

**LAPORAN  
PENELITIAN BLU  
DOSEN PEMULA  
UNIVERSITAS LAMPUNG**



**Judul Penelitian**

**Kajian Pembaharuan Model Rendaman Tsunami Pesisir  
Teluk Lampung Akibat Pengaruh Perubahan Morfologi  
Gunung Anak Krakatau**

**No. Kontrak: 2516/UN26.21/PN/2019  
Tanggal: 4 Juli 2019**

**TIM PENGUSUL**

**Armijon, ST., MT                      NIDN: 0010047307 Sinta ID: 6670024  
Fauzan Murdapa, Ir., MT        NIDN: 0012106406 Sinta ID: 6682030  
Eko Rahmadi, ST., MT            NIDN: 0010027107 Sinta ID: 6682014  
Ida Susanti S, S.T., M.T.        NIP : 19741009 200604 2 005**

**KATEGORI**

**PENELITIAN TERAPAN**

**PROGRAM STUDI TEKNIK GEODESI  
JURUSAN TEKNIK GEODESI DAN GEOMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS LAMPUNG  
2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

### LAPORAN PENELITIAN BLU DOSEN PEMULA (PDP) UNIVERSITAS LAMPUNG

Judul Penelitian : Kajian Pembaharuan Model Rendaman Tsunami Pesisir Teluk Lampung Akibat Pengaruh Perubahan Morfologi Gunung Anak Krakatau

Manfaat sosial ekonomi : Mitigasi Bencana Tsunami (Antisipasi Bencana)

Jenis penelitian :  penelitian dasar  penelitian terapan  
 pengembangan eksperimental

Ketua Peneliti

a. Nama Lengkap : Armijon  
b. NIDN : 0010047307  
c. SINTA ID : 6670024  
d. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli  
e. Program Studi : Teknik Geodesi  
f. Nomor HP : 0812 733 60000  
g. Alamat surel (e-mail) : armijon@eng.unila.ac.id

Anggota Peneliti (1)

a. Nama Lengkap : Fauzan Murdapa  
b. NIDN : 0012106406  
c. SINTA ID : 6682030  
d. Program Studi : Teknik Geodesi

Anggota Peneliti (2)

a. Nama Lengkap : Eko Rahmadi  
b. NIDN : 0010027107  
c. SINTA ID : 6682014  
d. Program Studi : Teknik Geodesi

Anggota Peneliti (3)

a. Nama Lengkap : Ida Susanti S  
b. NIP : 19741009 200604 2 005  
d. Institusi : Bappeda Provinsi Lampung

Jumlah mahasiswa yang terlibat : 2 Orang  
1. Resti Elida Nurhawati Siregar NPM:1515013020  
2. I Wayan Indra Saputra NPM:1415013012

Jumlah alumni yang terlibat : -  
Jumlah staf yang terlibat : -  
Lokasi kegiatan : Gunung Anak Krakatau dan Pesisir Teluk Lampung  
Lama kegiatan : 8 Bulan  
Biaya Penelitian : Rp. 15.000.000,-  
Sumber dana : BLU Universitas Lampung

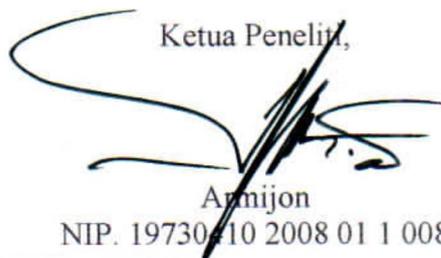


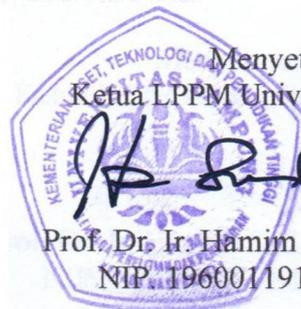
Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik Unila,

Prof. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D, IPU  
NIP. 196206717 1987 031 002

Bandar Lampung, 31 Oktober 2019

Ketua Peneliti,

  
Armijon  
NIP. 19730710 2008 01 1 008



Menyetujui,  
Ketua LPPM Universitas Lampung

Prof. Dr. Ir. Hamim Sudarsono, M.Sc.  
NIP. 196001191984031002

## IDENTITAS DAN URAIAN UMUM

1. Judul Penelitian:

Kajian Pembaharuan Model Rendaman Tsunami Pesisir Teluk Lampung Akibat Pengaruh Perubahan Morfologi Gunung Anak Krakatau

2. Tim Peneliti

No.	Nama	Jabatan	Bidang Keahlian	Program Studi	Alokasi Waktu (Jam/Minggu)
1.	Armijon	Ketua	Remote Sensing, GIS, Mitigasi Bencana	T.Geodesi	20 jam/Minggu
2	Fauzan Murdapa	Anggota 1	Mitigasi Bencana, Survei Teretris	T.Geodesi	10 Jam/Minggu
3.	Eko Rahmadi	Anggota 2	Survei GNSS, GIS	T.Geodesi	10 Jam/Minggu
4.	Ida Susanti	Anggota 2	GIS, Tata Ruang	Planologi	10 Jam/Minggu

3. Objek Penelitian (jenis material yang akan diteliti dan segi penelitian):

Kajian perubahan Morfologi anak Krakatau Akibat Longsor yang memicu tsunami 22 Desember 2018 dan Pengaruhnya pada perubahan Wilayah Rendaman Tsunami untuk pembaharuan peta Rendaman Tsunami Pesisir Teluk Lampung jika terjadi pengulangan Bencana Tsunami Krakatau Selat Sunda

4. Masa Pelaksanaan

Mulai : 4 Juli 2019

Berakhir : 4 November 2019

5. Usulan Biaya : Rp. 15.000.000,- (Lima Belas Juta Rupiah)

6. Lokasi Penelitian

- Laboratorium InSIG dan Pemetaan Darat Prodi Teknik Geodesi
- Gunung Anak Krakatau dan Sekitarnya di Selat Sunda
- Pesisir Teluk Kota Bandar Lampung

7. Instansi Lain yang terlibat

- Bappeda Provinsi Lampung (Sumber data RTRW, RBI 50K, RBI 25K, Citra Satelit)
- Bappeda Kota Bandar Lampung (Sumber data RTRW dan Citra Sateli)
- BPBD Kota Bandar Lampung (Data Rendaman, Data Gelombang, Peta Geologi Kakatau, Sejarah Tsunami Selat Sunda)

8. Kontribusi mendasar pada suatu bidang ilmu

Teknologi *GIS* dan *Remote Sensing* untuk Analisis rendaman Tsunami merupakan kegiatan mitigasi bencana bidang Teknik geodesi. Sasaran kajian diharapkan dapat menghasilkan model analisis kebencanaan yang lebih efektif untukantisipasi kebencanaan lebih dini. Kajian ini diharapkan dapat memicu perkembangan ilmu geodesi dengan teknologi pendukungnya kearah lebih cepat, tepat, efektif, dan efisien

9. Jurnal ilmiah yang menjadi sasaran adalah:

Jurnal Geoid (jurnal of Geodesy and Geomatics), atau Jurnal Geologi Sumber Daya Mineral, atau Jurnal Gomatika (jurnan Badan Informasi Geospasial/BIG), atau Jurnal Penginderaan jauh dan pengolahan data citra digital (jurnal Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional/Lapan), Jurnal Rekayass Fakultas Teknik Universitas Lampung. Direncanakan publikasi pada tahun 2020

# DAFTAR ISI

LAPORAN.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
IDENTITAS DAN URAIAN UMUM.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
Abstrak.....	v
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1.Latar Belakang.....	1
1.2.Rumusan Masalah.....	3
1.3.Tujuan Khusus.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 State of the Art.....	5
2.2 Lokasi Wilayah Penelitian.....	13
2.3 Geologi Krakatau.....	13
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	16
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1 Hasil.....	24
4.2 Topografi dan Perubahan morfologi GAK.....	24
BAB 5. SIMPULAN.....	30
5.1 Simpulan.....	30
5.2 Saran.....	30
BAB 6. PENUTUP.....	31
REFERENSI.....	A

# Kajian Pembaharuan Model Rendaman Tsunami Pesisir Teluk Lampung Akibat Pengaruh Perubahan Morfologi Gunung Anak Krakatau

Armijon<sup>(1)\*</sup>; Eko Rahmadi<sup>(1)</sup>; Fauzan Murdapa<sup>(1)</sup>; Ida Susanti S<sup>(2)</sup>;

<sup>(1)</sup>Dosen Jurusan T. Geodesi dan Geomatika Fakultas Teknik Universitas Lampung - Lampung 35145

<sup>(2)</sup>Staft Bappeda (Badan Perencanaan Pembangunan Daerah) Provinsi Lampung - Lampung 35119

armijon@eng.unila.ac.id ; eko.rahmadi@eng.unila.ac.id ; fauzan.murdapa@eng.unila.ac.id ; idasusantis@gmail.com

## Abstrak

Tsunami selat sunda akibat longsoran Gunung Anak Krakatau (GAK) dengan ketinggian 338 mdpl pada 22 Desember 2018 menyisakan luka mendalam bagi seluruh rakyat Indonesia dengan banyaknya korban jiwa serta kerusakan parah yang dihasilkannya membuat pilu hati bangsa ini. Berdasarkan pantauan citra satelit akuisisi Februari 2019 terhadap kondisi GAK sejak peristiwa tsunami selat sunda telah mengakibatkan perubahan topografi dan morfologi GAK. Perubahan ini terindikasi akan mempengaruhi pola gelombang yang tsunami yang tentunya pula akan mengubah wilayah rendaman tsunami jika terjadi bencana yang sama. Salah satu wilayah terdekat dengan potensi bencana tersebut yang memerlukan pembaharuan data rendaman tsunami adalah Pesisir Teluk Kota Bandar Lampung yang memiliki kepadatan tertinggi di Provinsi Lampung.

Kajian dimulai dengan melakukan pembaharuan peta topografi kawasan GAK dengan bantuan teknologi foto udara memanfaatkan Teknologi *UAV fixed Wing* untuk menghasilkan data topografi untuk analisa perubahan morfologi GAK. Kemudian dilakukan kajian arah gelombang menggunakan teori amplitudo kecil yang diturunkan berdasarkan persamaan *Laplace* untuk aliran *irrotational flow* dimana episenter ditetapkan ditengah kawah GAK. Penentuan tinggi awal gelombang merujuk pada data sejarah tsunami Selat Sunda untuk melakukan simulasi tinggi gelombang bervariasi dari yang minimum sampai maksimum. Dibuatnya grafik hubungan kecepatan terhadap jarak akan menghasilkan waktu penjalaran gelombang sebagai waktu tiba tsunami. Wilayah rendaman yang merujuk pada ketinggian gelombang tsunami bibir pantai akan dianalisis dengan bantuan teknologi *GIS* dengan memanfaatkan data Citra satelit, *RBI*, *SRTM*, serta peta-peta tematik pendukung lainnya.

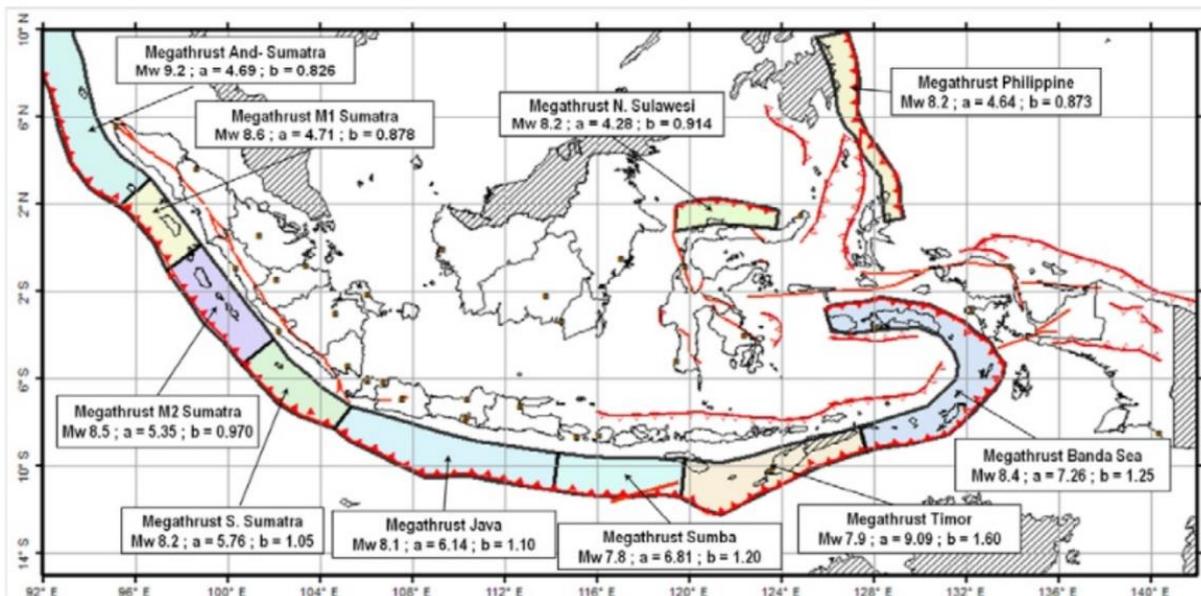
Survei dan Pemetaan kelokasi GAK 12-15 September 2019 menghasilkan Peta Topografi yang memperlihatkan perubahan morfologi GAK yang sangat drastis. Longsornya lereng telah mengubah lorong gunung dan membuka lorong baru memicu bertemunya magma panas dengan air laut, jejak air laut terlihat sudah berhenti masuk kesistem magma sehingga GAK kembali normal. Morfologi Tubuh GAK kini berbentuk Kawah samping (kawah parasiter), berdasarkan generiknya kawah letusan terlihat berbentuk negatif. Kaldera GAK saat ini terlihat sebagai jenis kaldera Erosi. Morfologi disekitar GAK berbentuk Antiklonorium gunungapi. Morfologi GAK dipengaruhi oleh tekanan aliran-aliran lava yang naik keatas yang secara bertahap akan melemahkan dan menghancurkan dinding kawah. Kerucut vulkanik GAK bagian atas menghilang oleh erupsi dan meninggalkan dinding kawah besar dan puncak tertinggi kurang lebih 158,635 mdpl yang terbuka ke arah Barat Daya. Aliran lava mempunyai morfologi khusus yang terbentuk hampir kesemua arah sehingga akan menambah besar pulau tersebut. Morfologi pedataran menempati bagian Timurlaut. Dari hasil simulasi model dengan episenter 3 m tinggi gelombang tsunami didapatkan tinggi gelombang tsunami dibibir pantai mencapai 39 meter, dengan arah gelombang awal menuju Tenggara. Waktu tiba gelombang tsunami dibibir pantai Teluk Lampung selama 56 menit telah menghasilkan wilayah rendaman baru yang hanya mengalami sedikit perubahan dari model rendaman lama. Perubahan drastis terjadi pada waktu tiba tsunami yang lebih cepat dibandingkan penelitian terdahulu, perubahan ini divisualisasikan dalam bentuk peta rendaman tsunami wilayah pesisir teluk Lampung 2019. Secara keseluruhan bantuan teknologi *GPS*, *GIS*, *Remote Sensing*, dan *Fotogrametri dengan UAV Fixed Wing* yang dituangkan dalam sebuah Model Simulasi telah memberikan fasilitas kemudahan membantu analisis untuk memonitoring pemantauan perubahan GAK serta prediksi dampak perubahan rendaman tsunami yang mungkin dapat terjadi dimasa yang akan datang.

