara langsung ke pusat donasi. Saat ini terdapat fasilitas dengan teknologi *automated parcel locker* yang mulai banyak digunakan oleh masyarakat, di mana fasilitas ini mengizinkan pemilik loker untuk dapat mengakses lokernya setiap saat. Dalam penelitian ini diusulkan penggunaan *automated parcel locker* sebagai sarana untuk mengumpulkan donasi bencana. Agar pengumpulan donasi berjalan dengan efektif, digunakan model *maximum covering problem* dan *p-center* untuk menentukan lokasi pendirian fasilitas. Model *maximum covering problem* akan menentukan lokasi pendirian fasilitas dengan mempertimbangkan jumlah donasi yang dijangkau sebanyak mungkin, sedangkan model *p-center* akan menentukan lokasi pendirian fasilitas dengan mempertimbangkan maksimum jarak jangkauan dari pusat donasi ke donator seminimal mungkin. Maka, pemodelan *maximum covering problem* dan *p-center* untuk perancangan jaringan pengumpulan donasi bencana menggunakan *automated parcel locker* di Indonesia dapat membantu tersambungannya rantai logistik bencana dengan lebih efektif dan efisien.

Kata Kunci: *automated parcel locker, maximum covering problem, p-center*

I. PENDAHULUAN

Pada tahun 2004 terjadi bencana gempa bumi yang mengakibatkan salah satu tsunami terbesar pada daerah Asia Tenggara dalam kurun waktu 2000-2010. Bencana ini memiliki dampak pada daerah di sekitar Samudera Hindia di antaranya Indonesia, Thailand, Srilanka, dan India. Pasca terjadinya bencana tsunami tersebut tercatat lebih dari 40 negara dan 700 organisasi non-pemerintah (NGO) terlibat sebagai penyedia bantuan kemanusiaan (Cozzolino, 2012, p. 5). Karena hal ini, logistik kebencanaan menjadi salah satu aktivitas krusial dalam penyaluran bantuan kemanusiaan dimana efektivitas respon bantuan darurat bergantung pada kecepatan dan efisiensi dari proses logistik agar komoditas bantuan dapat sampai ke tangan korban di area yang terkena dampak bencana secara tepat waktu. Selain efektivitas logistik, keikutsertaan masyarakat dalam upaya pemberian bantuan kepada korban juga diperlukan, dimana aktifitas ini biasanya dilakukan melalui kegiatan pengumpulan donasi. Aturan dalam pemberian donasi bencana tertuang dalam Keputusan Menteri Sosial Nomor 01/HUK/1995 tentang Pengumpulan Donasi untuk Korban, pada pasal 2 disebutkan bahwa pemberian donasi yang legal harus dilakukan melalui organisasi dengan izin dari pejabat berwenang. Bila pengumpulan donasi dilakukan tanpa izin atau tidak sesuai dengan syarat-syarat yang telah ditetapkan, masyarakat dapat dikenakan sanksi pidana kurungan atau denda.

Pengumpulan donasi dari masyarakat biasanya terbagi menjadi donasi dana dan donasi barang. Berkaitan dengan metode pengumpulan donasi barang, biasanya metode yang dilakukan adalah masyarakat dihimbau untuk datang atau mengirimkan donasinya untuk dikumpulkan di pusat donasi bencana. Meskipun, metode ini cukup umum dan lumrah dilaksanakan, namun sebenarnya metode ini masih dapat disempurnakan. Menghimbau masyarakat untuk mengirimkan donasi secara langsung ke pusat donasi dapat mengurangi minat masyarakat untuk memberikan penyaluran donasi karena letak pusat donasi yang belum tentu dekat dengan alamat donatur / masyarakat. Di sisi lain pengiriman dana langsung ke pusat donasi bisa jadi memakan biaya yang tidak murah. Hal lain yang perlu dipertimbangkan, jika badan pengumpul donasi harus menjemput sumbangan ke masing-masing lokasi alamat masyarakat tentu sangat sulit karena lokasi masyarakat yang bervariasi dari seluruh penjuru. Atas dasar ini dalam artikel diusulkan gagasan untuk membantu memecahkan masalah berupa pendirian satu medium yang menghubungkan masyarakat dengan pusat donasi. Dibutuhkan satu fasilitas yang legal secara izin dan persyaratan sebagai medium penghubung masyarakat dengan pusat

pengumpul donasi yang bertugas meneruskan bantuan kepada korban bencana. Fasilitas penyaluran ini dapat dibuat dengan konsep loker otomatis. Konsep utama dari loker otomatis adalah pengguna menyewa satu unit loker otomatis yang dapat diakses setiap waktu untuk mengirim maupun menerima barang. Konsep ini dipilih karena sifatnya yang praktis, lebih cepat, dan memperkecil kemungkinan kehilangan barang. Loker otomatis juga bersifat lebih fleksibel karena dapat diletakkan di tempat-tempat terbuka umum seperti pusat perkantoran, pusat perbelanjaan, kawasan padat penduduk, dan area ramai lainnya. Loker otomatis diilustrasikan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Loker Otomatis
(Sumber: dailysocial.id)

Loker otomatis dapat diterapkan pada kegiatan penyaluran donasi, donatur dapat meletakkan donasi di loker dan pihak fasilitas loker otomatis bertanggung jawab menyalurkannya kepada pusat donasi. Berdasarkan prinsip logistik kebencanaan yaitu efektif dan efisien, loker donasi harus diletakkan di lokasi yang optimal agar mudah terjangkau oleh donatur. Dengan asumsi fasilitas loker otomatis telah didirikan, loker otomatis donasi yang selanjutnya disebut *intermediate* depot hanya akan dibuka di loker-loker otomatis tertentu dengan mempertimbangkan beberapa aspek biaya meliputi biaya pendirian fasilitas, jarak fasilitas ke masyarakat, serta jarak fasilitas ke pusat donasi.

Berdasarkan deskripsi tersebut, permasalahan penentuan lokasi fasilitas loker otomatis untuk donasi masyarakat dapat dimodelkan sebagai permasalahan optimasi. Dalam artikel ini digunakan pendekatan pemodelan optimasi matematika dimana permasalahan donasi tersebut dimodelkan dalam *integer linear programming* dengan fungsi tujuan adalah mendapat biaya minimum yang dibutuhkan untuk menjalankan sistem donasi tersebut.

Model matematika permasalahan pengumpulan donasi masyarakat akan menggunakan 2 (dua) metode, yaitu *Set Covering Problem* dan *P-Center Problem*.

Adapun kontribusi dari penelitian ini dapat dideskripsikan sebagai berikut:

1. Pengajuan ide menggunakan loker otomatis sebagai *intermediate* depot untuk pengumpulan donasi dari masyarakat
2. Pembuatan model matematika berbentuk *integer programming* untuk menentukan lokasi fasilitas loker otomatis dengan metode *Set Covering Problem* dan *P-Center Problem*.

Bagian selanjutnya dari artikel ini membahas material dan metode penelitian, hasil dan pembahasan, kemudian kesimpulan.

II. MATERIAL DAN METODE

Masalah penentuan lokasi pada logistik kebencanaan digunakan untuk memilih tempat loker otomatis sebagai tempat pengumpulan donasi bencana. Dalam menentukan lokasi tersebut, terdapat beberapa input parameter yang mempengaruhi seperti biaya pembangunan fasilitas.

2.1 Set Covering Problem

Set covering biasa digunakan dalam pemilihan lokasi yang bertujuan untuk meminimalkan jumlah fasilitas atau biaya pembangunan dengan memenuhi seluruh area permintaan.

Input parameter:

$a_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	satu apabila titik $j \in J$ cover demand di titik $i \in I$ nol jika tidak.
C_j	biaya pembangunan fasilitas

Decision Variabel:

$X_j = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	1 apabila lokasi <i>intermediate</i> depot dibuka di titik $j \in J$ 0 apabila tidak
--	---

Model:

$$\text{Min } \sum_{j \in J} C_j X_j \tag{1}$$

$$\text{Subject to } \sum_{j \in N_i} X_j \geq 1 \quad \forall i \tag{2}$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \tag{3}$$

Persamaan (1) adalah fungsi tujuan pada *set covering problem* yaitu meminimalkan biaya pembangunan fasilitas loker otomatis. Persamaan (2) memastikan semua demand yang di tetapkan setidaknya ada satu fasilitas yang dipilih dalam batas jarak. Persamaan (3) menjelaskan variable biner pada model tersebut.

