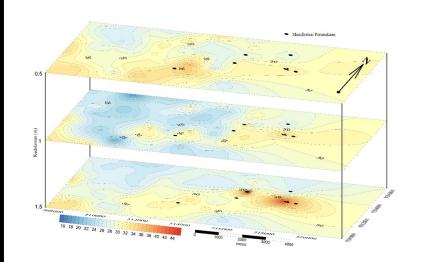
Teori dan Aplikasi Fisika



Gambar 6. hal 180

Website: http://jurnal.fmipa.unila.ac.id/index.php/jtaf/ Email: jtaf@fmipa.unila.ac.id

JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika ISSN 2303-016X, Volume 09, Nomor 02, Juli 2021

PENANGGUNG JAWAB

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung

PIMPINAN REDAKSI

Junaidi

DEWAN REDAKSI

Gurum Ahmad Pauzi Leni Rumiyanti Roniyus Marjunus Agus Riyanto Donni Kis Apriyanto Iqbal Firdaus Humairoh Ratu Ayu Amilia Rasitiani

MITRA BESTARI

Warsito (UNILA)
Dwi Asmi (UNILA)
Zulaini Supangat (UNIVERSITAS OF MALAYA)
Yanti Yulianti (UNILA)
Zarina Aspanut (UNIVERSITAS OF MALAYA)
Posman Manurung (UNILA)
Jatmiko Endro Suseno (UNDIP)
Simon Sembiring (UNILA)
Mitrayana (UGM)

ALAMAT REDAKSI

Jurusan Fisika, Universitas Lampung Jl. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung Telp. 0721-701609 Ext. 719 Fax. 0721-704625 Email: jtaf@fmipa.unila.ac.id http://jurnal.fmipa.unila.ac.id/jtaf/

Jurnal ini diterbitkan oleh Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung bekerja sama dengan Himpunan Fisika Indonesia Cabang Lampung, sebagai sarana untuk mempublikasikan hasil penelitian, artikel review dari penelitipeneliti di bidang fisika teori dan aplikasinya. Jurnal ini terbit dua kali setahun (Januari dan Juli), volume pertama terbit pada tahun 2013 dengan nama Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika (JTAF) dengan ISSN 2303-016X.

JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika ISSN 2303-016X, Volume 09, Nomor 02, Juli 2021

DAFTAR ISI

	Halaman
Pengaruh Etanolamina Terhadap Pembentukan Fasa, Ukuran Partikel, dan Luas Permukaan Spesifik Nanotitania Menggunakan Metode Sol Gel	121 – 132
(Renita Maharani Fauzi, Posman Manurung, Dita Rahmayanti, Yanti Yulianti)	
Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Korosi Ekstrak Kulit Pisang Kepok (<i>Musa paradisiaca L</i>) Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Api 5L Pada Suhu Perendaman 40 °C dan 80 °C (Titan Nurahman, Ediman Ginting Suka, dan Leni Rumiyanti)	133 – 142
Rancang Bangun Sistem Hidung Elektronik Berbasis Sensor Gas MQ untuk Mengevaluasi Kualitas Madu (Minarni Shiddiq, Annisa Fadlilah, Sinta Afria Ningsih, dan Ikhsan Rahman Husein)	143 – 152
Pengujian Gugus Fungsi Silika Berbasis Sekam Padi Dengan Variasi Suhu & Konsentrasi Cetyltrimethylammonium Bromide Sebagai Bahan Baku Mesoporous Silica (Leni Rumiyanti, Catur Destiana, Ria Oktaviani, Simon Sembiring, Syafriadi, dan Ni Luh Gede Ratna Juliasih)	153 – 158
Penentuan Titik Pengamatan Optimal Terhadap Kualitas Udara pada Gas Keluaran Diffuser Berbasis Internet of Things (Irmayatul Hikmah, Afifah Dwi Ramadhanidan Fikra Titan Syifa)	159 – 166
Aplikasi Sensor TGS2620 dan MQ138 untuk Mendeteksi Kematangan Buah Durian Berbasis Raspberry Pi 3B (Dewi Puspitasari, Arif Surtono Sri Wahyu Suciati, Gurum Ahmad Pauzi)	167 – 174
Pengujian Prototipe Instrumen Pengukur Gradien Termal di Lapangan Panas Bumi Padang Cermin Pesawaran (Karyanto dan I Gede Boy Darmawan)	175 – 184
Gempa Bumi : Hubungan Data Sensor MAG3110 dengan Data Sensor ADXL345 Berbasis IoT	185 – 196
(Dodi Yudo Setyawan, Nurfiana, Lia Rosmalia, Melia Gripin Setiawati)	
Perancangan Sistem Estimasi Intensitas Gempabumi Untuk Peringatan Dini (Trismahargyono, Sri Ratna Sulistiyanti, Roniyus Marjunus)	197 – 202

	Halaman
Sintesis Magnesium Oksida (MgO) dari Dolomit Bangkalan dengan Metode Leaching (Devi Saputri, Lydia Rohmawati)	203 – 210
Sintesis Soluble Polianilin dengan Variasi Jenis dan Konsentrasi Do- pan	211 – 220
(Retno Fitri Wulandari 1, Nugrahani Primary Putri)	
Pengaruh Medan Listrik sebagai Stimulan Pertumbuhan Bawang Putih Lokal Timor (Gede Arya Wiguna, Welsiliana, Florian Mayesti Prima R. Makin dan Ite Morina Yostianti Tnunay)	221 – 228
Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Sapu-Sapu (Hypostomus ple- costomus) dengan Metode Presipitasi (Sri Maulidiyah Mangkuasih, Lydia Rohmawati)	229 – 236
Delineasi Patahan di Pulau Weh sebagai Perpanjangan The Great Sumatran Fault (GSF) Berdasarkan Data Metode Geomagnetik (Afrahun Naziah, Nazli Ismail, Nasrullah Zaini, dan Muhammad Nanda)	237 – 244
Desain Pengendali Fractional Order PID () Dengan Metode A Modified ZN untuk Pengendalian Level Air pada Pressurized Water Reactor (PWR) (Rissa Damayanti, Abdul Halim)	245 – 258

Pengaruh Etanolamina Terhadap Pembentukan Fasa, Ukuran Partikel, dan Luas Permukaan Spesifik Nanotitania Menggunakan Metode Sol Gel

Renita Maharani Fauzi^{(1a)*}, Posman Manurung^(b), Dita Rahmayanti ^(c), Yanti Yulianti ^(d)

Program Studi Magister Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141 Email: ^(a)renitarenita4@gmail.com, ^(b)reip65@yahoo.com., ^(c)dita.rahmayanti21@gmail.com ^(d)yanti.yulianti@fmipa.unila.ac.id

Diterima (15 Desember 2020), Direvisi (23 Juli 2021)

Abstract. Nanotitania has been prepared by sol gel method using ethanolamine as surfactant. This research was conducted to determine the effect of ethanolamine on the phase formation, particle size and surface area of TiO_2 . In this study Ti-butoxide was used as a precursor and ethanol as a solvent, and then HCl. The amount of ethanolamine was varied to 0; 0.5; 1; 1.5; and 2 ml. The samples were calcined at a temperature of 500° C for 4 hours. TiO_2 was characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Transmission Electron Microscopy (TEM), and Surface Area Analyzer (SAA) with BET method. The results of XRD characterization showed that in samples A-0.0 and A-0.5 an anatase phase was formed, whereas in the sample A-1,0 and A-1,5 an anatase, brookite, and rutile phases were formed with a weight percentage of 58 ± 2 % wt; 27 ± 2 % wt, and $15 \pm 0,4$ % wt. Meanwhile, for sample A-1,5 it is 70 ± 2 % wt, 25 ± 2 % wt, and $5 \pm 0,3$ % wt. Sample A-2.0 only produced anatase and brookite phases with weight percentages of 79 ± 2 % wt and 21 ± 2 % wt. The results of TEM characterization using ImageJ software show that the TiO_2 particle size in sample A-1,0 was $16 \pm 1,0$ nm. The results of the analysis surface area of sample A-1, produced the largest specific surface area, that is 172 m²/g, the smallest specific surface area was produced in sample A-2,0 that is 72,07 m²/g.

Keywords: anatase, brookite. ethanolamine, nanotitania, rutile,

Abstrak. Nanotitania telah dipreparasi dengan metode sol gel menggunakan etanolamina sebagai surfaktan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh etanolamina terhadap pembentukan fasa, ukuran partikel, dan luas permukaan TiO_2 . Dalam penelitian ini Ti-butoksida dipakai sebagai prekusor dan etanol sebagai pelarut, kemudian HCl. Jumlah etanolamina yang divariasikan adalah 0; 0.5; 1; 1.5; dan 2 ml. Sampel di kalsinasi pada suhu 500°C selama 4 jam. TiO_2 dikarakterisasi menggunakan X-Ray Diffraction (XRD), Transmission Electron Microscopy (TEM), dan Surface Area Analyzer (SAA) dengan metode BET. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa pada sampel A-0,0 dan A-0,5 terbentuk fasa anatase, sedangkan pada sampel A-1,0 dan A-1,5 terbentuk fasa anatase, brukit, dan rutil dengan presentase berat masing-masing 58 ± 2 %wt; 27 ± 2 %wt, dan $15 \pm 0,4$ %wt. Sedangkan untuk sampel A-1,5 sebesar 70 ± 2 %wt; 25 ± 2 %wt, dan $5 \pm 0,3$ %wt. Sampel A-2,0 hanya menghasilkan fasa anatase dan brukit saja dengan presentase berat masing-masing 79 ± 2 %wt dan 21 ± 2 %wt. Hasil karakterisasi TEM dengan menggunakan perangkat lunak ImageJ menunjukkan bahwa ukuran partikel TiO_2 pada sampel A-1,0 adalah $16 \pm 1,0$ nm. Hasil analisis luas permukaan spesifik sampel A-1,0 menghasilkan luas permukaan spesifik terbesar yaitu 172 m²/g, luas permukaan spesifik terkecil dihasilkan pada sampel A-2,0 yaitu 72,07 m²/g.

Kata kunci: anatase, brukit, etanolamina, nanotitania, rutil

PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini, nanoteknologi menjadi salah satu teknologi yang berkembang pesat dan berkontribusi besar pada perkembangan sains material [1]. Jenis nanoteknologi yang sedang dikembangkan adalah nanomaterial. Nanomaterial memiliki sifat elektrik yang besar, luas permukaan yang luas, sifat mekanik, optik dan kemagnetan yang lebih tinggi dibandingkan pada saat berbentuk limpahan (*bulk*) [2].

Bahan nanomaterial sedang yang dikembangkan dan diaplikasikan adalah titanium dioksida (TiO₂) atau titania sebagai material alternatif dalam berbagai aspek, terutama berkaitan dengan ukuran partikelnya. Semakin kecil partikelnya, maka semakin luas permukaan yang aktif untuk bereaksi sehingga semakin beragam potensi penerapannya [3]. TiO₂ banyak dimanfaatkan antara lain untuk dijadikan sensor, salah satunya sensor gas [4], dan TiO₂ paling banyak dimanfaatkan sebagai fotokatalis [5][6].

Secara struktur TiO₂ memiliki tiga bentuk polimorf yaitu anatase, rutil, dan brukit. Anatase dan rutil memiliki struktur kristal tetragonal, sedangkan brukit memiliki struktur kristal orthorombik. Fasa anatase dan brukit merupakan fasa metastabil yang mudah berubah menjadi fasa rutil ketika dipanaskan [7].

Ada dua metode sintesis TiO₂ yaitu metode fisik dan metode kimia. Kedua metode tersebut memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Metode fisika menghasilkan material dalam jumlah besar, tetapi ukurannya tidak memadai untuk nanometer. Sedangkan metode kimia dapat dibuat sampai ukuran nanometer [8]. Sampai saat ini, struktur nano TiO₂ telah diperoleh dengan metode yang berbeda seperti hidrotermal, solvotermal, metode oksidasi langsung, deposisi uap kimia, elektrodeposisi dan sol gel [9]–[12].

Diantara semua metode, teknik sol gel sangat berguna untuk preparasi material amorf dan kristal. Ini menawarkan keuntungan seperti kemungkinan mendapatkan bahan hibrida homogen pada suhu rendah. Dengan metode sol-gel, TiO₂ berstruktur nano telah banyak disintesis dari hidrolisis prekursor titanium. Keuntungan dari proses sol-gel adalah tidak mahal, serta metode pemrosesan yang mudah untuk pembuatan bubuk titania [13].

Pada penelitian sintesis nanotitania dengan menggunkan metode sol gel, diantaranya beberapa ada yang menambahkan variasi surafktan untuk melihat bagaimana pengaruh surfaktan sifat nanotitania terhadap tersebut. Hasilnya, pada beberapa penelitian penambahan surfaktan dapat menghasilkan lebih dari satu fasa TiO₂ [10], [11]. Rahayu et al [14] dalam penelitiannya membuat nanotitania dengan metode sol gel, yang divariasikan dengan penambahan etanolamina. Kemudian dikalsinasi pada suhu 500°C selama 4 jam, didapatkan bahwa penambahan etanolamina sebanyak 1 ml fasa yang terbentuk adalah fasa anatase dan brukit dengan presentase berat 64,07 %wt dan 35,935 %wt, serta ukuran partikel dalam kisaran 19,8 nm.

Sehingga dalam penelitian ini dilakukan kembali pembuatan TiO₂ dengan metode sol gel. TiO₂ dibuat dengan dengan memvariasikan surfaktan etanolamina 0; 0,5; 1; 1,5; dan 2 ml. Etanolamina merupakan jenis surfaktan nonionik [15] Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh etanolamina terhadap pembentukan fasa, ukuran partikel, dan luas permukaan nanotitania.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan bahan titanium butoksida (C16H36O4Ti) (Sigma Aldrich), etanol (C2H5OH) (Merck), etanolamina (Merck), dan HCL 37%. Metode penelitian ini terdiri atas beberapa tahap antara lain: sintesis, kalsinasi, dan uji karakterisasi sampel menggunakan XRD,

TEM, dan SAA. Proses sintesis dilakukan dengan mencampurkan etanol 60 ml dan Ti-Butoksida 5,25 ml dengan mikro pipet, larutan terus diputar selama ± 20 menit dengan magnetic stirer, tahap selanjutnya vaitu dicampurkan etanolamina setetes demi tetes dengan variasi (0, 0.5, 1, 1.5, dan 2 ml) menggunakan mikro pipet dengan tetap diaduk selama ± 30 menit. Kemudian HCl dimasukkan setetes demi dengan tetap diaduk selama 24 jam. Setelah semua bahan sampel akan dikeringkan tercampur, menggunakan oven dengan suhu 200°C selama 24 jam, suhu dinaikkan secara bertahap.

Kalsinasi dilakukan untuk menghilangkan zat-zat tidak yang dibutuhkan dalam bubuk TiO2 dan kadar uap air yang berlebihan. Kalsinasi dilakukan selama 4 jam pada suhu 500°C. Setelah proses kalsinasi, sampel yang berbentuk serbuk kemudian digerus secara manual menggunakan mortar dan pastel agate. Pada penelitian ini metode sintesis yang digunakan sama dengan penelitian Rahayu et al [14] tetapi pada penelitiannya hanya melakukan karakterisasi XRD pada dua sampel, serta tidak melakukan uji SAA untuk mengetahui nilai luas permukaannya. Sedangkan pada peneltian ini sampel serbuk TiO_2 yang dihasilkan akan dikarakterisasi dengan XRD, TEM, dan SAA.

Data yang terekam pada karakterisasi XRD berupa sudut difraksi (2θ) , besarnya waktu pencatatan intensitas (I) dan perlangkahan (t). Sudut difraksi (2θ) yang digunakan mulai dari 10° sampai dengan 90° dengan ukuran langkah 0,02° dan scan time selama 10°/menit. Alat yang digunakan dioperasikan dengan tegangan 40 kV dan kuat arus 30 mA. Data yang sudah diperoleh kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak High Score Plus (HSP). Analisis menggunakan HSP bertujuan untuk menganalisis data secara kualitatif. Kemudian analisis kuantitatif menggunakan perangkat lunak Rietica.

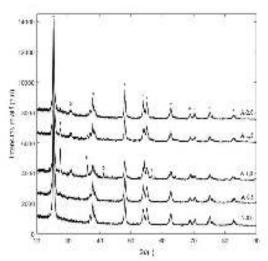
Hasil karakterisasi TEM diolah menggunakan perangkat lunak ImageJ untuk menghitung ukuran butiran partikel.

Karakterisasi SAA didasarkan pada siklus adsorpsi dan desorpsi isotermis gas nitrogen oleh sampel berupa serbuk pada suhu nitrogen cair, dengan cara sejumlah gas nitrogen yang diketahui dimasukkan ke dalam tabung sampel, maka sensor tekanan akan menghasilkan data tekanan proses yang bervariasi. Selanjutnya, data yang dihasilkan dari alat tersebut dihitung dengan metode BET untuk mencari luas permukaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil XRD dilakukan untuk analisis kualitatif guna mengetahui fasa kristal, dan analisis kuantitatif untuk mengetahui komposisi pada masing-masing fasa kristal, struktur kristal dan parameter sel.

Gambar 1 menunjukkan difaktogram XRD sampel TiO2 yang telah dikalsinasi pada suhu 500°C. Tampak bahwa terdapat puncak difraksi tertinggi $2\theta = 25.32^{\circ}$ sampai 25,34° mengindikasi fasa dari anatase (ICOD 01-078-2486) sesuai pada beberapa penelitian [10], [16], [17]. Selain itu, puncak yang mengindikasikan adanya fasa brukit (COD 96-900-4140) pada $2\theta =$ 30,80° serta fasa rutil (ICOD 01-076-1938) pada $2\theta = 27,41^{\circ}$ [10], [11], [16]. Jika melihat Gambar 1, pada sampel A-0 dan A-0,5 puncak yang dominan muncul adalah Untuk sampel disebabkan penambahan etanolamina yang sehingga terlalu sedikit, tidak menumbuhkan fasa lain. Hal yang sangat menarik dari penelitian ini adalah kemunculan fasa brukit dan rutil yang cukup memadai pada sampel A-1,0.



Gambar 1. Difaktogram XRD TiO_2 A-0, A-0,5, A-1,0, A-1,5 dan A-2,0. * = anatase b = brukit dan r = rutil.

Kemunculan fasa brukit dan rutil sampel A-1,0 dapat dilihat pada Gambar 1. Pada beberapa penelitian fasa rutil baru muncul pada suhu di atas 500°C dan brukit muncul di bawah 500°C [18]-[20]. Namun dalam penelitian ini terutama pada sampel A-1,0 telah muncul fasa rutil dan masih menyisakan fasa brukit. Hal ini dapat difahami bahwa kehadiran etanolamina pada 1 ml dapat menghasilkan fasa selain anatase. Penambahan surfaktan ienis nonionik pada sintesis TiO₂ dapat menghasilkan fasa selain anatase [10], [16]. Fasa rutil dapat muncul jika saat proses sintesis sampel memiliki derajat hidrolisis yang rendah sehingga menyebabkan proses nukleasi yang menghasilkan cacat kisi dan mikrostrain, di mana fasa rutil dan brukit dapat terbentuk dalam fasa anatase [16], [21]–[23].

Selain faktor sintesis, hal lain penyebab munculnya fasa brukit dan rutil di bawah 500°C bisa disebabkan faktor pH pada sampel [11]. Menurut Hu *et al* (2003). sintesis TiO₂ dengan pH rendah dapat memunculkan fasa brukit, pada penelitiannya fasa brukit dan rutil muncul pada sampel dengan pH 2 dan suhu kalsinasi 500°C, menurutnya semakin besar pH dan suhu kalsinasi maka fasa brukit

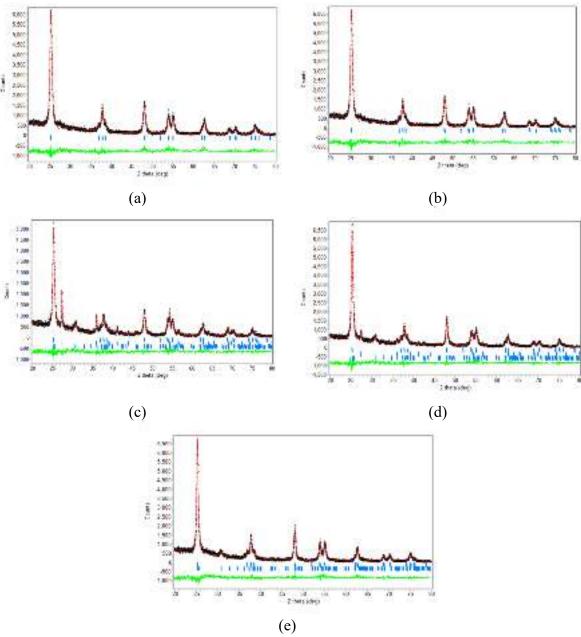
tidak muncul. Seiring dengan penambahan etanolamina dilihat pada Gambar 1, bahwa fasa rutil mengalami penurunan intensitas. Ada banyak faktor yang terkait dalam hal tinggi rendahnya puncak intensitas difraksi suatu bahan. Salah satunya adalah tingkat kekristalan bahan dan posisi atom dalam sel satuan. Bergesernya posisi atom dapat meningkatkan dan mengurangi intensitas puncak XRD [24]. Analisis kuntitatif dilakukan untuk mengetahui komposisi setiap fasa-fasa tersebut, yang dilakukan dengan refinement data XRD menggunakan metode Rietveld. Model penghalusan yang digunakan untuk fasa anatase adalah Djerdi and Tonejc (2006) [25], model fasa rutil menggunakan Howard et al (1991) [26], dan model fasa brukit menggunakan Meagher and Lager (1979) [27]. Hasil penghalusan ditunjukkan dalam Gambar 2. Dari Gambar 2 terlihat bahwa berdasarkan pola garis selisih antara data pengamatan (berwarna hitam) dan data input (berwarna merah) memiliki pola hasil perhitungan (berwarna hijau) hampir rata, yang berarti bahwa selisih antara hasil perhitungan dan data pengamatan relatif kecil. Selain itu dalam melakukan penghalusan difaktogram menggunakan metode Rietveld diperhatikan nilai GOF (Godness of Fit). Nilai GOF yang disimbolkan dengan $2 \le 4$ sudah dapat diterima. Selain itu untuk nilai R_{wp} , R_p , dan R_{exp} harus kurang dari 20.

Setelah selesai masing-masing data dapat dilihat harga R pada file output Seperti yang disajikan pada Tabel Berdasarkan data **Tabel** 1 pada pada seluruh penghalusan sampel menunjukkan nilai R_{wp} , R_p , dan R_{exp} kurang dari 20 dan nilai GOF kurang dari 4. Selain faktor R, hasil analisis kuantitatif dapat memberikan nilai persen berat (%wt) masing-masing fasa dalam sampel seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Dari **Table 2** dapat dilihat bahwa penambahan etanolamina 0,5 ml tidak memberikan pengaruh kehadiran fasa lain selain anatase. Penambahan etanolamina 1;

1,5; dan 2 ml dapat menghasilkan fasa brukit dan rutil dengan presentase berat maksimum pada 1 ml. Selain itu dari **Tabel**2 juga menunjukkan bahwa berat kandungan fasa anatase semakin naik dengan seiring penambahan etanolamina tetapi menurunkan kandungan fasa rutil dan brukit. Dengan kata lain, penambahan surfaktan akan meningkatkan stabilitas dari fasa anatase sehingga akan menghasilkan

fasa brukit dan rutil yang semakin mengecil, karena stabilitas dari fasa anatase semakin meningkat dengan meningkatnya surfaktan yang diberikan [21]. Selain digunakan untuk mengetahui presentase fasa, analisis secara kuantitatif dapat juga digunakan untuk menentukan struktur dan grup ruang kristal pada suatu bahan.



Gambar 2. Hasil refinement data XRD TiO₂ (a) A-0,0,0 (b) A-0,0,5 (c) A-1,0 (d) A-1,5 (e) A-2,0

Sampel	K	2θ(°)	θ(°)	λ(Å)	FWHM (°)	L (nm)	Perhitungan TEM (nm)
A-0	0,9	25,32	12,65	1,54059	0,483	16,8	_
A-0,5	0,9	25,30	12,652	1,54059	0,550	14,8	
A-1,0	0,9	25,30	12,6455	1,54059	0,553	14,7	16 ± 1
A-1,5	0,9	25,32	12,65	1,54059	0,453	17,9	
A-2,0	0,9	25,34	12,6525	1,54059	0,431	18,8	

Tabel 1. Perhitungan ukuran partikel dari hasil XRD.

Dengan nilai GOF kurang dari 4 yang dilihat dari hasil **Tabel 2**, maka dapat dikatakan pada sampel ini kristal TiO₂ yang dihasilkan memiliki kemiripan struktur cukup tinggi dengan model. Berdasarkan model tersebut, maka kristal anatase memiliki struktur tetragonal dengan grup ruang 141/AMD, brukit memiliki struktur ortorombik dengan grup ruang PBCA, dan rutil memiliki struktur tetragonal dengan grup ruang P42/M N M.

Selain struktur kristal, dapat diketahui juga nilai sel parameter untuk setiap fasa yang diperoleh dari keluaran penghalusan sampel seperti yang disajikan pada Tabel 4. Dari Tabel 4 dapat diamati nilai parameter sel yang paling kecil baik untuk fasa anatase, rutil dan brukit dimiliki sampel A-1,0. Selain itu sel parameter a fasa anatase memiliki kecenderungan turun kemudian naik seiring dengan naiknya konsentrasi etanolamina, hal yang sama juga terlihat pada sel parameter c fasa anatase, sementara pada fasa brukit dan rutil nilai sel parameter cenderung naik seiring dengan naiknya konsentrasi etanolamina. Hal yang sama terdapat pada penelitian yang dilakukan oleh Fahyuan et (2013) [21], menurutnya terdapat konsentrasi optimum surfaktan yang dapat mempengaruhi perubahan sel parameter.

Hasil TEM dilakukan pada sampel A-1,0 dengan skala bar 50 nm dan 20 nm. Adapun hasil analisis morfologi dan distribusi ukuran partikel ditunjukkan pada Gambar 5. Dalam pengukuran ini, untuk skala bar 50 nm diambil 20 partikel dengan ukuran yang berbeda, dan skala bar 20 nm diambil 15 partikel dengan ukuran berbeda

untuk memperoleh rata-rata ukuran partikel Dari kedua gambar TEM ini baik sekala bar 50 dan 20 nm memberikan hasil masingmasing 15 ± 0.2 nm dan 17 ± 0.4 nm. Sehingga secara rata-rata hasilnya adalah 16 ± 1 nm. Dengan demikian dari segi ukuran partikel berdasarkan hasil TEM ini, dapat klasifikasi sampel masuk kelompok nanopartikel [28]. Dari kedua gambar TEM ini sampel dapat dikatakan mengalami perlengketan partikel-partikel sehingga partikel-partikel tidak mengalami *adhesion* [29], dan bentuk partikel secara umum masuk bentuk bola (spheris) seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Vijayalakshmi and Rajendra (2010) [30].

Tabel 2. Parameter kesesuain refinement data XRD TiO₂

Sampel	R_{wp}	R_p	R_{exp}	GoF
A-0	15,26	11,01	10,20	2,2
A-0,5	15,15	11,01	10,20	2,2
A-1,0	14,63	10,56	10,21	2,0
A-1,5	14,40	10,33	10,22	2,0
A-2,0	14,80	10,67	10,41	2,0

Tabel 3. Presentase fasa TiO₂ dalam persen berat (%wt)

Sampel	Anatase (%wt)	Brukit (%wt)	Rutil (%wt)
A-1,0	58 ± 2	27 ± 2	$15 \pm 0,4$
A-1,5	70 ± 2	25 ± 2	5 ± 0.3
A-2,0	79 ± 2	21 ± 2	

yang telah melakukan sintesis TiO₂ dengan berbagai jenis surfaktan menggunakan metode sol gel, hasilnya partikel memiliki bentuk bola karena misel pada surfaktan membentuk bola selama reaksi dalam sampel TiO₂.

Hasil XRD analisis juga dapat mengetahui digunakan untuk ukuran partikel dari TiO₂ yang ditunjukkan pada Tabel 5 yaitu dengan cara menganalisis puncak tertinggi. Perubahan intensitas dan puncak difraksi XRD penambahan surfaktan menunjukkan bahwa surfaktan berpengaruh pada ukuran partikel [31]. Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa semakin kecil nilai FWHM (Full Widht at Half Maximum) yang diperoleh, maka ukuran kristal akan semakin besar. Nilai FWHM terbesar yaitu pada sampel A-1,0 dengan penambahan etanolamina sebanyak 1 ml, dengan demikian ukuran partikel pada sampel A-1,0 terkecil yaitu 14,7 nm. Hasil ini tidak terlalu berbeda dengan pengukuran ukuran partikel menggunakan TEM yang menghasilkan 16 ± 1 nm. Dapat dilihat pula nilai ukuran partikel mempunyai kesamaan dengan sel parameter yang ditunjukkan **Tabel** 4, dimana pada semakin bertambahnya etanolamina didapatkan nilai partikel mengalami kenaikan dengan nilai sel parameter semakin besar,

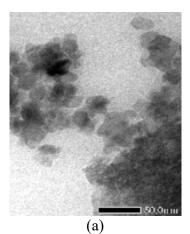
Sehingga dapat dikatakan terdapat konsentrasi optimum yang mempengaruhi ukuran parikel dan sel parameter yang terdapat pada sampel A-1,0. Hal tersebut bisa dikarenakan penambahan etanolamina 1 ml dekat dengan batas konsentrasi kritis dari etanolamina.

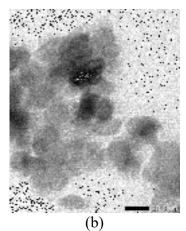
Penambahan etanolamina 0.5 menghasilkan ukuran kristal terkecil kedua, hal tersebut dapat dikarenakan penambahan surfaktan di bawah konsentrasi kritis, sehingga misel dari surfaktan tersebut belum terbentuk, dan peran surfaktan sebagai pereduksi ukuran kristal belum secara optimum. Suatu surfaktan akan membentuk misel jika batas konsentrasi dari surfaktan tersebut telah tercapai, sedangkan pada sampe A-1,5 dan A-2,0 menghasilkan ukuran kristal yang bertambah besar. Hal ini mengindikasi terdapatnya batas optimum penambahan etanolamina agar diperoleh ukuran kristal yang semakin mengecil [32]

Hasil SAA digunakan untuk mengetahui luas permukaan spesifik dari sampel, maka dilakukan uji menggunakan SAA dengan metode BET. Luas permukaan spesifik metode BET dihitung melalui proses adsorpsi-desorpsi nitrogen pada kondisi setimbang dalam suhu nitrogen cair (77 K) menggunakan SAA *Quantachrome* NOVA 1000e versi 11.0.

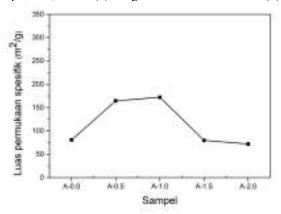
Eage	Parameter	Sampel				
Fasa	sel (Å)	A-0	A-0,5	A-1,0	A-1,5	A-2,0
Anatase	a = b	3,7841	3,7840	3,7838	3,7849	3,7852
	С	9,5075	9,5070	9,5035	9,5074	9,5076
Brukit	а	-	-	9,1616	9,1792	9,1796
	b	-	-	5,4390	5,4403	5,4436
	С	-	-	5,1532	5,1552	5,1621
Rutil	a = b	-	-	4,5950	4,5982	-
	c	-	-	2,9522	2,9572	-

Tabel 4. Parameter sel TiO₂





Gambar 5. Hasil TEM sampel A-1,0 TiO₂ (a) dengan skala bar 50 nm dan (b) dengan skala bar 20nm.



Gambar 6. Grafik luas permukaan spesifik

Gambar 6 merupakan hasil dari luas permukaan spesifik sampel TiO2. Untuk luas permukaan spesifik terkecil ada pada sampel A-2,0sebesar 72,072 m^2/g sedangkan untuk luas permukaan spesifik terbesar diperoleh pada sampel A-1,0 dengan nilai 172,239 m²/g. Sampel A-0,0 memiliki luas permukaan spesifik 80,680 (m²/g). Sampel A-0,5 luas permukaan spesifik 164,376 (m²/g). Kemudian sampel A-1,5 didapatkan dan luas permukaan 79,72 spesifik (m^2/g) . **Analisis** permukaan dapat menunjukkan peningkatan dan penurunan luas permukaan dengan penambahan etanolamina yang berbeda-beda. Hal yang menarik dari nilai luas permukaan spesifik adalah adanya keterkaitan dengan sel parameter dari hasil penghalusan Tabel 4 dan ukuran partikel Tabel 5, yaitu saat nilai sel parameter menurun, ukuran partikel juga menurun tetapi nilai luas permukaan spesifik pada sampel meningkat. Hal tersebut sesuai dengan teori Cullity (1978) [24].

Penggunaan surfaktan nonionik pada sintesis TiO₂ diketahui dapat menghasilkan luas permukaan yang cukup besar jika dibandingkan surfaktan lainnya [16], [31].

Selain itu dapat katakan semakin besar nilai luas permukaan spesifik sampel, maka pori dan volume pori dari sampel bertambah [33].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi XRD, TEM dan SAA didapatkan bahwa sampel A-1,0 merupakan sampel dengan hasil paling baik, dilihat dari ukuran partikel paling kecil yaitu 16 ± 1 nm berdasarakan karakterisasi TEM, dan 14,7 nm berdasarkan perhitungan dari karakterisasi XRD serta dengan ukuran partikel paling kecil maka sampel A-1,0 memiliki luas

permukaan spesifik paling besar, sehingga diharapkan mampu memiliki hasil yang baik dalam pemanfaatan uji fotokatalis.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dikti yang telah mendanai penelitian ini melalui skema penelitian hibah Pascasarjana dengan nomor kontrak: 3869/UN26.21/PN/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Y. Xia *et al.*, "One-Dimensional Nanostructures: Synthesis, Characterization, and Applications" no. 5, pp. 353–389, 2003.
- [2] Ducan and L. F. Sutherland, Nanotechnologies: Principles, Applications, Implications and Hands-on Activities. In Handbook of Research and Inovation Industrial and Tecnologies. European Comission, 2012.
- [3] E. M. Mahdi, M. Hamdi, M. S. M. Yusoff, and P. Wilfred, "XRD and EDXRF Analysis of Anatase Nano-TiO₂ Synthesized from Mineral Precursors," *Adv. Mater. Res.*, vol 620, pp. 179–185, 2013
- [4] W. Maziarz, "TiO₂/SnO₂ and TiO₂ /CuO Thin Film Nano-Heterostructures as Gas Sensors," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 480, no. February, pp. 361–370, 2019.
- M. Mohammadi, M. [5] Rezaee Roknabadi, M. Behdani, and A. Kompany, "Enhancement of Visible and UV Light Photocatalytic Activity of rGO-TiO₂ Nanocomposites: The effect of TiO₂ /Graphene Oxide Weight Ratio," Ceram. Int., vol. 45, no. 10, pp. 12625–12634, 2019.
- [6] J. Singh, S. A. Khan, J. Shah, R. K. Kotnala, and S. Mohapatra, "Nanostructured TiO₂ Thin Films

- Prepared by RF Magnetron Sputtering for Photocatalytic Applications," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 422, pp. 953–961, 2017.
- [7] Y. W. Myint, T. T. Moe, W. Y. Linn, A. Chang, and P. P. Win, "The Effect of Heat Treatment on Phase Transformation and Morphology of Nano-Crystalline Titanium Dioxide TiO₂," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 6, no. 6, pp. 293–299, 2017.
- [8] J. Park, J. Joo, G. K. Soon, Y. Jang, and T. Hyeon, "Synthesis of Monodisperse Spherical Nanocrystals," *Angew. Chemie Int. Ed.*, vol. 46, no. 25, pp. 4630–4660, 2007.
- [9] M. Malekshahi Byranvand, A. Nemati Kharat, L. Fatholahi, and Z. Malekshahi Beiranvand, "A Review on Synthesis of Nano-TiO₂ via Different Methods," *J. Nanostructures*, vol. 3, no. 1, pp. 1–9, 2013.
- [10] O. L. Galkina, V. V. Vinogradov, A. V. Agafonov, and A. V. Vinogradov, "Surfactant-Assisted Sol-Gel Synthesis of TiO₂ with Uniform Particle Size Distribution", *Int. J. Inorg. Chem.*, vol. 2011, pp. 1–8, 2011.
- [11] Y. Hu, H. L. Tsai, and C. L. Huang, "Effect of Brookite Phase on the Anatase-Rutile Transition in Titania Nanoparticles," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 23, no. 5, pp. 691–696, 2003.
- [12] C. S. Kim, B. K. Moon, J. H. Park, S. T. Chung, and S. M. Son, "Synthesis of Nanocrystalline TiO₂ in Toluene by a Solvothermal Route," *J. Cryst. Growth*, vol. 254, no. 3–4, pp. 405–410, 2003.
- [13] N. B. Chaure, A. K. Ray, and R. Capan, "Sol-Gel Derived Nanocrystalline Titania Thin Films on Silicon," *Semicond. Sci. Technol.*, vol. 20, no. 8, pp. 788–792, 2005.
- [14] R. Rahayu, P. Manurung, and Y.

- Yulianti, "Pengaruh Ethanolamina (MEA) dalam Pembentukan TiO₂ dari Bahan Awal Ti Butoksida," *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 07, no. 02, pp. 153–160, 2019.
- [15] B. Burczyk, K. A. Wilk, A. Sokołowski, and L. Syper, "Synthesis and Surface Properties of N-alkyl-N-methylgluconamides and N-alkyl-N-methyllactobionamides," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 240, no. 2, pp. 552–558, 2001.
- [16] S. M. Abdel-Azim, A. K. Aboul-Gheit, S. M. Ahmed, D. S. El-Desouki, and M. S. A. Abdel-Mottaleb, "Preparation and Application of Mesoporous Nanotitania Photocatalysts Using Different Templates and pH Media," *Int. J. Photoenergy*, vol. 2014, 2014.
- [17] Manurung, P., Situmeang, R., Sinuhaji, P, Sembiring, S. "Effect of Sulfur Doped Nanotitania for Degradation of Remazol Yellow and Phenol," vol. 32, no. 12, pp. 3019–3023, 2020.
- [18] D. Dastan, N. Chaure, and M. Kartha, "Surfactants Assisted solvothermal Derived Titania Nanoparticles: Synthesis and Simulation," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 28, no. 11, pp. 7784–7796, 2017.
- [19] B. K. Mutuma, G. N. Shao, W. D. Kim, and H. T. Kim, "Sol-gel Synthesis of Mesoporous Anatase-Brookite and Anatase-Brookite-Rutile TiO₂ Nanoparticles and Their Photocatalytic Properties," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 442, pp. 1–7, 2015.
- [20] S. Bakardjieva *et al.*, "Transformation of Brookite-Type TiO 2 nanocrystals to rutile: Correlation Between Microstructure and Photoactivity," *J. Mater. Chem.*, vol. 16, no. 18, pp. 1709–1716, 2006.
- [21] H. D. Fahyuan, D. Dahlan, and A. -,

- "Pengaruh Konsentrasi CTAB dalam Sintesis Nanopartikel TiO₂ untuk Aplikasi Sel Surya Menggunakan Metode Sol Gel," *J. Ilmu Fis. Univ. Andalas*, vol. 5, no. 1, pp. 16–23, 2013.
- [22] S. Sahni, S. B. Reddy, and B. S. Murty, "Influence of Process Parameters on the Synthesis of Nano-Titania by Sol-Gel Route," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 452–453, pp. 758–762, 2007.
- [23] P. P. Bidaye and J. B. Fernandes, "A Rapid and Facile Synthesis Method for Nanosize Rutile Phase TiO with High Photocatalytic Activity," *Green Sustain. Chem.*, vol. 09, no. 02, pp. 27–37, 2019.
- [24] B. Cullity, *Element of X-Ray Diffraction*. Addion- Wsley Publishing Company Inc: Massachusetts, 1978.
- [25] I. Djerdj and A. M. Tonejc, "Structural Investigations of Nanocrystalline TiO₂ Samples," *J. Alloys Compd.*, vol. 413, no. 1–2, pp. 159–174, 2006.
- [26] C. J. Howard, T. M. Sabine, and F. Dickson, "Structural and Thermal Parameters for Rutile and Anatase," *Acta Crystallogr. Sect. B*, vol. 47, no. 4, pp. 462–468, 1991.
- [27] E. P. Meagher and G. A. Lager, "Thermal in the TiO₂, Polymofphs: And Refinement Of The Crystal Structures Of Rutile Brookite at High Temperature" *Can. Mineral.*, vol. 17, pp. 77–85, 1979.
- [28] R. N. Primy and I. K. Muwarni, "Sintesis dan Karakterisasi Padatan Fe₂O₃/CaF₂," *J. Sains Dan Seni Its*, vol. 1, no. 1, pp. 6–8, 2012.
- [29] E. Huseynov, A. Garibov, and R. Mehdiyeva, "TEM and SEM Study of Nano SiO₂ Particles Exposed to Influence of Neutron Flux," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 5, no. 3, pp. 213–218, 2016.

- [30] R. Vijayalakshmi and V. Rajendran, "Impact of Surfactants on Physical Properties of BaTiO₃ Nanoparticles," *Int. J. Nanosci.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–5, 2013.
- [31] I. Jang, H. J. Leong, and S. G. Oh, "Effects of Surfactants on the Preparation of TiO₂ Nanoparticles in Microwave-Assisted Sol-Gel Process and Their Photocatalytic Activity," *Korean J. Chem. Eng.*, vol. 33, no. 5, pp. 1647–1652, 2016.
- [32] C. de O. Rangel Yagui, A. Pessoa, and L. C. Tavares, "Micellar Solubilization of Drugs," *J. Pharm.*

- *Pharm. Sci.*, vol. 8, no. 2, pp. 147–163, 2005.
- [33] S. Estrada Flores, A. Martínez-Luévanos, C. M. Perez-Berumen, L. A. García-Cerda, and T. E. Flores-Guia, "Relationship Between Morphology, Porosity, and the Photocatalytic Activity of TiO_2 Obtained by Sol-Gel Method Assisted with Ionic and Nonionic Surfactants," Bol. la Soc. *Ceram.* y *Vidr.*, vol. 59, no. 5, pp. 209–218, 2020.

Renita Maharani Fauzi, dkk.: Pengaruh Etanolamina terhadap Pembentukan Fasa, Ukuran Partikel, dan Luas Permukaan Spesifik Nanotitania Menggunakan Metode Sol Gel

Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Korosi Ekstrak Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca L*) Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Api 5L Pada Suhu Perendaman 40 °C dan 80 °C

Titan Nurahman^{(a)*}, Ediman Ginting Suka^(b), dan Leni Rumiyanti^(c)

Jurusan Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141 Email: (a*)titannurahman@email.com, (b)ediman.ginting@fmipa.unila.ac.id (c)lenirumiyanti@fmipa.unila.ac.id

Diterima (18 Desember 2020), Direvisi (23 Juli 2021)

Abstract. The investigation has been carried out on the effect of the concentration of Kepok banana peel extract as an inhibitor on API 5L carbon steel in 3% NaCl corrosive medium. API 5L carbon steel immersion was carried out for 7 hours with two variations of immersion temperature, namely 40 and 80 °C and five variations in the concentration of corrosion inhibitors, namely 0%, 2%, 4%, 6%, 8%. Corrosion rate testing was carried out using the weight loss method. The results showed that the largest corrosion rates at immersion temperatures of 40 and 80 °C were at 0% inhibitor concentrations, namely 60.91 mm / y and 86.91 mm / y. Meanwhile, the lowest corrosion rate was at the inhibitor concentration of 8% at immersion temperatures of 40 and 80 °C, namely 32.51 mm / y and 63.92 mm / y. The greatest effectiveness of corrosion inhibitors occurred at a concentration of 8% at immersion temperatures of 40 and 80 °C of 56.63%, and 26.44%. The results of the X-Ray Diffraction (XRD) characterization showed that the phase formed was pure Fe. Scanning Electron Microscopy (SEM) characterization showed uneven agglomeration and smaller size, holes and cracks were also less in 8% inhibitor at immersion temperature of 40 and 80 °C compared to inhibitor 0% at immersion temperature 40 and 80 °C.

Keywords: API 5L carbon steel, kepok banana peel extract, corrosion inhibitor, immersion temperature.

Abstrak. Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh konsentrasi ekstrak kulit pisang kepok sebagai inhibitor pada baja karbon API 5L dalam medium korosif NaCl 3%. Perendaman baja karbon API 5L dilakukan selama 7 jam dengan dua variasi suhu perendaman, yaitu 40 dan 80 °C serta lima variasi konsentrasi inhibitor korosi, yaitu 0%, 2%, 4%, 6%, 8%. Pengujian laju korosi dilakukan dengan metode kehilangan berat. Hasil penelitian menunjukkan laju korosi terbesar pada suhu perendaman 40 dan 80 °C adalah pada konsentrasi inhibitor 0%, yaitu sebesar 60,91 mm/y dan 86,91 mm/y. Sementara, laju korosi terendah yaitu pada konsentrasi inhibitor 8% pada suhu perendaman 40 dan 80 °C yaitu sebesar 32,51 mm/y dan 63,92 mm/y. Efektivitas inhibitor korosi yang paling besar terjadi pada konsentrasi 8% pada suhu perendaman 40 dan 80 °C sebesar 56,63 %, dan 26,44 %. Hasil karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) memperlihatkan bahwa fasa yang terbentuk adalah Fe murni. Karakterisasi Scanning Electron Microscopy (SEM) memperlihatkan agglomeration (gumpulan) tidak merata dan ukuran lebih kecil, lubang (hole) dan retakan (crack) juga lebih sedikit pada inhibitor 8% pada suhu perendaman 40 dan 80 °C dibandingkan dengan inhibitor 0% pada suhu perendaman 40 dan 80 °C.

Kata kunci: Baja karbon API 5L, ekstrak kulit pisang kepok, inhibitor korosi, suhu perendaman.

PENDAHULUAN

Korosi adalah suatu proses degradasi material atau hilangnya suatu material baik secara kualitas maupun kuantitas akibat proses reaksi kimia dengan adanya lingkungannya. Korosi terjadi karena adanya reaksi dari suatu logam dengan senyawa lain yang berada di sekitarnya yang menghasilkan senyawa yang tidak dikehendaki [1].

Di Indonesia permasalahan korosi perlu mendapat perhatian serius, mengingat dua per tiga wilayah nusantara terdiri dari lautan dan terletak pada daerah tropis dengan curah hujan yang tinggi, lingkungan seperti ini dikenal sangat korosif [2]. Hampir semua logam dan baja yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari mengalami korosi, seperti struktur jembatan, rangka mobil, peralatan rumah tangga, alat-alat kesehatan, peralatan di lingkungan pabrik petrokimia dan kapalkapal laut [3].

Proses korosi tidak dapat dihentikan, namun dapat dicegah [4]. Berbagai upaya pencegahan korosi yaitu pelapisan pada permukaan logam, perlindungan katodik, penambahan inhibitor dan lain-lain [5]. Pengamatan sampai saat ini, penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mencegah korosi karena biayanya yang relatif murah dan prosesnya yang sederhana [1], [3].

Menurut bahan dasarnya, inhibitor dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu inhibitor yang terbuat dari bahan organik dan anorganik [6]. Senyawa anorganik memiliki harga yang mahal, tidak ramah lingkungan, dan memiliki toksisitas yang tinggi dan berbahaya bagi lingkungan [1], [7], sehingga lebih banyak digunakan inhibitor organik. Selain itu, inhibitor organik dari ekstrak bahan alam merupakan solusi yang aman dan lebih tepat karena

mudah didapatkan, *biodegradable*, biaya murah, dan ramah lingkungan [5].

Penelitian yang dilakukan sebelumnya, pada penelitian ini menjelaskan tentang pengendalian laju korosi pada baja ringan dengan menggunakan inhibitor ekstrak kulit pisang, dengan media asam klorida 0,5 M dan 1 M. Pada proses penelitian tersebut kulit pisang diestrak dengan metode meserasi dan untuk dihitung dengan korosi kehilangan berat, kemudian perendaman dilakukan selama 24 iam dengan konsentrasi 0, 0,5, 1, 1,5 dan 2 g/L. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai laju korosi baja semakin menurun dan nilai efisiensi inhibisi korosi baja semakin meningkat. Nilai efisiensi inhibisi tertinggi yaitu 82,2 % pada konsentrasi inhibitor sebesar 2 g/L [8].

Menurut penelitian sebelumnya menggunakan kulit pisang jenis pisang kepok diekstrak dengan metode reflux, menggunakan pelarut 1 N HCl sebanyak 250 ml selama 3 jam dan dipekatkan. Konsentrasi yang digunakan sebesar 0.005, 0.01, 0.05, 0.10, 0.5, 1, 1.5 dan 2 %. Pengujian yang digunakan adalah metode kehilangan berat. Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa ekstrak kulit pisang efektif digunakan pada konsentrasi 2% [9].

Pada penelitian ini menggunakan baja karbon API 5L yang direndam dalam medium korosif NaCl 3% pada lima konsentrasi inhibitor yaitu, 0, 2, 4, 6 dan 8% dengan waktu perendaman selama 7 jam dengan suhu 40°C dan 80°C. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi inhibitor korosi ekstrak kulit pisang kepok terhadap laju korosi baja karbon API 5L pada suhu 40° dan 80°C yang direndam pada medium korosif NaCl 3%. Nilai efisiensi inhibisi dari ekstrak kulit pisang pada baja karbon API 5L. Sampel baja hasil korosi akan dikarakterisasi

dengan SEM untuk melihat struktur mikro, XRD untuk melihat fasa pada baja, dan EDS untuk melihat produk-produk korosi yang terjadi dan menentukan laju korosi menggunakan metode kehilangan berat untuk mengetahui laju korosi.

Penentuan laju korosi dan efisiensi inhibisi korosi ditunjukkan dihitung dengan menggunakan **Persamaan 1** dan **2**.

$$CR = \frac{kW}{AT\rho} \tag{1}$$

$$\eta = \frac{(CR_0 - CR_x)}{CR_0} \times 100\% \tag{2}$$

dimana CR = laju korosi, k = konstanta laju korosi, W = selisih massa, T = waktu perendaman, A = luas permukaan, ρ = massa jenis logam dan η = efisiensi inhibisi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas kimia, gelas ukur, labu takar, botol sampel, spatula, pipet tetes, corong, alumunium foil, jangka sorong, hot plate, benang nilon, neraca digital, rotatory vacum evaporator, alat pemotong baja, kertas amplas, blander, XRD, SEM dan EDS, sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit pisang kepok, baja karbon API 5L, Natrium klorida (NaCl) 3%, etanol 96%, dan akuades.

Ekstraksi Kulit Pisang Kepok

Pembuatan larutan inhibitor ekstrak kulit pisang kepok yaitu cara kulit pisang kepok dikeringkan sebanyak 3500 g di bawah sinar matahari bawah sinar matahari selama 4 hari untuk menghilangkan kadar air. Kulit pisang kepok yang telah kering dihaluskan dengan blender untuk

memudahkan dan memaksimalkan proses ekstraksi. Kulit pisang kepok yang telah dengan metode maserasi. halus diekstrak Maserasi merupakan metode ekstraksi dengan proses perendaman bahan dengan pelarut yang sesuai dengan senyawa aktif yang akan diambil dengan pemanasan rendah atau tanpa adanya proses Faktorpemanasan. faktor yang mempengaruhi ekstraksi antara lain waktu, suhu, jenis pelarut, perbandingan bahan dan pelarut, dan ukuran partikel. dengan metode maserasi memiliki kelebihan yaitu terjaminnya zat aktif yang diekstrak tidak akan rusak.

Kulit pisang kepok hasil meserasi dimasukkan ke dalam botol yang berisi etanol 96% selama 24 jam. Hasil perendaman disaring menggunakan kertas saring hingga diperoleh filtrat. Filtrat dari hasil meserasi diuapkan menggunakan alat penguat putar vakum (*rotary evaporator*) dengan kecepatan 200 rpm pada suhu 50 °C hingga menghasilkan ekstrak pekat.

Preparasi Sampel Baja

Baja API 5L dipotong dengan ukuran 8 x 8 x 5 mm³ sebanyak 11 buah. Permukaan baja dibersihkan dan dihaluskan menggunakan kertas amplas 100, 400, 800, 1500, dan 2000 grid untuk menghilangkan kotoran dan bekas goresan pada saat pemotongan. Baja dicelupkan ke dalam aseton untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada baja.

