

JMEI

Jurnal

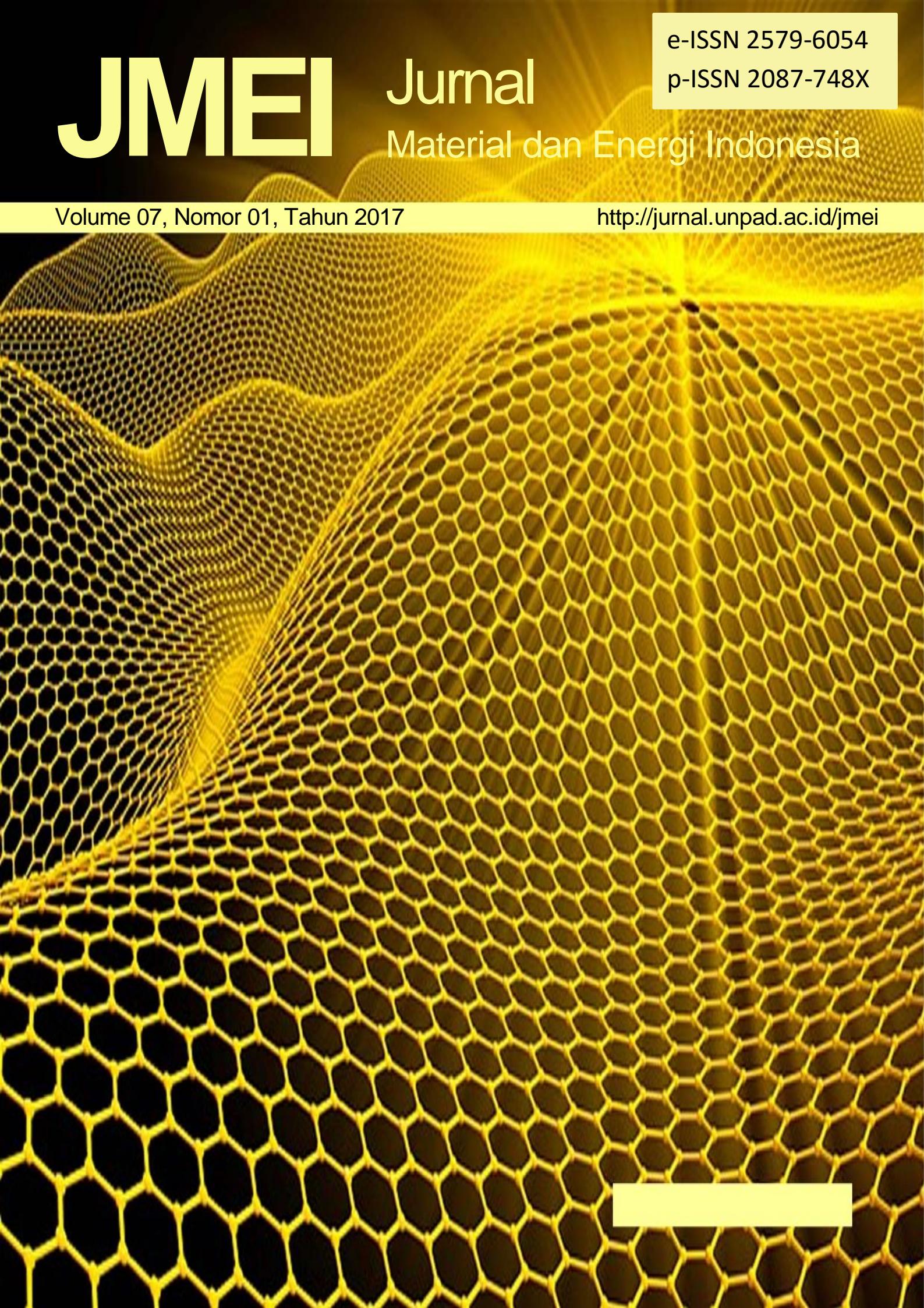
Material dan Energi Indonesia

e-ISSN 2579-6054

p-ISSN 2087-748X

Volume 07, Nomor 01, Tahun 2017

<http://jurnal.unpad.ac.id/jmei>



Kata Pengantar

Dalam penerbitan ini, Jurnal Material dan Energi Indonesia (JMEI) Volume 07 Nomor 01 tahun 2017 menyajikan delapan buah artikel yang mengupas hasil penelitian eksperimen bidang material dan energi. Materi yang dimuat di dalam terbitan ini membahas mengenai pengembangan sensor kapasitif pelat silinder untuk mengukur tingkat kelembaban gabah padi, pengaruh suhu dalam proses transesterifikasi pada pembuatan biodiesel kemiri sunan (*Reautealis trisperma*), struktur dan morfologi nano komposit campuran zeolit abu sekam padi, kajian nikel laterit dengan metode *electrical resistivity tomography* di daerah batu putih Kolaka utara Sulawesi Tenggara, Pengaruh penambahan TiO_2 terhadap konduktivitas lembaran polimer elektrolit untuk aplikasi baterai lithium, kajian potensi *Silica Scaling* pada pipa produksi pembangkit listrik tenaga panas bumi (*Geothermal*), analisa sifat adsorpsi logam berat pada eceng gondok dalam pengelolaan air limbah elektroplating, pengaruh konsentrasi cerium dalam Poli(TMSPMA) terhadap karakteristik impedansinya pada permukaan baja karbon.

Redaksi mengucapkan terima kasih kepada kontributor JMEI Volume 07 Nomor 01 Tahun 2017. Semoga artikel-artikel yang terbit pada edisi ini bermanfaat bagi pembaca dan perkembangan penelitian bidang material dan energi di Indonesia.

Dewan Redaksi

e-ISSN 2579-6054

p-ISSN 2087-748X

JMEI Jurnal Material dan Energi Indonesia

Volume 07, Nomor 01 Juni 2017

Penanggung Jawab

Ketua Departemen Fisika FMIPA Unpad

Ketua Editor:

Ayi Bahtiar, Prodi Fisika FMIPA Unpad

Editor Pelaksana:

Annisa Aprilia, Prodi Fisika FMIPA Unpad

Editor:

Sahrul Hidayat, Unpad

Risdiana, Unpad

Rahmat Hidayat, ITB

Fitriawati, Unpad

Lusi Safriani, Unpad

Camelia Panatarani, Unpad

I Made Joni, Unpad

Jurnal Material dan Energi Indonesia (JMEI) merupakan jurnal ilmiah yang memuat hasil-hasil penelitian yang mencakup kajian teoretik, simulasi dan modeling, eksperimen, rekayasa dan eksplorasi dalam bidang Material dan Energi. Jurnal ini terbit secara berkala sebanyak dua kali dalam setahun (Juni dan Desember). Redaksi menerima naskah ilmiah hasil penelitian, pikiran dan pandangan, review, komunikasi singkat dalam bidang material dan energi. Petunjuk penulisan artikel tersedia di dalam setiap terbitan dan secara online. Artikel yang masuk akan melalui proses seleksi mitra bestari dan disetujui oleh dewan editor.

Biaya Penerbitan: Rp. 300.000 per artikel

Harga langganan (termasuk ongkos kirim per eksemplar)

Untuk Pemesanan atas nama	Pulau Jawa	Luar Jawa
Lembaga	Rp. 75.000,-	Rp. 85.000,-
Perorangan	Rp. 55.000,-	Rp. 60.000,-

Penerbit: Departemen Fisika FMIPA Unpad

Terbit pertama kali: 2011

Terbit dua kali setahun (Juni, Desember)

Alamat Editor:

Sekretariat Jurnal Material dan Energi Indonesia (JMEI)

Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Padjadjaran
Jalan Raya Jatinangor Sumedang 45363

Telepon: 022 779 2435

Alamat e-mail jurnal: jmei@phys.unpad.ac.id

Website: <http://jurnal.unpad.ac.id/jmei>

JMEI

Jurnal Material dan Energi Indonesia

Volume 07, Nomor 01 Juni 2017

Daftar Isi

Hal

Pengembangan Sensor Kapasitif Pelat Silinder untuk Mengukur Tingkat Kelembaban Gabah Padi

1-8

Lazuardi Umar, Rahmondia N. Setiadi, Yanuar Hamzah, Usman Malik

Pengaruh Suhu dalam Proses Transesterifikasi Pada Pembuatan Biodiesel Kemiri Sunan (*Reautealis trisperma*)

9-18

Asri Widyasanti, Sarifah Nurjanah, Tubagus Muhammad Gilang Sinatria

Struktur dan Morfologi Nano Komposit Campuran Zeolit Abu Sekam Padi

19-24

Eva Marlina Ginting, Nurdin Bukit, M.Affan Siregar, Erna Frida

Kajian Nikel Laterit dengan Metode *Electrical Resistivity Tomography* di Daerah Batu Putih, Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara

25-31

Budy Santoso, Bambang Wijatmoko, Eddy Supriyana

Pengaruh Penambahan TiO₂ Terhadap Konduktivitas Lembaran Polimer Elektrolit Untuk Aplikasi Baterai Lithium

32-38

Titik Lestariningsih, Qolby Sabrina, Nurhalis Majid

Kajian Potensi Silica Scaling Pada Pipa Produksi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (*Geothermal*)

39-43

Moch. Aril Indra Permana, Naufal Nandaliarasyad, Ahmad Qosam Amrul Haq, Mutiara Nawansari, Cukup Mulyana

Analisa Sifat Adsorpsi Logam Berat Pada Eceng Gondok Dalam Pengelolaan Air Limbah Elektroplating

44-48

Sarah Mustari, Sri Suryaningsih, Mariah Kartawidjaja

Pengaruh Konsentrasi Cerium dalam Poli(TMSPMA) Terhadap Karakteristik Impedansinya Pada Permukaan Baja Karbon

49-55

Faried Latief, Desy Nur Rochmah, Tuti Susilawati, Norman Syakir, Fitriawati

PENGEMBANGAN SENSOR KAPASITIF PELAT SILINDER UNTUK MENGIKUR TINGKAT KELEMBABAN GABAH PADI

LAZUARDI UMAR[†], RAHMONDIA N. SETIADI, YANUAR HAMZAH, USMAN MALIK

*Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. Prof. Muchtar Lutfi Sp. Baru Pekanbaru 28293, Riau*

Abstrak. Penelitian ini telah mengembangkan detektor sederhana untuk mengukur tingkat kelembaban gabah padi (*moisture content, mc*) berdasarkan prinsip kapasitif. Perubahan nilai kapasitansi akibat kelembaban gabah dievaluasi mempergunakan rangkaian osilator IC 7414 Hex Schmitt Inverter yang dikombinasi dengan rangkaian pengunci fasa (*phase locked loop, PLL*) IC 4046 dengan frekuensi internal sebesar ~250KHz dibentuk oleh Cext 22pF, serta berfungsi dalam mengubah selisih fasa menjadi tegangan keluaran. Tiga jenis varietas gabah telah diuji yaitu gabah Anak Daro, BB 42, dan Sokan dengan nilai kelembaban awal sebesar 17% sampai dengan 27%. Kurva karakteristik alat telah dimodelkan dengan persamaan polinom orde dua dengan tingkat kecocokan hasil estimasi R^2 sebesar 0,97; 0,94 dan 0,93 untuk gabah Anak Daro, BB42 dan Sokan. Nilai tegangan keluaran osilator paling besar dimiliki oleh varietas Sokan sebesar 1887,8 mV dengan tingkat kelembaban 12,36% dan tegangan paling kecil diperoleh dari varietas BB 42 sebesar 1383,4 mV pada tingkat kelembaban 18,10%.

Kata kunci: sensor kapasitif, kelembaban gabah, rangkaian osilator, pengunci fasa

Abstract. This research presents a simple detector to measure the moisture content (*mc*) of the rice grain based on the capacitive principle. Changes in capacitance values due to moisture grain were assessed using a RC oscillator based on IC 7414 Hex Schmitt Inverter in combination with the phase locked loop circuit (PLL) IC 4046 resulted an internal frequency of ~ 250 kHz, set by C_{ext} 22pF. This circuit converts also the phase difference between RC and PLL oscillator into an output voltage. Three varieties of rice grain have been tested; rice grain Anak Daro, BB 42, and Sokan with initial moisture content from 17% up to 27%. Second order polynomial has been used to fit the rice grain data and resulted good approximation with R^2 of 0.97; 0.94 and 0.93 for the Anak Daro, BB42 and Sokan respectively. The results shown a maximum voltage of 1887.8 mV with 12.36% *mc* for Sokan and the minimum was obtained for BB 42 variety with voltage of 1383.4 mV at 18.10% *mc*.

Keywords: capacitive sensor, moisture content, rice grain, RC oscillator, polynomial

1. Pendahuluan

Pengukuran tingkat kelembaban gabah (*moisture content, mc*) sangat penting untuk penyimpanan beras. Kadar kelembaban yang terdapat pada butiran beras akan mempengaruhi kualitas dari produk akhir. Pengendalian kualitas sangat penting dalam industri makanan karena setelah panen, kualitas produk makanan diklasifikasikan dan dinilai ke dalam kelas yang berbeda. Evaluasi kualitas biji padi umumnya dilakukan secara manual yang memakan waktu dan biaya mahal serta memberikan hasil yang berbeda [1, 2].

Bahan pangan gabah diketahui bersifat mudah rusak karena memiliki kadar air (kelembaban) yang terkandung pada setiap butiran gabah. Kadar kelembaban sangat tergantung pada jenis gabah sesuai dengan habitat pembibitannya. Pengawetan gabah diperlukan untuk menjaga gabah tetap dalam kondisi terbaik dan meningkatkan daya tahan dengan kadar air yang sesuai. Proses pengawetan juga bertujuan menghindari pembusukan selama penyimpanan dan pengiriman yang disebabkan oleh jamur dan bakteri, yang hidup pada lingkungan lembab [3]. Penanganan tahap pasca panen gabah

[†] email: lazuardi.umar@gmail.com

memiliki peranan penting dalam penyediaan bahan pangan seperti untuk memperpanjang umur simpan dan mempertahankan kualitas, kuantitas serta mencegah kerusakan fisik. Gabah yang disimpan akan mengalami penguapan dan oksidasi sehingga pada kondisi aerobik terjadi fermentasi sedangkan pada kondisi anaerobik gabah yang lembab akan menjadi kecambah [4]. Tingkat kandungan air atau kelembaban gabah (*moisture content, mc*) menentukan kualitas gabah, jika gabah terlalu lembab dapat mengalami penggumpalan, pembusukan dan kerusakan. Tingkat kelembaban merupakan konsentrasi uap air pada bahan yang merupakan ukuran banyaknya air yang terkandung dalam suatu bahan [5].

Berbagai metode pengujian *mc* sampel biji-bijian dan produk pertanian telah dikembangkan seperti metode radiasi inframerah, radiasi gelombang mikro, radiasi refraktometri, magnetis, prinsip spektroskopi dan pengukuran dielektrik [6]. Pada metode radiasi inframerah sampel dikeringkan menggunakan radiasi inframerah sehingga energi diserap oleh sampel [7]. Deteksi dengan metode radiasi menggunakan gelombang mikro digunakan karena cepat dan dapat mengukur kelembaban dalam jumlah besar. Kadar *mc* ditentukan dengan mengukur massa sebelum dan sesudah pengeringan [8]. Metode optis menentukan kadar *mc* produk pertanian dengan refraktometri menggunakan prinsip pengukuran optis. Parameter yang diukur adalah nilai indeks refraksi dari suatu produk pertanian seperti biji-bijian, minyak, sirup atau cairan lainnya, yang menggambarkan sifat alami dari produk tersebut. Tiap-tiap senyawa kimia memiliki indeks refraksi sehingga pengukuran ini dapat dipergunakan untuk identifikasi kualitatif suatu senyawa [9]. Tsukada dan Kiwa [10] telah mengembangkan teknik magnetisasi untuk mengukur kelembaban butiran padi dimana pengamatan medan magnet sekunder dilakukan dari butiran padi yang terpapar medan magnetik bolak balik berfrekuensi rendah. Sementara Mizukami [11] mempergunakan prinsip spektroskopi impedansi untuk mengamati tingkat kelembaban daun teh dimana hubungan antara sifat-sifat elektris dan tingkat kelembaban daun diteliti pada frekuensi mulai dari 10 Hz to 10 MHz. Metode lainnya adalah dengan menentukan *mc* gabah menggunakan prinsip kapasitif berdasarkan pengukuran sifat dielektrik. Ketika gabah digunakan sebagai bahan dielektrik, maka nilai konstanta dielektrik gabah ditentukan oleh kondisi gabah mengandung air atau tidak. Jafari [12] telah mengembangkan sensor mikrostrip untuk menentukan tingkat kelembaban gabah padi dimana nilai kelembaban diprediksi dari sifat-sifat dielektrik berdasarkan model dielektrik.

Pada penelitian ini telah dikembangkan sensor kapasitif sederhana berbentuk silinder untuk mengukur tingkat *mc* gabah berdasarkan pengukuran kapasitansi menggunakan osilator RC pada gabah tanpa harus mengupas dan membersihkannya (*non destructive*). Metode deteksi berdasarkan prinsip kapasitif ini memungkinkan pembuatan sensor berbiaya rendah, tahan pada aplikasinya dengan tingkat reproduksibelnya yang cukup baik. Hasil pengukuran kemudian dimodelkan untuk menentukan kurva karakteristik masing-masing gabah.

2. Metode Penelitian

2.1. Prinsip Pengukuran Kelembaban Gabah

Butiran-butiran gabah memiliki karakteristik bentuk yang beragam, secara umum sub spesies padi yang ditanam di dunia dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu *japonica*, *javanica*, dan *indica*. Padi jenis *japonica* memiliki bentuk butiran gabah pendek membulat, sedangkan padi jenis *indica* memiliki bentuk butiran bulat memanjang. Di Indonesia, jenis padi yang banyak ditanam yaitu padi jenis *indica*. Varietas gabah yang diuji pada penelitian ini terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Gabah yang diuji pada yaitu a. Anak Daro, b. BB42 dan c. Sokan

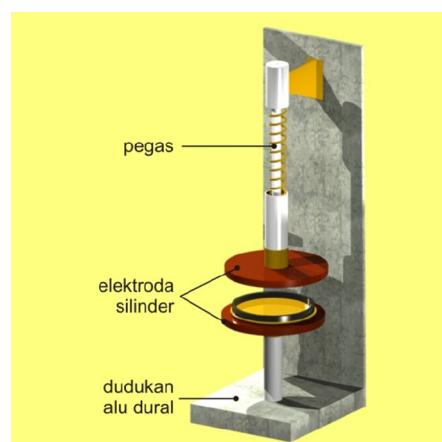
Tingkat kelembaban awal gabah segar pasca panen diperoleh dengan cara mengeringkan gabah hingga sampel mengalami pengurangan massa akibat pemanasan tanpa adanya pemaparan dari lingkungan sekitar. Sebelum gabah disiapkan sebagai sampel, wadah gabah (cawan dan tutup) dari bahan porselin dipanaskan terlebih dahulu menggunakan oven dengan suhu 130°C selama 1 jam, kemudian didinginkan dalam desikator. Sampel gabah yang diuji diambil mempergunakan spatula, kemudian dihancurkan dengan penggilingan mempergunakan grinder dan ditimbang masanya (M_1) mempergunakan timbangan analitik Camry EHA401 sebelum pemanasan. Kemudian sampel dikeringkan dengan oven Oven Heraus T6060 pada suhu 121°C selama 2 jam. Setelah pemanasan, sampel dan wadahnya dinginkan kembali di dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang kembali masanya (M_2). Nilai kelembaban gabah dinyatakan dalam persentase:

$$\text{Nilai kelembaban gabah } mc = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\% \quad (1)$$

dimana M_1 menyatakan berat masa sampel dalam gram sebelum dipanaskan dan M_2 adalah berat masa sampel dalam gram setelah dipanaskan.