2.2 Minimax Facility Location Problem

Menurut C. Boonmee et al. (2017), *Minimax Facility Location Problem* atau biasa disebut juga P-Center Location Problem, merupakan model optimasi untuk meminimasi performa terburuk sistem dalam fasilitas P. Metode ini memiliki fokus dalam melayani setiap titik permintaan oleh fasilitas terdekat. Berikut ini adalah formulasi untuk metode tersebut.

Variabel Tujuan:

D adalah jarak maksimum antara lokasi terpilih dengan lokasi permintaan.

Input:

- h_i Jumlah permintaan di titik i
- P Jumlah fasilitas didirikan
- d_{ij} Jarak antara titik i dan j

Variabel Keputusan:

- $Y_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ 1 apabila donasi di titik $i \in I$ terlayani oleh *intermediate* depot di titik $j \in J$
0 apabila tidak
- $X_j = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ 1 apabila lokasi *intermediate* depot dibuka di titik $j \in J$
0 apabila tidak

Fungsi Tujuan dan Konstrain:

- Min D (1)
- Subject to $\sum_{j \in J} X_j = P$ (2)
- $\sum_{j \in J} Y_{ij} = 1$ $\forall i \in I$ (3)
- $Y_{ij} \leq X_j$ $\forall i \in I; \forall j \in J$ (4)
- $D \geq \sum_{j \in J} d_{ij} Y_{ij} = 1$ $\forall i \in I$ (5)
- $X_{ij}, Y_{ij} \in \{0,1\}$ $\forall i \in I; \forall j \in J$ (6)

Fungsi tujuan pada persamaan (1) adalah minimasi D yaitu jarak maksimum antara lokasi fasilitas terpilih dengan lokasi permintaan. Jumlah fasilitas yang didirikan berjumlah P fasilitas (2). Konstran (3) menjelaskan bahwa permintaan pada titik (i) hanya boleh dipenuhi oleh satu fasilitas (j). Konstran (4) menjelaskan bahwa donasi di titik i tidak dapat diletakkan di *intermediate* depot j, jika dan hanya jika lokasi titik i dijangkau oleh titik j. Konstran (5) memaksa D untuk sebisa mungkin sama dengan jarak maksimum. Dan konstran (6) menjelaskan variabel biner dalam model ini.

2.3 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada model set covering dan p-center ini difabrikasi secara acak berdasarkan karakteristik data sebenarnya. Data yang dikumpulkan adalah data yang berhubungan dengan lokasi donatur, lokasi loker-loker otomatis, serta jumlah donasi pada masing-masing donatur. Data lokasi dipilih secara acak berdasarkan lokasi loker otomatis salah satu perusahaan swasta penyedia jasa loker otomatis di Jakarta. Lokasi donatur dipilih secara acak berdasarkan sebaran lokasi di daerah Jakarta dan sekitarnya. Informasi jarak antar lokasi loker dan donatur didapatkan berdasarkan perhitungan Haversine. Data jumlah donasi difraksikan dari total jumlah penduduk di seluruh kelurahan di Jakarta dengan perbandingan 0,1% dari jumlah penduduk. Total terdapat 260 lokasi donator yang mewakili setiap kelurahan di Jakarta, dan 107 lokasi loker otomatis yang menyebar di seluruh Jakarta.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Permasalahan pada kedua model diselesaikan dengan perangkat lunak AMPL menggunakan *solver* Gurobi pada komputer PC dengan prosesor Intel(R) Celeron (R) CPU 10070 @ 1.50GHz RAM 4 GB. Hasil dari model pertama dan kedua akan dijelaskan sebagai berikut.

3.1 3.1. Hasil Model Set Covering Untuk Pengumpulan Donasi dengan Loker Otomatis

Pada model pertama didapatkan hasil seperti pada Tabel 1. Untuk model pertama, dilakukan 3 skenario dengan mengubah jarak *coverage* yaitu 2,5, dan 11 km. Hasil menunjukkan bahwa makin besar jarak *coveragenya*, makin sedikit loker otomatis yang akan dibuka untuk memenuhi luas area dan jumlah donasi yang sama. Hal ini bisa menghemat biaya pembangunan dan pembukaan loker otomatis, dalam kehidupan nyata semakin jauh jarak yang ditempuh donator untuk memberikan donasinya semakin banyak biaya yang harus dikeluarkan donator untuk mencapai lokasi loker otomatis. Dalam konsep loker otomatis, diinginkan konsumen dapat menjangkau loker sedekat mungkin dan penggunaannya

dapat diakses selama 24 jam. Maka dari itu, skenario dengan jarak *coverage* sebesar 2 dipilih.

Skenario jarak *coverage* 11 km menghasilkan biaya pembukaan fasilitas paling minimal dibandingkan skenario 2 dan 5 km karena belum mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan donator serta perbedaan biaya pembukaan fasilitas di setiap daerahnya. Biaya pendirian fasilitas sesungguhnya akan dipertimbangkan jika dilakukan perencanaan jangka panjang untuk pendirian loker otomatis yang melibatkan pengelolaan dana dan investasi. Penelitian ini hanya berfokus pada keefektifan sistem penyaluran donasi secara general sehingga biaya pembangunan diasumsikan sama untuk semua loker.

Tabel 1. Hasil Model Set Covering

Jarak Coverage	Fasilitas yang Didirikan	Biaya Pendirian
2	AK, AL, AR, BB, BC, BP, BU, CD, CP, CR, CX, DC, DI, EF, ER, FF, FJ, FK, FM, FW, GH, GO, HE, HI, HQ, IC, IJ, IL, IV, IW	30

3.2 Hasil Model P-Center Untuk Pengumpulan Donasi dengan Loker Otomatis

Pada model kedua didapatkan hasil seperti pada Tabel 2. Untuk model kedua, dilakukan 3 skenario dengan mengubah parameter P (jumlah fasilitas yang didirikan) yaitu 10,20, dan 30 loker otomatis. Hasil menunjukkan bahwa makin banyak jumlah loker otomatis yang dibuka, makin sedikit nilai maksimum *distance coverage* yang dihasilkan untuk memenuhi luas area dan jumlah donasi yang sama. Hal ini bisa menghemat biaya yang harus dikeluarkan konsumen dalam menempuh perjalanan menuju lokasi loker dibuka. Maka dari itu, skenario dengan jumlah fasilitas sebesar 30 dipilih.

Skenario jumlah fasilitas 30 buah menghasilkan nilai maksimum *distance coverage* paling minimal yaitu 2 km, dibandingkan skenario 10 dan 20 km karena belum mempertimbangkan perbedaan biaya pembukaan fasilitas di setiap daerahnya. Biaya pendirian fasilitas sesungguhnya akan dipertimbangkan jika dilakukan perencanaan jangka panjang untuk pendirian loker otomatis yang melibatkan pengelolaan dana dan investasi. Jika biaya pendirian dipertimbangkan, bisa jadi scenario 30 lokasi loker tidak optimal.

Tabel 2. Hasil P-Center

Jumlah Fasilitas Dibuka	Fasilitas yang Didirikan	Maksimum Distance Coverage
30	AR, BB, BP, BU, CD, CS, CW, DA, DL, DM, DT, EH, EQ, EV, FK, FP, FW, GC, GG, GI, HA, HQ, HU, IF, IL, IM, IW, IZ, O, X	2

IV. KESIMPULAN

Loker-loker otomatis dapat digunakan sebagai konsep awal sebagai penyalur donasi dari donatur ke pusat donasi secara legal. Jumlah loker otomatis yang optimal dapat ditentukan dengan menggunakan model set covering dan p-center. Dengan dibukanya loker-loker otomatis di Indonesia sebagai pengumpul donasi dapat membantu tersambungannya rantai logistik bencana dengan tetap menerapkan prinsip efektif dan efisien.