**Kata Kunci:** Erupsi Gunung Anak Krakatau (GAK); Topografi dan Morfologi Gunung Anak Krakatau; Rendaman Tsunami Kota Bandar Lampung; Waktu Tiba dan Tinggi gelombang Tsunami selat sunda; Model simulasi Tsunami GAK

# BAB 1. PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Salah satu enam arahan presiden pada akhir tahun 2018 adalah peran serta perguruan tinggi dalam pengembangan dan penelitian dibidang mitigasi bencana yang terpicu pada tahun 2018 indonesia banyak mengalami bencana alam yang diantaranya dua kali bencana peristiwa tsunami (Kota Palu dan Selat Sunda) yang melen korban jiwa lebih dari 2500 jiwa. Indonesia terletak pada pertemuan empat lempeng bumi yang aktif, yaitu lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Filipina. Lempeng tersebut saling mendorong satu sama lain. Pada wilayah Indonesia timur, Lempeng Australia bertumbukan dengan Lempeng Pasifik pada Papua Nugini dengan tingkat kecepatan pergeseran lempeng 110 mm per tahun (Bock et Al, 2003 dalam Kongko 2011). Menurut Renggo, et al (2007) Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki tingkat kegempaan tertinggi di dunia. Kejadian tsunami di Indonesia sebagian besar disebabkan oleh gempa-gempa tektonik di disepanjang daerah subduksi dan daerah seismik aktif lainnya. Kejadian 90 persen diantaranya disebabkan oleh gempa tektonik, 9 persen oleh gunung api dan 1 persen dipicu oleh longsoran (land-slide). Gambar 1.1 Peta daerah subduksi di Indonesia (Tim 9, 2010) Dikelilingi oleh lempeng Indo-Australia dan Pelat Laut Filipina yang meretas di bawah Lempeng Eurasia, dengan lima pulau besar dan beberapa semenanjung, Indonesia



Gambar 1.1 Peta Zona Subduksi di Indonesia (Tim 9, 2010)

Indonesia telah mengalami ribuan gempa bumi dan ratusan tsunami pada rentang empat ratus tahun terakhir (Aydan, 2008) dalam (Baeda, et al, 2012).

Sumatera dan Jawa adalah dua pulau yang paling rentan dampak tsunami karena terletak langsung di depan Lempeng Indo-Australia.

Tapi belakangan ini, Selat Sunda dengan beberapa daerah rawan subduksi-nya pada aktivitas Anak Krakatau (Anak Krakatau) telah menjadi lebih aktif yang mengakibatkan banyaknya aktivitas kegempaan, terutama dengan episenter di laut yang menimbulkan bencana tsunami dan menyebabkan kerusakan yang luas dan jumlah korban yang besar.

Provinsi Lampung merupakan wilayah terdekat dengan Gunung Anak Krakatau. Karenanya pesisir pantainya rawan terhadap bencana tsunami terutama di teluk Lampung yang merupakan wilayah ibu kota provinsi Lampung dengan kecepatan tertinggi di provinsi Lampung. Bencana tsunami pernah dialami oleh masyarakat yang tinggal di wilayah pesisir pantai teluk Lampung, akibat meletusnya Anak Krakatau pada tanggal 26-27 Agustus 1883, yang menelan korban jiwa lebih kurang 36.000 orang. Saat kejadian, tinggi muka air laut di wilayah pantai kota Bandar Lampung dapat mencapai 22 meter (Mahi dan Zakaria, 2008).

Pada tanggal 22 Desember 2018, terjadi kembali pengulangan tsunami di Selat Sunda akibat Longsoran Anak Krakatau. Tsunami ini menerjang pantai Kalianda-Lampung dan pantai selatan-Banten. Ketinggian tsunami mencapai 0,9 meter dan memakan 437 korban jiwa, 14075 luka luka, 2752 rumah rusak 510 perahu dan kapal rusak serta 147 kendaraan rusak. Korban jiwa terbanyak adalah mereka yang mendiami wilayah pesisir pantai. Tidak dapat kita bayangkan jika terjadi pengulangan kejadian tsunami seperti tahun 1883 akan berapa banyaknya korban jiwa di pesisir teluk Lampung dan sekitarnya.

Untuk dapat memperkirakan resiko tsunami bila Anak Krakatau meletus dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan memetakan rendaman wilayah rendaman akibat gelombang tsunami. Pemetaan dan Pemodelan gelombang tsunami serta wilayah rendaman tsunami sudah banyak dilakukan peneliti, baik akibat gempa vulkanik maupun tektonik.

Pemodelan tsunami sudah pernah dilakukan oleh Goto dan Shuto (1983), Goto dan Ogawa (1992), Kowalik dan Murty (1993), Marchuk dkk (2001), Horrillo dkk (2004, 2006), Watts dkk (2003, 2005), Shigihara dkk (2005), Kowalik dan Proshutinsky (2006). Untuk pemodelan tsunami akibat gempa vulkanik juga pernah dilakukan, antara lain oleh Kawamata dkk (1993) Hantoro dkk (2007), Zakaria dkk (2009).

Namun Akibat Aktifitas Anak Krakatau 22 desember 2018 telah memicu perubahan topografi Anak Krakatau. Hal ini tentunya akan berimbas pada akan berubahnya model landaan tsunami jika terjadi

tsunami akibat aktifitas Anak Krakatau dimasa yang akan datang. Maka dari itu perlu dilakukan upaya perbaharuan pemetaan perubahan fisik dan geometrik Anak Krakatau serta pengembangan model landaan tsunami untuk melihat wilayah rendamannya untuk memperbaharui data data penunjang mitigasi bencana Tsunami di pesisir teluk Lampung dalam upaya mitigasi bencana tsunami secara tepat untuk mengurangi jumlah korban jiwa.

Model gelombang tsunami diperlukan untuk membuat permodelan rendaman tsunami. Maka penelitian ini akan lebih difokuskan untuk membuat permodelan rendaman tsunami yang dibangkitkan oleh Aktifitas Anak Krakatau dengan memperhatikan perubahan Taopografi Anak Krakatau akibat aktifitas 22 desember 2018. Mengingat begitu banyak jumlah penduduk dan infrastruktur di pesisir teluk lampung yang berpotensi menjadi korban bencana tsunami, maka mitigasi bencana tsunami ini semestinya mendapatkan perhatian yang memadai. Oleh karena itu, permodelan tsunami ini diperlukan sebagai langkah perbaharuan data data penunjang untuk mendukung kajian lebih lanjut dalam penanggulangan bencana tsunami khusus nya di pesisir teluk Lampung dimasa yang akan datang.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Permasalahan yang menjadi fokus utama pada penelitian ini adalah bagaimana upaya yang efektif dan efisien dalam monitoring perubahan Bentuk topografi Anak Krakatau akibat Aktifitasnya pada 22 desember 2019. Perubahan fisik dan geometrik tersebut tentunya akan berimbas berubahnya model rendaman tsunami jika terjadi tsunami dimasa yang akan datang. Akhirnya akan dihasilkan perbaharuan data data penunjang mitigasi bencana Tsunami di pesisir teluk Lampung dalam upaya mitigasi bencana tsunami secara tepat untuk mengurangi jumlah korban jiwa.

Permasalahan tersebut dibagi menjadi beberapa pokok masalah yaitu:

- a. Bagaimana kondisi topografi Anak Krakatau akibat perubahan geomorfologinya sejak terjadinya erupsi yang menyebabkan tsunami pada tanggal 22 Des 2018.
- b. Bagaimana perkiraan arah gerakan gelombang tsunami akibat perubahan kondisi topografi tersebut.
- c. Bagaimana perubahan rendaman tsunami wilayah Pesisir Teluk Lampung terhadap RTRW yang berkaitan dengan mitigasi Bencana Tsunami Kota BDL

## **1.3. Tujuan Khusus**

Penelitian ini memiliki tujuan khusus yang diharapkan dapat mengembangkan metode *Remote Sensing and Geographic Information System for tsunami Hazard monitoring* berbasis citra landsat dan atau Foto udara dengan UAV. Untuk mencapai hal tersebut maka tujuan khusus dalam

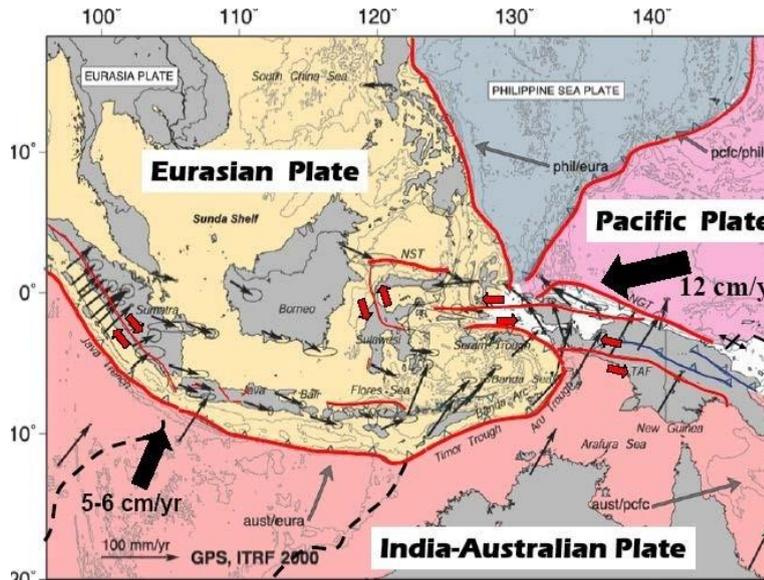
penelitian ini dibagi antara lain:

- a. Studi *Perubahan Topografi* Anak Krakatau berdasarkan data citra Landsat dan atau Foto Udara dengan UAV;
- b. Kajian Pembaharuan Model Rendaman tsunami akibat pengaruh perubahan topografi Anak Krakatau terhadap prediksi arah dan dan hambatan gelombang Tsunami;
- c. Kajian Wilayah Rendaman dan perubahan geomorfologi Gunung Anak Krakatau;
- c. Pembuatan Peta Rendaman Tsunami 2019 di Pesisir Teluk Lampung yang dapat dimanfaatkan pemerintah daerah sebagai data penunjang dalam kajian pembaharuan penyusunan dokumen mitigasi bencana tsunami di provinsi lampung.

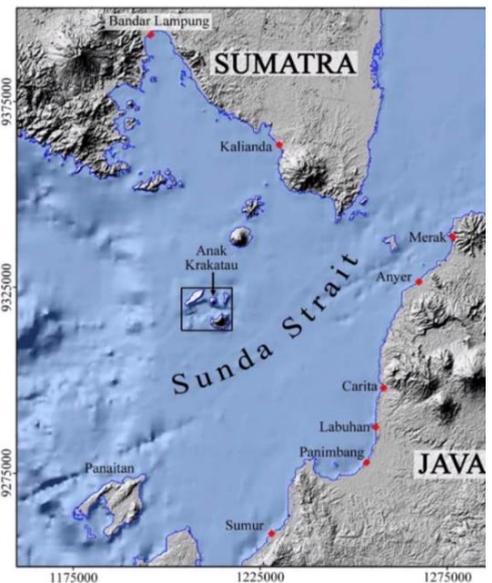
## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 State of the Art

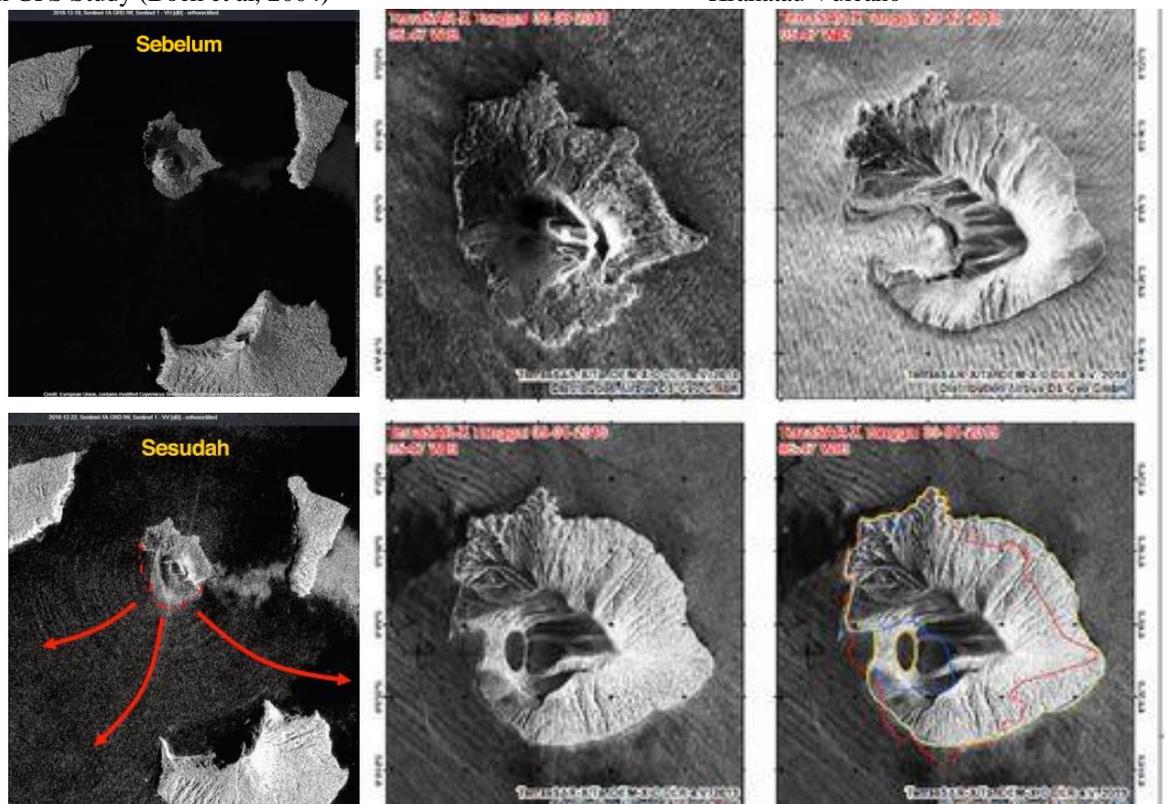
Terjadinya lonsor / runtuh (*flank collapse*) dinding Anak Krakatau sebesar 64 Hektar pada 22 Desember 2018 telah menciptakan gelombang tsunami di Selat Sunda yang telah menelan banyak korban jiwa dan harta. Akibat dari lonsor tersebut ternyata telah mengubah morfologi Anak Krakatau yang dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.1. Active Tectonics of Indonesia: Crustal motions from GPS Study (Bock et al, 2004)