2.2. Sensor Kapasitif Pelat Silinder

Bentuk dudukan dan elektroda sensor kapasitif dibuat utamanya dari bahan alumunium dural yang telah dibubut dan digunakan dalam keadaan tegak. Adapun rancangan dudukannya diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Dudukan dan sensor kapasitif pelat silinder untuk mengukur tingkat kelembaban gabah

Deteksi dielektrisitas gabah yang berhubungan dengan kelembabannya dilakukan pada dua kepingan elektroda terbuat dari kuningan dengan diameter 100 mm yang dilekatkan pada silinder pertinaks sebagai isolator. Untuk menjaga agar sampel tidak keluar dan tetap berada pada kepingan elektroda selama pengukuran maka dibuat cincin (*spacer*) yang terbuat dari bahan Polyvinyl chloride (PVC) dengan diameter bagian dalam 90 mm dan tebal 5 mm. Pada bagian atas dudukan diberikan pegas agar kepingan elektroda dapat digerakkan ke atas dan ke bawah sehingga sampel gabah dapat dimasukkan dan dikeluarkan dari elektroda. Nilai kapasitansi C_0 kapasitor kepingan sejajar ini (dalam Farad) adalah:

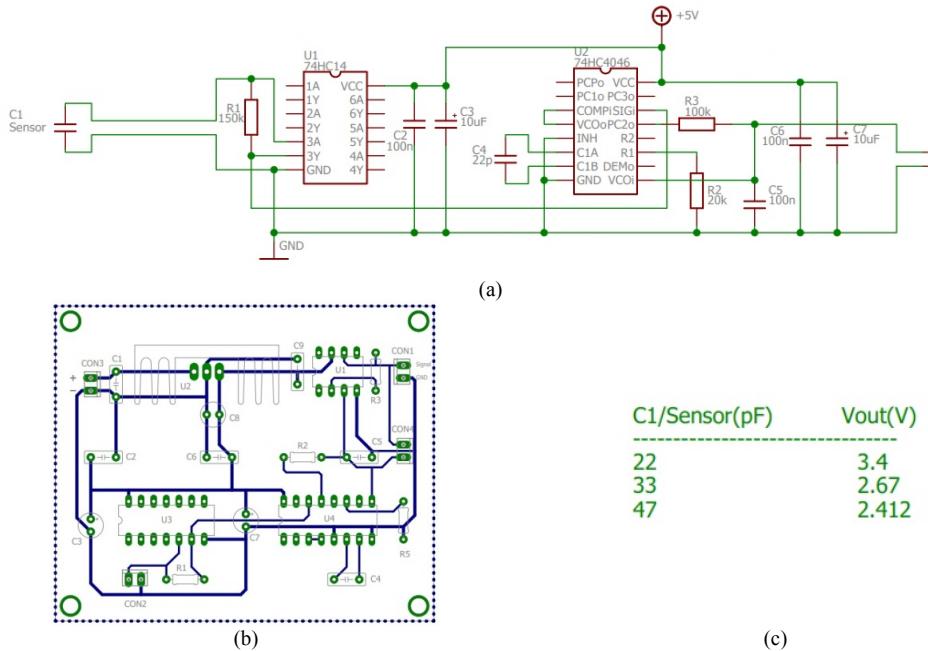
$$C_0 = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d} \quad (2)$$

dimana ϵ_r merupakan konstanta dielektrik dari sampel gabah, ϵ_0 permitivitas ruang bebas ($8,85 \times 10^{-12} \text{F/m}$), A luas penampang kepingan sejajar (m^2) dan d jarak antar kepingan (m). Pengukuran mempergunakan LCR Meter D-LIN 4070D memberikan nilai kapasitansi yang relatif kecil yaitu berkisar $C_0 \sim 22 \text{pF}$, yang menjadi pedoman dalam membuat rangkaian osilator untuk mengevaluasi nilai kapasitansi yang berhubungan dengan kelembaban gabah.

2.3 Rangkaian Osilator RC dan Pengunci Fasa (PLL)

Tingkat kelembaban gabah padi mempengaruhi nilai kapasitansi sensor kapasitif dan dievaluasi mempergunakan rangkaian osilator RC yang mengubah nilai kapasitansi C_{sensor} menjadi frekuensi osilasi. Osilator RC dibentuk mempergunakan gerbang hex inverter Schmitt-trigger dari IC digital 74C14 dengan komponen R dan C sensor berfungsi sebagai rangkaian penala. Besarnya frekuensi osilasi ditentukan berdasarkan persamaan yang memberikan nilai f_0 sebesar 250 Khz pada kondisi tanpa adanya gabah padi. Nilai frekuensi ini akan berubah akibat adanya gabah padi ditengah-tengah elektroda sensor yang bersifat sebagai dielektrik seperti diperlihatkan pada persamaan (2).

Output osilator RC kemudian diteruskan ke suatu rangkaian pengunci fasa (*Phase Locked Loop*, PLL) dari IC tipe 4046, yang memiliki dua pembanding fasa, satu bagian *source follower* dan satu osilator terkontrol tegangan (*voltage controlled oscillator*, VCO). Rangkaian PLL umumnya dipergunakan secara luas untuk pembangkitan *clock* dalam sistem digital modern sebagai pensintesa frekuensi (*synthesizable PLLs*) dengan keluaran frekuensi yang relatif stabil [13, 14]. Pada penelitian ini, rangkaian pengunci fasa dipergunakan untuk mengubah frekuensi menjadi tegangan dan untuk menjaga kestabilan pengukuran. Fasa frekuensi osilator R_C , f_0 , kemudian dibandingkan terhadap frekuensi referensi, f_{ref} , dari osilator internal IC4046 yang ditentukan mempergunakan komponen C_{ext} . Perbedaan fasa ini kemudian diubah menjadi tegangan keluaran. Adapun bentuk rangkaian elektronik pengolah isyarat sensor kapasitif untuk mengukur kelembaban gabah padi diberikan pada Gambar 3.



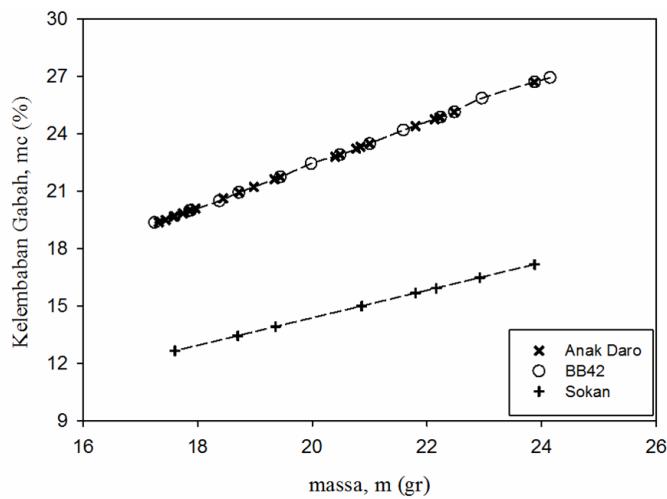
Gambar 3. Evaluasi nilai kapasitansi mempergunakan osilator RC dan rangkaian komparator (a), (b) *lay out* PCB dan (c) Nilai kapasitansi C. Sensor mempengaruhi nilai tegangan keluaran dari rangkaian (tabel)

Data diukur mempergunakan Osiloskop DSO-2150 USB dan kemudian diolah dengan komputer menggunakan perangkat lunak *Sigma Plot* serta *Table Curve* untuk mendapatkan persamaan matematis tingkat kelembaban gabah.

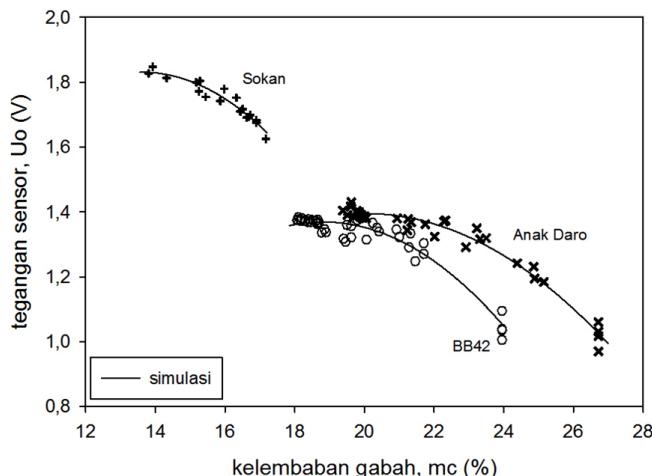
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bentuk dan ukuran gabah menentukan perbedaan tingkat kelembaban gabah pasca panen, disamping faktor cuaca pada saat panen. Berdasarkan bentuk, gabah Anak Daro lebih bulat dan Sokan lebih runcing dibandingkan yang lain. Sementara warna gabah BB 42 lebih gelap dibandingkan dengan Sokan yang lebih cerah.

Pada eksperimen, tiap-tiap gabah dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok kontrol dan kelompok perlakuan, masing-masing gabah diambil masanya sebesar 23,88gr. Gabah kelompok kontrol dikeringkan selama 10 jam pada suhu 121°C sehingga diperoleh tingkat kelembaban Anak Daro sebesar 26,72%, BB42 sebesar 23,95% dan Sokan memiliki nilai 17,17%. Nilai ini menjadi acuan tertinggi untuk ketiga sampel kelompok perlakuan. Sementara pada kelompok perlakuan, sampel dikeringkan dengan oven sehingga mengalami pengurangan massa akibat pemanasan tanpa adanya pemaparan dari lingkungan sekitar. Perhitungan kelembaban mempergunakan persamaan (1) dengan berpatokan pada nilai kelompok kontrol. Masing-masing pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali. Gambar 4 memperlihatkan grafik tingkat kelembaban gabah sebagai fungsi massa gabah.



Gambar 4. Kurva kalibrasi penentuan tingkat mc berdasarkan masa gabah



Gambar 5. Kurva karakteristik alat telah dimodelkan dengan persamaan polinom

Gambar 5 memperlihatkan respon sensor kapasitif terhadap besarnya variasi tingkat mc masing-masing gabah. Pengukuran tiap-tiap gabah dilakukan dalam keadaan utuh dan memiliki kulit sehingga bentuk gabah dan kemampuan kulit dalam menyimpan air akan mempengaruhi nilai dielektrisitas serta kapasitansi yang diukur.

Data kelembaban masing-masing gabah pada Gambar 5 kemudian *fitting* dengan perangkat lunak *Sigma Plot* dan *Table Curve* mempergunakan persamaan polinomial kuadratik yang memberikan nilai y_0 , A dan B , dan merupakan konstanta hasil pemodelan. Model ini merupakan suatu fungsi transfer yang menyatakan hubungan input besaran fisis yaitu tingkat kelembaban (mc) gabah terhadap besaran elektris sensor dalam bentuk tegangan keluaran (U_o). Nilai parameter model matematis dari tiap sampel ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan Gambar 5 dan data pada tabel 1 terlihat bahwa varietas Sokan memiliki tegangan tertinggi sebesar 1887,8 mV pada tingkat kelembaban 12,36% dan tegangan terendah untuk gabah BB42 sebesar 1383,4mV pada tingkat kelembaban 18,10%. Hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai tegangan keluaran osilator untuk varietas Anak Daro dan

BB 42 memiliki rentang tegangan output yang sama yaitu (1200 ± 200) mV namun tingkat kelembaban yang berbeda. Pada varietas Sokan, nilai frekuensi yang ditunjukkan berbeda dengan varietas Anak Daro dan BB 42 tetapi memiliki pola yang sama dalam hubungan dengan tingkat kelembaban dan tegangan.

Tabel 1. Nilai parameter model ketiga sampel uji

No	Varietas Gabah	Parameter Model Matematis			R^2
		y_0	A	B	
1	Gabah Anak Daro	-1928,38	331,68	-8,27	0,9696
2	Gabah BB 42	-2879,71	451,43	-11,99	0,9401
3	Gabah Sokan	-876,46	397,28	-14,57	0,9298

Perbedaan output yang dihasilkan sensor seperti terlihat pada Gambar 5 dominan disebabkan oleh bentuk dan geometri gabah padi yang berbeda, dimana kerapatan gabah di dalam wadah silinder sensor tidak sama. Semakin padat gabah padi maka komponen udara yang berkontribusi pada perbedaan nilai dielektrik lebih kecil dibandingkan susunan gabah yang regang. Perbedaan ini ditunjang oleh kemampuan struktur kulit gabah dalam menyerap air di permukaannya, yang menyebabkan karakteristik dielektrik gabah menjadi lebih bersifat konduktif atau kapasitif, dan berkontribusi pada pembentukan frekuensi osilator RC. Karakteristik dielektrik ini dapat disusun menjadi suatu susunan kompleks R dan C yang mempengaruhi perbedaan output sensor. Pengukuran yang berulang dan pengambilan data lebih banyak secara statistik akan memperbaiki kualitas data dan menunjukkan konsistensi hasil pengukuran untuk sensor yang lebih baik.

3. Kesimpulan

Pembuatan sensor kapasitif untuk mengukur tingkat kelembaban gabah padi telah berhasil dibuat. Sampel uji diambil dari gabah padi yang populer ditemukan dipasaran lokal yaitu gabah Anak Daro, BB42 dan Sokan. Evaluasi *mc* gabah dilakukan berdasarkan perubahan nilai kapasitansi sensor mempergunakan rangkaian osilator RC dan PLL yang akan mengkonversi nilai kapasitansi menjadi tegangan keluaran.

Berdasarkan pemodelan terlihat bahwa kurva karakteristik dari masing-masing gabah dapat didekati dengan suatu persamaan polinomial kuadratik. Perbedaan kurva karakteristik disebabkan oleh bentuk dan karakteristik dari masing-masing gabah, dan dimodelkan dalam suatu persamaan matematika. Model ini selanjutnya dapat diimplementasikan dalam suatu mikrokontroler untuk perbaikan sinyal sensor yang lebih baik.

Ucapan terima kasih

Terimakasih disampaikan kepada Saudari Syafitri Wahyuni yang telah mempersiapkan dan melakukan pengukuran sampel serta saudara Valendry Harvenda yang telah mempersiapkan manuskrip dengan baik.

Daftar Pustaka

1. Reddy N.G.K., Kumar K., Anand K., Priyadarshini R., and Rajeshwari K., *Estimation of Durability of Rice Grains Using Sensors and Mobile Technology*, IEEE Intl. Conf. Tech. Innov. in ICT for Agr. and Rural Development (TIAR), 2016, 33-35.

2. Mahale B. dan Korde S., *Rice Quality Analysis Using Image Processing Techniques*, International Conference for Convergence of Technology, 2014.
3. Wang W.C. dan Dai Y. Z., *A Grain Moisture Detecting System Based on Capacitive Sensor*, International Journal of Digital Content Technology and its Applications, Vol. 5 No. 3, 2011, 203-209.
4. Iswari K., *Kesiapan Teknologi Panen dan Pascapanen Padi dalam Menekan Kehilangan Hasil dan Meningkatkan Mutu Beras*, Jurnal Penelitian dan Pengembangan, Badan Litbang Pertanian Kementerian Pertanian RI, Vol. 31, No 2, 2012.
5. Thakur A.K. dan Gupta A.K., *Water Absorption Characteristics of Paddy, Brown Rice and Husk During Soaking*, Journal of Food Engineering Vol. 75, No. 2, 2006, 252–257.
6. Ki-Bok K., Jong-Heon K., Seung Seok L. dan Sang Ha N., *Measurement of Grain Moisture Content Using Microwave Attenuation at 10.5 Ghz and Moisture Density*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 51, No. 1, 2002, 72 – 77.
7. Afzal T.M. dan Abe T., *Simulation of Moisture Changes in Barley During Far Infrared Radiation Drying*, Computer and Electronics In Agriculture, Vol. 26, No. 2, 2000, 137-145.
8. Okabe T., *A New Method for The Measurement of Grain Moisture Content by the use of Microwaves*, Journal Agriculture Engineering Rrs. Vol. 18. 1973, 59-66.
9. Bradley Jr R.L., *Moisture and Total Solid Analysis*. Food Analysis, 2010, 85-104.
10. Tsukada K. dan Kiwa T., *Magnetic Measurement of Moisture Content of Grain*, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 43, No. 6, 2007, 2683-2685.
11. Mizukami Y., Sawai Y., Yamaguchi Y., *Moisture Content Measurement of Tea Leaves by Electrical Impedance and Capacitance*, Biosystems Engineering Vol. 93, No. 3, 2006, 293–299.
12. Jafari F., Khalid K., Daud W.M., Yusoff M., dan Hassan J., *Development And Design Of Microstrip Moisture Sensor for Rice Grain*, International RF and Microwave Conference Proceedings, September 12 - 14, 2006, Putrajaya, Malaysia, 258-261.
13. Musa A., Siriburanon T., Miyahara M., Okada K., dan Matsuzawa A., *A Compact, Low-Power and Low-Jitter Dual-Loop Injection Locked PLL Using All-Digital PVT Calibration*, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 49, No. 1, 2014, 50-60.
14. Park Y. dan Wentzloff D.D., *An All-Digital PLL Synthesized from a Digital Standard Cell Library in 65nm CMOS*, IEEE Custom Integrated Circuits Conf., 2011.

PENGARUH SUHU DALAM PROSES TRANSESTERIFIKASI PADA PEMBUATAN BIODIESEL KEMIRI SUNAN (*Reautealis trisperma*)

ASRI WIDYASANTI[†], SARIFAH NURJANAH, TUBAGUS MUHAMAD GILANG SINATRIA

Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem,
Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran
Jl. Bandung Sumedang km 21, Jatinangor, Sumedang, 45363

Abstrak. Biodiesel dapat digunakan sebagai alternatif penggunaan bahan bakar fosil. Biodiesel bersifat ramah lingkungan karena dibuat dengan bahan baku alami. Bahan baku pembuatan biodiesel pada penelitian ini adalah kemiri sunan (*Reautealis trisperma*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui suhu terbaik dan pengaruh suhu yang digunakan dalam proses transesterifikasi biodiesel tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga kali pengulangan dan lima variasi suhu yang digunakan, yaitu 45°C, 50°C, 55°C, 60°C dan 65°C. Karakteristik biodiesel kemiri sunan tersebut lalu dibandingkan dengan standar SNI 04-7182-2006. Karakteristik yang diamati adalah rendemen parsial, rendemen total, densitas, kadar air, bilangan asam, viskositas dan bilangan iod. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa biodiesel kemiri sunan terbaik memiliki karakteristik rendemen total, densitas, kadar air, bilangan asam, viskositas dan bilangan iod secara berturut-turut adalah 6,55%; 1,036 g/ml; 0% (bb); 0,862 mgKOH/g; 6,241 cSt dan 32,11 gI₂/100g. Biodiesel kemiri sunan tersebut dihasilkan dari proses transesterifikasi dengan suhu tertinggi 65°C.

Kata kunci: Biodiesel, Kemiri Sunan, Suhu Transesterifikasi

Abstract. Biodiesel can be used as an alternative fuel to replace the use of fossil fuel. Biodiesel is made from natural raw material so that it has environmentally friendly characteristics. The raw material of biodiesel used in this study was Phillipnes tung (*Reautealis trisperma*). The objectives of the research was to determine the best transesterification temperature and to investigate the effects of temperature in transesterification processes to its characteristics. The method used was Completely Randomized Design (CDR) with three replications. Various temperature of transesterification were 45°C, 50°C, 55°C, 60°C and 65°C. Characteristics of biodiesel observed were total yield, density, moisture content, acid value, viscosity and iod value. Those characteristics were compared to Indonesian National Standard of Biodiesel SNI 04-7182-2006. The results revealed that Phillipines tung biodiesel produced by transesterification process with 65°C was the best transesterification temperature. Meanwhile, the characteristics of biodiesel dealing with total yield, density, moisture content, acid value, viscosity and iod value were 6,55%; 1,036 g/ml; 0% (w.b.); 0,862 mgKOH/g; 6,241 cSt and 32,11 gI₂/100g, respectively.