Solusi untuk metode dua fase ini masih dapat dioptimalkan karena posisi loker otomatis yang dekat dengan donatur belum tentu dekat juga dengan pusat donasi, hal ini dapat menimbulkan *trade off* dan berpengaruh pada nilai fungsi tujuan. Untuk mengurangi *trade off*, diperlukan model paralel dengan metode *two-echelon*. Ketika jumlah donatur semakin besar, terdapat kemungkinan masalah tidak dapat diselesaikan karena kompleksitasnya meningkat sehingga metode dua fase ini masih dapat dikembangkan dengan metode heuristik ataupun metaheuristik.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. Kementrian Sosial Republik Indonesia/Kemensos. (1995). Keputusan Mensos RI No: 1/HUK/1995 tentang Pengumpulan Sumbangan Untuk Korban Bencana. https://peraturan.bkpm.go.id/jdih/userfiles/batang/Depkopsos_1_1995.pdf, Diunduh pada 10 Maret 2019.
- Arifin, A.Z. dan Asano, A. (2006). *Image Segmentation by Histogram Thresholding Using Hierarchical Cluster Analysis*. *Pattern Recognition Letters*. 27 (13): Hal. 1515-1521.
- Chawis Boonmee, Mikiharu Arimura, dan Takumi Asada. (2017). *Facility Location Optimization Model for Emergency Humanitarian Logistics*. *The International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24: 485-498.
- Cozzolino, A. (2012). *Cross-Sector Operation in Disaster Relief Management*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Jerman.
- Priambada, A. (2016). *Layanan Smart Locker PopBox Asia Peroleh Pendanaan Awal dari East Ventures*. [online] Popbox.asia. Available at: <https://www.popbox.asia/article/20161122/dailysocial-popbox/15> [Accessed 10 Mar. 2019].

KORESPONDENSI LINTASAN MATAHARI DAN BULAN SEBAGAI DASAR UNTUK MEMBANGUN MODEL DAN DATABASE EKSTREM KALENDERISASI BULAN PURNAMA DAN BULAN MATI

Tiryono Ruby¹

¹Jurusan Matematika FMIPA Universitas Lampung
Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145, Indonesia.
tiryono.1962@fmipa.unila.ac.id

Abstrak: Karya Ilmiah ini bertujuan membangun korespondensi lintasan Matahari dan Bulan dalam bentuk matematis pada koordinat kartesius bidang datar untuk merancang database kecerahan sinar Bulan 100% (Bulan Purnama) dan 0% (Bulan Mati). Momen Bulan Purnama dan Bulan Mati merupakan saat potensial terjadi gerhana bulan dan gerhana matahari dengan demikian disketsakan bahwa matahari, bumi dan bulan berada pada posisi segaris. Pendekatan matematis yang diajukan adalah menggunakan fungsi linier. Pendekatan matematis Lintasan matahari yang diajukan $y = x$ dan pendekatan matematis lintasan bulan yang diajukan $y = 1.03226x - 643$. Data korespondensi lintasan matahari dan momen bulan purnama berikut bulan mati disusun dalam bentuk tabel sebagai informasi untuk waspada dini terhadap kemungkinan fenomena ekstrem yang dapat ditimbulkan.

Kata kunci: korespondensi, kalenderisasi, fungsi linier, database, ekstrem

I. PENDAHULUAN

Pemodelan merupakan bentuk ketrampilan/keahlian yang dapat digunakan di berbagai bidang terapan misalnya model rancang-bangun konstruksi, model tata busana, model kaligrafi, model photo, model grafis, model pertumbuhan, model aliran panas, model reaksi dan lain sebagainya. Pada dasarnya ketrampilan tersebut dapat menghasilkan, mengekspresikan atau menginformasikan gambaran bentuk suatu fenomena yang sedang dikaji. Pemodelan Matematika merupakan bidang ilmu yang menghasilkan informasi gambaran suatu fenomena di kehidupan sehari-hari dalam bentuk matematis; Oleh karena itu langkah awal untuk membangun model matematika terlebih dahulu melakukan observasi atau pengamatan terhadap fenomena tersebut. Observasi lapangan (laboratorium atau alam terbuka) dilakukan untuk mendapatkan informasi yang runut dari suatu fenomena, informasi hasil observasi tersebut disebut data hasil pengamatan. Data hasil pengamatan merupakan elemen utama untuk membangun model, gambaran bentuk atau model dapat diperoleh/dilihat setelah melalui proses pengeplotan/pemetaan data hasil pengamatan pada koordinat kartesius pada dimensi tertentu sesuai dengan

keperluan (dimensi dua/pada bidang, dimensi tiga/pada ruang). Secara umum model yang dibangun dari data hasil pengamatan dikelompokkan pada dua jenis yaitu model probabilistik dan model deterministik. Model probabilistik memiliki ciri bahwa data yang diperoleh dari hasil pengamatan munculnya tidak periodik (fluktuasi), sedangkan model deterministik bahwa kemunculan data hasil pengamatan memiliki ciri cenderung periodik. Pada pekerjaan ini data hasil pengamatan memiliki kecenderungan periodik, sehingga mengarah pada model deterministik sebuah sistem yang dalam hal ini adalah sistem tata lintasan Matahari dan Bulan dilihat dari permukaan Bumi. Permasalahan yang akan muncul kedepan berkaitan dengan permukaan Bumi adalah geografis Bumi yang berbentuk bulat sehingga suatu tempat dapat melihat Bulan/Matahari bagi wilayah yang sedang terlintasi sementara daerah lainnya harus menunggu beberapa waktu untuk dapat giliran. Berikutnya adalah apa perlunya melihat kecerahan sinar Bulan?

Bumi dengan permukaan berupa daratan dan lautan merupakan tempat tinggal kita manusia beserta flora, fauna, iklim dan kondisi-kondisi lain yang menyertainya. Pulau-pulau yang terbentang dipisahkan lautan menjadikan beranekaragam bangsa, budaya, adat istiadat, bahasa dan lain sebagainya. Oleh karena itu sejarah mencatat banyak aktifitas peringatan atau upacara adat/budaya dilakukan masyarakat disegala penjuru dunia, dikota-kota besar hingga dipeloksok desa merayakan upacara tersebut dari waktu ke waktu dan generasi ke generasi. Perkembangan teknologi dan kemajuan zaman tidak menutup kemungkinan adanya pergeseran kebiasaan merayakan peringatan atau upacara, bahkan mungkin ditinggalkan sebelum dikaji dan diketahui potensinya. Pada umumnya jenis peringatan atau upacara yang terus bertahan dan diwarisi dari generasi ke generasi adalah jenis upacara yang sakral atau spiritual. Aktifitas upacara atau peringatan sakral/spiritual tersebut dilakukan pada momen waktu tertentu baik hari, bulan, lamanya aktifitas serta persyaratan syahnya. Hampir semua perayaan upacara spiritual atau hari besar keagamaan yang terjadi dilakukan pada momen berdasar pada Kecerahan Sinar Bulan sebagai penentuan waktunya. Antara lain: Islam (dalam penentuan Ramadhan, Idul Fitri, dan Idul Adha serta hari besar lainnya); Budha (menentukan Waisak saat Bulan cerah 100%/purnama); Hindu (menentukan Nyepi saat Bulan mati, 0%); Kristen/Katolik (menentukan Paskah adalah hari Minggu setelah purnama pada awal musim semi); Konghuchu (menentukan Imlek adalah setelah Bulan mati pada musim hujan Januari/Februari).

Perkembangan sains dan teknologi memberikan harapan solusi terhadap permasalahan yang telah terjadi pada kehidupan sehari-hari dan mengantisipasi terulangnya masalah di masa mendatang. Upaya tersebut diharapkan dapat membantu menyelesaikan masalah dengan pijakan bidang ilmu sebagai pondasi, pada akhirnya usaha tersebut untuk kemasalahatan bersama khususnya yang berkaitan dengan fenomena alam korespondensi lintasan Matahari dan Bulan. Matematika dasar yang digunakan untuk memodelkan lintasan Bulan merupakan warisan ilmuwan Ibnu Shina yang tertuang dalam Ilmu Ukur Sudut yaitu mengukur sudut Bulan terhadap horizon dengan menggunakan busur derajat, Al Jabar membangun persamaan-persamaan sehingga korespondensi antara Matahari-Bulan menjadi sederhana, dan perkembangan sains mendatangkan kemudahan sehingga fenomena lintasan dapat dituangkan pada koordinat bidang kartesius. Fungsi trigonometri (Sinus) digunakan sebagai fungsi kecerahan sinar Bulan sekaligus memantau dimana posisi Bulan. Desain alat busur derajat mudah dirancang tanpa mengurangi output yang diharapkan jika dibandingkan dengan peralatan yang modern dan mahal harganya. Dalam jangka panjang, pemodelan matematika kecerahan sinar Bulan memberikan suatu harapan dalam menentukan kecerahan 1% (Bulan sabit muda), kecerahan 50% (Bulan setengah muda), kecerahan 80% (Bulan wungkuk muda), cerah 100% (Bulan purnama), 0% (Bulan mati) dan persentase kecerahan lainnya yang memiliki nilai sakral/spiritual untuk diperingati; Sebagai contoh, pada masyarakat Mekah memantau kecerahan sinar Bulan 80% pada bulan Dzulhijjah merupakan lintasan ke-9 adalah upacara spiritual melakukan Wukup, bahwa Bulan sedang pada lintasan ke-9 di wilayah tersebut^{3, 4)}, dan dikenal secara luas sebagai Hari Raya Idul Adha.