Gambar 2.2. Tsunami Hazart Anak Krakatau Vulcano

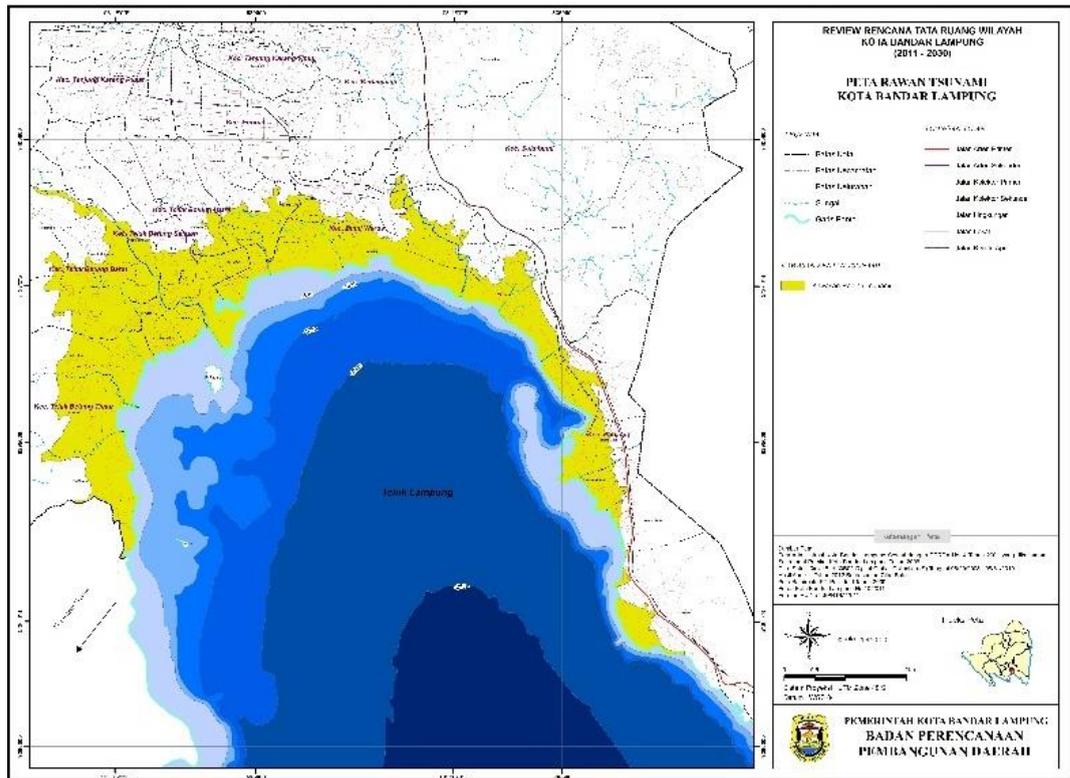


Gambar 2.3. Perubahan tapak Geomorfologi Gunung Anak Krakatau sebelum dan setelah tsunami Selat Sunda, Citra satelit. LAPAN

Citra satelit Sentinel-1 melingkapi keping teka-teki sumber tsunami Selat Sunda yang meluluhlantakkan pesisir Banten dan Lampung, Sabtu (22/12/2018). Rangkaian gambar dari milik European Space Agency (ESA) itu memastikan adanya longsor di lereng barat daya gunung Anak Krakatau. Sisi barat dan barat daya menjadi lokasi dengan perubahan terbesar. Diperkirakan sejumlah besar material gunung masuk ke laut. Berdasarkan peta bawah laut yang disediakan Christine Deplus dari Institut de Physique du Globe de Paris (1995), daerah yang hilang tersebut berada di tepi jurang. Di bawahnya terdapat "lembah" berkedalaman 250 meter di bawah permukaan laut. Dari studi sejarah aktivitas vulkanik di daerah tersebut, kita sudah mengetahui bahwa lembah tersebut sejatinya merupakan kawah gunung yang meletus dan pecah saat Krakatau meletus pada 1883. Kini, kawah tersebut menjadi cekungan di bawah laut dengan lebar sekitar 5-6 kilometer. Thomas Giachetti dari University of Oregon dalam makalah ilmiahnya pada 2012 menyebut sisi barat daya Anak Krakatau sangat mungkin mengalami longsor. Simulasi yang ia lakukan menunjukkan kolom material sebesar 0,28 kilometer kubik bisa ambrol ke dasar laut. Bisa dibayangkan material dalam jumlah besar meluncur dari ketinggian 200-300 meter ke laut dan terus menghujam ke kedalaman laut berkedalaman 250 meter. Skenario ini sama artinya dengan mengaduk-aduk laut di kawasan Anak Krakatau sampai akhirnya memicu tsunami dengan ketinggian beragam di pesisir Lampung dan Banten.

Perubahan morfologi Anak Krakatau tentunya akan menyebabkan perubahan pola gelombang tsunami di Anak Krakatau jika kembali terjadi longsoran baru, untuk itu perlu dilakukan penyusunan peta topografi serta penyusunan model rendaman baru untuk melihat sejauh mana perubahan rendaman Tsunami akibat perubahan morfologi ini khususnya untuk mitigasi bencana pesisir teluk Lampung. Berdasarkan data RTRW Kota bandar lampung dapat dilihat kajian terdahulu wilayah rendaman tsunami oleh pemerintah daerah Kota bandar lampung. Gambar 2.4.

Beberapa metode dapat dilakukan dalam pemetaan Anak Krakatau untuk menghasilkan peta topografi Anak Krakatau. Yang dapat dilakukan adalah pemetaan secara *Remote Sensing* dengan memanfaatkan citra satelit resolusi tinggi. Untuk menghasilkan ketelitian spasial peta yang lebih maksimal dapat dibantu dengan pemotretan udara menggunakan teknologi UAV jenis *Fixed-wing aircraft* yang lebih stabil dengan jangkauan yang cukup jauh. Saat penelitian ini dilaksanakan ijin lokasi bisa didapatkan maka dipergunakan teknologi UAV dimana untuk meningkatkan ketelitian data foto hasil UAV koreksi geomerik dimaksimalkan menggunakan GNSS (*Global Navigation Satellite System*) Jenis Geodetik dalam pengukuran GCP (*Ground Control Point*). Dari data topografi dikaji kemungkinan arah gelombang tsunami jika terjadi kembali longsoran.

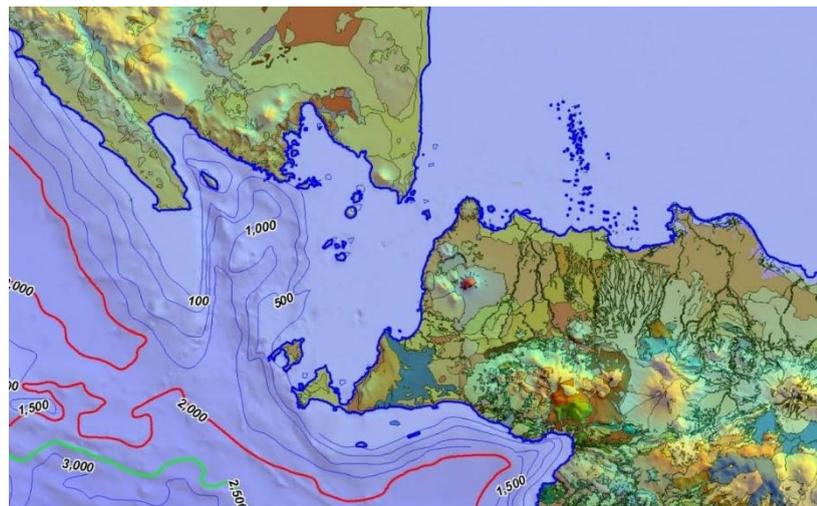


Gambar 2.4. Peta Rawan Tsunami Kota Bandar Lampung

Untuk Tinggi Gelombang awal akan digunakan tinggi gelombang tertinggi dari sejarah tsunami yang pernah terjadi tentunya diperhitungkan juga gelombang tsunami 22 desember 2018 yang hanya kurang dari 0,5 meter diteluk lampung sedangkan Topografi laut akan Menggunakan data dari GEBCO yang bisa didapat dari *gebco.net*. Dengan Memanfaatkan Teknologi GIS (*Geographic Information System*) makan akan dilakukan perhitungan rendaman di pesisir teluk Lampung. Untuk itu data topografi RBI 25K dan 50K yang bersumber dari BIG (Badan Informasi Geospasial) akan digunakan sebagai bagian dari data penunjang Analisis Rendaman. Selain itu untuk mendukung kenampakkan topografi yang sesungguhnya akan dimanfaatkan juga citra (resolusi tinggi) pesisir Teluk Lampung yang bersumber dari Pemprov Lampung dan Kota Bandar Lampung serta data SRTM.

Year M D h m	Lat. Lon.	M/Dp	Tm	H(m)	Dead/ Injure	Observed Area Province: location	Zone
1797 02 10	0.58 100.2			Strong		W. Sumatera, Padang	A
1799				16		Sumatera	A
1818 13 18	-3.5 100.5					Bengkulu	A
1833 01 29		9				W. Sumatra: Padang, Priaman	A
1833 11 24						Bengkulu	A
1843 01 5-6	2.08 98.23			Large		N. Sumatera: Barus Is., G. Sitoli	A
1861 02 16		8.4			50	Sumatra: Batu Is., Nias Is.	A
1861 09 25	-2.04 100.6		1			Sumatra: Padang, Indrapura	A
1864						W. Sumatra: Padang, Batu	A
1883 08 26	-5.8 106.3	Volc		35	36000	Sumatera: Sunda St., Java,	A
1904 07 04						W. Sumatra: Siri-siri	A
1907 01 -						Sumatra : Western Coast	A
1908 02 06	-2.0 100.0					W. Sumatra	A
1909 06 03 18 41U	- 2.5 101.5	7.3			200	Sumatra: Kerinci-Jambi	A
1928 03 26	-5.8 106.3	Volc				S. Sumatera: Sunda St., Lampung,	A
1935 12 28	-0.3 97.9					N Sumatera: Batu Island	A
1936 03 01	-	7.0			110/479	Sumatra:	A
1967 04 12	5.3 96.5	6.5		big		N Sumatera: Sigli	A

Gambar 2.5 Sejarah Tsunami di Bagian Barat Sumatera dan Selat Sunda (1780-2000)



Gambar 2.5 Batimetri Selat Sunda

Berdasarkan kedalamannya, (Ippen, 1996 dan McLellan, 1975 dalam Tarigan, 1986) gelombang yang bergerak mendekati pantai dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu: (1) Gelombang laut dalam yaitu gelombang yang dibentuk dan dibangun dari bawah permukaan. (2) Gelombang permukaan yaitu gelombang yang terjadi antara batas dua media seperti batas air dan udara. Gelombang permukaan terjadi karena adanya pengaruh angin. Peristiwa ini merupakan peristiwa pemindahan energi angin menjadi energi gelombang di permukaan laut dan gelombang ini sendiri akan meneruskan energinya ke molekul air. Gelombang akan menimbulkan riak dipermukaan air dan akhirnya dapat berubah menjadi gelombang yang besar. Gelombang yang bergerak dari zona laut lepas hingga tiba di zona dekat pantai (*nearshore beach*) akan melewati beberapa zona gelombang yaitu : zona laut dalam (*deep water zone*), zona refraksi (*refraction zone*), zona pecah gelombang

(*surf zone*), dan zona pangadukan gelombang (*swash zone*). Dalam kajian ini akan di bahas mengenai gelombang dengan amplitudo kecil. Teori Gelombang Airy (teori amplitudo kecil) diturunkan berdasarkan persamaan *Laplace* untuk aliran tak rotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di dasar laut dan di permukaan air. Terdapat beberapa anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut: (1) Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat masa adalah konstan. (2) Tegangan permukaan diabaikan. (3) Gaya coriolis (akibat perputaran bumi di abaikan). (4) Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan. (5) Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak rotasi. (6) Dasar laut adalah horizontal, tetap dan impermeable sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol. (7) Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air. (8) Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjalaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.

Beberapa notasi yang digunakan di dalam perhitungan Gelombang Airy adalah :

$d$  : jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)

$\eta(x,t)$  : fluktuasi muka air terhadap muka air diam =  $\eta = a \cos(kx - \sigma t)$

$a$  : amplitudo gelombang

$H$  : tinggi gelombang =  $2 a$

$L$  : panjang gelombang, yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya

$T$  : periode gelombang, yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya

$C$  : kecepatan rambat gelombang =  $L/T$

$k$  : angka gelombang =  $2\pi/L$

$\sigma$  : frekuensi gelombang =  $2\pi/T$

$g$  : gravitasi =  $9,81 \text{ m/d}^2$

Hubungan cepat rambat gelombang dengan panjang gelombang dan kedalaman adalah:

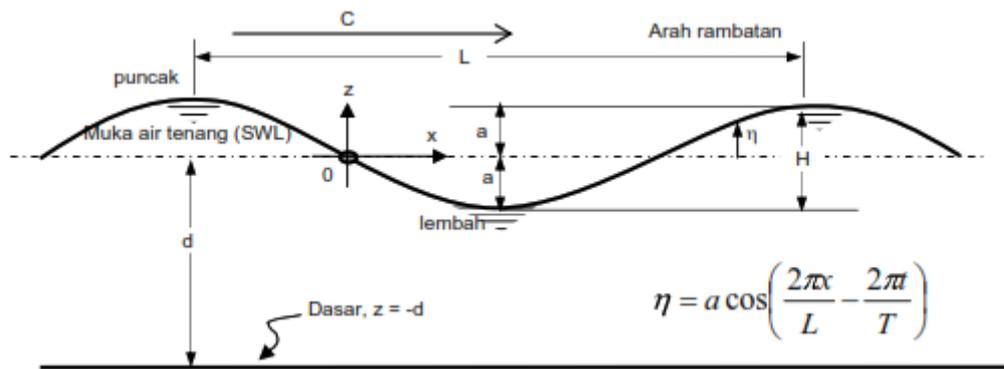
$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} = \frac{gT}{2\pi} \tanh kd \quad (2.1)$$

Dan hubungan panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman adalah:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kd \quad (2.2)$$

$$k = 2\pi/L \quad (2.3)$$

jika kedalaman air dan periode gelombang diketahui, maka dengan cara coba-banding (terasi) akan didapat panjang gelombang  $L$ .



Gambar 2.5 Gelombang

Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air dan panjang gelombang  $L$ . ( $d/L$ ), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam. Dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini:

Keterangan	Gelombang dilaut dangkal	Gelombang di laut transisi	Gelombang di laut dalam
$d/L$	$d/L \geq 1/2$	$1/20 < d/L < 1/2$	$d/L \leq 1/20$
Tanh ( $2\pi d/L$ )	$\approx 2\pi d/L$	$\text{Tanh}(2\pi d/L)$	$\approx 1$
Cepat rambat gelombang	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \text{tanh}\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$	$C = C_o = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
Panjang Gelombang	$L = T\sqrt{gd}$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \text{tanh}\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$	$L = L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 1,56T^2$

(Nur Yuwono, 1982)

Gambar 2. 6. Klasifikasi gelombang menurut kedalaman relatif

Selama penjalaran gelombang dari laut dalam ke laut dangkal, orbit partikel mengalami perubahan bentuk seperti yang ditunjukkan dalam gambar dibawah ini. Refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Di daerah dimana kedalaman air lebih besar dari setengah panjang gelombang, yaitu di laut dalam, gelombang menjalar tanpa dipengaruhi dasar laut. Tetapi di laut transisi dan dangkal, dasar laut mempengaruhi gelombang. Di daerah ini, apabila ditinjau satu garis puncak gelombang, bagian dari puncak gelombang yang berada di air yang lebih dangkal akan menjalar dengan kecepatan yang lebih kecil dari pada bagian di air yang lebih dalam. Akibatnya garis puncak gelombang akan membelok dan berusaha untuk sejajar dengan garis kedalaman laut. Garis ortogonal gelombang, yaitu garis yang tegak lurus dengan garis puncak gelombang dan menunjukkan arah penjalaran gelombang, juga akan membelok, dan berusaha untuk menuju tegak lurus dengan garis kontur dasar laut.