Perendaman Sampel dalam NaCl 3%

Pembuatan larutan NaCl dengan konsentrasi 3% yaitu 3 gram NaCl ditambahkan dengan aquabides sampai volume 100 ml. Pada tahap perendaman ini sampel yang digunakan ada 11 sampel, dimana 1 sampel *raw* dan 10 sampel ditambahkan inhibitor ekstrak kulit pisang

kepok. Kemudian masing-masing sampel direndam pada medium NaCl 3% dengan waktu perendaman 7 jam dan suhu perendaman 40 °C dan 80 °C.

Kode Sampel

Kode sampel yang digunakan untuk memudahkan penyajian dan analisis data ditunjukkan pada **Tabel 1.**

Analisis Laju Korosi

Perhitungan laju korosi dilakukan menggunakan metode kehilangan massa. Dengan cara menimbang terlebih dahulu massa sampel sebelum terkorosi kemudian sampel yang telah direndam dibersihkan dan dikeringkan, lalu menimbang massa akhir sampel. Sampel baja yang telah mengalami pengkorosian kemudian diuji menggunakan XRD yang bertujuan untuk mengetahui fasa dan produk-produk korosi yang terbentuk pada sampel dan SEM yang di lengkapi dengan EDS untuk mengetahui

struktur permukaan sampel dan melihat unsur-unsur kimia yang ada pada sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

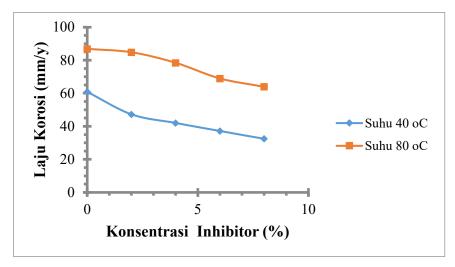
Perhitungan Laju Korosi

Hasil perhitungan laju korosi yang diperoleh menunjukkan bahwa laju korosi tertinggi terdapat pada sampel tanpa inhibitor dan laju korosi terendah terdapat pada sampel dengan inhibitor 8% pada suhu perendaman 40 °C dan 80 °C. Laju korosi tertinggi terjadi pada sampel tanpa inhibitor karena besi bereaksi secara mudah tanpa penghambat.

Berdasarkan **Gambar 1,** menunjukkan bahwa inhibitor bekerja dengan baik karena selisih antara sampel tanpa inhibitor dan dengan inhibitor sangat besar. Lalu pada sampel selanjutnya dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor, laju korosi pada sampel juga ikut menurun. Laju korosi pada medium korosif NaCl 3% dengan suhu 80°C lebih besar daripada laju korosi dalam medium korosif NaCl 3% suhu 40°C.

Kode sampel Suhu Konsetrasi No Keterangan (API 5L) (°C) (%)40 0 1 I-In 0% 2 2 II-In 2% 40 3 III-In 4% 40 4 4 IV-In 6% 40 6 Dengan perlakuan 5 V-In 8% 40 8 6 0 VI-In 0% 80 7 2 VII-In 2% 80 8 VIII-In 4% 4 80 Dengan perlakuan 9 6 IX-In 6% 80 10 80 8 X-In 8% 11 X-Raw Tanpa perlakuan

Tabel 1. Kode sampel penelitian



Gambar 1. Grafik hubungan laju korosi dengan konsentrasi inhibitor

Penambahan konsentrasi inhibitor juga mengakibatkan penurunan laju korosi pada masing-masing suhu perendaman. Pada suhu 40 °C laju korosi tertinggi ditunjukkan pada konsentrasi inhibitor 0% yaitu sebesar 60,91 mm/y. Selanjutnya pada konsentrasi 2%, 4%, 6%, dan 8% laju korosi semakin menurun, masing-masing sebesar 47 mm/y, 28 mm/y, 42,05 mm/y, 37,19 mm/y, dan 32,51 mm/y. Penurunan laju korosi ini dikarenakan adanya senyawa tanin yang ada dalam ekstrak kulit pisang kepok, dimana senyawa tanin tersebut dapat membentuk senyawa kompleks Fe-tanat permukaan besi. dengan Hal dikarenakan tanin telah teradsorpsi pada permukaan besi, adsorpsi ini akan menjadi semacam pembatas yang memisahkan permukaan besi dari medium korosif [3].

Pada suhu perendaman 80 °C laju korosi tertinggi ditunjukkan sampel pada konsentrasi inhibitor 0% yaitu sebesar 86,91 mm/y, sedangkan untuk sampel pada konsentrasi 2%, 4%, 6%, dan 8% menghasilkan laju korosi yang semakin menurun yaitu masing-masing sebesar 84,85 mm/y, 78, 45 mm/y, 68,97 mm/y, dan 63, 92 mm/y. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya, penurunan laju korosi yang cukup tajam antara sampel baja yang ditambahkan dapat menurunkan laju korosi [8]. Selain itu, menurut penelitian

sebelumnya, konsentrasi yang digunakan sebesar 0.005, 0.01, 0.05, 0.10, 0.5, 1, 1.5 dan 2 %, dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa ekstrak kulit pisang efektif digunakan pada konsentrasi 2% [9].

Pemberian inhibitor berperan mengurangi laiu korosi dan dapat meningkatkan nilai inhibisi. Efisiensi inhibisi terbesar di peroleh pada inhibitor 8% pada suhu perendaman 40 °C dan 80 °C, yaitu berturut-turut sebesar 46,63% dan 26,44%. Hal ini terjadi karena pada perendaman dengan medium korosif NaCl 3% dengan konsentrasi 8% senyawa tanin dalam ekstrak kulit pisang kepok membentuk lapisan tipis yang relatif banyak dan merata sehingga dapat menghalangi masuknya ion-ion korosif pada permukaan baja karbon [1].

Hasil Analisis XRD

Analisis XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk dengan difraktometer X'Pert Pro menggunakan radiasi Cu-kα pada rentang 20 ° hingga 70 ° dengan ukuran langkah 0,02 °. Pengujian XRD dilakukan pada sampel API5L raw , API5L-40-0, API5L-40-8, API5L-80-0, dan API5L-80-8, serta dilakukan analisis kualitatif terhadap hasil XRD. Software yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah match. Seperti yang ditunjukan pada Gambar 2 merupakan difragtogram hasil analisis XRD

bahwa pada perendaman dengan menggunakan inhibitor puncak-puncak difraksi menjadi berkurang akibat penambahan inhibitor sehingga dapat disimpulkan bahwa inhibitor yang digunakan bekerja.

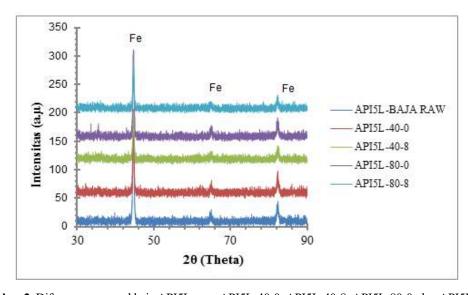
Berdasarkan hasil analisis pada sampel baja API 5L raw terdeteksi 3 puncak (Fe) tertinggi yang merupakan hasil dari pencocokan dengan menggunakan *software match* dengan parameter yang digunakan pada metode *search match analysis* adalah 2θ (°) dan intensitas (cacahan) dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Selanjutnya pada sampel baja API 5L-40-0 terdeteksi 3 puncak (Fe) tertinggi yang merupakan hasil dari pencocokan dengan menggunakan *software match* dengan parameter yang digunakan pada metode *search match analysis* adalah 2θ (°) dan intensitas (cacahan) dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Pada sampel baja API 5L-40-8 terdeteksi 3 puncak (Fe) tertinggi yang merupakan hasil

dari pencocokan dengan menggunakan software match dengan parameter yang digunakan pada metode search match analysis adalah 2θ (°) dan intensitas (cacahan) dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Kemudian sampel baja API 5L-80-0 dan API5L-80-8 terdeteksi 3 puncak (Fe) tertinggi yang merupakan hasil dari pencocokan dengan software menggunakan match dengan parameter yang digunakan pada metode search match analysis adalah 2θ (°) dan intensitas (cacahan) dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6. Walaupun semua sampel membentuk fasa yang sama, tetapi memiliki perbedaan yang terletak pada puncak dan intensitas (cps) dari masing-masing sampel. Untuk sampel API 5L-40-8 dan API 5L-80-8 memperlihatkan puncak Fe tinggi dengan intesitas yang besar yang mengindikasikan bahwa laju korosi lebih kecil dibandingkan dengan sampel API5L-40-0 dan API5L-80-0. Intensitas kecil menunjukkan bahwa laju korosi lebih besar [10].



Gambar 2. Difraogram sampel baja API5L-raw, API5L-40-0, API5L-40-8, API5L-80-0, dan API5L-80-8

Tabel 2. Perbandingan hasil karakterisasi XRD pada baja API 5L raw dengan data *match*

Tabel 4. Perbandingan hasil karakterisasi XRD pada sampel API5L-40-8 dengan data *match*

Data per	nelitian	Data st		Fasa	Data pe	nelitian	Data st		Fasa
2 0 (°)	Int (cps)	2 0 (°)	Int (cps)		2 0 (°)	Int (cps)	2 0 (°)	Int (cps)	
44,612	100	44,60	100	Iron	44.60	100	44,60	100	Iron
64,93	71	64,93	54,5	Iron	64.87	19	64,78	18,3	Iron
82,23	87	82,17	92,4	Iron	82.25	43	81,90	42	Iron

Tabel 3. Perbandingan hasil karakterisasi XRD pada sampel API5L-40-0 dengan data *match*

Tabel 5. Perbandingan hasil karakterisasi XRD pada baja API5L-80-0 dengan data *match*

Data per	nelitian	Data st		Fasa	Data per	nelitian	Data st		Fasa
2 0 (°)	Int (cps)	2 0 (°)	Int (cps)		2 0 (°)	Int (cps)	2 0 (°)	Int (cps)	
44,622	100	44,73	100	Iron	44.653	100	44,57	100	Iron
64,81	57	64,71	54,7	Iron	65.02	23	65	20,4	Iron
82,28	85	82,17	85,6	Iron	82.33	45	82,20	43,7	Iron

Tabel 6. Perbandingan hasil karakterisasi XRD pada baja API5L-80-8 dengan data *match*

Data penelitian		Data star	Fasa	
2 0 (°)	Int (cps)	2 0 (°)	Int (cps)	
44.71	100	44,46	100	Iron
64.76	26	64,70	22,3	Iron
82.155	55	81,95	46,5	Iron

Hasil Analisis SEM

Pengujian ini dilakukan di Pusat Penelitian Fisika LIPI menggunakan alat HITACHI FLEXSEM 100. Sampel yang dilakukan pengujian SEM adalah sampel API 5L Raw, API5L-40-0, API5L-40-8.API5L-80-0 dan API5L-80-8. Berdasarkan uji SEM elektron sekunder menghasilkan topografi dari benda yang dianalisis, permukaan yang tinggi berwarna lebih cerah dari permukaan rendah, sedangkan backs cattered electron memberikan perbedaan berat molekul dari

atom-atom yang menyusun permukaan, atom dengan berat molekul lebih besar akan berwarna lebih cerah dari pada atom dengan berat molekul rendah [11].

Berdasarkan hasil analisis SEM terlihat bahwa sampel baja yang digunakan telah mengalami korosi setelah dilakukan perendaman. Itu terlihat dari permukaan sampel API5L-40-0, API5L-40-8, API5L-80-0 dan API5L-80-8, yang tampak berbeda dengan sampel API5L raw dengan skala 500 µm. Pada sampel API 5L raw terlihat rata tanpa adanya produk korosi,

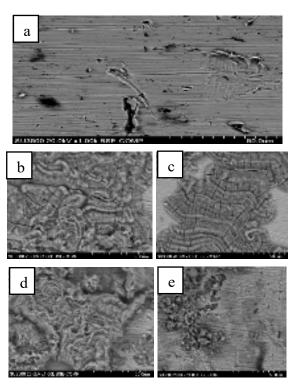
namun pada sampel yang telah dilakukan perendaman baik menggunakan inhibitor atau pun tidak menggunakan inhibitor terbentuk butir, lubang, hingga cekungan akibat terkorosi. Hasil uji SEM pada suhu perendaman 40 °C dan 80 °C untuk sampel API5L *raw*, API5L-40-0, API5L-40-8, API5L-80-0, dan API5L-80-8 ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Gambar 3 (a) merupakan hasil analisis pada sampel API5L raw dengan perbesaran 1000x, adanya garis-garis halus yang terlihat hal ini dikarenakan pengaruh dari pengamplasan. Masih terlihat bahwa pada permukaan baja belum ada retakan, cekungan dan juga gumpalan. Namun, terlihat adanya lubang pada sampel. Tujuan

dilakukan uji SEM pada sampel API5L raw ini adalah sebagai acuan dan pembanding untuk sampel-sampel yang telah dilakukan dengan berbagai perlakuan.

Gambar 3 (b) – 4 (e). Terlihat pada permukaan baja adanya retakan, gumpalan dan terlihat adanya lubang pada sampel yang menandakan bahwa sampel-sampel tersebut telah mengalami korosi.

Hasil SEM ini memperkuat hasil perhitungan efisiensi inhibitor dimana semakin bertambah besarnya konsentrasi inhibitor ekstrak kulit pisang kepok yang digunakan maka semakin rendah laju korosi yang dihasilkan sehingga jika laju korosi semakin rendah maka efisiensi inhibitor semakin tinggi [12].



Gambar 3. Hasil uji SEM dari (a) API5L *raw,* (b) API5L-40-0, (c) API5L-40-8, (d) API5L-80-0, dan (e) API5L-80-8

Gumpalan yang dihasilkan tidak tersebar merata pada permukaan sampel. Hal ini dikarenakan penyebaran unsur yang tidak merata, dimana terdapat bagian permukaan logam yang kekurangan unsur Kromium (Cr) dan Nikel (Ni) sehingga mudah terserang korosi. Elektron-elektron yang terdapat pada logam akan bereaksi dengan oksigen, sehingga sampel akan kekurangan elektron dan terkorosi [13].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa konsentrasi inhibitor yang efektif digunakan sebagai inhibitor pada baja API 5L adalah konsentrasi 8% baik pada suhu perendaman 40 dan 80 °C yaitu didapatkan laju korosi terkecil, yakni berturut-turut 32.505 mm/y dan 63.927 mm/y. Efisiensi inhibitor tertinggi ekstrak kulit pisang kepok dalam medium korosif NaCl 3% terdapat pada konsentrasi 8% pada suhu perendaman 40 °C yaitu sebesar 43,63 %. Hasil analisis XRD dari sampel API5L-40-0, API5L-40-8, API5L-80-0, dan API5L-80-8 didapatkan fasa besi (Fe). Dari hasil uji SEM sampel API5L-40-0 dan API5L-80-0 lebih terkorosi dibandingkan sampel API5L-40-8 dan API5L-80-8 hal ini dibuktikan dengan adanya retakan yang hampir merata di seluruh permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Sari, S. Handani, and Y. Yetri, "Pengendalian laju korosi Baja St-37 dalam medium asam klorida dan natrium klorida menggunakan inhibitor ekstrak daun teh (Camelia sinensis)," J. Fis. Unand, Vol. 2, No. 3, pp. 204–211, 2013.
- [2] E. S, Arbintarso, "Perilaku korosi pada sambungan plat pembentuk bodi mobil," *Jurnal Teknologi Technoscientia*, Vol. 2, No. 1, pp. 61–69, 2009.
- [3] F. Ali, D. Saputri, and R. F. Nugroho, "Pengaruh waktu perendaman dan konsentrasi ekstrak daun jambu biji (*psidium guajava*, *linn*) sebagai inhibitor terhadap laju terhadap laju korosi baja SS 304 dalam larutan garam dan asam," *Tek. Kim.*, Vol. 20, No. 1, pp. 28–37, 2014.
- [4] N. L. Hajati, "Kajian Pengaruh Tebal Lapisan Coating pada Laju Korosi Tulangan Beton," *Media Teknik*

- Sipil., pp. 75-82, 2006.
- [5] S, Handani dan M. S, Elta "Pengaruh inhibitor ekstrak daun pepaya terhadap korosi baja karbon *schedue* 40 grade B erw dalam medium air laut dan air tawar," J. Ris. Kim. Vol. 5, No. 2, 2012, pp. 175–179, 2012.
- [6] L. Rumiyanti, A. Rasitiani, dan E. G Suka, "Skrinning fitokimia ekstrak daun sirsak (*Annona muricata*) dan pengaruhnya terhadap laju korosi baja karbon ST 37," *J. Teor. dan Apl. Fis.*, Vol. 7, No. 1, pp. 7–12, 2019.
- [7] F. Nugroho, "Penggunaan inhibitor untuk meningkatkan ketahanan korosi pada baja karbon rendah," *J. Angkasa*, Vol. 7, No. 1, pp. 151–158, 2015.
- [8] S. U. Pardede, "Ekstrak kulit pisang (*Musa paradisiaca*) sebagai *green corrosion* inhibitor pada baja karbon rendah dalam larutan HCl 0 . 5 M dan 1 M," Vol. 6, No.1, pp. 1–6, 2019.
- [9] N. Gunavathy and S. C. Murugavel, "Corrosion inhibition studies of mild steel in acid medium using Musa acuminata fruit peel extract," *E-Journal Chem.*, Vol. 9, No. 1, pp. 487–495, 2012.
- [10] M. Kardel, F. Taube, H. Schulz, W. Schütze, and M. Gierus, "Different approaches to evaluate tannin content and structure of selected plant extracts Review and new aspects," *J. Appl. Bot. Food Qual.*, Vol. 86, No. 1, pp. 154–166, 2013.
- [11] S. Bahri, "Penghambatan korosi baja beton dalam larutan garam dan asam dengan menggunakan campuran senyawa butilamina dan oktilamina," *Gradien*, Vol. 3, No. 1, pp. 231–236, 2007.
- [12] L. Salami, O. M. Fadayini, R. J. Patinvoh, and E. Ugba, "Comparative adsorption mechanism of Musa Sapientum peels extracts for

Titan Nurahman, dkk.: Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Korosi Ekstrak Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca L*) Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Api 51 Pada Suhu Perendaman 40°C Dan 80°

- green corrosion inhibition of mild steel in Sulphuric acid.," *Int. J. Appl. Sci. Eng. Res.*, Vol. 4, No. 5, pp. 785–796, 2015.
- [13] V. L. H. Vlack, Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan).Logam), Edisi kelima. Jakarta: Erlangga, 1994.

Rancang Bangun Sistem Hidung Elektronik Berbasis Sensor Gas MQ untuk Mengevaluasi Kualitas Madu

Minarni Shiddiq^{(a)*}, Annisa Fadlilah^(b), Sinta Afria Ningsih^(c), dan Ikhsan Rahman Husein^(d)

Jurusan Fisika Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia, 28293 Email :^(a*) minarni.shiddiq@lecturer.unri<u>.</u>ac.id, ^(b)annisafadlillah92@gmail.com, ^(c)sintaafria16@gmail.com, ^(d)ikhsanrahman.a@gmail.com

Diterima (01 Januari 2021), Direvisi (27 Juli 2021)

Abstract. Honeys come in many varieties based on quality attributes and region origins. Electronic nose systems have been adopted and used to classify honey types based on physicochemical parameters. This study was aimed to build a low cost electronic nose (e-nose) based on metal oxide semiconductor (MOS) gas sensors, and then used to evaluate the qualities of two types of honeys and one non honey based on sugar contents and pH values. Six gas sensors of MQ modules namely MQ 2, MQ 3, MQ 4, MQ 5, MQ 6, MQ 9, and an Arduino microcontroller were used in this system. Software of Arduino IDE, PLX-DAQ, and Python were applied to record output voltages of each sensor, saved in Excel format, and to calculate trapezoid areas respectively. The honey types were a branded honey, a local forest honey, and date syrup, respectively. The results show higher output voltages for three sensors which are MQ 3, MQ 4, and MQ 6. The six sensors are able to differentiate between the two honey types and non honey. Non honey, date syrup has the lowest trapezoid area. This could be caused by its higher pH value. The results also show that higher sugar contents give higher trapezoid area which is shown by the branded honey. However, response of each sensor for honey is different than both local type and date syrup. This shows that volatile compounds can cause higher trpeazoid area for the branded honey.

Keywords: Electronic nose, honey, MQ gas sensor, pH values, sugar content

Abstrak. Madu tersedia di pasaran bervariasi dalam hal kualitas dan asal daerah. Sistem hidung elektronik telah diadopsi dan dikembangkan untuk mengklasifikasi kualitas madu berdasarkan sifat fisika dan kimia madu. Penelitian ini bertujuan membangun sistem hidung elektronik mengunakan sensor gas seri MQ dalam bentuk modul, selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi dua jenis madu dan satu jenis bukan madu berdasarkan kadar gula dan nilai pH. Enam sensor yaitu MQ2, MQ3, MQ4, MQ5, MQ6, MQ9, dan sebuah mikrokontroler Arduino digunakan pada sistem ini. Software arduino IDE, PLX-DAQ, dan Python masingmasing dirancang untuk proses akuisisi, konversi tegangan keluaran dalam format excel, dan perhitungan luas area trapezoid. Jenis-jenis madu tersebut meliputi madu bermerk Nasional yang memenuhi SNI 01-3545-2013, madu hutan lokal, dan sari kurma. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tiga dari enam sensor gas yang digunakan yaitu MQ 3, MQ 4, dan MQ 6 menghasilkan respon tegangan yang lebih tinggi. Keenam sensor dapat membedakan larutan dari dua jenis madu yaitu madu SNI, madu hutan, dan sari kurma. Non madu sari kurma menghasilkan luas area trapezoid yang lebih rendah dibanding kedua jenis madu. Ini dapat disebabkan karena nilai pH non madu sari kurma yang lebih tinggi. Hasil juga menunjukkan bahwa kadar gula yang tinggi yaitu Madu SNI menghasilkan luasan trapezoid yang lebih tinggi. Namun respon setiap sensor untuk madu SNI berbeda dengan respon sensor untuk jenis madu hutan dan sari kurma, yang menunjukkan kandungan volatil berbeda juga menyebabkan tingginya luas trapezoid madu SNI.

Kata kunci: Hidung elektronik, kadar gula, madu, nilai pH, sensor gas MQ

PENDAHULUAN

Metode penentuan mutu dan keaslian berbagai produk makanan secara elektronik lebih disukai dibanding metode manual dan bersifat tradisional karena obiektif. otomatis, cepat, data dapat disimpan untuk evaluasi lebih lanjut. Saat ini metode nondestruktif yang menirukan cara kerja panca indera manusia yang disebut indera (artificial senses) buatan telah dikembangkan untuk tujuan tersebut. Indera buatan tersebut antara lain computer vision dengan kamera, hidung elektronik (e-nose) dengansensor gas, dan lidah electronik (etongue) dengan voltametri [1]. Beberapa tahun terakhir, gabungan dari indera buatan digunakan untuk mengevaluasi kualitas produk makanan yang lebih akurat [2, 3]

Pengembangan hidung elektronik telah banyak dilakukan untuk kualitas bahan makanan dan produk pertanian, terutama untuk membangun sistem hidung elektronik yang ekonomis, kompak, dan portabel. Hidung elektronik adalah sebuah sistem elektronik yang terdiri dari larik sensorsensor gas atau aroma yang diintegrasikan dengan rangkaian sistem kendali dan program komputer sehingga dapat menirukan fungsi indera penciuman manusia. Hidung elektronik mempunyai aplikasi yang luas pada bidang medis, lingkungan, pertanian, dan farmasi [4].

Kualitas madu merupakan faktor utama yang digunakan konsumen dalam memilih suatu produk madu. Madu adalah pemanis alami yang dihasilkan oleh lebah madu dari berbagai nektar tanaman. Nilai gizi yang terkandung dalam madu berbeda dengan jenis pemanis lainnya sehingga madu banyak digunakan pada bidang kesehatan dan industri makanan [5]. Kualitas madu dapat ditentukan secara tradisional dengan uji organoleptik berdasarkan warna, rasa, dan aroma dengan mengunakan panca indera konsumen. Cara lainnya adalah pengujian secara sederhana seperti madu

asli yang tidak terbakar jika diletakkan pada kapas, tidak mudah diserap oleh kertas, atau tidak mudah larut dalam air hangat. Uji mengunakan alat sederhana seperti refraktometer Brix juga banyak dilakukan khususnya bagi peternak madu untuk menentukan kadar gula atau kadar air madu. Uji laboratorium berdasarkan sifat fisika dan kimia madu seperti kadar keasaman (nilai pH), kadar air atau kadar gula, dan kandungan kimia lainnya juga sering dilakukan [6, 7]. Metode yang lebih akurat adalah metode spektroskopi seperti spektroskopi FTIR dan UV-VIS [8]. Metode organoleptik bersifat subyektif dan personil bergantung pada berpengalaman, sedangkan metode dengan brixmeter bersifat destruktif dan manual. Metode spektroskopi memerlukan personil yang terlatih dan waktu yang lama, serta cenderung destruktif.

Aroma madu seperti halnya makanan lainnya adalah salah satu sifat khas yang sering digunakan konsumen untuk memilih suatu produk. Aroma ini disebabkan oleh senyawa volatil yang terdapat pada madu diantaranya yaitu aldehida, keton, asam karbksilat, alkohol, hidrokarbon, ester, senyawa norisoprenoid, senyawa terpena dan benzena [9, 10].

Aroma yang dihasilkan madu juga dapat digunakan untuk menentukan asal dari sumber nektarnya. Nektar dan sumber sari tanaman mempengaruhi sifat fisika dan kimia madu yang menjadi parameter untuk menentukan kualitas madu [10]. Oleh sebab itu, hidung elektronik dapat digunakan untuk menentukan kualitas madu berdasarkan aroma yang dikeluarkan oleh senyawa volatil setiap jenis madu.

Sistem hidung elektronik secara umum terdiri dari 6 bagian utama. Bagian-bagian tersebut yaitu bagian sampel, larik sensor gas, pengkondisi sinyal, sistem kendali, program akuisisi data, pengenalan pola dan metode klasifikasi [11]. Bagian sampel berupa ruang sampel dan sistem aliran

fluida gas dari sampel menuju ruang sensor. Larik sensor berupa kumpulan sensor gas yang mengubah gas menjadi arus listrik dan tegangan listrik. Tegangan listrik diperkuat disaring oleh rangkaian penguat, kemudian menjadi input mikrokontroler Arduino. Program IDE arduino program akuisisi data lainnya dibuat untuk kemudahan perekaman dan penyimpangan data tegangan. Selanjutnya pengenalan pola (pattern recognition) dan data analysis untuk klasifikasi dilakukan [12].

Pada penelitian ini, sistem hidung elektronik didesain dan dibuat untuk mengevaluasi kualitas madu berdasarkan kadar gula dan nilai pH. Sistem ini mengunakan 6 sensor gas seri MQ dengan sensitivitas gas yang berbeda. Jenis sensor ini tersedia dalam bentuk modul sehingga memungkinkan untuk membangun sistem hidung elektronik yang ekonomis dan sederhana. Program Python digunakan karena bersifat open source dan memberi kemudahan dalam pembuatan program pengolahan data tegangan dan pengambilan keputusan mengunakan artificial inteligence (AI) dibanding platform perangkat lunak lainnya [13].

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen yaitu mengembangkan sistem elektronik mengunakan sensor MOS (metal oxide semiconductor) seri MO untuk mengevaluasi kualitas madu. Sistem ini terdiri dari beberapa bagian utama yang unjuk kerja sensor gas MOS pada sistem elektronik digunakan hidung menentukan kualitas madu. Sistem hidung elektronik yang dibangun terdiri dari ruang sampel, ruang sensor, dan ruang arduino, mikrokontroler Arduino. kemudian Selanjutnya program akuisisi data dan analisa data dibuat untuk automatisasi [11, 12].

Tabel 1. Sensor gas MQ yang digunakan*

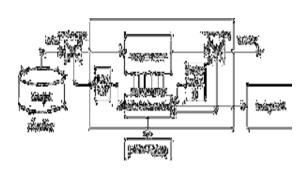
Jenis	Sensitivitas utama terhadap gas
MQ 2	Methane, Butane, LPG, Smoke
MQ 3	Alkohol, Ethanol, Smoke
MQ 4	Methane, Propane, Butane
MQ 5	Natural Gas, LPG
MQ 6	LPG, butane
MQ 9	CO, flammable gas

• Sumber:hwsensor.com, [14]

Bahan dan alat yang digunakan adalah dua jenis madu dan satu non madu, enam sensor gas seri MQ dalam bentuk modul, mikrokontroler Arduino Atmega 2560, sensor DHT 11, LM 317, kabel jumper, power supply, perangkat lunak akuisisi data, dan laptop.

Tabel 1 memperlihatkan 6 sensor gas logam oksida yang digunakan yaitu seri MQ2, MQ3, MQ4, MQ 5, MQ6, dan MQ9. Sensor-sensor ini dipilih karena tersedia dalam bentuk modul, mudah diintegrasikan ke mikrokontroler Arduino, berhubungan dengan senyawa volatil yang dikeluarkan madu pada umumnya [9, 10].

dilakukan Penelitian ini dalam beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut adalah persiapan alat dan sampel, perakitan perangkat keras sistem hidung, pembuatan perangkat lunak akuisisi dan analisa data. Tahapan selanjutnya adalah persiapan sampel dan pengukuran kadar gula dan nilai pH, kalibrasi sistem, dan pengukuran tegangan keluaran setiap sensor untuk ketiga jenis sampel. Tahapan berikutnya adalah menghitung luas trapezoid dari fungsi tegangan keluaran terhadap waktu untuk setiap jenis sensor pada ketiga jenis sampel. Tahapan terakhir adalah menganalisa hubungan antara luas trapezoid dan kadar gula dan nilai pH.



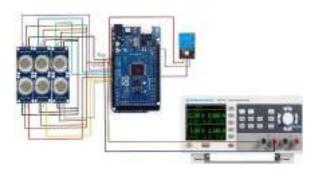
Gambar 1. Diagram blok sistem

Pembuatan Sistem Hidung Elektronik

Sistem ini terdiri dari dua bagian ruang (chamber) yaitu ruang sampel dan ruang sensor. Gambar 1 memperlihatkan skema hidung elektronik dari sistem dibangun. Ruang sensor dibuat dari kotak akrilik yang berukuran 13x10x18 cm yang terbagi menjadi dua bagian. Bagian atas yaitu ruang larik sensor berukuran 13x10x8 cm yang terdiri dari 6 modul sensor gas dan sensor DHT 11, serta pompa vakum. Bagian bawah berukuran 13x10x10 cm terdiri dari arduino dan perkabelan (kabel jumper). Kotak akrilik ini dibagi dua bertujuan agar ruangan sensor terkontaminasi oleh bau kabel. Saat sensor gas dioperasikan, ruang larik sensor akan panas. Jika pengkabelan berada dalam ruang sensor, kabel akan panas dan cepat rusak, sehingga bau kabel dapat memasuki ruang di ruang larik sensor.

Komponen penunjang pada sistem ini antara lain adalah pompa vakum, *power supply*, pompa vakum digunakan pada sistem ini untuk membersihkan ruang larik sensor dari gas yang tersisa (*purging*). Sistem ini membutuhkan *power supply* eksternal untuk mencatu enam sensor gas seri MQ dan komponen lainnya.

Aliran aroma atau gas dari senyawa volatil dari madu menuju larik sensor dihubungkan oleh sistem aliran fluida (headspace) yang terdiri dari ruang sampel, pompa vakum terintegrasi dengan Arduino



Gambar 2. Koneksi larik sensor gas MQ ke Arduino

dan selang oksigen. Ruang sampel berupa toples silinder yang bagian atas penutupnya dilubangi untuk tempat selang dan pompa vakum. Toples dipilih yang mempunyai penutup dengan ulir yang banyak sehingga ketika ditutup akan kedap udara. Penutup juga digunakan agar sampel madu dalam cawan petri dapat dimasukkan. Pompa vakum bekerja secara otomatis berdasarkan waktu yang sudah diatur pada program arduino dengan bantuan LM 317 sebagai gerbang logikanya. Selang berfungsi sebagai transfusi gas dari ruang sampel ke ruang larik sensor gas.

Gambar 2 memperlihatkan koneksi pin dari setiap sensor gas ke papan mikrokontroler Arduino. Sistem hidung elektronik mengunakan mikrokontroler Arduino Atmega 2560 untuk pengendali ke enam sensor. Sensor gas seri MQ sudah dalam bentuk modul yang telah mempunyai rangkaian pengkondisi sinyal, yang dapat melalui potensiometer sehingga mempunyai pembacaan penguatan sinyal optimal. Arduino Atmega 2560 [15] dipilih untuk keleluasan pengunaan masukan analognya yang berjumlah 16.

Perancangan Program Akuisisi Data

Program akuisisi data diperlukan dalam sistem hidung elektronik untuk pengukuran tegangan keluaran dari setiap sensor. Alur proses akuisisi data diperlihatkan pada **Gambar 3**. Perangkat lunak yang digunakan adalah arduino IDE, *Parallax*

Data Acquisition (PLX-DAQ) dan Python. Arduino IDE digunakan untuk mengambil kode yang dapat dibaca manusia dan menerjemahkannya menjadi kode yang dapat dibaca mesin sehingga dapat mikrokontroler dieksekusi oleh untuk menjalankan kendali rangkaian dan aliran gas dari sampel ke larik sensor [12, 14]. PLX-DAQ adalah perangkat lunak yang menghubungkan microsoft excel dengan mikrokontroler untuk memperoleh data. Perangkat lunak akuisisi data paralaks memiliki fitur untuk menganalisis data yang dikumpulkan dari sensor dengan menggunakan spreadsheet [16].

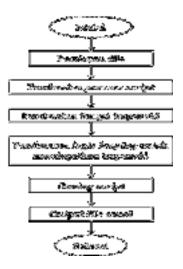
Data yang diperoleh menggunakan aplikasi PLX-DAQ dalam bentuk bit dikonversi ke nilai tegangan menggunakan **Persamaan 1**. Tegangan referensi adalah nilai tegangan Arduino sebesar 5 volt.

$$v = Nilai \ bit \ \frac{Tegangan \ referensi}{1023}$$
 (1)

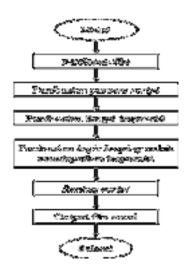
Data dalam bentuk tegangan diolah menggunakan bahasa Pvthon untuk menentukan luasan daerah dibawah kurva dengan metode integrasi tegangan L numerik aturan trapezoid mengunakan Persamaan 2. Flowchart program pengolahan data untuk menghitung luasan daerah dibawah kurva (luas trapezoid) ditunjukkan pada Gambar 4. tegangan dibaca di platform Python sebagai nilai y, dimana y = f(x) dan x sebagai jumlah

$$L = \frac{h}{2} [f(x_0) + 2 \sum_{i=0}^{n-1} f(x_i) + f(x_n)]$$
 (2)

Pada **Gambar 4**, luasan daerah L ditentukan menggunakan *library* Python yaitu *scipy.integrate*. Setelah itu, program dijalankan pada *Command Prompt Windows*, selanjutnya nilai luasan daerah trapezoid diperoleh dalam bentuk *file* excel [17].



Gambar 3. Alur proses akuisi data



Gambar 4. Flowchart menghitung luasan daerah dibawah kurva tegangan versus waktu melalui pendekatan luas trapezoid

Persiapan Sampel

Sampel madu yang digunakan pada penelitian ini adalah dua jenis madu dan 1 non madu. Ketiga sampel dinamai masingmasing sampel A yaitu madu bermerek Nasional yang memenuhi SNI 01-3545-2013, sample B yaitu madu hutan lokal yang langsung diambil dari peternak madu, dan sampel C sari kurma. Sebelum sampel dideteksi menggunakan sistem hidung elektronik, kadar gula dan pH ketiga jenis madu diukur terlebih dahulu. Kadar gula

diukur menggunakan Refraktometer-Brix dan pH diukur menggunakan pH meter digital [18]. Nilai pH dan kadar gula sampel A, B, dan C dijelaskan pada **Tabel 2**. Pada **Tabel 2**, sampel C mempunyai nilai pH yang tinggi.

Pengambilan Data Tegangan Keluaran

Sampel diletakkan dalam cawan petri sebanyak mL agar aroma menyebar karena sampel berupa cairan membutuhkan permukaan yang Cawan petri dimasukkan kedalam *chamber* berbentuk tabung. Aroma dihisap menggunakan pompa vakum melewati selang gas pada waktu ke 180 detik yang telah diatur pada kodingan arduino dengan LM 317 sebagai gerbang logikanya. Aroma masuk ke ruang sensor gas dan dideteksi selama 60 detik. Setelah itu, aroma sampel dikeluarkan menggunakan pompa vakum. Data ditampilkan pada komputer secara real time dengan bantuan PLX-DAQ.

Waktu yang dibutuhkan dalam sekali pengukuran yaitu 300 detik. Waktu sebelum mendeteksi aroma sampel dari 1-180 detik, Keadaan ini disebut steady state, dimana grafik terlihat konstan. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada aroma lain yang terdapat pada kotak sensor gas. Waktu 180 detik juga merupakan waktu pemanasan sensor gas, karena sensor gas dapat mendeteksi aroma dengan baik saat sensor sudah panas.

Waktu 241- 300 detik adalah waktu pengeluaran aroma yang ada dalam kotak sensor gas, grafik mulai turun.

Tabel 2. Karakteristik kimia Sampel Madu

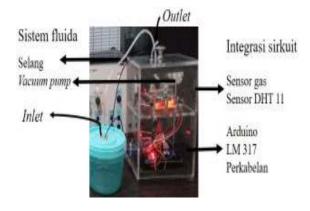
No	Kode	Merek	Kadar	pН
			Gula	
1	A	Nasional	76 %	3,7
2	В	Madu	62 %	3,4
		Hutan		
3	C	Sari kurma	72 %	4,4

Aroma yang terdapat dalam kotak sensor gas dibuang melalui *pompa vakum* ke arah luar. Namun data yang digunakan hanya saat mendeteksi aroma sampel, yaitu data di detik 175-245, saat waktu inilah terlihat kenaikan dan penurunan grafik yang menunjukkan respon sensor saat mendeteksi aroma, data ini disebut *data collecting*.

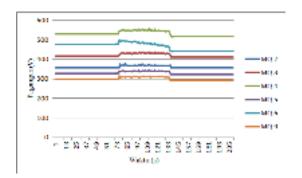
HASIL DAN PEMBAHASAN

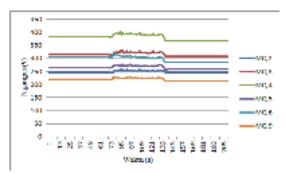
Prototipe sistem hidung elektronik yang telah dibangun diperlihatkan pada pada **Gambar 5**. Sistem ini terdiri dari dua bagian yaitu ruang sampel dan ruang sensor beserta Arduino, selanjutnya sistem aliran fluida dari aroma madu dari ruang sampel ke ruang sensor mengunakan pompa vakum. Sistem dilengkapi perangkat lunak yang digunakan untuk pembacaan tegangan setiap sensor (Arduino IDE), konversi data bit dari PLX-DAQ) menjadi tegangan dan disusun dalam file excel, serta perhitungan luas daerah trapezoid setiap fungsi tegangan (*Python*).

Respon setiap sensor gas MQ berbeda saat mendeteksi sampel. Hal ini menunjukan sensitivitas sensor gas yang digunakan. Keenam sensor pada sistem hidung elektronik mampu merespon dengan aroma madu dengan baik seperti ditunjukkan oleh **Gambar 6**.



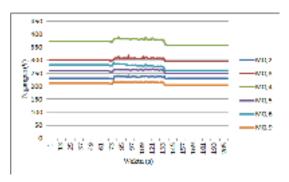
Gambar 5. Prototipe sistem hidung elektronik





Gambar 6. Respon sensor gas pada serial plotter Ardunio untuk Madu SNI (Madu A)

Gambar 7. Respon sensor gas pada serial plotter Ardunio untuk Madu Hutan (Madu B)



Gambar 8. Respon sensor gas pada serial plotter Ardunio untuk Sari Kurma

Gambar 6, 7, dan 8 memperlihatkan respon ke enam sensor terhadap proses pengambilan data masing-masing madu SNI, madu hutan, dan sari kurma (non madu) setelah data bit diubah ke data tegangan. Sensor MQ 4 mempunyai tegangan keluaran yang lebih tinggi untuk ketiga jenis sampel, diikuti oleh sensor MQ 3 untuk Madu A dan sari kurma, dan MQ 6 untuk madu A. Sensor MQ 2 dan MQ 5 mempunyai tegangan keluaran yang lebih kecil, sementara sensor MQ 9 memperlihatkan respon yang paling kecil.

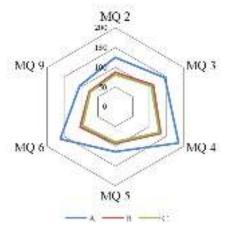
Respon masing-masing sensor dianalisa dalam bentuk luasan daerah dibawah kurva tegangan terhadap waktu. Luasan daerah dibawah kurva dihitung menggunakan metode integrasi numerik aturan trapezoid sehingga disebut luasan daerah atau luas trapezoid. Metode integrasi numerik aturan trapezoid digunakan pada

penelitian ini karena memiliki error yang kecil.

Tabel 3 memperlihatkan nilai luas trapezoid setiap sensor pada setiap jenis madu dan non madu. Nilai rata-rata luas trapezoid paling tinggi dimiliki oleh jenis madu bermerk nasional dimana nilai pH dan kadar gulanya sudah memenuhi SNI 01-3545-2013 (**Tabel 1**) diikuti oleh madu hutan yaitu sampel B, dan yang terendah diperoleh untuk sari kurma (sampel C) walaupun pH dan kadar gulanya lebih tinggi dari madu B. Sensor MQ 4 memberi respon paling tinggi diikuti sensor MQ 6 dan MQ 3. Sensor MQ 6 memperlihatkan perbedaan nilai antara ketiga sensor lebih tinggi atau dapat membedakan ketiga jenis sampel lebih baik.

Tabel 3. Nilai luas	trapezoid setiap sensor terhadap
sampel	

Jenis sensor gas	A	В	C
MQ 2	124,70	87,62	81,28
MQ 3	145,24	110,64	105,09
MQ 4	185,20	133,77	128,92
MQ 5	114,28	92,80	89,39
MQ 6	162,14	103,27	96,25
MQ 9	104,82	77,24	73,41
Rata-rata	139,40	100,89	95,72



Gambar 9. Grafik hubungan luasan daerah trapezoid setiap sensor gas

Dari **Tabel 3**, pola radar dari ke enam sensor gas MQ terhadap tiga sampel madu berdasarkan luas trapezoid dibuat seperti diperlihatkan pada **Gambar 9**. Setiap pola yang terbentuk dari masing-masing sampel merupakan susunan kenaikan tegangan keluaran tiap sensor gas yang terpapar aroma atau gas dari sampel madu yang diwakili dengan luasan daerah trapezoid. **Gambar 9** lebih menjelaskan bahwa sensor gas yang mempunyai sensitivitas lebih tinggi terhadap ketiga jenis madu adalah MQ 4, MQ 6 dan MQ 3.

Sensor gas MQ 4, MQ 6, dan MQ 3 mempunyai respon sangat tinggi dibanding sensor lainnya. Jenis gas utama yang dapat di deteksi oleh setiap sensor diberikan oleh **Tabel 1**. Namun setiap sensor dapat mendeteksi jenis gas lainnya namun dengan sensitivitas lebih kecil. Menurut referensi [10], senyawa volatil yang dikandung oleh berbagai jenis madu mencapai 59 jenis senyawa, 13 diantaranya termasuk dalam kelompok alkohol, 11 senyawa aldeheida, 10 senyawa asam, 9 senyawa ester, 4 senyawa keton, 3 senyawa heterosiklik, 3 senyawa fenol, dan 2 senyawa alkana. Sensor MQ 4, MQ 6, dan MQ 3 mempunyai sensitivitas pada senyawa alkana yaitu propana dan butana yaitu merupakan komposisi utama dari gas Liquefied Petroleum Gas (LPG). Sensitivitas terhadap alkohol lebih kecil. Menurut referensi [14], sensor gas seri MQ yang dominan untuk berbagai madu seperti ditunjukkan Tabel 1 adalah sensor MQ 4, MQ 6, dan MQ 5, karena ketiganya sangat sensitif terhadap gas LPG. Namun dalam penelitian ini MQ 3 juga menghasilkan nilai luas trapezoid yang tinggi. Studi lebih lanjut mengunakan Gas Cromathography -Mass Spectrometry (GC-MS) untuk komposisi senyawa volatil ketiga jenis sampel diperlukan.

Sifat fisika dan kimia madu sangat penting sebagai parameter untuk menentukan kualitas madu. Kadar (moisture content), kadar gula total, nilai pH, konduktivitas, dan viskositas merupakan parameter kualitas madu yang sering diukur untuk menentukan kualitas madu [6, 7]. Pengembangan alat ukur yang non destruktif, cepat, real time gencar dilakukan, salah satunya mengunakan elektronik. Hubungan hidung antara besaran fisika dan kimia dengan tegangan yang dihasilkan oleh setiap sensor hidung elektronik perlu dianalisa untuk memperoleh sensor-sensor gas yang sesuai

Menurut referensi [14], hubungan yang kuat antara nilai pH dan luas daerah trapezoid dengan koefisien tertinggi ditunjukkan oleh sensor MQ 4, MQ 5, dan MQ 6 berkisal dari 0,765 – 0,865, dan cukup kuat untuk nilai kandungan air (moisture content) terhadap nilai tegangan

yaitu 0, 635 – 0,7 untuk ketiga sensor. Hasil ini dapat menjelaskan mengapa nilai luas trapezoid non madu sari kurma lebih rendah karena nilai pHnya lebih tinggi. Kadar gula berbanding terbalik dengan kadar air. Kedua parameter ini mempunyai hubungan yang erat dengan hasil tegangan sensor yang dihasilkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian telah yang dilakukan, hanya tiga dari enam sensor gas yang digunakan yang memiliki respon tegangan keluaran yang paling tinggi yaitu MQ3, MQ4, dan MQ6. Ini berhubungan dengan sensitivitas ketiga sensor terhadap kandungan senyawa volatil dari jenis madu dan non madu. Madu SNI memiliki Luas Trapezoid tertinggi diikuti oleh madu hutan lokal dan sari kurma (non madu). hasil luasan trapezoid rata-rata, ke enam sensor dapat membedakan dua jenis madu dan non madu dengan baik. Namun sensor MQ 6 membedakan paling baik. Besarnya nilai kadar gula dan nilai pH madu memperlihatkan hubungan yang dengan besarnya nilai tegangan vang dikeluarkan oleh setiap sensor. Komposisi senyawa volatil yang terkandung pada ketiga jenis sampel madu perlu diteliti lebih jauh. Sistem hidung elektronik ini potensial untuk digunakan sebagai pembeda jenis madu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Magdalena and W. Wardencki, "Food Analysis Using Artificial Senses," 2014.
- [2] M. T. Kalit, K. Marković, S. Kalit, N. Vahčić, and J. Havranek, "Application of electronic nose and electronic tongue in the dairy industry," *Mljekarstvo*, vol. 64, no. 4, pp. 228–244, 2014, doi: 10.15567/mljekarstvo.2014.0402.
- [3] S. Kiani, S. Minaei, and M.

- Ghasemi-Varnamkhasti, "Fusion of artificial senses as a robust approach to food quality assessment," *J. Food Eng.*, vol. 171, no. October, pp. 230–239, 2016, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2015.10.007.
- [4] D. Karakaya, O. Ulucan, and M. Turkan, "Electronic Nose and Its Applications: A Survey," *Int. J. Autom. Comput.*, vol. 17, no. 2, pp. 179–209, 2020, doi: 10.1007/s11633-019-1212-9.
- [5] S. A. Meo, S. A. Al-Asiri, A. L. Mahesar, and M. J. Ansari, "Role of honey in modern medicine," *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 24, no. 5, pp. 975–978, 2017, doi: 10.1016/j.sjbs.2016.12.010.
- [6] Evahelda, F. Pratama, N. Malahayati, and B. Santoso, "The Changes of Moisture Content, pH, and Total Sugar Content of Honey Originated from the Flowers of Bangka Rubber Tree during Storage," *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 5, no. 5, pp. 33–36, 2017, [Online]. Available: https://www.ijser.in/IJSER151372.
- [7] N. Putu *et al.*, "Kualitas Madu Lokal dari Beberapa Wilayah di Kabupaten Temanggung The Local Honey Quality of Some Areas in Temanggung," vol. 2, pp. 58–66, 2017.
- [8] Agus A Munawar, Yusmanizar, Hafidh, and Zulfahrizal, "Kaiian Teknologi Near Infrared Spectroscopy Sebagai Metode Baru untuk Prediksi Kualitas Madu," Pros. Semin. Nas. Pascasari. *Unsviah*, pp. 27–31, 2017.
- [9] C. E. Manyi-Loh, R. N. Ndip, and A. M. Clarke, "Volatile compounds in honey: A review on their involvement in aroma, botanical origin determination and potential biomedical activities," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 12, no. 12, pp. 9514–9532,

- 2011, doi: 10.3390/ijms12129514.
- [10] H. Tian, Y. Shen, H. Yu, and C. Chen, "Aroma features of honey measured by sensory evaluation, gas chromatography-mass spectrometry, and electronic nose," *Int. J. Food Prop.*, vol. 21, no. 1, pp. 1755–1768, 2018, doi: 10.1080/10942912.2016.1213744.
- [11] D. Laksono and M. Chairiawan, "Karakterisasi Pola Aroma Salak Pondoh dengan E-Nose Berbasis Sensor Metal Oksida," *IJEIS* (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst., vol. 3, no. 1, pp. 71–82, 2013, doi: 10.22146/ijeis.3840.
- [12] K. Triyana, M. Taukhid Subekti, P. Aji, S. Nur Hidayat, and A. Rohman, "Development of Electronic Nose with Low-Cost Dynamic Headspace for Classifying Vegetable Oils and Animal Fats," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 771, pp. 50–54, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.77 1.50.
- [13] S. Kiani, S. Minaei, and M. Ghasemi-Varnamkhasti, "A portable electronic nose as an expert system for aroma-based classification of saffron," *Chemom. Intell. Lab. Syst.*,

- vol. 156, no. May, pp. 148–156, 2016, doi: 10.1016/j.chemolab.2016.05.013.
- [14] S. Faal, M. Loghavi, and S. Kamgar, "Physicochemical properties of Iranian ziziphus honey and emerging approach for predicting them using electronic nose," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 148, p. 106936, 2019, doi: 10.1016/j.measurement.2019.106936
 - 10.1016/j.measurement.2019.106936
- [15] M. Mckinnon, *Arduino*, 1st ed. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016.
- [16] M. V. Sreenivas Rao and M. Shivakumar, "PLX-DAQ-based wireless battery monitoring system for obstacle avoidance robot," *Lect. Notes Electr. Eng.*, vol. 581, no. January, pp. 133–140, 2020, doi: 10.1007/978-981-13-9419-5 12.
- [17] C. R. Severance, *Python for Everybody*, 1st ed. ann arbor, 2013.
- [18] F. Lismayeni, S. Fitriadhani, H. Adzani, N. Yasmin Zakyyah, and Minarni, "Karakterisasi Sifat Fisika Dan Kimia Madu Asli Riau Menggunakan Metode Optik," no. September, pp. 1–5, 2018.

Pengujian Gugus Fungsi Silika Berbasis Sekam Padi Dengan Variasi Suhu & Konsentrasi Cetyltrimethylammonium Bromide Sebagai Bahan Baku Mesoporous Silica

Leni Rumiyanti^{(1)(a)*}, Catur Destiana^(b), Ria Oktaviani^(c), Simon Sembiring^(d), Syafriadi^(e), dan Ni Luh Gede Ratna Juliasih^{(2)(f)}

(1) Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia 35141
(2) Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia 35141
(a) lenirumiyanti.@fmipa.unila.ac.id, (b) caturdestiana1998@gmail.com, (c) riaoktaviani045@gmail.com, (d) simonsembiring2@gmail.com, (e) syafriadi.1961@fmipa.unila.ac.id, (f) niluhratna.juliasih@fmipa.unila.ac.id

Diterima (3 Februari 2021), Direvisi (30 Juni 2021)

Abstract. Research has been conducted to test silica function groups based on rice husks with temperature variations and concentrations of Cetyltrimethylammonium Bromide as raw materials for mesoporous silica. In this study, rice husk silica was synthesized by alkaline method with variations in CTAB concentrations of 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5% and hydrothermal treatments with temperature variations of 120, 130, 145, and 160°C for 1 hour in an autoclave. Fourier-Transform Infrared (FTIR) results showed the presence of the most dominant clusters, namely Si-O-Si and other groups such as C-H, -H, O-H, and -OH. Therefore, silica-based rice husks can be used as raw materials mesoporous silica.