II. MATERIAL DAN METODE

2.1 Alat dan Bahan Observasi atau Pengamatan

Alat dan bahan yang diperlukan untuk melakukan pengamatan atau observasi korespondensi lintasan Matahari dan Bulan antara lain: stop-watch, busur derajat setengah lingkaran, spidol, bola dan handle.

2.2 Metode Penelitian

Material tersebut digunakan untuk mendeteksi fenomena lintasan matahari dan lintasan bulan, adapun beberapa langkah yang harus dilakukan terkait data yang diperlukan untuk membangun database kalenderisasi momen bulan purnama dan momen bulan mati tersebut adalah:

1. Memetakan permukaan Bumi pada koordinat bidang kartesius (hasil berupa peta atlas)
2. Durasi dan plot lintasan Matahari dan Bulan pada koordinat bidang kartesius dari terbit hingga terbenam
3. Selisih durasi waktu atau gap antara matahari dan bulan dari terbit hingga terbenam
4. Durasi yang diperlukan ketika Matahari dan Bulan bersama-sama pada posisi satu garis proyeksi hingga pada periode bersama-sama satu garis proyeksi berikutnya (satu bulan qomariyah)
5. Data kecerahan Bulan (illumination) dan sudut Bulan terhadap Matahari (MES, moon-earth-sunset)
6. Mengembangkan data utama menjadi data lainnya (sudut/durasi tertinggal, usia bulan sabit atau hilal)

Alat dan bahan yang dipaparkan diatas adalah untuk mendapatkan data derajat sudut Bulan terhadap Matahari (pengukuran disarankan saat Matahari terbenam). Pendataan kecerahan Bulan dapat dilakukan dengan memphoto kecerahan Bulan (kamera) atau dengan perhitungan setelah model matematis diperoleh. Analisis Data selanjutnya

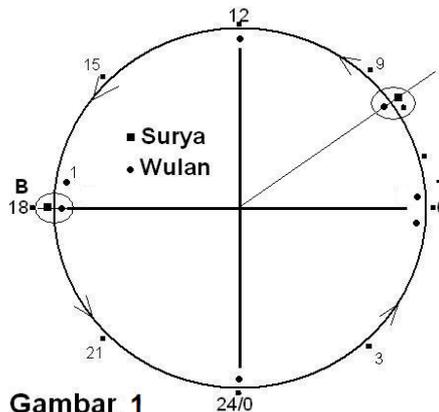
Pada tahap melakukan analisis data digunakan daftar log atau dapat menggunakan kalkulator yang memiliki fungsi sinus dan atau menggunakan perangkat komputer dengan perangkat lunak *Excel*. Analisis data yang dilakukan pada penelitian ini adalah melakukan perhitungan pergeseran sudut Bulan terhadap Matahari setiap harinya dan kecerahan Bulan dikaitkan dengan besaran sudut tersebut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kesepakatan ilmuwan terdahulu kaitannya dengan pemetaan Bumi pada koordinat bidang kartesius adalah kesepakatan bahwa satu hari memiliki durasi 24 jam, maka globe (bola dunia) dipartisi menjadi 24 bagian, dengan kata lain Bumi seluruhnya memiliki 24 wilayah waktu dan jika dipetakan pada koordinat bidang kartesius akan memiliki ukuran koordinat 24 interval absis/ sumbu X dan 12 interval ordinat/sumbu Y (gambar 1). Dengan konsisten maka setiap partisi (= 1 jam) setara dengan 15 derajat sehingga satu derajat = empat menit. Konsekuensi selanjutnya wilayah Nusantara dari sabang (-48 menit terhadap wib) sampai merauke (+132 menit terhadap wib) memiliki interval sepanjang sumbu X = 45 derajat setara 180 menit (3 jam) sehingga Nusantara dibagi 3 wilayah waktu wib, wita dan wit^{1,2,3}. Lintasan Matahari dan Bulan jika dipetakan pada koordinat bidang kartesius diperoleh nilai ordinat (sb. Y) mengalami pergeseran dari waktu ke waktu, secara periodik bergeser dari gbu (garis balik utara 22,5

derajat), menuju pusat/sumbu X (khatulistiwa 0 derajat), menuju gbs (garis balik selatan -22,5 derajat), kembali lagi ke pusat/sumbu X dan menuju gbu demikian seterusnya sebagai suatu sistem tata lintasan. Proyeksi lintasan Matahari dari gbu-pusat-gbs-pusat-gbu ditempuh selama 365,25 hari (1 tahun masehi), untuk memudahkan dalam kehidupan sehari-hari disepakati 1 tahun = 365 hari dan setiap periode empat tahun ada penambahan 1 hari akibat akumulasi dari 0,25 hari/tahun (penambahan tersebut diletakkan pada bulan Februari yang biasa hanya 28 hari menjadi 29 hari / tahun kabisat). Sedangkan Proyeksi lintasan Bulan dari gbu-pusat-gbs-pusat-gbu ditempuh selama 28 hari.

Durasi yang diperlukan ketika Matahari dan Bulan bersama-sama satu garis proyeksi hingga pada periode bersama-sama satu garis proyeksi berikutnya adalah 29,5c hari ($c \approx 2$). Korespondensi lintasan Matahari dan Bulan diilustrasikan sebagai Surya dan Wulan lomba lari mengelilingi lapangan berbentuk lingkaran seperti pada Gambar 1.



Gambar 1

Gambar 1. Ilustrasi Korespondensi lintasan Matahari dan Bulan

Start lomba dimulai pada patok pukul 18. Wulan lebih lambat dari Surya, sehingga pada saat Surya selesai melakukan etape pertama Wulan tertinggal pada tanda dot-1. Demikian seterusnya setiap etape Wulan tertinggal secara konsisten, sehingga pada etape ke-28 Wulan terlihat berada di depan Surya dan akhirnya Wulan terkejar oleh Surya pada etape ke 29,52 (patok pukul 8: 10). Dari ilustrasi tersebut satu etape adalah waktu lintasan Matahari dari terbenam di ufuk barat pk 18-tengah malam-terbit/ufuk timur-tengah hari dan terbenam kembali adalah 24 jam (satu hari). Oleh Almanak durasi 29,52 hari dijadikan sebagai lamanya hari dalam satu bulan kalender hijriyah oleh karena itu satu tahun kalender hijriyah adalah $29,52 \times 12 = 354,24$ hari. Kecerahan sinar Bulan dapat dilihat selama 28 hari (1% - 100 %), hari ke 29 Bulan mati (0%). Kecerahan sinar bulan sabit pertama (lintasan ke-1) 1- 3,5 %, lintasan ke-7 kecerahan 50-60%, lintasan ke 14-15 kecerahan 100%, lintasan ke-21 kecerahan 60-50%

dan lintasan ke-28 kecerahan 3,5–1% serta lintasan ke-29 adalah bulan mati dengan kecerahan 0%. Pada penelitian ini menyoroiti momen ekstrem ketika kecerahan bulan 100% sebagai bulan purnama atau nisfhu dan momen ekstrem ketika kecerahan bulan 0% sebagai bulan mati. Tercatat fakta ketika terjadi tsunami-aceh pada hari malam minggu 14 Dhu'l Qaidah (bulan purnama) 26-12-2004 dan tsunami-banten pada malam minggu nisfhu jumadil-akhir (bulan purnama) 22-12-2018. Berikut momen ekstrem yang dimaksud dipaparkan dalam bentuk tabel kalenderisasi momen bulan purnama dan momen bulan mati.