Tenaga yang terkandung diantara dua garis ortogonal dapat dianggap konstan. Apabila jarak antara garis ortogonal adalah  $b$ , maka tenaga gelombang dilaut dalam dan di suatu titik yang ditinjau adalah:

$$\left(\frac{bnE}{T}\right)_0 = \left(\frac{bnE}{T}\right)_1 = \text{konstan} \quad (2.4)$$

Apabila energi total gelombang adalah  $E_r = E_k + E_p = \frac{\rho g H^2 L}{8}$  dan disubstitusikan ke dalam persamaan diatas maka:

$$\frac{H_1}{H_0} = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n_1 L_1}} \sqrt{\frac{b_0}{b_1}} \quad (2.5)$$

Suku pertama adalah pengaruh pendangkalan sedang suku kedua adalah pengaruh garis ortogonal menguncup (konvergen) atau menyebar (divergen) yang disebabkan oleh refraksi gelombang. Kedua suku tersebut dikenal sebagai koefisien pendangkalan  $K_s$  dan koefisien refraksi  $K_r$ , sehingga persamaan menjadi:

$$H_1 = K_s K_r H_0 \quad (2.6)$$

Proses refraksi gelombang adalah sama dengan refraksi cahaya yang terjadi karena cahaya melintasi dua media perantara berbeda. Dengan kesamaan tersebut maka pemakaian hukum Snell pada optik dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah refraksi gelombang yang disebabkan karena perubahan kedalaman.

Dipandang satu deretan gelombang yang menjalar dari laut dengan kedalaman  $d_0$  menuju kedalaman  $d_1$ , dengan perubahan kedalaman mendadak (seperti anak tangga) dan dianggap tidak ada refleksi gelombang pada perubahan tersebut. Karena adanya perubahan kedalaman maka cepat rambat dan panjang gelombang berkurang dari  $C_0$  dan  $L_0$  menjadi  $C_1$  dan  $L_1$ . Sesuai dengan hukum Snell, berlaku:

$$\sin \alpha_1 = \frac{C_1}{C_0} \sin \alpha_0 \quad (2.7)$$

dimana:

$\alpha_1$  : sudut antara garis puncak gelombang dengan kontur dasar dimana gelombang melintas

$\alpha_0$  : sudut yang sama diukur saat garis puncak gelombang melintas kontur dasar berikutnya

$C_0$  : kecepatan gelombang pada kedalaman di kontur pertama

$C_1$  : kecepatan gelombang di kontur berikutnya

Seperti terlihat dalam gambar 2.4, jarak antara ortogonal di dalam dan dititik satu adalah  $b_0$  dan  $b_1$ . Apabila kontur dasar laut adalah lurus dan sejajar maka jarak  $x$  di titik 0 dan 1 adalah sama sedangkan koefisien refraksi adalah:

$$x = \frac{b_0}{\cos \alpha_0} = \frac{b_1}{\cos \alpha_1} \quad (2.8)$$

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b_1}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1}} \quad (2.9)$$

Analisis refraksi dapat dilakukan secara analitis apabila garis kontur lurus dan saling sejajar dengan menggunakan hukum *snell* secara langsung. Untuk menghitung koefisien pendangkalan digunakan rumus:

$$Ks = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n_1 L_1}} \quad (2.10)$$

$$n = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (2.11)$$

Thorne Lay dan Terry C. Wallace merumuskan kecepatan gelombang tsunami, yaitu:

$$v = \sqrt{g \cdot h} \quad (2.12)$$

$v$  = kecepatan gelombang tsunami (m/s)

$g$  = kecepatan gravitasi bumi (10 m/s<sup>2</sup>)

$h$  = kedalaman laut (m)

Bila episenter dianggap sebagai asal mula terbentuknya tsunami di lautan, maka bila profil kedalaman laut dari episenter ke kota di pesisir laut diketahui, maka dapat dibuat grafik hubungan kecepatan terhadap jarak. Untuk memudahkan perhitungan kecepatan gelombang tsunami maka diwakili oleh kecepatan rata-ratanya, melalui perhitungan dengan rumus:

$$\bar{v} = \frac{\int_0^x v(x) dx}{x} \quad (2.13)$$

$$\bar{v} = \frac{(v(x_1) \cdot \Delta x + v(x_2) \cdot \Delta x + \dots + v(x_n) \cdot \Delta x)}{n-1} \quad (2.14)$$

$$\bar{v} = (v_0 + v_1 + v_2 + v_3 + v_n \frac{\Delta x}{n-1} = \frac{\sum v(x)}{n-1} \quad (2.15)$$

Untuk mengetahui jarak dari titik episenter ke titik kota pengamatan digunakan perhitungan dengan rumus segitiga bola, yaitu:

$$\cos \Delta = \sin \phi_e \sin \phi_p + \cos \phi_e \cos \phi_p \cos(\lambda_p - \lambda_e) \quad (2.16)$$

Dimana:

$\phi_e$  = lintang posisi episenter

$\phi_p$  = lintang posisi kota pengamatan

$\lambda_e$  = bujur posisi episenter

$\lambda_p$  = bujur posisi kota pengamatan

Dengan didapatnya kecepatan rata-rata gelombang tsunami ( $\bar{v}$ ), maka waktu penjalaran gelombang tsunami dapat diketahui melalui perhitungan dengan rumus:

$$t = \frac{x}{\bar{v}} \quad (2.17)$$

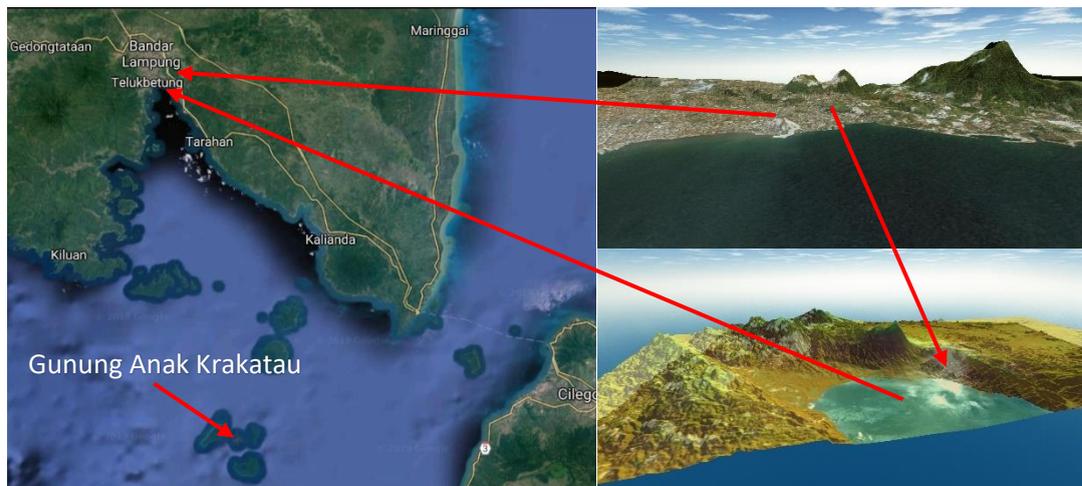
$t$  = waktu tempuh/travel Time (sec)

$x$  = jarak dari episenter ke kota (m)

$\bar{v}$  = kecepatan rata-rata (m/s)

## 2.2 Lokasi Wilayah Penelitian

Wilayah penelitian keseluruhnya masuk dalam administrasi Provinsi Lampung, dimana Anak Krakatau sebagai sumber Tsunami merupakan bagian dari kabupaten Lampung selatan dan Pesisir Teluk Lampung merupakan Bagian dari wilayah Administrasi Kota Bandar Lampung. Secara Global daerah penelitian dibatasi (5.475014 LS, 105.212627 BT) dan (6.155175 LU; 105.622491 BT). Gambar 2.7 Menunjukkan Lokasi Penelitian (Pesisir Kota Bandar Lampung dan Gunung Anak Krakatau di selat Sunda).



Gambar 2.7 Wilayah Penelitian

## 2.3 Geologi Krakatau

### A. Morfologi

Kenampakan geomorfologi kompleks vulkanik Krakatau terdiri dari dinding kaldera, bentukan kerucut vulkanik, aliran lava, dataran dan daerah pantai. Morfologi kaldera dicirikan oleh dinding sangat curam yang terbentuk di bagian utara pulau Rakata dengan bentuk cekung menghadap ke utara. Morfologi dinding kaldera di pulau Sertung dan Panjang dibentuk oleh erupsi paroksismal pra-sejarah, sedangkan dinding kaldera Rakata terbentuk pada saat pembentukan kaldera 1883. Kenampakan morfologi pulau-pulau tersebut dicirikan oleh topografi bentuk lereng yang dapat dijumpai di sebelah selatan P. Rakata, sebelah barat P. Sertung dan sebelah timur P. Panjang. Bentuk morfologi lereng ini terdiri dari perulangan lembah dan punggung dan di P. Rakata menampilkan pola radial sedangkan di P. Panjang dan P. Sertung semi-radial. Bagian morfologi ini tersusun oleh endapan aliran piroklastik hasil erupsi 1883.

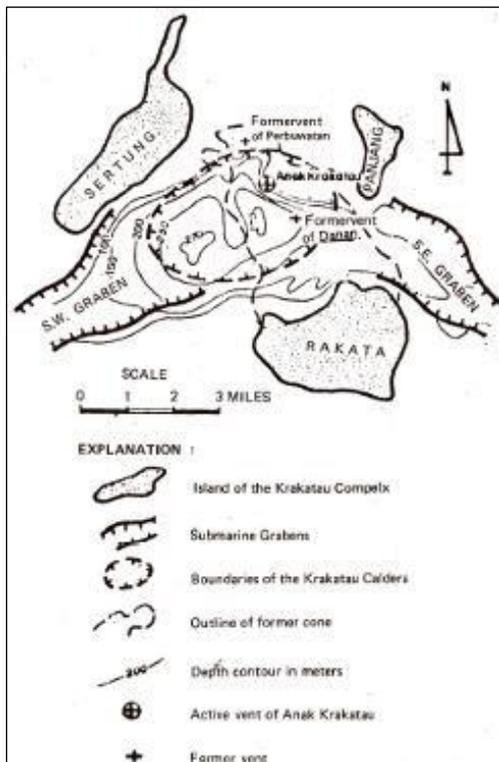
Morfologi kerucut vulkanik dijumpai di pulau Rakata dan Anak Krakatau. Kerucut vulkanik Rakata teramati jelas mulai ketinggian 500 m sampai ke bagian puncak, 813 m dari muka laut. Bagian

puncak Rakata tersusun oleh sumbat vulkanik dan endapan aliran piroklastik. Kerucut vulkanik Anak Krakatau terdiri atas kerucut vulkanik tua dan kerucut vulkanik muda yang masih aktif. Kerucut vulkanik tua tidak menunjukkan kerucut yang sebenarnya karena bagian atas kerucut menghilang oleh erupsi dan meninggalkan dinding kawah besar dan puncak tertinggi 155,66 m dml. Dinding kawah ini terbuka ke arah tenggara, tetapi pada 1999 kerucut vulkanik tua dan kerucut aktif menyatu membentuk kerucut vulkanik besar yang tersusun oleh perlapisan jatuhan piroklastik dan aliran lava. Sebelum itu, kerucut aktif ini terbentuk di bagian tengah kawah kerucut tua dan puncak tertingginya pada 1983 adalah 201,446 m. Akibat erupsi yang terjadi secara periodik, pertumbuhan kerucut muda ini menjadi semakin besar dan menutupi kerucut tua. Pada tahun 2000, kerucut muda ini mencapai tinggi 300 m dml. Aliran lava mempunyai morfologi khusus yang terbentuk hampir kesemua arah, terdiri atas beberapa aliran hasil kegiatan vulkanik tahun 1963, 1972, 1973, 1975, 1979, 1980 (Bronto, 1982), 1988, 1992, 1993 dan 1996 (Sutawidjaja, 1997). Morfologi ini memperlihatkan berbagai bentuk permukaan kasar yang mencerminkan bongkahan lava atau "aa" lava, tersebar dalam berbagai ukuran dan umumnya memperlihatkan pola aliran yang jelas dan membentuk punggung yang membentang dari sumbernya ke arah pantai. Banyak dari aliran lava masuk ke laut dan menambah besar pulau tersebut.

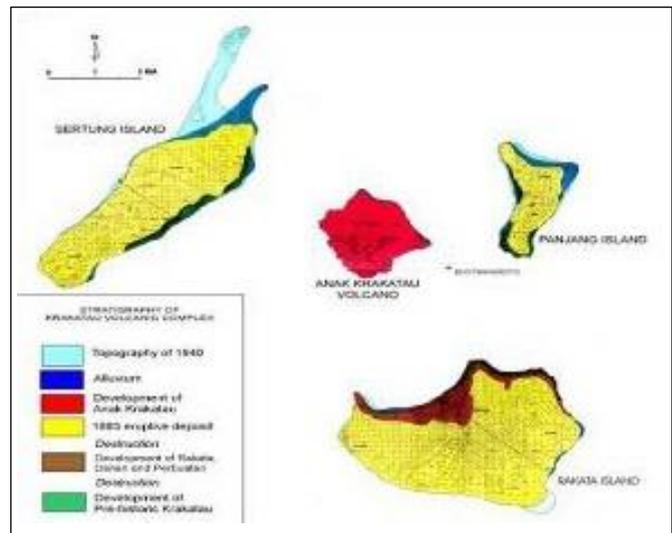
Morfologi pedataran menempati bagian timurlaut P. Sertung dan permukaannya di beberapa tempat tingginya tidak lebih dari 5 m, tersusun atas material vulkanik lepas dan pasir. Tepi barat dan timurlaut daerah ini seringkali berubah, karena daerah ini mudah sekali diterpa ombak besar yang menyebabkan abrasi, terutama pada musim angin barat.

## **B. Stratigrafi**

Komplek Vulkanik Krakatau terletak sekitar 140 km dari Jalur Tektonik Jawa dimana zona penunjaman kira-kira 120 km dibawahnya (Zen, 1983). Zen berkeyakinan bahwa zona Sesar Sumatra tidak menerus ke Jawa melalui Krakatau, tetapi Selat Sunda merupakan kunci antara penunjaman oblik Jalur Sumatra dan penunjaman frontal Jawa, dan Krakatau terletak diantara pertemuan zona dua graben dan zona rekahan arah utara-selatan. Effendi, dkk. (1983) percaya bahwa Komplek Vulkanik Krakatau dikontrol oleh pergerakan tektonik yang berhubungan dengan Sistem Sesar Sumatra Selatan. Struktur ini ditunjukkan oleh keberadaan dike dan rekahan di P. Rakata, dan struktur seperti graben di Anak Krakatau. Gunungapi Anak Krakatau terletak di dalam Kaldera Krakatau yang terbentuk pada letusan paroksimal kedua tahun 1883. Awal titik erupsi gunungapi ini terletak pada kedalaman 188 meter di bawah muka laut, muncul di bagian selatan dari kaldera tersebut, serta segaris dengan Kawah Danan dan Perbuwatan. Stratigrafi di kompleks Krakatau terbentuk akibat aktivitas kompleks Krakatau yang dimulai pada periode pembentukan Gunungapi Krakatau Purba, sampai dengan periode pembentukan Gunungapi Anak Krakatau.