Keywords: Biodiesel, Phillipines Tung, Transesterification Time

1. Pendahuluan

Konsumsi bahan bakar dunia semakin meningkat dari tahun ke tahunnya karena terjadi peningkatan jumlah penduduk dan semakin berkembangnya sektor industri. Bahan bakar yang selama ini digunakan merupakan bahan bakar yang berbahan baku fosil, dimana bahan baku ini membutuhkan waktu yang sangat lama untuk terbentuk, sehingga bahan baku ini termasuk bahan yang tidak dapat diperbarui.

Sektor industri menjadi salah satu penyebab meningkatnya konsumsi bahan bakar, dimana pada sektor industri umumnya mengkonsumsi bahan bakar solar untuk mesin-mesin diesel. Penggunaan bahan bakar alternatif dapat mengurangi penggunaan bahan bakar berbahan baku fosil. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif untuk solar. Biodiesel merupakan bahan bakar yang

[†] email: asriwidyasanti@gmail.com

menggunakan bahan baku minyak nabati. Salah satu bahan pertanian yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber minyak nabati untuk bahan baku biodiesel adalah kemiri sunan.

Pembuatan biodiesel kemiri sunan ini menggunakan dua tahap, yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Variasi suhu dilakukan pada tahap transesterifikasi untuk mengetahui pengaruh suhu pada biodiesel yang dihasilkan berdasarkan rendemen, densitas, kadar air, bilangan asam, viskositas dan bilangan iod biodiesel tersebut. Biodiesel yang dihasilkan dianalisis dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dan dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu dalam pembuatan biodiesel kemiri sunan dan suhu terbaik untuk menghasilkan biodiesel kemiri sunan.

2. Eksperimen

Metode penelitian yang dilakukan adalah metode penelitian eksperimental dengan analisis Rancangan Acak Lengkap (RAL). Penelitian ini mengamati satu faktor, yaitu suhu dengan menggunakan tiga kali ulangan pada proses transesterifikasi. Suhu yang digunakan pada penelitian adalah 45°C, 50°C, 55°C, 60°C dan 65°C. Biodiesel yang didapat dibandingkan dengan standar Biodiesel SNI 04-7182-2006. Parameter yang dibandingkan adalah densitas, kadar air, bilangan asam, viskositas, dan bilangan iod.

Bahan penelitian yang digunakan adalah minyak kasar kemiri sunan, KOH 0,1 N; larutan indikator fenoltalein 1%; etanol 95%; larutan kloroform; larutan KI 20%; larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N; katalis H_2SO_4 , 1% w/w; metanol teknis dan *aquadest*. Adapun alat penelitian yang digunakan diantaranya mesin pemecah cangkang kemiri sunan, oven konveksi, desikator, *hydraulic press*, corong pisah, *magnetic stirrer*, termometer, *waterbath*, piknometer, dan viskometer Ostwald.

Pembuatan biodiesel kemiri sunan dimulai dengan tiga proses yaitu proses persiapan bahan, proses reaksi esterifikasi dan proses reaksi transesterifikasi seperti berikut:

a. Proses Persiapan Bahan

Pada proses ini dilakukan pemecahan cangkang kemiri sunan untuk mendapatkan kernel kemiri sunan. Selanjutnya kernel kemiri sunan diiris dan dikeringkan dengan oven hingga kadar airnya mencapai <7%. Kernel kemiri sunan disangrai terlebih dahulu sebelum dilakukan pengepresan dengan *hydraulic press* secara manual. Hasil akhir yang diperoleh berupa minyak kasar kemiri sunan.

b. Proses Esterifikasi

Proses esterifikasi dilakukan apabila minyak kasar kemiri sunan memiliki kadar asam lemak bebas lebih dari 5% [10]. Sehingga proses esterifikasi dapat menurunkan kadar asam lemak bebas. Metanol dan minyak kasar kemiri sunan dicampur dengan perbandingan molar 6:1 dan dimasukkan kedalam beaker glass, selanjutnya campuran itu dipanaskan hingga 60°C. Setelah itu ditambahkan katalis H_2SO_4 , 1% w/w dan direaksikan selama dua jam. Selanjutnya campuran dipisahkan dengan corong pisah sehingga terbentuk dua lapisan, dimana lapisan atas berupa metanol, air dan asam sulfat, sedangkan lapisan bawah berupa trigliserida.

c. Proses Transesterifikasi

Trigliserida hasil proses esterifikasi dipanaskan hingga 45°C, selanjutnya dicampur katalis KOH 1% w/w dan metanol sehingga terbentuk kalium metoksida. Pada suhu 50°C kalium metoksida dipanaskan dan diaduk dengan kecepatan putar 350 rpm selama 120 menit. Kemudian dilakukan tahapan pemisahan gliserol dari metil ester (biodiesel) dengan corong pisah. Biodiesel yang dihasilkan kemudian masuk ke tahap pencucian dengan aquades dengan suhu 60-70 °C. Biodiesel selanjutnya dikeringkan pada 60°C selama 60 menit. Prosedur ini

juga diulang kembali trigliserida dengan pemanasan dengan suhu transesterifikasi 50°C, 55°C, 60°C dan 65°C.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Perbedaan Suhu Transesterifikasi terhadap Rendemen Biodiesel Minyak Kemiri Sunan

Rendemen merupakan perbandingan antara berat akhir bahan setelah perlakuan dan berat awal bahan sebelum perlakuan. Rendemen yang diamati dalam penelitian pengolahan kemiri sunan menjadi biodiesel ini adalah rendemen parsial dan rendemen total. Pengamatan rendemen parsial dan total ini bertujuan untuk mengetahui kadar bahan yang dihasilkan dari setiap proses yang dilakukan dalam penelitian ini dan jumlah kebutuhan bahan baku buah kemiri sunan.

Rendemen Parsial

Rendemen parsial pada penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu rendemen pada proses persiapan bahan, rendemen proses esterifikasi dan rendemen proses transesterifikasi. Dari pegamatan rendemen ini dapat diketahui kadar bahan yang dihasilkan dari proses-proses tersebut. Rendemen parsial pembuatan biodiesel kemiri sunan diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata Rendemen Parsial Pembuatan Biodiesel Kemiri Sunan

Proses	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Rendemen (%)
Persiapan bahan	695,80±0,07	70,00±0,01	10,06±0,01
Esterifikasi	70,00±0,01	68,83±0,60	98,34±0,86
Trans-esterifikasi			
45°C	69,55±0,43	54,02±0,21	77,67±0,79
50°C	68,73±0,15	50,86±1,93	74,01±2,76
55°C	68,51±0,18	49,74±0,78	72,60±1,32
60°C	68,14±0,26	46,76±1,55	68,61±2,06
65°C	69,23±0,56	45,56±5,46	65,79±7,58

Rendemen parsial pada Tabel 1 menunjukkan kadar bahan yang dihasilkan pada setiap proses yang dilakukan pada penelitian ini. Untuk proses persiapan bahan kadar minyak yang didapat dari buah kemiri sunan adalah 10,06%. Rendemen tersebut merupakan rendemen total hasil perhitungan dari rendemen parsial pada proses persiapan bahan. Dimana pada persiapan bahan terdapat proses pengupasan buah, pengupasan biji, pengecilan ukuran kernel, pengeringan kernel, pengecilan ukuran kernel setelah pengeringan dan pengepresan kernel. Pada proses esterifikasi kadar trigliserida dan FAME yang didapat adalah 98,34%. Dan pada proses transesterifikasi pada suhu 45°C, 50°C, 55°C, 60°C dan 65°C menghasilkan kadar biodiesel secara berturut-turut 77,67%; 74,01%; 72,60%; 68,61% dan 65,79%.

Rendemen Total

Rendemen total pada penelitian ini adalah perbandingan antara berat biodiesel kemiri sunan dengan berat buah kemiri sunan. Lima variasi suhu yang pada proses transesterifikasi menghasilkan lima jenis biodiesel kemiri sunan. Rendemen total yang didapat pada penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata Rendemen Total Pembuatan Biodiesel Kemiri Sunan pada Berbagai Suhu Transesterifikasi

Suhu Transesterifikasi (°C)	Berat Buah Kemiri Sunan (gram)	Berat Biodiesel Kemiri Sunan (gram)	Rendemen Total (%)
45	695,73±0,10	54,02±0,21	7,76±0,03 ^{cd}
50	695,83±0,00	50,86±1,93	7,31±0,28 ^{bed}
55	695,79±0,06	49,74±0,78	7,15±0,11 ^{abc}
60	695,83±0,00	46,76±1,55	6,72±0,22 ^{ab}
65	695,83±0,10	45,56±5,46	6,55±0,78 ^a

Keterangan: Nilai rendemen total yang memiliki huruf *superscript* yang sama menandakan perlakuan suhu tidak berpengaruh nyata

Tabel 2 menunjukkan kadar biodiesel kemiri sunan yang dihasilkan dari buah kemiri sunan. Berat buah kemiri sunan pada Tabel 8 merupakan rata-rata berat buah kemiri sunan yang dibutuhkan untuk satu sampel biodiesel kemiri sunan. Dimana pada penelitian ini dibutuhkan 15 sampel biodiesel, sehingga jumlah total kebutuhan biodiesel kemiri sunan adalah 10437,45 gram buah kemiri sunan.

Proses transesterifikasi pada penelitian ini menghasilkan lima rendemen dari lima variasi suhu yang digunakan. Lima variasi suhu yang digunakan pada proses transesterifikasi ini diduga menyebabkan perbedaan rendemen yang didapat. Untuk itu dilakukan analisis RAL terhadap lima variasi suhu yang digunakan dan rendemen yang didapat. Berdasarkan uji RAL, variasi suhu yang digunakan pada proses transesterifikasi memberikan pengaruh nyata pada rendemen yang dihasilkan. Pengujian DMRT juga dilakukan pada rendemen total biodiesel kemiri sunan untuk mengetahui lebih lanjut pengaruh dari perbedaan suhu yang digunakan.

Rata-rata rendemen total biodiesel kemiri sunan pada Tabel 2 menunjukkan suhu 45°C berbeda nyata pengaruhnya dengan suhu 60°C dan 65°C. Begitu juga dengan suhu 50°C berbeda nyata pengaruhnya dengan suhu 65°C. Sedangkan suhu 55°C tidak berbeda nyata pengaruhnya. Hal ini dilihat dari huruf-huruf yang didapat dalam pengujian DMRT.

Dilihat dari penggunaan suhu terendah 45°C hingga suhu tertinggi 65°C, terjadi penurunan rendemen yang dihasilkan. Penurunan rendemen ini tidak sesuai dengan penelitian lain dimana rendemen akan meningkat saat suhu proses transesterifikasi ditingkatkan. Semakin tinggi suhu pada proses transesterifikasi yang digunakan akan meningkatkan jumlah tumbukan efektif untuk menghasilkan biodiesel. Sehingga semakin tinggi suhu yang digunakan dapat meningkatkan rendemen biodiesel yang dihasilkan [3].

Ketidaksesuaian ini diduga karena masih terdapat kandungan air pada trigliserida hasil esterifikasi minyak kemiri sunan. Dimana proses esterifikasi pada minyak kemiri sunan menghasilkan trigliserida dan air. Kandungan air yang terdapat pada trigliserida kemiri sunan dapat bereaksi dengan katalis yang digunakan pada proses transesterifikasi sehingga dapat mempengaruhi jumlah katalis. Selain dipengaruhi oleh suhu transesterifikasi yang digunakan, rendemen biodiesel juga dapat dipengaruhi oleh rasio molar antara trigliserida dan alkohol, jenis katalis yang digunakan, jenis alkohol yang digunakan, lama reaksi, kandungan air, kandungan asam lemak bebas dan kandungan sabun [4].

Pengaruh Perbedaan Suhu Transesterifikasi terhadap Densitas Biodiesel Minyak Kemiri Sunan

Nilai densitas suatu biodiesel dapat dipengaruhi oleh proses pembuatan biodiesel tersebut. Terdapat lima nilai densitas pada penilitian biodiesel kemiri sunan ini yang dihasilkan dari lima variasi suhu yang digunakan saat proses transesterifikasi pembuatan biodiesel. Nilai biodiesel yang didapat dari penelitian ini dengan lima variasi suhu, yaitu 45°C, 50°C, 55°C, 60°C dan 65°C diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata Densitas Biodiesel Kemiri Sunan pada Berbagai Suhu Transesterifikasi dengan Perbandingan SNI

No.	Suhu (°C)	Densitas (g/ml)	SNI 04-7182-2006	
			(g/ml)	
1	45	1,038 ± 0,001 ^b		
2	50	1,038 ± 0,000 ^b		
3	55	1,036 ± 0,001 ^{ab}		0,85-0,89
4	60	1,037 ± 0,000 ^{ab}		
5	65	1,036 ± 0,001 ^a		

Keterangan: Nilai rendemen total yang memiliki huruf *superscript* yang sama menandakan perlakuan suhu tidak berpengaruh nyata

Densitas biodiesel kemiri sunan berdasarkan Tabel 3 memiliki nilai yang berbeda-beda pada setiap suhu yang digunakan pada proses transesterifikasi. Berdasarkan uji analisis RAL, suhu yang digunakan pada proses transesterifikasi memberikan pengaruh sangat nyata pada densitas biodiesel. Untuk mengetahui lebih lanjut dilakukan uji lanjutan DMRT.

Uji lanjutan DMRT yang dilakukan pada rata-rata densitas biodiesel kemiri sunan menunjukkan suhu 45°C pada proses transesterifikasi berbeda nyata pengaruhnya dengan suhu 65°C. Selain itu, suhu 50°C juga menunjukkan berbeda nyata pengaruhnya dengan suhu 65°C. Sedangkan suhu yang lainnya tidak berbeda nyata pengaruhnya menurut uji lanjutan DMRT yang dilakukan.

Densitas biodiesel kemiri sunan yang dihasilkan dari proses transesterifikasi dengan lima variasi suhu ini memiliki nilai yang berbeda-beda. Secara teori, semakin tinggi suhu suatu zat maka akan semakin kecil densitas zat tersebut. Dimana semakin tinggi suhu zat tersebut, semakin bertambah juga volume zat tersebut dengan massa yang tetap [8]. Biodiesel kemiri sunan pada penelitian ini tidak memiliki kualitas yang baik karena tidak memenuhi standar biodiesel SNI 04-7182-2006. Nilai densitas biodiesel menurut standar SNI tersebut adalah 0,85-0,89 g/ml pada suhu 40°C. Biodiesel dengan densitas yang tidak memenuhi standar dapat menyebabkan kerusakan mesin, dimana terjadi peningkatan keausan pada mesin dan emisi buangan [2]

Meningkatnya sebagian densitas biodiesel kemiri sunan pada saat suhu ditingkatkan ini diduga karena masih terdapat kandungan gliserol di dalam biodiesel kemiri sunan tersebut. Dimana gliserol memiliki nilai densitas yang tinggi yaitu 1,26 g/ml sehingga dapat mempengaruhi densitas biodiesel kemiri sunan itu sendiri [5]. Proses pemisahan biodiesel dengan gliserol yang tidak sempurna dapat menyisakan kandungan gliserol pada biodiesel kemiri sunan yang dihasilkan. Dimana pada penilitian ini proses pemisahan biodiesel dilakukan secara manual menggunakan corong pisah.

Pengaruh Perbedaan Suhu Transesterifikasi terhadap Kadar Air Biodiesel Minyak Kemiri Sunan

Kandungan kadar air dalam biodiesel dapat mempengaruhi kualitas biodiesel. Biodiesel berkualitas tinggi memiliki kandungan kadar air yang rendah. Menurut SNI 04-7182-2006, batas maksimal kadar air pada biodiesel adalah 0,05%. Kadar air basis basah biodiesel kemiri sunan yang didapat dalam penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kadar Air Biodiesel Kemiri Sunan pada Berbagai Suhu Transesterifikasi dengan Perbandingan standar SNI

No.	Suhu (°C)	Kadar Air (%)	SNI 04-7182-2006 (%)
1	45	0,118±0,133 ^a	
2	50	0,017±0,029 ^a	
3	55	0,006±0,011 ^a	≤0,05
4	60	0,000±0,000 ^a	
5	65	0,000±0,000 ^a	

Keterangan: Nilai kadar air yang memiliki huruf *superscript* yang sama menandakan perlakuan suhu tidak berpengaruh nyata

Kandungan kadar air biodiesel kemiri sunan tidak sama pada lima suhu proses transesterifikasi. Untuk mengetahui apakah perbedaan suhu yang digunakan berpengaruh nyata pada kadar air biodiesel, maka dilakukan uji analisis RAL. Berdasarkan uji analisis RAL dan DMRT, suhu-suhu yang digunakan pada proses transesterifikasi tidak berpengaruh nyata terhadap kandungan kadar air biodiesel kemiri sunan yang dihasilkan.

Kadar air biodiesel kemiri sunan pada penelitian ini memenuhi standar SNI 04-7182-2006. Pada Tabel 4 menunjukkan kadar air biodiesel kemiri sunan mengalami penurunan saat suhu proses transesterifikasi ditingkatkan. Sehingga semakin tinggi suhu yang digunakan, maka kandungan air yang terkandung pada minyak pun akan semakin banyak yang teruapkan. Perbedaan nilai titik didih pada air dan biodiesel menyebabkan tidak terjadinya penguapan secara bersamaan. Air yang memiliki titik didih lebih rendah akan teruapkan lebih cepat. Rendahnya kandungan kadar air dalam biodiesel dapat mencegah terjadinya hidrolisis yang dapat meningkatkan kadar asam lemak [9].

Pengaruh Perbedaan Suhu Transesterifikasi terhadap Bilangan Asam Biodiesel Minyak Kemiri Sunan

Biodiesel kemiri sunan pada penelitian ini dibuat dengan lima perbedaan suhu transesterifikasi. Penggunaan lima suhu transesterifikasi ini menghasilkan biodiesel dengan bilangan asam yang berbeda-beda. Bilangan asam pada biodiesel kemiri sunan yang dibuat dalam penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Bilangan Asam Biodiesel Kemiri Sunan pada Berbagai Suhu Transesterifikasi dengan Perbandingan Standar SNI

No.	Suhu (°C)	Bilangan Asam (mgKOH/g)	SNI 04-7182-2006 (mgKOH/g)
1	45	0,945±0,137 ^a	
2	50	1,008±0,161 ^a	
3	55	0,849±0,022 ^a	≤0,80
4	60	0,847±0,128 ^a	
5	65	0,862±0,036 ^a	

Keterangan: Nilai bilangan asam yang memiliki huruf *superscript* yang sama menandakan perlakuan suhu tidak berpengaruh nyata

Nilai bilangan asam yang dihasilkan dari proses transesterifikasi pembuatan biodiesel kemiri sunan ini dilanjutkan dengan uji analisis RAL. Uji ini bermaksud untuk mengetahui apakah lima suhu yang digunakan pada proses transesterifikasi memberikan pengaruh nyata pada perbedaan nilai bilangan asam yang dihasilkan. Hasil uji RAL dan DMRT menunjukkan bahwa perbedaan suhu yang digunakan pada proses transesterifikasi tidak berpengaruh nyata pada bilangan asam biodiesel kemiri sunan yang dihasilkan.