Tabel 1. Kalenderisasi momen bulan purnama dan momen bulan mati

Hijriyyah	1441	Purnama	Masehi	2019	Mati	Masehi	2019/20
1	Muharram	14	September	14	29	September	29
2	Safar	14	Oktober	13	29	Oktober	28
3	Rabiul Awal	14	November	11	29	November	26
4	Rabiul Akhir	14	Desember	10	29	Desember	25
5	Jumadil Awal	14	Januari'20	9	29	Januari'20	24
6	Jumadil Akhir	14	Februari	8	29	Februari'20	23
7	Rajab	14	Maret'20	8	29	Maret'20	23
8	Sha'ban	14	April'20	7	29	April'20	22
9	Ramadan	14	Mei'20	6	29	Mei'20	21
10	Shawwal	14	Juni'20	5	29	Juni'20	20
11	Dhu'l Qi'da	14	Juli'20	4	29	Juli'20	19
12	Dhu'l Hijjah	14	Agustus'20	2	29	Agustus'20	17

Hijriyyah	1442	Pumama	Masehi	2020/21	Mati	Masehi	2020/21
1	Muharram	14	September	1	29	September	16
2	Safar	14	Oktober	1	29	Oktober	16
3	Rabiul Awal	14	Oktober	31	29	November	15
4	Rabiul Akhir	14	November	30	29	Desember	15
5	Jumadil Awal	14	Desember	29	29	Januari'21	13
6	Jumadil Akhir	14	Januari'21	27	29	Februari'21	11
7	Rajab	14	Februari'21	25	29	Maret'21	12
8	Sha'ban	14	Maret'21	26	29	April'21	12
9	Ramadan	14	April'21	26	29	Mei'21	11
10	Shawwal	14	Mei'21	25	29	Juni'21	9
11	Dhu'l Qi'da	14	Juni'21	23	29	Juli'21	8
12	Dhu'l Hijjah	14	Juli'21	22	29	Agustus'21	7

Hijriyyah	1443	Pumama	Masehi	2021/22	Mati	Masehi	2021/22
1	Muharram	14	Agustus	21	29	September	6
2	Safar	14	September	20	29	Oktober	5
3	Rabiul Awal	14	Oktober	19	29	November	3
4	Rabiul Akhir	14	November	18	29	Desember	3
5	Jumadil Awal	14	Desember	17	29	Januari'21	1
6	Jumadil Akhir	14	Januari'22	16	29	Februari'21	1
7	Rajab	14	Februari'22	14	29	Maret'22	1
8	Sha'ban	14	Maret'22	15	29	Maret'22	30
9	Ramadan	14	April'22	13	29	Mei'22	28
10	Shawwal	14	Mei'22	12	29	Juni'22	27
11	Dhu'l Qi'da	14	Juni'22	11	29	Juli'22	26
12	Dhu'l Hijjah	14	Juli'22	10	29	Agustus'22	25

Tabel kalenderisasi tersebut jika diteruskan menuju tahun-tahun kedepan akan memenuhi $y = x$ untuk lintasan matahari dan $y = 1.03226 x - 643$ untuk lintasan bulan. Secara matematik dua persamaan garis tersebut akan berpotongan di $x = 19.932$ (dalam arti $M = H = 19.932$)

IV. KESIMPULAN

Momen ekstrem bulan purnama dan bulan mati perlu dicermati secara dini terkait gaya tarik gravitasi yang ditimbulkan. Adapun sistem kalender lainnya agar menyesuaikan terhadap momen ekstrem berbasis qomariyah. Penelitian selanjutnya disarankan pada momen bulan purnama dan bulan mati super ekstrem.

DAFTAR PUSTAKA

- Edwin j. Purcell dan Dale Varberg, 1996. *KALKULUS dan Geometri Analitis* (alih bahasa I Nyoman Susila, Bana Kartasasmita, Rawuh), Penerbit Erlanga.
- Erwin Kreyszig, 1988. *Advanced Engineering mathematics*, John Wiley & Sons Inc.
- Tiryono R. 2006a. Model Lokal-Global Radiasi Matahari Sebagai Sumber Energi Terbarukan Menggunakan Hibrid Panel Surya-Baterai. *Prosiding Seminar Hasil-hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*. Lembaga Penelitian-Universitas Lampung, ISBN: 979-15535-0-5, Buku Dua, Hal. 444-451.
- Tiryono R. 2007. Model Lintasan Bulan '10 Dzulhijjah' Sebagai Momen Pasar Ternak Potensial Untuk Tingkatkan Ekonomi Kerakyatan Di Lampung. *Prosiding Seminar Nasional Ekonomi dan Metode Kuantitatif*. Universitas Malahayati, ISSN: 1978-5925, hal. 234-241.

PEMETAAN ESTIMASI DAERAH RAWAN TSUNAMI DAN WILAYAH LAYANAN EVAKUASI BERDASARKAN SKENARIO WAKTU KEPUTUSAN EVAKUASI DI WILAYAH PESISIR KOTA BANDAR LAMPUNG

Henky Mayaguezz^{1,*}, Munti Sarida¹, Listumbinang Halengkara²

¹ Jurusan Perikanan dan Kelautan Universitas Lampung

² Jurusan Pendidikan Geografi Universitas Lampung

*Email: henky.mayaguezz@fp.unila.ac.id

Abstract: *Geological activity in the Sunda Strait shows us again its existence through the tsunami that occurred at the end of 2018 and the tectonic earthquake in the Sunda Strait subduction zone with Magnitude 6.9 on August 2, 2019. This activity raises concerns in the surrounding area. Bandar Lampung City which is located in a radius that is quite close to the Sunda Strait has a tsunami-prone lowland which is quite extensive with a high population density. Considering this risk threat, this study aims to map areas estimated to be affected by tsunami inundation and evacuation service areas during a tsunami emergency for 3 evacuation time scenarios namely 10 minutes, 20 minutes and 30 minutes from the Temporary Evacuation Site (TES). This challenge requires spatial analysis of tsunami inundation areas which is processed from SRTM topographic data of 15m altitude. Evacuation services area is obtained through evacuation network analysis according to the Bandar City road network. Both of these steps are simulated using spatial analysis and network analysis tools in the Geographic Information System (GIS). The results show the tsunami submerged estimation area in the coastal area of the city that forms a half circle from the west, north to east. Generally the community can evacuate within 20 minutes on foot. But in some areas, TES can only be reached in more than 20 minutes. Even the people on the island of Pasaran have to spend more than 30 minutes to reach TES.*

Keywords: *tsunami, Bandar Lampung, evacuation, mapping, GIS*

Kata kunci: *tsunami, Bandar Lampung, evakuasi, pemetaan, SIG*

I. PENDAHULUAN

Tsunami yang terjadi di wilayah pesisir bisa dibangkitkan oleh gempa bumi, gunung meletus dan longsoran di bawah laut atau pantai. Menurut catatan sejarah, tsunami telah terjadi beberapa kali di Selat Sunda. Ketiga fenomena alam tersebut pernah membangkitkan tsunami di Selat Sunda (Yudhicara and Budiono 2008). Berdasarkan Katalog Soloviev dan Go, 1974, tercatat 11 kali kejadian tsunami dari tahun 416 hingga 1968. Tsunami terbaru terjadi pada tanggal 22 Desember 2018 yang disebabkan oleh letusan Gunung Anak Krakatau. Letusan tersebut mengakibatkan longsoran badan gunung ke laut sehingga memicu tsunami di wilayah pesisir barat Provinsi Banten dan pesisir Kabupaten Lampung Selatan. Tsunami yang paling spektakuler di wilayah Selat Sunda adalah tsunami yang dibangkitkan oleh letusan Gunung Kakatau pada tahun 1883.

Bencana ini menimbulkan korban jiwa dan kerugian yang sangat besar di pesisir Lampung dan pasisir barat Jawa Barat.

Selain tsunamigenik akibat letusan Gunung Anak Krakatau, potensi tsunami di Selat Sunda juga bisa diakibatkan oleh gempa bumi. Menurut (Yudhicara and Budiono 2008) zona subduksi di Selat Sunda termasuk zona subduksi lambat ($v \sim 4$ cm/tahun). Catatan seismik menunjukkan bahwa zona subduksi lambat dapat membangkitkan gempa mega-thrust dengan kekuatan $M > 8,2$ (Gutscher and Westbrook 2009). Tsunamigenik pada wilayah subduksi dengan zona lambat lainnya di Indonesia adalah gempa-gempa yang terjadi di perairan Barat Sumatera seperti gempa 26 Desember 2004. Sedangkan tsunamigenik akibat zona subduksi relatif cepat adalah tsunami akibat gempa di selatan Jawa pada tahun 2006 yang diperkirakan pengulangan gempa 1921.