Gambar 2.8 Geologi Komplek Krakatau



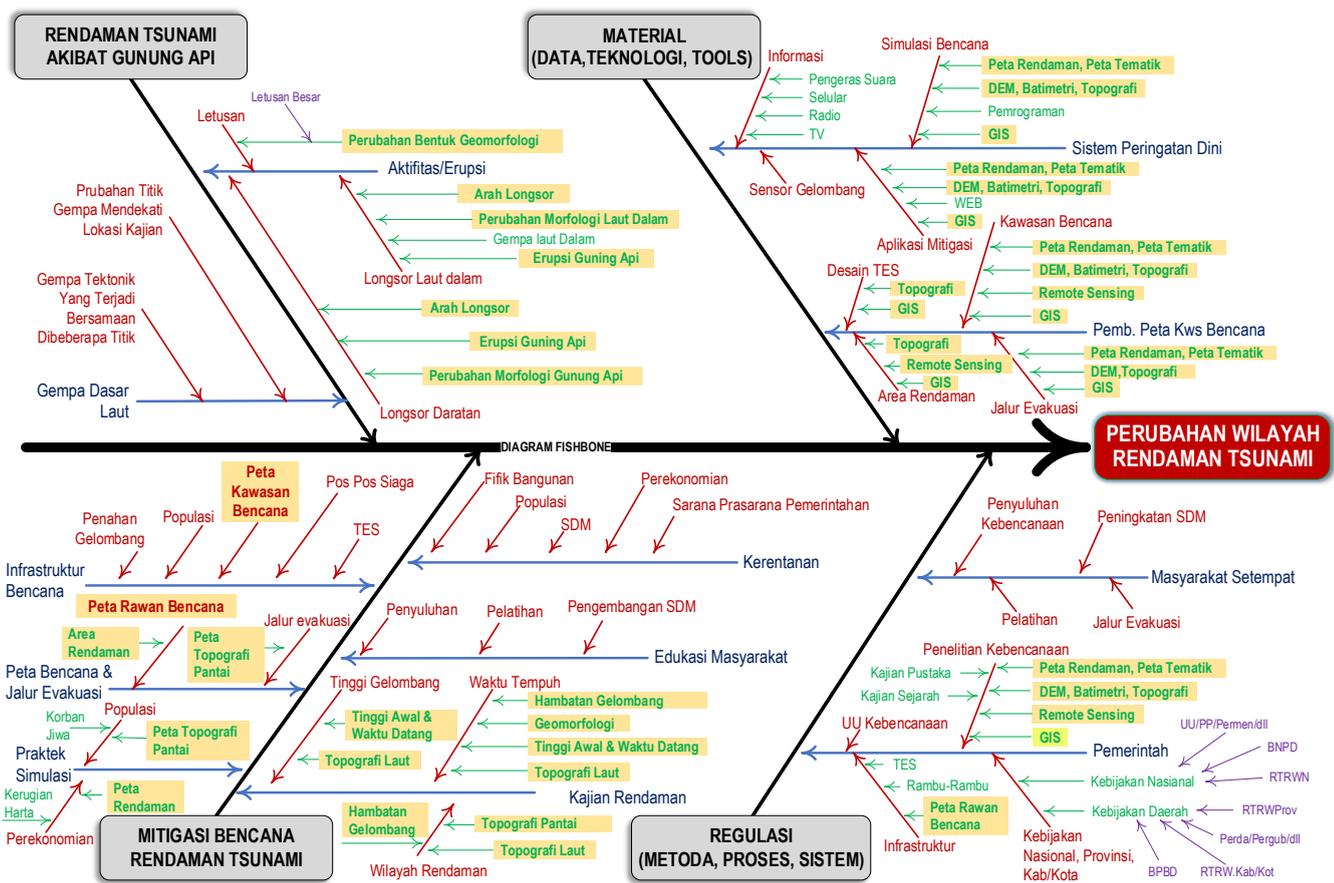
Gambar 2.9. Peta Stratigrafi Kompleks Krakatau

Penelitian ini mengembangkan teknologi menuju produk data penunjang untuk sistem monitoring bencana Tsunami berbasis teknologi *Remote Sensing and Geographic Information System for tsunami Hazard monitoring*. Untuk meningkatkan ketelitian hasil kegiatan ini maka dimanfaatkan teknologi pendukung UAV dan GNSS untuk pengukuran titik kontrol.

### BAB 3. METODE PENELITIAN

Untuk mengidentifikasi kemungkinan penyebab masalah dalam penelitian ini digunakan *Fishbone diagram*. Suatu tindakan dan langkah *improvement* akan lebih mudah dilakukan jika masalah dan akar penyebab masalah sudah ditemukan. Manfaat *fishbone diagram* dapat menolong untuk menemukan akar penyebab masalah dimana prosesnya memiliki banyak ragam variabel yang berpotensi menyebabkan munculnya permasalahan (Purba, 2008, para. 1–6).

*Fishbone diagram* akan mengidentifikasi berbagai sebab potensial dari satu efek atau masalah, dan menganalisis masalah tersebut melalui sesi *brainstorming*. Masalah akan dipecah menjadi sejumlah kategori yang berkaitan dengan: human, material, teknologi, prosedur, kebijakan, dan sebagainya. Setiap kategori mempunyai sebab-sebab yang telah diuraikan melalui sesi *brainstorming* dengan anggota tim peneliti. *Fishbone diagram* pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. *Fishbone diagram* Penelitian

Dari *fishbone diagram* dapat dilihat bahwa akar permasalahan dalam penelitian ini, yaitu akibat aktifitas gunung anak Krakatau 22 Desember 2018 telah mengakibatkan berubahnya morfologi gunung anak Krakatau sehingga parameter yang mempengaruhi gelombang tsunami juga akan

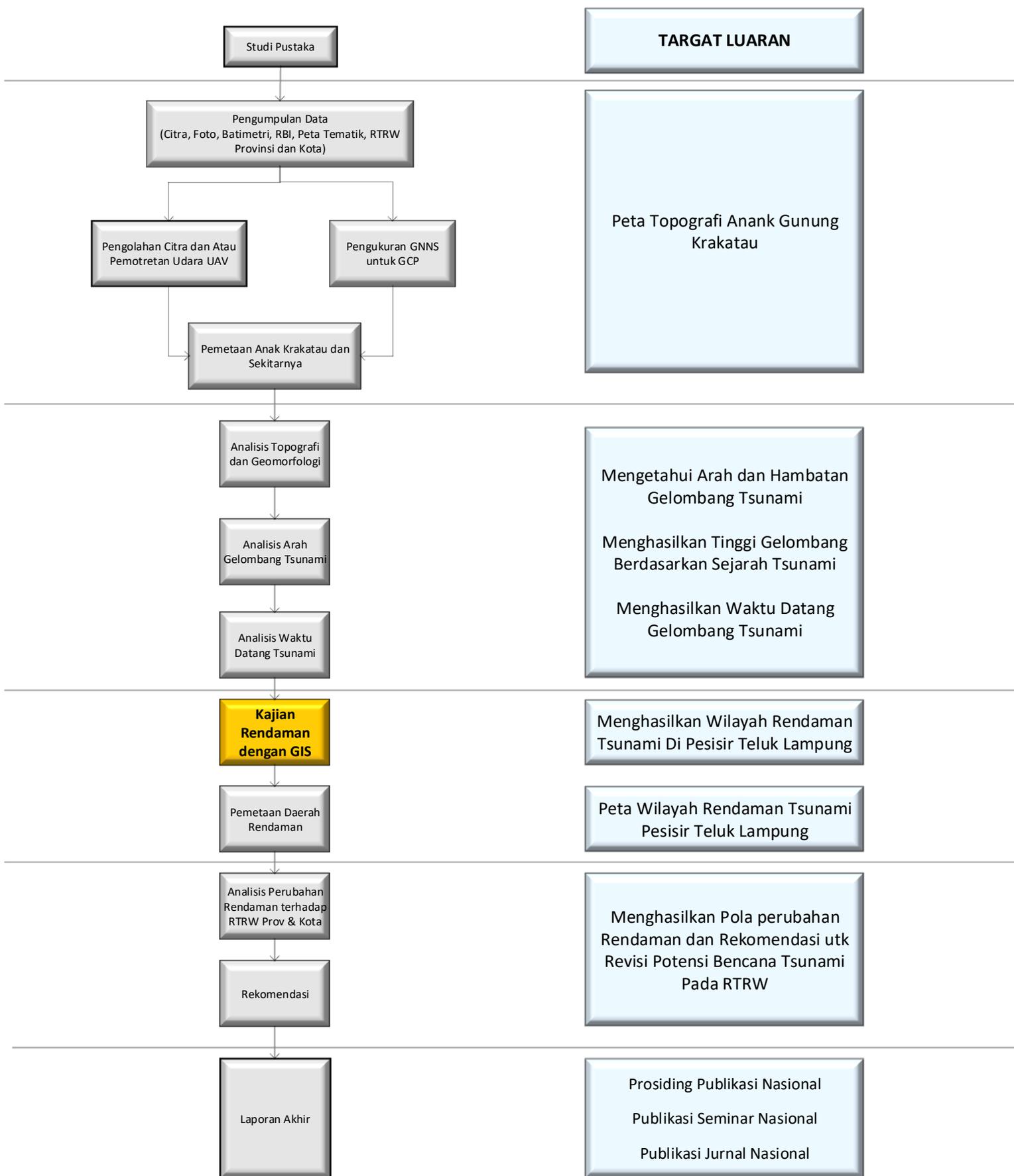
berubah. Dari *fishbone diagram* dapat dilihat bahwa parameter utama penyebab utama perubahan wilayah atau area rendaman adalah:

I. Parameter Utama	II. Parameter Penunjang
a. Perubahan Geomorfologi	a. Peta Topografi
b. Arah Longsor	b. Peta Tematik
c. Erupsi	c. DEM & Batimetry
d. Hambatan Gelombang	d. Waktu Datang gelombang
e. Topografi Darat	e. Teknologi GIS & Remote Sensing
f. Topografi Dasar Laut	f. Peta Kawasan Bencana Awal/Terdahulu
g. Tinggi Awal Gelombang	g. Peta rendaman Awal/Terdahulu

Kesemua parameter ini akan menghasilkan tinggi gelombang dipantai, dimana kemudian akan mempengaruhi jarak jangkauan gelombang yang pada akhirnya akan mengubah wilayah rendaman tsunami. Pemecahan masalah tersebut adalah melakukan pembaharuan peta topografi gunung anak Krakatau dan melakukan analisis ulang gelombang tsunami untuk menghasilkan wilayah rendaman baru jika terjadi pengulangan bencana seperti pada waktu 22 Desember 2018. Dalam menunjang akar kegiatan tersebut agar dapat dilakukan dengan efisien, efektif, murah, cepat dan tentunya dapat dipertanggungjawabkan maka bantuan teknologi sangat diperlukan. Teknologi yang akan digunakan adalah:

- a. Remote sensing dan atau fotogrametri dengan UAV untuk pemetaan topografi. Sedangkan teknologi GNSS dalam membantu menentukan titik kontrol untuk dapat menghasilkan ketelitian peta yang diharapkan.
- b. Teknologi GIS digunakan sebagai tools untuk analisis wilayah rendaman.

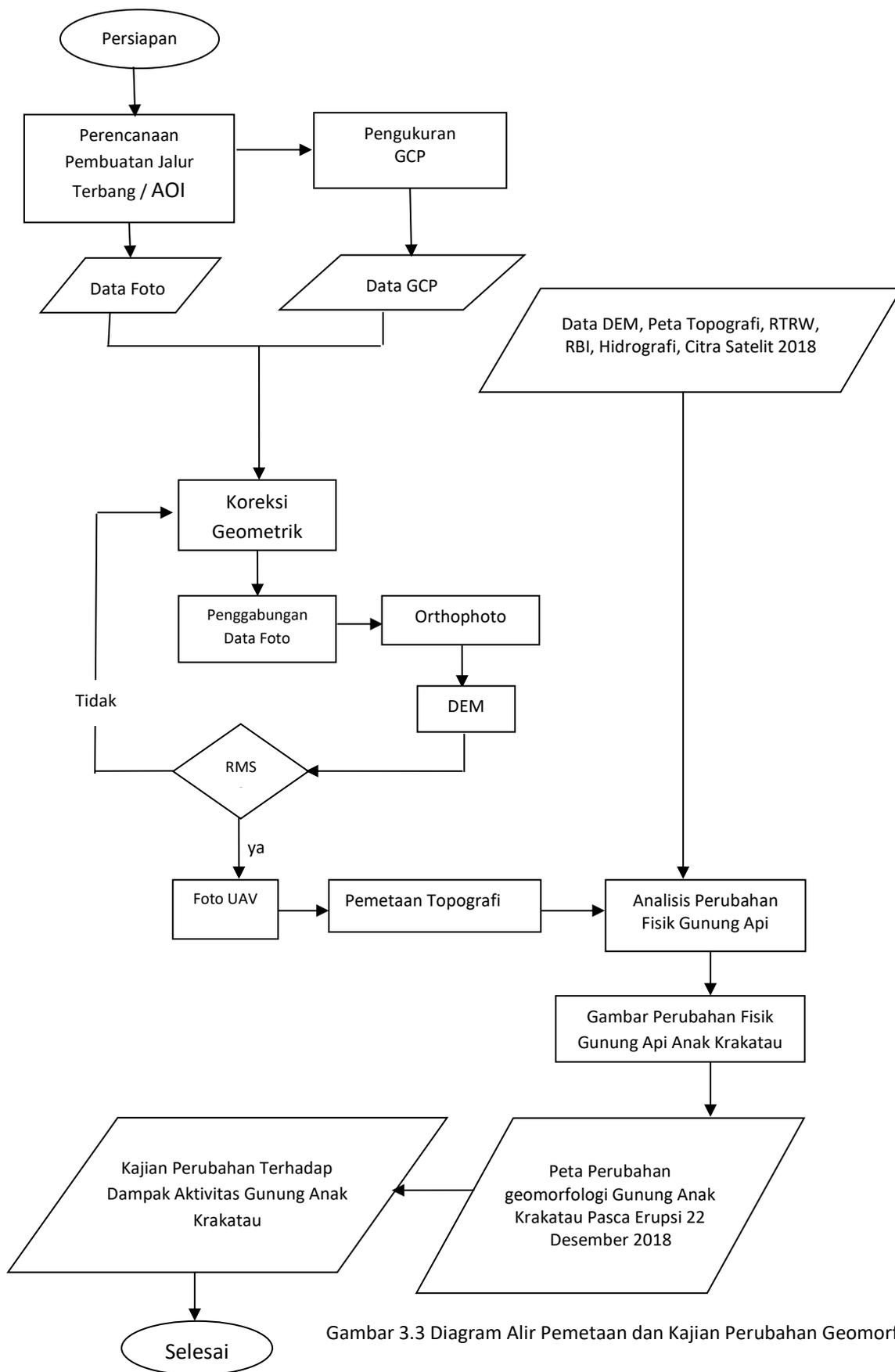
Metode penelitian rinci untuk pengembangan Kajian Pembaharuan Model Rendaman Tsunami Pesisir Teluk Lampung Akibat Pengaruh Perubahan Morfologi Gunung Anak Krakatau yang diusulkan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar Diagram Alir Metodologi Penelitian. Rencana kegiatan masing-masing tahapan terdiri dari telaah hasil R & D, inventarisasi data sekunder, pengambilan data lapangan (data primer), pengolahan data, analisis dan pemodelan. Keseluruhan kegiatan pada metodologi penelitian adalah proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini, hasil yang diharapkan dari setiap kegiatan ini akan diuraikan pada bab target luaran dan target capaian. Untuk lebih jelas mengenai Diagram Alir Metodologi Penelitian dapat dilihat pada gambar 3.2. Secara diagramatis, metodologi penelitian dalam Kajian Rendaman dengan bantuan teknologi GIS dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.2. Diagram Alir Metodologi Penelitian