Keywords: Cetyltrimethylammonium Bromide, function group, rice husk, mesoporous silica, temperature

Abstrak Telah dilakukan penelitian mengenai pengujian gugus fungsi silika berbasis sekam padi dengan variasi suhu dan konsentrasi *Cetyltrimethylammonium Bromide* sebagai bahan baku *mesoporous silica*.. Pada penelitian ini, silika sekam padi disintesis dengan metode alkalis dengan variasi konsentrasi CTAB sebesar 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5% dan perlakuan hidrotermal dengan variasi suhu 120, 130, 145, dan 160°C selama 1 jam dalam *autoclave*. Hasil *Fourier-Transform Infrared* (FTIR) menunjukkan adanya gugus yang paling dominan, yaitu Si-O-Si dan gugus lain seperti C-H, -H, O-H, dan -OH. Oleh karena itu, silika berbasis sekam padi dapat digunakan sebagai bahan baku *mesoporous silica*.

Kata kunci: Cetyltrimethylammonium Bromide, gugus fungsi, sekam padi, mesoporous silica, suhu

PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan bahan yang digunakan dalam membuat produk, yakni bahan baku (raw materials) dalam sebuah industri adalah salah satu konsekuensi logis dari Revolusi Industrialisasi 4.0. Namun, di sisi lain kebutuhan bahan baku tersebut tidak mampu lagi dipenuhi oleh sumber yang umum dimanfaatkan. Sangatlah penting untuk mendapatkan bahan baku terbarukan (renewable materials) yang berasal dari sumber yang dapat terus beregenerasi, contohnya berasal dari tumbuhan, binatang atau ekosistem sehingga produksinya dapat dilakukan berulang kali.

Salah satu renewable materials yang digunakan sebagai bahan baku Mesoporous Silica adalah sekam padi yang jumlahnya melimpah di Indonesia tetapi pemanfaatannya belum maksimal. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), produksi padi di Provinsi Lampung periode Januari-Desember 2018 mencapai ± 1,90 juta ton Gabah Kering Giling (GKG) sehingga perkiraan akan menghasilkan sekam padi sekitar 20% dari berat padi yang dihasilkan [1]. Selain itu, sekam padi mengandung silika cukup tinggi, yakni 16-20% berat dari sekam padi [2-4] dan diperoleh dengan cara yang sederhana, yaitu ekstraksi alkalis [5-7]. Silika yang diperoleh dari sekam padi juga mempunyai fasa amorf [8-11] dan mempunyai struktur orto silikat [12] yang sama dengan silikat yang terdapat dalam senyawa alkoksida logam transisi dan silikon alkoksida seperti *Tetraethyl* Ortosilicate sebagai bahan baku Mesoporous Silica [13-19] yang harganya mahal.

Mesoporous Silica merupakan salah satu jenis bahan berpori yang memiliki susunan pori-pori silindris berukuran seragam dengan diameter 2-50 nm, luas permukaan besar (700-1500 m²g⁻¹), volume pori besar (1 cm³g⁻¹), stabilitas termal yang baik dan fungsionalisasi permukaan yang mudah [20]. Mesoporous Silica menarik perhatian para ilmuwan pada era industrialisasi karena dapat digunakan sebagai catalyst, sensor,

adsorption, chromatography [21], drug delivery [22,23], dan smart inhibitor corrosion [13-19,24].

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan sebagai pengembangan pemanfaatan silika sekam padi sebagai bahan baku pembuatan *Mesoporous Silica* untuk melihat gugus fungsi yang terbentuk dengan karakterisasi FTIR.

METODE PENELITIAN

Ekstraksi Silika Sekam Padi

Ekstraksi silika sekam padi diperoleh dengan metode alkalis [25]. 50 gram sekam padi yang telah dipreparasi ditambahkan ke dalam 500 ml larutan NaOH 1,5% dan dipanaskan hingga mendidih sambil diaduk. silika yang diperoleh kemudian didinginkan, dan ditutup menggunakan plastik wrap selama 24 jam. Sol silika menggunakan disaring mesh untuk memisahkan sol silika dengan zat pengotor dan ampas filtrat silica.

Ekstrak *sol* kemudian ditambahkan dengan larutan HNO₃ 10% secara perlahanlahan sambil diaduk hingga terbentuk *gel* dengan pH ±7. *Gel* silika yang diperoleh didiamkan selama 24 jam agar terjadi proses *aging*. Kemudian *gel* silika dicuci sampai bersih menggunakan aquades yang telah dipanaskan dan dikeringkan pada suhu 110°C selama 3 jam untuk memperoleh silika padatan.

Ektraksi Natrium Silikat

Natrium silikat (Na₂SiO₃) diekstraksi dengan mencampurkan 6 gr serbuk silica sekam padi dengan NaOH 2 M dalam 100 ml akuades diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan putaran 500 rpm pada suhu 90° sampai larut selama 2 jam. Sampel didinginkan dan ditambahkan HNO₃ 2 M diaduk sampai terbentuk *gel* dengan pH 7 kemudian didiamkan untuk proses *aging*.

Gel dicuci menggunakan akuades yang telah dipanaskan, dikeringkan pada suhu 110° selama 2 jam dan digerus untuk mendapatkan serbuk natrium silikat.

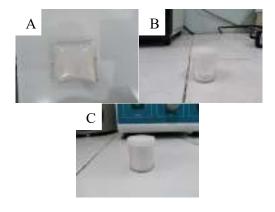
Sintesis Mesoporous Silica

Mesoporous Silica disintesis dengan melarutkan Cetyltrimethylammonium Bromide dengan variasi konsentrasi 2.0, 2.5%, 3.0%, 3.5% dalam 50 ml akuades selama 30 menit. Larutan natrium silikat dicampurkan secara perlahan dalam larutan CTAB sampai homogen. Selanjutnya dititrasi dengan HCl 3 M hingga membentuk gel pada pH 10 dan aging selama 24 jam.

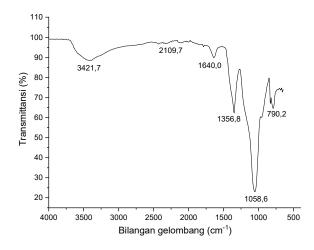
Perlakuan hidrotermal dengan variasi suhu 120, 130, 145, dan 160°C dilakukan selama 1 jam dalam *autoclave*. Endapan yang terbentuk kemudian difiltrasi dan dikeringkan pada suhu 100°C selama 2 jam hingga kering selanjutnya digerus menggunakan mortar *pestle* untuk kemudian dikarakterisasi FTIR.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil silika sekam padi, natrium silikat dan *Mesoporous Silica* ditunjukkan pada **Gambar 1**, sedangkan hasil FTIR natrium silikat dengan alat *Spectrometer* (Nicolet iS10) yang dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT-LTSIT) ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 1. (A) Silika sekam padi, (B) Natrium silikat, (C) *mesoporous silica*



Gambar 2. Grafik FTIR Natrium Silikat

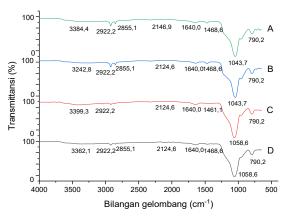
Berdasarkan **Gambar 2** terlihat bahwa pada grafik terdapat puncak gelombang 3421,7 cm⁻¹ yang mengindikasikan adanya vibrasi ulur asimetris O-H dari Si-OH [24], pada bilangan gelombang 2109,7 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi ulur—H [26], pada bilangan gelombang 1640,0 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi tekuk gugus O-H, pada bilangan gelombang 1356,8 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus C-H, pada bilangan gelombang 1058,6 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetris Si-O-Si dan pada bilangan 790,2 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi ulur simetris Si-O-Si [27].

Hasil FTIR Dengan Variasi Suhu Hidrotermal

Hasil analisis FTIR *Mesoporous Silica* dengan variasi suhu hidrotermal ditunjukkan pada **Gambar 3.** Pada grafik terdapat puncak gelombang 3242,8 cm⁻¹, 3362,1 cm⁻¹, 3384,4 cm⁻¹, dan 3399,3 cm⁻¹ yang mengindikasikan adanya peregangan -OH dari Si-OH atau silanol dari molekul air yang teradsorpsi pada permukaan silika. Getaran lentur molekul air yang terperangkap dalam matriks silika terdeteksi sebagai puncak pada bilangan gelombang 1640 cm⁻¹, pita ini tidak dapat sepenuhnya hilang, namun itensitasnya dapat menurun karena adanya pemanasan.

Puncak serapan pada bilangan gelombang 2855,1 cm⁻¹ dan 2922,2 cm⁻¹ mengindikasikan vibrasi tekuk gugus fungsi

O-H yang memperlihatkan adanya molekul air di dalam sampel. Sedangkan pada vibrasi bilangan gelombang 2124,6 cm⁻¹ dan 2146,9 cm⁻¹ merupakan virasi ulur dari ikatan hidrogen [26]. Bilangan gelombang 1461,1 cm⁻¹ dan 1468,6 cm⁻¹ dikaitkan dengan getaran asimetris dan simetris dari gugus CH₃ dan CH₂ [28].



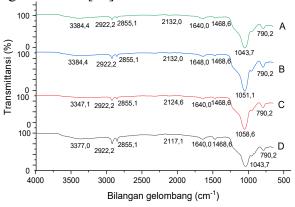
Gambar 3. Grafik FTIR silika mesopori (A) 120°C, (B) 130°C, (C) 145°C, dan (D) 160°C.

Pita serapan kuat terdapat pada bilangan gelombang 1043,7 cm⁻¹ dan 1058,6 cm⁻¹ yang menunjukkan vibrasi ulur asimetris dari Si-O-Si dan pada bilangan gelombang 790,2 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi ulur simetris dari Si-O-Si [27].

Hasil FTIR Dengan Variasi Konsentrasi Cetyltrimethylammonium Bromide

Hasil analisis FTIR Mesoporous Silica dengan variasi konsentrasi Cetvltrimethylammonium Bromide ditunjukkan pada Gambar 4. Pada grafik terdapat puncak dengan bilangan gelombang 3384,4 cm⁻¹, cm⁻¹ cm⁻¹ 3347,1 dan 3377.0 yang mengindikasikan adanya vibrasi ulur asimetris O-H yang terjadi akibat adanya ikatan antara atom hidrogen dengan gugus silanol Si-OH [24]. Pada bilangan gelombang 2922,2 cm⁻¹ dan 1640,0 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi tekuk dari gugus OH. Pada bilangan gelombang 2132,0 cm⁻¹, 2124,6 cm⁻¹ dan 2117,1 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi ulur dari

ikatan hidrogen [26]. Pada bilangan gelombang 1468,6 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi tekuk dari gugus C-H. Pada bilangan gelombang 1043,7 cm⁻¹, 1051,1 cm⁻¹, 1058,6 cm⁻¹ dan 1043,7 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetris dari gugus Si-O-Si. Pada bilangan gelombang 790,2 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi ulur simetris gugus Si-O-Si [27].



Gambar 4. Grafik FTIR silika mesopori (A) 2%, (B) 2,5%, (C) 3%, dan (D) 3,5%

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa gugus fungsi yang paling dominan pada silika berbasis sekam padi dengan variasi suhu & konsentrasi *Cetyl-trimethylammonium Bromide* adalah Si-O-Si. Sementara, gugus lainnya adalah C-H, -H, O-H dan -OH. Berdasarkan gugus fungsi tersebut, maka silika berbasis sekam padi dapat digunakan sebagai bahan baku *Mesoporous Silica*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS Propinsi Lampung, Perkembangan Indikator Makro Sosial Ekonomi Provinsi Lampung Triwulan III, Bandar Lampung: CV Jaya Wijaya, 2019.
- [2] V.B. Carmona, R.M. Oliveira, W.T.L. Silva, L.H.C. Mattoso, and J.M.

- Marconcini, "Nanosilica from rice husk: extraction and characterization," *Industry Crops and Production*, 43, pp. 291-296, 2013.
- [3] S. Kumar, P. Sangwan, M.V.R. Dhankhar, S. Bidra, (2013), "Utilization of rice husk and their ash: a review," *Journal of Chemistry Environmental Science*, 1, pp. 126-129, 2013.
- [4] S. Azat, A.V. Korobeinyk, K. Moustakas, V.J. Inglezakis, "Sustainable production of pure silica from rice husk waste in Kazakhstan," *Journal of Cleaner Production.*, 217, pp. 352-359, 2019.
- [5] E. Rafieel, S. Shahebrahimi, M. Feyzil, and M. Shaterzadeh, "Optimization of synthesis and characterization of nanosilica produced from rice husk (a common waste material)," *International Nano Letters*, 2, pp. 1-8, 2012.
- [6] B.I. Ugheoke, and O.A. Mamat, "A Novel method for high volume production of nano silica from rice husk: process development and product characteristics," *International Material Enggineering Innovation*, 3, pp. 139-155, 2012.
- [7] L.N.A. Tuan, L.T.K. Dung, L.D.T. Ha, N.Q. Hien, D.V. Phu, B.D. Du, "Preparation and characterization of nanosilica from rice husk ash by chemical treatment combined with calcination," *Vietnam Journal of Chemistry*, 55, pp. 446-455, 2017.
- [8] W. Khopthong, and B. Cherdhirunkorn, "Production of silicabased ceramics sintered under nitrogen atmosphere from rice husk and sugarcane bagasse ash," *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 30 (2), pp. 76-82, 2020.
- [9] W. Simanjuntak, S. Sembiring, K.D. Pandiangan, F. Syani, R. Situmeang, "The use of liquid smoke as a substitute for nitric acid of amorphous silica from rice husk through sol-gel route,"

- *Oriental Journal of Chemistry*, 32 (4), pp. 2079-2085, 2015.
- [10] S. Sembiring, "Karakterisasi silika sekam padi sebagai bahan keramik dengan teknik sintering," Prosiding, Dies Natalis Universitas Lampung, pp. 123-128, 2007.
- [11] S. Sembiring, dan P. Karo-Karo, "Pengaruh suhu sintering terhadap karakteristik termal dan mikrostruktur silika sekam padi," *Jurnal Sains dan Teknologi, Mipa Unila,* 13. (3), pp. 233-239, 2007.
- [12] A. Mehta, and R.P. Ugwekar, "Extraction of silica and other related products from rice husk," *International Enggineering Research and Application*, 25, pp. 43-48, 2015.
- [13] D. G. Borisova, D. Mohwald, H., And Shchukin, "Mesoporous Silika Nanoparticles For Active Corrosion Particles," *ACS Nano*, vol. 5, no. 3, pp. 1939–1946, 2011.
- [14] M. Saremi dan A. K. Yeganeh, "Pengaruh penambahan Inhibitor Silika Mesopori pada Pelapisan Korosi," *J. Ultrafine Grained Bahan Berstruktur Nano*, vol. 46, no. 1, pp. 11–17, 2013.
- [15] I. V. Falcón, J.M. Otubo, L.M. Aoki, "Highly Ordered Mesoporous Silika Loaded With Dodecylamine For Smart Anticorrosion Coatings," *Surf. Coat. Technol.*, pp. 1–11, 2015.
- [16] C. Zea, R. Barranco-Garcı'a, J. Alca' ntara, B. Chico, M. Morcillo, D. de la Fuente, "Hollow Mesoporous Silica Nanoparticles Loaded With Phosphomolybdate As Smart Anticorrosive Pigment," J. Coat. Technol. Res., 2017.
- [17] Changjean, Wen-Chyuan, Huang, L. Tseng, "Repairable Mesoporus Silika Film With Replenishing Corrosion Inhibitor As Corrosion Protection Layer Of Aluminum Alloy," *Elsevier*, 192, pp. 82-88, 2014.
- [18] I. Recloux, M. Mouanga, M. E. Druart, Y. Paint, M. G. Olivier, "Silica

- Mesoporous Thin Films as Containers for Benzotriazole for Corrosion Protection of 2024 Aluminium Alloys," *Appl. Surf. Sci*, (346), pp. 124-133, 2015.
- [19] M. F. Rahsepar, H. Mohebbi, Hayatdavoudi, "Synthesis And Characterization Of Inhibitor-Loaded Silica Nanospheres For Active Corrosion Protection Of Carbon Steel Substrate," *Journal of Alloys and Compounds*, 2017.
- [20] A. Walcarius, "Mesoporous Materials And Electrochemistry," *Chem. Soc. Rev.*, vol. 42, no. 09, pp. 4098, 2013.
- [21] G. Kalies, R. Rockmann, D. Tuma, J. Gapke, "Applied Surface Science," 256, pp. 5395, 2010.
- [22] I. I. Slowing, B. G. Trewyn, S. Giri, V. S.-Y. Lin, "Mesoporous Silica Nanoparticles for Drug Delivery and Biosensing Applications," *Advance Functional Material*, pp. 1225-1236, 2007.
- [23] P. Yang, S. Gai, J. Lin, "Functionalized mesoporous silica materials for controlled drug delivery," *Chem. Soc. Rev.*, 41, pp. 3679-3698, 2012.
- [24] H. Keyvani, A., Yeganeh, M.,Rezaeyan, "Application Of Mesoporous Silika Nanocontainers As

- An Intelligent Of Molybdate Corrosion Inhibitor Embedeed In The Epoxy Coated Steel," *Prog. Nat. Sci. Mater. Int.*, 2017.
- [25] E. Suka, I. G., Simanjuntak, W., Sembiring, S., dan Trisnawati, "Karakteristik Silika Sekam Padi Dari Provinsi Lampung Yang Diperoleh Dengan Metode Ekstraksi," *MIPA*, vol. 37, no. 1, pp. 47–52, 2008.
- [26] R. D. Suprihatin, Setiawan, F. A., Cahya, "Adsorben Komposite Silica Dari Limbah Abu Sekam Padi," *J. Tek. Kim.*, vol. 13, no. 2, 2019.
- [27] D. Purwaningsih, H., Pratiwi, V. M., Purwana, S. A. B., Nurdiansyah, H., Rahmawati, Y., and Susanti, "Fabricatiom of Mesoporus Silica Nanoparticles by Solgel Method Followed Various Hydrothermal Temperature," *ICOMMET. AIP Conf. Proc*, vol. 1945, 2018.
- [28] M. Ghorbani, F., Younesi, H., Mehraban, Z., Sabri Celik, M., Ghoreyshi, A. A., Anbia, "Aqueous Cadmium Ions Removal by Adsorption on APTMS Grafted Mesopori Silica MCM-41 in Batch and Fixed Bed Column Processes," *Int. J. Eng*, vol. 26, pp. 473–488, 2013.

Penentuan Titik Pengamatan Optimal Terhadap Kualitas Udara pada Gas Keluaran Diffuser Berbasis Internet of Things

Irmayatul Hikmah^{(1,a)*}, Afifah Dwi Ramadhani^(2,b) dan Fikra Titan Syifa^(2,c)

(1) Teknik Biomedis, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Indonesia, 53147 (2) Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Indonesia, 53147 Email: (a*) irmayatul@ittelkom-pwt.ac.id, (b) afifahdr@ittelkom-pwt.ac.id, (c) fikra@ittelkom-pwt.ac.id

Diterima (03 Maret 2021), Direvisi (22 Juli 2021)

Abstract. Indoor air quality needs attention, especially during the covid-19 pandemic because the majority of activities are carried out indoors. The air in the room must be protected from the threat of harmful virus dan bacterial contaminants. One such innovation is placing diffuser in the room. Diffuser is a device that converts liquid into gas particles in the air. To reduce harmful virus contamination, a natural antiseptic liquid is filled into the diffuser, one of which is papermint essential oil, which can provide freshness in the room. Air quality is monitored with internet of things (IoT) technology so that users can easily control air quality with just a PC/gadget. The gas output from the diffuser is detected by a gas sensor that is connected to the wemos board so that the data can be connected to the internet cloud. To obtain optimal air quality data, the placement of gas sensors in the area around the diffuser as a point of observation needs to be considered because the distribution of gas in the air is influenced by the vertical wind speed in the room, this can affect the quality of the data generated. This study aims to determine the optimal observation point on an IoT-based diffuser so that the resulting air quality data is more accurate. In this study the gas sensor was placed at a distance of 15 dan 25 cm from the diffuser. The direction of the gas sensor placement was adjusted according to the angle of the full circle ranging from 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, dan 0°. The distribution of gas is influenced by the vertical wind speed in the room causing the air quality data at a vertical angle to always have the same pattern. From the results obtained, the optimal observation point as a reference for the position of the gas sensor to the diffuser is at an angle between 135°-180° as well as at an angle between 315° -0°.

Keywords: Air quality, diffuser, internet of things.

Abstrak. Kualitas udara di dalam ruangan perlu mendapat perhatian terutama di musim pandemi covid-19 sebab mayoritas aktivitas dilakukan di dalam ruangan. Udara dalam rungan harus dijaga dari ancaman kontaminan virus maupun bakteri berbahaya. Salah satu inovasi adalah menempatkan diffuser di dalam ruangan. Diffuser merupakan piranti yang mengubah cairan menjadi partikel gas di udara. Untuk mengurangi kontaminasi virus berbahaya, diisikan cairan antiseptik alami ke dalam diffuser yaitu salah satunya minyak ekstrak daun mint yang dapat memberi kesegaran dalam ruangan. Kualitas udara dimonitoring dengan teknologi internet of things (IoT) supaya pengguna dapat dengan mudah mengontrol kualitas udara hanya dengan PC/gadget. Gas keluaran diffuser ditangkap sensor gas yang telah terhubung dengan wemos board supaya data dapat terhubung ke cloud internet. Untuk mendapat data kualitas udara optimal, penempatan sensor gas di area sekitar diffuser sebagai titik pengamatan perlu diperhatikan sebab persebaran gas di udara dipengaruhi oleh kecepatan vertikal angin di dalam ruangan, hal ini berpengaruh terhadap kualitas data yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan menentukan titik pengamatan optimal pada diffuser berbasis IoT supaya data kualitas udara yang dihasilkan lebih akurat. Pada penelitian ini sensor gas ditempatkan pada jarak 15 dan 25 cm dari diffuser. Arah peletakan sensor gas diatur sesuai sudut pada lingkaran penuh yaitu 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° dan 0°. Persebaran gas dipengaruhi kecepatan vertikal angin dalam ruangan menyebabkan data kualitas udara pada sudut vertikal selalu berpola sama. Dari hasil diperoleh titik pengamatan optimal sebagai acuan posisi peletakan sensor gas terhadap diffuser berada di sudut antara 135°-180° maupun di sudut antara 315°-0°.

Kata kunci: Kualitas udara, diffuser, *internet of things*.

PENDAHULUAN

Kekhawatiran akan penyebaran virus yang semakin tinggi memunculkan spekulasi bahwa virus dapat menyebar melalui udara atau *airborne*. *Airborne disease* berarti penyakit yang menyebar lewat udara atau ditularkan melalui udara. Patogen atau penyebab penyakit ini bisa dalam bentuk virus, bakteri, atau jamur. Ada beberapa kategori penyebaran *airborne* meliputi *airborne* aerosol, debu, atau cairan. [1].

Pengaruh kontaminan udara di dalam ruangan terhadap kesehatan manusia sepuluh lebih besar kali dibanding kontaminan udara di luar ruangan sebab 90% aktivitas manusia dilakukan di dalam ruangan, terutama sejak pandemi Covid-19 [2]. Ruangan yang memiliki kualitas udara yang baik ternyata memberi dampak pada kesehatan seperti mengurangi resiko penyakit saluran pernapasan hingga meningkatkan kinerja otak. Sebaliknya ruangan yang memiliki kualitas udara yang kurang sehat akan tercemari kontaminan yang tidak terlihat secara kasat mata sehingga memudahkan penyebaran virus dan bakteri kepada penghuni yang ada di dalamnya [3].

Sebuah inovasi sistem pengontrol kualitas udara dalam ruangan adalah salah satu hal yang dibutuhkan untuk menangani pandemi COVID-19 sekaligus sebagai upaya pencegahan penyebaran berbahaya lain yang muncul dikemudian hari. Salah satu cara menciptakan kualitas udara yang baik dalam ruangan adalah dengan memasang perangkat elektronik seperti diffuser. Diffuser mengeluarkan uap ke udara. Uap berasal dari essential oil yang terisi di dalamnya [4]. Semburan essential oil pada diffuser yang terdiffusi dalam bentuk gas di udara dapat mengikat molekul-molekul kontaminan udara sehingga radikal bebas yang memicu

pertumbuhan bakteri dan jamur berbahaya hancur [5]. Diffusi merupakan proses perpindahan oksigen dari satu fase ke fase lain biasanya dari fase cair ke fase gas, dengan semakin banyak porsi oksigen di udara membuat kualitas udara semakin baik sebaliknya porsi kontaminan semakin turun [6].

Daun mint memiliki kandungan antioksidan tinggi yang bersifat antimikroba, antitumor dan anti-alergenik sehingga cocok digunakan sebagai cairan pengisi diffuser [7]. Disamping itu aroma daun mint menambah kesegaran dalam ruangan sehingga penghuni ruangan akan merasa lebih rileks.

Internet of Things (IoT) merupakan metode yang memanfaatkan konektifitas internet untuk menghubungkan perangkat satu dengan lainnya [8]. Konsep IoT semakin banyak diterapkan pada berbagai bidang keilmuan, termasuk pada sektor medis. Pengguna dapat mengidentifikasi, memantau, dan melakukan pelacakan untuk beberapa keperluan secara otomatis dan real time [9]. Objek IoT berupa sensor memiliki rangkaian penguat operasional mengemulsikan (op-amp) untuk berupa analog yang dapat dianalisis oleh sistem minimum. Arsitektur pada IoT didesain khusus untuk dapat secara menampung ratusan bahkan ribuan data pada berbagai kondisi dan kebutuhan [10].

Komunikasi nirkabel atau wireless communication merupakan penerapan teknologi yang memungkinkan perangkat atau device dapat saling terhubung via jaringan lokal atau WLAN. Wemos D1 adalah sebuah development board yang menggunakan teknologi WiFi untuk menghubungkan perangkat ke jaringan internet [11].

Platform IoT memiliki kapabilitas untuk menghubungkan beberapa perangkat ke dalam jaringan internet. Wemos D1 merupakan sistem minimum yang memiliki keunggulan berupa koneksi wireless berbasis mikrokontroller sehingga dapat mewujudkan konsep IoT [12].

Kemudahan dan kepraktisan dalam sistem pengontrolan kualitas udara pun memiliki peranan penting untuk membuat pengguna tidak kesulitan dalam pengaplikasian. Untuk itu diperlukan inovasi berbasis IoT pada alat diffuser sehingga pengguna dapat mengontrol kualitas udara dalam ruangan mereka secara lebih praktis dan mudah hanya dengan terhubung menggunakan internet di PC maupun smartphone [2]. IoT mengacu pada objek-objek unik yang dapat diidentifikasi dan direpresentasikan secara virtual ke dalam struktur internet [13]. Komponen yang terkoneksi ke IoT meliputi sensor gas yang dalam kondisi aktif untuk mendeteksi gas. [14]. Penempatan sensor gas di area sekitar diffuser sebagai titik pengamatan perlu diperhatikan sebab persebaran gas keluaran diffuser di udara berpola tidak beraturan yang erat hubungannya terhadap kecepatan vertikal angin di dalam ruangan. Kecepatan vertikal adalah parameter untuk mengukur suatu gerakan massa udara dalam bidang vertikal.

Pola kecepatan vertikal dianalisa metode variogram. menggunakan Variogram merupakan plot dua dimensi yang memetakan perbedaan data sebagai fungsi jarak atau posisi yang ditampilkan dalam bentuk grid-grid. Metode ini juga dapat menentukan pola distribusi spatial dan anomali. Pada variogram, nilai yang rendah akan berada di dekat nilai rendah lainnya begitu juga dengan nilai yang besar cenderung berada di dekat nilai besar lainnya. Jenis variogram ada dua yaitu isotropi dan anisotropi, isotropi hanya mempertimbangkan fungsi jarak/posisi saja sedangkan anisotropi mempertimbangkan fungsi jarak beserta arah. Pada penelitian ini dipakai variagram anisotropi yang memiliki Persamaan 1 [15]:

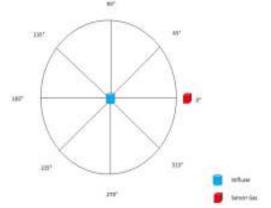
$$\gamma(h,\theta) = \left[\frac{1}{2}N(h,\theta)\right] \sum_{i=1}^{N(h,\theta)} [z(x_i) - z(x_i + h,\theta)]^2$$
(1)

dengan $\gamma(h, \theta)$ adalah variogram fungsi jarak h dan arah θ , $z(x_i)$ adalah nilai data di titik x_i , $z(x_i + h, \theta)$ adalah nilai data di titik $x_i + h$, θ , N (h, θ) adalah banyak pasangan titik. Penentuan titik pengamatan yang optimal pada diffuser berbasis IoT ini penting dilakukan supaya data kualitas udara yang dihasilkan akurat.

METODE PENELITIAN

dilakukan secara indoor Penelitian dengan menempatkan diffuser yang berisikan air yang sudah diteteskan papermint essential oil dalam suatu ruangan tertutup. Sensor gas ditempatkan pada jarak 15 cm maupun 25 cm terhadap diffuser. Peletakan sensor gas ini memperhatikan sudut pada lingkaran penuh penggantian posisi sensor gas tiap kenaikan sudut 45° seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1:

Sensor gas yang digunakan pada eksperimen adalah MQ 135 yang terhubung ke Wemos D1 seperti **Gambar 2**. Wemos D1 terhubung ke jaringan internet secara otomotis untuk mentransmisikan data dari sensor MQ 135. Parameter data dari sensor

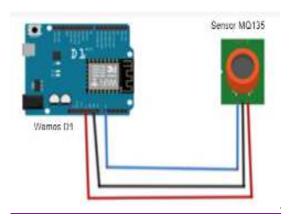


Gambar 1. Skema Percobaan

MQ 135 dikirim melalui platform *Thingspeak*. Data yang didapatkan

disimpan dalam *Thingspeak cloud* dengan mengirimkan data setiap 20 detik sekali. Sistem monitoring bekerja dengan membaca sensor MQ135 yang terhubung dengan Wemos D1 untuk mengambil data kualitas udara berupa data ADC dan diteruskan ke Thingspeak cloud dengan menggunakan koneksi Wi-Fi. Di dalam Thingspeak, data diolah menjadi sebuah grafik yang ditampilkan dalam monitor PC/gadget. Data-data tersebut selanjutnya akan dianalisa dan dikategorikan sesuai indikator kualitas udara seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 [14]. Gambar 3 menunjukkan blok diagram dari penelitian.

Pengambilan data pertama dilakukan pada jarak sensor gas-diffuser sebesar 15 cm. Sensor gas diletakkan urut sesuai sudut pada lingkaran penuh yaitu 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° dan kembali ke keadaan awal 0°. Diambil data kualitas udara pada tiap sudut percobaan masingmasing selama 15 menit. Pengambilan data kedua dilakukan pada jarak sensor gasdiffuser sebesar 25 cm. Sensor gas juga diletakkan urut sesuai sudut yaitu 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° dan 0°. Waktu yang dibutuhkan tiap sudut percobaan juga selama 15 menit.



Gambar 2. Skema Desain



Gambar 3. Blok Diagram

Tabel 1. Level kualitas udara

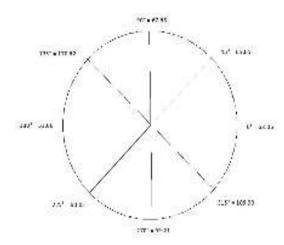
Level air quality	Kategori	
>800	Tinggi polusi	
400-800	Rendah polusi	
< 400	Udara Normal	

HASIL DAN PEMBAHASAN

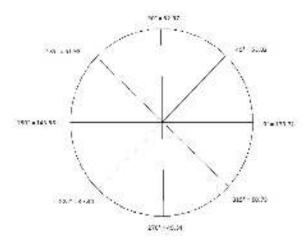
Dari pengambilan data baik itu pertama maupun kedua diperoleh rata-rata kualitas udara yang ditunjukkan pada Tabel 2. Jika divisualisasikan sesuai urutan sudut saat percobaan dalam bentuk gambar, dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Untuk mengetahui persebaran gas dengan metode variogram, dibuat citra dua dimensi dengan bantuan program matlab dimana level warna menunjukan kualitas udara yang diperoleh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Tabel 2. Rata-rata kualitas udara yang diperoleh

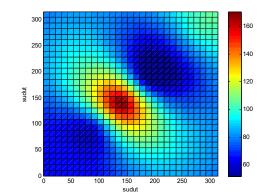
No	Sudut	Kualitas Udara		
	(°)	Jarak 15	Jarak 25	
		cm	cm	
1	0	63.06	170.73	
2	45	65.05	53.02	
3	90	67.69	52.98	
4	135	170.62	51.93	
5	180	51.66	143.58	
6	225	60.02	47.35	
7	270	99.21	49.55	
8	315	106.91	50.78	
9	0	63.06	170.73	



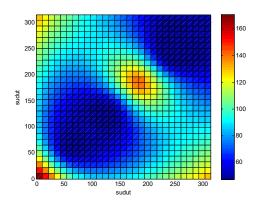
Gambar 4. Hasil pengambilan data jarak 15 cm



Gambar 5. Hasil pengambilan data jarak 25 cm



Gambar 6. Variogram persebaran gas pada jarak 15 cm



Gambar 7. Variogram persebaran gas pada jarak 25 cm

Jika diperhatikan dengan seksama, kecepatan vertikal angin mempengaruhi kualitas udara yang ditangkap oleh sensor gas. Dari hasil pengambilan data pertama (Gambar 4) yaitu pada jarak diffusersensor gas sebesar 15 cm, angka kualitas udara mulai dari sudut 0°, 45°, 90°, 135° sebesar 63.06, 65.05, 67.69, 170.62 sedangkan untuk sudut berikutnya yaitu 180°, 225°, 270°, dan 315° angka kualitas udara lansung turun dari semula tertinggi 170.62 menjadi 51.66, 60.02, 99.21, dan 106.91. Disini teramati pola kecepatan vertikal angin yaitu angka kualitas udara pada sudut 0° linear atau berbdaning lurus dengan angka kualitas udara pada sudut 180° yaitu nilai terendah sedangkan nilai

tertinggi yaitu angka kualitas udara pada sudut 135° linear atau berbdaning lurus dengan angka kualitas udara pada sudut 315°. Untuk sudut-sudut vertikal yang lain pun, pola kualitas udara yang dihasilkan sama yaitu 45° dengan 225° dan 90° dengan 270° bersesuaian pola urutan dari terendah sampai tertinggi.

Dari hasil pengambilan data kedua (**Gambar 5**) yaitu pada jarak diffusersensor gas sebesar 25 cm, angka kualitas udara mulai dari sudut 0°, 45°, 90°, 135° sebesar 170.73, 53.02, 52.98, 51.93 sedangkan untuk sudut berikutnya yaitu 180°, 225°, 270°, dan 315° angka kualitas udara lansung naik dari semula terendah 51.93 menjadi 143.58, 47.35, 49.55, dan

50.78. Disini juga teramati pola kecepatan vertikal angin yaitu angka kualitas udara pada sudut 0° linear atau berbdaning lurus dengan angka kualitas udara pada sudut 180° yaitu nilai tertinggi sedangkan nilai terendah yaitu angka kualitas udara pada sudut 135° linear atau berbdaning lurus dengan angka kualitas udara pada sudut 315°. Untuk sudut-sudut vertikal yang lain pun, pola kualitas udara yang dihasilkan sama yaitu 45° dengan 225° dan 90° dengan 270° bersesuaian pola urutan dari tertinggi sampai terendah.

Dari kedua pengambilan data ini diperoleh pola kualitas udara akan semakin naik atau semakin turun tiap kenaikan empat tingkatan sudut mulai dari 0° sampai 135° maupun 180° sampai 315°. Hal ini menunjukan pola persebaran gas keluaran diffuser bersesuaian dengan kecepatan vertikal angin dalam ruangan. Pergerakan angin secara vertikal mempengaruhi penyebaran gas keluaran diffuser.

Variogram yang terbentuk Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan titik pengamatan optimal terjadi pada posisi anomali berwarna merah kekuningan sedangkan pada daerah berwarna biru bukan titik pengamatan yang disarankan sebab data cenderung homogen. Pada jarak 15 cm titik pengamatan optimal terjadi pada sudut 135° yang vertikal dengan sudut 315° sedangkan pada jarak 25 cm pengamatan optimal terjadi pada sudut 180° yang vertikal dengan sudut 0°. Dari keduanya ditarik kesimpulan bahwa titik pengamatan optimal sebagai acuan posisi peletakan sensor gas terhadap diffuser berada di sudut antara 135°-180° ataupun di 315°-0° sebab antara adanva kecepatan angin vertikal. Pada posisi tersebut data yang diperoleh cenderung lebih bervariasi atau inhomogen.

Semakin rendah angka kualitas udara semakin banyak kdanungan oksigen dalam ruangan yang menyebabkan ruangan semakin sehat sebaliknya semakin tinggi

angka kualitas udara semakin sedikit kdanungan oksigen dalam ruangan. Apabila kualitas angka udara semakin naik (kdanungan oksigen semakin turun) pengguna dapat menambahkan tetesan papermint essential oil ke dalam diffuser yang hanya dapat diketahui melalui monitoring grafik kualitas udara pada www.thingspeak.com melalui PC/ gadget.

KESIMPULAN

Pergerakan angin secara vertikal dalam ruangan mempengaruhi persebaran gas keluaran diffuser di udara sehingga data kualitas udara disetiap titik pengamatan akan berbeda bergantung posisi peletakan sensor gas terhadap diffuser. Data kualitas udara pada sudut vertikal selalu berpola sama yang dipengaruhi kecepatan angin vertikal. Dari hasil analisa diperoleh titik pengamatan optimal sebagai acuan posisi peletakan sensor gas terhadap diffuser berada di sudut antara 135°-180° maupun di sudut antara 315°-0°.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Institut Teknologi Telkom Purwokerto yang telah memberikan dana hibah penelitian melalui skema pendanaan penelitian internal sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Shen, C. Li, dan H. Dong, "Airborne Transmission Of Covid-19: Epidemiologic Evidence From Two Outbreak Investigations," *Ssrn Electron. J.*, Jan. 2020, Doi: 10.2139/Ssrn.3567505.
- [2] F. Pradityo dan N. Surantha, "Indoor Air Quality Monitoring dan Controlling System Based On Iot dan Fuzzy Logic," In 2019 7th International

- Conference On Information dan Communication Technology (Icoict), Jul. 2019, Pp. 1–6, Doi: 10.1109/Icoict.2019.8835246.
- [3] B. W. Dionova, M. N. Mohammed, S. Al-Zubaidi, dan E. Yusuf, "Environment Indoor Air Quality Assessment Using Fuzzy Inference System," Ict Express, Vol. 6, No. 3, Pp. 185–194, 2020. Sep. Doi: 10.1016/J.Icte.2020.05.007.
- [4] D. N. S. Dewi, "Aktivitas Antibakteri Minyak Atsiri Batang Sereh (Cymbopogon Citratus) Terhadap Propionibacterium Acnes Secara In Vitro," Feb. 2016, Accessed: Apr. 29, 2020. [Online]. Available: Http://Repository.Unej.Ac.Id/Hdanle/1 23456789/73586.
- [5] H. Edi, A. A. Irene, dan S. Retno Susetyaningsih, "Pengaruh Bentuk Difuser Terhadap Transfer Oksigen," *J. Rekayasa Perenc.*, Vol. 2, No. 1, Oct. 2005, Accessed: Apr. 29, 2020. [Online]. Available: Http://Eprints.Upnjatim.Ac.Id/2544/.
- [6] E. Suryadi, "Transfer Oksigen Dalam Proses Aerasi," *J. Kim. dan Kemasan*, Vol. 0, No. 0, Pp. 24–30, Feb. 2009, Doi: 10.24817/Jkk.V0i0.4731.
- [7] M. G. Figueroa Pérez, N. E. Rocha-Guzmán, E. Mercado-Silva, G. Loarca-Piña, dan R. Reynoso-Camacho, "Effect Of Chemical Elicitors On Peppermint (Mentha Piperita) Plants dan Their Impact On The Metabolite Profile Dan Antioxidant Capacity Of Resulting Infusions," *Food Chem.*, Vol. 156, Pp. 273–278, Aug. 2014, Doi: 10.1016/J.Foodchem.2014.01.101.
- [8] "Implementasi Konsep Internet Of Things Pada Sistem Monitoring Banjir Menggunakan Protokol MQTT | Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer," Accessed: Mar. 16, 2021. [Online]. Available: http://J-

- Ptiik.Ub.Ac.Id/Index.Php/J-Ptiik/Article/View/3529.
- [9] A. Junaidi, "Internet Of Things, Sejarah, Teknologi dan Penerapannya: Review," *J. Ilm. Teknol. Inf. Terap.*, Vol. I, Pp. 62–66, Aug. 2015.
- [10] M. Bhayani, M. Patel, dan C. Bhatt, "Internet Of Things (Iot): In A Way Of Smart World," Vol. 438, 2016, Pp. 343–350.
- [11] N. Cameron, Arduino Applied: Comprehensive Projects For Everyday Electronics. 2019.
- [12] M. Fauzan, M. Muhaimin, dan A. Finawan, "Telemetri Suhu Multi Node Berbasis Internet Of Things Menggunakan Modul Wemos D1r2," *J. Tektro*, Vol. 1, No. 1, Art. No. 1, Sep. 2017.
- C.-T. Yang, S.-T. Chen, W. Den, [13] Y.-T. Wang, dan E. Kristiani, "Implementation Of An Intelligent Indoor Environmental Monitoring dan Management System In Cloud," Future Gener. Comput. Syst., Vol. 96, Pp. 731-749, Jul. 2019, Doi: 10.1016/J.Future.2018.02.041.
- [14] J. M. S. Waworundeng dan O. Lengkong, "Sistem Monitoring dan Notifikasi Kualitas Udara Dalam Ruangan Dengan Platform Iot," *Cogito Smart J.*, Vol. 4, No. 1, Pp. 94–103, Jun. 2018, Doi: 10.31154/Cogito.V4i1.105.94-103.
- [15] M. Ramadhan, A. Putri, A. Kurniawan, dan A. Irawan, "Prioritas Arah Penempatan Titik Pengamatan Kecepatan Vertikal Di Kalimantan Menggunakan Analisis Anisotropi," *J. Meteorol. Klimatol. Dan Geofis.*, Vol. 5, Pp. 63–71, Apr. 2019, Doi: 10.36754/Jmkg.V5i3.76.

Irmayatul Hikmah, dkk.: Penentuan Titik Pengamatan Optimal Terhadap Kualitas Udara pada Gas Keluaran Diffuser Berbasis *Internet of Things*

Aplikasi Sensor TGS2620 dan MQ138 untuk Mendeteksi Kematangan Buah Durian Berbasis Raspberry Pi 3B

Dewi Puspitasari^{(a)*}, Arif Surtono^(b), Sri Wahyu Suciati^(c), Gurum Ahmad Pauzi^(d)

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung, Bandar Lampung, 35141

email: ^(a*) dewipuspita1060@gmail.com, arif.surtono@fmipa.unila.ac.id, sri.wahyu@fmipa.unila.ac.id, gurum@fmipa.unila.ac.id

Diterima (16 Maret 2021), Direvisi (28 Juli 2021)

Abstract. Research has been carried out by application of the TGS 2620 (alcohol level) and MO 138 (methane level) gas sensors to detect the maturity of durian based on Raspberry Pi 3b. This research was conducted to produce a detection instrument for the level of durian maturity. Durian is inserted into the sample room which contain a gas sensors. The classification method used to determine fruit maturity uses K-Nearest Neighbor (KNN). The KNN test in the durian maturity classification using a gas sensor has accuracy based on maturity level, ripe 93,3%; rare 96.6%; raw 93,3%

Keywords: Maturity of durian, gas sensor, raspberry pi 3b, KNN.

Abstrak. Telah dilakukan penelitian dengan pengaplikasian sensor gas TGS 2620 (kadar alkohol) dan MQ 138 (kadar metana) untuk mendeteksi kematangan buah durian berbasis Raspberry Pi 3b. Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan alat deteksi tingkat kematangan buah durian. Durian diletakkan ke dalam ruang sampel yang berisi sensor gas. Metode klasifikasi yang digunakan untuk menentukan kematangan buah menggunakan K-Nearest Neighbor (KNN). Pengujian KNN dalam klasifikasi kematangan durian menggunakan sensor gas memiliki akurasi berdasarkan tingkat kematangannya, yakni matang 93,3%; setengah matang 86,6%; mentah 93,3%.

Kata kunci: Kematangan, durian, sensor gas, raspberry pi 3b, KNN,.

PENDAHULUAN

Durian menjadi buah yang paling digemari konsumen Indonesia maupun mancanegara. Wilayah Indonesia khususnya Lampung menjadi yang produsen durian antara lain Desa Talang Kabupaten Pesawaran [1], Pesawaran Indah Kecamatan Padang Cermin [2], Wisata Durian Kelurahan Sumber Agung [3], Harapan Baru I Kelurahan Batu Putuk Bandar Lampung [4], dan Kecamatan Pekalongan Kabupaten Lampung Timur[5].

Kebanyakan genus Durio tidak berbau

atau lemah, namun spesies Durio dulcis sangat kuat baunya bahkan dapat tercium hingga jarak yang cukup jauh [6]. Ciri-ciri buah yang matang akan menunjukkan beberapa tanda yakni, umur durian yang mencapai tingkat kematangan penuh, yaitu pada minggu ke 16 [7], buah yang dipotong dari tangkainya dilakukan pada sekitar umur 105 hari sesudah antesis perubahan warna kulit walaupun hanya sedikit berubahnya [9], dan aroma buah atau dengan bunyi nyaring ketika buahnya diketuk-ketuk Beberapa [10]. pengembangan metode deteksi kematangan

buah durian dengan e-nose seperti deret sensor gas semikonduktor yakni TGS 2602, TGS 813, TGS 2611, TGS 2600, dan TGS 2612 telah digunakan untuk identifikasi kematangan buah tropika yakni jeruk, stroberi, dan tomat [11]. Sensor gas TGS 2600 untuk deteksi 2620 dan TGS kematangan durian [12]. Dari beberapa penggunaan e-nose yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya, sensor gas jenis TGS dan MQ 138 adalah yang paling penggunaannya karena baik mendeteksi gas dengan cepat dan jarak yang jauh[13].

Sebagai upaya untuk meminimalisir terjadinya error dan meningkatkan ketepatan klasifikasi durian, maka pada penelitian ini digunakan dua jenis sensor yakni TGS 2620 dan MQ138. Teknik yang digunakan dalam penelitian ini memiliki keunggulan dengan tidak merusak buah. Sensor dipasang pada sisi bawah bawah pada chamber yang juga akan berisi durian, sehingga sensor mudah mendeteksi gas pada durian. Metode klasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah KNN (K-Nearest Neighbor). Metode ini dipilih karena lebih tepat penggunannya untuk masing-masing sensor hanya mendeteksi satu jenis gas, yakni gas alkohol pada TGS 2620 dan gas metana MO 138

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu menghasilkan alat deteksi tingkat kematangan buah durian menggunakan sensor TGS 2620 dan MQ 138 berbasis Raspberry Pi 3b dan mengetahui hubungan senyawa gas (bau) yang dideteksi oleh sensor terhadap tingkat kematangan durian.

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Personal Computer* (PC), multimeter, raspberry pi 3b, *logic level converter*, LCD I2C 20x4, PCB, MCP 3008, kabel jumper, *power supply* 12volt, refractometer atago PAL- α, solder, timah,

kotak, kipas DC, TGS2620, MQ138, durian, silica gel, dan aquades.

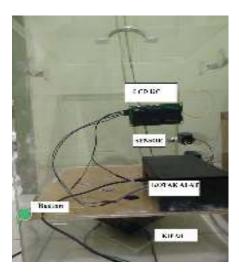
Langkah pertama: pengumpulan data latih ini berguna untuk acuan tingkat kematangan durian. Data yang pertama dicari adalah nilai ppm gas durian yang diambil dari sensor gas TGS 2620 dan MQ 138. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 5 kali perulangan pada 1 buah durian dari 6 durian.

Langkah kedua: sebagai referensi atau pembanding data pembuktian bahwa durian tersebut matang, setengah matang, atau dilakukan pengujian glukosa mentah dengan menggunakan Refraktometer Atago Pal-α. Dalam pengujiannya, urutan daging durian yang akan diambil sampelnya disesuaikan dengan urutan durian dalam pengambilan kadar gas. Daging durian yang diambil sampelnya adalah bagian tengah yang lembut. Selanjutnya daging durian tersebut dihaluskan. Setelah kemudian diambil sedikit sampel untuk diletakkan di titik sampel pengujian pada Refraktometer[14]. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 3 kali perulangan pada 1 buah durian dari 6 durian.

Langkah ketiga: melakukan pengujian sistem. Pengujian kematangan menggunakan 3 buah durian berbeda yang baru. Dilakukan 5 kali perulangan setiap 1 buah durian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah direalisasikan pengaplikasian sensor gas TGS 2620 dan MQ 138 untuk mendeteksi kematangan durian berbasis raspberry pi 3b. Alat ukur yang digunakan untuk menganalisis kematangan durian terdiri dari kipas, kotak alat, sensor dan LCD I2C. Realisasi alat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Realisasi alat

Cara kerja dari alat ini yaitu sampel durian ini dimasukkan ke dalam ruang pengujian, kemudian diakuisisi data oleh program yang dibuat. Hasil dari akuisisi data tersebut ditampilkan pada LCD.

Pengambilan Data Latih

Pengumpulan data latih ini berguna untuk acuan tingkat kematangan durian. Data yang pertama dicari adalah nilai ppm gas durian yang diambil dari sensor gas TGS 2620 dan MQ 138. Data latih tersebut disimpan dan untuk referensi pembanding data pembuktian bahwa durian tersebut matang, setengah matang, atau pengujian dilakukan glukosa mentah dengan menggunakan Refraktometer Atago Pal-α. Dalam pengujiannya, urutan daging durian yang akan diambil sampelnya disesuaikan dengan urutan durian dalam pengambilan kadar gas. Diambil sedikit sampel untuk diletakkan di titik sampel pengujian pada Refraktometer Realisasi pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.

Data hasil pengujian kadar glukosa dapat dilihat pada **Tabel 1**. Berdasarkan **Tabel 1** dapat diketahui durian matang memiliki kadar glukosa yang tinggi yakni 32% - 42%.

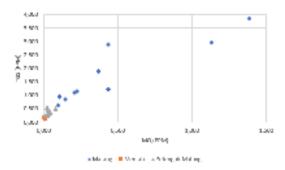


Gambar 2. Pengujian kadar glukosa pada durian (a) matang, (b) setengah matang dan (c) mentah

dari Hasil data pelatihan dimasukkan kedalam grafik sebaran data latih yang dapat dilihat pada Gambar 3. Pada gambar tersebut, sensor gas TGS 2620 dan MQ 138 terlihat lebih sensitif terhadap durian yang matang, sebaran data durian yang matang terlihat berjarak. Sedangkan untuk durian yang mentah dan setengah matang sebaran data gas nya terlihat tidak jauh berbeda, sehingga sebaran datanya terlihat menimpa. Berdasarkan data latih, data sensor TGS 2620 dan MQ 138 dimasukkan kedalam grafik yang terdapat pada Gambar 4 untuk dilihat perbandingan kedua sensor dalam hasil pendeteksian masing-masing gas.