Untuk aktivitas kegempaan di sekitar Selat Sunda tercatat cukup besar. Rata-rata kejadian gempa dengan skala diatas 2,5 Skala Richter di wilayah ini mencapai 2000 kali setiap tahunnya (Naryanto 2014). Catatan kejadian gempa dari tahun 1900 hingga 1993 sebagian besar memiliki Magnitude (M) 4,1 sampai 6,0. Namun tidak ada catatan kejadian gempa besar di zona perairan Selat Sunda. Sementara itu pada zona lainnya di dari aceh hingga Nusa Tenggara telah terjadi gempa besar yang dianggap sebagai pelepasan energi tektonik terkumpul selama proses stressing. Kondisi ini membuat kekhawatiran akan terjadinya gempa berpotensi tsunami pada zona subduksi perairan ini.

Berdasarkan jarak antara episentrum gempa dan wilayah terdampak, kejadian tsunami di Indonesia dikategorikan sebagai tsunami jarak dekat. Sesuai dengan kasus ini, pada wilayah pesisir barat Sumatera, selatan jawa hingga Nusa Tenggara, tsunami dapat mencapai daerah pesisir dalam waktu sangat cepat. Berdasarkan modeling waktu kedatangan tsunami, Kota Padang akan terdampak tsunami dalam waktu 23 menit setelah gempa yang berpusat di zona subduksi Mentawai (Taubenböck et al. 2009). Apabila terjadi gempa berpotensi tsunami di Selat Sunda, waktu kedatangan tsunami di Kota Bandar Lampung juga akan sangat cepat, mendekati estimasi kedatangan tsunami di Padang.

Kota Bandar Lampung memiliki dataran rendah rawan tsunami yang cukup luas. Daerah rawan ini melingkar dari barat ke timur, khususnya pada Kecamatan Teluk Betung Barat, Teluk Betung Timur, Teluk Betung Selatan, Teluk Betung Utara, Bumi Waras dan Kecamatan Panjang. Wilayah ini termasuk daerah dengan kepadatan penduduk yang tinggi. Bahkan Kecamatan Teluk Betung Selatan memiliki tingkat kepadatan yang sangat tinggi dibandingkan kecamatan lainnya. Menurut data BPS Kota Bandar

Lampung tahun 2018, Teluk Betung Selatan memiliki kepadatan 12.277 jiwa/km². Jauh lebih tinggi dari ketiga kecamatan pesisir lainnya. Tingginya kepadatan penduduk di kecamatan ini terlihat dari pemukiman penduduk yang berdesakan hingga mencapai bibir pantai.

Tingginya kepadatan penduduk di wilayah pesisir dan waktu yang sangat pendek meningkatkan risiko bencana tsunami Kota Bandar Lampung. Kondisi ini menjadi permasalahan tersendiri dalam mengevakuasi penduduk yang tinggal di daerah rawan tsunami menuju daerah ketinggian. Seluruh penduduk pesisir harus dievakuasi dalam waktu yang sangat pendek menggunakan seluruh jalur-jalur evakuasi yang ada. Keterlambatan penduduk dalam mengambil keputusan untuk evakuasi secara mandiri menjadi salah satu faktor yang meningkatkan risiko disamping faktor lainnya seperti penyediaan evakuasi vertikal, persentase penggunaan mobil, variasi kecepatan berjalan (Wang et al. 2016).

Risiko akan menjadi semakin tinggi dengan kurangnya pengetahuan masyarakat pesisir dalam menghadapi bencana tsunami. Berdasarkan Indeks Risiko Bencana Indonesia (IRBI, 2013), Kota Bandar Lampung termasuk kepada daerah yang memiliki indeks tsunami sedang. Konsekwensinya isu tsunami belum menjadi fokus utama pemerintah. Dikhawatirkan, tingkat pemahaman masyarakat tentang karakteristik tsunami beserta langkah-langkah yang dapat mereka tempuh ketika tsunami terjadi menjadi terbatas. Kondisi ini meningkatkan kerentanan masyarakat pesisir Kota Bandar Lampung.

Keberadaan Kota Bandar Lampung pada kawasan Selat Sunda berkontribusi pada potensi risiko bencana tsunami, baik yang diakibatkan oleh letusan Gunung Anak Krakatau maupun gempa di sekitar perairan Selat Sunda. Adanya risiko ini mendorong kebutuhan untuk memperkuat program mitigasi bencana. Upaya mitigasi yang cepat dan tepat bertujuan untuk menurunkan tingkat kerentanan penduduk, sekaligus meningkatkan kapasitas masyarakat menghadapi risiko bencana. Salah satu upaya mitigasi adalah dengan memperkuat kapasitas evakuasi penduduk. Estimasi wilayah terdampak tsunami, identifikasi lokasi aman tsunami dan jalur evakuasi yang dapat dipilih oleh masyarakat merupakan parameter utama dalam menyusun program evakuasi. Parameter lainnya yang menjadi pertimbangan penting dalam proses evakuasi adalah waktu tempuh dari suatu tempat di daerah rawan tsunami ke titik atau lokasi aman terdekat. Ketersediaan rencana evakuasi yang baik diharapkan menjadi solusi upaya mitigasi bagi masyarakat pesisir Kota Bandar Lampung.

Proses evakuasi pada daerah dengan risiko tsunami jarak dekat sebaiknya tidak menggunakan kendaraan. Kemungkinan korban meninggal

meningkat dengan menggunakan kendaraan. Proses evakuasi dengan berjalan atau berlari lebih efektif dalam kasus evakuasi cepat dalam waktu singkat (Bolton 2007). Dengan demikian semua tipe jalan yang dapat diakses oleh semua penduduk dapat dipakai sebagai jalur evakuasi (Commission 2006).

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas evakuasi tsunami di Kota Bandar Lampung. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk memetakan perkiraan daerah rendaman tsunami apabila terjadi tsunami dengan ketinggian mencapai 15m dan Tempat Evakuasi Sementara (TES) terdekat yang dapat ditempuh. Penelitian ini juga berusaha untuk mengetahui jalur dan layanan evakuasi pada 3 skenario waktu evakuasi 10 menit, 20 menit dan 30 menit untuk mencapai TES terdekat. Serta menganalisa tingkat kesiapsiagaan masyarakat dalam menghadapi ancaman tsunami.

II. MATERIAL DAN METODE

Lokasi penelitian ditentukan pada wilayah pesisir Kota Bandar Lampung dengan topografi landai di daerah pantai. Batasan wilayah studi ditetapkan hingga daerah topografi dengan ketinggian lahan mencapai 15 m dari permukaan laut. Ketinggian ini dipilih dengan mempertimbangkan tinggi tsunami yang terjadi di Kota Banda Aceh akibat gempa dan tsunami tahun 2004 (Lavigne et al. 2009).

2.1 Alat dan Bahan

Guna mendukung penelitian ini, beberapa data spasial menjadi unsur utama yang harus digunakan. Data topografi wilayah diperoleh dari sumber data *open source* USGS *Earth Explorer* dengan *Entity ID* SRTM1S06E105V3SRTM. Penggunaan data SRTM ini bertujuan untuk penentuan estimasi daerah rendaman tsunami. Data dipublikasikan pada tanggal 23 September 2014.

Data lainnya adalah jaringan jalan Kota Bandar Lampung. Data jaringan jalan ini diperoleh dari data *open source* peta RBI Badan Informasi Geospasial (BIG). Penggunaan data ini bertujuan untuk pemodelan jalur dan wilayah layanan evakuasi.

2.2 Metode Analisis

Metode analisis dilakukan dengan pendekatan spasial melalui integrasi teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografi (SIG). Penginderaan jauh merupakan suatu metode analisis yang dilakukan dengan menginterpretasi obyek atau fenomena secara tidak langsung dengan memanfaatkan sumber data berupa gambar (citra) hasil perekaman, baik dapat berupa foto udara maupun citra satelit. Sedangkan

SIG merupakan sebuah sistem (berbasis komputer) yang dapat digunakan untuk input data, analisis dan manipulasi, hingga pembuatan layout peta sebagai keluaran.