Tabel 5 menunjukkan bilangan asam biodiesel kemiri sunan tidak memenuhi standar SNI 04-7182-2006. Hal ini diduga karena katalis KOH yang digunakan pada proses transesterifikasi tidak bereaksi dengan sempurna. Apabila pada trigliserida kemiri sunan yang digunakan terdapat air sisanya proses esterifikasi, maka katalis KOH yang digunakan pada proses transesterifikasi akan menyerap air dan tidak bekerja secara maksimal [6].

Pengaruh Perbedaan Suhu Transesterifikasi terhadap Viskositas Biodiesel Minyak Kemiri Sunan

Pembuatan biodiesel kemiri sunan pada penelitian ini menggunakan lima variasi suhu. Dimana suhu terendah yang digunakan adalah 45°C dan suhu tertinggi yang digunakan adalah 65°C. Lima variasi suhu tersebut digunakan pada proses transesterifikasi pembuatan biodiesel dan menghasilkan biodiesel dengan viskositas yang berbeda-beda. Standar SNI 04-7182-2006 menunjukkan batas viskositas biodiesel yang baik adalah 2,3 cSt sampai 6,0 cSt. Viskositas biodiesel kemiri sunan yang dibuat dalam penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Viskositas Biodiesel Kemiri Sunan pada Berbagai Suhu Transesterifikasi dengan Perbandingan Standar SNI

No.	Suhu (°C)	Viskositas (cSt)	SNI 04-7182-2006 (cSt)
1	45	5,908±0,087 ^a	
2	50	6,005±0,106 ^a	
3	55	5,976±0,162 ^a	2,3 - 6,0
4	60	5,991±0,079 ^a	
5	65	6,241±0,252 ^a	

Keterangan: Nilai viskositas yang memiliki huruf *superscript* yang sama menandakan perlakuan suhu tidak berpengaruh nyata

Nilai viskositas yang didapat dari lima variasi suhu transesterifikasi pada Tabel 6 dilakukan uji RAL. Uji RAL ini bertujuan untuk mengetahui apakah lima variasi suhu yang digunakan memberikan pengaruh nyata pada viskositas biodiesel atau tidak berpengaruh nyata. Berdasarkan hasil uji RAL dan DMRT yang dilakukan perbedaan suhu yang digunakan saat proses transesterifikasi tidak memberikan pengaruh nyata terhadap viskositas biodiesel yang dihasilkan.

Proses transesterifikasi pada pembuatan biodiesel menyebabkan turunnya nilai viskositas trigliserida yang digunakan. Hal ini dikarenakan berkurangnya berat molekul trigliserida yang dikonversi menjadi metil ester [7]. Viskositas biodiesel kemiri sunan pada Tabel 6 menunjukkan tiga perlakuan suhu proses transesterifikasi menghasilkan viskositas yang memenuhi standar SNI 04-7182-2006. Pada suhu proses transesterifikasi 50°C dan 65°C viskositas biodiesel tidak memenuhi standar. Hal ini diduga karena proses konversi yang dibantu dengan katalis KOH tidak bereaksi dengan baik.

Viskositas yang tidak memenuhi standar dapat mempengaruhi proses atomisasi bahan bakar pada ruang bakar. Viskositas bahan bakar yang tinggi dapat menyebabkan bahan bakar teratomisasi

menjadi tetesan yang lebih besar. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan deposit dan emisi bahan bakar [9].

Pengaruh Perbedaan Suhu Transesterifikasi terhadap Bilangan Iod Biodiesel Minyak Kemiri Sunan

Biodiesel kemiri sunan pada penelitian ini menggunakan lima variasi suhu pada saat proses transesterifikasi. Dimana suhu yang digunakan pada penelitian ini adalah 45°C, 50°C, 55°C, 60°C dan 65°C. Lima variasi suhu yang digunakan pada proses transesterifikasi menghasilkan bilangan iod yang berbeda-beda. Untuk mengetahui pengaruh dari lima suhu yang digunakan pada penelitian ini dilakukan pengujian RAL.

Biodiesel dengan kualitas yang baik menurut standar SNI 04-7182-2006 memiliki nilai bilangan iod maksimal 115 gI₂/100g. Bilangan iod menunjukkan banyaknya iod yang diikat oleh asam lemak tidak jenuh atau banyaknya ikatan rangkap [1]. Bilangan iod biodiesel kemiri sunan pada penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Bilangan Iod Biodiesel Kemiri Sunan pada Berbagai Suhu Transesterifikasi dengan Perbandingan Standar SNI

No.	Suhu (°C)	Bilangan Iod (gI ₂ /100g)	SNI 04-7182-2006 (gI ₂ /100g)
1	45	35,54±0,64 ^b	
2	50	39,09±0,58 ^c	
3	55	42,38±0,93	≤115
4	60	33,91±0,51 ^b	
5	65	32,11±0,68 ^a	

Keterangan: Nilai bilangan iod yang memiliki huruf *superscript* yang sama menandakan perlakuan suhu tidak berpengaruh nyata

Hasil uji RAL menunjukkan bahwa variasi suhu yang digunakan saat proses transesterifikasi memberikan pengaruh sangat nyata. Untuk mengetahui lebih lanjut perbedaan suhu yang memberikan pengaruh nyata pada bilangan iod biodiesel dilakukan uji lanjutan DMRT. Bilangan iod pada Tabel 7 menunjukkan suhu perlakuan yang berbeda nyata pengaruhnya. Hal itu dapat dilihat dari huruf yang mengikuti di belakang bilangan iod setiap suhu. Suhu 45°C pada proses transesterifikasi berbeda nyata pengaruhnya dengan suhu 50°C, 55°C dan 65°C. Sedangkan suhu 60°C tidak berbeda nyata dengan suhu 45°C pada proses transesterifikasi.

Penggunaan lima variasi suhu pada saat proses transesterifikasi menghasilkan biodiesel dengan bilangan iod yang berbeda-beda. Hal ini dapat menunjukkan dengan perbedaan suhu yang digunakan pada proses transesterifikasi dapat mempengaruhi jumlah ikatan rangkap dalam asam lemak biodiesel sehingga terjadi perbedaan nilai bilangan iod biodiesel tersebut. Semakin tinggi ketidakjenuhan pada suatu biodiesel, maka *cloud point* dan titik tuang akan semakin rendah. Tetapi dengan tingginya ketidakjenuhan suatu biodiesel juga dapat menyebabkan kemungkinan terjadinya pembentukan asam lemak bebas [10].

Rekapitulasi Hasil Uji Fisiko Kimia Biodiesel Kemiri Sunan

Pengujian fisiko kimia yang dilakukan pada biodiesel kemiri sunan dalam penelitian ini adalah rendemen, densitas, kadar air, bilangan asam, viskositas dan bilangan iod. Hasil uji fisiko kimia biodiesel kemiri sunan ini lalu dibandingkan dengan standar fisiko kimia biodiesel berdasarkan SNI 04-7182-2006. Selain itu, dilakukan juga analisis RAL fisiko kimia biodiesel kemiri sunan

terhadap variasi suhu yang digunakan. Rekapitulasi hasil terbaik uji dan analisis fisiko kimia biodiesel kemiri sunan diperlihatkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil uji dan Analisis Fisiko Kimia Biodiesel Kemiri Sunan

Karakteristik	Suhu (°C)					Standar
	45	50	55	60	65	
Rendemen (%)	7,76	7,31	7,15	6,72	6,55	Rendemen tertinggi
Densitas (g/ml)	1,038	1,038	1,036	1,037	1,036	Densitas terendah
Kadar air (%)	0,118	0,017	0,006	0	0	Kadar air terendah
Bilangan asam (mgKOH/g)	0,945	1,008	0,849	0,847	0,862	Bilangan asam terendah
Viskositas (cSt)	5,908	6,005	5,976	5,991	6,241	Viskositas terendah
Bilangan iod (gI ₂ /100g)	35,54	39,09	42,38	33,91	32,11	Bilangan iod terendah

Ket: █ (Suhu transesterifikasi berpengaruh nyata)

_____ (Nilai terbaik)

Tabel 8 menunjukkan nilai-nilai dari karakteristik fisiko kimia yang diuji pada penelitian ini dengan lima variasi suhu. Berdasarkan Tabel 8 di atas, suhu terbaik yang digunakan saat proses transesterifikasi pada penelitian ini adalah 65°C. Dimana pada suhu tersebut menghasilkan nilai densitas, kadar air dan bilangan iod terendah. Selain itu, penggunaan suhu transesterifikasi 65°C memberikan pengaruh nyata pada rendemen, densitas dan bilangan iod. Berdasarkan hasil tersebut, suhu proses transesterifikasi tertinggi pada penelitian ini menghasilkan hasil terbaik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang dilakukan pada biodiesel kemiri sunan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan uji RAL yang dilakukan, variasi suhu yang digunakan pada proses transesterifikasi kemiri sunan memberikan pengaruh nyata pada rendemen, biodiesel kemiri sunan.
2. Variasi suhu yang digunakan pada proses transesterifikasi memberikan pengaruh sangat nyata pada densitas dan bilangan iod kemiri sunan
3. Kadar air, bilangan asam dan viskositas tidak dipengaruhi oleh variasi suhu yang digunakan
4. Suhu terbaik yang digunakan pada proses transesterifikasi dalam pembuatan biodiesel kemiri sunan adalah 65°C.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kami sampaikan kepada Universitas Padjadjaran yang telah memberikan dukungan dana pada penelitian Bioenergi dari Kemiri Sunan.

Daftar Pustaka

1. Dewi, M. T. I. dan Hidajati, N., *Peningkatan Mutu Minyak Goreng Curah Menggunakan Adsorben Bentonit Teraktivasi*. UNESA Journal of Chemistry. Vol 1, No. 2, 2012, 47-53
2. Nurdiansyah dan Redha, A., *Efek Lama Maserasi Bubuk Kopra Terhadap Rendemen, Densitas dan Bilangan Asam Biodiesel yang Dihasilkan dengan Metode Transesterifikasi In Situ*, Jurnal Belian. Vol. 10, No. 2, 2011, 218-224
3. Prihanto, Antonius, Pramudono, B. dan Santosa, H., *Peningkatan Yield Biodiesel dari Minyak Biji Nyamplung melalui Transesterifikasi Dua Tahap*, Jurnal Momentum. Vol 9, No. 2, 2013, 46-53.
4. Priyanto, U., *Menghasilkan Biodiesel Jarak Pagar Berkualitas*. Jakarta: Agromedia Pustaka, 2007.
5. Putra, R. P., Wibawa, Gria, A., Pantjawarni dan Mahfud, *Pembuatan Biodiesel Secara Batch dengan Memanfaatkan Gelombang Mikro*, Jurnal Teknik ITS. Vol. 1, No. 1, 2012, 34-37.
6. Rahayu, M., *Teknologi Proses Produksi Biodiesel*, 2005. Diakses melalui http://www.reocities.com/markal_bppt/publish/biofbm/biraha.pdf pada tanggal 10 April 2016 pukul 16.48.
7. Santoso, Nidya, Pradana F. dan Rachimoellah, H. M., *Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk Randu (Ceiba Pentandra) Melalui Proses Transesterifikasi dengan Menggunakan CaO Sebagai Katalis*, 2010. Diakses melalui <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-23912-2307100108-Paper.pdf> pada tanggal 8 April 2016 pukul 16.48.
8. Setiorini, I. dan Zuhri, A. A., *Massa Jenis Padat Bentuk Tak Kontinyu dan Zat Cair*, Laporan Seminar Fisika Jurusan Fisika, Universitas Negeri Surabaya, 2010.
9. Syamsidar, *Pembuatan dan Uji Kualitas Biodiesel dari Minyak Jelantah*, Jurnal Tekno Sains. Vol 7, No. 2, 2013, 209-218.
10. Sudrajat, R., S. Yogie, D. Hendra dan D. Setiawan, *Pembuatan Biodiesel Biji Kepuh dengan Proses Transesterifikasi*, Jurnal Penelitian Hasil Hutan. Vol 28, No. 2, 2010, 145-155.

STRUKTUR DAN MORFOLOGI NANO KOMPOSIT CAMPURAN ZEOLIT ABU SEKAM PADI

EVA MARLINA GINTING^{1†}, NURDIN BUKIT¹, M. AFFAN SIREGAR¹, ERNA FRIDA²

¹ Prodi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Medan, Sumatera Utara

² Fakultas Teknik Universitas Quality Medan

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola difraksi dan morfologi nano-komposit dengan *filler* nano partikel zeolit dan abu sekam padi pada termoplastik *high density polyethylene* (HDPE). Campuran yang digunakan abu sekam padi dengan ukuran 53,12 nm dan zeolit 44,46 nm dicampur dengan perbandingan (70/30, 60/40, 50/50, 40/60, 30/70) wt % dicampur pada internal mixer laboplastomil pada suhu 150 °C dengan laju 60 rpm selama 10 menit. Hasil analisis XRD terlihat adanya interkalasi antara *filler* dengan matrik termoplastik HDPE, demikian juga dengan hasil morfologi terlihat kedua campuran homogen.

Kata kunci : Zeolit, Abu Sekam Padi, HDPE

Abstract. This study aims to determine the diffraction pattern and morphology of nano composites with nanoscale particles zeolite and rice husk ash on thermoplastics HDPE. Mixture used rice husk ash with a size of 53.12 nm and 44.46 nm zeolite is mixed with a ratio (70/30, 60/40, 50/50, 40/60, 30/70) wt% were mixed in the internal mixer laboplastomil temperature 150 °C at a rate of 60 rpm for 10 minutes. The XRD analysis results shown their intercalation between filler with HDPE thermoplastic matrix, as well as the morphology shown well homogeneous mixture.

Keywords: Zeolites, Rice Husk Ash, HDPE

1. Pendahuluan

Polietilena berdensitas tinggi atau *high density polyethylene* (HDPE) adalah polietilena termoplastik yang terbuat dari minyak bumi HDPE memiliki kekuatan tarik dan gaya antar molekul yang tinggi. HDPE juga lebih keras dan bisa bertahan pada temperatur tinggi (120°C). HDPE sangat tahan terhadap bahan kimia sehingga memiliki aplikasi yang luas, diantaranya, kemasan deterjen, kemasan susu, tanki bahan bakar, kayu plastik, meja lipat, kursi lipat, kantong plastik, wadah pengangkut beberapa jenis bahan kimia, sistem perpipaan transfer panas bumi, Sistem perpipaan gas alam, pipa air, pembungkus kabel.

Sekam padi saat ini telah dikembangkan sebagai bahan baku untuk menghasilkan abu yang dikenal sebagai RHA (*Rice Husk Ash*). Abu Sekam Padi merupakan abu hasil pembakaran sekam padi, yang pada hakikatnya hanyalah limbah, ternyata merupakan sumber silika/karbon yang cukup tinggi. RHA merupakan salah satu bahan baku untuk menghasilkan silika. Nano silika saat ini telah diaplikasikan dalam berbagai macam bidang diantaranya bidang sains dan industri. Bahan abu sekam padi (ASP) telah banyak digunakan sebagai pengisi. Silika telah dimanfaatkan secara luas sebagai katalis, dan berbagai jenis bahan komposit organik-anorganik [1-2].

Zeolit merupakan material yang memiliki banyak kegunaan. Zeolit telah banyak diaplikasikan sebagai adsorben, penukar ion, dan sebagai katalis. Zeolit adalah mineral kristal alumina silika tetrahidrat berpori yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi, terbentuk oleh tetrahedral $[SiO_4]^{4-}$ dan $[AlO_4]^{5-}$ yang saling terhubungkan oleh atom-atom oksigen sedemikian rupa, sehingga membentuk kerangka tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-

† email: evamarlina67@yahoo.com

rongga, yang didalamnya terisi oleh ion-ion logam, biasanya adalah logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas [3].

Dari beberapa hasil penelitian menyimpulkan bahwa sifat suatu bahan pengisi akan kompatibel dengan matriks polimer, dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, ukuran partikel suatu bahan pengisi, dimana ukuran partikel suatu bahan pengisi yang kecil dapat meningkatkan derajat penguatan polimer dibandingkan dengan ukuran yang lebih besar [4], demikian juga semakin kecil ukuran partikel semakin tinggi ikatan antara bahan pengisi dengan matriks polimer [5]. Beberapa contoh bahan pengisi yang sudah digunakan dalam pembuatan termoplastik khususnya dengan HDPE antara lain CaCO_3 /HDPE [6-7] grafit/HDPE [8], Clay/HDPE [9], bentonit alam/HDPE [10], zeolit /HDPE [11-12].

Dalam penelitian ini di lakukan analisis difraksi sinar-X dan morfologi nano komposit campuran nano partikel zeolit dan ASP dengan berbagai variasi komposisi campuran dengan perbandingan (70/30, 60/40, 50/50, 40/60, 30/70) wt %. Hasil nano komposit ini dapat digunakan pada salah satu bahan komponen otomotif.

2. Eksperimen

Preparasi Abu Sekam Padi

Pengolahan abu sekam padi (ASP) dilakukan dengan cara abu sekam padi warna putih dari hasil pembakaran pada kilang padi diproses dengan dengan cara ASP dihaluskan dengan *Planetary Ball Mill* PM 200 merk Retsch selama 1 jam. Hasil *ball mill* disaring dengan ayakan ukuran 200 *mesh* (74 μm), ASP dilarutkan dalam NaOH 2,5 M produksi Merck selama 4 jam kemudian diaduk dengan magnetik stirrer. Setelah selesai dilakukan penyaringan dengan kertas saring dan pompa vakum. Hasil residu dicuci dengan aquades kemudian ASP tersebut dipanaskan dalam oven 100° C selama 2 jam. ASP kemudian dimasukkan pada *Planetary Ball Mill* P 200 selama 15 jam dengan laju 450 rpm. Hasil ASP dianalisis dengan XRD.

Preparasi Zeolit

Pengolahan zeolit alam dilakukan dengan cara zeolit terlebih dahulu dihancurkan sampai menjadi serbuk-serbuk halus. Zeolit yang sudah dihancurkan digiling dengan *ball mill* selama 1 jam pada kecepatan 250 rpm. Hasil *ball mill* disaring menggunakan ayakan 200 *mesh*, kemudian direndam menggunakan larutan HCl 2M produksi Merck dengan perbandingan 1:3 dalam waktu 4 jam dan diaduk dengan magnetik stirrer. Campuran larutan HCl dengan zeolit dipisahkan dengan kertas saring, kemudian dicuci dengan air aquades dan disaring kembali untuk memisahkan aquades dengan zeolit. Selanjutnya, zeolit dikeringkan di dalam oven dengan suhu 100°C selama 2 jam. Zeolit alam yang sudah diaktivasi dan dikeringkan ditimbang sebanyak 10 gram kemudian digiling menggunakan *ball mill* selama 15 jam pada kecepatan 400 rpm. Kemudian hasil yang diperoleh dikarakterisasi dengan menggunakan XRD.

Preparasi Nanokomposit

Nano partikel zeolit alam dengan ukuran 44,46 nm dan nano partikel abu sekam padi ukuran 53,12 nm hasil penelitian [13] digunakan sebagai bahan pengisi, dimana keduanya dikombinasikan dengan perbandingan seperti pada Tabel 1:

Tabel 1. Komposisi Bahan Pengisi

Bahan	Perbandingan kombinasi (wt.%)				
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
Zeolit Alam	70	60	50	40	30
ASP	30	40	50	60	70

Pembuatan nano komposit dilakukan di dalam *Internal Mixer* laboplastomill model 30RI50 dengan suhu *blending* 150 °C dan kecepatan rotor 60 rpm selama 10 menit. Bahan yang dicampurkan sesuai dengan Tabel 2. Bahan-bahan yang telah tercampur dicetak dan dimasukkan ke mesin *hot press* yang dilakukan selama 10 menit, dilanjutkan dengan tekanan dingin. Sampel yang dihasilkan berupa lembaran.