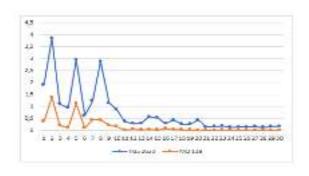
Tabel 1. Pengujian kadar glukosa durian

Tuber 1. Tengajian kadan granosa darian			
Pengulangan	Kadar	Keterangan	
	Glukosa (%)		
A1	32,9	Matang	
A2	42,8	Matang	
A3	37,6	Matang	
B1	35,7	Matang	
B2	32,6	Matang	
В3	33,5	Matang	
C1	24,2	Setengah Matang	
C2	28,7	Setengah Matang	
C3	25,8	Setengah Matang	
D1	23,6	Setengah Matang	
D2	24,7	Setengah Matang	
D3	28,4	Setengah Matang	
E1	21,6	Mentah	
E2	13,0	Mentah	
E3	16,5	Mentah	
F1	18,7	Mentah	
F2	14,5	Mentah	
F3	15,8	Mentah	

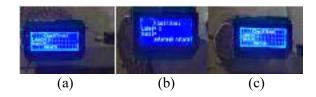


Gambar 3. Grafik sebaran data latih

"x" sumbu Gambar 4. Pada merupakan urutan kematangan durian, yakni 1-10 durian matang, 10-20 durian setengah matang, 11-30 durian mentah. Pada sumbu "y" merupakan gas yang dideteksi masing-masing sensor. Pada gambar tersebut, terlihat bahwa kandungan gas alkohol yang dideteksi sensor TGS 2620 lebih tinggi dibandingkan dengan gas metana yang dideteksi sensor MQ138 pada durian. Kandungan gas tersebut akan meningkat saat durian dalam kondisi matang. Hal ini sesuai dengan teori bahwa durian memiliki kandungan gas alkohol dan bis(ethylthio)methane yang akan semakin kuat aromanya seiring proses kematangan buahnya[15].Setelah diketahui karakteristik data durian dari data latih dan Tabel 1. Maka selanjutnya menguji data dengan menggunakan metode KNN, yakni data yang baru akan dikelompokkan berdasarkan sebaran data tetangga terdekatnya. Realisasi pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Perbandingan sensor gas TGS 2620 dan MO 138



Gambar 5. Realisasi pengujian (a) matang, (b) setengah matang, dan (c) mentah

Setelah durian dimasukkan kedalam ruang sampel dan dideteksi kematangannya, hasil perolehan data tersebut disajikan pada Tabel 2. Pada pengujiannya, proses running klasifikasi durian membutuhkan waktu sekitar 3 menit. Pada pengujiannya, klasifikasi proses running durian membutuhkan waktu sekitar 3 menit. Hal ini dikarenakan looping yang digunakan untuk mendeteksi gas durian sebanyak 250 kali dalam prosesnya. Pengulangan tersebut dilakukan untuk menunjang performa sensor MQ 138 yang kurang sensitif terhadap gas yang dideteksi pada durian. Penguiian kematangan menggunakan 3 buah durian yang berbeda yakni A, B, dan C dengan 5 kali pengulangan pada masing-masing variabel.

Tabel 2. Hasil pengujian

Pengulangan	KNN	Referensi	Hasil
A1	Mentah	Setengah	Gagal
		matang	
A2	Setengah	Setengah	Berhasil
	matang	matang	
A3	Setengah	Setengah	Berhasil
	matang	matang	
A4	Setengah	Setengah	Berhasil
	matang	matang	
A5	Setengah	Setengah	Berhasil
	matang	matang	
B1	Mentah	Mentah	Berhasil
B2	Mentah	Mentah	Berhasil
B3	Mentah	Mentah	Berhasil
B4	Mentah	Mentah	Berhasil
B5	Mentah	Mentah	Berhasil
C1	Matang	Matang	Berhasil
C2	Setengah	Matang	Gagal
	Matang		
C3	Matang	Matang	Berhasil
C4	Matang	Matang	Berhasil
C5	Matang	Matang	Berhasil

Tabel 3. Confussion matrix

Kelas	Kelas Prediksi			
Sebenarnya	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	
Kelas 1	4	0	1	
Kelas 2	0	5	0	
Kelas 3	0	1	4	

Keterangan:

Kelas 1 : merupakan kelas matang.

Kelas 2 : merupakan kelas mentah.

Kelas 3 : merupakan kelas setengah matang.

Data tersebut dimasukkan kedalam tabel *confussion matrix* seperti pada **Tabel 3**. Pada **Tabel 3**, kelas matang pada saat diprediksi memiliki kesesuaian data dengan kelas sebenarnya sebanyak 4 dan tidak sesuai sebanyak 1 (masuk ke dalam kelas setengah matang). Kelas mentah memiliki kesesuaian data dengan kelas sebenarnya sebanyak 5 dan tidak ada data yang tidak sesuai. Kelas setengah matang memiliki kesesuaian data dengan kelas sebenarnya sebanyak 4 dan tidak sesuai sebanyak 1 (masuk ke dalam kelas mentah).

Dari tabel *confusion matrix* dapat dihitung parameter akurasi dan prediksi keseluruhan dari setiap kelas, yang dapat dilihat seperti pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Binary confussion matrix

Kelas	Kelas Prediksi		Akurasi	Presisi
Sebenarnya			(%)	(%)
	Kelas 1	Bukan		
		kelas 1		
Kelas 1	TP = 4	FN = 1	93,3	100
Bukan	FP = 0	TN =		
kelas 1		10		
	Kelas 2	Bukan		
		kelas 2		
Kelas 2	TP = 5	FN = 0	93,3	83,3
Bukan	FP = 1	TN = 9		
kelas 2				
	Kelas 3	Bukan		
		kelas 3		
Kelas 3	TP = 4	FN = 1	86,6	80
Bukan	FP = 1	TN = 9		
kelas 3				

Keterangan:

TP: merupakan data positif yang terdeteksi benar.

TN: merupakan data negatif yang terdeteksi benar.

FP: merupakan data negatif yang terdeteksi positif.

FN: merupakan data positif yang masuk kedalam data negatif.

Kelas 1: merupakan kelas matang. Kelas 2: merupakan kelas mentah.

Kelas 3 : merupakan kelas setengah matang.

Pada Tabel 4, terlihat bahwa sensor gas TGS 2620 dan MO 138 sangat sensitif terhadap durian kelas matang namun kurang sensitif terhadap durian setengah matang dan mentah. Akurasi yang dimiliki oleh kelas matang, setengah matang dan mentah sebesar 93,3%; 86,6%; 93,3%. Akurasi rata-rata dalam klasifikasi kematangan durian sebesar 91,07%. Akurasi tersebut sangat baik, menunjukkan bahwa metode KNN yang digunakan tepat pengkategorian untuk dijadikan kematangan durian.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, didapat kesimpulan sebagai berikut.

- 1. Metode KNN dalam klasifikasi tingkat kematangan durian memperoleh akurasi sebesar 91,07%.
- 2. Akurasi alat dalam memprediksi durian kelas matang, setengah matang dan mentah, masing-masing sebesar 93,3%; 86,6%; 93,3%.
- 3. Semakin matang buah durian, maka semakin tinggi kadar gas dalam buah tersebut.
- Alat deteksi kematangan durian dapat dibangun menggunakan sensor TGS 2620 dan MQ 138 berbasis Raspberry Pi 3b.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Herwanti, Susni. 2016. Analisis Pemasaran Durian di Desa Talang Mulya Kabupaten Pesawaran. *Jurnal Ilmiah ESAI Vol. 10. No.1*. Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Lampung.
- [2] Nadeak, N., R. Qurniati, W. Hidayat. Analisis Finansial Pola Tanam Agroforestri di Desa Pesawaran Indah Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. *Jurnal Sylva Lestari Vol. 1.* Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Lampung.
- [3] Wulandari, D., Rommy Q., dan Susni H. 2018. Efisiensi Pemasaran Durian (*Duria Zibethinus*) di Desa Wisata Durian Kelurahan Sumber Agung. *Jurnal Sylva Lestari Vol. 6 No. 2. ISSN*: 2549-5747. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung.
- [4] Sesanti, Rizka N., Hilman H., dan Nurman Abdul H. Transfer Teknologi Okulasi Durian di Kelompok Tani Harapan Baru I Kelurahan Batu Putuk Bandar Lampung. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan Vol. 14 No. 2.* Jurusan Budidaya Tanaman Pangan Politeknik Negeri Lampung. Lampung.
- [4] Manik, Sry A., Ali Ibrahim H., dan Muhammad Irfan A. 2014. Analisis Kelayakan Usaha Pembibitan Durian di Kecamatan Pekalongan Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis Vol. 2.* Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Lampung.
- [6] Ashari, Sumeru. 2004. *Biologi* Reproduksi Tanaman Buah-buahan Komersial. Bayumedia Publishing. Malang.

- [7] Sobir dan Rodame M Napitupulu.2010. Bertanam Durian Unggul.Penebar Swadaya. Jakarta.
- [8] Setiadi. 2018. *Bertanam Durian*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- [9] Wiryanta, Bernard T. 2008. Sukses Bertanam Durian. PT Agromedia Pustaka. Jakarta.
- [10] Aak. 1997. *Budidaya Durian*. Kanisius. Yogyakarta.
- [11] Soedarmaji, Arief dan Rifah Ediati. 2011. Identifikasi Kematangan Buah Tropika Berbasis Sistem Penciuman Elektronik Menggunakan Deret Sensor Gas Semikonduktor dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan. *Jurnal Keteknikan Pertanian Vol. 25 No.1*. IPB. Bandung.
- [12] Surobramantyo, J., 2016. Rancang bangun alat pendeteksi kematangan buah durian menggunakan sensor TGS 2620 dan TGS 2600 Berbasis Arduino. *Skripsi*. Fakultas Teknologi dan Informatika Institut Bisnis dan Informatika STIKOM. Surabaya.
- [13] Raharjo, Adi Sapto. 2019. Rancang Bangun Pengendali dan Pengawasan Gas Amonia pada Peternakan Ayam Berbasis Arduino Mega 2560 R3. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro Vol. 1 No. 2 P-ISSN : 2685 -4341 E-ISSN:2685 -5313*. Fakultas Ilmu Komputer Institut Informatika dan Bisnis Darmajaya. Bandar Lampung.
- [14] Pratama, R., Muid A., dan Sanubary I.
 2019. Perbandingan Kinerja Sensor
 TGS2610, MQ2 dan MQ6 pada Alat
 Pendeteksi Kebocoran Tabung
 Liquified Petroleum Gas (LPG)

- Menggunakan ATMega2560. *Jurnal PRISMA FISIKA Vol. 7 No. 1 ISSN : 2337-8204.* FMIPA Universitas Tanjungpura. Pontianak.
- [15] Pokhum, C., Chawengkijwanich, C., and Maolanon, R. 2010. Application of Electronic-Nose for Identification of

Ripeness Stage of Durian. *Acta Horticulture Journal No. 845 319-328*. National Nanotechnology Center. Thailand.

Dewi Puspitasari, dkk: Aplikasi Sensor TGS2620 Dan MQ138 untuk Mendeteksi Kematangan Buah Durian Berbasis Raspberry Pi 3B

Pengujian Prototipe Instrumen Pengukur Gradien Termal di Lapangan Panas Bumi Padang Cermin Pesawaran

Karyanto^{(1,a)*} dan I Gede Boy Darmawan^(1,b)

(1) Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35145 Email: (a*)karyanto@eng.unila.ac.id, (b)igedeboy@staff.unila.ac.id

Direvisi (22 April 2021), Direvisi (21 Juli 2021)

Abstract. The design of the thermal gradient measurement instrument prototype that has been done previously requires field testing. This test aims to see the ability of the prototype instrument indirect measurement tests in geothermal fields. The method used in testing is to compare the results of temperature measurements on the prototype instrument with temperature measurements using the MAE A5000T instrument from previous research in Padang Cermin. The calculation of the thermal gradient is carried out automatically by the system in the prototype using the least-squares technique. The measurement results show that there is temperature alignment, especially in the manifestation area. The temperature distribution map indicates a clustering pattern that shows the relationship between hot fluid flow, especially in the west-east direction. The hot fluid connectivity is interpreted as a geological structure or permeable zone in the manifestation area. The results of the thermal gradient measurement also show a high gradient pattern in the geothermal manifestation area. Besides, the distribution of low-temperature values in the three layers also indicates the source of the surface water fluid flow, which is in line with the direction of the top of the mountain. These findings reinforce the indication that the peak of Mount Ratai dominates the meteoric water recharge source. These findings indicate that the prototype of this thermal gradient measurement instrument can be used in geothermal fields.

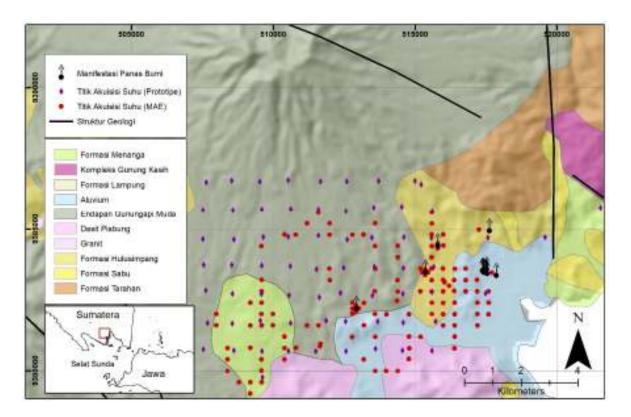
Keywords: Geothermal, Instrument, Padang Cermin, Prototype, Thermal Gradient

Abstrak. Hasil perancangan prototipe instrumen pengukur gradien termal yang telah dilakukan sebelumnya membutuhkan pengujian lapangan. Pengujian ini bertujuan untuk melihat kemampuan instrumen prototipe dalam uji pengukuran langsung di lapangan panas bumi. Metode yang digunakan dalam pengujian adalah dengan membandingkan hasil pengukuran suhu pada instrumen prototipe dengan hasil pengukuran suhu menggunakan instrumen MAE A5000T penelitian sebelumnya di Padang Cermin. Penghitungan gradien termal dilakukan secara otomatis oleh sistem dalam prototipe menggunakan teknik kuadrat terkecil (*Least Squares Method*). Hasil pengukuran menunjukkan adanya keselarasan suhu khususnya pada area manifestasi. Peta sebaran suhu mengindikasikan pola klasterisasi yang menunjukkan hubungan aliran fluida panas, khususnya pada arah barat-timur. Adanya konektivitas fluida panas ini diinterpretasikan sebagai struktur geologi atau zona *permeable* pada area manifestasi. Hasil pengukuran gradien termal juga menunjukkan pola gradien tinggi di area manifestasi panas bumi. Selain itu, sebaran nilai suhu rendah pada ketiga layer juga mengindikasikan sumber aliran fluida air permukaan yang selaras dengan arah puncak gunung. Hal ini memperkuat indikasi bahwa sumber *recharge* atau resapan air meteorik didominasi oleh puncak Gunung Ratai. Temuan ini mengindikasikan bahwa prototipe instrumen pengukuran gradien termal ini mampu digunakan di lapangan panas bumi.

Kata kunci: Gradien Termal, Instrumen, Padang Cermin, Panas Bumi, Prototipe

PENDAHULUAN

Lapangan panas bumi Padang Cermin/Way Ratai merupakan potensi energi panas bumi yang terletak di Gunung Ratai, Tanggamus [1], [2]. Kombinasi metode akuisisi data sangat diperlukan dalam kegiatan eksplorasi panas bumi, salah satunya dengan pengukuran gradien termal [3]. Gradien termal akan menunjukkan perubahan temperatur bawah



Gambar 1. Peta geologi lokasi penelitian disertai titik akuisisi data suhu.

permukaan selasar dengan penambahan kedalaman. Untuk daerah dengan potensi panas bumi, gradien termal dangkal akan mampu dipetakan di daerah manifestasi (Gambar 1).

Pentingnya pemetaan gradien termal untuk eksplorasi panas bumi khususnya di Padang Cermin salah satunya untuk menjadi input dalam pemodelan aliran fluida hidrotermal. Aktifitas fluida ini menandakan adanya pergerakan panas bumi yang tertahan oleh lapisan penutup [4]. Lokasi terjebaknya fluida panas bumi ini menjadi target utama dalam kegiatan eksplorasi panas bumi. Oleh karena itu, penentuan zona aktifitas fluida ini menjadi kunci penting dalam penentuan lokasi reservoar panas bumi. Struktur berupa patahan/sesar di bawah permukaan menjadi zona permeabel bagi fluida panas bumi. Melalui zona ini, fluida hidrotermal dapat mengalir dan terjadi proses perpindahan energi panas hingga muncul di permukaan sebagai manifestasi panas bumi.

Pengukuran suhu untuk menghitung gradien termal dapat dilakukan menggunakan sensor suhu analog maupun digital. Sensor suhu analog memberikan keluaran tegangan analog dan umumnya membutuhkan rangkaian tambahan yang disebut pengkondisi sinyal sebelum dihubungkan dengan perangkat display.

suhu digital Sensor mempunyai beberapa kelebihan dari sensor suhu analog, diantaranya adalah kekebalannya terhadap Sensor digital noise. juga dapat dihubungkan ke masukan digital perangkat pembaca tanpa rangkaian tambahan. Salah satu sensor digital yang ada di pasaran adalah DS18B20 [5]. Sensor ini telah terbukti mampu dikembangkan dalam prototipe baik untuk bidang kesehatan [6]-[8], lingkungan [9]–[11], pertanian [12]– [14], perikanan [15], uji laboratorium biologi [16] serta pengambangan Internet of Thing (IoT) [17]-[19]. Namun sensor ini membutuhkan proses perancangan agar digunakan melakukan untuk pengukuran gradien termal.

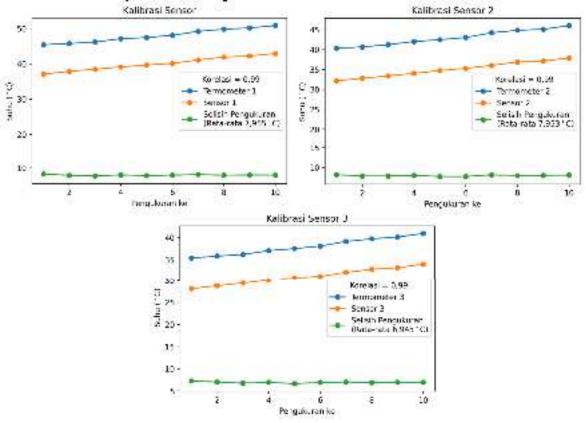
Adanya kebutuhan akan teknologi pengukuran gradien termal dalam eksplorasi panas bumi. maka perlu dilakukan penelitian untuk membangun instrumen yang digunakan sebagai alat pengukuran data gradien termal. Prototipe ini memanfaatkan teknologi yang relatif dapat lebih murah dan dilakukan pengembangan lebih lanjut. Sensor yang digunakan telah dilengkapi dengan lapisan (waterproof), kedap air mampu mengirimkan data melalui 1 kabel serial serta bekerja pada temperatur -55 °C hingga 125 °C [20].

Untuk melakukan pengukuran gradien termal, tim peneliti telah mengembangkan prototipe instrumen pengukuran gradien termal dengan memanfaatkan tiga sensor DS18B20 yang dihubungkan dengan sistem kontroler arduino. Prototipe ini dirancang agar dapat melakukan akuisisi data suhu secara bersamaan pada tiga level kedalaman, yaitu 0,5 m, 1 m dan 1,5 m. Namun untuk mengetahui kemampuan dari

prototipe yang telah dirancang ini, maka penelitian ini dilakukan untuk menguji pengukuran suhu di lapangan panas bumi Pengujian dilakukan Padang Cermin. dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan dan membandingkan hasilnya dengan suhu pengukuran menggunakan instrumen MAE. Penelitian ini difokuskan untuk mendapatkan peta sebaran suhu dan gradien termal dangkal di wilayah panas bumi Padang Cermin.

METODE PENELITIAN

dengan Penelitian ini dilakukan beberapa tahapan yaitu kalibrasi suhu tiap prototipe sensor pada instrumen, pengukuran data di lapangan panas bumi Padang Cermin (Gambar 1) dan terakhir pembuatan peta sebaran dan model distribusi suhu untuk perbandingan dengan hasil pengukuran penelitian sebelumnya [2], [21] menggunakan instrumen thermal conductivity A500T. MAE



Gambar 2. Kurva hasil kalibrasi sensor dengan termometer sebelum akuisisi di lapangan.

Tahapan pertama yaitu kalibrasi data suhu tiap sensor dilakukan di laboratorium. Metode yang digunakan yaitu dengan memberikan sumber panas yang sama pada sensor dan termometer kemudian mencatat hasil pengukurannya. Tiap hasil pengukuran dibandingkan nilai korelasinya dan dihitung rerata dari selisih bacaan sensor dengan termometer. Hasil perhitungan rerata selisih ini kemudian diinput ke dalam sistem prototipe sebagai nilai faktor kalibrasi tiap sensor. Adapun dilakukan kalibrasi yang penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada tahapan kalibrasi sensor yang ditunjukkan pada **Gambar 2** diperoleh nilai korelasi 0,99 atau 99% pada ketiga sensor terhadap hasil pengukuran suhu dengan menggunakan termometer. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai pengukuran tiap sensor pada prototipe instrumen memiliki kesamaan pola yang sangat tinggi dengan pengukuran menggunakan termometer.

Gambar 3. Memasukkan nilai faktor kalibrasi ke *script* arduino.

Untuk selisih suhu pada tiap pengukuran pada sensor 1 memiliki nilai rata-rata selisih 7,995 °C. Nilai ini hampir sama dengan nilai rata-rata selisih pada sensor 2 yakni 7,993 °C. Sedangkan untuk nilai rata-rata selisih pada sensor 3 bernilai 6,945 °C. Nilai rata-rata selisih pada ketiga sensor ini

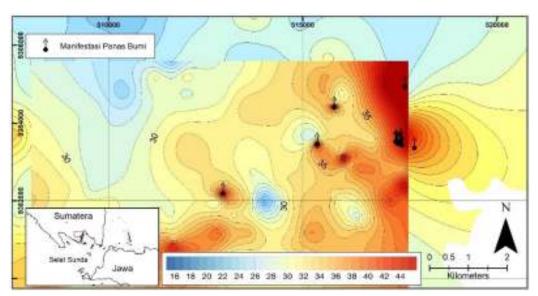
dimasukkan kedalam *script* program arduino sebagai faktor kalibrasi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Setelah proses kalibrasi selesai, maka pengujian prototipe instrumen pengukuran gradien termal di lapangan panas bumi Padang Cermin siap dilakukan. Pengukuran dilakukan sebanyak 72 titik dengan interval tiap titik rata-rata 1 km. Titik akusisi tersebar di sekitar area manifestasi yang ada di Padang Cermin seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1** sebelumnya. Sedangkan untuk data pembanding, digunakan hasil pengukuran suhu pada instrumen thermal conductivity MAE A5000T sebanyak 122 titik. Data ini merupakan data sekunder yang telah diakuisisi pada penelitian sebelumnya [2].

Tahapan terakhir dari penelitian ini adalah pembuatan peta sebaran suhu terukur oleh sensor dan membandingkan hasilnya dengan hasil pengukuran suhu pada instrumen MAE hasil penelitian sebelumnya. Metode interpolasi *Inverse* (IDW) digunakan Distance Weighting untuk membuat peta sebaran suhu dari masing-masing sensor. Metode pemodelan 2,5D dilakukan pada ketiga peta sebaran suhu untuk mendapatkan gambaran pola aliran fluida dangkal di daerah manifestasi panas bumi. Terakhir, perhitungan nilai gradien termal dilakukan dengan metode kuadrat terkecil (Least Squares Method). Hasil perhitungan dibuat peta sebaran nilai gradien termal di lapangan panas bumi Padang Cermin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan akuisisi data suhu di lapangan, diperoleh peta suhu permukaan di kedalaman pertama yang dibandingkan dengan data instrumen MAE (**Gambar 4**).

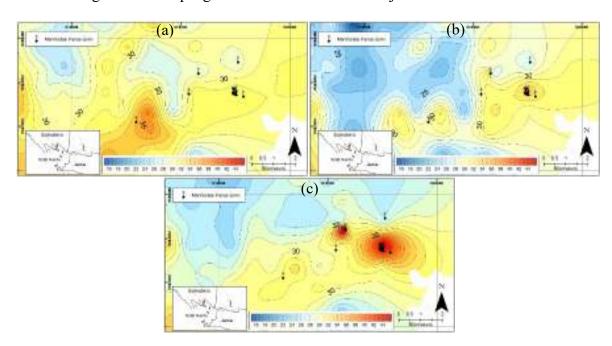


Gambar 4. Perbandingan pengukuran prototipe dengan instrumen MAE A5000T.

Pola sebaran suhu cukup selaras antara sensor pada prototipe dengan instrumen MAE A5000T. Keselarasan ini muncul pada suhu tinggi yang terukur pada area manifestasi panas bumi. Selain itu, pola suhu rendah di bagian baratlaut juga cukup selaras pada kedua instrumen, meskipun perbedaaan waktu pengukuran terpaut cukup lama. Pengujian ini berhasil membandingkan nilai pengukuran suhu

pada sensor prototipe instrumen cukup selaras dengan instrumen MAE A5000T.

Selanjutnya pada hasil pengukuran prototipe instrumen gradien termal diperoleh tiga layer data suhu dengan interval kedalaman 0,5 meter. Lapisan kedalaman 1,5 meter diukur oleh sensor 1, kedalaman 1 meter oleh sensor 2 dan 0,5 meter oleh sensor 3. Peta sebaran suhu tanah ditunjukkan oleh **Gambar 5**.



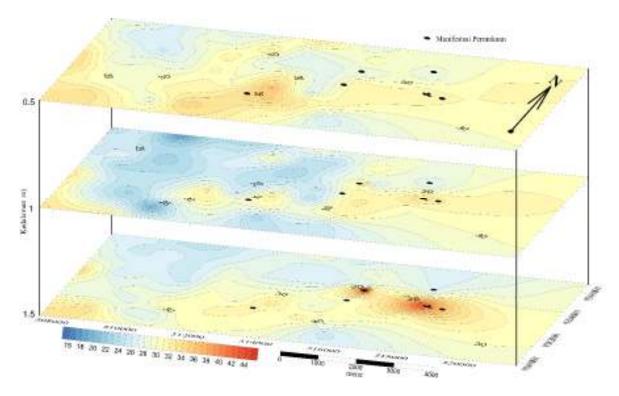
Gambar 5. Peta sebaran suhu pada kedalaman sensor 3 (a), sensor 2 (b) dan sensor 3 (c).

Berdasarkan peta sebaran suhu dekat permukaan pada kedalaman 0,5 m yang terukur oleh sensor 3 (Gambar 5a) menunjukkan nilai suhu tinggi di area manifestasi khususnya di bagian selatan. Sedangkan pada area manifestasi di bagian tengah sampai ke utara, nampak suhu masih sama dengan area non manifestasi. Kondisi ini dipengaruhi oleh suhu permukaan tanah sehingga cukup mempengaruh suhu pengukuran pada kedalaman yang sangat dangkal.

Untuk kedalaman 1 m yang terukur pada sensor 2 diperoleh sebaran suhu yang banyak didominasi oleh suhu rendah (**Gambar 5b**). Sebaran suhu rendah berada mulai dari utara, timur, tengah hingga selatan daerah penelitian. Namun hasil pengukuran tetap konsisten mendapatkan nilai suhu tinggi di sekitar area manifestasi panas bumi. Nilai suhu rendah diperkirakan sebagai zona saturasi air tanah dangkal/permukaan.

Pengukuran paling dalam pada penelitian ini ada di kedalaman 1,5 m yang diukur oleh sensor 1 (Gambar 5c). Pada kedalaman ini, nampak jelas bahwa suhu tinggi terklasterisasi pada area manifestasi bumi. Pola klasterisasi panas menunjukkan bahwa adanya hubungan aliran fluida panas pada arah barat-timur. Hal yang juga menarik dari sebaran suhu kedalaman ini adalah pada konsistensi pola aliran fluida panas pada seluruh sensor pengukuran. Temuan ini juga mengindikasikan bahwa prototipe instrumen pengukuran gradien termal ini mampu digunakan untuk mengukur di lapangan panas bumi.

Hasil pengukuran suhu menggunakan prototipe instrumen gradien termal yang telah menghasilkan tiga layer suhu berdasarkan kedalamannya telah berhasil menunjukkan pola klaster suhu tinggi di area manifestasi panas bumi. Untuk melihat lebih jelas pola-pola tersebut, dibuat peta model 2,5 D seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 6** di bawah ini.



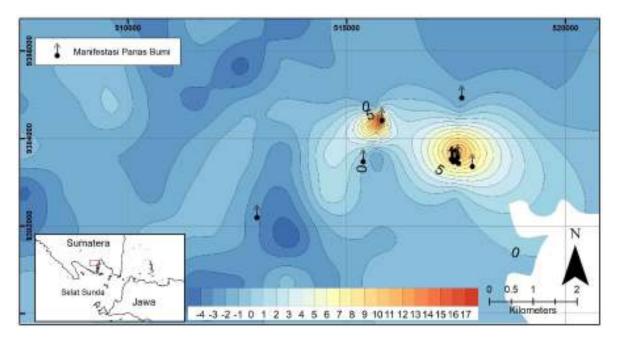
Gambar 6. Model 2,5D pada peta hasil pengukuran suhu dari tiga sensor.

Pola aliran fluida panas nampak jelas pada model 2,5D yang terkonsentrasi antar area manifestasi permukaan panas bumi yang ditandai dengan titik hitam pada **Gambar 6**. Adanya konektivitas fluida panas ini dimungkinkan apabila terdapat struktur geologi atau zona permeable di sana. Selain itu, kemunculan zona panas nampak bersumber dari arah vertikal pada masing-masing titik manifestasi. Kondisi ini diperkirakan karena titik pengukuran suhu hanya mencapai kedalaman 1,5 m sehingga belum mampu mendapatkan gambar sebaran suhu yang lebih dalam.

Sebaran nilai suhu rendah pada ketiga layer atau lapisan pengukuran suhu juga mengindikasikan sumber aliran fluida air permukaan yang selaras dengan arah puncak Gunung Ratai. Hal ini memperkuat indikasi bahwa sumber *recharge* atau resapan air meteorik didominasi oleh puncak Gunung Ratai. Namun potensi air laut yang masuk ke sistem panas bumi juga terindikasi pada area bagian selatantenggara daerah penelitian. Potensi ini

nampak dari sebaran suhu rendah yang secara geografis berada dekat dengan panti di Teluk Ratai. Namun apakah air laut ini menjadi sumber recharge pada manifestasi di dekatnya, misalnya di area manifestasi Margodadi, hal ini masih perlu diuji dengan sampel isotop stabil uji geokimia air manifestasi.

Pengujian yang terakhir pada penelitian ini adalah membuat peta gradien termal pengukuran prototipe instrumen. Secara sistem, prototipe instrumen ini telah dilengkapi dengan script penghitung gradien termal otomatis. Metode penghitungan gradien termal menggunakan teknik kuadrat terkecil (Least Squares Prototipe instrumen *Method*). otomatis menghitung gradien termal setiap titik pengukuran dan menyimpan data ke dalam sistem output data dalam format *.csv. Oleh karena itu, peta gradien termal dapat langsung dibuat dalam sistem informasi geografis seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Peta sebaran gradien termal hasil pengukuran prototipe instrumen di daerah penelitian.

Gradien termal bernilai positif hanya muncul di daerah manifestasi sedangkan di luar area manifestasi bernilai rendah hinggi negatif. Hasil ini menunjukkan bahwa prototipe instrumen pengukuran gradien termal ini cukup mampu digunakan dalam lapangan eksplorasi di panas bumi. Meskipun demikian, masih terdapat beberapa titik manifestasi yang terukur pada gradien suhu yang rendah bahkan negatif. Kondisi ini dapat diinterpretasikan sebagai akibat dari suhu permukaan yang tinggi akibat pemanasan lapisan atas pada pengukuran siang hari yang dipengaruhi oleh lapisan tersaturasi air di bawahnya. Sehingga meskipun suhu yang terukur tetap tinggi di manifestasi, tetapi gradien menjadi rendah/negatif akibat suhu di lapisan lebih bawah lebih menjadi lebih rendah.

Terlepas dari adanya titik dengan gradien negatif, hasil pengukuran dapat dengan jelas menunjukkan pola gradien tinggi dan positif di area manifestasi panas bumi. Hasil ini menjadi temuan yang menggembirakan, mengingat instrumen yang digunakan masih berupa prototipe yang baru pertama kali diuji pada lapangan panas bumi. Beberapa permasalahan yang ditemukan saat pengujian di lapangan seperti masalah ketahanan terhadap air, pengkabelan (wiring), teknik pemboran dangkal harus ditingkatkan. Oleh karena beberapa catatan perbaikan dan peningkatan kemampuan instrumen tersebut akan menjadi fokus selanjutnya oleh tim peneliti.

KESIMPULAN

Keberhasilan prototipe instrumen pengukur gradien termal dalam pengujian di lapangan panas bumi Padang Cermin menjadi hasil yang signifikan untuk pengembangan intrumen ini. Uji kalibrasi dapat dilakukan dengan mudah dengan korelasi sebesar 90%. Hasil pengujian dengan data pembanding dari hasil

instrumen MAE A5000T pengukuran menunjukkan keselarasan nilai khususnya pada area manifestasi dan pola suhu rendah di bagian baratlaut. Temuan lain adanya klasterisasi yang menunjukkan hubungan aliran fluida panas pada arah barat-timur serta konsistensi pola aliran seluruh fluida panas pada sensor pengukuran.

Adanya konektivitas fluida panas ini dimungkinkan apabila terdapat struktur geologi atau zona permeable bersumber dari arah vertikal pada masing-masing titik manifestasi. Hasil pengukuran gradien termal juga menunjukkan pola gradien tinggi dan positif di area manifestasi panas bumi. Temuan ini juga mengindikasikan bahwa prototipe instrumen pengukuran gradien termal ini mampu digunakan untuk mengukur di lapangan panas bumi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada mahasiswa dan tim Ratai Ceria yang telah membantu dalam proses akuisisi data di lapangan, Laboratorium Geofisika Teknik dan Lingkungan Jurusan Teknik Geofisika Unila atas bantuan peralatan, serta seluruh pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Karyanto, "Pencitraan Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Way Ratai Lampung Dengan Metode Tahanan Jenis 2 Dimensi," vol. 9, no. 3, hal. 55–59, 2003.
- Karyanto, Haerudin. [2] N. R. Mulyasari, Suharno, dan Ρ. "Geothermal Potential Manurung, Assesment of Way Ratai Area Based on Thermal Conductivity Measurement to Measure Thermal Properties of Rocks," J. Earth Sp. Phys., vol. 45, no. 4, hal. 89-98, 10.22059/jesphys.2020.267095.1007

048.

- [3] S. Sukaesih, Y. Rezky, M. F. Rosana, dan U. Mardiana, "Alterasi di Sumur Pengeboran SMN-1 dan SMN-2 di Daerah Panas Bumi Sumani, Kabupaten Solok, Propinsi Sumatera Barat," *Bul. Sumber Daya Geol.*, vol. 10, no. 3, 2015, doi: 10.47599/bsdg.v10i3.145.
- [4] A. Setyawan, S. Ehara, Y. Fujimitsu, dan J. Nishijima, "An Estimate of the Resources Potential of Ungaran Geothermal Prospect for Indonesia Power Generation," 2010.
- [5] A. N. Permana, I. M. S. Wibawa, dan I. K. Putra, "DS18B20 sensor calibration compared with fluke hart scientific standard sensor," *Int. J. Phys. Math.*, vol. 4, no. 1, 2021, doi: 10.31295/ijpm.v4n1.1225.
- [6] E. Nurazizah, "Rancang Bangun Termometer Digital Berbasis Sensor Ds18B20 Untuk Penyandang Tunanetra (Design Digital Thermometer Based on Sensor Ds18B20 for Blind," *e-Proceeding Eng.*, vol. 4, no. 3, 2017.
- [7] Ramesh Saha, S. Biswas, S. Sarmah, S. Karmakar, dan P. Das, "A Working Prototype Using DS18B20 Temperature Sensor and Arduino for Health Monitoring," *SN Comput. Sci.*, vol. 2, no. 1, 2021, doi: 10.1007/s42979-020-00434-2.
- [8] M. A. Pertiwi, I. D. Gede Hari Wisana, T. Triwiyanto, dan S. Sukaphat, "Measurement of Heart Rate, and Body Temperature Based on Android Platform," *Indones. J. Electron. Electromed. Eng. Med. informatics*, vol. 2, no. 1, 2020, doi: 10.35882/ijeeemi.v2i1.6.
- [9] I. A. Rozaq dan N. Yulita, "Uji Karakterisasi Sensor Suhu DS18B20 Waterproof Berbasis Arduino Uno Sebagai Salah Satu Parameter Kualitas Air," *Pros. SNATIF*, vol. 0, no. 0, 2017.

- [10] Z. A. Kurnia Sari, H. Permana, dan W. Indrasari, "Karakterisasi Sensor Photodioda, DS18B20, dan Konduktivitas Pada Rancang Bangun Sistem Deteksi Kekeruhan dan Jumlah Zat Padat Terlarut Dalam Air," SPEKTRA J. Fis. dan Apl., vol. 2, no. 2, 2017, doi: 10.21009/spektra.022.09.
- [11] Widodo dan E. A. Stiyawan, "Design of Total Dissolve Solid (TDS) Measuring Using Conductivity Sensor and Temperature Sensor DS18B20," *BEST J. Appl. Electr. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 1, 2020, doi: 10.36456/best.vol2.no1.2583.
- [12] Lutfiyana, N. Hudallah, dan A. Suryanto, "Rancang Bangun Alat Ukur Suhu Tanah, Kelembaban Tanah, dan Resistansi," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, 2017, doi: 10.15294/jte.v9i2.11087.
- [13] D. Vaolina Sari dan A. Surtono, "Sistem Pengukuran Suhu Tanah Menggunakan Sensor DS18B20 dan Perhitungan Resistivitas Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner," *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 04, no. 01, 2016.
- [14] R. L. Alam dan A. Nasuha, "Alat Pengontrol Ph Air dan Monitoring Lingkungan Tanaman Hidroponik Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Internet Of Things," *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.*, vol. 5, no. 1, 2020, doi: 10.21831/elinvo.v5i1.34587.
- [15] A. I. Irawan, R. Patmasari, dan M. R. Hidayat, "Peningkatan Kinerja Sensor DS18B20 pada Sistem IoT Monitoring Suhu Kolam Ikan," *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 5, no. 1, 2020, doi: 10.31544/jtera.v5.i1.2019.101-110.
- [16] H. Harianingsih, S. Suwardiyono, N. E. B, dan R. Wijanarko, "Perancangan Sistem Detektor Suhu

- Fermentasi Acetobacter Xylinum menggunakan Sensor DS18B20," *J. JTIK (Jurnal Teknol. Inf. dan Komunikasi)*, vol. 2, no. 1, 2018, doi: 10.35870/jtik.v2i1.44.
- [17] F. N. Iksan dan G. Tjahjadi, "Perancangan Stop Kontak Pengendali Energi Listrik Dengan Sisitem Keamanan Hubung Singkat Dan Fitur Notifikasi Berbasis Internet of Thins (IoT)," *J. Elektro*, vol. 11, no. 2, 2018.
- [18] U. Syafiqoh, S. Sunardi, dan A. Yudhana, "Pengembangan Wireless Sensor Network Berbasis Internet of Things untuk Sistem Pemantauan Kualitas Air dan Tanah Pertanian," *J. Inform. J. Pengemb. IT*, vol. 3, no. 2, 2018, doi: 10.30591/jpit.v3i2.878.
- [19] J. Y. Lin, P. J. Zhang, dan A. J. Zhang, "An integrated system for regional environmental parameters business data distribution based on internet of things," *J. Inf. Hiding Multimed. Signal Process.*, vol. 10, no. 1, 2019.
- [20] Maxim Integrated, "DS18B20 Datasheet," *Maxim Integr.*, vol. 92, 2015.
- [21] R. Donovan, K. Karyanto, dan O. Dewanto, "Studi Sifat Termal Batuan Daerah Lapangan Panas Bumi Way Ratai Berdasarkan Pengukuran Metode Konduktivitas Termal," *J. Geofis. Eksplor.*, vol. 4, no. 3, hal. 103–119, 2018, doi: 10.23960/jge.v4i3.44.

Gempa Bumi : Hubungan Data Sensor MAG3110 dengan Data Sensor ADXL345 Berbasis IoT

Dodi Yudo Setyawan*¹, Nurfiana², Lia Rosmalia³, Melia Gripin Setiawati⁴

1,2,3,4 Sistem Komputer Institute Informatics and Business Darmajaya Z.A Pagar Alam Street No. 93 Gedong Meneng, Bandar Lampung, Telp/fax 0721 787214/0721 700261* e-mail: dodi@darmajaya.ac.id¹,nurfiana@darmajaya.ac.id²,liarosmalia@darmajaya.ac.id³, melia.gripin@darmajaya.ac.id⁴

Diterima (06 Mei 2021), Direvisi (30 Juli 2021)

Abstract. The earthquake early warning system was built by implementing the IoT-based telemetry method to measure the earth's magnetic flux and vibrations at the latitude coordinates and longitude coordinates (-5.640274, 104.3050093), (-5.600941, 104.7788183) through the MAG3110 and ADXL345 sensors that were integrated in the raspberry pi3 as a server and applications on Android phones used for measurement data display. The result of the measurement data was that the average impact of the arising earth anomaly and vibration at the same coordinates took 400 seconds in the anomaly range of 395 μ T to 404 μ T. The conclusion of this study was that the study was able to be used as a basic to design the real-time earthquake warning system.

Keywords: Earthquake, IoT, Telemetry.

Abstrak. Untuk membangun sistem peringantan dini gempa bumi kami menerapkan metode telemetri berbasis IoT untuk mengukur flux magnet bumi dan getaran pada koordinat lintang dan bujur bumi (-5.640274, 104.3050093) dan (-5.600941, 104.7788183) menggunakan sensor MAG3110 dan ADXL345 yang diintegrasikan dalam raspberry pi3 sebagai server dan aplikasi di handphone android digunakan untuk menampikan data pengukuran. Hasil pengukuran yang diperoleh rata-rata dampak yang ditumbulkan dari timbulnya anomali dengan datangnya getaran pada koordinat yang sama membutuhkan waktu 400 detik dari rentang anomali sebesar 395 μT sampai dengan 404 μT. Hal ini menurut peneliti dapat dijadikan dasar untuk membangun sistem peringatan gempa bumi secara real time.

Keywords: gempa bumi, IoT, Telemetri

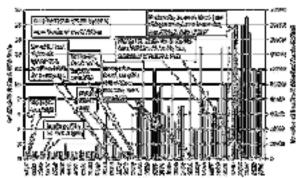
PENDAHULUAN

Peristiwa gempa bumi pasti terjadi baik dalam skala kecil maupun besar di bumi ini. Hal ini merupakan karakteristik bumi itu sendiri dalam mempertahankan kestabilannya yang merupakan gejala alamiah. Korban jiwa dan harta yang ditimbulkan juga tidak sedikit jumlahnya jika gempa terjadi dalam skala besar. Pembangunan sistem peringatan dini gempa bumi seharusnya sudah menjadi motifasi para peneliti untuk lebih fokus pada hal tersebut dilihat dari berbagai

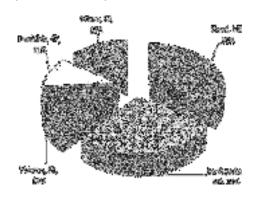
tempat kejadian gempa bumi di Indonesia seperti gempa bumi Aceh, Medan, Padang, Jogiakarta dan berbagai wilayah lainnya. Pada penelitian: rancang bangun prototipe sitem peringatan dini gempa bumi [1], kalibrasi dan karakterisari sensor fluxgate magnetometer serta sensor suhu tanah untuk sistem peringatan dini gempa bumi [2][3] telah berhasil dilaksanakan namun adanya metode lain perlu dalam pengiriman data yakni sensor menggunakan metode telemetri secara otomatis berbasis IoT (Internet of Thing) yang sebelumnya menggukan kabel dalam pengiriman datanya. Penggunaan metode

ini diharapkan nantinya data-data dari menunju ke server menjangkau lebih jauh dan terkirim dengan baik serta tidak terjadi data loss sehingga prediksi peringatan dini gempa bumi lebih akurat. Sistem peringatan dini dibangun dapat memperkirakan kapan waktu datangnya, besar kecilnya gempa dan letak gempa. Sensor-sensor yang digunakan antara lain sensor fluxgate magnetometer, sensor suhu tanah dan Receiver FM. Perlu implementasi metode telemetri dalam sistem tersebut untuk menjangkau sensor-sensor letaknya jauh. Gempa bumi dapat diprediksi kapan terjadinya, kekuatannya gempanya dan letak pusat gempanya karena ada beberapa gejala atau fenomena alam yang terjadi beberapa waktu sebelum gempa itu terjadi. Beberapa tanda atau gejala awal akan datangnya gempa bumi adalah fenomena Total Electron Content pada lapisan ionosfer [4][5][6] Akibat pergerakan lempeng, terjadi rekahan yang memengaruhi gaya berat dan mineral magnetis dalam bumi sehingga di mengganggu kestabilan gava medan elektromagnetik. Gangguan ini bisa sampai radius 400 kilometer di atas permukaan bumi pada lapisan ionosfer dan peningkatan geomagnetism pada permukaan bumi dalam waktu tertentu sebelum terjadinya gempa [7][8] [9] dan geomagnetism dapat dideteksi menggunakan sensor MAG3110 [10] [11] Selain itu juga sensor DHT11 dapat digunakan untuk memonitor gempa melalui perubahan suhu tanah yang terjadi seperti yang telah dilakukan oleh [12].

Sudah tidak dapat dipungkiri lagi bahwasannya korban gempa bumi di seluruh wilayah banyak memakan korban jiwa. Sebagaimana dipaparkan pada data berikut.



Gambar 1. Statistik gempa bumi dan jumlah korban jiwa 1900 s.d 2012 [13]



Gambar 2. Statistik jenis bencana alam

Jumlah tertinggi kematian dan hilang dari bencana gempa bumi terjadi pada tahun 2014, tercatat 18 kali bencana alam gempa bumi, dan salah satunya terjadi gempa yang sangat besar yang mengakibatkan tsunami yang mengakibatkan kurang lebih 172.761 korban jiwa. Jika dilihat dari statistik jenis bencana alamnya pun jenis bencana alam gempa bumilah yang sering terjadi sebagaimana dijelaskan pada gambar berikut.

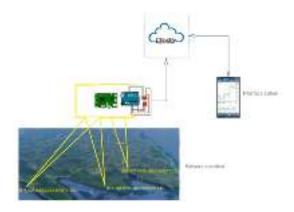
Terakhir yang terjadi di Palu, Sulawesi tengah 28 September 2018 7,8 skala rickter kurang lebih menimbulkan korban jiwa sebanyak 2000 jiwa [14]. BMKG baru memberikan gambaran gempa yang sudah terjadi mengenai tempat, waktu dan kekuatan. BMKG belum mampu memprediksi waktu akan datanya gempa oleh karena itu sudah seharusnya sistem peringatan dini ini

dibangun untuk mengantisipasi akibat gempa yang ditimbulkan, mengkoordinasi bantuan oleh SAR, lokasi pengungsian dan lain-lain. Dengan mengimplementasikan metoda telemetri berbasis IoT pada sistem tersebut diharapkan dapat menjangkau penempatan sensor yang jauh pada daerahdaerah rawan gempa nantinya dan akhirnya dapat meningkatkan keakuratan prediksi gempa dan banyak menyelamatkan jiwa.

Telemetri adalah penggukuran objek tertentu dari iarak menggunakan komunikasi secara wireless, contohnya adalah telemetri pada smat home oleh [15][16][17]untuk akuisisi data sensor yang diletakan pada rumah. Sensorsensor tersebut digunakan memantau kondisi fisis rumah baik suhu, cahaya dan kimia. Pada intensitas penelitian yang akan dilaksanakan ini akan menerapkan telemetri pada sensor MAG3110 dan ADXL345 untuk kondisi fisis bumi baik memantau kemagnetan dan getaran bumi. Berbicara telemeri tidak lepas otomasi, otomasi adalah teknik yang menggabungkan ilmu elektronika dengan sistem yang berbasis komputer melalui prosedur yang disusun menurut intruksi tertentu sehingga terdapat unpan balik didalamnya untuk mengoreksi apakah instruksi yang diberikan sudah terlaksana dengan baik. Otomasi menekankan produktivitas, kualitas. efisiensi. keandalan, dengan fokus pada sistem yang beroperasi secara baik [18].

IoT merupakan sebuah konsep yang memperluas manfaat jaringan internet yang tersambung terus-menerus, dengan adanya konsep ini suatu objek atau device dapat mengirim dan menerima data secara otomatis tanpa banyak campur tangan manusia. Penerapan konsep ini pada akhirnya akan mempermudah aktivitas manusia. Banyak penerapan konsep ini seperti Smart Garbage [19] memonitoring kotak sampah sudah penuh atau belum sehinga proses pengambilan kotak sampah oleh petugas lebih efektif. IoT pada tanaman hidroponik [20] untuk memonitoring PH air agar tanaman hidroponik dapat tumbuh dengan baik. Integrasi IoT pada e-KTP pemanfaatan IoT untuk membaca ID yang ada pada e-KTP dengan integrasi ini pemanfaatan e-KTP lebih luas tanpa harus membuat kartu identitas vang lain. Integrasi sensor physiologi dengan IoT [22] untuk memonitoring tingkat stres seseorang dalam setiap aktivitasnya seharihari. Integrasi IoT pada robot pendeteksi logam [23] untuk mengurangi resiko radioaktif pada proses pendeteksian logam yang biasa dilakukan manusia secara langsung, dengan memanfaatkan IoT pendeteksian bisa dilakukan secara jarak jauh. Impelementasi IoT pada Smart Parking dengan metode pengenalan wajah serta pengenalan plat kendaraan [24][25]. Integerasi IoT pada kendaraan Taksi [26] untuk memonitoring taksi mengalamai kecelakaan atau tidak. Membangun penghubung antara jaringan sensor dengan menggunakan Internet Gateway Device (IGD) sehingga mengurangi delay rata-rata dalam jaringan sensor tersebut [27][28][29]. Integrasi IoT pada kartu tol [30]. Pembangunan sistem informasi yang memberikan layanan informasi daerah wisata yang sering dikunjungi wisata [31][32]. Pemanfaatan IoT untuk menejemen irigasi [33]. Dari berbagai pemanfaatan IoT yang sudah pernah dilakukan seperti di atas, peneliti akan menerapkan IoT pada sistem peringatan dini gempa bumi.

METODE PENELITIAN

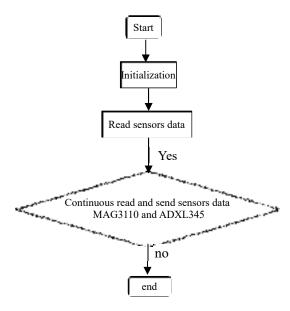


Gambar 3. Letak sensor

Desain telemetri sensor MAG3110 dan ADXL345 ditunjukan pada Gambar 3, dimana dibagi menjadi dua sistem. sistem yang pertamana terdiri dari sensor MAG3110, ADXL345, Modem GSM dan sistem yang kedua interface untuk menampilkan data-data dari sensor.