2.3 Estimasi daerah rawan tsunami dan TES Horizontal

Untuk menentukan TES horizontal ini, digunakan tools yang tersedia di dalam perangkat lunak ArcGIS 10.2 yaitu *Spatial Analyst*. Melalui tools ini, dilakukan pengkelasan kembali nilai topografi dari data SRTM menggunakan ArcToolbox *Reclassify* sehingga terbentuk wilayah dengan topografi lahan 15m ke atas, demikian juga dapat diidentifikasi wilayah pesisir dengan ketinggian 15m dari permukaan laut. Titik TES horizontal kemudian ditetapkan pada titik potong antara garis topografi 15m hasil *Reclassify* dengan jaringan jalan di Kota Bandar Lampung

2.4 Pembangunan wilayah layanan evakuasi

Penentuan wilayah layanan evakuasi di Kota Bandar Lampung masih menggunakan tools pada perangkat lunak ArcGIS 10.2 yaitu *Network Analyst*. Dalam penelitian ini, analisis jaringan digunakan untuk menentukan rute evakuasi hingga mencapai titik aman pertama diatas 15m dari permukaan laut yang akan digunakan sebagai lokasi TES. Dengan data jaringan jalan Kota Bandar Lampung sebagai input dan titik pertemuan jaringan jalan dengan topografi 15m sebagai TES horizontal maka wilayah layanan evakuasi dapat ditentukan sesuai dengan pilihan scenario waktu.

Langkah-langkah yang ditempuh untuk membangun wilayah layanan evakuasi ini adalah:

- Langkah pertama adalah membangun jaringan jalan dengan menggunakan tools network analyst di ArcMap. Data yang digunakan adalah data jaringan jalan Kota Bandar Lampung skala 1: 10.000 data dari Badan Informasi Geospasial (BIG)
- Langkah selanjutnya adalah mengintegrasikan jaringan jalan ini kedalam peta. kita buka tools network analyst (sebuah ekstensi ArcGIS yang memungkinkan merealisasikan studi tentang jaringan). Dengan menggunakan menu pendukung dibawahnya (new service area), kita dapat memunculkan jendela network analyst. Menu ini bekerja menurut algoritma Dijkstra untuk menentukan jalur tercepat antara suatu titik dengan titik lainnya.
- Selanjutnya adalah masukkan lokasi TES horizontal ke dalam network analyst.
- Diakhiri dengan penentuan daerah layanan evakuasi dengan mempertimbangkan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses evakuasi hingga mencapai TES terdekat. Pada kerangka

penelitian ini, kita menggunakan 3 skenario waktu evakuasi yaitu 10 menit, 20 menit dan 30 menit setelah gempa. Dengan memperkirakan 3 skenario waktu yang tersedia untuk evakuasi, kita dapat menentukan polygon daerah layanan evakuasi di sekitar TES.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Estimasi daerah rendaman tsunami dan lokasi Tempat Evakuasi Sementara (TES) di Kota Bandar Lampung

Untuk tujuan perencanaan mitigasi bencana tsunami, ketinggian wilayah yang dipakai dalam kerangka penelitian ini adalah garis topografi wilayah pada ketinggian 15m dari permukaan laut. Ketinggian ini diambil berdasarkan kepada ketinggian tsunami yang terjadi di Banda Aceh pada tahun 2004. Tsunami tersebut dibangkitkan oleh gempa utama dengan magnitudo 9,2 dan rentetan gempa tektonik yang menyertainya.

Melalui tools *spatial analyst* dan *re-classification* pada ArcGIS, wilayah pesisir yang landai di sepanjang pantai barat hingga timur Kota Bandar Lampung dipertimbangkan sebagai daerah estimasi rendaman tsunami (Gambar 1). Wilayah ini melingkar di sepanjang pesisir bagian selatan kota, khususnya pada wilayah administrasi Kecamatan Teluk Betung Timur (TBT), Teluk Betung Barat (TBB), Teluk Betung Selatan, Teluk Betung Utara (TBU), Bumi Waras (BW) dan Kecamatan Panjang (PJJ).



Gambar 1. Estimasi wilayah pesisir 0 hingga 15m dari permukaan laut

Berdasarkan estimasi ketinggian tsunami ini, masyarakat yang berada di daerah tersebut harus mencari Tempat Evakuasi Sementara (TES) terdekat. Model TES yang dapat dipakai adalah TES horizontal yang

berada di daerah ketinggian. Namun dalam kerangka penelitian ini TES vertikal tidak dipertimbangkan mengingat ketidaktersediaan informasi kekuatan struktur bangunan di wilayah studi.

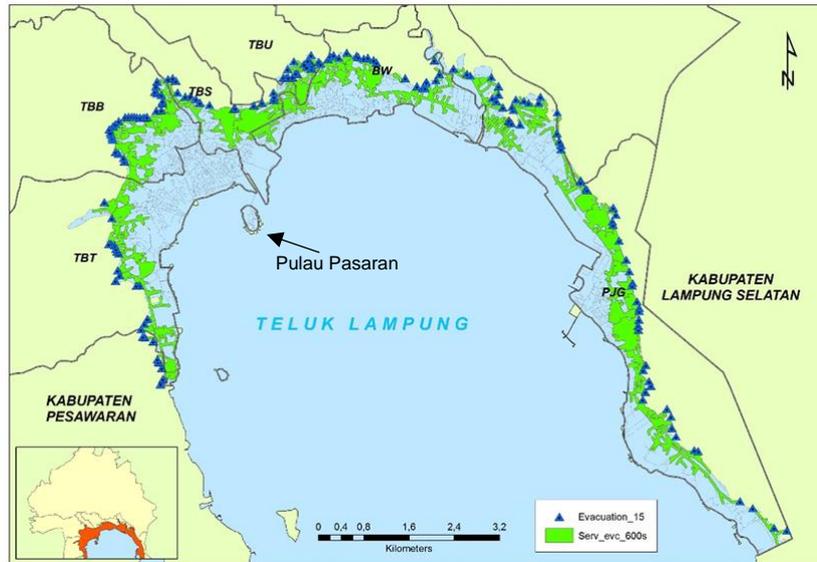
TES horizontal kemudian dipilih dalam penilaian kapasitas evakuasi sebagai alternatif tujuan tempat evakuasi penduduk. Lokasi TES horizontal terdekat dipertimbangkan berada pada daerah pesisir Kota Bandar Lampung, khususnya di jaringan jalan dengan topografi 15m dpl (Gambar 1). Setiap jalan yang menuju ke titik tersebut dipertimbangkan sebagai jalur evakuasi penduduk. Masyarakat yang tinggal di daerah pesisir dengan topografi 0-15m harus berusaha mencapai titik TES horizontal tersebut segera setelah terjadi gempa besar yang dapat memicu tsunami.

3.2 Daerah layanan evakuasi

Mempertimbangkan proses evakuasi yang memungkinkan dalam keadaan darurat gempa dan tsunami adalah tanpa kendaraan, maka analisis layanan evakuasi menuju TES horizontal terdekat dilaksanakan dengan jalan kaki. Alternatif yang dipilih untuk waktu evakuasi adalah 10 menit (600 detik), 20 menit (1200 detik) dan 30 menit (1800 detik). Pilihan waktu ini dipakai berdasarkan perkiraan waktu kedatangan (Estimated times of arrival – ETA) tsunami di Kota-kota terdampak ketika bencana tsunami di Provinsi Nangro Aceh Darussalam. ETA di Banda Aceh 35 min, Sabang 22 min, Lageun 25 min, Calang 29 min, Teunom 29 min, Meulaboh 35 min, Sinabang 20 min, Singkil 53 min, and Tapaktuan 24 min (Syamsidik, Rasyif, and Kato 2015). Sementara itu pemodelan ETA di Kota Padang adalah 23 menit (Taubenböck et al., 2009).

Kapasitas evakuasi masyarakat dengan jalan kaki dapat dilihat dari wilayah yang dapat dijangkau dalam waktu tertentu dari titik TES horizontal terdekat. Untuk waktu evakuasi 10 menit (600 detik), hanya sebagian kecil dari daerah estimasi rendaman tsunami yang dapat mencapai titik TES horizontal (Gambar 2). Bahkan sebagian wilayah di Kecamatan Teluk Betung Barat (TBB) yang tidak bersentuhan dengan laut masih belum bisa melakukan evakuasi dalam 10 menit.

Waktu evakuasi 10 menit adalah waktu yang sangat sempit untuk bisa mencapai titik ketinggian 15m. Sempitnya waktu pelaksanaan evakuasi ini tergantung sepenuhnya dari keputusan masyarakat untuk segera melakukan evakuasi secara mandiri. Keputusan evakuasi berkorelasi dengan tingkat risiko yang ditanggung masyarakat (Wang et al. 2016).