Tabel 2. Komposisi Pencampuran Nanokomposit

Sampel	HDPE	PE-g-MA	Bahan				
			A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
S ₁	88	2	10	-	-	-	-
S ₂	88	2	-	10	-	-	-
S ₃	88	2	-	-	10	-	-
S ₄	88	2	-	-	-	10	-
S ₅	88	2	-	-	-	-	10

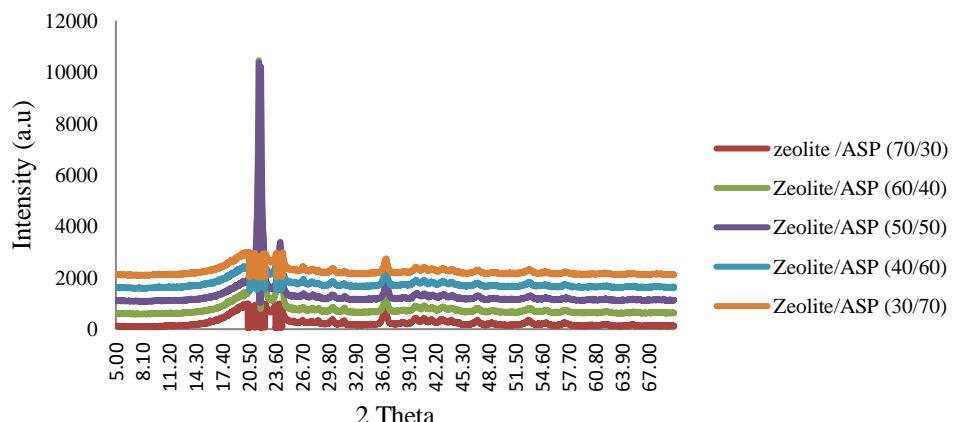
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Pola Difraksi

Analisis struktur kristal dilakukan menggunakan XRD dapat menentukan fase bahan dasar, struktur polimer yang dihasilkan serta mengetahui parameter kisi. Karakterisasi X-Ray *Diffractometry* (XRD), menggunakan alat Shimadzu XRD 6100 X-ray *Diffractometer* pada kondisi tegangan 40 kV dan arus sebesar 30 mA. Radiasi pada panjang gelombang untuk Cu-K_α = 1,541 Å. laju *scanning* yang digunakan adalah dari 2⁰/menit pada range 2θ = 5⁰ - 70⁰.

Tabel 3. Hasil Pola Difraksi Nanokomposit

Zeolit alam/ASP	Group Ruang	Sistim kristal	Parameter kisi (Å)	Density (g/cm ³)	d [Å]
70/30	I m -3 m (229)	Kubik	a= 2.8710	7.29600	2.0331
60/40	P 1 21/n 1 (14)	Monoklinik	a= 6.5890, b= 5.1630, c= 15.6330 β= 91.990 °	3.26900	3.9505
50/50	F m -3 m (225)	Kubik	a= 4.0550	4.01400	2.0337
40/60	P a -3 (205)	Kubik	a= 23.5340	3.05200	3.9563
30/70	P n m a (62)	Orthorhombic	a= 9.2470 b= 15.1769 c= 8.1192	4.46900	3.9604

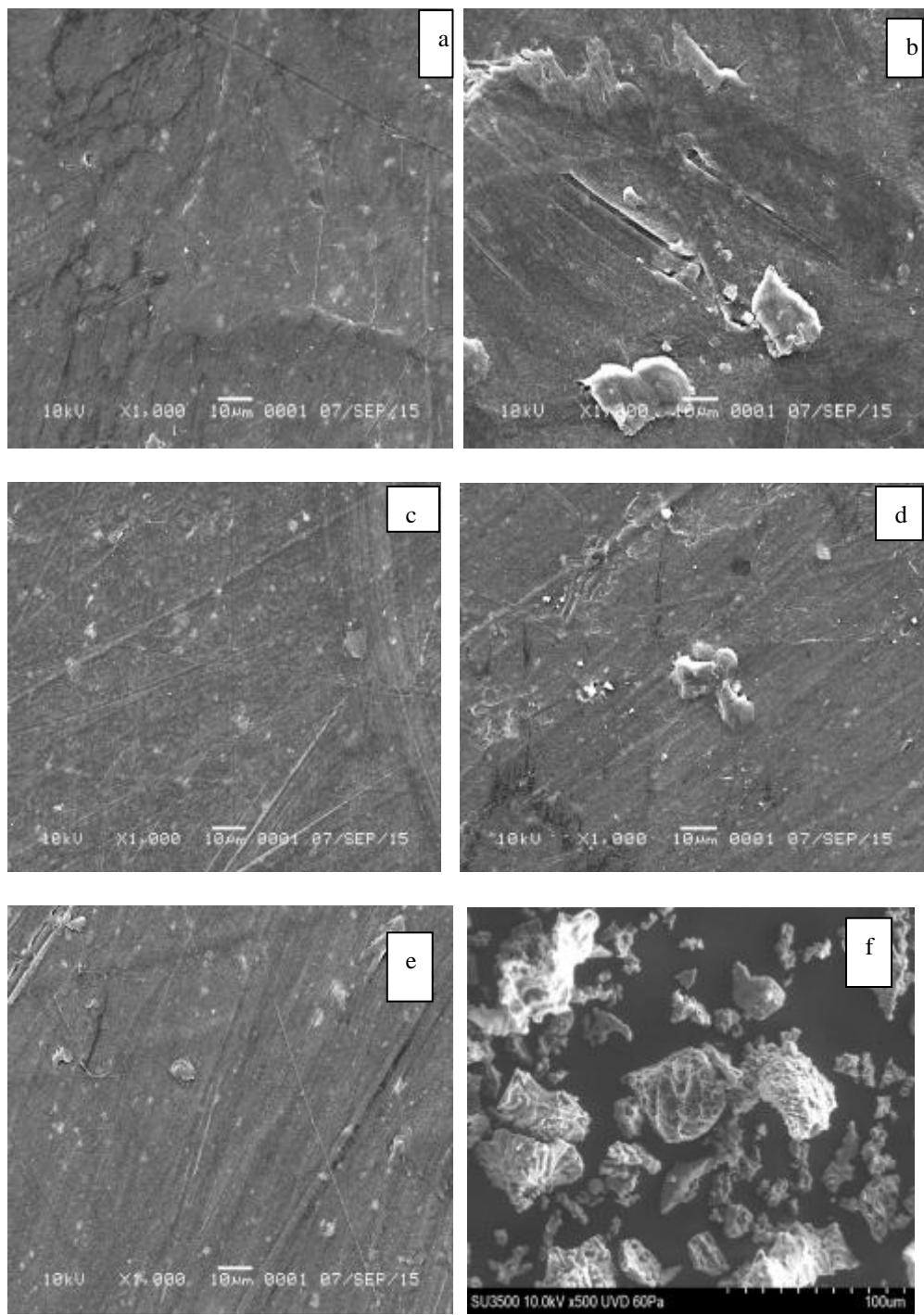


Gambar 1 . Pola Difraksi Campuran HDPE /PE-g-MA / Zeolit dan ASP

Pada Gambar 1 dan Tabel 3 dapat dilihat adanya puncak-puncak maksimum diperoleh pada sudut $44,5269^\circ$ dengan d spasi $2,0331 \text{ \AA}$ untuk sampel campuran zeolit alam/ASP 70/30. Puncak difraksi pada campuran 60/40 diperoleh sudut $22,4880$ dengan d spasi $3,9505 \text{ \AA}$, sedangkan pada campuran 50/50, dengan sudut $44,514$ diperoleh d spasi $2,0337 \text{ \AA}$. Campuran 40/60 pada sudut $22,4518$ diperoleh d spasi $3,9563 \text{ \AA}$, dan pada campuran 30/70 puncak maksimum terdapat pada sudut $22,43$ dengan jarak spasi $3,9604 \text{ \AA}$. Secara umum dengan bertambahnya nano partikel ASP akan meningkatkan d spasi. Hal ini menunjukkan adanya interkalasi antara matrik dengan campuran nano partikel zeolit alam dan ASP sehingga menambah sifat mekanik campuran. Hal ini sesuai dari hasil penelitian [3], dimana kekuatan tarik, perpanjangan putus dan modulus elastis terbesar pada kombinasi zeolit alam dan abu sekam padi 60/40 diperoleh nilai kekuatan tarik 38,764 MPa, perpanjangan putus 257,41 mm dan modulus elastis 931,49 MPa.

3.2 Analisis Morfologi

Gambar 2a sampai 2e memperlihatkan morfologi nano-komposit campuran termoplastik *High Density Polyethylene* (HDPE) produksi PT Titan Petrokimia Nusantara, dengan kompatibilisir PE-g-MA diproduksi oleh Sigma Aldrich dengan *filler* nano zeolit alam dan abu sekam padi dengan komposisi dari (70/30, 60/40, 50/50, 40/60, 30/70) wt %. Gambar 2f adalah nano partikel abu sekam padi dimana dari gambar terlihat campuran homogen hal ini menunjukkan bahwa nano komposit terdistribusi dengan merata. Komposisi campuran 50/50 % terlihat terjadi penggumpalan, yang dari analisis mekanik menyebabkan kekuatan tarik dan perpanjangan putus terjadi penurunan. Hal ini disebabkan adanya peningkatan proses pelekatkan yang baik antara matrik dengan bahan pengisi. Berkurangnya celah yang timbul dan ukuran partikel yang kecil dapat menghasilkan interaksi antara muka yang baik antara bahan pengisi [10]. Peningkatan kekuatan tarik antara matrik HDPE dengan bahan pengisi nano zeolit alam dan abu sekam padi, yang menunjukkan bahwa tekanan beban dapat dipindahkan dengan baik antara kedua bahan tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan [11].



Gambar 2.Morfologi Campuran zeolit /ASP a.(70/30) ,b. (60/40), c.(50/50), d. (40/60), e. (30/70), f. Nano ASP

4. Kesimpulan

Hasil analisis pola difraksi dengan XRD terlihat adanya pergeseran puncak yang menunjukkan adanya interkalasi antara bahan pengisi dengan matrik termoplastik HDPE dengan campuran antara nano partikel zeolit alam dengan abu sekam padi sehingga menambah kekuatan tarik

dibanding dengan HDPE murni. Hasil morfologi terlihat secara umum campuran homogen antara termoplastik HDPE dengan nano partikel.

Ucapan terima kasih

Terimakasih kami ucapan kepada pinpinan laboratorium Fisika Universitas Negeri Medan dan Laboratorium Fisika polimer LIPI Bandung atas fasilitas yang diberikan selama penelitian.

Daftar Pustaka

1. Sun, L., Gong, K., *Silicon-Based Materials from Rice Husks and Their Applications*, Industrial Engineering and Chemistry Research. Vol. 40, No. 25, 2001, 5861–5877.
2. Ginting, M. E., Wirjosentono, B., Bukit, N., Agusnar, H., *Characterization of Nanoparticles Fe_3O_4 Nanocomposite Blend with Thermoplastic HDPE*, Chemistry and Material Research. Vol. 8, No. 8, 2004, 44-52.
3. Cheetam, D. A., *Solid State Compound*, Oxford University Press, 1992, 234- 237.
4. Leblance, J.R., *Rubber-Filler Interactions and Rheological Properties in Filled Compounds*, Progress in Polymer Science Vol. 27, No. 4, 2002, 627-687.
5. Kohls, J.L. and Beaucage, G., *Rational Design of Reinforced Rubber*, Current Opinion in Solid State and Materials Science Vol. 6, No. 3, 2002, 183-194.
6. Saeedi, M., Sharahi, S.J., *Morphological and Thermal properties of HDPE/CaCO₃, Nanocomposites: Effect of Content of Nano and MFI*, IACSIT Press, Vol. 25. 34-38.
7. Zebarjad, S. M, Sajjadi, S. A., Tahani, M. and Lazzeri, A., *A Study on Thermal Behaviour of HDPE/CaCO₃ Nanocomposites*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Vol. 17, No. 1-2, 2006, 173-176.
8. Sarikanat, M., Sever, K., Erbay, E., Güner, F., Tavman, I., Turgut, A., Seki, Y. And Özdemir, I., *Preparation and Mechanical Properties of Graphite Filled HDPE Nanocomposites*, Archives In Materials Science and Engineering. Vol. 50, No. 2, 2011, 120-124.
9. Pegoretti A., Dorigato A. and Penati A., *Tensile Mechanical Response of Polyethylene – Clay Nanocomposites*, eXPRESS Polymer Letters. Vol. 1, No. 3, 2007, 123-131.
10. Bukit, N., Frida, E. and Harahap. M. H., *Preparation and Characterization of Natural Zeolite and Rice Husk Ash as Filler Material HDPE Thermoplastic*, Journal of Chemistry and Material Research. Vol. 3, No. 13, 2013, 20-27.
11. Kim H., Biswas J. and Choe, S., Effects of Stearic Acid Coating on Zeolite in LDPE, LLDPE, and HDPE Composites, Polymer. Vol. 47, No. 11, 2006, 3981-3992.
12. Frida, E., Bukit, N. and Zebua, F., Analysis Mechanics and Thermal Composites Thermoplastic High Density Polyethylene with Zeolite Modification Filler, Chemistry and Material Research Vol. 6, No. 3, 2014, 126-134.
13. Ginting, E.M., Bukit, N. and Siregar, M.A, Preparation and Characterization of Natural Zeolite and Rice Husk Ash as Filler Material HDPE Thermoplastic, Chemistry and Material Research. Vol. 7, No. 2, 2015, 20-27.

**KAJIAN NIKEL LATERIT DENGAN METODE ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY
DI DAERAH BATU PUTIH, KOLAKA UTARA, SULAWESI TENGGARA**

BUDY SANTOSO[†], BAMBANG WIJATMOKO, EDDY SUPRIYANA

*Departemen Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21 Jatinangor, Sumedang 45363*

Abstrak. Endapan nikel laterit terdapat pada zona limonit, zona saprolit, dan zona *saprock*. Masing-masing zona laterit tersebut mempunyai kandungan mineral dan kadar nikel yang berbeda, sehingga mempunyai nilai resistivitas yang berbeda-beda. Penampang laterit dapat diperoleh dengan metode *Electrical Resistivity Tomography (ERT)*. Metode ERT adalah metode pengukuran resistivitas diperlukan tanah dengan menggunakan banyak elektroda, agar diperoleh variasi distribusi resistivitas bawah permukaan secara lateral dan vertikal, sehingga didapatkan citra bawah permukaan. Konfigurasi elektroda yang digunakan dalam akuisisi data ERT yaitu Konfigurasi *Wenner*. Pengolahan data menggunakan program inversi *Res2DInv*. Berdasarkan hasil pengukuran ERT yang telah dikorelasikan dengan data test pit, diperoleh nilai resistivitas laterit sebagai berikut: resistivitas limonit : < 400 Ohm.m, resistivitas saprolit : $(400 - 640)$ Ohm.m, resistivitas *saprock* : $(640 - 1720)$ Ohm.m dan resistivitas *bedrock* > 1720 Ohm.m.

Kata kunci : ERT, limonit, saprolit, *saprock*, *Wenner*

Abstract. Lateritic nickel deposit is located on the limonite zone, saprolite zone, and the *saprock* zone. Each laterite zone has a mineral content and nickel content different, so as to have resistivity values vary. Laterite cross section can be obtained with a method of Electrical Resistivity Tomography (ERT). ERT method is method of resistivity measurements at soil surface using many electrodes, in order to obtain distribution resistivity variations of subsurface of laterally and vertically, so we get the image of the subsurface. Electrode configuration used for data acquisition is the *Wenner* configuration. Data processing using *Res2DInv* inversion software. Based on the results of measurements-ERT which has been correlated to the test pit data, obtained of lateritic resistivity values as follows: resistivity value of limonite : < 400 Ohm.m, resistivity value of saprolite : $(400 - 640)$ Ohm.m, resistivity value of *saprock* $(640 - 1720)$ Ohm.m and resistivity value of *bedrock* > 1720 Ohm.m.

Keywords : ERT, limonite, saprolite, *saprock*, *Wenner*

1. Pendahuluan

Penelitian endapan nikel laterit dilaksanakan di daerah Batuputih, Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara. Secara umum daerah penelitian terdiri dari satu satuan litologi yaitu Satuan Peridotit-Dunit. Satuan Peridotit merupakan *basement* dari Mandala Geologi Sulawesi Timur yang berumur Kapur Awal [1]. Satuan peridotit-dunit ini memiliki penyebaran hampir semua pada daerah penelitian. Satuan ini menempati daerah morfologi perbukitan berlereng landau-terjal yang mencakup 99% daerah penelitian. Secara megaskopis satuan ini didominasi oleh batuan beku ultramafik berupa peridotit (hazburgit dan lerzolit), dunit dan sebagian kecil serpentinit yang tersebar di beberapa tempat.

Peridotit dan batuan ultramafik lainnya mengalami proses serpentinisasi dengan intensitas yang berbeda-beda dari redah sampai tinggi. Tingkat pelapukan pada satuan ini cukup bagus akan tetapi karena morfologi yang terjal kurang mendukung untuk menghasilkan endapan laterit yang tebal. Hal ini disebabkan lapukan yang terbentuk akan langsung terkikis oleh air permukaan. Sebagai

[†] email: budi@geophys.unpad.ac.id

batuan basement, batuan ultramafik ini berulang kali terkena proses tektonik sehingga menyebabkan intensitas rekahan yang tinggi pada batuan tersebut [2]. Rekahan-rekahan tersebut biasanya diisi oleh mineral mineral sekunder hasil pelarutan seperti garnierit, silika, serpentin dan oksida besi [3]. Berdasarkan ciri fisik satuan ini termasuk dalam Formasi Kompleks Ultramafik. Endapan nikel laterit terbentuk dari pelapukan batuan *ultramafik* seperti peridotit, dunit dan lain-lain yang disebabkan oleh pengaruh perubahan iklim. Faktor iklim dapat menyebabkan perubahan komposisi batuan dan melarutkan unsur-unsur yang mudah larut seperti Ni, Co, dan Fe [3].

Struktur geologi yang berpengaruh dalam pembentukan endapan nikel adalah struktur rekahan (*joints*). Batuan ultramafik mempunyai porositas dan permeabilitas kecil, dengan adanya rekahan-rekahan pada batuan tersebut maka akan memudahkan masuknya air. Air tanah akan masuk pada rekahan, sehingga akan memudahkan terjadinya proses pelapukan dan memungkinkan intensitas pelindian karena pengaruh morfologi yang semakin besar.

CO₂ yang larut bersama air hujan memegang peranan penting dalam proses pelapukan kimia [3]. Asam-asam humus dapat menyebabkan dekomposisi batuan dan merubah PH larutan, asam-asam humus ini erat hubungannya dengan vegetasi. Vegetasi akan mengakibatkan penetrasi air dapat lebih dalam dengan melalui akar-akar pohon, akumulasi air hujan akan lebih banyak serta menghasilkan humus yang tebal. Kondisi ini merupakan suatu petunjuk, dimana hutan yang lebat pada lingkungan yang baik akan terdapat endapan bijih nikel lebih tebal dengan kadar yang lebih tinggi. Selain itu vegetasi dapat berfungsi untuk menjaga hasil pelapukan terhadap erosi mekanis.

Berdasarkan kajian geologi diatas, maka dilakukan penelitian dengan metode Geolistrik *Electrical Resistivity Tomography (ERT)*. Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam membedakan resistivitas *bedrock* (batuan ultramafik) dan resistivitas endapan nikel laterit pada zona limonit, zona saprolit, dan zona *saprock*. Hasil pengukuran ERT dapat mencitrakan sebaran resistivitas bawah permukaan daerah penelitian secara lateral dan vertikal. Setelah dikorelasikan dengan data geologi setempat dan data *test pit*, citra resistivitas endapan nikel laterit hasil pengukuran ERT dapat diketahui.