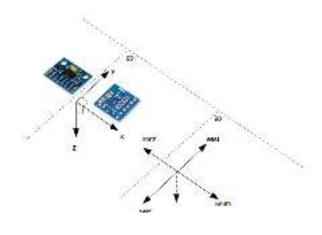
Sensor MAG3110 dengan supply voltage 1.95 V to 3.6 V (VDD), 1.62 V to VDD IO voltage (VDDIO), ukuran 2 mm x 2 mm x 0.85 mm, 0.4 mm, 10-pin package, Full-scale range ±1000 μT, Sensitivity of 0.10 µT, Noise down to 0.25 uT rms, Output Data Rates (ODR) up to 80 Hz, 400 kHz Fast Mode compatible I 2 low-power, interface, single-shot measurement mode, RoHS compliant [34]. The ADXL345 is a small, thin, ultralow power, 3-axis accelerometer with high resolution (13-bit) measurement at up to ± 16 g. Digital output data is formatted as 16-bit twos complement and is acces- sible through either a SPI (3- or 4-wire) or I2 C digital interface[35]. Sensor MAG3110 dan ADXL345 diletakkan pada koordinat (-5.640274, 104.3050093) dan (-5.600941, 104.7788183) mikrokontroler dan modem GSMakan mengirim data kemagnetan dan getaran bumi ke interface menggunakan GSM menggunakan celluler network. Sistem interface digunakan untuk menampilkan data-data sensor

bentuk grafik satu dimensi. Algoritma flowchart masing-masing sistem pada setiap koordinat sebagai berikut :



Gambar 4. Flowchart kode program

Sensor MAG3110 dan ADXL345 disusun saling tegak lurus antar koordinat, baik koordinat x, y dan z seperti nampak pada gambar berikut



Gambar 5. Susunan sensor

Sususan sensor seperti diatas untuk menentukan hubungan perubahan nilai bumi dengan perubahan fluxmagmet teriadi. getaran atau gempa vang Koordinat sensor ADXL345 arah sumbu x tegak lurus dengan koordinat sensor MAG3110 arah sumbu y dan tegak lurus dengan arah mata angin bumi. Untuk memperoleh gerakan tiga dimensi, sensor ADXL345 diletakan pada kantilever dengan bahan baja yang memiliki modulus voung sebesar 19.9 Gpa. Paniang kantilever L = 10 cm. Modulus young mendefinisikan huhungan antara tegangan (σ) dengan regangan (e)

$$Y = \frac{\sigma}{e} \tag{1}$$

dimana tegangan didefinisikan sebagai gaya persatuan luas

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{2}$$

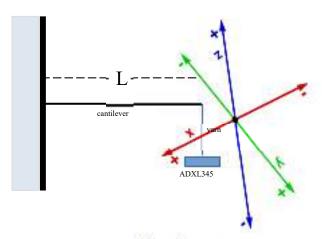
dalam satuan internasional F: gaya (N), A: luas (m²) sehingga σ : tegangan (N/m²). Sedangkan regangan adalah pertambahan panjang (ΔL) dari panjang mula-mula (L).

$$e = \frac{\Delta L}{L}$$
 (3)

dimana ΔL : pertambahan panjang (m) dan L: Panjang mula-mula (m). Dengan demikian kita modulus young dinyatanyakan dengan

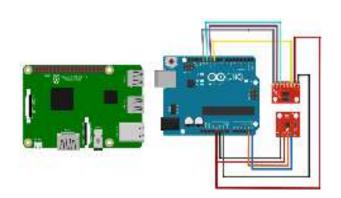
$$Y = \frac{FxL}{Ax\Delta L} \tag{4}$$

dimana Y: modulus young (N/m^2) . Dengan nilai F = 0.0018 N, L = 0.1 m, $\Delta L = 0.01$ m dan A = 0.0001 m² nilai modulus young sebesar 19,9 Gpa.



Gambar 6 Kantilever sensor.

Rangkaian secara keseluruhan masing-masing sistem sensor seperti nampak pada gambar sebagai berikut



Gambar 7. Rangkain sistem sensor

Komunikasi antara ADXL345 dengan arduino terdiri dari dua yakni komunikasi secara I2C (Inter Integrated Circuit) dan SPI Peripheral interface). Dalam board arduino terdapat mikrokontroler ATmega328P, with 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash. Have RISC architecture and Up to 16MIPS throughput at 16MHz in On-chip 2-cycle multiplier [36].Pada rangkain diatas komunikasi antara arduino dengan sensor menggunakan SPI. Komunikasi

data ini memiliki beberapa keuntungan dibanding dengan komonikasi data secara I2C. Kecepatan transfer data lebih cepat dan dapat melakukan pengiriman dan penerimaan data secara bersamaan serta tidak diperlukan penambahan resistor pullup. Komunikasi data secara SPI ini diperlukan untuk memperoleh tingkat kesensitifan sensor. Begitu juga dengan MAG3110, sensor penyensoran kemagnetan bumi secara tiga dimensi dilakukan bersamaan dengan sensor ADXL345. Kedua data tersebut melului arduino dikirimkan ke cloud menggunakan Raspberry pi3. Raspberry Pi 3 memiliki Mikroprosesor 1.2GHz 64-bit quad-core ARMv8 CPU - 802.11n dan memiliki Wireless LAN - Bluetooth 4.0 Bluetooth Low Energy (BLE) [37]. Pada arduino tambahkan library BlynkSimpleStrem. Untuk memfungsikan rasbrry pi 3 sebagai server diperlukan perangkat lunak Node.js, langkah-langkah untuk men-setting Node.js raspberry pi3 yakni dengan menambahkan repositories peng-install-an rasberry untuk Node.js dengan kode curl sL https://deb.nodesource.com/setup 12.x | sudo -E bash - menggunakan terminal rasberry pi3 melakukan peng install an dengan kode sudo apt-get install buildessential nodejs - dan lengkapi dengan library Blynk dengan kode sudo npm install blynk-library -g. Pada direktor library Blynk, running Blynk-ser.sh.

Data getaran dari sensor ADXL345 dan data flux magnet dari sensor MAG3110 merupakan besaran vektor. Untuk memudahkan tampilan grafik data dapat ditentukan resultan dari ketiga vektor tersebut dengan rumus sebagai berikut:

$$\vec{R} = \sqrt{\vec{x^2} + \vec{y^2} + \vec{z^2}} \tag{5}$$

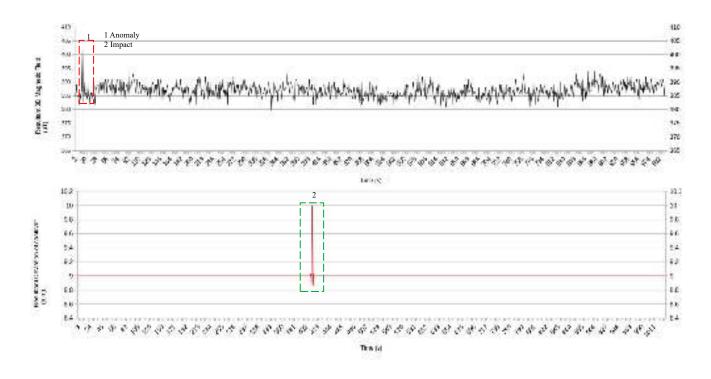
HASIL DAN PEMBAHASAN

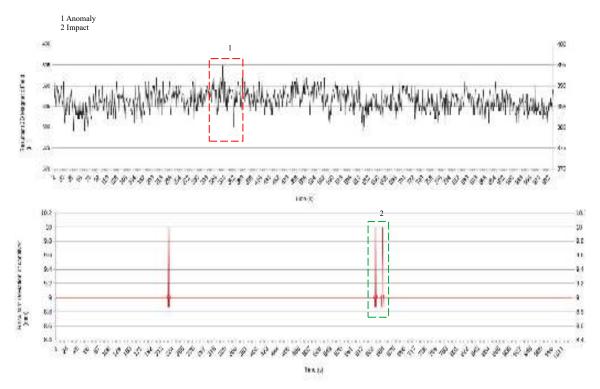
Setelah dilakukan proses pengukuran didapat grafik data getaran dan kemagnetan bumi pada tiga koordinat bumi seperti **Gambar 8**.

Seperti nampak pada gambar, terdapat keterkaitan antara perubahan atau anomali resultan fluxmagnet bumi dengan resultan simpangan getaran yang terjadi pada sensor ADXL345. Rata rata impact yang ditimbulkan 400 detik atau 6,6 menit anomali resultan fluxmagnet. Anomali data flux magnet dengan rentang uТ sampai dengan 404 mengakibatkan resultan simpangan 1 mm pada kantilever sensor ADXL345. Hal ini dapat dijadikan dasar untuk membangun sistem peringatan dini gempa bumi secara real time.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengukuran fulxmagnet dan getaran bumi menggunakan metode telemetri berbasis IoT didapat kesimpulan bahwa terdapat keterkaitan antara anomali fluxmagnet dengan getaran bumi. Rata-rata impact yang ditumbulkan dari timbulnya anomali dengan datangnya getaran pada koordinat yang sama membutuhkan waktu 400 detik dari rentang anomali sebesar 395 µT sampai dengan 404 µT. Hal ini menurut peneliti dapat dijadikan hitotesis untuk membangun sistem peringatan gempa bumi secara real time.





Gambar 8 Grafik data output sensor

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Y. Setyawan and N. Zaidal, "Earthquake Early Warning System Real Time Design Using Total Electron Content and Geomagnetism with Fuzzy Logic," Int. J. Comput. Sci. Issues, vol. 11, no. 6, pp. 38-44, 2014, [Online]. Available: https://search.proquest.com/docvie w/1640566416?accountid=8144%0 Ahttp://sfx.aub.aau.dk/sfxaub?url v er=Z39.88-2004&rft val fmt=info:ofi/fmt:kev: mtx:journal&genre=article&sid=Pro Q:ProQ%3Amaterialscienceenginee ring&atitle=Earthquake+Early+War ning+System+Real+.
- [2] D. Y. Setyawan, D. Yuliawati,
 Warsito, and Warsono, "Calibration
 of geomagnetic and soil temperatur
 sensor for earthquake early warning
 system," Telkomnika
 (Telecommunication Comput.
 Electron. Control., 2018, doi:
 10.12928/TELKOMNIKA.v16i5.75
 92.
- [3] S. D.Y, Y. D, W. Warsito, and W. Warsono, "Determination Model of Tectonic Seismicity Level In Earthquake Early Warning System By Implementing ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference Systems)," pp. 283–291, 2019, doi: 10.4108/eai.24-10-2018.2280617.
- [4] [J. A. Strauss and R. M. Allen, "Benefits and costs of earthquake early warning," *Seismol. Res. Lett.*,

- vol. 87, no. 3, pp. 765–772, 2016, doi: 10.1785/0220150149.
- [5] Remote Sensing of Northwest Himalayan Ecosystems. Springer Singapore, 2019.
- [6] X. Lin, Y. ~C. Su, T. ~J. ~Y. Liu, and J. Sha, "Temporal and Spatial Correlation Analyses between Precursory Ionospheric Parameters and Earthquake Energy by Using Total Electron Content of Global Ionosphere Maps," in *AGU Fall Meeting Abstracts*, 2018, vol. 2018, pp. NH13D-0718.
- [7] K. Hattori, P. Han, and J. Zhuang, "Assessment of ULF geomagnetic precursor for short-term earthquake forecast," in *EGU General Assembly Conference Abstracts*, Apr. 2018, p. 17007.
- [8] Y. Zhu, "Hypothesis on the Cycle of Japan M=7.8 earthquake," in International Geophysical Conference, Beijing, China, 24-27 April 2018, 2018, pp. 710–716.
- Z. Li, J. An, H. Yin, Y. Tian, and [9] W. Yu, "Study on Association Rules Between Earthquake Event Earthquake Precursory Information Anomalies," in 2018 11th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering Informatics (CISP-BMEI), 2018, pp. 1–6, doi: 10.1109/CISP-BMEI.2018.8633171.

- [10] Chen, Xiaoyu and Orense, Rolando P., "Development of a magnetic tracking system for monitoring soil movements induced by geohazards," *E3S Web Conf.*, vol. 92, p. 17007, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/20199217007.
- [11] A. Lackey and A. Lackey, "Detecting Geomagnetically Induced Currents in Electric Power Transmission Lines by," 2018.
- [12] R. C. Abayon *et al.*, "A Weather Prediction and Earthquake Monitoring System," in *2018 IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC)*, 2018, pp. 203–208, doi: 10.1109/SPC.2018.8704138.
- [13] N. B. Parwanto and T. Oyama, "A statistical analysis and comparison of historical earthquake and tsunami disasters in Japan and Indonesia," *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 2014, doi: 10.1016/j.ijdrr.2013.10.003.
- [14] I. S. Wekke, Z. Sabara, M. A. Samad, A. Yani, R. Umam, and M. U. Palu, "Earthquake, Tsunami, and Society Cooperation: Early Findings in Palu Post of Indonesia Disaster," *Int. Conf. Challenges Oppor. Sustain. Environ. Dev.*, 2019.
- Abdulrahman, [15] T. A. O. Η. Isiwekpeni, N. T. Surajudeenand A. O. Otuoze, Bakinde, "Design, **Specification** and Implementation of a Distributed Automation System," Home Procedia Comput. Sci., vol. 94, no.

- IoTNAT, pp. 473–478, 2016, doi: 10.1016/j.procs.2016.08.073.
- A. Ahmim, T. Le, E. Ososanya, and [16] "Design Haghani, and implementation of a home automation system for smart grid applications," 2016 IEEE Int. Conf. Consum. Electron. ICCE 2016, pp. 538-539. 2016. doi: 10.1109/ICCE.2016.7430721.
- [17] R. K. Kodali and S. R. Soratkal, "MQTT based home automation system using ESP8266," *IEEE Reg.* 10 Humanit. Technol. Conf. 2016, R10-HTC 2016 Proc., no. December 2016, 2017, doi: 10.1109/R10-HTC.2016.7906845.
- [18] B. Kehoe, S. Patil, P. Abbeel, and K. Goldberg, "A Survey of Research on Cloud Robotics and Automation," *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, 2015, doi: 10.1109/TASE.2014.2376492.
- [19][R. H. Putra, F. T. Kusuma, T. N. Damayanti, and D. N. Ramadan, "IoT: smart garbage monitoring using android and real time database," vol. 17, no. 3, pp. 1483–1491, 2019, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v17i3.10 121.
- [20] R. B. Lukito and C. Lukito, "Development of IoT at hydroponic system using raspberry Pi," *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, 2018, doi:

- 10.12928/TELKOMNIKA.V17I2.9 265.
- [21] R. M. Awangga, N. H. Harani, and M. Y. H. Setyawan, "KAFA: A novel interoperability open framework to utilize Indonesian electronic identity card," Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control., vol. 17, no. 2, pp. 712-718, 2019, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.V17I2.1 1755.
- [22] K. Sethi, T. Ramya, H. P. Singh, and R. Dutta, "Stress detection and relief using wearable physiological sensors," *Telkomnika* (Telecommunication Comput. Electron. Control., vol. 17, no. 3, pp. 1139–1146, 2019, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.V17I3.9 719.
- N. S. Ali, H. A. Kadhim, and D. M. [23] Abdulsahib, "Multi-function intelligent robotic in metals detection applications," **TELKOMNIKA** (Telecommunication Comput. Electron. Control., vol. 17, no. 4, p. 2058, 2019, doi: 10.12928/telkomnika.v17i4.11822.
- [24] R. P. Persada, S. Aulia, B. D., and S. H., "Automatic face and VLP's recognition for smart parking system," *TELKOMNIKA* (Telecommunication Comput. Electron. Control., 2019, doi: 10.12928/telkomnika.v17i4.11746.

- [25] D. N. C. Loong, S. Isaak, and Y. Yusof, "Machine vision based smart parking system using Internet of Things," *TELKOMNIKA* (Telecommunication Comput. Electron. Control., vol. 17, no. 4, p. 2098, 2019, doi: 10.12928/telkomnika.v17i4.12772.
- I. Indrianto, M. N. I. Susanti, R. R. [26] A. Siregar, J. P. Putri, and Y. "Smart taxi security Purwanto. system design with Internet of (IoT)," Things Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control., vol. 17, no. 3, 1250–1255, 2019, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.V17I3.1 0167.
- E. S. Pramukantoro, M. Luckies, [27] and F. A. Bakhtiar, "Bridging IoT infrastructure and cloud application using cellular-based internet Telkomnika gateway device," (Telecommunication Comput. Electron. Control., vol. 17, no. 3, pp. 1439–1446, 2019, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.V17I3.1 2229.
- [28] A. Karim Mohamed Ibrahim, R. A. Rashid, A. H. F. A. Hamid, M. Adib Sarijari, and M. A. Baharudin, "Lightweight IoT middleware for rapid application development," *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 17, no. 3, pp. 1385–1392, 2019, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.V17I3.1 1793.

- [29] A. Bhawiyuga, D. P. Kartikasari, K. Amron, O. B. Pratama, and M. W. Habibi, "Architectural design of IoT-cloud computing integration platform," *Telkomnika* (Telecommunication Comput. Electron. Control., 2019, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.V17I3.1 1786.
- [30] S. A. W. Al-abassi, K. Y. A. Albayati, M. R. R. Sharba, and L. Abogneem, "Smart prepaid traffic fines system using RFID, IoT and mobile app," *TELKOMNIKA* (Telecommunication Comput. Electron. Control., vol. 17, no. 4, p. 1828, 2019, doi: 10.12928/telkomnika.v17i4.10771.
- R. Amjed and M. S. Croock, [31] "Dominated destinations of tourist inside Iraa using personal information and frequency of travel," **TELKOMNIKA** (Telecommunication Comput. Electron. Control., vol. 17, no. 4, p. 1723, 2019, 10.12928/telkomnika.v17i4.11956.
- [32] N. Nguyen, Q. C. Nguyen, and M. T. Le, "A novel autonomous wireless sensor node for IoT applications," *TELKOMNIKA*

- (Telecommunication Comput. Electron. Control., 2019, doi: 10.12928/telkomnika.v17i5.12811.
- [33] S. R. Sulistiyanti, F. X. Setyawan, and M. Komarudin, "Detection air pollution based on infrared processing," image *TELKOMNIKA* (Telecommunication Comput. doi: Electron. Control., 2019, 10.12928/telkomnika.v17i4.12824.
- [34] Freescale Semiconductor, "Freescale Semiconductor Xtrinsic MAG3110 Three-Axis, Digital Magnetometer," MAG3110 datasheet, no. 9.2, pp. 1–30, 2013, [Online]. Available: http://cache.freescale.com/files/sens ors/doc/data_sheet/MAG3110.pdf.
- [35] Analog Devices, "Digital Accelorometer Data Sheet," p. 40, 2009.
- [36] A. V. R. Microcontroller, "ATmega328P," pp. 1–294.
- [37] Raspberry Pi Foundation, "Raspberry Pi 3 Model B+ Datasheet," *Datasheet*, p. 5, 2016, [Online]. Available: https://static.raspberrypi.org/files/prod uct-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf.

Dodi Yudo Setyawan, dkk: Gempa Bumi : Hubungan data sensor MAG3110 dengan data sensor ADXL345 berbasis IoT

Perancangan Sistem Estimasi Intensitas Gempabumi Untuk Peringatan Dini

Trismahargyono⁽¹⁾, Sri Ratna Sulistiyanti⁽²⁾, Roniyus Marjunus⁽³⁾

Jurusan Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141 Email: (1) trixmoslem@gmail.com, (2) sr sulistiyanti@eng.unila.ac.id., (3) roniyus@unila.ac.id

Diterima (08 Mei 2021), Direvisi (22 Juli 2021)

Abstract. Indonesia is located at the junction of three tectonic plates and has many active faults. The consequence of this tectonic arrangement makes Indonesia prone to earthquakes. Therefore, earthquake mitigation efforts based on an early warning system need to be done. The design of an earthquake strength estimation system, based on python, for this early warning, analyzes the initial phase of the first three seconds since the arrival of the P wave, using parameters in the form of Pd (the maximum amplitude of the first three seconds of the arrival of the P wave). The resulting tools and systems consist of hardware in the form of Raspberry Pi3B + and ADXL345. The system will detect in real time and automatically trigger an earthquake using the STA / LTA method. When the Pd and Td parameters have been obtained, the system will calculate and issue earthquake strength information, in the form of magnitude and intensity scale of earthquake damage MMI (Modified Mercally Intensity), which will then be sent automatically via the telegram application. Testing of tools and systems was carried out in an earthquake simulator, using the Padang earthquake parameters on 30 September 2009, 17:16:09 WIB. The results of the test produce an intensity scale of VIII MMI, these results are close to the results of the BMKG for the earthquake, with an intensity scale of VIII MMI. From these results the designed tools and systems can be used to provide early warning in the event of an earthquake.

Keywords: three seconds, earthquake, early warning.

Abstrak. Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik dan memiliki banyak sesar aktif. Konsekuensi dari tatanan tektonik ini membuat Indonesia rawan gempabumi. Oleh karena itu upaya mitigasi bencana gempabumi berbasis sistem peringatan dini perlu dilakukan. Perancangan sistem estimasi kekuatan gempabumi berbasis *python* untuk peringatan dini ini menganalisis fase awal tiga detik pertama sejak kedatangan gelombang P, dengan menggunakan parameter berupa $P_{\rm d}$ (amplitudo maximum tiga detik pertama dari kedatangan gelombang P). Alat dan sistem yang dihasilkan terdiri dari perangkat keras berupa Raspberry Pi3B+ dan ADXL345. Sistem akan mendeteksi secara *real time* dan otomatis adanya *trigger* gempabumi dengan metode STA/LTA. Ketika parameter $P_{\rm d}$ diperoleh, sistem akan mengkalkulasi dan mengeluarkan informasi kekuatan gempabumi berupa skala intensitas kerusakan gempabumi MMI (*Modified Mercally Intensity*). Pengujian alat dan sistem dilakukan di simulator gempabumi, dengan menggunakan parameter gempabumi Padang 30 September 2009, pukul 17:16:09 WIB. Hasil dari pengujian menghasilkan skala intensitas VIII MMI, hasil tersebut mendekati hasil dari BMKG untuk gempa tersebut dengan skala intensitas VIII MMI. Dari hasil tersebut alat dan sistem yang dirancang dapat dimanfaatkan untuk memberikan peringatan dini jika terjadi gempabumi.

Kata kunci: tiga detik, gempabumi, peringatan dini.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah rawan gempabumi, bahkan rawan terhadap bencana tsunami. Kerusakan yang diakibatkan oleh gempabumi tiap tahun akan terus bertambah seiring dengan penambahan populasi manusia. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem peringatan dini. Indonesia telah memiliki sistem peringatan dini tsunami yang dikenal sebagai Indonesia Tsunami Early Warning System (InaTews). InaTews adalah sistem peringatan dini yang bertujuan untuk memberikan informasi ancaman tsunami yang akan melanda daerah Indonesia dengan waktu peringatan diberikan lima menit setelah kejadian gempabumi [1]

Namun saat ini di Indonesia belum dibangun memberikan sistem yang peringatan dini gempabumi yang sedang terjadi sebagai dasar untuk melakukan antisipasi dini sebelum efek dari kerusakan gempabumi itu dirasakan disuatu wilayah, yang sering disebut Sistem Peringatan Dini Gempabumi (SPDG). Oleh karena itu dibutuhkan kajian yang bisa memberikan akan teriadinya sinval dini bencana gempabumi sehingga pemerintah mengambil masyarakat bisa langkahlangkah untuk menghadapi bencana tersebut sebelum terjadi, hal ini bisa menekan dan meminimalisir jatuhnya korban serta kerusakan infrastruktur. SPDG akan mendiseminasikan informasi estimasi skala kerusakan Intensitas gempabumi sebelum kedatangan getaran gempabumi yang merusak. Getaran gempabumi yang merusak tersebut adalah gelombang S dan Rangkaian gelombang permukaan. gelombang gempabumi akan datang berturut-turut dari yang tercepat hingga yaitu gelombang vang terlambat gelombang gelombang dan permukaan[2][3][4].

Penelitian dimaksud ini untuk merancang SPDG berbasiskan bahasa pemprograman Python menggunakan fase tiga detik pertama gelombang P pada gempa yang terjadi. Kemudian sistem akan menganalisa secara otomatis untuk menghasilkan nilai PGA (Peak Ground Acceleration) kemudian mengkonversinya menjadi skala Intensitas MMI.

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan menganalisis SPDG yang dapat memberikan cepat informasi secara estimasi skala Intensitas kerusakan gempabumi MMI. Informasi kekuatan gempabumi tersebut diperoleh dari hubungan parameter tiga detik awal gelombang kedatangan P berupa (amplitudo maximum tiga detik pertama dari kedatangan gelombang P). Perhitungan estimasi kekuatan gempabumi secara cepat tersebut diharapkan dapat dimanfaatkan masyarakat agar lebih cepat melakukan mitigasi jika terjadi gempabumi.

METODE PENELITIAN

Alur metode dalam penelitian ini digambarkan pada **Gambar 1**. Dalam penelitian ini digunakan data sinyal percepatan, komponen vertikal dari sensor percepatan ADXL345, data itu secara otomatis masuk ke sistem pengolahan berbasis *python*. Selanjutnya sinyal difilter untuk menghilangkan *noise* atau gangguan akibat pengaruh selain dari sinyal asli gempabumi yang sedang terjadi.

Jika ada trigger gempabumi pada sinyal maka sistem akan otomatis mem-*pick* gelombang P dengan metode STA/LTA. Pada proses deteksi gelombang P ini apabila proses perhitungan rasio (ε), STA dengan LTA lebih besar dari nilai ambang yang diberikan pengguna (ε > nilai ambang), maka akan ditampilkan hasil deteksi otomatis gelombang P berupa waktu tiba gelombang P . Dalam penelitian ini

diberikan nilai ambang 1,5 untuk mengindikasikan adanya *trigger* gempabumi, rumus STA/LTA dapat ditulis dengan **Persamaan 1, 2** dan **3** berikut :

$$\varepsilon = \frac{sTA_j}{LTA_j} \tag{1}$$

dengan

$$STA(t) = \sum_{j=0}^{s-1} |w(t-j)| \cdot \frac{1}{s}$$
 (2)

$$LTA(t) = \sum_{j=0}^{s-1} |w(t-j)| \cdot \frac{1}{L}$$
 (3)

dengan ε adalah rasio STA dengan LTA, s panjang waktu STA dalam detik dan L panjang waktu LTA dalam detik.

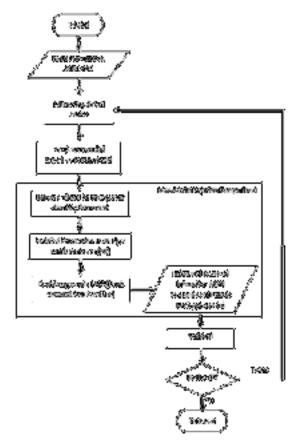
Tahap berikutnya sinyal akan diintegralkan dari percepatan ke kecepatan dan displacement. Setelah diperoleh sinyal displacement kemudian dilakukan deteksi otomatis oleh sistem untuk memperoleh nilai parameter fase tiga detik pertama yaitu nilai amplitudo max pada fase awal 3 detik pertama (P_d).

Nilai P_d kemudian dimasukkan ke persamaan peringatan dini gempabumi untuk memperoleh estimasi nilai PGA yang kemudian dikonversi ke skala intensitas kerusakan gempabumi MMI. Dalam penelitian ini digunakan **Persamaan 4** yang merupakan persamaan Peringatan Dini Gempabumi (PDG) untuk wilayah Jawa Barat [2], [3].

$$\log (PGA) = 1.117 \log (P_d) + 0.441 \tag{4}$$

dengan PGA nilai percepatan maksimum akibat gempa (cm/s²) dan P_d merupakan amplitude maksimum dari tiga detik pertama gelombang P.

Penelitian ini divalidasi dengan menggunakan simulator gempabumi di BMKG.

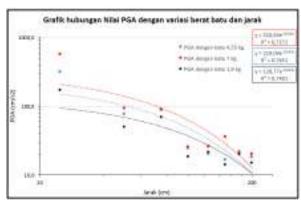


Gambar 1. Alur metode penelitian.

Rancangan SPDG akan diletakkan di simulator gempa kemudian dalam dilakukan pengujian terhadap sistem dan hasil yang diperoleh akan didokumentasikan. Setelah diperoleh estimasi intensitas MMI gempa dari hasil rancangan SPDG, kemudian dibandingkan gempabumi dengan parameter simulator gempa. Informasi intensitas MMI gempabumi dari rancangan **SPDG** diharapkan mendekati intensitas MMI dari simulator gempa. Gambar 1 menunjukkan diagram alir metode penelitian yang dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pengujian laboratorium sistem diuji dengan menjatuhkan beban berupa batu dengan berat bervariasi dari jarak yang berbeda untuk melihat respon dari sistem.



Gambar 2. Grafik PGA dengan variasi berat dan jarak.

Gambar 2 merupakan grafik hubungan PGA dengan jarak menjatuhkan beban batu, untuk berat uji batu yang berbeda, grafik tersebut ditampilkan dalam skala logaritmik. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa jarak dengan nilai PGA memiliki hubungan perbandingan terbalik, semakin jauh jarak pengujian menjatuhkan beban semakin kecil nilai PGA yang dihasilkan oleh alat. Begitupun dengan variasi berat beban yang mewakili variasi magnitude dimana semakin berat beban semakin besar nilai PGA[5].

Kemudian dilakukan pengujian dengan simulator gempabumi untuk melihat performa keseluruhan sistem. Pengujian kali ini dengan menggunakan parameter gempabumi Padang tanggal 30 September 2009. Pada **Tabel 1** ditunjukkan parameter dari gempabumi Padang 2009.

Tabel 1. Parameter gempabumi Padang.

Tabel 1. Parameter gempadumi Padang.				
Parameter Gempabumi Padang				
30 September 2009				
Tanggal	30-09-2009			
OT	17:16:09 WIB			
Lokasi	0.84 LS - 99.65 BT			
Kedalaman	71 Km			
Magnitudo	7.9			
Intensitas (MMI)	VIII MMI di Padang			



Gambar 3. Hasil analisa sistem.

Setelah sistem mendeteksi terjadinya gempabumi, maka sistem akan mengkalkulasi kekuatan gempabumi tersebut. Hasil analisa sistem terhadap simulasi gempabumi Padang ditunjukkan pada Gambar 3.

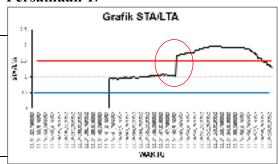
Ada beberapa parameter yang terbentuk didalam parameter tersebut yaitu:

1. On: 2020-11-06 11:04:48

Merupakan hasil analisis sitem dengan *STA/LTA* yang mengindikasikan terjadinya *trigger*. Dapat dilihat pada **Gambar 4** hasil grafik STA/LTA dan posisi dimana trigger mulai naik melebihi ambang batas 1,5.

2. P_d: 9.05150308935 cm

Nilai ini menunjukkan amplitudo maximum dari tiga detik pertama gelombang P, pada komponen displacement yang dicatat sistem 9.05150308935 bernilai cm. diperoleh nilai ini dilakukan kalkulasi untuk memperoleh nilai estimasi PGA (Peak Ground Acceleration) secara cepat dalam waktu tiga detik setelah terjadinya gempabumi. Proses kalkulasinya dengan memasukkan tersebut kedalam nilai Persamaan 1.



Gambar 4. Grafik STA/LTA.

3. Pga: 32.33382 cm/s²

Hasil kalkulasi sistem terhadap simulasi gempabumi Padang tersebut menghasilkan estimasi *PGA* (*Peak Ground Acceleration*) bernilai 32.33382 cm/s².

4. MMI: VIII MMI

Setelah nilai *PGA* diperoleh kemudian dikonversi ke dalam skala MMI. Nilai tersebut merupakan nilai estimasi intensitas MMI atau kerusakan akibat simulasi gempabumi Padang tersebut dimana hasil analisa sistem menunjukkan nilai dengan skala VIII MMI.

Langkah pengujian berikutnya dengan membandingkan estimasi kekuatan simulasi gempabumi Padang hasil analisa sistem penelitian ini dengan nilai kekuatan sebenarnya dari gempabumi Padang tersebut. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Perbandingan SPDG dan BMKG
Sistem BMKG
Intensitas (MMI) VIII VIII

Sistem yang dibuat dalam penelitian ini jika dilihat pada Tabel 3, nilai estimasi intensitas MMI gempabumi dikeluarkan mendekati nilai sebenarnya. Dengan proses perhitungan yang cepat dalam waktu tiga detik dari kejadian gempa dan hasil estimasi kekuatan gempabumi yang mendekati kekuatan gempabumi sebenarnya, maka sistem ini baik dimanfaatkan dalam usaha memberikan estimasi kekuatan gempabumi secara cepat sebagai upaya mitigasi dalam menghadapi bahaya gempabumi.

KESIMPULAN

Perancangan sistem estimasi intensitas gempabumi secara cepat untuk peringatan dini berbasis python dapat bekerja dengan cukup baik dalam mengestimasi kekuatan gempabumi.

Dengan memanfaatkan waktu dari 3 (tiga) detik pertama sejak kedatangan gelombang P gempabumi, sistem dapat memberikan estimasi intensitas gempabumi yang dapat dimanfaatkan sebagai informasi peringatan dini dalam upaya mitigasi terhadap bahaya gempabumi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, "Pedoman Pelayanan Peringatan Dini Tsunami," *Buku Pedoman Pelayanan Peringatan Dini Tsunami Ina. Ed. Kedua*, pp. 1–158, 2012.
- [2] H. Gunawan, N. T. Puspito, G. Ibrahim, and P. Harjadi, "Development of earthquake early warning system using real time signal of Broadband seismogram," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1454, no. 1, pp. 134–137, 2011, doi: 10.1063/1.4730705.
- [3] Hendar Gunawan, Nanang T. Puspito, Gunawan Ibrahim, and Prih. Harjadi, "Analysis the First Arrival of P-Wave of Ina-TEWS and CTBT Stations to Support Earthquake Early Warning," *J. Civ. Eng. Archit.*, vol. 7, no. 6, pp. 746–755, 2013, doi: 10.17265/1934-7359/2013.06.012.
- [4] P. Bormann, "Aim and Scope of the IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP)," IASPEI New Man. Seismol. Obs. Pract., pp. 1–18, 1970, [Online]. Available: ftp://ftp.ingv.it/pub/elisabetta.danasta sio/grot/manual_seismological_obser vatory-2002.pdf.
- [5] Urban Rafael, "Seismic hazard and vulnerability assessment in Turrialba, Costa Rica," *Geo-Information Sci.*, no. March, p. 98, 2002.
- [6] J. Akram and D. W. Eaton, "Adaptive microseismic event

- detection and automatic time picking," *Geo Conv.*, pp. 1–5, 2012, [Online]. Available: http://www.cspg.org/documents/Conventions/Archives/Annual/2012/279_GC2012_Adaptive_Microseismic_Event Detection.pdf.
- [7] H. Kanamori, "Real-time seismology and earthquake damage mitigation," *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, vol. 33, pp. 195–214, 2005, doi: 10.1146/annurev.earth.33.092203.12 2626.
- [8] A. Lomax, "Rapid estimation of rupture extent for large earthquakes: Application to the 2004, M9 Sumatra-Andaman mega-thrust," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 32, no. 10, pp. 1–4, 2005, doi: 10.1029/2005GL022437.
- [9] A. Lomax and A. Michelini, "Mwpd: A duration-amplitude procedure for rapid determination of earthquake magnitude and tsunamigenic potential from P waveforms," *Geophys. J. Int.*, vol. 176, no. 1, pp. 200–214, 2009, doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03974.x.
- [10] R. Musson, "Intensity and Intensity Scales," *New Man. Seismol. Obs. Pract.* 2, pp. 1–41, 2012, doi: 10.2312/GFZ.NMSOP-2.
- [11] M. Muzli, "Hubungan Kecepatan Relatif Pergerakan Lempeng Dengan Tingkat Seismisitas Di Zona Subduksi," *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 15, no. 3, pp. 187–192, 2014, doi: 10.31172/jmg.v15i3.220.
- [12] Y. Nakamura, "First actual P-wave alarm systems and examples of disaster prevention by them," *14th World Conf. Earthg. Eng.*, 2008.
- [13] S. E. J. Nippress, A. Rietbrock, and A. E. Heath, "Optimized automatic pickers: Application to the ANCORP data set," *Geophys. J. Int.*, vol. 181,

- no. 2, pp. 911–925, 2010, doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04531.x.
- [14] C. Satriano, Y. M. Wu, A. Zollo, and H. Kanamori, "Earthquake early warning: Concepts, methods and physical grounds," *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 31, no. 2, pp. 106–118, 2011, doi: 10.1016/j.soildyn.2010.07.007.
- [15] I. Tirta and R. Wiryadinata, "Signal Conditioning Test for Low-Cost Navigation Sensor," Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronikatelekomunikasi-komputer, vol. 1, no. 1, p. 30, 2016, doi: 10.36055/setrum.v1i1.471.
- [16] J. Zschau, P. Gasparini, and G. Papadopoulos, "Seismic Early Warning for Europe Final Report," p. 74, 2009.
- [17] Y. M. Wu and L. Zhao, "Magnitude estimation using the first three seconds P-wave amplitude in earthquake early warning," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 33, no. 16, pp. 4–7, 2006, doi: 10.1029/2006GL026871.
- [18] Y. M. Wu, H. Kanamori, R. M. Allen, and E. Hauksson, "Determination of earthquake early warning parameters, τc and Pd, for southern California," *Geophys. J. Int.*, vol. 170, no. 2, pp. 711–717, 2007, doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03430.x.
- [19] Y. M. Wu and H. Kanamori, "Rapid assessment of damage potential of earthquakes in Taiwan from the Beginning of P waves," *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 95, no. 3, pp. 1181–1185, 2005, doi: 10.1785/0120040193.
- [20] J. Wong, L. Han, J. C. Bancroft, and R. R. Stewart, "Automatic time-picking of first arrivals on noisy microseismic data," *Cseg*, pp. 1–6, 2009.

Sintesis Magnesium Oksida (MgO) dari Dolomit Bangkalan dengan Metode *Leaching*

Devi Saputri, Lydia Rohmawati^(a)

Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia, 60231 Email :^(a)lydiarohmawati@unesa.ac.id

Diterima (02 Juni 2021), Direvisi (27 Juli 2021)

Abstract. Magnesium oxide (MgO) is a ceramic material that has potential in the medical and industrial fields, where MgO can be obtained from natural dolomite which has a composition of 21.9% MgO and 54.3% CaCO3. However, MgO from dolomite has not been studied much so that this study was conducted with the aim of analyzing the effect of the holding time of calcination on the synthesized MgO phase. The MgO synthesis method uses the Leaching method, which is dissolving dolomite with HCl and stirring it at 75 °C for 45 minutes. After that, it is filtered where the results of the filtrate are added with ammonia until the solution reaches pH 12 and a precipitate is formed. Furthermore, the precipitate was filtered and dried at 90 °C for 6 hours, and calcined at a temperature of 800 °C with a variation of the holding time of 4 hours, 8 hours, 12 hours, 16 hours, and 20 hours. The calcined powder was characterized by XRD and FTIR. The results showed that the optimum MgO main phase was formed at a holding time of 8 hours at a calcination temperature of 800 °C and had a nanocrystallite size of 20.12 nm. FTIR results show that the MgO synthesized with a holding time of 8 hours has functional groups Mg-O, Mg-O-Mg, C = O, alkene groups, and H-O-H in the wave number range of 4000 cm $^{-1}$ - 500 cm $^{-1}$.

Keywords:MgO, leaching, holdingtime, synthesis.

Abstrak. Magnesium oksida (MgO) merupakan material keramik yang memiliki potensi dalam bidang medis dan industri, dimana MgO dapat diperoleh dari bahan alam dolomit yang memiliki komposisi 21,9% MgO dan 54,3% CaCO₃. Namun MgO dari dolomit belum banyak dikaji sehingga penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh waktu tahan kalsinasi terhadap fasa MgO yang disintesis. Metode sintesis MgO menggunakan metode *leaching* yakni melarutkan dolomit dengan HCl dan diaduk pada suhu 75°C selama 45 menit. Setelah itu dilakukan penyaringan yang hasil filtratnya ditambahkan amoniak hingga larutan mencapai pH 12 dan terbentuk endapan. Selanjutnya endapan tersebut disaring dan dikeringkan pada suhu 90°C selama 6 jam,dan dikalsinasi pada suhu 800°C dengan variasi waktu tahan 4, 8, 12, 16, dan 20 jam. Serbuk hasil kalsinasi dikarakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa fasa utama MgO terbentuk optimum pada waktu tahan 8 jam suhu kalsinasi 800°C dan memiliki ukuran kristalit 20,12 nm. Hasil FTIR menunjukkan bahwa MgO hasil sintesis dengan waktu tahan8 jam memiliki gugus fungsi Mg-O, Mg-O-Mg, C=O, gugus alkena, dan H-O-H pada rentang bilangan gelombang 4000 cm⁻¹ – 500 cm⁻¹.

Kata kunci:MgO, leaching, waktu tahan, sintesis.

PENDAHULUAN

Magnesium oksida adalah mineral padat berwarna putih terbentuk dari ikatan ionik antara satu atom magnesium dan satu atom oksigen yang membentuk struktur kristal FCC [1]. Material MgO berukuran nano memiliki potensi yang lebih luas yakni dalam bidang industri dapat dimanfaatkan sebagai bakterisida, katalis, bahan keramik, remediasi dan absorben pada limbah [2]. Menurut Tang et al (2014) MgO dapat juga digunakan sebagai inhibitor dekomposisi aluminium titanata. Material tersebut juga dapat diaplikasikan dalam dunia medis yaitu agen antibakteri dan media pengobatan. penelitian Sebagian besar menggunakan Mg²⁺ untuk mensintesis Mg(OH)₂ dan MgO nanopartikel [3]. Namun beberapa mineral alami seperti dolomit dan magnesit juga dapat digunakan sebagai sumber Mg²⁺ yang memiliki keuntungan lebih murah dan lebih cocok digunakan untuk industri dibandingkan dengan bahan komersial. Bahan alam yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan utama pembuatan nanopartikel MgO adalah dolomit [4].

dengan Dolomit rumus (MgCa(CO₃)₂) merupakan batuan yang sejenis dengan batu kapur dan memiliki dua garam karbonat yaitu CaCO3 dan MgCO₃. Secara teoritis dolomit murni mengandung 45,6% MgCO₃ atau 21,9% MgO dan 54,3% CaCO₃ [5]. Pemanfaatan mineral dolomit yang terdapat Indonesia hanya sebatas untuk keperluan pembuatan pupuk dolomit dan bata dolomit sebagai bahan bangunan sehingga memiliki nilai jual yang rendah [6]. Oleh karena itu untuk meningkatkan nilai jualnya, dolomit dapat diolah magnesium meniadi karbonat kalsium karbonat [4]. Proses penguraian magnesium karbonat dan kalsium karbonat pada dolomit dapat dilakukan dengan kalsinasi parsial. Kalsinasi parsial adalah proses penguraian kalsium karbonat dan magnesium karbonat dalam dolomit hingga diperoleh produk CaO dan MgO [7].

Rohmawati*et* al (2019)telah melakukan penelitian preparasi CaCO₃/MgO dari dolomit Bangkalan yang dimanfaatkan sebagai antibakteri pada rongga mulut. Pada penelitian tersebut preparasi CaCO₃/MgO dilakukan dengan metode kalsinasi parsial, namun tidak memisahkan CaCO3 dan MgO pada dolomit [8]. Sehingga pada penelitian ini dilakukan pemisahan CaCO3 dan MgO dengan metode leaching untuk sintesis memudahkan proses MgO. merupakan proses Metode leaching pelarutan dolomit yang menggunakan pelarut asam [9].

Li et al (2013),telah melakukan sintesis MgO dari dolomit dengan metode leaching menggunakan HCl sebagai pelarut. Metode leaching menggunakan pelarut HCl ini lebih efisien digunakan untuk memisahkan MgO dan CaCO₃ dibandingkan dengan metode hidrotermal dan metode presipitasi yang memerlukan biaya mahal. Metode *leaching* juga hanya memerlukan alat dan bahan vang sederhana sehingga mudah dilakukan. Serbuk hasil sintesis tersebut dikalsinasidengan variasi suhu 600°C-900°C selama 4 jam. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa fasa MgO terbentuk sempurna pada suhu kalsinasi 800°C [2].

Berdasarkan beberapa penelitian pada penelitian diatas, maka dilakukan sintesis MgO dari dolomit Bangkalan dengan metode leaching menggunakan pelarut HC1 kemudian dikalsinasi pada suhu 800°C selama 4, 8, 12, 16, dan 20 jam untuk mendapatkan fasa MgO yang optimum pada suhu kalsinasi 800°C. Hasil sintesis dikarakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) untuk mengetahui pengaruh variasi waktu tahan terhadap fasautama MgO yang terbentuk dan dilanjutkan dengan karakterisasi Fourier TransformInfra Red (FTIR) pada sampel yang menghasilkan fasa MgO optimum untuk mengetahui gugus fungsi dari MgO. Hasil penelitian ini diharapkan sampel yang disintesis dari dolomit menunjukkan fasa tunggal MgO dan nantinya dapat diterapkan sebagai material medis.

METODE PENELITIAN

A. Alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk sintesis MgO dari dolomite yaitu mortal alu, ayakan 200 mesh, beakerglass, gelasukur, pH meter, stirer, *furnace*, oven, dolomite Bangkalan, HCl 37% Merck, NH₃ 25% Merck, kertassaring, dan aquades.

B. Preparasi Sampel

Dolomit dihaluskan diayak dan mesh menggunakan ayakan 200 selanjutnya dikarakterisasi XRD untuk mengetahui komposisi fasa. Kemudian dikalsinasi selama 1 jam pada suhu 800°C untuk menguraikan MgCO₃ menjadi MgO. Dolomit yang sudah dikalsinasi dikarakterisasi XRD untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk.50 gram dolomite hasil kalsinasi tersebut dilarutkan dengan HCl sebanyak 210 ml dan diaduk pada suhu 75°C selama 45 menit. Larutan yang terbentuk disaring untuk mendapatkan filtrat, kemudian filtrate tersebut ditambahkan NH3 hingga pH12 dan terbentuk presipitat. Hasil dengan presipitat dicuci aquades sebanyak 3 kali dan dikeringkan pada suhu 90°C selama 6 jam. Selanjutnya dikalsinasi pada suhu 800°C dengan variasi waktu tahan 4, 8, 12, 16, dan 20 jam. Kemudian dikarakterisasi XRD untuk mengetahui fasa MgO optimum yang terbentuk pada variasi waktu tahan. Selanjutnya dilakukan karakterisasi FTIR pada sampel yang memiliki fasa MgO optimum untuk mengetahui gugus fungsi dari yang terbentuk.

C. Teknik karakterisasi dan analisis

1. X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi XRD untuk mengetahui terbentuknya fasa utama pada sampel yang diuji. Alat XRD yang digunakan tipe XPert MPD systemdengan sumber radiasi Cu 35 mA, 40 kV dengan panjang gelombang sebesar 1.54060 Ådan sudut 2theta 0° - 80°. Sampel yang diuji berupa sampel serbuk. Hasil karakterisasi XRD dianalisis menggunakan sofwareMatch! untuk mengetahui fasa yang muncul pada setiap puncak, serta mengidentifikasi lebar peakdan intensitas maksimum dari fasa utama yang terbentuk. Persentase fraksi volume (F_{ν}) dari fasa yang terbentuk dihitung dengan dapat menggunakan rumus:

$$F_{v} = \frac{I_{o}}{I_{total}} \tag{1}$$

I merupakan intensitas fasa yang diinginkan dan I_{total} adalah jumlah intensitas semua fasa yang muncul [10].

Ukuran kristalit MgO dapat ditentukan dengan pendekatan persamaan Scherrer yang dirumuskan pada **Persamaan 2**:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta\cos\theta} \tag{2}$$

D merupakan ukuran partikel, K merupakan faktor bentuk dari kristal (0,9-1), λ merupakan panjang gelombang sinar X (0,154056 Å), β merupakan nilai dari Full Width at Half Maximum (FWHM) yang ditentukan dengan cara melihat nilai pelebaran kurva setengah puncak difraksi pada masing-masing bidang kristal di posisi 2θ, dan θ adalah sudut difraksi (derajat) [11].

2. Fourier Transform Infra Red (FTIR)

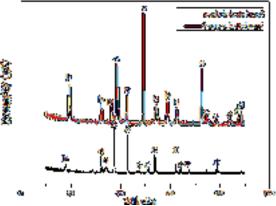
Karakterisasi FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan ikatan kimia yang dimiliki oleh material yang menyerap berkas cahaya inframerah pada panjang gelombang tertentu. Energi yang diserap sampel pada berbagai frekuensi sinar inframerah diteruskan interferometer dan diubah dalam bentuk interferogram. Alat karakterisasi FTIR yang digunakan merk Shimadzutype IR Prestige 21 dengan rentang gelombang cm⁻¹. 500-4000 Berdasarkan karakterisasi tersebut didapatkan spektrum FTIR dari grafik hubungan Modus pemancar (%T) dan bilangan gelombang (cm⁻¹), sehingga bilangan gelombang yang didapat dibandingkan dengan referensi jurnal untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil karakterisasi XRD

Hasil karakterisasi XRD dolomit tanpa kalsinasi dan sesudah kalsinasi dituniukkan pada Gambar Berdasarkan analisis secara kualitatif dengan software Match! dolomit tanpa kalsinasi memiliki komposisi MgO dan $Ca(OH)_2$ yang dominan dengan persentase fraksi volune masing-masing 45,9% dan 42,4%. Persentase fraksi volume ini diperoleh dengan menghitung menggunakan Persamaan (2). Intensitas maksimum MgO terbentuk pada sudut 42,89°sesuai dengan nomor PDF 96-100-1095 [12].Sedangkan intensitas maksimum Ca(OH)₂ terbentuk pada sudut 34,71° sesuai dengan nomor PDF 96-100-1769 [13]. Fasa lain yang terdapat pada dolomit yaitu CaO dan MgCO₃ dengan persentase fraksi volume masing-masing 7,80% dan 3,90%.

Setelah dilakukan proses kalsinasi pada suhu 800°C selama 1 jam persentase CaO dan MgO meningkat, masingmasing persentase fraksi volume menjadi 53,2% dan 33,5 %. Intensitas optimum MgO terbentuk pada sudut 43,03° sesuai nomor PDF 96-900-6748 [14]. intensitas optimum CaO terbentuk pada sudut 37,47° dengan sesuai nomor PDF 96-720-0687 [15]. Peningkatan persentase CaO terjadi karena ketika proses kalsinasi dolomit Ca(OH)₂ melepaskan H_2O sehingga terurai menjadi CaO [6]. Sedangkan peningkatan persentase MgO disebabkan oleh MgCO₃ yang terdekomposisi menjadi MgO dan suhu 500°C-700°C. CaCO₃ pada pada suhu 750°C-900°C Kemudian CaCO₃ terdekomposisi menjadi CaO dan CO₂ dengan demikian persentase CaO dan MgO semakin meningkat [7]. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Wulancahyanidkk (2020),yang mengungkapkan bahwa dengan suhu kalsinasi 800° C selama 1 jam dolomit memiliki fasaMgO dan CaO vang dominan [16].

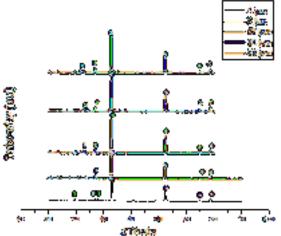


Gambar 1.HasilXRD dolomit sebelum dan sesudah kalsinasi, a (MgO), b (Ca(OH)₂, c (CaO), d (MgCO₃), e (CaCO₃).

Tabel 1. Persentase komposisi dolomit

Fasa	Sebelum	Sesudah
газа	kalsinasi	kalsinasi
MgO	45,90%	53,20%
CaO	7,80%	33,50%
MgCO3	3,90%	-
Ca(OH)2	42,40%	9,20%
CaCO3	-	4,10%

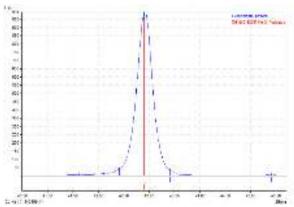
Hasil karakterisasi XRD dari sampel yang telah disintesis ditunjukkan pada Gambar 2. Analisis menggunakan softwareMatch! menunjukkan bahwa pada suhu kalsinasi 800°C menghasilkan sampel dengan fasa MgO yang dominan pada setiap variasi waktu Intensitas tertinggi MgO terbentuk pada sudut 42,96°. Fasa MgO lain terbentuk pada sudut 36,96°, 62,36°, 74,73°, dan 78,69°. Hasil tersebut sesuai dengan data PDF nomor 96-900-6748 [14]. Namun untuk sampel dengan waktu tahan 4 jam dan 8 jam, intensitas fasa MgO rendah dibandingkan dengan waktu lainnya terutama pada sudut 74,73°. Intensitas MgO di sudut tersebut mulai meningkat pada waktu tahan12 jam, 16 jam, dan 20 jam.



Tabel 2. Presentase fraksi volume fasa yang terbentuk pada masing-masing variasi waktu tahan

waktu kalsinasi	MgO	MgCa(CO ₃) ₂
4 jam	98,02%	1,98%
8 jam	100%	0%
12 jam	97,23%	2,77%
16 jam	97,80%	2,20%
20 jam	95,37%	4,63%

Fasa lain yang terbentuk yaitu (MgCa(CO₃)₂) sebagai impuritas dengan peresentase berbeda-beda di setiap waktu tahan yang ditunjukkan pada Tabel 2. tahan 4 jam terbentuk waktu (MgCa(CO₃)₂) sebesar 1,98% di sudut 29,41° dan 37,98°, sedangkan waktu tahan 8 jam tidak menunjukkan adanya impuritas pada sampel. Namun impuritas tersebut kembali terbentuk pada waktu tahan 12, 16, dan 20 jam masing-masing di sudut 32,96°, 31,66°, dan 32,04°. Hasil tersebut sesuai dengan data PDF nomor 96-900-1419 Persentase [17].(MgCa(CO₃)₂) stabil diatas 2% pada waktu tahan 12, 16, dan 20 jam. Dengan demikian fasa utama MgO terbentuk optimum pada waktu tahan 8 jam dengan suhu kalsinasi 800°C.