### 3.1. Pemetaan dan Kajian Perubahan Geomorfologi GAK

Secara umum kegiatan pemetaan dan kajian perubahan geomorfologi dibagi menjadi tiga tahapan sebagai berikut : (1) Tahap awal. Dalam penelitian ini menggunakan Data DEM SRTM sebelum terjadi erupsi pada Gunung Anak Krakatau dan Data Foto Udara Gunung Anak Krakatau pasca erupsi 22 desember 2018, pengambilan data foto udara di gunung anak krakatau menggunakan wahana pesawat tanpak awak ( *Fixed Wing* ), untuk mendapatkan data foto yang terkoreksi dan memiliki akurasi ketelitian tinggi maka diperlukannya pemasangan titik kontrol, pengukuran titik kontrol menggunakan alat berupa GPS Geodetik, pemasangan titik kontrol berjumlah 4 titik GCP, dimana 1 titik GCP bertugas sebagai base dengan estimasi pengukuran selama 4 jam menggunakan system IGS ( *International GNSS Service* ) dan 3 titik lainnya menggunakan metode pengukuran radial dengan estimasi waktu 1 jam/titik, sehingga menghasilkan data koordinat setelah mendapatkan ke dua data tersebut, selanjutnya melakukan proses koreksik geometrik dimana pada proses ini data foto udara yang memiliki koordinat melayang dikoreksi kembali dengan data koordinat bumi yang dihasilkan oleh alat GPS tersebut sehingga data foto udara tersebut memiliki nilai koordinat tetap yang sesuai dengan koordinat bumi dan layak digunakan untuk penelitian lanjutan. (2) Tahap Kajian Pemetaan. Memasuki proses mosaik foto yang merupakan proses penggabungan semua data foto dari UAV sehingga semua foto tersusun secara bertampalan sesuai kode potret yang dihasilkan oleh UAV. Setelah itu kemudian proses *Orthophoto*, proses ini bertujuan untuk mengkoreksi data foto yang sudah di mosaik, dengan cara mengkoreksi posisi terhadap objek yang belum tegak atau sejajar, sehingga semua data foto tersusun menjadi 1 lembar foto, untuk mendapatkan peta topografi pada gunung anak krakatau diperlukan data Digital Elevasi Model ( DEM ) hasil DEM didapat melalui proses lanjutan dari *Orthophoto*, hasil DEM yang sudah melalui tahap koreksi Geometrik diharapkan dapat memenuhi standarisasi tingkat kesalahan posisinya, setelah memenuhi persyaratan pepetaan selanjutnya memasuki proses Uji Akurasi Peta, sesuai peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No 15 Tahun 2014 diharapkan pada hasil Uji Akurasi Peta mencapai skala 1 : 5.000 dengan pembagian kelas 2, sehingga data DEM layak digunakan untuk pemetaan topografi. Setelah mendapatkan data Topografi selanjutnya memasuki proses Analisis Perubahan Fisik Gunung Anak Krakatau, data yang digunakan pada proses ini menggunakan perbandingan Data DEM Gunung Anak Krakatau sebelum terjadi erupsi dan data DEM hasil pengukuran Gunung Anak Krakatau. (3) Tahap kajian Perubahan Geomorfologi. Pada penelitian ini mengasilkan sebuah peta perubahan topografi gunung anak krakatau pasca erupsi 22 desember 2018, sehingga dari data tersebut dapat digunakan sebagai data dasar untuk melakukan kajian perubahan pengaruh morfologi akibat dampak aktivitas Gunung Anak Krakatau. Alir Proses ketiga proses tersebut dapat dilihat pada gambar 3.3

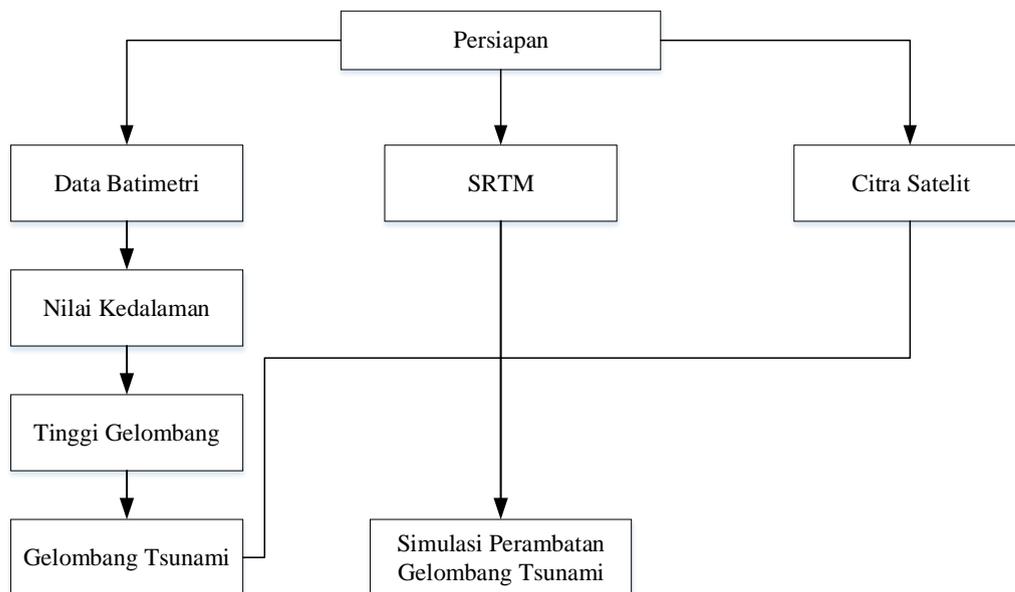


Gambar 3.3 Diagram Alir Pemetaan dan Kajian Perubahan Geomorfologi GAK

### 3.2. Simulasi Perambatan Gelombang

Dalam pembuatan simulasi perambatan gelombang tsunami, tahap awal dipersiapkan data-data yang digunakan, yaitu: (1) Data Batimetri yang diunduh dari GEBCO 2019 sebagai data untuk mencari nilai kedalaman laut dan tinggi gelombang laut. (2) Data DEM untuk melihat ketinggian wilayah area penelitian. Untuk data DEM ini tidak dilakukan pengolahan secara spesifik karena data DEM ini hanya digunakan sebagai untuk kenampakan saat simulasi perambatan gelombang dilakukan. (3) Data Citra ini juga digunakan hanya untuk tampilah topografi saat pembuatan simulasi perambatan gelombang tsunami.

Selanjutnya dilakukan Tahap pengolahan simulasi perambatan gelombang tsunami dimana proses prosesnya adalah (1) pengolahan data batimetri dengan membuat grid pada data batimetri yang akan diolah. Data grid yang dibuat berukuran 1000 x 1000, yang artinya dibagi per jarak 1 km. (2) Selanjutnya dilakukan pengestrakan data kedalaman laut menjadi point untuk mendapatkan data kedalaman laut di tiap koordinat yang telah dibagi jaraknya per 1 km. (3) Dilakukan perhitungan tinggi gelombang di tiap titik pengamatan (persamaan 2.7). (4) Dari hasil tinggi gelombang dilakukan pembuatan gelombang perambatan tsunami (5) Terakhir gelombang disimulasikan dengan dukungan data DEM, hidrografi, peta RBI, dan citra satelit yang menghasilkan wilayah rendaman dengan beberapa model ketinggian gelombang awal. Proses lebih terinci dapat dilihat pada diagram 3.4



Gambar 3.4. Diagram alir pembuatan simulasi perambatan gelombang

### 3.2. Kajian Rendaman Tsunami

Data-data yang digunakan, dalam penentuan renaman adalah (1) Data Batimetri yang diunduh dari GEBCO 2019 sebagai data untuk mencari nilai kedalaman laut dan tinggi gelombang laut untuk

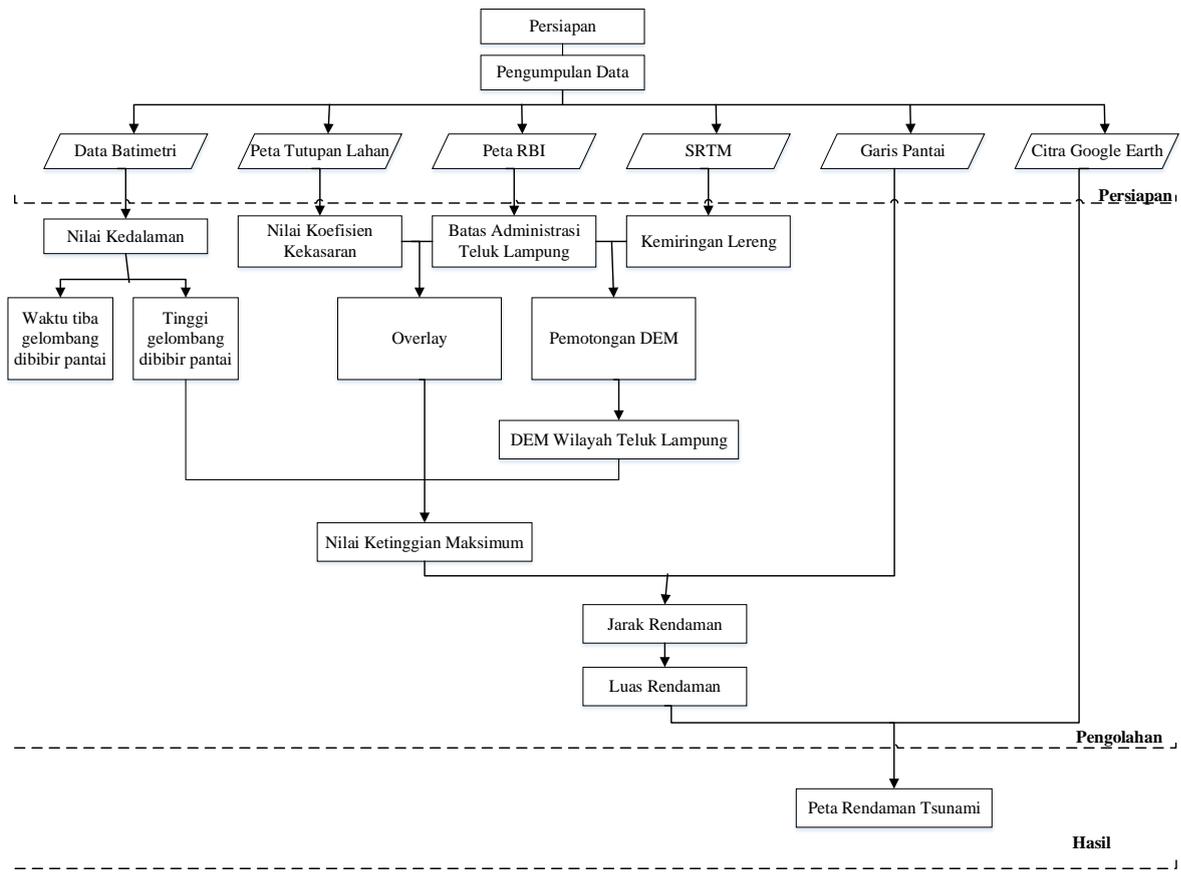
penentuan waktu tiba gelombang dan tinggi gelombang dibibir pantai. (2) Peta tutupan lahan yang diunduh dari KLHK sebagai data topografi wilayah penelitian (3) Peta RBI yang diunduh dari Ina-geoportal sebagai data batas administrasi wilayah penelitian (4) Data SRTM yang diunduh dari USGS tahun 2019 digunakan untuk mendapatkan nilai kemiringan lereng pada area penelitian (5) Data garis pantai yang diunduh dari Ina-geoportal sebagai batas untuk dilakukannya (6) Data Citra digunakan untuk tampilan topografi saat pembuatan peta daerah rendaman tsunami.

Selanjutnya Pengolahan data batimetri dilakukan dengan membuat grid pada data batimetri yang akan diolah. Data grid yang dibuat berukuran 1000 x 1000, yang artinya dibagi per jarak 1 km. Selanjutnya dilakukan pengekstrakan data kedalaman laut menjadi point untuk mendapatkan data kedalaman laut di tiap koordinat yang telah dibagi jaraknya per 1 km. Selanjutnya dilakukan perhitungan tinggi gelombang di tiap titik pengamatan (persamaan 2.6). Dengan tinggi awal gelombang tsunami sebesar 3 meter, 2 meter dan 1 meter (berdasarkan sejarah tsunami) sehingga didapat waktu tiba gelombang di tiap titik pengamatan sampai bibir pantai (persamaan 2.17).

Pada tahap selanjutnya, ditentukan nilai koefisien kekasaran pada peta tutupan lahan provinsi Lampung berdasarkan setiap kelas tutupan lahan. Nilai koefisien kekasaran permukaan untuk setiap kelas mengacu pada tabel Koefisien Kekasaran Berryman (2006). Badan air=0.007; Belukar/semak= 0.040; Hutan= 0.070; Kebun/perkebunan= 0.035; Lahan kosong/terbuka= 0.015; Lahan pertanian= 0.025; Pemukiman/lahan terbangun= 0.045; Mangrove= 0.025; Tambak/empang= 0.010. yang menghasilkan

Pada tahap pengolahan SRTM dilakukan menggunakan metode slope untuk mendapatkan kemiringan lereng provinsi Lampung. Tahap pengolahan tinggi gelombang maksimum menggunakan persamaan  $H_{loss} = \left( \frac{167n^2}{H_0^{1/3}} \right) + 5 \sin S$ . Dimana nilai ketinggian maksimum ini dipengaruhi oleh besarnya tinggi gelombang dibibir pantai, peta tutupan lahan, dan data DEM.

Tahap pengolahan jarak rendaman menggunakan rumus ketinggian maksimum/besar resolusi DEM. Pada tahap ini data garis pantai dimasukkan untuk melihat jarak daerah rendaman dari garis pantai ke daratan. Sehingga setelah daerah rendaman diketahui, maka luas daerah rendaman dapat dihitung. Akhirnya dapat dihasilkan peta daerah rendaman tsunami yang selanjutnya dilakukan analisis terhadap wilayah rendaman sebagai upaya kajian mitigasi bencana rendaman tsunami. Untuk membantu analisis maka peta daerah rendaman tsunami dikombinasikan dengan data pendukung lainnya seperti citra satelit, DEM, RBI, Tutupan Lahan, dan data data dari RTRW. Alur proses detail dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Diagram Alir Kajian Rendaman dengan GIS

## **BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1 Hasil**

Hasil dari proses penelitian telah dihasilkan:

- a. Peta Topografi dan kajian perubahan morfologi Anak Gunung Krakatau
- b. Perambatan Gelombang Tsunami
- c. Peta Rendaman Tsunami Pesisir Teluk Lampung

Melalui sistem mitigasi *geohazard* untuk pengembangan sistem peringatan dini bencana Tsunami berbasis Remote sensing dan GIS maka Hasil penelitian ini dapat menjadi model dasar pengembangan sistem mitigasi bencana Tsunami yang dapat dikembangkan didaerah lain, kajian rendaman ini sebagai langkah preventif penanggulangan dan pelaksanaan mitigasi bencana khususnya yang disebabkan oleh *Tsunami*.