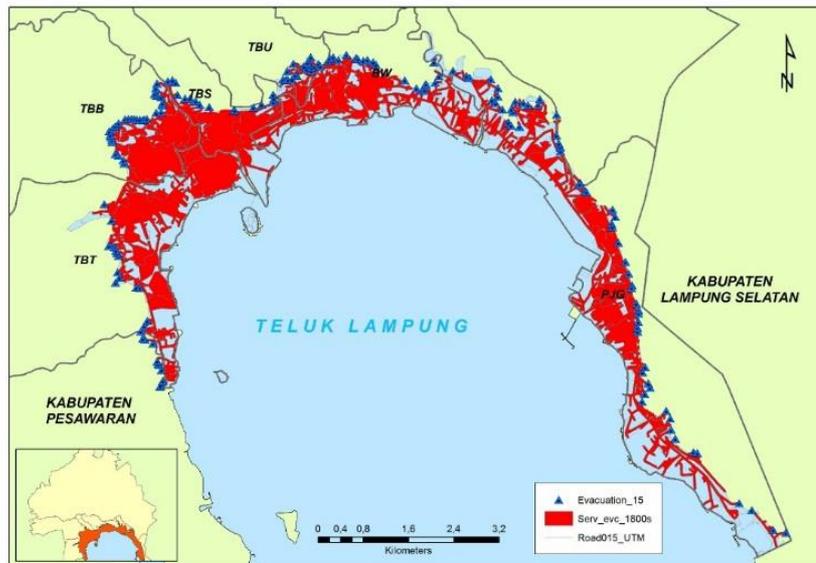
Gambar 2. Wilayah layanan evakuasi dalam waktu 10 menit

Apabila waktu evakuasi yang ada selama 20 menit (1200 detik), wilayah layanan evakuasi terlihat lebih jauh (Gambar 3.). Sebagian besar wilayah pesisir di kecamatan Teluk Betung Barat, Teluk Betung Utara, Bumi Waras dan Panjang telah dapat melakukan evakuasi penduduk ke TES horizontal 15m. Namun sebagian wilayah kecamatan Teluk Betung Timur masih belum bisa menyelesaikan proses evakuasinya. Pada kecamatan ini, hanya wilayah yang berdekatan dengan topografi ketinggian (bagian barat) yang dapat menyelesaikan proses evakuasi dalam 20 menit. Masyarakat yang tinggal di wilayah lingkaran merah (termasuk Pulau Pasaran) tidak dapat menyelesaikan evakuasi dalam 20 menit.



Gambar 3. Wilayah layanan evakuasi dalam waktu 20 menit

Skenario waktu evakuasi terakhir adalah 30 menit (1.800 detik). Berdasarkan skenario ini, sebagian besar wilayah pesisir Kota Bandar Lampung dapat melakukan proses evakuasi dalam waktu 30 menit (Gambar 4). Namun demikian masyarakat di Pulau Pasaran masih belum bisa melaksanakan evakuasinya dalam rentang waktu tersebut. Butuh waktu yang lebih lama (sekitar 45 menit) bagi penduduk di Pulau Pasaran untuk bisa mencapai titik ketinggian 15m dengan berjalan kaki.



Gambar 4. Wilayah layanan evakuasi dalam waktu 30 menit

Lamanya waktu yang dibutuhkan oleh masyarakat di Pulau Pasaran menuntut adanya intervensi dari pemerintah untuk menyediakan TES vertikal terdekat. Bentuknya dapat berupa gedung-gedung tinggi dengan struktur kuat. TES vertikal sebaiknya berada pada lokasi yang tidak jauh dari pantai. Keberadaannya diharapkan dapat menyelamatkan penduduk yang tidak bisa mencapai TES Horizontal.

IV. KESIMPULAN

Pemetaan daerah wilayah yang diperkirakan terdampak tsunami di Kota Bandar Lampung menunjukkan kerentanan wilayah terhadap tsunami ditentukan dari jauhnya suatu wilayah dari titik Tempat Evakuasi Sementara (TES) Horizontal apabila ditempuh tanpa menggunakan kendaraan.

Dengan estimasi ketinggian tsunami 15 m dari permukaan laut di Kota Bandar Lampung, maka wilayah-wilayah yang berisiko tinggi terhadap tsunami adalah wilayah yang waktu tempuh evakuasinya lebih dari 20 menit. Walaupun kedatangan tsunami bisa melebihi 20 menit pasca gempa, keputusan masyarakat untuk evakuasi bisa bervariasi. Semakin lama keputusan evakuasi diambil oleh penduduk, maka tingkat risiko penduduk semakin tinggi.

Wilayah yang cukup berisiko di Kota Bandar Lampung berada di Kecamatan Teluk Betung Timur, khususnya pada bagian utara dari kecamatan ini yang berbatasan dengan kecamatan Teluk Betung Barat (TBB) dan Teluk Betung Selatan (TBS). Pada wilayah ini, lokasi TES horizontal hanya dapat ditempuh dalam waktu lebih dari 20 menit. Bahkan pulau Pasaran memiliki waktu tempuh evakuasi yang lebih lama dari 30 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Lampung, Dekan Fakultas Pertanian, Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan, Ketua Program Studi Ilmu Kelautan, Teman sejawat sesama dosen di Jurusan Perikanan dan Kelautan, serta mahasiswa yang telah terlibat dan berkontribusi dalam proses penelitian dan penyelesaian artikel ilmiah ini. Khususnya Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Unila sebagai penyandang dana penelitian. Penelitian ini didanai oleh Hibah BLU Unila dengan nomor kontrak: 2454/UN26.21/PN/2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Bolton, Patricia. 2007. *Managing Pedestrians during Evacuations of Metropolitan Areas*. United States. Federal Highway Administration.
- Commission, Intergovernmental Oceanographic. 2006. "Intergovernmental Coordination Group for the Tsunami Early Warning and Mitigation System in the North Eastern Atlantic, the Mediterranean and Connected Seas (ICG/NEAMTWS): First Session Rome, Italy 21-22 November 2005."
- Gutscher, Marc-André and Graham K. Westbrook. 2009. "Great Earthquakes in Slow-Subduction, Low-Taper Margins." Pp. 119–133 in *Subduction Zone Geodynamics*. Springer.
- Lavigne, Franck, Raphaël Paris, Delphine Grancher, Patrick Wassmer, Daniel Brunstein, Franck Vautier, Frédéric Leone, François Flohic, Benjamin De Coster, Taufik Gunawan, Christopher Gomez, Angгри Setiawan, Rino Cahyadi, and Fachrizal. 2009. "Reconstruction of Tsunami Inland Propagation on December 26, 2004 in Banda Aceh, Indonesia, through Field Investigations." Pp. 259–81 in *Tsunami Science Four Years after the 2004 Indian Ocean Tsunami: Part II: Observation and Data Analysis, Pageoph Topical Volumes*, edited by P. R. Cummins, K. Satake, and L. S. L. Kong. Basel: Birkhäuser Basel.
- Naryanto, Heru Sri. 2014. "Mitigasi Kawasan Pantai Selatan Rota Bandar Lampung, Propinsi Lampung Terhadap Bencana Tsunami." *Alami* 8(2).

- Syamsidik, Teuku Muhammad Rasyif, and Shigeru Kato. 2015. "Development of Accurate Tsunami Estimated Times of Arrival for Tsunami-Prone Cities in Aceh, Indonesia." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 14:403–10.
- Taubenböck, Hannes, Joachim Post, Ralph Kiefl, Achim Roth, Febrin A. Ismail, Günter Strunz, and Stefan Dech. 2009. "Risk and Vulnerability Assessment to Tsunami Hazard Using Very High Resolution Satellite Data: The Case Study of Padang, Indonesia." *EARSeL EProceedings* 8(1):53–63.
- Wang, Haizhong, Alireza Mostafizi, Lori A. Cramer, Dan Cox, and Hyungsu Park. 2016. "An Agent-Based Model of a Multimodal near-Field Tsunami Evacuation: Decision-Making and Life Safety." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 64:86–100.
- Yudhicara, Yudhicara and K. Budiono. 2008. "Tsunamigenik Di Selat Sunda: Kajian Terhadap Katalog Tsunami Soloviev." *Indonesian Journal on Geoscience* 3(4):241–251.