Gambar 3. Lebar dan sudut intensitas maksimum pada sampel dengan waktu tahan 8 jam

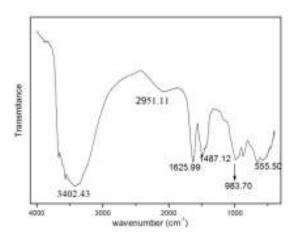
Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui puncak maksimum MgO pada sudut 2theta 42,90° dengan nilai FWHM 0,20 deg (0,0035 radian), sehingga dapat dihitung ukuran kristalit menggunakan Persamaan **(2)** dan diperolehyang diperoleh sebesar 20,12 nm. Mantilaka et al (2014) menyatakan bahwa sampel yang memiliki ukuran kristalit kurang dari 100 nm merupakan nanokristalin [4]. Dengan demikian sampel MgO hasil sintesis dengan waktu tahan 8 jam termasuk memiliki ukuran nano.

2. Hasil karakterisasi FTIR

Gambar 4 merupakan hasil FTIR sampel dengan holding time8 jam yang menunjukkan fasa MgO optimum pada rentang bilangan gelombang 4000 cm⁻¹ – 500 cm⁻¹. Spektrum MgO menunjukkan bahwa vibrasi Mg-O terdapat pada puncak serapan bilangan gelombang cm⁻¹ yang mengindikasikan 555,50 adanya magnesium oksida [18]. Vibrasi pada Mg-O-Mg terjadi bilangan gelombang 983,70 cm⁻¹. Sedangkan pada gelombang 1478,12 cm⁻¹ bilangan menunjukkan adanya gugus hidroksil. Vibrasi C=O terjadi pada bilangan gelombang 1625,99 cm⁻¹yang memiliki struktur flavonoid serta menunjukkan adanya cincin aromatik [19]. Pada cm⁻¹ bilangan gelombang 2951,11 terdapat guugus alkena. Pita serapan H-O-H terjadi pada bilangan gelombang yang menunjukkan adanya 3402,43 absorbsi H₂O [18]. Dengan demikian MgO hasil sintesis waktu tahan 8 jam menunjukkan karakteristik MgO yang memiliki gugus fungsi Mg-O, Mg-O-Mg, C=O, gugus alkena, dan H-O-H.

Tabel 3. Ikatan gugus fungsi material

Eksperimen	Referensi	Jenis ikatan	
(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)	venns matan	
555.50	548 [18]	vibrasi Mg-O	
983.70	850 [20]	vibrasi Mg-O-Mg	
1487.12	1450 [21]	gugus hidroksil	
1625.99	1635 [19]	vibrasi C=O	
2951.11	2739 [21]	gugus alkena	
3402.43	3461 [18]	absorbsi H-O-H	



Gambar 4. Hasil FTIR MgO kalsinasi 8 jam

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian analisis menggunakan software Match! diperoleh kesimpulan bahwa fasa utama MgO terbentuk optimum pada waktu tahan 8 jam dengan suhu kalsinasi 800°C. MgO tersebut memiliki ukuran nano kristalin sebesar 20.12 nm. Hasil spektrum gelombang FTIR menunjukkan bahwa MgO dengan waktu tahan 8 jam memiliki gugus fungsi Mg-O, Mg-O-Mg, C=O, gugus alkena, dan H-O-H.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Alpionita and Astuti, "sintesis dan karakterisasi magnesium oksida (mgo) dengan variasi massa PEG-6000," *J. Fis. Unand*, vol. 4, no. 2, pp. 167–172, 2015.
- [2] G. Li, Z. Li, and H. Ma, "Applied Clay Science Comprehensive use of dolomite-talc ore to prepare talc, nano-MgO and lightweight CaCO 3 using an acid leaching method," *Appl. Clay Sci.*, vol. 86, pp. 145–152, 2013, doi: 10.1016/j.clay.2013.09.015.
- [3] Z. Tang and B. Lv, "MgO nanoparticles as antibacterial agent: preparation and activity," *Brazilian J. Chem.Eng.*, vol. 31, no. 03, pp. 591–601, 2014.
- [4] M. M. M. G. P. G. Mantilaka, H. M. T. G. A. Pitawala, D. G. G. P. Karunaratne, and R. M. Rajapakse, "Colloids and Surfaces Physicochemical A: and Engineering Aspects Nanocrystalline magnesium oxide from dolomite via poly (acrylate) stabilized magnesium hydroxide colloids," Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp., vol. 443, 201–208, 2014, 10.1016/j.colsurfa.2013.11.020.
- [5] I. Maulana, S. P. Budio, and M. T. "Pengaruh Hidayat, Variasi Dolomit Material Lokal Kabupaten Bangkalan Sebagai Subsitusi Agregat Dalam Pembuatan Batako Terhadap Kuat Tekan Dan Absorbsi," J. Mhs. Jur. Tek. Sipil, vol. 1, no. 3, p. pp-1268, 2015.
- [6] A. Royani and R. Subagja, "KLORIDA Extraction of Calcium

- from Calcined Dolomite Ore Using Hydrochloric Acid Leaching," *J. Teknol. Miner. dan Batubara*, vol. 15, no. September 2018, pp. 13–22, 2019, doi: 10.30556/jtmb.Vol15.No1.2019.92 4.
- [7] E. Sulistiyono, F. Firdiyono, N. C. Natasha, and D. Sufiandi, "pengaruh ukuran butiran terhadap struktur kristal pada proses kalsinasi parsial dolomit," *Maj. Metal.*, vol. 3, pp. 125–132, 2015.
- [8] L. Rohmawati, S. P. Sholicha, S. P. S Holisa, and W. Setyarsih, "Identification of Phase CaCO3/MgO in Bangkalan Dolomite Sand as An Antibacterial Substance," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1417, p. 12001, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1417/1/012001.
- [9] Y. Abali, S. U. Bayca, K. Arisoy, and A. I. Vaizogullar, "Optimization of dolomite ore leaching in hydrochloric acid solutions," *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, vol. 46, no. 1, pp. 253–262, 2011.
- [10]. Ross N. L., Reeder R. J., "Highpressure structural study of dolomite and ankeriteP = 3.70 GPa", American Mineralogist 77, 412-421(1992)
- [11] Masruroh, A. B. Manggara, T. Papilaka, and R. T. T, "Penentuan ukuran Kristal (crystallite size) lapisan tipis PZT dengan metode XRD melalui pendekatan persamaan Debye Scherrer," *Erud. J. Educ. Innov.*, vol. 1, pp. 24–29, 2013.

- [12] H. G. Schimmel, J. Huot, L. C. Chapon, F. D. Tichelaar, and F. M. Mulder, "Hydrogen cycling of niobium and vanadium catalyzed nanostructured magnesium," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 127, no. 41, pp. 14348–14354, 2005, doi: 10.1021/ja051508a.
- [13] L. Desgranges, D. Grebille, G. Calvarin, G. Chevrier, N. Floquet, and J. -C Niepce, "Hydrogen in calcium thermal motion hydroxide: Ca(OH)2," Crystallogr. Sect. B, vol. 49, no. 5, pp. 812-817, 1993, doi: 10.1107/S0108768193003556.
- [14] J. Zhang, "Effect of pressure on the thermal expansion of MgO up to 8.2 GPa," *Phys. Chem. Miner.*, vol. 27, no. 3, pp. 145–148, 2000, doi: 10.1007/s002690050001.
- [15] M. C. Verbraeken, E. Suard, and J. T. S. Irvine, "Structural and electrical properties of calcium and strontium hydrides," *J. Mater. Chem.*, vol. 19, no. 18, pp. 2766–2770, 2009, doi: 10.1039/b820173k.
- [16] E. Wulancahyani and L. Rohmawati, "Efektivitas Dolomit (CaCO3/MgO) Sebagai Pencegah Erosi Pada Enamel Gigi," *J. Inov. Fis.*, 2020.
- [17]. Ross N. L., Reeder R. J., "Highpressure structural study of dolomite and ankeriteP = 3.70

- GPa", American Mineralogist 77, 412-421(1992)
- M. Kandiban, P. Vigneshwaran, [18] and I. V. Potheher, "Synthesis and characterization of MgO nanoparticles for photocatalytic applications," in Department of Physics, Bharathidasan Institute of Technology (BIT) Campus, Anna University. Tiruchirappalli, Tamilnadu, India, Conference Paper, 2015.
- [19] R. Dobrucka, "Synthesis of MgO Nanoparticles Using Artemisia abrotanum Herba Extract and Their Antioxidant and Photocatalytic Properties," *Iran. J. Sci. Technol. Trans. A Sci.*, vol. 42, no. 2, pp. 547–555, 2018, doi: 10.1007/s40995-016-0076-x.
- [20] G. Balakrishnan, R. Velavan, K. M. Batoo, and E. H. Raslan, "Results in Physics Microstructure, optical and photocatalytic properties of MgO nanoparticles," *Results Phys.*, vol. 16, no. November 2019, p. 103013, 2020, doi: 10.1016/j.rinp.2020.103013.
- [21] M. Raghavendra, H. S. Lalithamba, B. S. Sharath, and H. Rajanaika, "Synthesis of Nα-protected formamides from amino acids using MgO nano catalyst: Study of molecular docking and antibacterial activity," *Sci. Iran.*, vol. 24, no. 6, pp. 3002–3013, 2017.

Sintesis *Soluble* Polianilin dengan Variasi Jenis dan Konsentrasi Dopan

Retno Fitri Wulandari¹, Nugrahani Primary Putri^{1*}

(1) Jurusan Fisika, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia, 60231 Email: **) nugrahaniprimary@unesa.ac.id

Diterima (02 Juni 2021), Direvisi (29 Juli 2021)

Abstract. This study reports the synthesis of soluble polyaniline by the oxidation polymerization method with various dopants HCl, H₂SO₄, and Fumaric acid (FA) and variations in dopant concentrations Of HCL(1M;1,5M),H₂SO₄(0,12M;1M), fumaric acid (0.25M;1M). This variation of dopant and concentration was carried out to obtain polyaniline with optimum solubility and electrical conductivity. The results of FTIR characterization showed several characteristic polyaniline bonds from the samples that had been synthesized. PANi/FA with a concentration of 1M has the best solubility compared to PANi/HCl and PANi/H₂SO₄, with a solubility value of 5.7% in NMP solvents. The electrical conductivity of all samples was measured by the two-point probe method. PANi / HCl with a concentration of 1M has the best conductivity than PANi/FA and PANi/H₂SO₄ with a value of 48 x10⁻⁴ S/cm. The morphology of the oxidized polyaniline powder was observed using SEM. SEM results showed the morphology of polyaniline in the form of an interconnected sponge.

Keywords: Soluble polyaniline, electrical conductivity, Fumaric acid.

Abstrak. Penelitian ini melaporkan hasil sintesis *soluble* polianilin dengan metode polimerisasi oksidasi dengan variasi dopan HCl, H₂SO₄, dan *Fumaric acid* (FA) dan variasi konsentrasi dopan HCL(1M;1,5M),H₂SO₄ (0,12M;1M), *Fumaric acid* (0,25M;1M). Variasi dopan dan konsentrasi ini dilakukan untuk memperoleh polianilin dengan kelarutan dan konduktivitas listrik yang optimum. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan beberapa ikatan karakteristik polianilin dari sampel yang telah disintesis. PANi/FA dengan konsentrasi 1M memiliki kelarutan yang paling baik dibandingan dengan PANi/HCl dan PANi/H₂SO₄ dengan nilai kelarutan sebesar 5,7 % pada pelarut NMP. Konduktivitas listrik seluruh sampel diukur dengan metode *two-point probe*. PANi/HCl dengan konsentrasi 1M memiliki konduktivitas paling baik dibandingkan dengan PANi/FA dan PANi/H₂SO₄ dengan nilai sebesar 48 x10⁻⁴ S/cm. Morfologi serbuk polianilin hasil oksidasi telah diamati menggunakan SEM. Hasil SEM memperlihatkan morfologi polianilin berbentuk *interconnected-sponge*.

Kata kunci: soluble Polianilin, konduktivitas listrik, asam fumarat.

PENDAHULUAN

Polianilin merupakan polimer konduktif yang saat ini sedang banyak diteliti. Hal ini disebabkan polianilin (PANi) memiliki karakteristik yang unik meliputi konduktivitas listrik yang baik, sifat optik yang baik, dan kestabilan kimia yang baik[1]. Polimer konduktif menjadi bahan yang sangat diminati untuk dikaji. tersebut disebabkan oleh sifat polimer konduktif yang berbeda dari

polimer konvensional yakni mempunyai konduktivitas listrik yang tinggi. Diantara beberapa bahan polimer konduktif yang selama ini dikenal seperti Poliasetilen (PA), Polidiasetilen (PdA), Politiofen (PT) dan Poliperol (PPy), PANi memiliki kestabilan kimia yang baik diantara bahan polimer lainnya[2] PANi juga mempunyai kelebihan lain, yaitu kemudahan proses polimerisasi [3].

PANi memiliki tiga tingkat keadaan oksidasi tergantung pada tingkat doping pada proses polimerisasi. Tiga tingkat keadaan oksidasi PANi tersebut adalah leucomeraldine base (LB) dengan tingkat tereduksi penuh, emeraldine base (EB) teroksidasi setengah dan pernigraniline base (PB) teroksidasi penuh[4]. Dari ketiga tingkat keadaan PANi, yang banyak diteliti adalah EB karena konduktivitas listriknya dapat diatur dan memiliki beberapa keunggulan, misalnya sebagai baterai sekunder, sensor kimia seperti sensor gas, LED polimer, piranti elektronik, sel fotovoltaik, anti korosi dan aplikasi-aplikasi bidang optoelektronik lainnya[1]. Nilai konduktivitas listrik EB dapat diatur dari 10⁻¹⁰ S/cm hingga 100 S/cm melalui proses doping [5].

Kelarutan PANi dalam pelarut organik kurang baik, hal ini sama seperti polimer konduktif umumnya. PANi sedikit larut pada pelarut organik N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) [6]. PANi yang dibuat menggunakan metode oksidasi dengan doping asam kuat memiliki sifat tidak mudah larut terhadap pelarut organik baik[7].

Nilai konduktivitas listrik dan kelarutan PANi dipengaruhi oleh jenis dopan yang digunakan seperti asam kuat (HCl, H_2SO_4) ataupun asam lemah (Fumaric acid). Molekul asam kuat cenderung menyebar pada rantai PANi sehingga dapat meningkatkan konduktivitas listrik sedangkan molekul dapat meningkatkan asam lemah polimer namun menghasilkan kelarutan konduktivitas yang lebih rendah[8]. Wang et al telah berhasil mensintesis soluble PANi dengan doping Fumaric Acid. Nilai konduktivitas listrik PANi yang dihasilkan sebesar 1,56 x 10⁻² S/cm. kelarutan PANi dalam pelarut NMP sebesar 2,8% [9]. Zakaria dkk telah melakukan penelitian

sintesis PANi degan variasi konsentrasi doping HCl. Nilai konduktivitas listrik PANi yeng terbaik sebesar 1,4 S/cm (dopan 1,5 M). Dari Penelitian ini dapat diketahui bahwa konsentrasi dopan akan mempengaruhi nilai konduktivitas listrik PANi[10]. Rahayu dkk juga mensistesis PANi dengan variasi konsentrasi doping H₂SO₄. Nilai konduktivitas listrik PANi yang terbaik sebesar 4,52 S/cm (Dopan H₂SO₄ 1,5 M)[11]. Suwardi dkk telah melakukan sintesis PANi dengan dopan HCl dan variasi jenis pelarut. Dari suwardi didapatkan bahwa penelitian pelarut terbaik adalah NMP dengan nilai kelarutan PANi sebesar 0,01% [12].

Pada artikel ini peneliti melaporkan hasil sintesis PANi yg telah dilakukan. PANi disintesis dengan variasi dopan (HCl,H2SO4,Fumaric Acid) dan konsentrasi dopan yang berbeda. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi jenis dan konsentrasi dopan terhadap nilai konduktivitas listrik PANi. PANi hasil sintesis kemudian dilarutkan dengan pelarut yang berbeda (NMP,Aseton,Etanol) untuk mengetahui pengaruhnya terhadap solubilitas PANi.

METODE PENELITIAN

Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah terdiri dari Anilin sebagai monomer, Ammonium peroxodisulfate ((NH)₄S₂O₈) sebagai oksidan. HCl, H₂SO₄, dan Fumaric Acid (C₄H₄O₄) sebagai dopan. N-methyl-2-pyrrolidone (NMP), aseton, dan etanol sebagai pelarut, serta PVA sebagai binder. Adapun alat yang digunakan adalah magnetic stirrer, microwave, dan dye press.

Langkah awal penelitian ini yaitu sintesis PANi menggunakan metode polimerisasi oksidasi dengan doping HCl, H₂SO₄ dan Fumaric acid, yang dilakukan di Laboratorium Material jurusan Fisika Universitas Negeri Surabaya.

Sintesis PANi doping HCl, H₂SO₄, dan Fumaric acid

Sebanyak 1,82 ml anilin dilarutkan kedalam 50ml HCl dengan konsentrasi yang divariasi dan dibiarkan selama 1 jam. Kemudian 5.71 gr APS $((NH)_4S_2O_8)$ dilarutkan kedalam aquades dan dibiarkan selama 1 jam. Setelah 1 jam larutan anilin+HCl dan APS+aquades dicampurkan kedalam gelas kimia, lalu distirer selama 1 jam dan dibiarkan selama 24 jam untuk proses polimerisasi, kemudian dilakukan pencucian dengan 0,2M HCl, aseton, dan aquades. Setelah itu dioven dengan suhu 60° selama 20 jam. Setelah pengeringan di dengan pengayak 325 ayak Kemudian didapatkan serbuk PANi yang siap untuk dikarakterisasi. Proses sintesis dilakukan dengan metode yang sama pada H₂SO₄ dan Fumaric acid dengan variasi konsentrasi. Sampel yang dihasilkan diberi nama FA1 (0,25M Fumaric acid), FA2 (1M Fumaric acid), HCl1 (1M HCl), HCl2 $(1,5M \text{ HCl}), H_2SO_41 (0,12M \text{ H}_2SO_4),$ H_2SO_42 (1M H_2SO_4)

Sampel yang sudah jadi dikarakterisasi spektroskopi menggunakan Fourier Transform Infrared (FT-IR) Thermo scientific Nicolet iS10 untuk mengetahui jenis ikatan yang terdapat pada sampel. Scanning Electron Microscope (SEM) Inspect-S50 digunakan untuk mengamati morfologi sampel. Selain itu juga dilakukan penentuan kelarutan **PANi** konduktivitas listriknya.

Pada pengukuran konduktivitas serbuk PANi diubah menjadi *pellet*. Sebanyak 0,3 gram serbuk PANi di campur dengan 0,01 gram Polyvinyl alcohol (PVA), kemudian dikompaksi menjadi *pellet* dengan diameter 1cm. Konduktivitas listrik sampel ditentukan menggunakan metode *two-point probe*. Sebelum menentukan konduktivitas

listrik sampel, dilakukan pengukuran resistansi sampel. Dari nilai resistansi yang didapat, bisa ditentukan nilai resistivitas menggunakan **Persamaan 1** berikut:

$$R = \rho \frac{A}{\tau} \tag{1}$$

Nilai konduktivitas listrik sampel dapat ditentukan menggunakan **Persamaan 2** berikut:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \tag{2}$$

Dimana R adalah resistansi (Ω), ρ = resistivitas (Ω m), A = luas *pellet* (m^2), 1 = jarak antar probe (m), dan σ = konduktivitas listrik ((Ω cm)⁻¹) atau (S/cm)

Pada uji kelarutan, 1 gram sampel PANi ditambahkan ke dalam setiap jenis pelarut sebanyak 10mL (NMP, etanol, dan aseton) dan diaduk menggunakan magnetik stirer selama 1 jam, kemudian dilanjutkan dengan ultrasonikasi selama 30 menit, lalu disentrifugasi selama 15 menit. Hasil sentrifugasi kemudian disaring. Serbuk hasil saring dipanaskan sampai kering menggunakan oven microwave ditimbang menggunakan neraca digital. nilai kelarutan Besar ditentukan menggunakan Persamaan 3 berikut[12]:

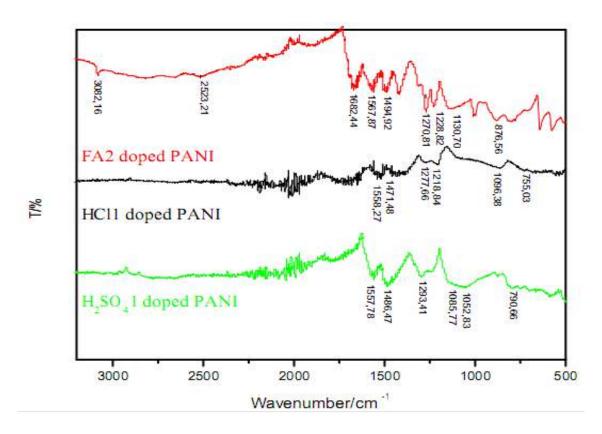
$$\text{"iskelarutari}\left(\frac{g}{mi}\right) = \frac{m - m_{\odot}}{\text{volume pelarut}} \times 100\%$$
 (3)

Dimana m_1 = massa serbuk PANi (gram) sebelum dilarutkan, m_2 = massa serbuk PANi (gram) setelah dilarutkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Serbuk PANi hasil polimerisasi diuji dengan FTIR, yang berfungsi untuk mengidentifikasi jenis ikatan yang terbentuk pada sampel. Hasil karakterisasi FTIR ditunjukkan pada **Gambar 1**. Pada gambar 1 dapat dilihat kurva FTIR untuk sampel PANi/FA2, PANi/HC11, dan PANi/H₂SO₄1. Terdapat beberapa jenis ikatan karakteristik PANi diantaranya, N-H stretching vibration, C = C stretching (Q), C=N stretching (Q), C-C stretching, C-C stretching, dan C-H bending (B). Masing-

masing jenis ikatan dan bilangan gelombang ditunjukkan pada Tabel 1. Dari hasil perbandingan dengan data sheet dan beberapa referensi, menunjukkan bahwa sampel PANi hasil sintesis memiliki banyak kesesuaian. Sehingga dapat disimpulkan sampel telah disintesis bahwa yang merupakan molekul PANi.



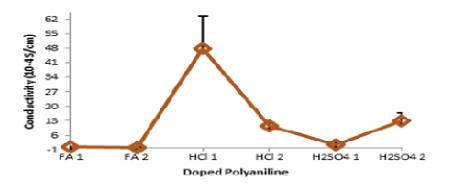
Gambar 1. Hasil spectrum FT-IR pada PANi/FA2, PANi/HC11, dan PANi/H₂SO₄ 1

Tabel 1. Jenis ikatan untuk PANi/FA2, PANi/HC11, dan PANi/H₂SO₄1

Bilangan gelombang (cm) ⁻¹							
Data sheet	Ref (FA)	Sampel PANi/F A2	Ref (HCl)	Sampel PANi/H Cl 1	Ref (H ₂ SO ₄)	Sampel PANi/H ₂ SO ₄ 1	Jenis ikatan
	3230- 2370	3082,16 - 2523,21	-	-	-	-	N-H stretching vibration
	1678	1682,44	-	-	-	-	C = O stretching vibration
1650-1560	1562	1567,87	1580	1558,27	1559	1557,78	C = C stretch (Q)
1500-1400	1488	1494,92	1490	1471,48	1480	1486,47	C = N stretch (Q), C-C stretch (B)
1335-1250	1284	1270,81	1297	1277,66	1301	1293,41	C-H bending (Q)
1250-1020	1230	1228,82	1218	1218,84	1244	1085,77	C-N Stretch, C-C atretch, C-H bending (B)
1250-1020	1150	1130,70	1146	1096,38	1103	1052,83	Efek dopan
850-550	812	876,56	620	755,03	800	790,66	C-H bending

Referensi: PANi/FA [9], PANi/HCL [10], PANi/H₂SO₄ [13]

Pada jenis ikatan C-H bending bilangan gelombang dari PANi/FA2 adalah 875 cm⁻¹ sedangkan pada *range* data sheet, ikatan C-H bending berada pada bilangan gelombang 850-550. Perbedaan ini dikarenakan deformasi luar bidang dari C-H dalam 1,4-distributed cincin benzene [9]

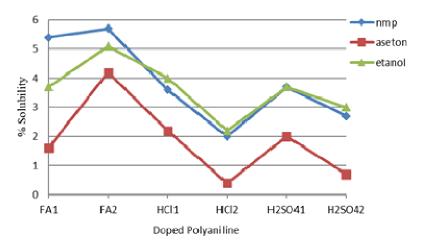


Gambar 2. Grafik konduktivitas PANi/FA, PANi-HCl, PANi/H₂SO₄

Hasil pengukuran konduktivitas listrik ditunjukkan pada Gambar 2. Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas listrik tertinggi yaitu PANi/HCl1 (48 \pm 15) x 10⁻⁴ S/cm dan nilai konduktivitas listrik terendah terdapat pada PANI/FA2 (0,16 ± 0,04) x 10⁻⁴ S/cm. Terlihat bahwa PANi dengan dopan Fumaric acid (asam lemah) mempunyai nilai konduktivitas listrik yang lebih kecil bila dibandingkan dengan nilai konduktivitas listrik PANi dengan doping HCl dan H₂SO₄ (asam kuat). Hal ini adalah bukti bahwa jenis dopan berpengaruh pada nilai konduktivitas listrik. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Dong et al. Pada konsentrasi 1M dengan jenis dopan yang berbeda, nilai konduktivitas listriknya juga berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa jenis dopan juga bepengaruh terhadap nilai konduktivitas listrik PANi[8]. Perbedaan jenis asam mempengaruhi konduktivitas listrik PANi dikarenakan tiap asam (FA, HCl, H₂SO₄) terurai saat hidrolisis, yang proses membentuk ion yang berbeda-beda. Senyawa HCl akan terurai menjadi H⁺ + Cl⁻ , H₂SO₄ terurai menjadi 2H⁺ + SO4²sedangkan Fumaric acid (C₄H₄O₄) terurai menjadi CH-COO⁻ + H₃O⁺. Ion CH-COO⁻ memiliki afinitas elektron yang lebih besar daripada ion Cl⁻.

Makin negatif nilai afinitas elektron, maka makin besar kecenderungan unsur tersebut dalam menyerap elektron, sehingga terjadi lebih banyak pergerakan muatan elektron membawa yang listrik[14]. Sebaliknya, dengan nilai afinitas electron yang lebih besar, maka pergerakan electron lebih sedikit, dan sampel menjadi kurang konduktif.

Konsentrasi dopan mempengaruhi nilai PANi. konduktivitas listrik konduktivitas listrik PANi dengan dopan yang sama, sebagai contoh PANi/FA1 (0,5 \pm 0,052) x 10⁻⁴ S/cm, lebih besar dari $PANi/FA2 (0.162 \pm 0.037) \times 10^{-4} S/cm.$ Kenaikan konduktivitas listrik seiring dengan kenaikan konsentrasi asam hingga molaritas tertentu. setelah itu nilai konduktivitas listrik akan menurun. Penambahan (doping) senyawa asam pada polimerisasi bertujuan proses untuk membentuk ikatan anilin yang lebih larut dalam larutan polimerisasi dan menciptakan suasana asam. Namun, jika konsentrasi asam terlalu tinggi, proses hidrolisis akan sehingga polianilin dominan dihasilkan memiliki bobot molekul rendah. Hal ini dapat menurunkan nilai konduktivitas listrik PANi [3].



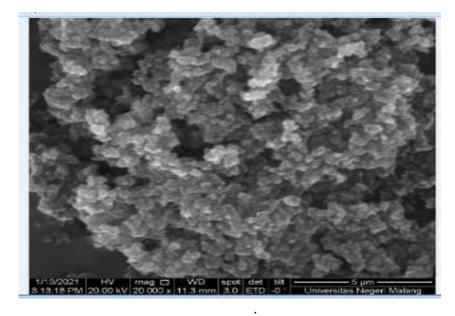
Gambar 3. Grafik kelarutan PANI/FA,PANI/HCl,PANI/H₂SO₄

Pada Gambar 3 persentase kelarutan tertinggi yaitu PANi/FA2 dengan kelarutan sebesar 5,7% dan kelarutan terendah yaitu PANi/HC12 dengan kelarutan sebesar 0,4%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan jenis dopan yang berbeda dapat mempengaruhi persentase kelarutan PANi. PANi dengan dopan Fumaric acid memiliki kelarutan yang lebih baik dalam pelarut organik polar. Adanya Fumaric acid sebagai dopan di rantai utama (backbone) PANi dapat melemahkan interaksi rantai utama PANi, memberikan ruang bagi backbone PANi, memungkinkan penetrasi molekul pelarut di dalam rantai dan meningkatkan kelarutan polimer di pelarut polar[9].

Pada konsentrasi yang sama dengan dopan dan pelarut yang berbeda, persentase kelarutan tertinggi didapat pada sampel PANi-FA2 dengan pelarut NMP. Hal ini menunjukkan bahwa PANi memiliki kelarutan yang baik pada organic polar. Namun diantara organik polar (NMP, aseton, dan etanol), NMP memiliki indeks polaritas tertinggi yaitu 6,7. Sedangkan etanol memiliki indeks polaritas 5,2 dan aseton memiliki indeks polaritas 5,1. Sehingga kelarutan **PANi** tertinggi

diperoleh pada sampel yang dilarutkan dengan pelarut NMP.

Gambar menunjukkan hasil karakterisasi morfologi serbuk PANi/FA2 menggunakan SEM. Perbesaran digunakan 20.000 kali dengan tegangan 20.000 kV. Dengan software Image-J, PANi/FA2 memiliki ukuran partikel dengan diameter 126 nm. Doping fumaric acid PANi sebagian besar berada dalam bentuk interconnected-sponge. Pada penelitian Wang et al, hasil SEM memiliki ukuran partikel dengan diameter sebesar 150 nm[9]. Bila dilihat dari diameter ukuran partikel, hasil penelitian ini tidak terlalu jauh berbeda. Mekanisme pembentukan interconnected-sponge **PANI** dijelaskan sebagai berikut. Pada awal polimerisasi emulsi bebas surfaktan, micelles berbentuk batang terbentuk karena konsentrasi tinggi asam fumarat dan menyediakan utama ruang untuk polimerisasi anilin. Pada awalnya, nodul PANI dan oligomer anilin 1 dimensi dihasilkan secara bersamaan[15]. Karena substitusi elektrofilik, oligomer 1D dan nodul PANI dapat terhubung satu sama lain dan berkembang menjadi nano fibril[9].



Gambar 4. Hasil SEM pada sampel PANi/FA2

Dari karakterisasi yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa penelitian ini telah berhasil disintesis PANi yang mempunyai konduktivitas listrik dan kelarutan yang baik. Dilihat dari hasil FT-IR PANi dengan dopan Fumaric acid, HCl, H2SO4 terdapat fungsi perbedaan gugus yang mempengaruhi nilai konduktivitas listrik dan kelarutan PANi. Hal ini dibuktikan dari hasil pengukuran konduktivitas listrik dan kelarutan PANi. Pada PANi dengan doping Fumaric acid muncul gugus fungsi N-H stretching vibration dan C = O stretching vibration yang tidak terdapat pada PANi dengan doping HCl dan H2SO4. Gugus fungsi tersebut dapat mengurangi konduktivitas listrik PANi teteapi dapat meningkatkan kelarutanya.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil disintesis soluble PANi dengan jenis dan konsentrasi dopan yg berbeda. Telah dibuktikan bahwa Jenis dan konsentrasi dopan dapat mempengaruhi konduktivitas kelarutan listrik dan PANi. konduktivitas listrik PANi dengan doping HCl lebih tinggi bila dibandingkan dengan H2SO4 dan **Fumaric** dopan acid. Sedangkan **PANi** kelarutan tertinggi didapatkan dengan dopan Fumaric acid. Pelarut terbaik untuk PANi adalah NMP.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Laboratorium material jurusan Fisikan Universitas Negeri Surabaya, laboratorium Sentral FMIPA Universitas Negeri Malang, Laboratorium Material dan metarulugi Institut Teknologi Sepuluh November yang telah memberi fasilitas dan kemudahan dalam proses karakterisasi pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Widiyanti and N. prymari Putri, "Sintesis Polianilin Dengan Metode Interfasial Menggunakan Variasi Larutan Dalam Fasa Organik," *Inov. Fis. Indones.*, vol. 7, no. 02, pp. 71–73, 2018.
- [2] R. K. P. Putri and N. M. D. Putra, "Karakteristik Struktur, Optik, Dan Listrik Film Tipis Polianilin (Pani) Doping Hel Yang Ditumbuhkan Dengan Metode Spin Coating," *J. Phys.*, vol. 3(1), pp. 14–21, 2014.
- [3] M. N. Chomari and D. H. Kusumawati, "Variasi Molaritas H2SO4 pada Polianilin/H2SO4," *sains Mat.*, vol. 36, no. 1, pp. 3–15, 2012, doi: 10.7868/s0207401x17010083.
- [4] R. Bagherzadeh, M. Gorji, M. S. Sorayani Bafgi, and N. Saveh-Shemshaki, *Electrospun conductive nanofibers for electronics*. Elsevier Ltd., 2017.
- [5] B. P. Lapanporo, M. bara'allo Malino, and Aspi, "Analisis Data Spektrum Spektroskopi FT-IR untuk Menentukan Tingkat Oksidasi Polianilin," *Prima Fis.*, vol. I, no. 2, pp. 92–96, 2013.
- [6] Fitrilawati, "Peningkatan kelarutan polianilin melalui turunannya untuk bahan komposit fitrilawati †," vol. 08, no. 02, pp. 33–38, 2018.
- [7] N. Savest *et al.*, "Electrospun conductive mats from PANi-ionic liquid blends," *J. Electrostat.*, vol. 96, no. June, pp. 40–44, 2018, doi: 10.1016/j.elstat.2018.09.007.

- [8] X. Dong, X. Zhang, X. Wu, H. Cui, and D. Chen, "Investigation of gassensing property of acid-deposited polyaniline thin-film sensors for detecting H2S and SO2," *Sensors* (*Switzerland*), vol. 16, no. 11, 2016, doi: 10.3390/s16111889.
- [9] Y. Wang *et al.*, "Soluble polyaniline nanofibers prepared via surfactant-free emulsion polymerization," *Synth. Met.*, vol. 198, pp. 293–299, 2014, doi: 10.1016/j.synthmet.2014.10.038.
- [10] Z. Zakaria, N. F. A. Halim, M. H. V. Schleusingen, A. K. M. S. Islam, U. Hashim, and M. N. Ahmad, "Effect of Hydrochloric Acid Concentration on Morphology of Polyaniline Nanofibers Synthesized by Rapid Mixing Polymerization," *J. Nanomater.*, vol. 2015, 2015, doi: 10.1155/2015/218204.
- [11] I. Rahayu, S. Susanti, A. Wijayanti, dan S. Hidayat, "Peningkatan konduktivitas litium besi fosfat melalui

- penambahan polianilina terdopan asam sulfat," vol. 05, no. 01, pp. 7–11, 2015.
- [12] Suwardi; Crys Fajar Partana; dan Das Salirawati, "Sintesis dan Karakterisasi Sintesis dan Karakterisasi Polianilin dan Poli(anilin-N,N-dimetilanilin) sebagai Bahan Sensor Tekanan," pp. 1– 11.
- [13] S. X. Zhou *et al.*, "Facile synthesis of self-assembled polyaniline nanorods doped with sulphuric acid for high-performance supercapacitors," *Vacuum*, vol. 143, pp. 63–70, 2017, doi: 10.1016/j.vacuum.2017.05.028.
- [14] I. D. Pursitasari, Kimia Analitik Dasar dengan Strategi Problem Solving dan Open-ended Experiment. 2014.
- [15] H. Zhang, J. Wang, Z. Wang, F. Zhang, and S. Wang, "Electrodeposition of polyaniline nanostructures: A lamellar structure," *Synth. Met.*, vol. 159, no. 3–4, pp. 277–281, 2009, doi: 10.1016/j.synthmet.2008.09.015.

Retno Fitri Wulandari, dkk: Sintesis Soluble Polianilin dengan variasi Jenis dan Konsentrasi Dopan

Pengaruh Medan Listrik sebagai Stimulan Pertumbuhan Bawang Putih Lokal Timor

Gede Arya Wiguna^{(1,a)*}, Welsiliana^(1,b), Florian Mayesti Prima R. Makin^(1,c) dan Ite Morina Yostianti Tnunay^(1,d)

¹Program Studi Biologi, Fakultas Pertanian, Universitas Timor, NTT, Indonesia, 85613 Email: ^(a*)gede.arya@unimor.ac.id, ^(b)welsiliana@unimor.ac.id, ^(c)florian@unimor.ac.id, ^(d)ite tnunay@unimor.ac.id.

Diterima (28 Juni 2021), Direvisi (25 Juli 2021)

Abstract. The decline in Timorese local garlic yields will have an impact on farmers' income and the existence of the garlic. One of the decline factors is production. The purpose of this study is the implementation of an electric field as a stimulant for garlic growth. The electric field used is an AC electric field with an output frequency of 1.0 kHz. The variation of the electric field used is 1.28, 1.55, 1.80, 2.12, and 2.48 kV/m. The results showed that exposure to an electric field in garlic resulted in a better germination rate, average germination time, and shoot and root growth rate compared to the control. The treatment of exposure to an electric field of 1.55 kV/m resulted the most optimum in the germination rate, average germination time and growth rate of shoots and roots with the respective values (11.4 \pm 0.6) %/etmal, (1.4 \pm 0, 1) day, (2.83 \pm 0.09) mm/day, and (2.04 \pm 0.09) mm/day. Increasing germination, shortening the average germination time and growth rate are expected to increase local Timor garlic production.

Keyword: Timor local garlic, Electric field, Growth

Abstrak. Penurunan hasil panen bawang putih lokal Timor akan berdampak pada penghasilan petani dan keberadaan bawang putih tersebut. Salah satu faktor penurunan adalah produksi. Tujuan pada penelitian ini yaitu implementasi medan listrik sebagai stimulan pertumbuhan bawang putih. Medan listrik yang digunakan adalah medan listrik AC dengan frekuensi keluaran sebesar 1,0 kHz. Variasi besar medan listrik yang digunakan yaitu 1,28, 1,55, 1,80, 2,12 dan 2,48 kV/m. Hasil menunjukkan bahwa paparan medan listrik pada bawang putih menghasilkan laju berkecambah, waktu rerata berkecambah, serta kecepatan tumbuh tunas dan akar lebih baik terhadap kontrol. Perlakuan paparan medan listrik 1,55 kV/m menghasilkan laju perkecambahan, rerata waktu berkecambah dan kecepatan tumbuh tunas dan akar paling optimum dengan nilai masing-masing $(11,4\pm0,6)$ %/etmal, $(1,4\pm0,1)$ hari, $(2,83\pm0,09)$ mm/hari, dan $(2,04\pm0,09)$ mm/hari. Peningkatan daya berkecambah, mempersingkat rerata waktu berkecambah dan kecepatan tumbuh diharapkan dapat meningkatkan produksi bawang putih Timor lokal.

Kata kunci: Bawang putih lokal Timor, Medan listrik, Pertumbuhan

PENDAHULUAN

Bawang putih (*Allium sativum L.*) merupakan tanaman holtikultura yang memiliki banyak manfaat. Selain digunakan untuk bumbu penyedap [1] bawang putih juga dapat digunakan sebagai anti mikrobia [2] Kandungan dalam bawang putih yang bernama alisin dapat dimanfaatkan dalam

bidang bidang farmakologi seperti menurunkan tekanan darah [3], mencegah pembekuan (antitrombotik) [4], darah pencegahan aterosklerosis, pengurangan kolesterol dan trigliserida, serum penghambatan platelet agregasi peningkatan fibrinolitik [5].

Di Indonesia, terdapat 13 varietas bawang putih lokal. Varietas tersebut adalah Saigon, Lumbu Kuning, Krisik, Lumbu Sanggah, Hijau, Tiongkok, Tawangmangu, Ciwidey, Teki, NTT, Thailand, China, dan Pingpong (Thailand) [6]. Bawang putih NTT merupakan bawang putih varietas lokal Timor yang ditanam di Desa Fatuneno, Kecamatan Miomafo Barat, Kabupaten Timor Tengah Utara (TTU), NTT. Budidaya bawang putih lokal di desa ini dilakukan secara turun-temurun dan merupakan salah satu komoditi unggulan di Kabupaten TTU[7].

Hasil panen bawang putih lokal Timor dari tahun 2015–2018 mengalami penurunan yang cukup drastis. Hasil panen tahun 2015 sebanyak 17 Ton dan tahun 2018 sisa 0,5 ton [8]. Penurunan hasil panen disebabkan karena kurang efisiennya penggunaan lahan, proses pembibitan, lambatnya pertumbuhan, tenaga kerja, pupuk, obat-obatan dan faktor-faktor sosial [9]. Jika kondisi semacam ini terus berlanjut maka dapat berdampak pada penghasilan petani dan keberadaan bawang putih lokal Timor tersebut.

Salah satu upaya untuk memperbaiki tersebut vaitu dengan keadaan penerapan paparan medan listrik (Pulsed Electric Field). Paparan medan listrik pada bawang putih berpotensi menyebabkan perubahan permeabilitas membran sel bawang putih [10], yang dapat memicu berbagai reaksi biokimia dan enzimatik pada sel[11]. Reaksi tersebut dapat memicu dan menjadi stimulan percepatan masa pecah dormansi dan pertumbuhan tanaman bawang putih. Melalui percepatan masa dormansi dan pertumbuhan diharapkan diperolehnya hasil produksi yang lebih baik.

METODE PENELITIAN

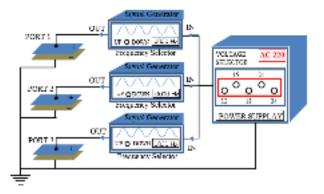
Penelitian ini terdiri dari empat tahapan yaitu desain medan listrik, pemilihan bibit bawang putih, paparan medan listrik, dan pengamatan pertumbuhan (Gambar 1). Pembangkit medan listrik yang digunakan merupakan rancangan Tim Peneliti ditunjukkan pada Gambar 2. Alat ini memiliki toleransi tegangan ± 10%. Komponen alat terdiri dari catu daya (power supply), pengatur tegangan (voltage selector), pembangkit sinyal listrik (signal generator), pengatur frekuensi (frequency selector), dan plat aluminium sebagai elektroda.

Sampel bawang putih lokal Timor yang digunakan adalah bawang putih bersiung tunggal dengan massa antara 1,05 - 1,13 gram. Bawang putih dikelompokkan kedalam 6 perlakuan dengan 5 ulangan.

Bawang putih selanjutnya ditempatkan pada wadah di antara dua plat elektroda. Dua plat elektroda berjarak 1 cm disesuaikan dengan diameter bibit bawang putih mendekati 1 cm sehingga paparan medan listrik terfokus pada bibit bawang putih. Variasi besar medan listrik yang dipaparkan yaitu 1,28, 1,55, 1,80, 2,12 dan 2,48 kV/m.



Gambar 1. Tahapan penelitian



Gambar 2. Desain pembangkit medan listrik

Daya Kecambah

Daya berkecambah adalah keserempakan benih bawang putih untuk berkecambah. Pengamatan daya kecambah dilakukan dari hari pertama sampai pada hari ketujuh. Daya kecambah dihitung menggunakan **Persamaan 1**.

$$DK = \frac{\sum x_i}{N} \times 100\%$$
 (1) dengan DK adalah daya kecambah, $\sum x_i$ adalah jumlah benih yang berkecambah pada hari ke-*i* dan N adalah jumlah benih yang akan dikecambahakan

Laju Kecambah

Pengamatan laju berkecambah bawang putih dilakukan dari hari pertama sampai hari ketujuh. laju berkecambah dihitung menggunakan **Persamaan 2**.

$$v_k = \sum_{i=1}^{B_i} / T_i \tag{2}$$

dengan v_k adalah laju kecambah, B_i adalah banyak kecambah normal pada hari ke-i dan T_i adalah waktu berkecambah hari ke-i. Waktu rerata berkecambah dihitung menggunakan **persamaan 3**.

$$t_k = \sum B_i \times T_i / \sum N$$
 (3)
dengan t_k adalah waktu rerata
berkecambah, B_i adalah banyak kecambah
normal pada hari ke-i, T_i adalah waktu
berkecambah hari ke-i dan N jumlah total
benih berkecambah.

Laju Pertumbuhan

Laju pertumbuhan benih bawang diamati penelitian ini putih pada berdasarkan perubahan panjang tunas dan perubahan panjang akar. Pengamatan laju pertumbuhan dilakukan dengan mengukur perubahan panjang tunas terhadap waktu dan perubahan panjang akar terhadap waktu bawang putih dari hari pertama sampai hari ketujuh. Laju pertumbuhan tunas dan akar dapat dihitung menggunakan Persamaan 4. $v_p = \Delta S/_{\Delta t}$ dengan v_n adalah laju pertumbuhan tunas

atau akar, ΔS adalah perubahan Panjang

tunas atau akar dan Δt adalah perubahan waktu.

Analisis Data

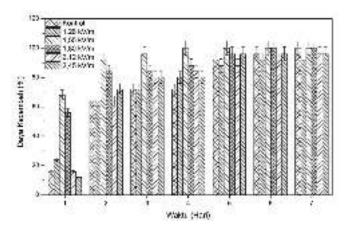
Data yang diperoleh dari pengamatan pertumbuhan selanjutnya dihitung rerata dan standar deviasinya berdasarkan ulangan. Hasil yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Analisis data juga dilakukan menggunakan *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS). Apabila hasil sidik ragam menunjukkan pengaruh nyata dari perlakuan, maka dilakukan uji lanjut *Duncan Mean Range Test* (DMRT).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Berkecambah, Laju Berkecambah dan Waktu Rerata Berkecambah

Hasil pengamatan daya perkecambahan bawang putih dalam 7 hari ditampilkan pada Gambar 3. Data yang ditampilkan berupa rata-rata dan standar deviasi dari ke-5 ulangan. menunjukan adanya peningkatan daya berkecambah. Perlakuan paparan medan listrik 1,2 kV/m dan 1,5 kV/m memiliki daya berkecambah mencapai 100% pada hari ke 3. Perlakuan paparan medan listrik 1,8 kV/m dan kontrol mencapai daya berkecambah 100% pada hari ke 5. Sedangkan perlakuan paparan medan listrik 2,1 kV/m dan 2,4 kV/m baru mencapai 96% pada hari ke 7. Hal ini menunjukan bahwa paparan medan listrik dengan tegangan yang bervariasi mempengaruhi daya berkecambah bawang putih lokal Timor.

Berdasarkan data daya berkecambah bawang putih, maka dapat dihitung laju berkecambahnya menggunakan **persamaan** 1 dan waktu rerata berkecambah menggunakan **persamaan** 2. Hasil laju perkecambahan dan waktu rerata berkecambah ditampilkan pada **Tabel** 1.



Gambar 3. Diagram daya berkecambah terhadap waktu perkecambahan benih bawang putih selama 7 hari.

Tabel 1. Laju berkecambah dan waktu rerata berkecambah antara perlakuan dan kontol pada benih bawang putih

Perlakuan	Laju Kecambah (%/etmal)	Waktu Rerata Berkecambah (Hari)		
Kontrol	$(6,2\pm0,3)$ a	$(3,2 \pm 0,2)$ a		
1,28 kV/m	(7.8 ± 0.4) a	$(1,9 \pm 0,1)$ bc		
1,55 kV/m	$(11,4 \pm 0,6)$ b	$(1,4\pm0,1)$ c		
1,80 kV/m	(10.4 ± 0.5) b	$(1,7 \pm 0,1)$ bc		
2,12 kV/m	$(7,6 \pm 0,4)$ a	$(2,4\pm0,1)$ b		
2,45 kV/m	$(7,5 \pm 0,4)$ a	$(2,2\pm0,1)$ b		

Keterangan: huruf a, b, c menunjukkan pembeda nilai yang nyata dari setiap perlakuan pada uji DMRT (Duncan's Multiple Range Test) dengan taraf α = 0.05.

Pada Tabel 1. Data dan standar deviasi laju kecambah dan waktu rerata berkecambah dihitung berdasarkan rata-rata ulangan. Secara keseluruhan, 5 perlakuan dengan paparan medan listrik memiliki laju berkecambah yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Laju berkecambah kontrol paling rendah yaitu $6,2 \pm 0,3$ %/etmal. Perlakuan paparan sebesar 1.28kV/mdengan laju 7.8 \pm 0,4 %/etmal), berkecambah 2,12kV/m (dengan laju berkecambah $7,6 \pm$ 0,4 %/etmal) dan 2,45 kV/m (dengan laju berkecambah 7,5 \pm 0,4 %/etmal), memiliki laju berkecambah yang tidak berbeda tidak secara signifikan pada uji **DMRT** (Duncan's Multiple Range Test) dengan taraf α= 0.05. Perlakuan paparan medan

listrik sebesar 1,55kV/m (dengan laju berkecambah 11,4 \pm 0,6 %/etmal) dan 1,80 kV/m (dengan laju kecambah 10,4 \pm 0,5 %/etmal) memiliki laju berkecambah yang berbeda secara signifikan.

Waktu rerata berkecambah bawang putih secara keseluruhan pun menunjukan bahwa kontrol memiliki waktu rerata berkecambah lebih lama dibandingkan dengan yang diberi perlakuan paparan medan listrik (Tabel 1). Kontrol memiliki waktu rerata berkecambah (3.2 ± 0.2) hari. Perlakuan paparan medan listrik sebesar 1,28 kV/m dan 1,80 kV/m memiliki waktu rerata berkecambah masing-masing (1,9 ± 0,1) hari dan $(1,7 \pm 0,1)$ hari. Kedua perlakuan tersebut menunjukan waktu rerata berkecambah tidak berbeda secara signifikan. Perlakuan paparan medan listrik sebesar 1,55 kV/m memiliki nilai optimum waktu rerata berkecambah yaitu $(1,4 \pm 0,1)$ hari. Paparan medan listrik mempengaruhi daya, laju dan waktu rerata berkecambah bawang putih lokal Timor. Daya kecambah umbi bawang putih akan memperlihatkan cepat atau lambatnya pematahan dormansi. Masa dormansi yang dimulai sejak masa pemanenan berpengaruh pada turunnya proses fisiologis umbi bawang. Seperti pada bawang bombay berakhirnya masa dormansi ditandai oleh penurunan penghambat tumbuh dan meningkatnya giberelin[12]. Selain karena paparan medan listrik, daya berkecambah juga dipengaruhi oleh adanya hormon tumbuhan yang sudah tersimpan di dalam umbi sejak masa dorman. Hormon ini membantu dalam perkecambahan umbi, terutama pematahan dormansi bawang [13][14]. Paparan medan listrik mengakibatkan adanya transpor elektron sehingga terjadi perubahan posisi ion positif dan ion negatif di dalam membran umbi [10][15]. Transpor elektron merupakan proses pengangkutan elekron melewati membran baik itu pada membran plasma maupun pada organel sel yang memiliki membran seperti kloroplas dan mitokondria. Proses pengangkutan elektron melibatkan protein pembawa misalnya ubiquinone. Transport elektron terutama sangat penting pada pembentukan energi sel[16]. Hal tersebut berdampak pada permebilitas membran sel dan memacu proses pertumbuhan tanaman dengan memecah atau mempercepat pertumbuhan sel tanaman. Dengan demikian menstimulasi umbi bawang putih untuk mulai berkecambah. Selain itu, medan listrik dapat pula mempengaruhi ion transport pada saat proses perkecambahan terutama saat proses penyerapan Berubahnya permeabilitas membran dapat mempengaruhi metabolisme serta pola pergerakan ion dalam sel tanaman[17].

Pertumbuhan Tunas dan Akar

Hasil pertumbuhan tunas dan akar rata-rata bawang putih yang diamati selama 7 hari dapat dilihat pada **Gambar 3**. Dari gambar diperoleh grafik pertumbuhan tunas dan akar bawang putih lokal Timor. Pertumbuhan tunas paling cepat diperoleh dari perlakuan paparan medan listrik 1,55 kV dikuti 1,28 kV; 2,12 kV; 2,45 kV; 1,80 kV; dan kontrol adalah yang paling rendah pertumbuhannya (Gambar Pengamatan pertumbuhan akar bawang putih lokal Timor menunjukan nilai paling tinggi adalah yang diberi paparan medan listrik 1,55 kV selanjutnya 1,80 kV; 1,28 kV; 2,45 kV; 2,12 kV; dan paling rendah adalah kontrol (Gambar 3b).