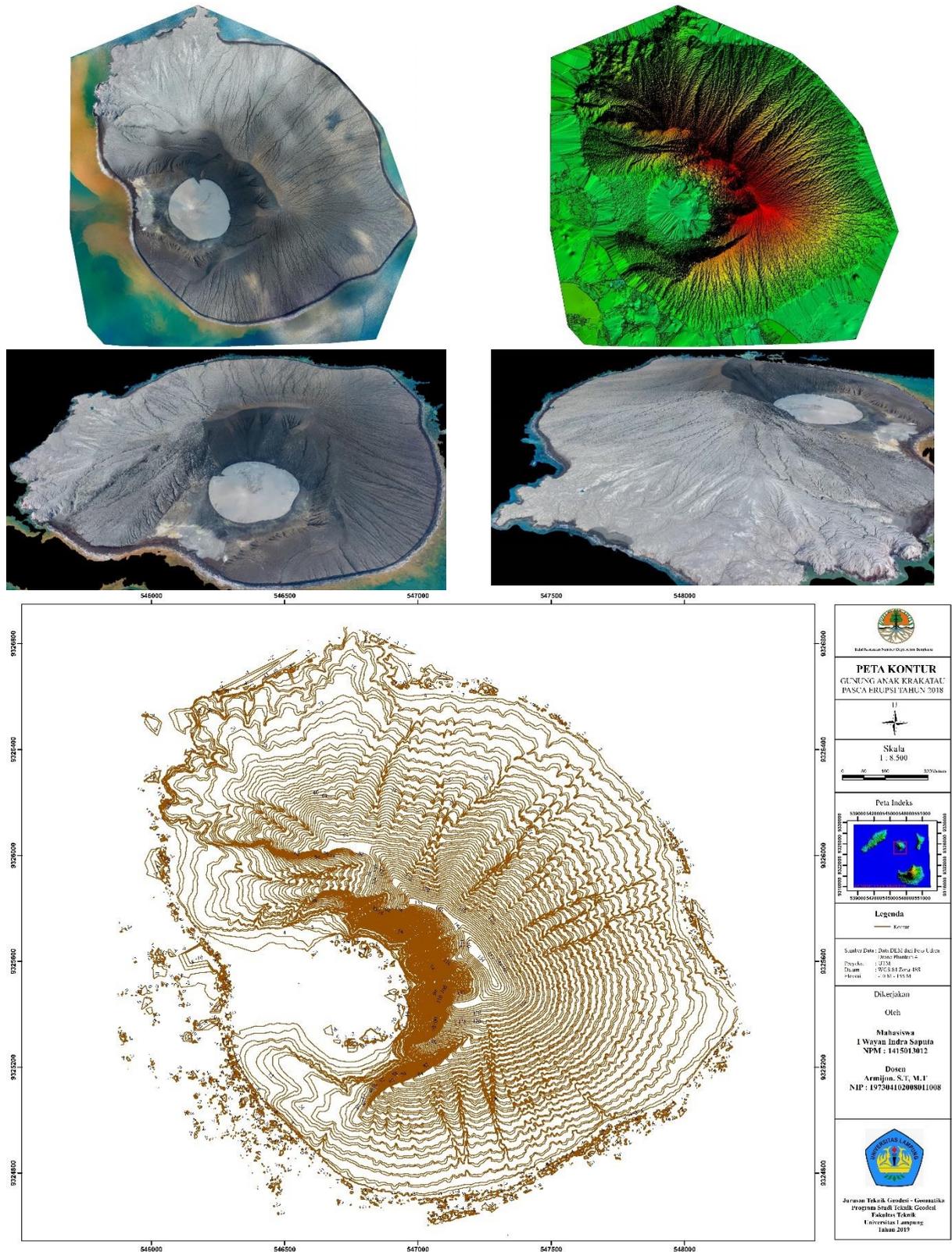
### **4.2 Topografi dan Perubahan morfologi GAK**

Volume materi yang hilang saat longsor 22 Desember 2018 cukup besar terlihat dari perubahan topografi GAK, yang kemudian menciptakan gundukan setinggi 100 meter di atas permukaan laut. Volume daratan yang longsor diperkirakan sekitar 0,221 km<sup>3</sup> ini dihitung berdasarkan data topografi 2019 dibandingkan dengan data DEM 2018 sehingga sepertiga dari volume GAK inilah yang memicu terjadinya tsunami 22 Desember 2018 yang lalu. Berdasarkan hasil foto udara dengan UAV terlihat sejumlah perubahan geomorfologi yang sangat besar, perubahan ini terlihat disebabkan oleh erupsi, bukan oleh longsor yang terjadi.

Perubahan bentuk Anak Krakatau terlihat dari jejak jejak aktifitasnya berkemungkinan besar dipicu oleh (1) Aktifitas GAK meletus secara periodik dan terus-menerus. (2) Ambruknya lereng barat Pada tanggal 22 Desember, menyebabkan gelombang yang merusak daerah sekitar. (3) kekuatan letusan telah memusnahkan puncak GAK. (4) GAK mulai terbentuk kembali. Berbagai perubahan ini terkait dengan hilangnya puncak gunung. Kerucut dan kawah masih terlihat jejaknya saat survei langsung kelapangan. Longsornya lereng kemungkinan telah mengubah lorong gunung, dan membuka lorong baru yang mengalirkan magma langsung ke permukaan air laut. Ini kemungkinan memicu bertemunya magma panas dengan air namun berjalannya waktu terlihat juga jejak air laut yang berhenti masuk ke sistem magma sehingga GAK kembali normal. Mungkin hal seperti inilah yang selalu terjadi pada GAK sepanjang sejarah Aktifitasnya.

Dari data topografi dan hasil survei langsung ke GAK dapat dikaji kondisi morfologi GAK saat ini. Dari letusannya GAK bertipe perret yang mengeluarkan lava cair dengan tekanan gas yang tinggi. lubang kepundan tersumbat, yang menyebabkan terkumpulnya gas dan uap di dalam tubuh

bumi, akibatnya sering timbul getaran sebelum terjadinya letusan. Setelah meletus material-material seperti abu, pasir dan batu terlempar dengan dahsyat keangkasa.



Gambar 4.1 Kondisi GAK (Akuisisi UAV Fix Wing 14 Sept 2019)

Morfologi Tubuh GAK kini berbentuk Kawah, merupakan bentuk negatif yang terjadi karena Aktifitasnya. Berdasarkan generiknya dibedakan kawah letusan dan kawah runtuhan.

Sedangkan berdasarkan letaknya terhadap pusat kegiatan dikelompokkan kawah kepundan dan kawah samping (kawah parasiter).

Kaldera, merupakan depresi topografi yang besar, berbentuk bundar. Ukuran kaldera memang lebih besar dari kawah, meskipun tidak ada batasan ukuran yang membedakannya hingga mempunyai ukuran berupa kawah dapat disebut kaldera. Kaldera GAK saat ini terlihat sebagai jenis kaldera erosi karena tercipta akibat oleh erosi pada bagian puncak kerucut, dimana erosi memperluas daerah lekukan sehingga kaldera tersebut akan semakin luas. Morfologi disekitar GAK saat ini berbentuk Antiklonorium Gunungapi yang merupakan rangkaian perbukitan antiklinorium yang dijumpai pada kaki gunungapi. Terbentuk oleh gaya kompresi lateral karena runtuhnya kerucut GAK. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Morfologi GAK adalah Tekanan aliran-aliran lava yang naik keatas. Tekanan aliran lava yang naik ke atas, secara bertahap akan melemahkan dan menghancurkan dinding kawah.

Kenampakan geomorfologi kompleks vulkanik Krakatau terdiri dari dinding kaldera, bentukan kawah. Morfologi kaldera dicirikan oleh dinding sangat curam yang terbentuk di bagian utara pulau Rakata dengan bentuk cekung menghadap ke utara. Morfologi dinding kaldera di pulau Sertung dan Panjang dibentuk oleh erupsi paroksismal pra-sejarah. Morfologi kawah dijumpai saat ini pada Anak Krakatau. Kerucut vulkanik GAK bagian atas menghilang oleh erupsi dan meninggalkan dinding kawah besar dan puncak tertinggi 158,635 mdpl pada Koordinat (547224,919;9325617,886) UTM. Dinding kawah ini terbuka ke arah Barat Daya.

Aliran lava mempunyai morfologi khusus yang terbentuk hampir kesemua arah. Morfologi ini memperlihatkan berbagai bentuk permukaan kasar yang mencerminkan bongkahan lava tersebar dalam berbagai ukuran dan umumnya memperlihatkan pola aliran yang jelas dan membentuk punggung yang membentang dari sumbernya ke arah pantai. Banyak dari aliran lava masuk ke laut dan menambah besar pulau tersebut. Morfologi pedataran menempati bagian timurlaut P. Sertung dan permukaannya di beberapa tempat tingginya tidak lebih dari 3 m, tersusun atas material vulkanik lepas dan pasir. Tepi barat dan timurlaut daerah ini seringkali berubah terlihat dari perbandingan dua citra tahun berbeda ini mungkin karena daerah ini mudah sekali diterpa ombak besar yang menyebabkan abrasi, terutama pada musim angin barat.

### **4.3 Tinggi Gelombang di bibir pantai**

Pada proses perhitungan tinggi gelombang tsunami, dilakukan proses pengolahan data batimetri untuk mendapatkan kedalaman laut di tiap titik yang telah ditentukan. Selanjutnya dihitung tinggi gelombang tsunami di setiap titik hingga sampai dibibir pantai menggunakan rumus yang ada pada persamaan (2.6) sehingga didapatlah tinggi gelombang tsunami di setiap titik. Berdasarkan

perhitungan yang didapat, tinggi gelombang tsunami di setiap titik berbeda-beda. Hal ini dikarenakan data kedalaman laut yang bervariasi. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan tinggi gelombang tsunami dibibir pantai mencapai 39 meter jika tinggi awal gelombang di episenter setinggi 3 meter. Sedangkan untuk tinggi awal 2 meter, tinggi gelombang tsunami dibibir pantai mencapai 26 meter dan untuk tinggi awal 1 meter, tinggi gelombang tsunami dibibir pantai mencapai 13 meter.

#### **4.4 Waktu tiba gelombang dibibir pantai**

Pada proses perhitungan waktu tiba gelombang tsunami, digunakan proses pengolahan data batimetri. Pada prinsipnya, pengolahan dilakukan sama seperti mencari besar tinggi gelombang pada tiap titik. Hanya saja rumus yang digunakan berbeda. Untuk mencari waktu tiba gelombang maka digunakan persamaan (2.17). Hasil perhitungan menyatakan bahwa waktu tiba gelombang tsunami di tiap titik berbeda-beda, tergantung dari jarak titik pengamatan ke episenter dan bergantung pada kecepatan gelombang merambat. Berdasarkan hasil perhitungan, dihasilkan waktu tiba gelombang tsunami dibibir pantai Teluk Lampung selama 56 menit. Hasil simulasi ini menghasilkan perbedaan waktu tiba yang cukup drastis dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang hanya  $\pm 78$  menit ini mungkin dipengaruhi oleh asumsi parameter pulau pulau penghalang diasumsikan sama dengan nol.

#### **4.5 Hasil perambatan gelombang tsunami**

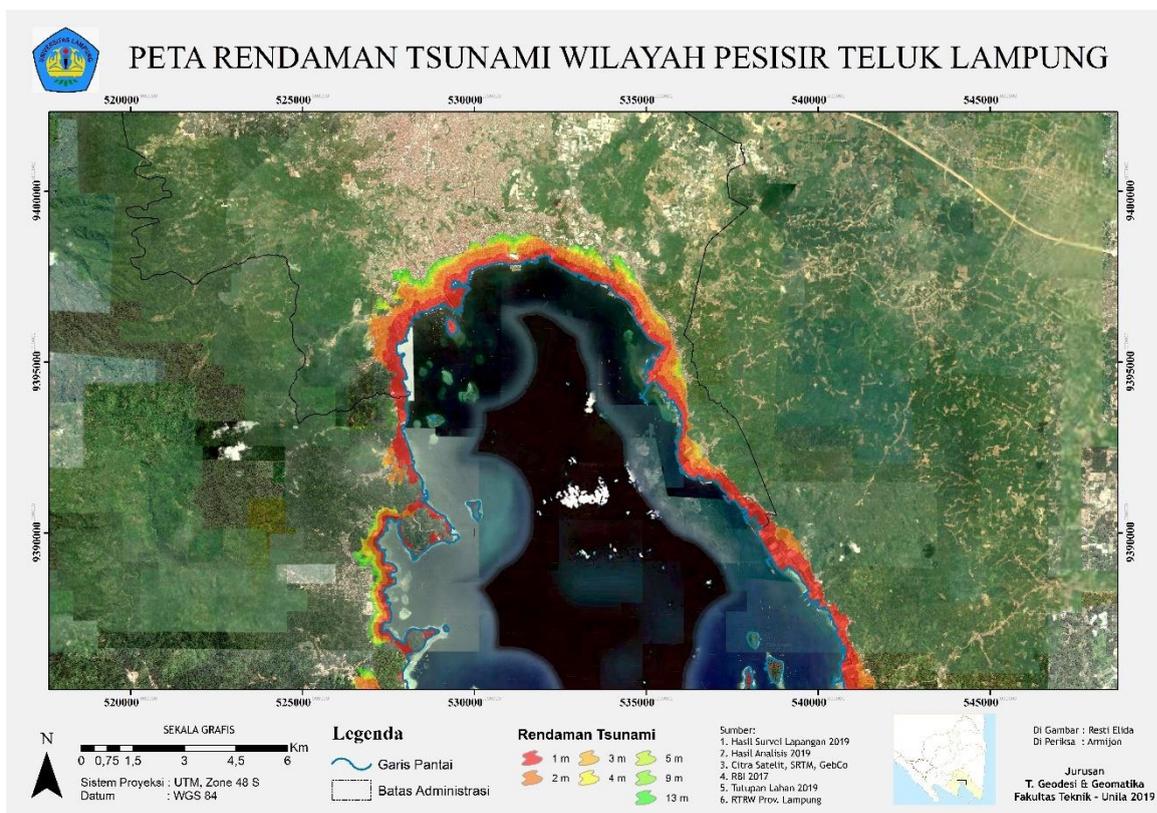
Hasil perambatan gelombang tsunami merupakan hasil hitungan tinggi gelombang berbanding dengan waktu tempuh gelombang. Dalam hal ini didapatkan 39 gelombang dengan tinggi gelombang yang berbeda-beda. Titik awal Gelombang ini berada pada episenter GAK sampai ke bibir pantai.