2. Bahan dan Metode

Metode Geofisika yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Geolistrik *Electrical Resistivity Tomography (ERT)*. Metode ERT adalah Metode pengukuran resistivitas diperlakuan tanah / batuan dengan menggunakan banyak elektroda, agar diperoleh variasi distribusi resistivitas bawah permukaan secara lateral dan vertikal, sehingga didapatkan citra bawah permukaan [4]. Metode ERT banyak digunakan untuk eksplorasi mineral logam [5], metode ini juga dapat mencitrakan dengan baik lapisan batubara pada singkapan [6]. Eksplorasi nikel laterit termasuk dalam kategori eksplorasi dangkal, sehingga sangat sesuai jika menggunakan metode *Electrical Resistivity Tomography (ERT)* ini.

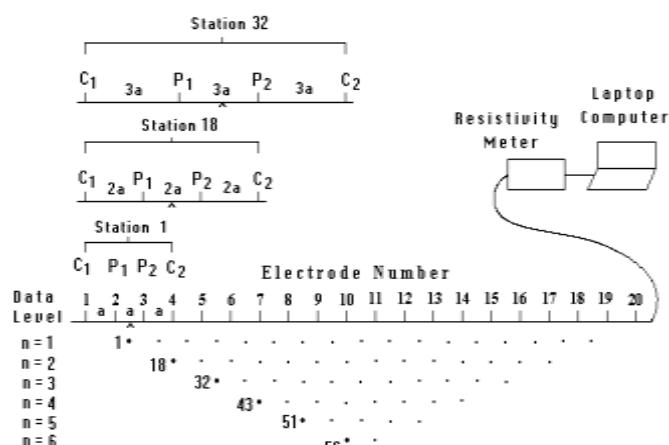
Pemilihan metode ERT didasarkan atas hipotesis bahwa endapan nikel laterit memiliki kontras resistivitas terhadap *bedrock* (batuan ultramafik). Adanya kontras resistivitas memungkinkan pendugaan endapan nikel laterit dapat di deteksi menggunakan metode ERT.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai spesifikasi untuk pengukuran ERT yaitu Res & IP Meter Supersting R8. Elektroda yang digunakan dalam pengukuran ERT sebanyak 28 - 56 elektroda, sedangkan kabel yang digunakan mempunyai panjang 1 km.

3. Eksperimen

Pengukuran ERT dilokasi penelitian dilakukan sebanyak 3 lintasan, terdiri dari lintasan 1 dengan panjang lintasan 405 m, lintasan 2 dengan panjang lintasan 405 m, dan lintasan 3 dengan panjang lintasan 825 m.

Konfigurasi elektroda yang digunakan dalam pengukuran ERT, yaitu konfigurasi *Wenner*. Sistematika pengukuran ERT dengan konfigurasi *Wenner* ditunjukkan pada Gambar 1. Pada Gambar 1, C_1 dan C_2 adalah pasangan elektroda arus, P_1 dan P_2 adalah pasangan elektroda potensial dan a adalah spasi antar elektroda dengan jarak yang sama. Spasi antar elektroda yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 15 m.



Gambar 1. Skema pengukuran ERT dengan konfigurasi *Wenner* [8]

Pengukuran ERT dilakukan secara *insitu*, yaitu pengukuran resistivitas yang dilakukan langsung dilokasi penelitian. Pengukuran ERT lintasan 1 dilakukan diatas singkapan saprolit yang mengandung nikel, sedangkan pengukuran ERT lintasan 2 dan lintasan 3 dilakukan pada lokasi yang tidak ada singkapan.

4. Teori

Endapan nikel laterit terdiri dari endapan limonit, endapan *saprolit* dan *saprock*. Limonit terletak pada lapisan di bawah tanah penutup, berwarna coklat kemerahan sampai coklat kekuningan lunak dan lengket karena banyak mengandung mineral lempung. Komposisi limonit terdiri dari mineral lempung dan oksida besi. Variasi kandungan oksida besi dan mineral lempung memberikan perbedaan warna, seperti Limonit Merah dan Limonit Kuning. Kandungan nikelnya (secara teoretis) bervariasi sekitar 0,5-2,0% [7].

Saprolit merupakan hasil pelapukan tetapi masih memperlihatkan tekstur batuan asalnya. Zona saprolit berwarna coklat muda sampai coklat kekuningan, lunak dan lengket karena didominasi mineral lempung. Lapisan ini merupakan zona pengendapan dari pencucian kandungan unsur di bagian atasnya, yang merupakan target eksplorasi laterit-nikel. Kandungan nikel pada zona saprolit bervariasi sekitar 1-5% [7].

Saprock merupakan hasil pelapukan tetapi tingkat pelapukannya masih rendah, sehingga masih menyisakan komponen batuan-asal yang keras. Hasil pelapukan berwarna coklat muda sampai

coklat kekuningan-kehijauan, lunak dan di antara fragmen batuan asal yang keras. Pada batas antar fragmen atau di rekahan fragmen dijumpai kehadiran mineral garnierit (hijau muda) sebagai pengisi ruang kekar. Kehadiran garnierit ini akan menambah kandungan nikel mengingat (secara teoretis) garnierit mengandung nikel lebih banyak daripada saprolitnya sendiri (5-20% Nikel).

Salah satu Metode Geofisika yang dapat mendeteksi endapan nikel laterit, yaitu Metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT). Dalam metode ERT, sifat aliran listrik yang dipelajari adalah resistivitas batuan. Resistivitas batuan merupakan besaran fisika yang berhubungan dengan kemampuan suatu batuan dalam menghantarkan arus listrik. Lapisan batuan yang mempunyai nilai resistivitas rendah berarti mudah menghantarkan arus listrik, sebaliknya jika lapisan batuan mempunyai nilai resistivitas tinggi berarti sulit menghantarkan arus listrik. Dalam pengukuran ERT, arus listrik di injeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus, kemudian respon beda potensial antara dua titik diperlukan yang diakibatkan oleh aliran arus tersebut, diukur melalui dua elektroda potensial. Berdasarkan nilai arus listrik (I) yang diinjeksikan dan beda potensial (ΔV) yang ditimbulkan, besarnya resistivitas (ρ) dapat dihitung dengan persamaan rumus dibawah ini,

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Parameter K disebut faktor geometri. Faktor geometri merupakan besaran koreksi terhadap perbedaan letak susunan elektroda arus dan potensial. Oleh karena itu, nilai faktor geometri ini sangat ditentukan oleh jenis konfigurasi pengukuran yang digunakan.

Konfigurasi elektroda yang digunakan dalam pengukuran ERT, yaitu konfigurasi *Wenner*. Faktor geometri (K) konfigurasi *Wenner* dapat dihitung dengan persamaan (2),

$$K = 2\pi a \quad (2)$$

Nilai resistivitasnya dapat dihitung dengan persamaan (3),

$$\rho s = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

dengan ρs adalah resistivitas semu (Ohm.m), ΔV adalah beda potensial (V), I merupakan arus yang diinjeksikan (A), dan a adalah jarak antara elektroda (m). Data mentah ini masih merupakan nilai resistivitas semu. Untuk memperoleh nilai resistivitas sebenarnya, maka dilakukan pengolahan data dengan metode inversi. Perangkat lunak inversi yang digunakan dalam pengolahan data ERT yaitu *Res2Dinv*.

5. Hasil dan Pembahasan

Pengukuran ERT yang dilakukan di daerah Batu Putih, Kolaka Utara menghasilkan 3 buah penampang resistivitas, terdiri dari : penampang resistivitas lintasan 1 (405 m), penampang resistivitas lintasan 2 (405 m), penampang resistivitas lintasan 3 (825 m).

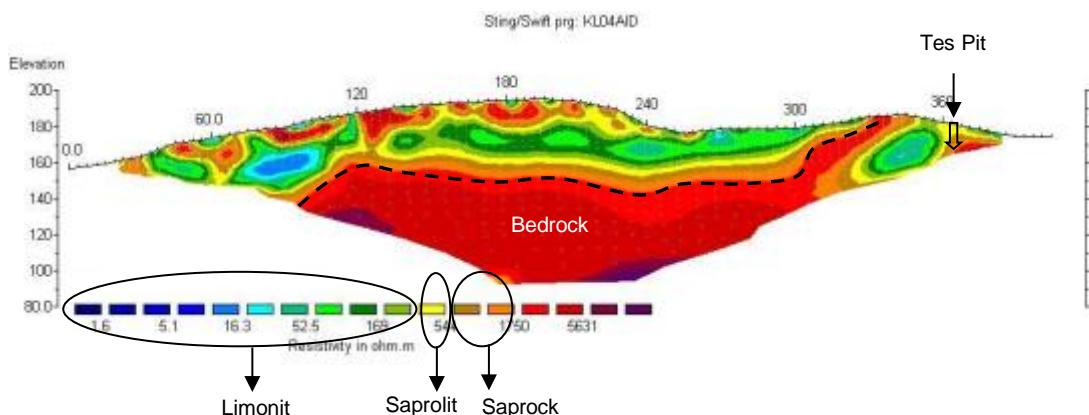
Berdasarkan hasil pengukuran ERT diatas singkapan diperoleh nilai resistivitas limonit < 400 Ohm.m, nilai resistivitas saprolit : (400 – 640) Ohm.m, nilai resistivitas saprock : (640 – 1720) Ohm.m, dan nilai resistivitas batuan lainnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Nilai

resistivitas pada Tabel 1 selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam interpretasi untuk menentukan indikasi endapan nikel laterit (zona saprolit, zona saprock dan zona limonit).

Tabel 1. Resistivitas Batuan di Daerah Batu Putih, Kolaka utara

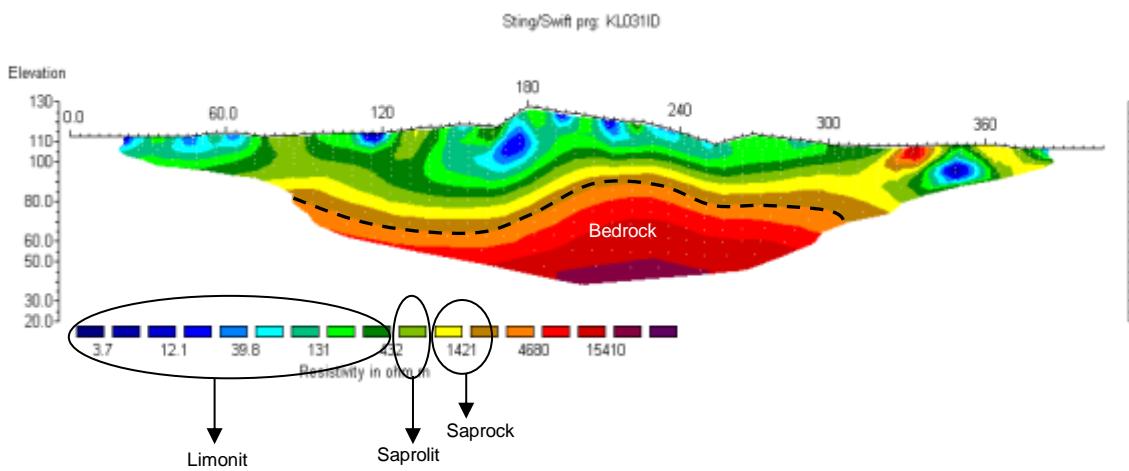
No.	Litologi	Resistivitas (Ohm.m)
1	Limonit	< 400
2	Saprolit	400 – 640
3	Saprock	640 - 1720
4	Bedrock (Peridotit / Dunit)	> 1720

Pada Gambar 2 menampilkan penampang resistivitas lintasan 1. Resistivitas sangat tinggi dengan nilai > 1720 Ohm.m diduga sebagai *bed rock* terdapat pada jarak : (90 – 330) m. Resistivitas tinggi dengan nilai (640 – 1720) Ohm.m diduga sebagai *saprock* terdapat pada jarak : (90 – 345) m. Indikasi zona saprolit terdapat pada jarak : (60 – 360) m dengan nilai resistivitas : (400 – 640). Indikasi limonit dengan nilai resistivitas rendah < 400 Ohm.m terdapat pada jarak : (45 – 390) m.



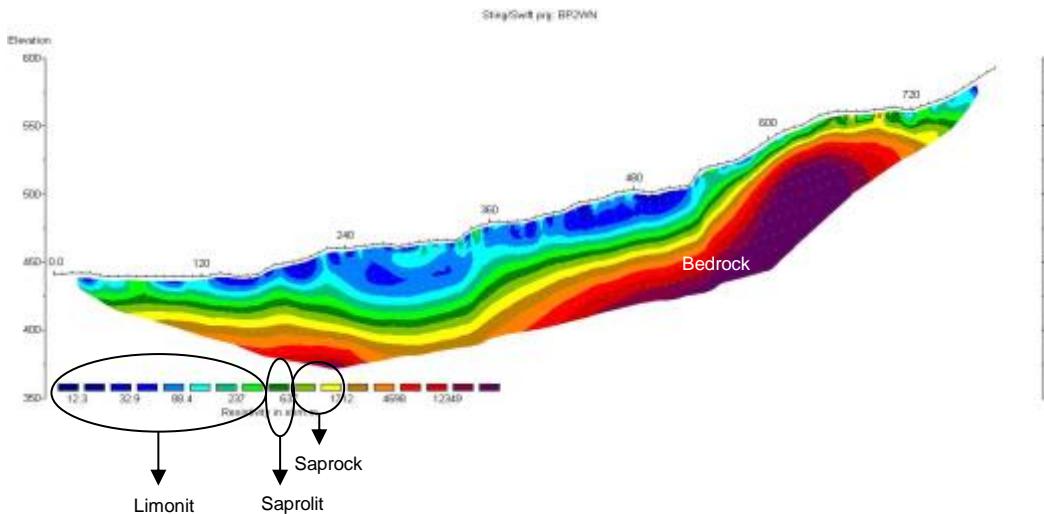
Gambar 2. Penampang ERT Lintasan 1

Pada Gambar 3 menampilkan penampang resistivitas lintasan 2. Resistivitas rendah dengan nilai < 432 Ohm.m diduga sebagai zona limonit terdapat jarak 0 – 320 m. Resistivitas sedang dengan nilai 433 – 620 Ohm.m diduga merupakan zona saprolit terdapat pada jarak 90 – 320 m. Resistivitas tinggi dengan nilai 1421 – 1723 Ohm.m diduga merupakan zona *saprock*, sedangkan resistivitas sangat tinggi dengan nilai ≥ 1723 Ohm.m diduga sebagai *bedrock* terdapat pada jarak 90 – 320 m.



Gambar 3. Penampang ERT Lintasan 2

Pada Gambar 4 menampilkan penampang resistivitas lintasan 3. Pada penampang ERT lintasan 3 terdapat resistivitas rendah dengan nilai < 400 Ohm.m diduga merupakan zona limonit yang sangat tebal pada jarak 240 – 480 m. Zona saprolit dengan nilai resistivitas 637 Ohm.m terdapat dibawah zona limonit pada jarak 30 – 510 m. Resistivitas tinggi dengan nilai 640 – 1712 Ohm.m diduga merupakan saprock terdapat pada jarak 50 – 510 m. Resistivitas sangat tinggi dengan nilai ≥ 1720 Ohm.m diduga sebagai *bedrock* terdapat disepanjang lintasan.



Gambar 4. Penampang ERT Lintasan 3

Secara umum endapan nikel laterit yang cukup tebal terdapat pada penampang resistivitas lintasan 3 pada jarak 50 – 510 m. Tebalnya endapan nikel laterit yang terdapat pada zona saprolit, zona *saprock* dan zona limonit pada lintasan 3 dipengaruhi oleh bentuk morfologi serta *bedrock* yang terdapat dibawah permukaan. Morfologi lintasan 3 berbentuk lembah sehingga air akan terakumulasi dilokasi tersebut, dengan kondisi seperti itu akan mempercepat proses terjadinya pelapukan dan memungkinkan intensitas pelindian. Akibat proses pelapukan dan pelindian maka unsur nikel yang terdapat dalam mineral Granierit pada zona saprolit atau *saprock* akan larut dan diendapkan dilokasi tersebut.

Berdasarkan penampang resistivitas, maka diperoleh endapan nikel laterit dari bawah ke atas, yaitu *bedrock* mempunyai nilai resistivitas > 1720 Ohm.m, *saprock* dengan nilai resistivitas $640 - 1720$ Ohm.m, zona saprolit dengan nilai resistivitas $(400 - 640)$ Ohm.m dan zona limonit dengan nilai resistivitas < 400 Ohm.m. *Bedrock* memiliki nilai resistivitas sangat tinggi > 1720 Ohm.m karena batuan tersebut sangat kompak dengan jenis batuannya yaitu peridotit. Pada zona limonit yang memiliki resistivitas sangat rendah < 30 Ohm.m diduga terdapat saturasi air. Zona limonit dan saprolit pada penampang ERT lintasan 3 lebih tebal dibandingkan lintasan 1 dan 2 karena dipengaruhi oleh morfologi, yang merupakan salah satu faktor yang berperan dalam proses pelapukan dan pelindian.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dekan FMIPA Unpad atas izin yang telah diberikan dalam penelitian ini, serta Neogen Bumi Persada yang telah membantu dalam mendanai operasional kegiatan penelitian ini.

Daftar Pustaka

1. Simandjuntak, T.O., Surono, dan Sukido, *Peta Geologi Lembar Kolaka, Sulawesi, Sekala 1 : 250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1993.
2. Sukamto R., *The Structure of Sulawesi in The Light of Plate Tectonics*, Proc. Reg. Conf. Geol. Min. Res. SE Asia, Jakarta, August 4-7, 1975.
3. Rose, A.W., Hawkes, H.E., Webb, J.S., *Geochemistry in Mineral Exploration*, Academic Press, London, UK, 1979.
4. Santoso, B., Wijatmoko, B., Supriyana, E., dan Harja, A., *Penentuan Resistivitas Batubara Menggunakan Metode Electrical Resistivity Tomography dan Vertical Electrical Sounding*. Jurnal Material dan Energi Indonesia., Vol. 6., No.1, 2016, 8 – 14.
5. Reynolds, J.M., *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, New York, John Wiley and Sons, 1998.
6. Wijatmoko, B., Santoso, B., Harja, A., Marlan, *Pengukuran Resistivitas Pada Singkapan Batubara*, Proceeding PIT HAGI ke 34, 2009.
7. Robb, L., *Introduction to Ore Forming Processes*, Blackwell Scences Ltd, Coarnwall, UK, 2004.
8. Loke, M.H., *Tutorial: 2D and 3D Electrical Imaging Surveys*, 2004, <http://www.geoelectrical.com>.

PENAMBAHAN TiO_2 DALAM PEMBUATAN LEMBARAN POLIMER ELEKTROLIT BERPENGARUH TERHADAP KONDUKTIVITAS DAN KINERJA BATERAI LITHIUM

TITIK LESTARININGSIH[†], QOLBY SABRINA, NURHALIS MAJID

*Pusat Penelitian LIPI,
Kawasan PUSPITEK Serpong Gd. 440-442 Tangerang Selatan*

Abstrak. Lembaran polimer elektrolit yang berisi kombinasi *poly (vinylidene fluoride- hexafluoropropylene)* (PVdF-HFP) sebagai polimer, titanium oksida (TiO_2) sebagai filler dan *lithium bis(oxalato) borate* (LiBOB) komersial sebagai garam lithium telah dibuat dengan metoda *casting*. Karakterisasi lembaran elektrolit dilakukan menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) untuk melihat struktur morfologi lembaran, *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS) untuk mengukur nilai konduktifitas lembaran. Selanjutnya pengukuran *Cyclic Voltammetry* (CV) dan *Charge Discharge* (CD) dilakukan untuk mengukur kinerja sel baterai. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa penambahan TiO_2 sebesar 2% sebagai filler akan meningkatkan nilai konduktivitas ion, meningkatkan sifat reversibilitas dan kemampuan sebagai baterei dalam menyimpan energi paling optimal.