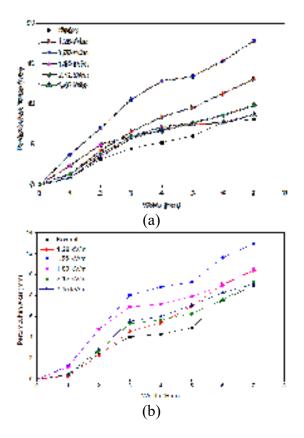
Berdasarkan data pertumbuhan tunas dan akar bawang putih diperoleh rerata kecepatan pertumbuhannya dengan menggunakan persamaan 4. Data rerata kecepatan pertumbuhan tunas dan akar ditampilkan pada Tabel 2. Secara keseluruhan rerata laju pertumbuhan tunas dan akar dengan perlakuan paparan medan listrik lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Rerata laju pertumbuhan tunas dengan paparan medan listrik 1,55 kV menunjukan rerata laju pertumbuhan paling tinggi yaitu 1.80 ± 0.05 mm/hari sedangkan

kontrol paling rendah laju pertumbuhannya yaitu $1,08 \pm 0,05$ mm/hari.

Tabel 2. Rerata laju pertumbuhan tunas dan akar bawang putih perlakuan kontrol dan perlakuan paparan medan listrik

Perlakuan	Kecepatan pertumbuhan (mm/hari)			
	Tunas	Akar		
Kontrol	$(1,08 \pm 0,05)$ a	$(1,10\pm0,06)$ a		
1,28 kV/m	$(1,80 \pm 0,05)$ b	$(1,61 \pm 0,08)$ b		
1,55 kV/m	$(2,83 \pm 0,09)$ c	$(2,04 \pm 0,09)$ c		
1,80 kV/m	$(1,29 \pm 0,06)$ ab	$(1,70 \pm 0,08)$ bc		
2,12 kV/m	$(1,73 \pm 0,09)$ b	$(1,29 \pm 0,06)$ ab		
2,45 kV/m	$(1,51 \pm 0,08)$ ab	$(1,51\pm0,08)$ b		

Keterangan: huruf a, b, c menunjukkan pembeda nilai yang nyata dari setiap perlakuan pada uji DMRT (Duncan's Multiple Range Test) dengan taraf α = 0.05.



Gambar 3. Grafik rerata pertumbuhan Bawang Putih Kontrol dan Perlakuan; (a) Tunas, (b) Akar

Rerata laju pertumbuhan akar pun menunjukan hasil yang tidak jauh berbeda dengan tunas. Paparan medan listrik 1,55 kV tetap menunjukan rerata laju pertumbuhan akar paling besar yaitu 1,55 kV $(2,04 \pm 0,09)$ mm/hari, sedangkan kontrol $(1,10 \pm 0,06)$ mm/hari.

Berdasarkan uji DMRT, rerata laju pertumbuhan tunas dan akar bawang putih lokal Timor menunjukan perbedaan yang signifikan antara pemberian paparan 1,55 kV dengan kontrol. Hal tersebut menggambarkan bahwa paparan medan listrik mempengaruhi rerata laju pertumbuhan tunas dan akar bawang putih lokal Timor.

Pertumbuhan tunas dan akar pada benih bawang putih dipengaruhi oleh metabolisme yang terjadi di dalam sel bawang putih tersebut. Metabolisme adalah keseluruhan reaksi kimia yang terjadi pada Metabolisme makhluk hidup. tumbuhan terbagi atas dua kelompok yaitu anabolisme dan katabolisme. Anabolisme pembentukan molekul-molekul kompleks dari molekul-molekul sederhana membutuhkan dan energi misalnya katabolisme fotosintesis, sedangkan merupakan penguraian molekul kompleks menjadi molekul yang sederhana membentuk energi contohnya respirasi[16]. Paparan medan listrik dapat berpengaruh pada aktivitas keseluruhan tanaman yang berkaitan dengan metabolisme elektron dan ion [18].

KESIMPULAN

Paparan medan listrik pada bawang putih lokal Timor dapat membantu mempercepat laju berkecambah, waktu rerata berkecambah. serta kecepatan pertumbuhan tunas dan akar. Perlakuan paparan medan listrik sebesar 1,55 kV/m optimum memiliki nilai pada perkecambahan (11,4 \pm 0,6) %/etmal, waktu rerata berkecambah $(1,4 \pm 0,1)$ hari, cepat pertumbuhan tunas $(2,83 \pm 0,09)$

mm/hari dan cepat pertumbuhan akar $(2,04 \pm 0,09)$ mm/hari.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih dihaturkan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Timor yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Penelitian Dosen Pemula dengan Nomor Kontrak 21/UN60/LPPM/PP/2021. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Fakultas Pertanian Universitas Timor yang memberikan sarana dan prasarana pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Sholihin, E. Suminar, W. H. Rizky, G. G. Pitaloka. and "Pertumbuhan eksplan meristem bawang putih (Allium sativum L.) kultivar tawangmangu pada berbagai komposisi kinetin dan GA3 In Vitro," Kultivasi, vol. 15, no. 3, 2016, doi: 10.24198/kultivasi.v15i3.11769.
- [2] T. I. Purwantiningsih, A. Rusae, and Z. Freitas, "Uji in vitro antibakteri ekstrak bawang putih sebagai bahan alami untuk menghambat bakteri Staphylococcus aureus dan Escherichia coli," *J. UNS*, vol. 17, no. 1, 2019.
- [3] K. Ried, O. R. Frank, and N. P. Stocks, "Aged garlic extract reduces blood pressure in hypertensives: A dose-response trial," *Eur. J. Clin. Nutr.*, vol. 67, no. 1, 2013, doi: 10.1038/ejcn.2012.178.
- [4] P. Mikaili, S. Maadirad, M. Moloudizargari, S. Aghajanshakeri, and S. Sarahroodi, "Therapeutic uses and pharmacological properties of garlic, shallot, and their biologically active compounds," *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, vol. 16, no. 10. 2013, doi: 10.22038/ijbms.2013.1865.

- [5] J. Y. Y. Chan, A. C. Y. Yuen, R. Y. K. Chan, and S. W. Chan, "A review of the cardiovascular benefits and antioxidant properties of allicin," *Phytotherapy Research*, vol. 27, no. 5. 2013, doi: 10.1002/ptr.4796.
- [6] M. N. Moulia *et al.*, "Antimikroba Ekstrak Bawang Putih Antimikroba Ekstrak Bawang Putih Antimicrobial of Garlic Extract," 2018.
- [7] M. Falo, S. J. Kune, A. N. Hutapea, and O. B. Kapitan, "Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produksi dan Strategi Pengembangan Usahatani Bawang Putih di Kecamatan Miomaffo Barat, Kabupaten Timor Tengah Utara," *AGRIMOR*, vol. 1, no. 04, 2016, doi: 10.32938/ag.v1i04.113.
- [8] Badan Pusat Statistik Timor Tengah Utara, Statistik Pertanian Kabupaten Timor Tengah Utara 2018. Kefamenanu: Badan Pusat Statistik, 2019.
- [9] S. J. Kune and A. N. Hutapea, "Efisiensi Penggunaan Input Usahatani Bawang Putih Lokal Ebandi Miomaffo Barat Kabupaten Timor Tengah Utara," *J. Manaj. AGRIBISNIS (Journal Agribus. Manag.*, vol. 6, no. 1, 2018, doi: 10.24843/jma.2018.v06.i01.p05.
- [10] A. Angersbach, V. Heinz, and D. Knorr, "Effects of pulsed electric fields on cell membranes in real food systems," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 1, no. 2, 2000, doi: 10.1016/S1466-8564(00)00010-2.
- [11] T. Tantamacharik, S. Y. Leong, M. J. Leus, G. T. Eyres, D. J. Burritt, and I. Oey, "Structural changes induced by pulsed electric fields increase the concentration of volatiles released in red onion (Allium cepa L. Var. Red pearl) bulbs," *Foods*, vol. 8, no. 9, 2019, doi: 10.3390/foods8090368.
- [12] P. Miedema, "Bulb dormancy in onion. I.The effects of temperature

- and cultivar on sprouting and rooting," *J. Hortic. Sci.*, vol. 69, no. 1, 1994, doi: 10.1080/14620316.1994.11515245.
- [13] C. Y. Mantoko and T. D. Kurnia, "Pematahan Dormansi Bawang Merah (Allium Ascalonicum) Dengan Perlakuan Suhu Rendah Dan Zat Pengatur Tumbuh," *Prosiding Konsep Karya Ilmiah Nasional* 2019, pp. 156–162.
- D. R. Puspitasari, A. Nuraini, and S. [14] "Pematahan Sumadi, Dormansi Umbi Bawang Putih (Allium sativum L.) Varietas Lumbu Hijau dengan Perlakuan Lama Penyimpanan Umbi pada Suhu Rendah dan Aplikasi Giberelin," Paspalum J. Ilm. Pertan., vol. 8, no. 2, 2020, doi: 10.35138/paspalum.v8i2.189.
- [15] S. Lynikiene, A. Pozeliene, and G. Rutkauskas, "Influence of corona discharge field on seed viability and dynamics of germination," *Int. Agrophysics*, vol. 20, no. 3, 2006.
- [16] J. B. Reece *et al.*, "Campbell Biology (Ninth Edition)," in *Biology*, 2010.
- [17] C. Wolverton, J. L. Mullen, H. Ishikawa, and M. L. Evans, "Two distinct regions of response drive differential growth in Vigna root electrotropism," *Plant, Cell Environ.*, vol. 23, no. 11, 2000, doi: 10.1046/j.1365-3040.2000.00629.x.
- [18] D. Dannehl, S. Huyskens-Keil, D. Wendorf, C. Ulrichs, and U. Schmidt, "Influence of intermittent-direct-electric-current (IDC) on phytochemical compounds in garden cress during growth," *Food Chem.*, vol. 131, no. 1, 2012, doi: 10.1016/j.foodchem.2011.08.069.

Gede Arya Wiguna, dkk : Pengaruh Medan Listrik sebagai Stimulan Pertumbuhan Bawang Putih Lokal Timor

Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Sapu-Sapu (*Hypostomus* plecostomus) dengan Metode Presipitasi

Sri Maulidiyah Mangkuasih, Lydia Rohmawati^(a)

Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia, 60231 Email :^(a)lydiarohmawati@unesa.ac.id

Diterima (30 Juni 2021), Direvisi (27 Juli 2021)

Abstract. Fish bone contains about 62.31% CaO and 37.46% P_2O_5 so that it can be used as hydroxyapatite material. This composition is also contained in the bone of the broom fish (Hypostomus plecostomus) which is known from the XRF test. Therefore, the purpose of this study was to determine the phase and functional group of hydroxyapatite from broomstick fish bones. Synthesis of hydroxyapatite from broomstick fish bones using the precipitation method, namely as much as 7 grams of CaO dissolved in 100 ml of distilled water and heated at 90°C then added 100 ml of 0.6 M H_3PO_4 to obtain a clear solution. Then the solution was added with 1 M NaOH until it reached pH 10, allowed to stand for 24 hours and a precipitate was formed. After that, it was heated at a temperature of 900°C with a holding time variation of 5 hours and 7 hours and then cooled at room temperature. The results of this synthesis were characterized by XRD and FTIR. Based on the XRF results, the broom fish bone has a CaO content of 81.37%. The main phase of hydroxyapatite was formed optimally at a holding time of 7 hours and had a crystal size of 32.39 nm which was calculated based on the Scherrer equation. FTIR results show that hydroxyapatite consists of three main functional groups, namely phosphate (PO_4^{3-}), hydroxyl (OH) and carbonate (CO_2^{3-}) in the wave range of 4000 cm⁻¹ – 500 cm⁻¹. Thus, in this study, hydroxyapatite from broom fish bones was successfully synthesized.

Keywords: Hydroxyapatite, CaO, broom fish bone, Precipitation.

Abstrak. Tulang ikan memiliki kandungan CaO sekitar 62.31% serta P₂O₅ sebesar 37.46% sehingga dapat dimanfaatkan sebagai material hidroksiapatit. Komposisi ini juga terkandung pada tulang ikan sapu-sapu (*Hypostomus plecostomus*) yang diketahui dari uji XRF. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui fasa dan gugus fungsi hidroksiapatit dari tulang ikan sapu-sapu. Sintesis hidroksiapatit dari tulang ikan sapu-sapu menggunakan metode presipitasi yakni sebanyak 7 gram CaO dilarutkan dengan 100 ml aquades dan dipanaskan pada suhu 90°C lalu ditambahkan100 ml H₃PO₄ 0.6 M hingga diperoleh larutan yang jernih. Selanjutnya larutan tersebut ditambahkan dengan NaOH 1 M hingga mencapai pH 10, didiamkan selama 24 jam dan terbentuk endapan. Setelah itu dipanaskan pada suhu 900°C dengan variasi waktu tahan 5 jam dan 7 jam lalu didinginkan pada suhu ruang. Hasil sintesis ini dikarakterisasi XRD dan FTIR. Berdasarkan hasil XRF tulang ikan sapu-sapu memiliki kandungan CaO sebesar 81.37%. Fasa utama hidroksiapatit terbentuk optimum pada waktu tahan 7 jam dan memiliki ukuran kristalit sebesar 32.39 nm yang dihitung berdasarkan persamaan *Scherrer*. Hasil FTIR menunjukkan bahwa hidroksiapatit terdiri dari tiga gugus fungsi utama yaitu fosfat (PO₄³⁻), hidroksil (OH⁻) dan karbonat (CO₃²⁻) pada rentang gelombang 4000 cm⁻¹ – 500 cm⁻¹. Dengan demikian pada penelitian ini hidroksiapatit dari tulang ikan sapu-sapu berhasil disintesis.

Kata kunci: Hidroksiapatit, CaO, Tulang ikan sapu-sapu, Presipitasi.

PENDAHULUAN

Hidroksiapatit Ca₅HO₁₃P₃ merupakan senyawaxkalsium fosfat yang menjadi komponen organik dari tulang dan gigi yang bersifat bioaktif. Material ini berpotensi sebagai pelapis dalam implantasi komposit. Hidroksiapatit memiliki dua struktur yaitu monoklinik dan heksagonal [1]. Umumnya hidroksiapatit dimanfaatkan berbagai bidang kesehatan dalam diantaranya sebagai pembentukan jaringan keras [2]. Selain itu, hidroksiapatit dapat dimanfaatkan sebagai bahan penyerap Struktur gelombang radar [3]. komposisi hidroksiapatit memiliki kesamaan dengan komponen anorganik keramik dan polimer sehingga mudah berikat dengan keramik serta bersifat biokompatibel [4], dan feromagnetik[5].

Hidroksiapatit dapat disintesis dari tulang ikan, diantaranya tulang ikan patin (Pangasius Nasutus) [6], tulang ikan lamuru (Sardilnella Longiceps) [7], dan tulang ikan tuna (Thunnus Albacores) [8]. Umumnya tulang ikan memiliki kandungan CaO sekitar 62.31% serta P₂O₅ sebesar 37.46% sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber kalsium dalam sintesis hidroksiapatit [9] dan komposisi ini juga terkandung pada tulang ikan sapu-sapu (Hypostomus plecostomus). Ikan sapu-sapu (Hypostomus plecostomus) merupakan spesies ikan yang berasal dari sungai Amazon di Amerika Selatan. Namun saat ini keberadaan ikan sapu-sapu sudah tersebar di berbagai negara termasuk Indonesia. Ikan jenis ini mampu bertahan hidup di lingkungan sungai yang tercemar logam berat seperti cadmium (Cd), merkuri (Hg), dan timbal (Pb). Hal ini dikarenakan ikan sapu-sapu memiliki alat pernafasan tambahan berupa labirin [10]. Kemampuan beradaptasi yang tinggi ini menyebabkan ikan sapu-sapu dapat menjadi hama di perairan sungai.

Di dalam daging ikan sapu-sapu terdeteksi kandungan cadmium (Cd), merkuri (Hg), timbal (Pb) dan logam Arsen (As) yang melebihi ambang batas yang telah ditetapkan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia (BPOM-RI) [10]. Sehingga daging ikan sapu-sapu tidak layak untuk dikonsumsi, namun tulang ikan sapu-sapu dapat dimanfaatkan

sebagai sumber kalsium dalam pembuatan sintesis hidroksiapatit. Tulang ikan sapumerupakan limbah perikanan anorganik yang terdiri dari komponen hidroksiapatit [7]. Sintesis hidroksiapatit dari tulang ikan dapat dilakukan dengan berbagai metode yakni metode hidrotermal, sol gel, solid solution dan metode presipitasi [5]. Proses sintesis yang berbeda akan menghasilkan hidroksiapatit yang berbeda pula seperti ukuran partikel dan homogenitas ukuran partikel. Namun dari berbagai metode tersebut metode presipitasi adalah metode yang sering digunakan dianggap lebih karena membutuhkan reaksi kimia yang sederhana serta ukuran dan homogenitas partikel yang didapat relatif cukup baik [9]. Dengan demikian, pada penelitian ini dilakukan sintesis hidroksiapatit dari tulang ikan sapusapu menggunakan metode presipitasi. Hasil sintesis dari penelitian ini diharapkan sampel memiliki fase utama dan gugus fungsi dari hidrosiapatit.

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam proses sintesis hidroksiapatit dari tulang ikan sapu-sapu adalah *stirrer*, neraca, oven, *furnace*, corong *Buchner*, labu takar 1000 ml, gelas ukur 100 ml, mortar dan alu, statif dan klem, spatula, pipet tetes, pinset, ayakan 200 mesh. Aquades, H₃PO₄ Merck 85%, aseton Merck 99%, pH meter, kertas saring whatman, NaOH Merck 98%, limbah tulang ikan sapu-sapu.

Preparasi Sampel

Tulang ikan dicuci kemudian direbus selama 2 jam dan dipotong kecil-kecil agar lebih cepat dalam proses pengeringan kemudian dikeringkan selama 4 hari. Setelah itu, daging yang masih menempel dibersihkan lalu dicuci dengan aquades. Kemudian dikeringkan kembali. Tulang

ikan direndam dengan aseton selama 3 hari dan diuapkan pada suhu kamar. Selanjutnya dikeringkan di dalam oven selama 4 jam pada suhu 105°C dan hasilnya digerus hingga diperoleh ukuran yang homogen.

Sintesis Kalsium Oksida (CaO)

Sebanyak 80 gram tulang dikeringkan di dalam oven selama 2 jam suhu 150°C. Setelah itu, dipanaskan di dalam furnace pada suhu 900°C selama 5 jam, didinginkan pada suhu kemudian hasilnya dihaluskan dan di ayak, sehingga diperoleh serbuk CaO yang homogen. Selanjutnya serbuk CaO tersebut menggunakan dikarakterisasi Energy Dispersive X-Ray Flouresence (EDXRF) untuk mengetahui persentase kandungan dari CaO.

Sintesis Hidroksiapatit

gram Sebanyak 7 serbuk CaO dimasukkan ke dalam gelas kimia 300 ml dan ditambahkan 100 ml aquades. Setelah itu larutan dipanaskan pada suhu 90°C, menggunakan magnetic diaduk stirrer dengan kecepatan 700 rpm lalu ditambahkan 100 ml H₃PO₄ 0,6 M hingga diperoleh menggunakan buret jernih. NaOH larutan yang ditambahkan ke dalam larutan tersebut hingga mencapai pH 10, didiamkan selama 24 jam dan terbentuk endapan. Proses selanjutnya, endapan disaring dan dicuci dengan aquades kemudian dikalsinasi pada suhu 900°C dengan variasi waktu tahan selama 5 jam dan 7 jam. Serbuk hasil dari penelitian ini dikarakterisasi XRD untuk mengetahui fase utama hidroksiapatit dan dilanjutkan dengan karakterisasi FTIR.

Teknik karakterisasi dan analisis data X-Ray Flourescence (XRF)

Karakterisasi XRF dilakukan untuk menguji kandungan unsur suatu bahan mulai dari natrium hingga uranium. Sampel yang diuji dapat berbentuk padat serbuk dan cair. Alat XRF yang digunakan adalah merk Panalytical tipe Minipal 4. Hasil yang didapatkan berupa tabel yang berisi kandungan unsur beserta presentasenya.

X-Ray Diffraction (XRD)

Jenis fasa dan kristalisasi hidroksiapatit dianalisis menggunakan XRD tipe XPert MPD system. Tegangan 40 Kv, sumber radiasi Cu 35 mA dan sudut 2theta 0° - 80°. Sampel yang diuji berupa sampel serbuk. Hasil karakterisasi **XRD** dianalisis menggunakan software Match! mengetahui fasa yang muncul pada setiap puncak. Serta mengidentifikasi puncak dan intensitas maksimum dari fasa utama yang terbentuk. Ukuran kristal Hidroksiapatit dapat ditentukan dengan persamaan scherrer yang dirumuskan sebagai berikut:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \tag{1}$$

D merupakan ukuran kristal, K merupakan faktor bentuk dari kristal (0,9-1), λ merupakan panjang gelombang sinar X (0.154056 Å), β merupakan nilai dari FWHM (rad), dan θ adalah sudut difraksi (derajat) [11].

Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Karakterisasi **FTIR** berguna untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan ikatan kimia yang dimiliki oleh material yang menyerap berkas cahaya inframerah pada paniang gelombang tertentu. karakterisasi FTIR yang digunakan adalah merk Shimadzu tipe IR Prestige 21 dengan rentang gelombang 4000 cm⁻¹-500 cm⁻¹. Berdasarkan karakterisasi tersebut didapatkan spektrum FTIR dari grafik hubungan Modus pemancar (%T) dan bilangan gelombang (cm⁻¹), sehingga bilangan gelombang yang didapat dibandingkan dengan referensi jurnal untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil karakterisasi XRF

Tabel 1.Data analisis XRF tulang ikan sapu-sapu.

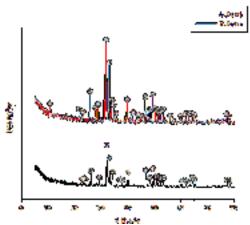
No.	Senyawa	Konsentrasi (%)
1	CaO	81.37
2	P_2O_5	16.5
3	Fe_2O_3	0.093
4	CO_3O_4	0.056
5	Sro	0.46
6	Ln_2O_3	1.1
7	Er_2O_3	0.03
8	Tm_2O_3	0.35

Berdasarkan hasil karakterisasi XRF terdapat beberapa senyawa yang terdapat pada tulang ikan sapu-sapu (**Tabel 1**). Senyawa CaO yang terkandung dalam tulang ikan sapu-sapu cukup tinggi yaitu sebanyak 81.37%. Umumnya tulang ikan mengandung CaO sebesar 62.31% [9]. Dengan adanya kandungan CaO yang tinggi maka tulang ikan sapu-sapu (*Hypostomus Plecostomus*) berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan dasar sintesis hidroksiapatit.

Hasil karakterisasi XRD

Hasil karakterisasi XRD hidroksiapatit dengan waktu tahan 5 jam dan 7 jam ditunjukkan pada **Gambar 1.** Berdasarkan data kualitatif menggunakan *software match!*, sampel hasil sintesis pada kalsinasi 5 jam menunjukkan fasa hidroksiapatit pada sudut dan *hkl* yang dapat dilihat pada **Tabel 2.** Analisis tersebut sesuai dengan data PDF nomor 96-900-2216. Namun pada hasil sintesis selama 5 jam ini, masih ada impuritas berupa senyawa CaCO₃ yakni pada sudut 23.35° dan 37.55°.

Berbeda dengan sampel hasil sintesis dengan kalsinasi 7 jam dimana fase utama hidroksiapatit terbentuk secara optimal, bahkan pada sudut 10.71°, 21.71°, dan 22.80° muncul puncak baru yang menunjukkan fase hidroksiapatit. Analisis ini sesuai dengan PDF nomor 96-901-3628.



Gambar 1. Hasil XRD hidroksiapatit kalsinasi 5 jam dan 7 jam, (o) hidroksiapatit, (◊) impuritas (CaCO₃).

Tabel 2. Nilai hkl kalsinasi 5 jam.

1 26.07 111 2 28.09 210 3 31.97 211 4 32.40 112 5 33.09 300 6 34.28 202 7 39.97 310 8 48.26 221 9 49.58 013 10 50.58 211 11 51.39 131 12 52.27 311 13 53.33 313 14 56.03 302 15 61.81 122 16 63.05 200 17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111 20 78.27 033	No.	Sudut (2θ)	Nilai <i>hkl</i>
3 31.97 211 4 32.40 112 5 33.09 300 6 34.28 202 7 39.97 310 8 48.26 221 9 49.58 013 10 50.58 211 11 51.39 131 12 52.27 311 13 53.33 313 14 56.03 302 15 61.81 122 16 63.05 200 17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111	1	26.07	111
4 32.40 112 5 33.09 300 6 34.28 202 7 39.97 310 8 48.26 221 9 49.58 013 10 50.58 211 11 51.39 131 12 52.27 311 13 53.33 313 14 56.03 302 15 61.81 122 16 63.05 200 17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111		28.09	210
5 33.09 300 6 34.28 202 7 39.97 310 8 48.26 221 9 49.58 013 10 50.58 211 11 51.39 131 12 52.27 311 13 53.33 313 14 56.03 302 15 61.81 122 16 63.05 200 17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111	3	31.97	211
6 34.28 202 7 39.97 310 8 48.26 221 9 49.58 013 10 50.58 211 11 51.39 131 12 52.27 311 13 53.33 313 14 56.03 302 15 61.81 122 16 63.05 200 17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111	4	32.40	112
7 39.97 310 8 48.26 221 9 49.58 013 10 50.58 211 11 51.39 131 12 52.27 311 13 53.33 313 14 56.03 302 15 61.81 122 16 63.05 200 17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111	5	33.09	300
8 48.26 221 9 49.58 013 10 50.58 211 11 51.39 131 12 52.27 311 13 53.33 313 14 56.03 302 15 61.81 122 16 63.05 200 17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111	6	34.28	202
9 49.58 013 10 50.58 211 11 51.39 131 12 52.27 311 13 53.33 313 14 56.03 302 15 61.81 122 16 63.05 200 17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111	7	39.97	310
10 50.58 211 11 51.39 131 12 52.27 311 13 53.33 313 14 56.03 302 15 61.81 122 16 63.05 200 17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111	8	48.26	221
11 51.39 131 12 52.27 311 13 53.33 313 14 56.03 302 15 61.81 122 16 63.05 200 17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111	9	49.58	013
12 52.27 311 13 53.33 313 14 56.03 302 15 61.81 122 16 63.05 200 17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111	10	50.58	211
13 53.33 313 14 56.03 302 15 61.81 122 16 63.05 200 17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111	11	51.39	131
14 56.03 302 15 61.81 122 16 63.05 200 17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111	12	52.27	311
15 61.81 122 16 63.05 200 17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111	13	53.33	313
16 63.05 200 17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111	14	56.03	302
17 64.12 100 18 65.12 031 19 65.37 111	15	61.81	122
18 65.12 031 19 65.37 111	16	63.05	200
19 65.37 111	17	64.12	100
	18	65.12	031
20 78.27 033	19	65.37	111
	20	78.27	033
21 78.47 222	21	78.47	222

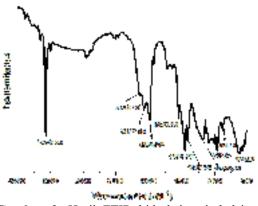
Sudut dan *hkl* fasa hidroksiapatit untuk sampel 7 jam dapat dilihat pada **Tabel 3**. Lamanya waktu tahan mempengaruhi proses difusi sehingga lebih mudah terbentuk dan teridentifikasi fase utama [12]. Dengan demikian pada penelitian ini, fase utama hidroksipatit terbentuk pada sampel dengan kalsinasi selama 7 jam. Ukuran kristalit dari sampel ini dapat dihitung menggunakan persamaan *Scherrer* dan diperoleh sebesar 32.39 nm.

Tabel 3. Nilai <i>hkl</i> kalsinasi 7	jam.
--	------

Tabel 5. Milai nki kaisinasi / jain.							
No.	Sudut (2θ)	Nilai <i>hkl</i>					
1	10.71	101					
2	21.71	200					
3	22.80	111					
4	25.82	002					
5	27.99	022					
6	28.86	210					
7	31.72	211					
8	32.88	112					
9	33.99	300					
10	35.45	202					
11	35.80	301					
12	39.76	310					
13	43.77	311					
14	45.20	133					
15	46.61	033					
16	48.01	222					
17	50.42	312					
18	51.20	213					
19	51.99	321					
20	52.16	302					
21	53.09	033					
22	55.78	004					
23	59.88	322					
24	61.58	033					
25	62.93	202					
26	63.89	033					
27	64.09	211					
28	64.29	111					
29	77.10	033					
30	78.12	222					

Hasil karakterisasi FTIR

Hasil karakterisasi sintesis hidroksiapatit dengan waktu kalsinasi 7 jam pada rentang gelombang 4000 cm⁻¹ – 500 dapat dilihat pada Gambar 2. Karakteristik hidroksiapatit tersusun atas tiga gugus fungsi utama yaitu fosfat (PO₄³-), hidroksil (OH⁻) dan karbonat (CO₃²⁻) [13]. Intensitas tertinggi terdeteksi pada gugus OH-. Gugus tersebut terdeteksi pada rentang gelombang 3570.24 cm⁻¹, 2140.99 cm⁻¹, 2077.18 cm⁻¹ dan 1986.68 cm⁻¹. Gugus PO₄³⁻ terletak pada rentang gelombang 15484.84 cm⁻¹, 1454.33 cm⁻¹, 1409.96 cm⁻¹, 11845.29 cm⁻¹, 962.48 cm⁻¹, 873.75 cm⁻¹ dan 630.72 cm⁻¹. Puncak tersebut menunjukkan ikatan gugus fosfat dari vibrasi gugus P-O.



Gambar 2. Hasil FTIR hidroksiapatit kalsinasi 7 jam

Tabel 4. Nilai gugus fungsi hasil analisis FTIR Eksperimen Referensi(cm⁻¹) Jenis (cm⁻¹) Ikatan 3570.24 3570 [13] OH-3000 – 1700 [14] 2140.99 - 1986.68 OH-1548.84 - 1409. 96 1550 – 1400 [15] CO_3^{2-} 11845.29 - 630.72 1100 – 460 [4] PO₄3-

Sedangkan Gugus karbonat (CO₃²⁻) muncul pada bilangan gelombang 1548.84 cm⁻¹, 1454.33 cm⁻¹ dan 1409. 96 cm⁻¹. Untuk lebih jelasnya, nilai gugus fungsi beserta jenis ikatan hidroksiapatit dapat disajikan pada **Tabel 4**.

Keberadaan gugus karbonat (CO₃²-) berasal dari reaksi CaO dengan CO2 yang berada di udara bebas [12]. Gugus karbonat (CO₃²-) dapat teridentifikasi dalam struktur hidroksiapatit dengan mensubtitusikan ion hidroksil atau fosfat sehingga membentuk karbonat-hidroksiapatit. struktur Terbentuknya struktur tersebut tidak mempengaruhi fungsi hidroksiapatit dikarenakan senyawa kalsium dan fosfat telah mengalami kalsinasi pada suhu 900° C sehingga memiliki struktur yang stabil [4]. Dari hasil analisis FTIR munculnya ketiga gugus fungsi tersebut menunjukkan bahwa hidroksiapatit telah berhasil disintesis dengan kalsinasi 7 jam.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian maka pada ini sintesis hidroksiapatit dari tulang ikan sapu-sapu menggunakan metode presipitasi berhasil dilakukan. Hasil XRF menunjukkan tulang ikan sapu-sapu memiliki kandungan CaO sebesar 81.37%. Hasil analisis XRD diperoleh fasa utama hidroksiapatit terbentuk pada kalsinasi 900°C selama 7 Hidroksiapatit tersebut memiliki ukuran kristalit sebesar 32.39 nm. Hasil FTIR menunjukkan bahwa hidroksiapatit terdiri dari tiga gugus fungsi utama vaitu fosfat (PO₄³-) terdapat pada bilangan gelombang 11845.29 cm⁻¹ - 630.72 cm⁻¹, karbonat (CO₃²-) pada bilangan gelombang 1548.84 cm⁻¹ - 1409.96 cm⁻¹ dan hidroksil (OH⁻) pada rentang bilangan gelombang 3570.24 cm⁻¹ - 1986.68 cm⁻¹.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. P. Ningsih, N. Wahyuni, and L. Destiarti, "Sintesis Hidroksiapatit Dari Cangkang Kerang Kepah (Polymesoda erosa) Dengan Variasi Waktu Pengadukan," *J. Kim. Khatulistiwa*, vol. 3, no. 1, pp. 22–26, 2014.
- [2] J. Juraida, M. Sontang, E. A. Ghapur, and M. I. N. Isa, "Preparation And Characterization Of Hydroxyapatite From Fishbone," pp. 76–82, 2011.
- E. Ghanim Fadhallah, F. Elka, N. [3] Aziezah Hapsari, S. Darmo Atmojo, and B. Irianto, "Prototype teknologi siluman (stealth) material organik gelombang penyerap radar dari komposit polimer chitosanhidroksiapatit aplikasi untuk peralatan militer wilavah perbatasan," Pekan Ilm. Mhs. Nas.

Progr. Kreat. Mhs., 2013.

- [4] N. Demirkol, F. N. Oktar, and E. S. Kayali, "Mechanical and microstructural properties of sheep hydroxyapatite (SHA)-niobium oxide composites," *Acta Phys. Pol. A*, vol. 121, no. 1, pp. 274–276, 2012, doi: 10.12693/APhysPolA.121.274.
- [5] B. S. Purwasasmita and R. S. Gultom, "Sintesis Dan Karakterisasi Serbuk Hidroksiapatit Skala Sub-Mikron Menggunakan Metode Presipitasi," *J. Bionatura*, vol. 10, no. 2, pp. 155–167, 2008.
- [6] P. Pangasius and N. Melalui, "Sintesis Hidroksiapatit Dari Tulang Ikan," vol. 4, no. 1, pp. 12–16.
- [7] A. Amin and M. Ulfah, "Sintesis Dan Karakterisasi Komposit Hidroksiapatit Dari Tulang Ikan Lamuru (Sardilnella Longiceps) Kitosan Sebagai Bone Filler," *Jf Fik Uinam*, vol. 5, no. 1, pp. 9–15, 2017.
- [8] Chadijah, S. Hardiyanti, and Sappewali, "Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit Dari Ikan (Thunnus Tulang Tuna albacores) Dengan XRF, FTIR, dan XRD," Al-Kimia, vol. 6, no. 2, 2018.
- [9] M. Mutmainnah, S. Chadijah, and W. O. Rustiah, "Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Tuna Sirip Kuning (Tunnus albacores) dengan Metode Presipitasi," *Al-Kimia*, vol. 5, no. 2, pp. 119–126, 2017, doi: 10.24252/al-kimia.v5i2.3422.
- [10] S. Pterygoplichthys, I. P. Kaca, and G. Wahyudewantoro, "Yang Bersifat Invasif Di Indonesia (Sailfin

- Armoured Catfish, Pterygoplichthys spp.: A Tank Cleaner has Become One of the Invasive Fish in Indonesia) Pendahuluan," vol. 2, no. November, pp. 22–28, 2018.
- [11] S. U. Dewi and K. Dahlan, "Sintesis Dan Karakterisasi Hidroksiapatit Menggunakan Analisis X Ray Diffraction," pp. 10–13, 2011.
- [12] J. L. Otto *et al.*, "Effect of phase formation due to holding time of vacuum brazed AISI 304L/NiCrSiB joints on corrosion fatigue properties," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 5, pp. 10550–10558, 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.07.047.
- [13] A. A. Hamidi, M. N. Salimi, and A. H. M. Yusoff, "Synthesis and characterization of eggshell-derived

- hydroxyapatite via mechanochemical method: A comparative study Synthesis and Characterization of Eggshell-Derived Hydroxyapatite via Mechanochemical Method: A Comparative Study," vol. 020045, no. 2017, 2020, doi: 10.1063/1.4981867.
- [14] K. Adi Puspa and D. Asmi, "Sintesis dan Karakterisasi Biokeramik Hidroksiapatit Bahan Tulang Sapi pada Suhu 800-1100," *Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 02, no. 02, pp. 125–130, 2014.
- [15] W. I'anatul, S. Wardhani, and Darjito, "Sintesis Hidroksiapatit Dari Tulang Sapi Dengan Metode Pengendapan Basah," *Kim. Student J.*, vol. 1, no. 1, pp. 92–97, 2014.

Sri Maulidiyah Mangkuasih, dkk : Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Sapu-sapu (Hypostomus Plecostomus) Dengan Metode Presipitasi

Delineasi Patahan di Pulau Weh sebagai Perpanjangan The Great Sumatran Fault (GSF) Berdasarkan Data Metode Geomagnetik

Afrahun Naziah^(1,a), Nazli Ismail ^{(1,b)*}, Nasrullah Zaini ^(1,c), dan Muhammad Nanda^(2,d)

(1) Physics Department, Faculty of Mathematics and Natural Science, Syiah Kuala University, Banda Aceh, Indonesia, 23111

⁽²⁾Graduate School of Mathematics and Applied Sciences, Universitas Syiah Kuala, Indonesia, 23111

Email: (a) afrahul94@gmail.com, (b*)nazli.ismail@unsyiah.ac.id, (c)nasrullah.zaini@unsyiah.ac.id, (d)m.nanda@mhs.unsyiah.ac.id

Diterima (05 Juli 2021), Direvisi (26 Juli 2021)

Abstract. This research has mapped the active fault of the Seulimeum segment part of the extension of The Great Sumatran Fault (GSF) in the northern as preparation for disaster mitigation. Nevertheless, seismic activity significantly on the Seulimeum segment still has not happened yet. This situation has the potential for a hugely destructive earthquake with a magnitude reaching ~7.4 and also will threaten the Weh island at the northernmost end of the Seulimeum segment even though the Weh island is a settlement, integrated economy area, tourism, trade area, and freeport zone. This study used geophysical methods, i.e., geomagnetic methods, for subsurface investigation. Each distance of 500m data was measured throughout the island using the Proton Precession Magnetometer (PPM) GEM 19 to get 204 total magnetic field data. The correction process (e.g., diurnal and IGRF) is done to get the total intensity of magnetic anomalies. Based on the calculation of residual data and analytical signals from the intensity of total magnetic anomalies, Interpretation found 13 fault distributions around the island with orientation in the northwest-southeast. This result has in agreement with the previous studies. However, this research has did not yet got information about geometry and fault depth. Comprehensive research is needed to complete it.

Keywords: The Great Sumatran fault, Seulimuem segment, geomacnetic, Weh island.

Abstrak. Salah satu upaya dalam persiapan mitigasi bencana adalah pemetaan patahan yang diduga aktif. Penelitian ini telah memetakan perpanjangan patahan aktif The Great Sumatran Fault (GSF) dari Segmen Seulimeum. Meskipun Segmen Seuliemuem merupakan bagian dari GSF yang sangat aktif dibagian selatan Sumatera, namun aktivitas seismik secara signifikan dibagian segmen seulimeum masih belum terjadi. Hal ini diperkirakan berpotensi menghasilkan gempa besar dengan magnitudo mencapai ~7.4. Keadaan ini juga mengancam Pulau Weh yang berada di ujung bagian utara dari Segmen Seulimeum. Padahal Pulau Weh merupakan kawasan pemukiman, ekonomi terpadu, pariwisata dan pelabuhan bebas. Penelitian ini menggunakan metode geofisika yaitu metode geomagnetic untuk investigasi bawah permukaan. Pendekatan metode geofisika dari metode magnetik dilakukan untuk melengkapi dan memperbaharui temuan pada penelitian-penelitian sebelumnya terkait distribusi patahan dan perpanjangan Segmen Seulimeum dari GSF. Pengambilan data dilakukan sebanyak 204 titik dengan jarak antar titik ± 500 meter di seluruh Pulau Weh menggunakan Proton Precession Magnetometer (PPM) GEM 19. Data hasil pengukuran kemudian dilakukan koreksi International Geomagnetic Reference Field (IGRF) dan diurnal untuk mendapatkan nilai anomali intensitas magnetik total di Pulau Weh. Hasil interpretasi berdasarkan pengukuran efek regional dan perhitungan signal analytik didapatkan sebaran patahan sebanyak 13 patahan dengan orientasi timur laut-tenggara Pulau Weh. Temuan distribusi patahan ini mengikuti pola kesesuaian dengan kajian sebelumnya yang hanya memanfaatkan data permukaan saja. Meskipun demikian, penelitian ini belum mendapatkan informasi terkait geometri dan kedalaman patahan. Kajian lanjutan diperlukan untuk melengkapi informasi tersebut.

Kata kunci: Patahan Sumatera, Segmen Seulimuem, geomagnetik, Pulau Weh.

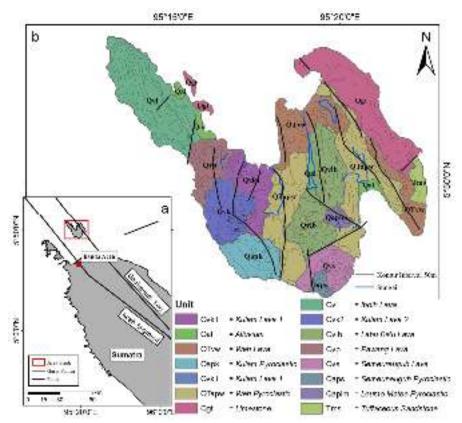
PENDAHULUAN

Perpanjangan patahan aktif *The Great* Sumatran Fault (GSF) yang berada di bagian utara Aceh terbagi menjadi dua cabang, yaitu segmen Aceh dan segmen seulimeum [1]. Segmen Aceh mengarah ke Pulo Aceh disisi kiri dan disisi kanan yaitu segmen Seulimeum yang melintasi Pulau Weh di lepas pantai utara Aceh hingga menuju ke Laut Andaman [2] (Gambar. 1a). Keberadaan Pulau Weh terletak di dalam inner volcanic arc dari Pulau Sumatra [4], [5], bahkan sebelum Pleistosen, Pulau Weh adalah gunung berapi yang menjadi bagian dari Pulau Sumatra. letusan besar akhirnya memisahkan Pulau Weh dari Pulau Sumatra [6].

Tatanan geologi di Pulau Weh sangat dipengaruhi oleh oleh GSF [6], [7]. Secara geologis, pulau ini dibentuk oleh batuan andesit dan basaltik (58%),vulkanoklastik (30%), serta terumbu karang dan aluvium (12%) [8]. Secara detail ditampilkan pada Gambar 1b. Meskipun Pulau Weh merupakan bagian dari patahan aktif dari Segmen Seulimeuem di bagian utara GSF, namun rekaman gempa bumi besar yang signifikan ($M \ge 7.0$) [9] belum terjadi dalam kurun waktu 185 tahun [10]. Hal ini mengidentifikasi seismic gap di Segmen Seulimeum tersebut [11], [12], Sehingga berpotensi gempa bumi dengan magnitudo sekitar ~7.4 [12]. Keadaan ini akan mengancam Pulau Weh yang berada di bagian utara dari Segmen Seulimeum.

Padahal, Pulau Weh merupakan area penting pada wilayah Aceh. Pulau Weh merupakan kawasan pemukiman [13], kawasan pariwisata [14], kawasan ekonomi terpadu [15] dan Pelabuhan bebas [16]. Oleh karena itu pemetaan distribusi patahan di Pulau Weh sangat mendesak untuk dilakukan. Sejauh ini penelitian di lepas pantai utara Aceh dan Pulau Weh masih minim dan parsial, seperti tektonik landform dan aktivitas paleo-seismik [17], pemetaan patahan berdasarkan unit geologi [6], kajian geometri dan kinematika patahan [5], Aceh [4] dan distribusi patahan berdasarkan kajian geomorfologi [18]. Bagaimanapun, kajian seperti pemetaan patahan berdasarkan kajian geomorfologi hanya berdasarkan kondisi atas permukaan saja, kajian – kajian geofisika yang mengidentifikasi berdasarkan struktur bawah permukaan perlu dilakukan untuk membandingkan hasil temuan. Penelitian ini telah melakukan pemetaan distribusi patahan berdasarkan data geofisika yaitu metode geomagnetik.

Penggunaan metode magnetik juga sangat cocok pada area yang luas, nondestructive, proses akuisisinya mudah, cepat dan ekonomis serta memiliki mobilitas tinggi yang [19]. Metode geofisika seperti metode magnetik ini merupakan salah satu metode yang paling efektif untuk delineasi patahan [20]. Selain itu penggunaan metode ini juga telah banyak diterapkan pada bidang kajian lain seperti: geothermal [21], ekplorasi [22], hingga bidang arkelogi [23].



Gambar 1. Lokasi penelitian (a) area bagian utara Pulau Sumatra (b) tatanan geologi pada area penelitian (modifikasi berdasarkan [6]).

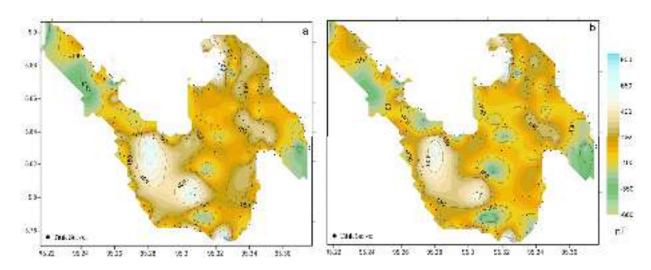
METODE PENELITIAN

Proses pengukuran data intensitas medan magnetik total dilakukan di seluruh Pulau Weh. Titik akuisisi data diterapkan secara grid acak dengan spasi ±500 m sepanjang jalan yang dapat dilalui di seluruh Pulau Weh. Terdapat 204 titik akuisisi data di seluruh Pulau Weh. Beberapa area tidak dapat diakses saat proses akuisisi data dilakukan. Hal ini dikarenakan jalur akses yang terbatas, kawasan hutan dan pegunungan yang terjal serta kawasan militer yang tidak dapat Faktor ini dimasuki. menyebabkan beberapa area mengalami kekosongan data. Interpolasi data secara krigging [24], [25] dilakukan untuk melengkapi informasi.

Akuisisi data intensitas medan magnetik total menggunakan dua buah Proton Precession Magnetometer (PPM) GEM 19 dengan sensitivitas mencapai 0.1 nT [26]. Satu unit instrumen PPM GEM 19 diletakkan di base dan satu unit lagi sebagai instrumen mobile. Data yang diperoleh dari hasil akuisi lapangan kemudian dilakukan koreksi medan magnet utama bumi (IGRF) berdasarkan **Persamaan 1** dan koreksi harian (diurnal) berdasarkan **Persamaan 2**.

$$H_{corr} = H_{rover} - \Delta H_{diurnal}$$
 (1)
 $\Delta T = H_{rover} \pm \Delta H_{diurnal} - H_{IGRF}$ (2)

dengan, H_{corr} merupakan medan magnet terkoreksi, H_{rover} adalah bacaan medan magnet yang terukur di lapangan, $\Delta H_{diurnal}$ adalah nilai koreksi diurnal. ΔT merupakan anomali medan magnet total, H_{rover} yaitu medan magnet terukur di lapangan, $\Delta H_{diurnal}$ yaitu nilai koreksi diurnal.



Gambar 2. (a) anomaly medan magnetic total (b) Residul medan magnetic

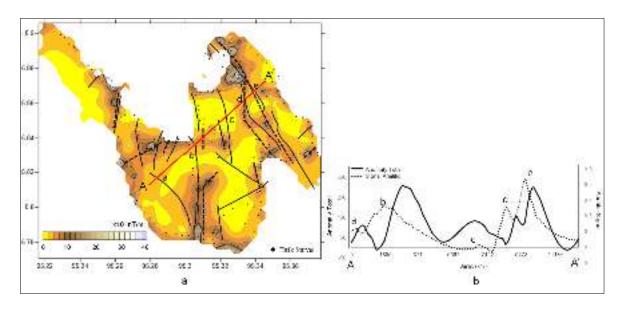
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data intensitas medan magnetik dari pengukuran di Pulau Weh ditampilkan pada Gambar 2a. Melalui proses koreksi data, yang ditampilkan tidak hasil dipengaruhi oleh sumber medan magnetik luar. Berdasarkan pengamatan, mayoritas sebaran nilai di seluruh pulau berada pada interval -100 s/d 450 nT (indikator jinggakekuningan). Sebaran nilai terendah ditemukan disisi timur pada ujung arah tenggara (-600 s/d -200 nT, indikator warna kehijauan). Sedangkan nilai terendah disisi barat pulau juga terletak di ujung barat laut. Sebaran nilai anomali tinggi ditemukan di sisi timur pulau pada arah ujung barat laut hampir menuju ke tenggara pulau di sisi timur (600 s/d 900 nT, indikator kebiruan). Pada sisi barat nilai tertinggi ditemukan bagian tengah pada arah menuju ke selatantenggara.

Intensitas anomali medan magnetik mencirikan sifat kemagnetan dari target yang dicari. Namun, intensitas anomali medan magnetik tersebut masih dipengaruhi oleh faktor lingkungan sekitar, proses pemisahan anomali sekitar harus dilakukan untuk mendapat anomali residual. Intensitas anomali residual dipengaruhi oleh struktur dangkal sedangkan intensitas anomali

residual dipengaruhi oleh struktur yang dangkal [27]. Terdapat banyak pendekatan untuk menyelesaikan hal ini, salah satunya menggunakan pemisahan berdasarkan dengan kuadrat terkecil yang sesuai polynomial orde rendah ke bidang yang diamati [28], [29]. Perhitungan polynomial paling efektif dilakukan dibandingkan beberapa perhitungan lainnya [30]. Hasil perhitungan dari anomali residual dari intensitas magnetik total ditampilkan pada Gambar 2b. Berdasarkan pola sebaran, distribusi peta anomali residual memiliki pola kemiripan dengan peta sebaran intensitas anomali magnetik total.

Meskipun demikian, proses interpretasi data tidak langsung dapat dilakukan. Pada tahapan pengolahan data ini, pola kontur yang dihasilkan mencirikan belum keberadaan benda anomali di daerah penelitian. Peta intensitas anomali total masih bersifat dipole. Keadaan dipole ini menyebabkan sebaran nilai anomali selalu berpasangan, karena kedua berdekatan. Untuk menyelesaikan masalah tersebut, pengolahan data lanjutan harus dilakukan untuk mengubah anomali dipole menjadi monopole, seperti perhitungan transformasi signal analytic salah satunya.



Gambar 3. (a) Distribusi interpretasi medan magnetic total berdasarkan tranformasi analytic signal. Garis hitam solid adalah interpretasi patahan berdasarkan kajian geomorfologi [18]. Garis hitam putus – putus adalah interpretasi patahan berdasarkan signal analytic (b) profil penampang A-A'.

Transformasi signal analytic (As)dilakukan berdasarkan akar kuadrat dari jumlah turunan vertikal - horizontal dan ortogonal medan magnet Transformasi ini menyederhanakan data anomali medan magnetik (T) yang sedikit terpengaruhi keberadaannya pada pengukuran daerah lintang rendah. Perhitungan dari transformasi signal analytic didasarkan pada Persamaan 3.

$$As (x,y) = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2}$$
 (3)

Hasil transformasi pada kajian ini ditampilkan pada **Gambar 3a** dengan kisaran nilai dari *signal analytic* berada pada 0 s/d 360000 nT/m. Pada tahap ini beberapa bagian telah terlihat kontras nilai magnetik dari hasil transformasi, seperti di ujung arah timur laut dan ujung tenggara pada sisi timur Pulau Weh. Kemudian di bagian selatan pada bagian tengah Pulau Weh, serta di tengah dan ke arah barat laut pada sisi barat Pulau Weh. Nilai kontras tersebut diperkirakan menunjukkan target yang dicari. Pada **Gambar 3a**. kontras anomali pada perhitungan *signal analytic*

ditandai sebagai garis hitam putus – putus. Proses pembandingan dengan pemetaan dari kajian sebelumnya juga dilakukan yang ditampilkan pada garis hitam solid. Berdasarkan hasil temuan, terdapat 13 patahan diseluruh pulau. Hasil analisis menunjukkan bahwa distribusi patahan penelitian terdahulu berdasarkan geomorfologi menunjukkan korelasi yang bersesuaiakan penelitian dengan geomagnetik. Meskipun demikian. beberapa tempat juga mengalami kesenjangan informasi dari kedua hasil interpretasi.