#### **4.3 Daerah rendaman tsunami**

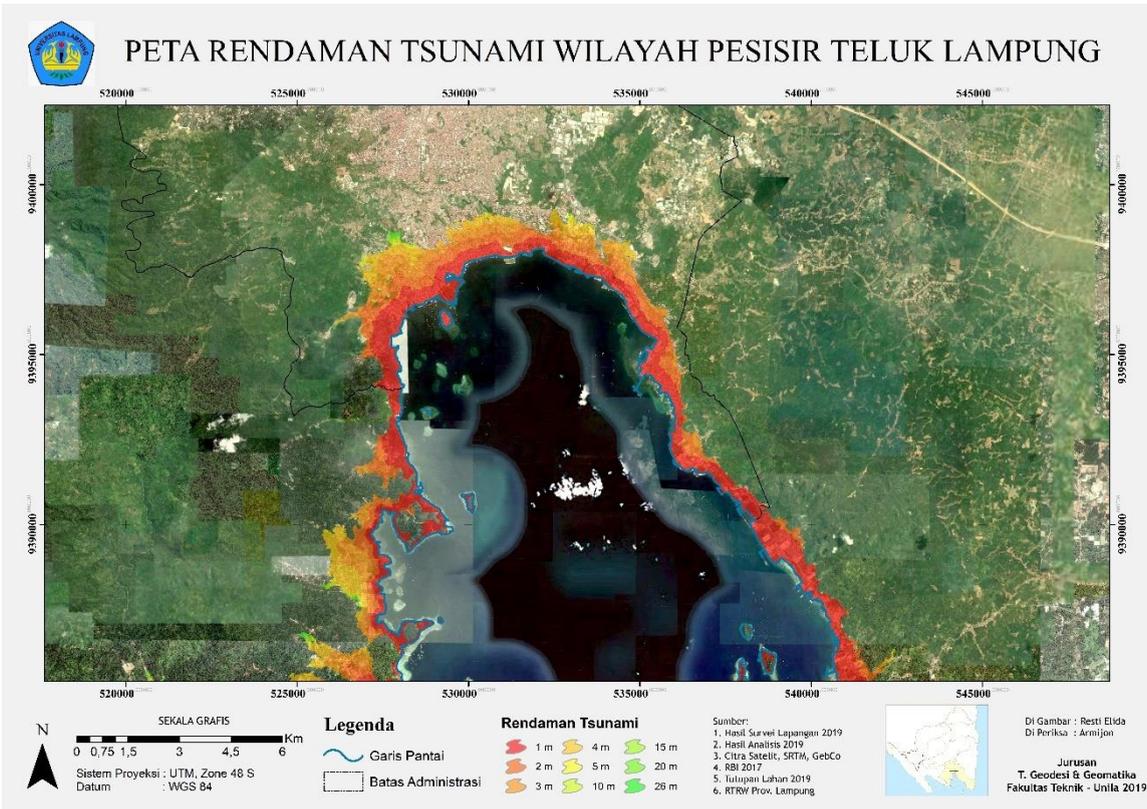
Setelah didapatnya tinggi gelombang tsunami dibibir pantai, dilakukanlah pengolahan terakhir untuk mendapatkan daerah rendaman tsunami. Berdasarkan hasil pengolahan didapatkan luas daerah rendaman berdasarkan kelasnya. Dalam hal ini dilakukan 12 pengkelasan daerah rendaman tsunami untuk tinggi awal 3 meter. Sementara untuk tinggi awal 2 meter dilakukan 9 pengkelasan dan untuk tinggi awal 1 meter dilakukan 7 pengkelasan.



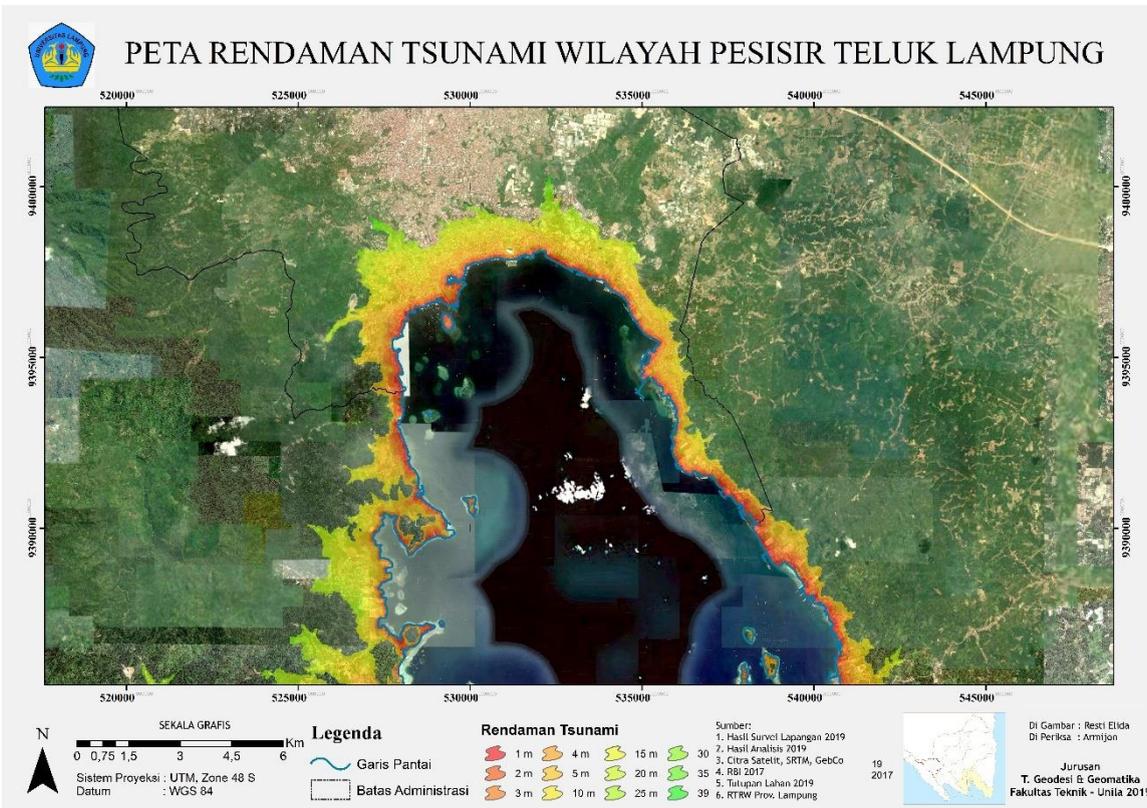
Gambar 4.2 Gambar Perambatan Gelombang Tsunami



Gambar 4. 3. Peta Rendaman Tsunami dengan tinggi awal gelombang 3 meter



Gambar 4. 1. Peta Rendaman Tsunami dengan tinggi awal gelombang 3 meter



Gambar 4. 5. Peta Rendaman Tsunami dengan tinggi awal gelombang 3 meter

## **BAB 5. SIMPULAN**

### **5.1 Simpulan**

1. Perubahan topografi GAK sangat dratis sekali, hal ini telah membawa pengaruh banyaknya perubahan morfologi GAK. Dengan kondisi topografi dan morfologi saat ini dengan puncak tertinggi kurang lebih 158,635 mdpl dan terbentuknya kawah yang sangat dekat dengan permukaan air laut maka kemungkinan terjadi erupsi besar yang akan membawa dampak bencana besar di prediksi mungkin akan memakan waktu yang lama kemungkinan terjadinya, diperkirakan menunggu GAK mencapai ketinggian lebih dari 300 meter
2. Kemungkinan gelombang terjadi dalam waktu dekat hanyalah akibat longsor dan ledakan bawah laut. Perhitungan Tinggi gelombang yang akan terjadi akibat hal tersebut pada bibir pantai dipengaruhi oleh besarnya tinggi awal gelombang diepisenter dan kedalaman laut. Berdasarkan hasil perhitungan, didapat bahwa tinggi gelombang dibibir pantai mencapai 39 meter dengan tinggi awal di episenter 3 meter. Sementara itu, jika tinggi awal di episenter 2 meter maka tinggi gelombang dibibir pantai mencapai 26 meter dan jika tinggi awal di episenter 1 meter maka tinggi gelombang di bibir pantai mencapai 13 meter. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar tinggi gelombang di episenter maka tinggi gelombang dibibir pantai pun semakin tinggi. Namun hal ini didasari atas perhitungan gelombang dengan parameter yang telah ditetapkan diawal simulasi.

### **5.2 Saran**

Penyempurnaan pemilihan parameter dalam simulasi akan meningkatkan keakuratan hasil simulasi dan analisis. Perlu dilakukan pemetaan topografi GAK secara berkala (minimal 1 kali dalam setahun) untuk pemantauan perubahan topografi sebagai data pendukung Mitigasi Bencana. Akibat erupsi 22 Desember 2019 yang membuat punah seluruh makhluk hidup di GAK merupakan potensi / kesempatan langka bagi peneliti peneliti terkait untuk mengkaji bagaimana awal mula terjadi dan tumbuhnya habitat kehidupan pada sebuah sistem.

## **BAB 6. PENUTUP**

Demikian kami sampaikan laporan kegiatan penelitian dengan judul “Kajian Pembaharuan Model Rendaman Tsunami Pesisir Teluk Lampung Akibat Pengaruh Perubahan Morfologi Gunung Anak Krakatau”. Semoga laporan ini dapat menguraikan kegiatan penelitian yang telah kami lakukan.

Dari segala kekurangannya harapan besar kami laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan bagi kepentingan masyarakat, bangsa, dan negara. Atas perhatiannya diucapkan terimakasih.

## REFERENSI

- 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.
- Abidin, H.Z. 2007. *Penentuan Posisi dengan GPS & Aplikasinya*. Pradnya Paramita, Jakarta. Edisi III. 398 h.
- Ahmad Zakaria dan Kartini Susilowati, "Simulasi Waktu Perambatan Dan Tinggi Gelombang Tsunami Akibat Meletusnya Gunung Anak Krakatau" Journal, Laboratorium Hidrolika dan Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung,
- Amin, T. C., Sidarto, S., Santosa, Gunawan, W. 1994. *Geologi Lembar Krakatau dan Bandar Lampung, Sumatera*. Pusat penelitian dan pengembangan geologi, Bandung.
- Armijon, A. 2019. "Modeling Of Cold Lava Flow Spatial Analysis For Mitigation Of Volcano Disaster Merapi". Proceeding. Simposium Nasional Ilmu Teknik (Simtek) 2019 Universitas Lampung.
- Armijon, A. (2019). *Pemetaan Digital Praktis*. ISBN: 978-623-211-066-3. Aura Publishing. Lampung.
- Armijon, dan Tim, 2015, "Implementasi Pemetaan Risiko Tsunami Kota Bandar Lampung" Workshop and Mainstreaming Tsunami Risk Assesment to Policy, ITB Bandung
- Armijon, 2014, *Aplikasi Remote Sensing*, Modul kuliah Teknik Geodesi Universitas Lampung
- Bustamam, 2014, "Kembangan Model Kota Siaga Bencana Tsunami". Disaster Risk Reduction and Tsunami Information Unit UNESCO Office, Jakarta.
- Dewi C, Armijon A, and Fadly R, 2015, *Analisis Pembuatan Peta Zona Rawan Bencana Tsunami Pada Daerah Pesisir (Studi Kasus: Pesisir Kota BDL)*, *Jurnal Proseding SemNas dan Bisnis ISSN 2407- 6171 Hal. 740 – 753*
- Fajrianto dan Armijon, E Rahmadi, 2012, *Potensi Bahaya Gempa dan Analisis Regangan di Selat Sunda Berbasis GPS ( Global Positioning System)*, *Jurnal Rekayasa T.Sipil Unila*. Vol.16, Des 2012 ISSN 0852-7733, Hal 141-150.
- Hamilton, W. 1989. *Convergent-plate Tectonics Viewed from the Indonesian Region*. Journal of the Indonesian Association of Geologists, Vol.12, No.1.
- Hertanto, H. B. 2012. "Lempeng Tektonik di Indonesia". <http://geoenviron.blogspot.co.id/2012/09/lempeng-tektonikindonesia.html>. Diakses pada tanggal 11 Januari 2019.
- Latief, Hamzah. 2013. *Pedoman Teknik Pembuatan Peta Bahaya Rendaman Tsunami*. Bandung: Pusat Penelitian Mitigasi Bencana Institut Teknologi Bandung.
- Latief, Hamzah. 2015, "Workshop and Mainstreaming Tsunami Risk Assesment to Policy". Evaluasi Hasil Monitoring dan Advokasi Team ITB dan UNESCO untuk 5 kota", ITB Bandung
- Latief, Hamzah. dan Oki Ismoyo, Dominic., 2014 "Kajian Bahaya Dan Peta Tsunami", Pelatihan Pembuatan Peta Risiko Tsunami sebagai Upaya Peningkatan Kapasitas Daerah. Tsunami Research Group Pusat Pengembangan Kawasan Pesisir dan Laut ITB
- Latief, Hamzah. dan Oki Ismoyo, Dominic., 2014, "Pengetahuan Dasar Tsunami Dan Pembuatan Peta Bahaya Rendaman Tsunami", Pelatihan Pembuatan Peta Risiko Tsunami sebagai Upaya Peningkatan Kapasitas Daerah Bandung, Pusat Penelitian Mitigasi Bencana, ITB
- Latief, Hamzah., P Rahayu, Harkunti., Oki Ismoyo, Dominic., Muhammad Fadli, 2014, "Potensi Tsunami di Sekitar Selat Sunda (Bandar Lampung)", Tsunami Research Group Bandung Institute Of Technology, Bandung.
- Massonnet, D., Briole, P., Arnaud, A. 1995. "Deflation of Mount Etna monitored by spaceborne radar interferometry". *Nature*, 375, 567–570.

- P Rahayu, Harkunti., 2014, “*Membangun Model Desa Siaga Bencana Tsunami*”, Memperkuat Mata Rantai Peringatan Dini Tsunami dan Kesiapsiagaan Tsunami. Pelatihan Analisa Risiko Tsunami, ITB, Bandung
- P Rahayu ,Harkunti., 2015, “*Upaya Mitigasi bencana Tsunami*”, Workshop Pendampingan Teknis Pembuatan Peta resiko bencana tsunami Kota Bandar Lampung” ITB Bandung
- P Rahayu, Harkunti., Bisri, Mizan., Rizka, Soraya., 2014, “*Risiko Tsunami Dan Perencanaan Evakuasi Tsunami Risk And Evacuation Planning*” Pusat Penelitian Mitigasi Bencana ITB
- P Rahayu, Harkunti, Bisri, Mizan., 2014, “*Kajian Kerentanan Terhadap Risiko Tsunami Vulnerability Assessment To Tsunami Risk*” Pusat Penelitian Mitigasi Bencana ITB
- Peraturan Daerah No 1 Tahun 2010. “*Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Lampung 2009-2029*”.
- Peraturan Pemerintah Nomor 8 Tahun 2013. “*Ketelitian Peta untuk Rencana Tata Ruang*”
- Persada Tarigan, Togi. 2015. “*Analisa Spasial Kerawanan Bencana Tsunami di Wilayah Pesisir Kabupaten Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta*”. Jurnal Oseanografi Undip, Volume 4, Nomor 4, Tahun 2015
- Rahmadhani, Nia. 2012. “*Analisis Aksesibilitas Evakuasi Tsunami di Kota Padang Berbasis Sistem Informasi Geografis*”. Semarang: Universitas Diponegoro
- Reynold, A. C. 1978, “*Boundary condition for the numerical solution of wave propagation problems*”, Geophysics, Vol. 43 No. 6, pp.1099-1110.
- Riyadi, Moch., 2015, “*Perkenalan InaSAFE*”, Pusat Penelitian Mitigasi Bencana (PPMB) Institut Teknologi Bandung (ITB), Australia-Indonesia Facility For Disaster Reduction.
- Riyadi, Moch., 2015, “*Sistem Peringatan Dini Tsunami di Indonesia*” Workshop and Mainstreaming Tsunami Risk Assesment to Policy. Pusat Penelitian Mitigasi Bencana ITB
- RTRW Kota Bandar Lampung Lampung Tahun 2011-2031.
- RTRW Kabupaten Lampung Selatan Tahun 2011-2031.
- RTRW Kabupaten Provinsi Lampung Tahun 2009-2029
- Sutrisno. 2006. “*Penentuan Waktu Datang Gelombang Tsunami Di beberapa Kota Pantai Selatan Jawa Barat Sebagai Informasi Penting Dalam Usaha Penyelamatan Secara Preventif Menghadapi Bencana Tsunami*”. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah
- Suyadi, S., & Armijon, A. 2016. “*Detailing Peta Peak Ground Cceleration (PGA) Wilayah Kota Bandar Lampung Dengan Metode PSHA*”.
- Trianawati, Nanin. 2008. “*Tsunami*”. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia
- Wohletz, K., dan Heiken, G. 1992. “*Volcanology & Geothermal Energy*”, University of California Press, California.
- 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.
- Zakaria, A., 2003, “*Numerical modelling of wave propagation using higher order finite difference formulas*”, Thesis (Ph.D.), Curtin University f Technology, Perth, Western Australia.