Kata kunci: garam LiBOB, Polimer PVdF HFP, TiO_2 , SEM, konduktivitas

Abstract. The sheets of polymer electrolyte containing poly (vinylidene fluoride-hexafluoropropylene) (PVdF HFP) as polymers, titanium oxide (TiO_2) as a filler and lithium bis(oxalato) borate (LiBOB) commercial as lithium salts have been made by the method of casting. Characterizations of the electrolyte sheet were done using scanning electron microscopy (SEM) to see morphological structure of the piece, electrochemical impedance spectroscopy (EIS) for measuring the conductivity of sheets. In order measuring Cyclic Voltammetry (CV) and Charge Discharge (CD) have been done to show batery cell perform. The results showed that the effect of the addition of 2% TiO_2 as filler would increase the value of the ion conductivity, increasingly reversibility and capabilities as batteries in energy storage.

Keywords: LiBOB salt, PVdF HFP polymer, TiO_2 filler, SEM, Conductivity

1. Pendahuluan

Baterai lithium memiliki kelemahan dalam sifatnya yang reaktif terhadap air atau uap air, akibatnya dalam perakitan baterai harus bebas air. Elektrolit yang banyak digunakan saat ini adalah garam lithium yang dilarutkan dalam larutan organik polar. Penggunaan polimer padat sebagai elektrolit memiliki kelebihan dalam hal stabilitas elektrokimia yang baik terhadap oksidasi dan reduksi pada elektroda Li, stabilitas thermal yang memadai, kemudahan dalam proses pabrikasi, fleksibel, ringan, dan elastik. Elektrolit padat tersusun atas polimer sebagai matrik, garam lithium sebagai pembawa muatan dan sering kali ditambah plastisizer untuk meningkatkan konduktivitas ionik dari polimer. Pada elektrolit polimer, ion bergerak pada inter dan intrapolimer diantara sisi koordinasi yang ditunjang dengan fleksibilitas rantai utama dan rantai samping polimernya [1].

Poly(vinylidene fluoride - hexafluoropropylene) PVdF-HFP tidak mudah larut dalam cairan elektrolit (biasanya karbonat) disebabkan kuatnya tarikan elektron oleh gugus (-C-F), sehingga menghasilkan stabilitas elektrokimia yang baik [2]. PVdF-HFP juga memiliki konstanta dielektrik yang tinggi ($\epsilon_r=8,4$) yang membantu dalam ionisasi lebih besar dari garam Li, sehingga meningkatkan konsentrasi muatan [4]. Dalam polimer HFP berperan mengurangi kristalinitas,

[†] email: titi013@lipi.go.id/lestaringsih25.tl@gmail.com

menambah daya larut dalam aseton dan menurunkan suhu leleh [3]. PVdF-HFP sebagai dasar polimer elektrolit juga memiliki stabilitas interface terhadap Li metal [5].

TiO_2 dalam elektrolit polimer berperan dalam meningkatkan konduktivitas ionik dan transfer jumlah kation. Penambahan TiO_2 ke dalam matriks polimer PVdF-HFP mampu meningkatkan kekuatan mekanik dan menjaga karakter polimer pada kandungan filler yang tinggi. Stabilitas elektrokimia yang sangat baik dari elektrolit polimer dicapai dengan komposisi berat TiO_2 10-60%. Migrasi ion dipromosikan oleh TiO_2 dengan konstanta dielektrik tinggi yang berasal dari sifat dipol yang melekat. Berkaitan dengan peran ini TiO_2 dapat mengurangi agregasi ion dalam medium elektrolit yang berasal dari bahan dielektrik dan interaksi kimia antara TiO_2 dan PVdF-HFP[6].

Struktur membran berpori menentukan konduktivitas ionik dan sebagai solusi kebocoran dari elektrolit polimer berpori[7]. Membran ideal untuk elektrolit polimer berdasarkan PVdF-HFP harus memiliki porositas tinggi dan diameter pori yang kecil dengan distribusi ukuran pori sempit. Porositas harus sekitar 80% dan diameter pori harus $<1 \mu m$ [8]. Struktur membrane berpori menjadi penting untuk kinerja polimer elektrolit yang baik [9].

Beberapa peneliti sebelumnya telah melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan TiO_2 dalam polimer PVdF- HFP seperti yang telah disebutkan diatas. Makalah ini membahas pengaruh penambahan TiO_2 pada pembuatan lembaran polimer elektrolit dari campuran polimer PVdF- HFP dan garam elektrolit LiBOB untuk aplikasi baterei lithium.

2. Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan untuk membuat lembaran elektrolit adalah *poly(vinylidene fluoride-hexafluoropropylene)* (PVdF-HFP) dari Sigma Aldrich sebagai polimer, *lithium bis(oxalate) borat* (LiBOB) dari Sigma Aldrich sebagai garam lithium dan *titanium oxida* (TiO_2) dari Merck sebagai aditif (*filler*). Sebagai pelarut digunakan *N,N-dimethylacetamide* (DMAC) dari Merck karena bahan bahan yang digunakan dalam eksperimen ini mudah larut dengan baik. Bahan yang digunakan untuk uji setengah sel dengan *coin cell* adalah *lithium* fero phospat ($LiFePO_4$) komersial sebagai katoda dan *lithium* metal sebagai anoda sedangkan lembaran polimer elektrolit ini berfungsi sebagai separator sekaligus elektrolit.

Lembaran polimer elektrolit dibuat dengan metode *solution casting*. Tahap pertama dalam pembuatan lembaran adalah dengan membuat *slury* (larutan kental) dengan melarutkan garam elektrolit LiBOB dan *additive* (TiO_2) ke dalam pelarut DMAC melalui proses *mixing* hingga larut dengan variasi komposisi seperti pada tabel 1. Proses *mixing* dilakukan diatas *hot plate* dengan bantuan *magnetic stirrer* pada suhu 70-80°C dengan kecepatan 240 rpm. Tahap berikutnya, larutan campuran tersebut ditambahkan PVdF-HFP dengan komposisi seperti pada tabel 1 sebagai matriks polimer dengan proses yang sama hingga terbentuk *slury*. *Slury* yang dihasilkan kemudian di *casting* pada papan/subrat gelas kemudian dibiarkan hingga mengering pada kondisi suhu kamar.

Tabel 1. Komposisi sampel untuk lembaran polimer elektrolit.

Nama Sampel	Komposisi Material Elektrolit		
	Polimer	TiO ₂	LiBOB komersial
P1	70 %	0 %	30 %
P2	70 %	2 %	28 %
P3	70 %	5 %	25 %

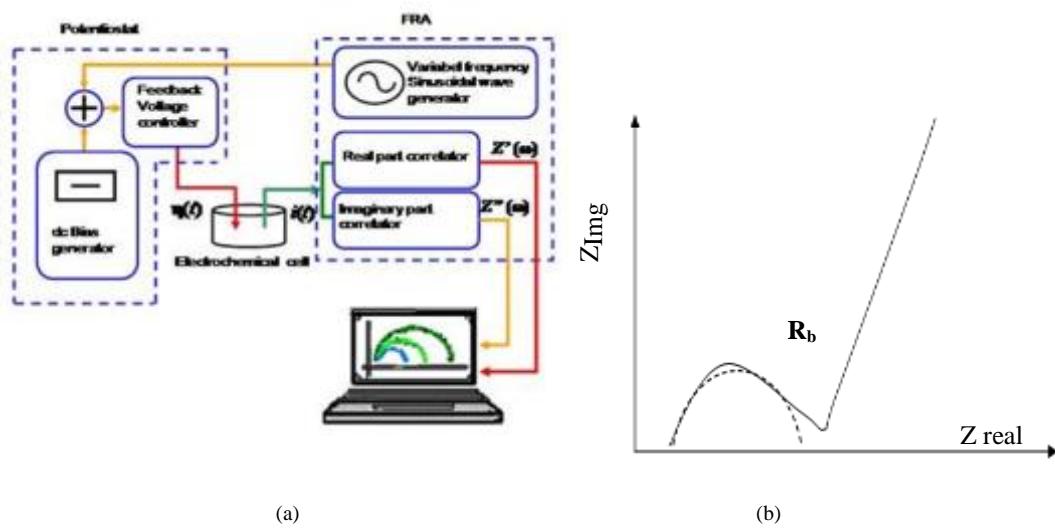
Karakterisasi lembaran polimer elektrolit pada penelitian ini menggunakan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk mengamati interaksi elektron maupun ion yang berpindah pada komponen sel selama reaksi elektrokimia [3]. Alat yang digunakan adalah LCR meter, HIOKI 3532150 *chemical impedance meter*. Morfologi lembaran polimer elektrolit diamati menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) 20 kV dengan perbesaran 100x dan 500x.

Pembuatan sel baterai dilakukan untuk mengukur kinerja lembaran polimer elektrolit yang telah dibuat. Sel baterai terdiri dari anoda, katoda, separator dan elektrolit. Lembaran elektrolit polimer yang sudah dibuat, berperan sebagai separator dan elektrolit. LiFe₂PO₄ digunakan sebagai katoda dan Li metal sebagai anoda. Pembuatan sel baterai ini dilakukan di dalam *glove box* dan selanjutnya dilakukan pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV) dan *charge discharge* menggunakan alat WBCS3000, *automatic battery cycler*.

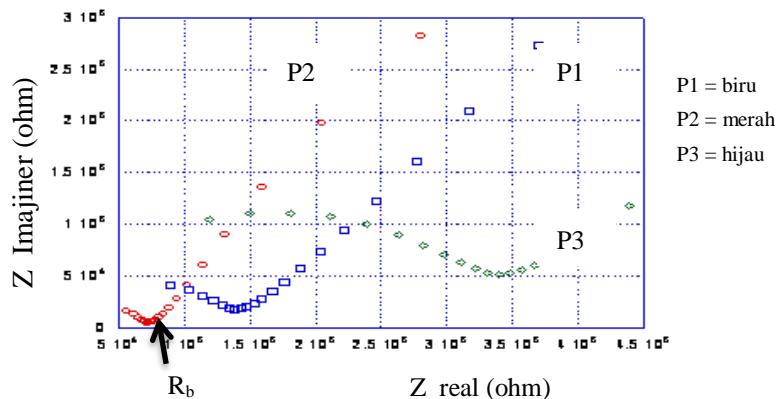
3. Hasil dan Diskusi

EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*)

Skematik pengukuran dengan EIS dapat diliat pada gambar 1a. Alat uji konduktifitas (HIOKI 3532-50) akan menghasilkan data-data dari hasil respon sampel terhadap rentang frekuensi yang diberikan berupa nilai impedansi real (Z') dan impedansi imajiner (Z''). Jika diplot antara Z' dan Z'' maka akan dihasilkan kurva Nyquist seperti gambar 1b. Rentang frekuensi yang digunakan pada pengujian (10Hz – 100kHz). Perhitungan konduktivitas dilakukan dengan interpretasi pola busur setengah lingkaran yang terbentuk, dimana akan didapatkan nilai R_b (*bulk resistance*).

**Gambar 1.** (a) Skematik pengukuran dengan EIS (b) kurva Nyquist

Hasil pengukuran impedansi menggunakan alat LCR meter dalam bentuk grafik *impedansi* ditampilkan pada gambar 2. Konduktifitas ionik untuk sistem lembaran polimer elektrolit dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $\tau = t / (R_b * A)$, dimana τ adalah konduktifitas ionik, t adalah ketebalan sampel (cm), R_b adalah hambatan yang terukur dan A adalah luas penampang sampel (cm^2) pada kontak dengan stainless steel plate dari alat LCR meter, yang berfungsi sebagai penahan elektroda (a blocking electrode). Nilai R_b didapatkan dengan menentukan garis semicircle yang memotong sumbu x. Terlihat pada gambar 2. menunjukkan bahwa nilai hambatan (R_b) pada sampel P2 yaitu sampel dengan komposisi 70 % polimer, 28 % garam LiBOB dan 2% TiO_2 adalah yang paling kecil.



Gambar 2. Grafik impedansi lembaran polimer elektrolit untuk sampel P1, P2 dan P3

Hal ini mengindikasikan bahwa sampel P2 mempunyai nilai konduktifitas terbesar bila dikaitkan dengan persamaan diatas. Nilai konduktifitas untuk masing – masing sampel ditampilkan pada tabel 2. Berdasarkan tabel 2. terlihat bahwa penambahan TiO_2 sangat mempengaruhi besarnya nilai konduktifitas. Berdasarkan penelitian ini menunjukkan bahwa nilai optimum penambahan TiO_2 yang dapat meningkatkan nilai konduktifitas adalah 2 %.

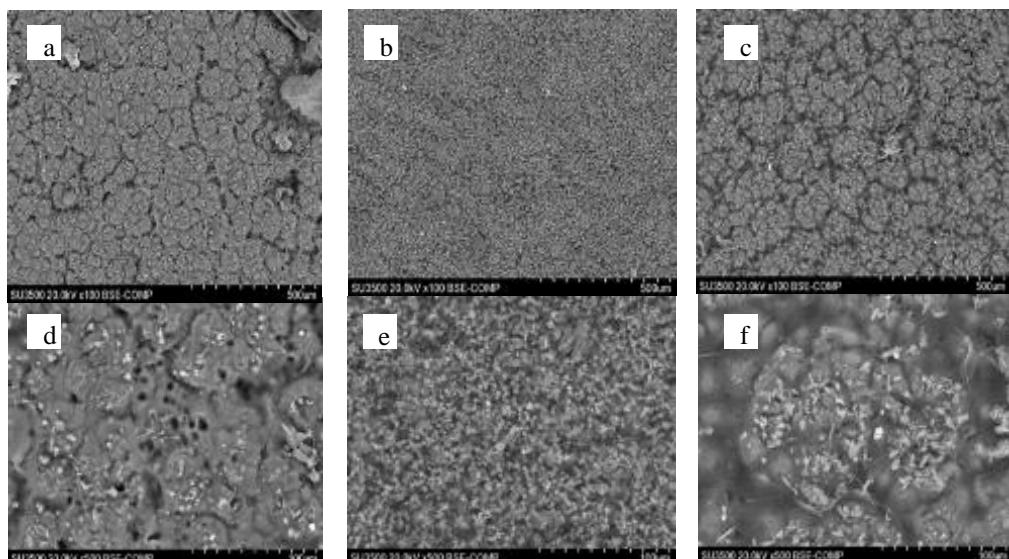
Tabel 2. Nilai Konduktivitas untuk sampel P1, P2 dan P3

Sampel	Tebal (cm) $\times 10^{-3}$	Luas /A (cm^2) $\times 10^{-3}$	$R_b (\Omega) \times 10^{-5}$	$(R_b \times A) \times 10^{-3}$	$\tau = (t / R_b A) \times 10^{-6}$	$\tau (S/cm) \times 10^{-6}$
P1	1,3	9,636	1,40	0,135	9,637	9,64
P2	1,3	9,636	0,75	0,072	17,988	1,79
P3	7,0	9,636	3,30	31,799	0,220	2,20

Analisa morfologi permukaan dengan SEM

Pengujian SEM dilakukan untuk mengidentifikasi morfologi permukaan secara kualitatif. Tujuan pengujian SEM adalah untuk mengetahui gambaran profil mikrostruktur dari lembaran polimer elektrolit yang berisi PVdF HFP, LiBOB dan TiO_2 dengan komposisi tertentu seperti yang tercantum pada tabel 1. Gambar 3 menunjukkan profil mikrostruktur untuk sampel P1, P2 dan P3. Tujuan dari penelitian ini adalah ingin mengetahui pengaruh penambahan TiO_2 dalam pembuatan lembaran polimer elektrolit. Dimana TiO_2 berfungsi untuk meningkatkan konduktivitas ionik, TiO_2 dapat mengurangi agregasi ion dalam medium elektrolit yang berasal dari bahan dielektrik dan interaksi kimia antara TiO_2 dan PVdF-HFP [6]. Dengan penambahan TiO_2 pada pembuatan lembaran elektrolit tersebut terlihat jelas peran TiO_2 seperti yang disajikan pada gambar 3a dan 3b dimana dengan penambahan TiO_2 akan mengurangi agregasi ion. Namun dengan penambahan

TiO_2 berlebih akan menyebabkan terjadinya agregasi ion sehingga akan menurunkan konduktivitas terlihat pada Gambar 3c. Penambahan TiO_2 sebagai aditif (*filler*) sebanyak 2 % memperlihatkan permukaan sampel terlihat halus, seragam serta berpori hal ini menggambarkan bahwa polimer, garam dan aditif lainnya yang digunakan mempunyai sifat kompatibel yang baik. Struktur membran berpori menjadi penting untuk kinerja polimer elektrolit yang baik [8]. Hal ini juga menunjukkan telah terbentuk fasa amorf dan terlarutnya garam lithium secara sempurna. Penambahan TiO_2 sebesar 10–60 % dapat menjaga kestabilan elektrokimia dari polimer elektrolit [6]. Sedangkan dalam makalah ini jumlah TiO_2 yang ditambahkan hanya sampai 5 %. Karena penambahan TiO_2 diatas 5 % akan merubah sampel lembaran polimer elektrolit seperti sampel tanpa penambahan TiO_2 , hal ini ditunjukkan pada Gambar 3c menyerupai 3a dan 3f menyerupai 3d. Selain morfologi permukaan sampel, penambahan TiO_2 sebanyak 5% akan menurunkan konduktifitas juga. Sehingga variasi sampel untuk penambahan TiO_2 dalam makalah ini hanya dilakukan sampai penambahan TiO_2 sebesar 5 %.

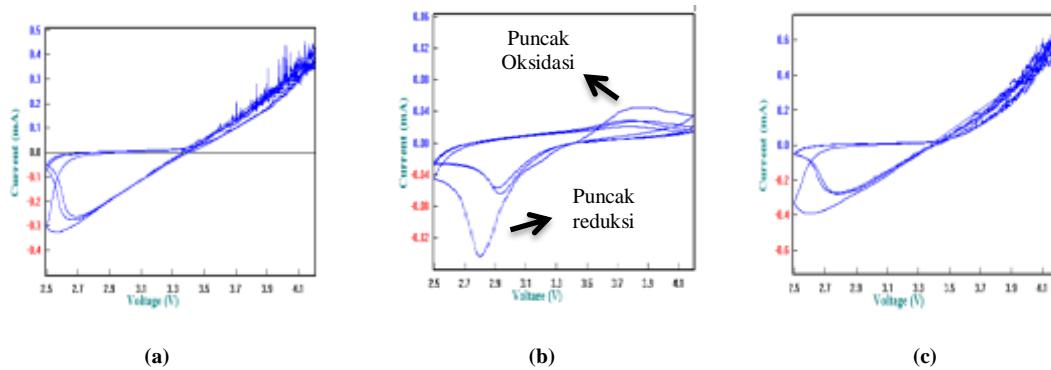


Gambar 3. Morfologi pori lembaran elektrolit (a) sampel P1, (b) Sampel P2 dan (c) Sampel P3 menggunakan SEM dengan perbesaran 20 kV x 100 dan 20 kV x 500

Analisa *Cyclic Voltammetry* (CV)

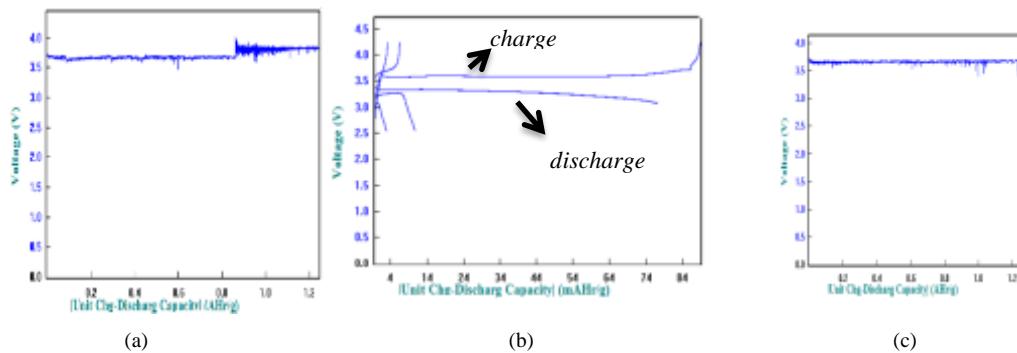
Pada pengujian *cyclic voltammetry*, lembaran polimer elektrolit ini berperan sebagai separator sekaligus sebagai elektrolit. Sebagai katoda digunakan lembaran *lithium fero phospat* dan anoda menggunakan lithium metal. Kurva CV merepresentasikan proses elektrokimia baterai pada saat proses pengisian dan pemakaian. Kurva CV terdiri dari 2 puncak yaitu puncak oksidasi pada daerah arus positif dan puncak reduksi pada daerah arus negatif. Pada saat pemakaian (*discharging*) terjadi proses interkalasi yaitu ion lithium bergerak dari anoda ke katoda atau disebut sebagai puncak reduksi. Sebaliknya pada saat pengisian (*charging*) terjadi proses deinterkalasi yaitu ion lithium bergerak dari katoda ke anoda atau disebut puncak oksidasi [10].