Pada salah satu sisi Pulau Weh, diterapakan sayatan yang memotong patahan sehingga menghasilkan profil penampang A-A' sepanjang 12.300 m (Gambar 3b). Pada profil yang ditampilkan pada Gambar 3b menunjukkan hasil anomali medan magnetik dan perhitungan signal analytic. Keberadaan patahan dari hasil perhitungan signal analytic ditandai pada setiap puncak grafik. Hal ini ditandai sebagai a, b, c, d dan e sepanjang profil. Keberadaan patahan pada profil A-A' kesesuaian menunjukkan pada diskontinuitas hasil pada Gambar 3b.

KESIMPULAN

Hasil interpretasi didapatkan sebaran patahan di Pulau Weh sekitar 13 patahan. Secara umum, hasil temuan distribusi patahan pada penelitian ini mengikuti pola sebaran patahan pada kajian terdahulu berdasarkan geomorfologi [18]. Namun, beberapa patahan yang ditampilkan pada kajian geomorfologi tersebut tidak ditemukan pada interpretasi hasil pada penelitian ini. Pada dasarnya penelitian geomorfologi hanya mengkaji keadaan atas permukaan saja, sedangkan kajian geofisika seperti metode magnetik pada kajian ini dapat menganalisis keadaan permukaan.

Orientasi patahan yang didapatkan pada penelitian ini dominan pada arah timur laut — tenggara. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan arah patahan GSF di Pulau Sumatra [1]. Beberapa juga mengemukakan bahwa Pulau Weh merupakan area perpanjangan dari GSF di lepas pantai utara Aceh (misalnya: [17], [18], [32], [33]).

UCAPAN TERIMAKASIH

Para penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada tim penelitian dan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia untuk mendanai penelitian ini melalui hibah penelitian PMDSU

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Sieh and D. Natawidjaja, "Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia," *Journal of Geophysical Research*, vol. 105, no. B12. p. 28295, 2000, doi: 10.1029/2000JB900120.
- [2] J. R. Curray, "Tectonics and history

- of the Andaman Sea region," *J. Asian Earth Sci.*, vol. 25, pp. 187–232, 2005, doi: 10.1016/j.jseaes.2004.09.001.
- [3] J. R. Curray, "Tectonics and history of the Andaman Sea region," *J. Asian Earth Sci.*, vol. 25, no. 1, pp. 187–232, 2005, doi: 10.1016/j.jseaes.2004.09.001.
- [4] D. Ghosal, S. C. Singh, A. P. S. Chauhan, and N. D. Hananto, "New insights on the offshore extension of the Great Sumatran fault, NW Sumatra, from marine geophysical studies," *Geochemistry, Geophys. Geosystems*, vol. 13, no. 1, pp. 1–18, 2012, doi: 10.1029/2012GC004122.
- [5] D. Fernández-Blanco, M. Philippon, and C. von Hagke, "Structure and kinematics of the Sumatran Fault System in North Sumatra (Indonesia)," *Tectonophysics*, vol. 693, no. 2015, pp. 453–464, 2016, doi: 10.1016/j.tecto.2016.04.050.
- [6] S. Dirasutisna and R. Hasan, "Geologi Panas Bumi Sabang, Kota Sabang., Provinsi Aceh, Nanggroe Darussalam," *Pemaparan Has. Kegiat. Survei Panas Bumi*, pp. 1–6, 2005.
- [7] Barber and Crow, "Sumatra: geology, resources and tectonic evolution (references)," *Tectonics*, vol. 21, no. 5, p. 1040, 2005.
- [8] H. Kurnio, I. Syafri, A. Sudradjat, M. F. Rosana, and M. Resources, "Indonesian journal on geoscience," *Indones. J. Geosci.*, vol. 3, no. 3, pp. 173–182, 2016, doi: 10.17014/ijog.3.3.173-183.
- [9] N. Hurukawa, B. R. Wulandari, and M. Kasahara, "Earthquake history of

- the Sumatran fault, Indonesia, since 1892, derived from relocation of large earthquakes," *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 104, no. 4, pp. 1750–1762, 2014, doi: 10.1785/0120130201.
- [10] O. Bellier *et al.*, "Paleoseismicity and seismic hazard along the Great Sumatran fault (Indonesia)," *J. Geodyn.*, vol. 24, no. 1–4, pp. 169–183, 1997, doi: 10.1016/s0264-3707(96)00051-8.
- [11] D. H. Natawidjaja and W. Triyoso, "The Sumatran Fault Zone From Source To Hazard," *J. Earthq. Tsunami*, vol. 01, no. 01, pp. 21–47, 2007, doi: 10.1142/s1793431107000031.
- [12] T. Ito *et al.*, "Isolating along-strike variations in the depth extent of shallow creep and fault locking on the northern Great Sumatran Fault," *J. Geophys. Res. Solid Earth*, vol. 117, no. 6, pp. 1–16, 2012, doi: 10.1029/2011JB008940.
- [13] Badan Pusat Statistik, *Statistik Indonesia 2018*. Badan Pusat Statistik, 2018.
- [14] DISBUDPAR, "Aceh Mulai Dilirik Wisatawan Mancanegara," *Culture and Tourism Office, Aceh Government*, 2018. disbudpar.acehprov.go.id (accessed Mar. 01, 2019).
- [15] Peraturan Presiden RI, *Integrasi* ekonomi terpadu. Indonesia: Republic of Indonesia, 1998.
- [16] Undang Undang RI, *Perdangan dan pelabuhan Sabang*. Indonesia, 2000.
- [17] H. Tsutsumi, Y. Soeda, N. Ismail, B.

- Ali, and T. Tabei, "Tectonic Landform and Paleoseismic Activity of the Northernmost Sumatran Fault, Aceh Province, Indonesia," *J. Geophys. Res. Earth*, 2020, doi: https://doi.org/10.1002/essoar.10504162.2.
- [18] M. Nanda, S. Rizal, F. Abdullah, R. Idroes, and N. Ismail, "Mapping Faults Distribution Based on Dem Data for Regional Spatial Plan Assessment of Sabang Municipality, Indonesia," *Int. J. GEOMATE*, vol. 19, no. 76, pp. 197–204, 2020.
- [19] J. . Reynolds, An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, 2nd ed. UK: Chichester: John Wiley and Sons Ltd, 2011.
- [20] S. E. Scheiber-enslin, "Stephanie E. Scheiber-Enslin Integrated Geophysical Investigation of the Karoo Basin, South Africa," no. August, 2015.
- [21] J. Drolet, B. Giroux, and C. Bouligand, "Estimating the Curie point depth using aeromagnetic data with a fractal model in the Province of Québec, Eastern Canada b," *EGU Gen. Assem.*, no. November, pp. 69–70, 2017.
- [22] O. Menshov, R. Kuderavets, and I. Chobotok, "Magnetic and mineralogy analysis of soils of hydrocarbon prospective areas in Ukraine," 24th Eur. Meet. Environ. Eng. Geophys., no. September, 2018, doi: 10.3997/2214-4609.201802652.
- [23] A. Asyqari, D. Sugiyanto, M. Yanis, F. Abdullah, and N. Ismail, "Mapping of archaeological structure along east-coast of Aceh Besar District, Indonesia based on total magnetic field anomalies," *IOP*

- Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol. 348, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/348/1/012041.
- [24] R. Webster and M. A. Oliver, Statistical Methods in Soil And Land Resource Survey, no. 1. 1990.
- [25] M. L. Stein, *Interpolation of Spatial Data: Some Theory for Kriging*. Chicago, IL 60637: Springer, 2012.
- [26] GEM System, "Instruction Manual GSM 19 v.7.0," Advanced Magnetometers, Canada, 2008.
- [27] Telford, Applied Geophysics. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- [28] Y. Li and D. W. Oldenburg, "3-D inversion of magnetic data," 1993 SEG Annu. Meet., vol. 61, no. 2, pp. 400–402, 1993, doi: 10.1190/1.1822498.
- [29] H. Gabtni and C. Jallouli, "Regional-residual separation of potential field: An example from Tunisia," *J. Appl. Geophys.*, vol. 137, pp. 8–24, 2017, doi: 10.1016/j.jappgeo.2016.12.011.
- [30] A. I. Obasi, A. O. I. Selemo, and J.

- S. Nomeh, "Gravity models as tool for basin boundary demarcation: A case study of Anambra Basin, Southeastern Nigeria," *J. Appl. Geophys.*, vol. 156, pp. 31–43, 2018, doi: 10.1016/j.jappgeo.2017.11.002.
- [31] N. Debeglia and J. Corpel, "Automatic 3-D interpretation of potential field data using analytic signal derivatives," *Geophysics*, vol. 62, no. 1, pp. 87–96, 1997, doi: 10.1190/1.1444149.
- [32] D. Ghosal, S. C. Singh, A. P. S. Chauhan, and N. D. Hananto, "New insights on the offshore extension of the Great Sumatran fault, NW Sumatra, from marine geophysical studies," *Geochemistry, Geophys. Geosystems*, vol. 13, no. 1, pp. 1–18, 2012, doi: 10.1029/2012GC004122.
- [33] S. Awad, S. Araffa, and F. A. Monteiro, "Delineating active faults by using integrated geophysical data at northeastern part of Cairo, Egypt," no. 2012, pp. 33–44, 2013.

Desain Pengendali Fractional Order PID $(PI^{\lambda}D^{\mu})$ Dengan Metode A Modified ZN untuk Pengendalian Level Air pada Pressurized Water Reactor (PWR)

Rissa Damayanti (1,a)*, Abdul Halim (1)*

(1) Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 16424 Email: (a*) rissa.damayanti@ui.ac.id

Diterima (05 Juli 2021), Direvisi (22 Juli 2021)

Abstract. Controller Design A Modified Fractional Order PID (PI $^{\lambda}$) D $^{\mu}$) for Controlling Pressurizer Level in Pressurized Water Reactor (PWR). The water level control system on the pressurizer is carried out to maintain safety when the PWR reactor is operating. This control is carried out by maintaining the water level in the pressurizer at a certain height setpoint. The air level will change according to the conditions of the nuclear reactor, such as when there is a process of filling, heating, cooling, changes in the concentration of boric acid in the primary loop, as well as the possibility of a leak in the main circulation pump or primary pipeline. Various control methods have been developed with the aim of getting a control system with the best response rate and safety system. This study aims to answer the existing problems by using the Fractional Order PID control system and prove that using the control system will give better results than the existing system. In this study, the gain control configuration of FOPID that best fits the design requirements is obtained with a Kp value of 223,764, Ki of 132.404, Kd of 93.98 and 0.0119, of 1.0080, which results in a faster setting time of 285 times and a maximum pass time. (maximum overshoot) 48.6 times lower than the PID Integer controller combined with CMAC in the previous study.

Keywords Pressurizer, PWR, Fractional Order PID (FOPID), Proportional Integral Derivative (PID), A Modified ZN.

Abstrak. Desain Pengendali A Modified Fractional Order PID $(PI^{\lambda}D^{\mu})$ untuk Pengendalian Level Pressurizer pada Pressurized Water Reactor (PWR). Sistem pengendalian level air pada pressurizer ini dilakukan untuk menjaga keselamatan saat reaktor PWR sedang beroperasi. Pengendalian ini dilakukan dengan mempertahankan level air di pressurizer pada setpoint ketinggian tertentu. Ketinggian level air akan berubah sesuai dengan kondisi dari reaktor nuklir seperti bila terjadi proses pengisian, pemanasan, pendinginan, perubahan konsentrasi boric acid dalam kalang primer, serta kemungkinan adanya kebocoran di pompa sirkulasi utama atau jalur pipa primer. Berbagai metode pengendalian telah banyak dikembangkan dengan tujuan untuk mendapatkan sistem pengendalian dengan tingkat respond sistem dan keselamatan paling baik. Penelitian ini bertujuan untuk menjawab permasalah yang ada dengan menggunakan sistem pengendalian Fractional Order PID serta membuktikan bahwa dengan menggunakan sistem pengendali tersebut akan memberikan hasil yang lebih baik dari aplikasi sistem yang sudah ada. Pada penelitian ini diperoleh konfigurasi gain pengendali FOPID yang paling sesuai dengan persyaratan desain dengan nilai Kp sebesar 223.764, Ki sebesar 132.404, Kd sebesar 93.98 dan λ sebesar 0.0119, μ sebesar 1.0080, yang menghasilkan waktu penetapan (settling time) lebih cepat 285 kali dan lewatan maksimum (maximum overshoot) lebih rendah 48.6 kali bila dibandingkan dengan pengendali PID Integer digabung dengan CMAC pada penelitian sebelumnya.

Kata kunci: Pressurizer, PWR, Fractional Order PID (FOPID), Proportional Integral Derivative (PID), A Modified ZN.

PENDAHULUAN

Pressurizer merupakan bagian dari reaktor PWR yang berfungsi menjaga agar tekanan di dalam daur primer pada suatu harga atau set point tertentu. Hal ini dapat terjadi, jika tinggi muka level air (level cairan) konstan. Dengan demikian, bila terjadi perubahan level cairan maka dengan sendirinya terjadi perubahan tekanan pressurizer. Sehingga dibutuhkan sistem pengendalian level air di pressurizer, dimana pengendalian dilakukan dengan mempertahankan level air pressurizer ketinggian pada tertentu. Ketinggian level air tersebut akan berubah seiring dengan perubahan keadaan dari reaktor nuklir karena adanya proses pemanasan, pengisian, pendinginan, serta akibat adanya perubahan dari konsentrasi boric acid dalam kalang primer, kemudian dapat juga akibat adanya kebocoran dari jalur pipa primer atau pompa sirkulasi utama. Tingkatan ketinggian dari level permukaan air yang terlalu rendah dapat membahayakan untuk pemanas secara umum posisinya adalah terendam di dalam tangki, namun sebaliknya bila level dari permukaan airnya terlalu tinggi dapat mengganggu kinerja dari spray flooding nozzle yang berada pada bagian atas tangki, hal ini dapat mengakibatkan tidak validnya sistem pengaturan tekanan yang ada pada pressurizer.

Ditinjau dari metode sistem pengendalian yang telah diterapkan untuk sistem pengendalian level air PWR menggunkan pengendali Proportional (P), Proportional-Integral (PI) serta Proportional-Integral dan Derivative (PID)[1][2]. Metode pengendali PID masih menghasilkan respon yang kurang stabil bila diberikan masukan parameter yang semakin banyak. Hal ini berdampak pada overshoot atau lewatan maksimum dari set point yang ditentukan sangat bergantung pada seberapa jauh ketepatan penentuan parameter Kp, Ki dan Kd[3][4]. Metode lainnya menggunakan aplikasi artificial neural network-radial basis (ANN-RBF) function [5] untuk memperbaiki sekaligus menghaluskan luaran kendali PID, yang selanjutnya di klaim lebih tahan terhadap interferensi.

Penelitian ini bertujuan untuk meniawab permasalah yang ada dengan menggunakan sistem pengendalian Fractional Order PID serta membuktikan dengan menggunakan sistem bahwa pengendali tersebut akan memberikan hasil yang lebih baik dari aplikasi sistem menggunak metode pengendali yang telah ada. Dalam penelitian ini terdapat dua hal yang akan dilakukan. Pertama, penelitian membahas dan menguraikan ini akan lengkap kinerja dari pengontrolan Fractional Order PID untuk berbagai variasi konfigurasi sehingga dapat diperoleh pemahaman yang utuh dari pengendali **FOPID** karakteristik dan diperoleh konfigurasi parameter Fractional Order PID terbaik dalam mengendalikan level permukaan air pressurizer di PWR. Kedua, sistem pengendalian level air pressurizer yang telah didesain pada penelitian sebelumnya akan dibandingkan penelitian dengan hasil dari Pembandingan dilakukan dengan menggunakan parameter berikut : nilai waktu naik (rise time), waktu penetapan (settling time), dan persentase lewatan maksimum (maximum overshoot) yang dihasilkan. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan dampak yang positif tentang pemahaman sistem kendali level air berbasis Fractional Order PID serta dapat diaplikasikan dengan baik.

METODE PENELITIAN

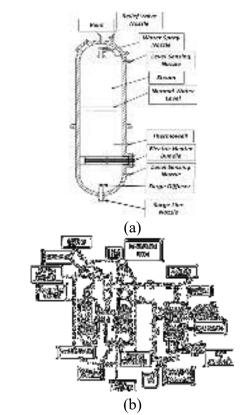
Pada bagian ini akan dijelaskan bagaimana metode-metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya. Pada sistem pembangkit listrik tenaga nuklir jenis Pressurized Water Reactor (PWR), pendinginan sistem menggunakan dengan tekanan tinggi dengan sistem primer memiliki sirkulasi membentuk siklus tertutup. Agar pemindahan panas dari reaktor tidak mendidih dibutuhkanlah tekanan tinggi tersebut. Disinilah fungsi

dari sebuah pressurizer yaitu membuat tekanan dan mennjaga agar tetap tinggi. Sebuah PLTN hanya memiliki satu unit pressurizer. Gambar 1.(a). menunjukkan letak sebuah pressurizer di PWR. blok pressurizer terdapat dua bagian yaitu bagian yang terisi air dan bagian yang berisi uap panas. Saat kondisi steady state, perbandingan air dengan kondisi saturasi berkisar 60%, dengan kondisi uap panas berkisar 40%. Kemudian untuk menjaga uap tersebut stabil tidak terlalu panas terdapat spray pada sistem pressurizer[6]. Selain itu terdapat sistem pemanas cadang yang berfungsi untuk menjaga kestabilan uap bila terjadi penurunan tekanan agar panas yang diteruskan ke steam generator pada keadaan stabil. Dalam hal ini berarti sebuah pressurizer sangat penting untuk mencegah terjadinya overpressure dan untuk menjaga kestabilan panas yang dihasilkan dari teras reaktor agar air pendingin tidak mendidih. Dan sistem pressurizer juga digunakan sebagai sistem keselamatan yaitu untuk penghalang dari terjadinya overpressure yang menyebabkan munculnya lepasan radionuklida kelingkungan sekitar.

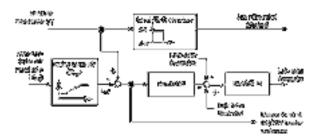
Rincian dari komponen yang menyusun pressurizer terdapat pada Gambar 1(a). Sistem utama pressurizer tersusun dari beberapa komponen antara lain: pressurizer vessel, surge line, electric immersion heaters dan system. spray pressurizer ini dilengkapi dengan beberapa valve/katup vang tidak terlihat pada Gambar 1(a), antara lain: safety valves, isolation valves dan relief valves serta pressurizer relief tank yang berfungsi sebagai sistem kontrol dan utamanya untuk penunjang keamanan sistem dan keselamatan. Pada Gambar 1(b) menunjukkan adanya dua jenis surge line yaitu volume insurge dan volume outsurge, dimana volume insurge adalah kondisi saat air pendingin primer masuk, sedangkan volume outsurge adalah kondisi saat air pendingi keluar primer guna

mengkondisikan temperatur air pendingin pada set point tertentu vang telah ditetapkan akibat adanya perubahan beban. Dengan kata lain perubahan volume akibat perubahan suhu berpengaruh pada kondisi ketinggian permukaan air serta tekanan gas pada pressurizer. Pengendalian ketinggian air pada sistem ini juga relatif sederhana mengintegrasikannya dengan pengaturan sistem pengisian air pendingin di kalang primer melalui ketinggial dari chemical and volume control system (CVCS).

Bila ketinggian air pressurizer menurun melewati set point yang ditetapkan sebelumnya maka akan ditambahkan seiumlah air. dan bila ketinggian air meningkat melebihi set point yang ditetapkan sebelumnya,



Gambar 1. (a) Posisi pressurizer pada rangkaian reaktor nuklir tipe PWR (b) detil konstruksinya[3]



Gambar 2. Sistem pengontrolan level air pada pressurizer (2)

maka akan dibuang sejumlah air dari sistem pendingin. Proses ini ditunjukkan pada Gambar 2. Sistem pengendalian level dilakukan dengan tiga masukan kendali antara lain masukan level air dengan level referensinya, laju pengisian dan laju ekstraksi aliran. Sistem pengendalian dilengkapi juga dengan sistem pengaman bilamana terjadi penurunan level air yang signifikan, maka sistem isolasi akan menutup pressurizer sekaligus mematikan pemanas agar tidak terbakar.

Agar ketinggian air sesuai dengan maka referensinya proses pengisian dilakukan dengan mengubah sudut katup untuk pengisian alirannya. Perubahan dari suhu air rata-rata dari pendingin reaktor sangat berpengaruh pada referensi set point dari level air. Ekspansi volume air akan mengakibatkan ketinggian dari level air hal disebabkan bila suhu rata-rata pendingin naik, dan begitu pula sebaliknya. Dengan demikian, pengontrolan juga dapat dilakukan dengan memanfaatkan ekspansi atau kontraksi dari pendingin primer denan perubahan suhu memantau Sehingga. filosofi pengendalian pada Gambar adalah bagaimana 2 mengendalikan level air dengan mengamati perubahan temperatur rerata dari pendingin sehingga beban kerja **CVCS** reaktor terhadap fluktusi permintaan daya pembangkitan terkurangi.

Untuk memudahkan simulasi pengontrolan level air di pressurizer PWR, beberapa penelitian mengusulkan fungsi transfer untuk memodelkan sebuah pressurizer[7][5]. Fungsi transfer yang

dibuat ini berupa model independen pressurizer di PWR terlepas dari interaksi pengaruh teras reaktor, steam generator dan permintaan beban. Literatur menunjukkan bahwa perilaku pressurizer tersusun dari persamaan kekekalan massa, konservasi energi dan konservasi total volume yang salah satunya ditunjukkan secara sederhana di persamaan (4) [5]. Pada Persamaan 1. ini menunjukkan pemodelan dinamika ketinggian level pressurizer (dz/dt) dengan memperhitungkan beberapa parameter seperti luasan pressurizer (parameter diameter D dalam meter), laju massa aliran pendingin surge line (M1 dalam kg/m3), volume air pressurizer (v1 dalam m3), tekanan pressurizer (p dalam MPa) dan enthalpy air pada surge (h dalam satuan kJ/kg).

$$\frac{dz}{dt} = -\frac{4}{\pi D^2} \left[v_1 \frac{dM_1}{dt} + M_1 \left(\frac{dv_1}{dp} \frac{dp}{dt} + \frac{dv_1}{dh_1} \frac{dh_1}{dt} \right) \right]$$
(1)

Selanjutnya persamaan differensial pressurizer yang terlinierisasi tersebut diatas ditransformasikan kedalam bentuk laplace seperti yang telah diperoleh dari penelitian sebelumnya dapat dilihat pada **Persamaan 2**. [8].

$$H(s) = \frac{10.05}{s^2 + 2s + 10.5} \frac{0.003}{s} \tag{2}$$

Fungsi alih pada persamaan 2 tersebut yang akan digunakan untuk mensimulasikan karakteristik level air di pressurizer, yang kemudian dikendalikan dengan metode pengendali *Fractional Order PID*, seperti yang akan diimplementasikan dalam penelitian ini.

Pengendali PID

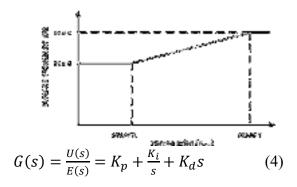
PID (Proporsional, Integral, Derivative) adalah pengendalian dengan parameter P,I dan D dengan model matematika terdiri dari masukan Gain+Integral+Derivative[9]. PID merupakan metode pengendali dengan model matematis yang baik karena error dapat diubah mendekati nol, pengendalian

kestabilan dapat dicapai dengan cara menyamakan nilai dari proses variabel dengan nilai set point. Meskipun PID merupakan metode pengendalian dapat dikatakan unggul, namun ketiga unsur P, I, D yang masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan, dapat berdiri sendiri atau dapat dipasangkan yang akan saling berpengaruh sehingga dapat menghasilkan sinyal keluaran atau respon pengendali terbaik dari sistem dikendalikan[10].

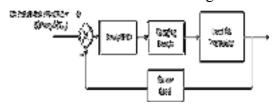
Definisi *PID*(t) sebagai hasil kendali output, sedangkan sebagai standar algoritma *PID* ditunjukkan pada **Persamaan 3**.:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

(3) dimana e(t) merupakan sinyal input dan u(t) merupakan sinyal output. Berdasarkan **Persamaan 3.**, maka fungsi transfer pengendali PID pada **Persamaan 4.**:



Gambar 3. Diagram Pengendalian Pressurizer dengan *PID*



Gambar 4. Contoh set point level pressurizer sebagai fungsi suhu rata-rata pendingin primer di PWR.

Tuning PID

A Modified Ziegler-Nichols Methode. Dua metode tuning classic untuk PI/PID controller diusulkan oleh Ziegler dan Nichols (Ziegler dan Nichols, 1943). Dalam Astrom dan Hagglund (1988), metode frekuensi domain Ziegler-Nichols untuk parameter pengendalian, memperoleh dimana critical point dapat didefinisikan sebagai titik dimana kurva Nyquist berpotongan dengan sumbu riil negatif, dan dipindahkan ke tertentu. Secara umum yang menggabungkan metode tuning classic ZN metode frekuensi domain dirumuskan dan dinamai oleh Astrom dan Hagglund (1988) sebagai metode A Modified Ziegler-Nichols (MZN)[11].Hal ini secara singkat digambarkan sebagai berikut:

Diberikan titik A pada kurva Nyquist dari proses (s): $G(j\omega_0) = r_a e^{j(\pi+\phi_a)}$, Misalkan titik A akan dipindahkan ke A1 yang diwakili oleh $G_1(j\omega_0) = r_b e^{j(\pi+\phi_b)}$, Diasumsikan bahwa pengontrol PID pada frekuensi ω_0 adalah $G_c(s) = r_c e^{j\phi_c}$. Kemudian dapat ditentukan pada **Persamaan 5**., berikut :

$$r_b e^{j(\pi + \phi_b)} = r_a r_c e^{j(\pi + \phi_a + \phi_c)}$$
 (5)

Sehingga, $r_c = r_b/r_a$ dan $\phi_c = \phi_b - \phi_a$. Jadi, berdasarkan analisis di atas, pengendali *PI* dan *PID* dapat dirancang sebagai berikut:

• Pengendali *PI A Modified ZN*Sistem pengendali *PI* dapat dirancang dengan menggunakan **Persamaan 6**. dan **7**., berikut :

$$K_p = \frac{r_b \cos(\phi_b - \phi_a)}{r_a}$$

$$T_I = \frac{\binom{6}{1}}{\frac{1}{\omega_0 \tan(\phi_b - \phi_a)}}$$

$$\binom{7}{1}$$

Dengan catatan bahwa $\phi_a > \phi_b$ untuk T_I bernilai positif. Untuk kondisi khusus, desain algoritma Ziegler-Nichols untuk pengendali PI dapat dirancang

menggunakan Persamaan 8. dan 9.

$$K_p = K_c r_b \cos \phi_b \tag{8}$$

$$K_p = K_c r_b \cos \phi_b$$
 (8)

$$T_i = -\frac{T_c}{2\pi \tan \phi_b}$$
 (9)

Dan dimana:

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_c}$$
; $r_a = \frac{1}{K_c}$; $dan \, \phi_a = 0$

• Pengendali *PID A Modified ZN*

Sistem pengendali PID dapat dirancang menggunakan Persamaan 10. dan 11., berikut:

$$K_p = \frac{r_b \cos(\phi_b - \phi_a)}{r_a} \tag{10}$$

$$\omega_0 T_d = \tan(\phi_b - \phi_a) \tag{11}$$

Sebagai catatan bahwa gain K_n yang diperoleh pengendali Persamaan 6. dan 7. adalah unik, tapi nilai T_i dan T_d tidak unik. Kondisi tambahan sehingga harus diperkenalkan menentukan dua parameter terakhir ini secara unik. Metode yang umum untuk menentukan hubungan antara Ti dan TD terdapat pada Persamaan 12. dan 13., berikut:

$$T_i = \frac{1}{2\alpha\omega_0} \left(\tan(\phi_b - \phi_a) + \sqrt{4\alpha + \tan^2(\phi_b - \phi_a)} \right)$$
 (12)

$$T_d = \alpha T_i \tag{13}$$

Dimana nilai α yang direkomendasikan (Astrom dan Hagglund, 1991) adalah sebesar 1/4.

Persamaan tuning Ziegler – Nichols ditulis dapat ulang pada Persamaan 14., 15. dan 16., berikut:

$$K_p = K_c r_b cos \phi_b \tag{14}$$

$$T_i = \frac{T_c}{\pi} \left(\frac{1 + \sin \phi_b}{\cos \phi_b} \right) \tag{15}$$

$$T_d = \frac{T_c}{4\pi} \left(\frac{1 + \sin\phi_b}{\cos\phi_b} \right) \tag{16}$$

$$r_a = \frac{1}{K_c}$$
, $\phi_a = 0 \ dan \ \alpha = 1/4$

Terlihat bahwa pengendali PI dan PID dapat dirancang dengan pilihan r_b dan ϕ_b yang sesuai. Kemudian yg mempengaruhi desain pengendali adalah pemilihan nilai yang cocok untuk dua parameter ini untuk memberikan kinerja yang sesuai, dan selanjutnya metode tuning pengendali PI atau PID ini disebut "A Modified Tuning Ziegler – Nichols"

Fractional Calculus

Operator differintegral dinotasikan $_{a}^{t}D^{\alpha}$ merupakan kombinasi operator differential-integral yang digunakan pada calculus. Operator fractional menggabungkan fractional derivative dan fractional integral menjadi satu ekspresi dan didefinisikan pada Persamaan 17., berikut [11]:

$$_{a}D_{t}^{\alpha} = \begin{cases} \frac{d^{\alpha}}{dt^{\alpha}} & , Re \ \alpha > 0\\ 1 & , Re \ \alpha = 0\\ \int_{\alpha}^{t} (d\tau)^{-\alpha} & , Re \ \alpha < 0 \end{cases}$$

$$(17)$$

dimana $\alpha \in \mathbb{C}$ merupakan fractional order dan a, t merupakan batas operasi. Terdapat beberapa definisi untuk fractional derivative, diantaranya adalah definisi Caputo yang ada pada Persamaan 18., berikut:

$${}_{a}D_{t}^{\alpha}f(t) = \frac{1}{\Gamma(m-\alpha)} \int_{0}^{t} \frac{f^{(m)}(\tau)}{(t-\tau)^{\alpha-m+1}},$$

$$(18) \qquad m-1 < \alpha < m$$

dengan *m* merupakan integer pertama yang lebih besar dari α. Transformasi Laplace dari **Persamaan 6.** diuraikan pada Persamaan 19., berikut:

$$\mathcal{L}\{ {}_{0}D_{t}^{\alpha}f(t)\} = s^{\alpha}F(s) - \sum_{k=0}^{n-1}s^{\alpha-k-1}f^{(k)}(0), \qquad (19)$$
$$n-1 < \alpha \le n$$

dengan $n \in \mathbb{N}$. Untuk kondisi awal sistem nol, Persamaan 7. menjadi bentuk pada Persamaan 20., berikut:

$$\mathcal{L}\{ {}_{0}D_{t}^{\alpha}f(t)\} = s^{\alpha}F(s) \tag{20}$$

Tuning Fractional Order PID

Pada tahun 1999 dikembangkan suatu modifikasi dari Pengendali PID dengan menambahkan dua parameter baru yaitu λ mana masing-masing dan μ, yang merupakan order integral dan derivative. Pengendali tersebut dinamakan Pengendali Fractional Order PID $(PI^{\lambda}D^{\mu})$, yang perpaduan merupakan mana antara pengendali PID dan konsep fractional calculus. Bentuk model matematika dari Pengendali Fractional Order PID[12][13] terdapat pada Persamaan 21.:

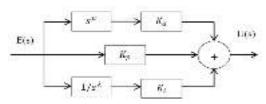
$$u(t) = K_n e(t) + K_i D^{-\lambda} e(t) + K_d D^{\mu} e(t)$$
 (21)

dimana D^{α} merupakan operator differintegral dengan order α sehingga berdasarkan **Persamaan 9.** diperoleh fungsi transfer Pengendali *Fractional Order PID* pada **Persamaan 22.** :

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{F(s)} = K_p + \frac{K_i}{s^{\lambda}} + K_d s^{\mu}, (\lambda, \mu > 0)$$
 (22)

Pada Pengendali PID terdapat tiga parameter yaitu Kp, Ki dan Kd sedangkan untuk Pengendali FOPID memiliki dua parameter lebih yaitu λ dan μ . Proses tuning parameter kontrol menggunakan metode A Modified Ziegler-Nichols, untuk mendapatkan nilai parameter terbaik dan yang tepat digunakan pada proses ini.

Kemudian untuk melakukan *tuning* pada parameter Orde Fraksi (λ dan μ) memggunakan penyelesain dengan persamaan berikut ini, dimisalkan ϕ_{pm} merupakan *phase margin* yang diinginkan dan ω_{cp} adalah frekuensi titik kritis pada kurva Nyquist dari G(s) yang dimana



Gambar 5. Diagram blok Pengendali Fractional Order PID $(PI^{\lambda}D^{\mu})$

 $\arg(G(j\omega_{cp})) = -180^{\circ}$ dan gain margin didefinisikan pada **Persamaan 23.**, berikut :

$$g_m = \frac{1}{|G(j\omega_{cp})|} = k_c \tag{23}$$

Kemudian untuk membuat *phase margin* sistem sama dengan ϕ_{pm} dan $|C(j\omega_{cp})G(j\omega_{cp})| = 1$, menjadi **Persamaan 24.**:

$$C(j\omega_{cp}) = \frac{1}{|G(j\omega_{cp})|} e^{j\phi_{pm}} = k_c \cos\phi_{pm} + jk_c \sin\phi_{pm}$$
(24)

Kemudian, $C(j\omega_{cp})$ dengan **Persamaan 22**. Dan **24.**[14] dapat dituliskan menjadi **Persamaan 25**. :

$$C(j\omega_{cp}) = k_p + k_i \omega_{cp}^{-\lambda} \cos\left(\frac{pi}{2}\lambda\right) + k_d \omega_{cp}^{\mu} \cos\left(\frac{pi}{2}\mu\right) + j\left[-k_i \omega_{cp}^{-\lambda} \sin\left(\frac{pi}{2}\lambda\right) + k_d \omega_{cp}^{\mu} \sin\left(\frac{pi}{2}\mu\right)\right]$$
(25)

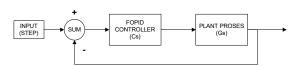
Mengacu pada **Persamaan 24.** dan **25.**, didapatkan solusi atau penyelesaian numeric untuk λ dan μ dapat diperoleh dengan menggunakan **Persamaan 26.** dan **27.** :

$$f_{1}(\lambda,\mu) = k_{p} + k_{i}\omega_{cp}^{-\lambda}\cos\left(\frac{pi}{2}\lambda\right) + k_{d}\omega_{cp}^{\mu}\cos\left(\frac{pi}{2}\mu\right) - k_{c}(\cos\phi_{pm}) = 0$$

$$(26)$$

Dan,

$$f_2(\lambda, \mu) = -k_i \omega_{cp}^{-\lambda} \sin\left(\frac{pi}{2}\lambda\right) + k_d \omega_{cp}^{\mu} \sin\left(\frac{pi}{2}\mu\right) - k_c \left(\sin\phi_{pm}\right) = 0$$
 (27)



Gambar 6. Blok diagram sistem kendali *FOPID* sistem pengendalian level air pressurizer PWR

Desain dan simulasi pengendalian ini diawali dengan melakukan proses tuning parameter Pengendali PID yaitu Kp, Ki dan simulasi pengendalian Kd dilakukan terhadap sistem sehingga diperoleh respon sistem dengan Pengendali PID. Tuning dilakukann dengan metode A Modified Ziegler-Nichols. Selanjutnya, performansi Pengendali PID terhadap sistem diperbaiki menggunakan Pengendali Fractional Order PID yaitu dengan menambahkan dua parameter yaitu λ dan μ . Tuning Parameter fractional tersebut dilakukan menggunakan Persamaan 14. dan 15. tersebut diatas. Simulasi yang dilakukan mencakup kondisi pengendalian menggunakan PIDFractional Order PID. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dilakukan analisa untuk menentukan pengendali yang paling baik diantara beberapa desain pengendali yang telah dibuat tersebut untuk diterapkan pada sistem. Perancangan Sistem Kendali Fractional Order PID Pada Sistem Pengendalian Level Pressurizer PWR dapat dilihat pada **Gambar 6** diatas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

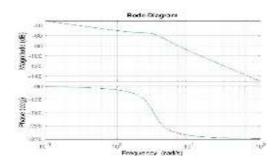
Pada bagian ini akan diuraikan hasil dari desain sistem pengendalian level pressurizer PWR dengan pengendali *PID* dan *Fractional Order PID* serta analisis perfomasi hasil sistem pengendaliannya. Fungsi alih dari Model plant yang digunakan terdapat pada persamaan 2 tersebut diatas. Parameter desain yang digunakan adalah sebagai berikut:

Settling time / waktu penetapan maksimum : $\leq 300 \text{ detik}[15]$

Maximum Overshoot/Lewatan Maksimum : < 20% [15]

Dengan menggunakan model matematis dari sistem level pressurizer PWR dengan fungsi alih laplace tersebut diatas, kemudian melakukan analisis. Analisis model plant dalam frekuensi domain, diperoleh hasil pada Bode Plot pada Gambar 7 tersebut.

Analisis Kestabilan Sistem



Gambar 7. Bode Plot plant tanpa pengendali

Dari bode plot yang ditunjukkan pada Gambar 7 diatas diperoleh nilai gain margin sebesar 56,9 dB dan phase margin sebesar 90 deg. Dapat diketahui bahwa sistem tersebut adalah sistem stabil kritis, sehingga diperlukan sebuah sistem pengendali yang dapat membuat sistem tersebut memilik kestabilan yang baik.

Rancangan Pengendali

Pengendali PID

Perancangan pengendali *PID* dilakukan penggunakan metode *A Modified Tuning Ziegler – Nichols*. Parameter kondisi yang digunakan untuk melakukan *tuning* dari bode plot pada **Gambar 7** diatas serta dilakukan perhitungan untuk beberapa parameter lain yaitu:

$$r_b = 0.5$$
; $\alpha = 0.25$
 $\phi_b = 40^{\circ} - 70^{\circ}$

Sehingga diperoleh:

$$r_a = \frac{1}{K_c} = 0.000144$$
 $T_c = \frac{2\pi}{\omega_g} = 1.934$

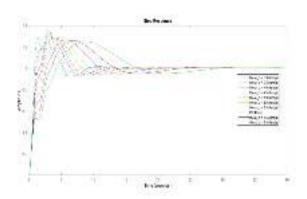
Selanjutnya dengan menggunakan **Persamaan 14**, **15** dan **16**. dilakukan perhitungan tuning parameter pengendali *PID*. Hasil tuning tersebut dapat dilihat pada tabel 1 serta respon transiennya dapat dilihat pada **Tabel 1** dan **Gambar 8** berikut ini:

Tabel 1. Hasil respon pengendali *PID* dengan variasi nilai $\phi_b = 30^\circ - 70^\circ$

ϕ_b	$K_p(P)$	$K_i(I)$	$K_d(D)$	Rise Time (detik)	Maks. Overshoot (%)	Settling Time (detik)
30°	301.38	284.32	78.36	0.74	35.66	8.62
35°	285.06	241.58	70.06	0.89	32.42	10.46
40°	266.57	201.94	87.97	0.89	32.4	10.4
45°	246.04	166.24	91.03	1.14	29.06	11.63
50°	223.76	132.40	93.98	1.66	28.38	0.91
55°	199.40	102.26	95.71	1.9	27.96	15
60°	174	75.98	99.18	2.13	26.46	17.53
65°	147.07	53.09	101.5	2.47	25.94	21.08
70°	119.02	34.10	103.5	3.38	25.29	26.43

Pengendali FOPID

Kemudian melakukan *tuning* untuk parameter λ dan μ . *Tuning* parameter λ dan μ menggunakan **Persamaan 26.** dan **27.**, sehingga diperoleh hasil seperti pada **Tabel 2.** :

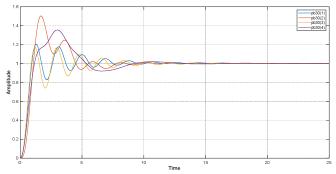


Gambar 8. Respon Transient Pengendali

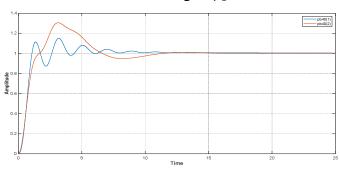
PID Metode A Modified Tuning Ziegler – Nichols dengan variasi nilai $\phi_b = 30^{\circ} - 70^{\circ}$

Tabel 2. Hasil respon sistem G(s) dengan pengendali FOPI menggunakan rentang nilai Phase Margin 50° -70°, dan variasi nilai $\lambda \leq 1$

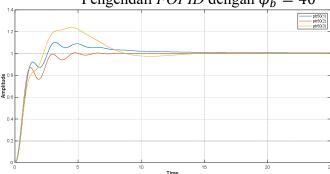
ϕ_b	$K_p(P)$	$K_i(I)$	$K_d(D)$	Lamda (λ)	Miu (μ)	Rise Time (detik)	Maks. Overshoot (%)	Settling Time (detik)
				0.2545	0.9510	0.58	19.88	102.11
200	201 277	204.22	78.36	1.0122	0.0350	0.6	50.76	24.66
30°	301.377	284.32		0.0248	1.0009	0.56	17.06	23.47
				1.0022	1.0093	0.73	36.3	24.66
40°	266.568	201.94	87.97	0.3694	0.9370	0.66	12.93	118.27
40	200.308	201.94	87.97	0.9629	1.0147	0.89	30.92	20.73
		54 132.404	93.98	0.5052	0.7994	0.92	10.55	119.75
50°	223.764			0.0119	1.0080	2.21	0.50	12.51
				0.9076	1.0123	1.65	24.37	30.36
		174 75.98	99.18	0.7751	0.5924	Tidak	Tidak	Tidak
						mencapai	mencapai	mencapai
60°	174					setpoint	setpoint	setpoint
				0.0001	1.0122	3.44	0.5	14.97
				0.7680	1.0122	2.19	15.69	76.95
	119.023	9.023 34.10	103.55	0.9774	0.3141	2.45	14.37	42.74
70°				0.0002	1.0121	5.48	0.50	24.98
				0.6286	1.0120	2.68	19.76	143.36



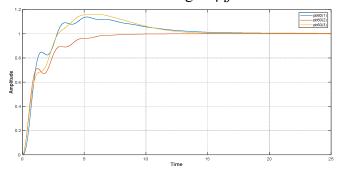
Gambar 9. Respon Transient Pengendali *FOPID* dengan $\phi_b = 30^\circ$



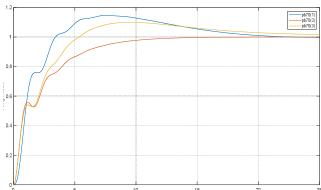
Gambar 10. Respon Transient Pengendali *FOPID* dengan $\phi_b = 40^\circ$



Gambar 11. Respon Transient Pengendali FOPID dengan $\phi_b = 50^\circ$



Gambar 12. Respon Transient Pengendali *FOPID* dengan $\phi_b = 60^\circ$

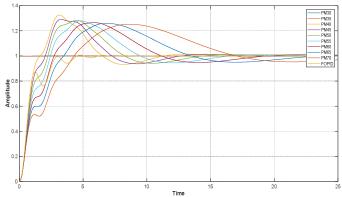


Gambar 13. Respon Transient Pengendali *FOPID* dengan $\phi_b = 70^\circ$

Dari hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2., diperoleh respon transient terbaik yaitu dengan nilai Kp sebesar 223.764, Ki sebesar 132.404, Kd sebesar 93.98 dan λ sebesar 0.0119, μ sebesar 1.0080 dimana subsistem ketinggian air dalam pressurizer PWR mampu mencapai kestabilan pada set point level (ternormalisasi) 0.6% dengan waktu penetapan (settling time) sebesar 12.51 detik dan dengan lewatan maksimum (maximum overshoot) sebesar 0.5%. Dan dari hasil simulasi tersebut memiliki respon transien dengan waktu penetapan (settling time) dan lewatan maksimum (maximum overshoot) sesuai atau masih berada dalam batasan desain yang ditetapkan. Dengan demikian mengacu pada Persamaan 22. maka diperoleh fungsi alih dari Pengendali Fractional Order PID untuk subsistem pengendalian level air dalam pressurizer PWR adalah sebagai berikut:

$$C_{FOPID}(s) = 223.764 + \frac{132.404}{s^{0.0119}} + 93.98s^{1.008}$$
(28)

Hasil respon transien sistem dengan pengendali *PID Integer/Classic* bila diperbandingkan dengan sistem menggunakan pengendali *FOPID* dapat dilihat pada grafik berikut ini :

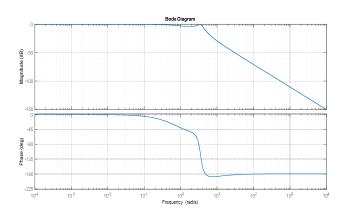


Gambar 14. Perbandingan respon sistem G(s) dengan pengendali PID dan FOPID

Dari hasil simulasi dapat diketahui respon pengendali Fractional Order PID memiliki waktu penetapan (settling time) yang lebih cepat dibandingkan dengan pengendali PID Integer yang dapat dilihat pada **Tabel** 1., sedangkan dibandingkan dengan pengendali PI pada penelitian sebelumnya[15] yang memiliki waktu penetapan (settling time) sebesar 12.2 detik dan dengan lewatan maksimum overshoot) sebesar (maximum 22.2% ataupun PID Integer digabung dengan CMAC pada penelitian sebelumnya[8] memiliki waktu penetapan (settling time) sebesar 3570 detik dan dengan lewatan maksimum (maximum overshoot) sebesar 24.3%. Nilai parameter dari PID Integer digabung dengan CMAC ini tidak dapat bila dibandingkan diterima dengan beberapa syarat dari pressurizer pada PWR, yang salah satunya adalah waktu penetapan maksimum (settling time) tidak lebih dari 300 detik.

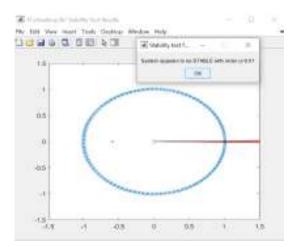
Analisis kestabilan sistem *G(s)* yang telah diberikan pengendali *FOPID*

Selanjutnya dilakukan analisis kestabilan untuk sistem yang telah diberikan pengendali *FOPID* sesuai dengan **Persamaan 28.** menggunakan bode plot diagram berikut ini :



Gambar 15. Bode plot sistem G(s) dengan pengendali FOPID

Dari bode plot pada **Gambar 15.** tersebut diperoleh nilai Gain Margin (Gm) sebesar 3.39 dB, nilai Phase Margin (Pm) 57.76°. Dengan demikian hasil plot analisis menunjukkan bahwa sistem yang diberikan pengendali *FOPID* mencapai kondisi stabil, karena kedua margin bernilai positif atau lebih besar dari 0 (nol). Kemudian untuk memverifikasi hasil tersebut dilakukan pengecekan kestabilan menggunakan fomcon toolbox, yang diperoleh hasil dibawah ini.



Gambar 16. Tes kestabilan sistem $\phi_b = 50^\circ$, $\lambda = 0.0119$, $\mu = 1.008$

Sistem tersebut stabil, dengan parameter : K = 1; q = 0.01; $err = 1.7195x10^{-8}$

KESIMPULAN

telah Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disipulkan bahwa bila Fractional Order PID diaplikasikan secara nyata untuk pengendalian level pressurizer PWR, maka metode ini sangat mampu untuk mengendalikan proses pengendalian level air pada pressurizer PWR sesuai dengan salah satu persyaratan dimana waktu penetapan maksimum (settling time) tidak lebih dari 300 detik. Konfigurasi gain pengendali FOPID yang paling sesuai dengan persyaratan tersebut adalah dengan nilai Kp sebesar 223.764, Ki sebesar 132.404, Kd sebesar 93.98 dan λ sebesar 0.0119, μ sebesar 1.0080, yang menghasilkan waktu penetapan (settling time) lebih cepat 285 kali dan lewatan maksimum (maximum overshoot) lebih rendah 48.6 kali bila dibandingkan dengan pengendali PID Integer digabung dengan CMAC pada penelitian sebelumnya [8].

UCAPAN TERIMA KASIH

Beasiswa Saintek Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Riset dan Inovasi Nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. V. De Oliveira and J. C. S. De Almeida, "Application of artificial intelligence techniques in modeling and control of a nuclear power plant pressurizer system," *Prog. Nucl. Energy*, vol. 63, pp. 71–85, 2013, doi: 10.1016/j.pnucene.2012.11.005.
- [2] Y. C. Wang, S. J. Wang, C. S. Chien, and S. C. Chiangb, "Analysis of pressurizer level control system using MAAP4 code," *Nucl. Eng.*

- Des., vol. 240, no. 1, pp. 160–165, 2010, doi: 10.1016/j.nucengdes.2009.10.001.
- [3] R. Maerani and S. Bakhri, "Perbandingan Sistem Pengontrolan Pid Konvensional Dengan Pengontrolan Cmac, Fuzzy Logic Dan Ann Pada Water Level," *Sigma Epsil.*, vol. 17, no. 3, pp. 129–141, 2013.
- [4] Y. Oka and K. Suzuki, An Advanced Course in Nuclear Engineering Series Editor: Mitsuru Uesaka Nuclear Reactor Kinetics and Plant Control. 2013.
- [5] G. D. Zhang, X. H. Yang, X. L. Ye, H. Xu, D. Q. Lu, and W. Chen, "Research on pressurizer water level control of pressurized water reactor nuclear power station," *Energy Procedia*, vol. 16, no. PART B, pp. 849–855, 2012, doi: 10.1016/j.egypro.2012.01.136.
- [6] S. Dibyo, "Studi Karakteristik Pressurizer Pada Pwr," *Pros. PPI PDIPTN*, pp. 179–185, 2007.
- [7] W. Zhou and X. Zhang, "The preliminary research of pressure control system danymic simulation for Ap1000 pressurizer based on parameter adaptive fuzzy pid control algorithm," *Lect. Notes Electr. Eng.*, vol. 98 LNEE, no. VOL. 2, pp. 583–591, 2011, doi: 10.1007/978-3-642-21765-4 71.
- [8] J. Yi, J. Ye, Y. Xue, X. Yang, and H. Qian, "Research on pressurizer water level control of nuclear reactor based on CMAC and PID controller," 2009 Int. Conf. Artif. Intell. Comput. Intell. AICI 2009, vol. 3, pp. 8–11, 2009, doi: 10.1109/AICI.2009.209.
- [9] M. Ali, "Pembelajaran Perancangan

- Sistem Kontrol Pid Dengan Software Matlab," *J. Edukasi Elektro*, vol. 1, no. 1, p. 2, 2004.
- [10] Katsuhiko Ogata, *Modern Control Engineering*, Fifth. New Jersey: Prentice Hall, 2010.
- [11] D. Xue, Y. Chen, and D. Atherton, Linear Feedback Control, Analysis and design with MATLAB - Advances in Design and Control. 2007.
- [12] V. Shekher, P. Rai, and O. Prakash, "Tuning and Analysis of Fractional Order PID Controller," *Int. J. Electron. Electr. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 11–21, 2012.
- [13] A. A. Dastjerdi, N. Saikumar, and S. H. HosseinNia, "Tuning guidelines for fractional order PID controllers: Rules of thumb," *Mechatronics*, vol.

- 56, no. May, pp. 26–36, 2018, doi: 10.1016/j.mechatronics.2018.10.004.
- [14] D. Valério and J. S. Da Costa, "Tuning-rules for fractional PID controllers," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 2, no. PART 1, pp. 28–33, 2006, doi: 10.3182/20060719-3-pt-4902.00004.
- [15] S. Bakhri, "Hasil validasi dari konfigurasi ini juga terbukti stabil, mampu mengatasi gangguan selama 10 detik dengan puncak maksimum level 0,005%, dan mampu mengikuti perubahan," *Investig. Pengendali. Lev. Permukaan Air Press. Di Pwr Berbas. Kendali Proportional Integr.*, pp. 149–159, 2014.

Rissa Damayanti : Desain Pengendali Fractional Order PID $(PI^{\lambda}D^{\mu})$ Dengan Metode A Modified ZN untuk Pengendalian Level Air pada Pressurized Water Reactor (PWR)

SEKRETARIAT



Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung

JI Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145 Telp. 0721-701609 ext. 719 Fax. 0721-704625

Website: fisika.fmipa.unila.ac.id

 ${\it http://jurnal.fmipa.unila.ac.id/jtaf/}$