Dari Gambar 4. Dapat diketahui nilai arus dan tegangan saat terjadi reaksi oksidasi dan saat terjadi reaksi reduksi. Besarnya nilai voltase untuk sampel P1, P2 dan P3 saat terjadi reaksi oksidasi dan reduksi disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Hubungan antara arus vs tegangan untuk sel $LiFePO_4$ /Li dengan lembaran polimer elektrolit : (A) pada sampel P1, (B) untuk sampel P2 dan (C) untuk sampel P3

Dalam makalah ini lembaran polimer elektrolit dengan penambahan TiO_2 sebanyak 2% gambar 4b (sampel P2) mempunyai sifat reversibilitas yang paling baik karena memperlihatkan bentuk kurva *cyclic voltametri* yang paling sempurna terbentuk puncak reduksi oksidasi dan memiliki jarak yang kecil antara puncaknya, maka semakin mudah ion lithium mengalami proses interkalasi-deinterkalasi.



Gambar 5. Hubungan antara tegangan vs kapasitas untuk sel $LiFePO_4$ /Li dengan lembaran polimer elektrolit : (a) pada sampel P1, (b) untuk sampel P2 dan (c) untuk sampel P3.

Analisis Charge / Dishcharge

Pengujian *charge-discharge* dilakukan untuk mengetahui kemampuan suatu baterai dalam menyimpan energi. Pada pengujian *charge-discharge* terjadi proses mekanisme reaksi baterai ion lithium dimana pada saat charging di anoda, ion lithium berinterkalasi masuk ke *host* anoda sedangkan saat proses discharging terjadi de interkalasi ion lithium yang artinya ion lithium keluar dari *host* anoda. Baterai yang efisien seharusnya memiliki kapasitas *charge-discharge* yang sama, kemampuan menyimpan (kapasitas *charge*) harus sama dengan kemampuan mengeluarkan (kapasitas *discharge*). Dengan pengujian *charge-discharge* pada ketiga sampel didapatkan kurva seperti pada gambar 5. Hanya pada gambar 5b terlihat bahwa sel yang menggunakan sampel lembaran elektrolit dengan komposisi TiO_2 sebesar 2 % telah menunjukkan proses *charge-discharge* sempurna yaitu diperoleh kapasitas *charge* kurang lebih sebesar 84 mAH/g dan *discharge* kurang lebih 74 mAH/g. Besar kecilnya nilai kapasitas dipengaruhi oleh kemampuan

anoda menyediakan tempat penyimpanan ion lithium dalam *layer host* anoda dan mampu mengembalikan secara keseluruhan saat baterai digunakan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi dapat disimpulkan bahwa pengaruh penambahan TiO_2 sebesar 2% sebagai *filler* dalam pembuatan lembaran elektrolit dengan komposisi 70 % polimer, 28 % garam LiBOB akan meningkatkan nilai konduktivitas ion, meningkatkan sifat reversibilitas dan kemampuan sebagai baterai dalam menyimpan energi dan sebaliknya untuk penambahan TiO_2 sebesar 5%. Sehingga polimer elektrolit dengan komposisi 70% polimer, 28% garam LiBOB dan 2% TiO_2 diharapkan dapat diaplikasikan sebagai polimer elektrolit dengan performa yang baik.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

Daftar Pustaka

1. Fauteux, D., Massucco, A., McLin, M. and Van Buren, M., *Lithium Polymer Electrolyte Battery Rechargeable*, *Electrochimica Acta* Vol. 40, No. 13-14, 1995, 2185-2190.
2. Li, G., Li, Z., Zhang, P., Zhang, H. and Wu, Y., *Research on a Gel Polymer Electrolyte for Li-Ion Batteries*, *Pure Appl. Chem.*, Vol. 80, No. 11, 2008, 2553–2563.
3. Li, Z. H., Zhang, H. P., Zhang P. and Wu, Y. P., *Research Progress on P(VDF-HFP)-Based Porous-Gel Polymer Electrolytes*, *Chinese Polymer Bulletin*, No. 7, 2007, 8-16.
4. Chen, W., Liu, Y., Ma, Y. and Yang, W., *Improved Performance of Lithium Ion Battery Separator Enabled by Co-Electrospinnig Polyimide/Poly(Vinylidene Fluoride-Co-Hexafluoropropylene) and The Incorporation of TiO₂-(2-Hydroxyethyl Methacrylate)*, *Journal of Power Sources*, Vol. 273, 2015, 1127–1135.
5. Choe, H. S., Carroll, B. G., Pasquariello, D. M. and Abraham, K. M., *Characterization of Some Polyacrylonitrile-Based Electrolytes*, *Chemistry of Materials* Vol. 9, 1997, 369-379.
6. Kim, K. M., Ko, J. M., Park, N. G., Ryu, K. S. and Chang, S. H., *Characterization of Poly(Vinylidenefluoride-Co-Hexafluoropropylene)-Based Polymer Electrolyte Filled With Rutile TiO₂ Nanoparticles*, *Solid State Ionics* Vol. 161, No. 1, 2003, 121-131.
7. Pampal, E.S., Stojanovsk, E., Simon, Kilic, B. A., *A Review of Nanofibrous Structures in Lithium Ion Batteries*, *Journal of Power Sources* Vol. 300, 2015, 199–215.
8. Deng, F., Wang, X., Heb, D., Hua, J., Gong, C., Ye, Y. S., Xie, X. and Xue, Z., *Microporous Polymer Electrolyte Based on PVDF/PEO Star Polymer Blends for Lithium Ion Batteries*, *Journal of Membrane Science* Vol. 491, 2015, 82–89.
9. Shi, Q., Yu, M. X., Zhou, X., Yan, Y. S. and Wan, C. R., *Structure and Performance of Porous Polymer Electrolytes Based on P(VDF-HFP) for Lithium Ion Batteries*, *Journal of Power Sources* Vol. 103, No. 2, 2002, 286-292.
10. Liu, C., Neale, Z.G. and Cao, G., *Understanding Electrochemical Potentials of Cathode Materials in Rechargeable Batteries*, *Materials Today*, Vol. 19, No. 2, 2016, 109–123.

KAJIAN POTENSI SILICA SCALING PADA PIPA PRODUKSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI (GEOTHERMAL)

MOCH. ARIL INDRA PERMANA[†], NAUFAL NANDALIARSYAD, AHMAD QOSAM AMRUL HAQ, MUTIARA NAWANSARI, CUKUP MULYANA

*Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat, Telp. 022-7796014*

Abstrak. *Silica scaling* merupakan masalah yang sering ditemukan pada pembangkit listrik geothermal terutama yang memanfaatkan fluida *water dominated (brine)*. *Silica scaling* dapat terbentuk akibat adanya *flashing* yang menyebabkan penurunan tekanan, temperatur dan kenaikan pH sehingga kelarutan *brine* menjadi berubah. *Silica scaling* pada pipa produksi dapat menyumbat laju aliran fluida dan bahkan harus diganti. Dalam penelitian ini telah dilakukan kajian mengenai potensi *silica scaling* di pembangkit listrik tenaga *geothermal* di daerah Sumatera. Kajian dilakukan dengan melihat pengaruh perubahan temperatur, pH, dan salinitas ketika terjadi *flashing* terhadap potensi terbentuknya *silica scaling* dengan menggunakan *Silica Saturation Index (SSI)*. Hasil analisis dan perhitungan menunjukkan bahwa penurunan temperatur dan peningkatan pH akibat *flashing*, dan besar salinitas *brine* dapat meningkatkan potensi terbentuknya *silica scaling* pada pipa produksi dan keadaan asam merupakan kondisi terbaik untuk mencegah terbentuknya *silica scaling*.

Kata kunci: *Silica Saturation Index, silica scaling, brine, flashing, geothermal*

Abstract. Silica scaling is a problem that found in geothermal power plants, primarily which use utilizing water dominated fluids (brine). Silica scaling can be formed due to flashing which causes a decrease in pressure and temperature and an increase in pH so that the solubility of brine is changed. Silica scaling on production pipes can clog the fluid flow rate so that the pipe must be replaced. In this research, we have studied the potential of silica scaling at geothermal power plant in Sumatera. The study was conducted by looking the effect of temperature change, pH, and salinity when flashing on the potential of silica scaling by using silica saturation index (SSI). The results (analysis and calculations) show that the decrease in temperature and the increase of pH due to flashing, and the magnitude of brine salinity can increase the potential of silica scaling in production pipes and low pH (acid) conditions are the best conditions to prevent silica scaling.

Keywords: Silica Saturation Index, silica scaling, brine, flashing, geothermal

1. Pendahuluan

Energi panas bumi (*geothermal*) merupakan energi panas yang berasal dari dalam bumi yang dapat diperbarui (*renewable energy*) dan merupakan energi panas yang tersimpan dalam rekahan batuan atau fluida yang terkandung di bawah permukaan bumi. Energi ini dapat dimanfaatkan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil yang semakin menipis. Hasil produksi dari panas bumi dapat berupa uap kering (*superheated steam*), uap jenuh (*saturated steam*), dua fasa (*brine*), atau air panas [1].

Di Indonesia, sumber panas bumi yang banyak digunakan adalah fluida dua fasa (*brine*) dengan dominasi cair. Kandungan utama *brine* adalah larutan NaCl sebesar 80% dan kalium, kalsium, silika, dan nikarbonat yang merupakan unsur utama lainnya [2]. Untuk memisahkan kedua fasa tersebut, dilakukan *flashing* yang biasa terjadi di dalam reservoir saat fluida mengalir melalui

[†] email: arilindra21@gmail.com

formasi lapisan permeabel, pada sumur produksi menuju *wellhead*, *throttle valve*, separator dan *flasher* [3].

Flashing yang terjadi akan memengaruhi komposisi *brine* yaitu semakin pekatnya konsentrasi *silica* karena kehilangan sejumlah air yang berubah menjadi uap akibat penurunan tekanan dan temperatur, dan terjadinya pelepasan gas seperti CO_2 dan H_2S yang akan memengaruhi pH *brine* [2]. Akibatnya timbul suatu masalah proses produksi sumber energi *geothermal* pada sistem *flash steam* ini yaitu terbentuknya *scaling*.

Scaling didefinisikan sebagai pembentukan endapan atau kerak yang berasal dari mineral garam terlarut dalam air pada suatu media kontak tertentu. Salah satu penyebab terbentuknya *scaling* adalah adanya kandungan silika (SiO_2) yang terkandung dalam *brine* [4]. Sifat-sifat yang memengaruhi konsentrasi kelarutan silika dalam pembentukan *scale* adalah temperatur, kadar garam (salinitas), dan nilai keasaman (pH). Ketika terjadi perubahan tekanan, temperatur, dan pH pada suatu sistem, keseimbangan ion-ion yang terkandung akan melebihi kelarutannya, sehingga terbentuk suatu endapan.

Scaling umumnya dapat dijumpai pada pipa antara daerah *wellhead* dengan separator, *flasher*, pipa *liquid* setelah separator (yang kemudian dibuang ke kolam penampungan) dan sumur reinjeksi sehingga dapat mengganggu proses operasional pemanfaatan *geothermal* pada *pipelines*, turbin, maupun sumur injeksi. Hal tersebut terjadi karena *scaling* dapat mengakibatkan penyumbatan pipa, sehingga mengurangi laju aliran dan dampak jangka panjangnya harus dilakukan penggantian. Oleh karena itu kajian tentang potensi *scaling* sangat diperlukan pada operasi lapangan panas bumi.

Upaya pencegahan yang seringkali dilakukan adalah dengan menginjeksi zat kimia pengontrol *scale* (*inhibitor scale*), baik pada sumur maupun pada pipa-pipa dan peralatan produksi. Zat kimia tersebut bekerja dengan cara menjaga partikel pembentuk *scale* tetap dalam larutan, sehingga diharapkan tidak terjadi pengendapan. Hal ini dapat terjadi karena inhibitor bekerja untuk mencegah terbentuknya reaksi polimerisasi silika yang disebabkan penurunan kelarutan silika. Laju polimerisasi silika dalam keadaan minimum pada keadaan asam dan akan meningkat seiring dengan kenaikan pH. Maka dari itu, inhibitor *scale* yang biasa digunakan adalah asam kuat seperti HCl dan H_2SO_4 .

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mengkaji faktor yang memengaruhi potensi silika *scaling* di salah satu pembangkit listrik tenaga panas bumi di daerah Sumatera. Diharapkan dengan mengetahui potensi silika *scaling* tersebut, maka dapat ditentukan kondisi operasi yang sesuai agar masalah silika *scaling* dapat dihindari.

2. Bahan dan Metode

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder dari salah satu pembangkit listrik *geothermal* di daerah Sumatera yang diperoleh dari buku literatur, dan laporan-laporan penelitian terdahulu.

Metoda yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan penerapan parameter *silica saturation index* (SSI) yang dihitung berdasarkan data komposisi kimia fluida, temperatur, dan pH di separator dan *flasher*. Parameter SSI ini membandingkan konsentrasi silika dalam larutan dengan kelarutan silika amorf pada kondisi yang sama.

- SSI > 1, fluida dalam kondisi *supersaturated* dan *scaling* dimungkinkan terjadi.
- SSI = 1, fluida dalam kondisi *saturated*.
- SSI < 1, fluida dalam kondisi *undersaturated*, sehingga tidak mungkin terjadi pengendapan.

$$SSI = \frac{Q(t_1, m)}{[s(T, m)(1-x_2)]} \quad (1)$$

Dengan

$Q(t_1, m)$	= kelarutan quartz pada temperatur reservoir (t_1) dan salinitas m
$s(T, m)$	= kelarutan amorf pada temperatur flashing dan salinitas m
x_2	= kualitas uap <i>flashing</i>

Pembentukan silica scaling meningkat seiring dengan penurunan temperatur dan kenaikan pH akibat *flashing*. laju penebalan silica scaling yang terjadi pada pipa produksi dan estimasi waktu silica scaling dapat menyumbat pipa hingga 25% dari diameter pipa semula dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\dot{S}_t = \frac{[Q(T_1, m) - s(T_2, m)]}{1743 \times \rho_{silica}} \times 365 \quad (2)$$

$$t_{25\%} = \frac{D}{4 \times \dot{S}_t} \quad (3)$$

Dengan

\dot{S}_t	= Laju penebalan silica scaling (inch/tahun)
ρ_{silica}	= Densitas silica = 43,442 g/in ³
$Q(t_1, m)$	= kelarutan quartz pada temperatur reservoir (t_1) dan salinitas m
$s(T, m)$	= kelarutan amorf pada temperatur flashing dan salinitas m
D	= Diameter pipa (inch)

3. Eksperimen

Dengan menggunakan data sekunder yang didapat dari buku literatur dan laporan penelitian terdahulu, maka dilakukan perhitungan potensi *silica scaling* dengan menggunakan persamaan (1). Setelah didapat potensi terbentuknya *silica scaling*, di hitung laju penebalan *silica scaling* dan estimasi waktu yang dibutuhkan *silica scaling* untuk mengendap menutupi 25% diameter pipa produksi dari diameter semula dengan menggunakan persamaan (2) dan (3).

Dari beberapa faktor yang berpengaruh terhadap pembentukan *silica scaling*, faktor kenaikan pH merupakan faktor yang dapat dilakukan rekayasa berupa pemberian treatment asam. Dengan memvariasikan pH *brine* dari 5-9 maka akan terlihat pengaruh perubahan pH terhadap laju penebalan silica scaling dan waktu penyumbatan pada pipa produksi. Diharapkan hasil tersebut dapat digunakan sebagai acuan keadaan terbaik untuk menjaga efisiensi dari pipa produksi pembangkit.

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan SSI pada tabel 1, pada cluster C dan D berpotensi terbentuk *silica scaling* yang ditandai nilai SSI>1 yaitu berturut turut 1,27 dan 1,38. Faktor-faktor yang

memengaruhi pembentukan *silica scaling* ini adalah salinitas, peningkatan pH, dan penurunan temperatur akibat *flashing*.

Tabel 1. Hasil perhitungan SSI di lapangan

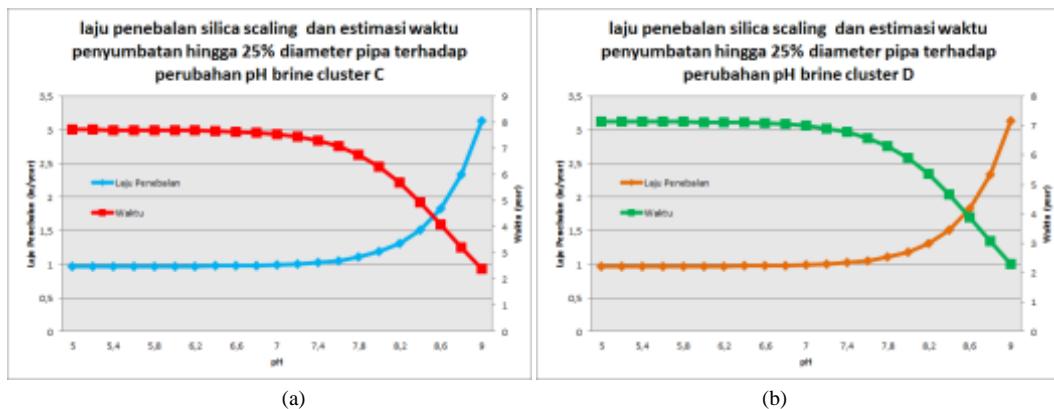
Cluster	$T_{Cluster}$ (°C)	Cl_{surf} (ppm)	SiO_{2surf} (ppm)	$pH_{Cluster}$	T_{Sep} (°C)	pH_{Sep}	SSI
C	270	995,00	610,00	6,40	175,7	8,60	1,27
D	270	1092,00	727,00	6,25	178,3	8,84	1,38

Seperti terlihat pada Tabel 2, pada pembangkit *cluster C*, di daerah separator 1 dibutuhkan sekitar 4 tahun 1 bulan 16 hari hingga pipa tersumbat 25% dari diameter pipa yang diasumsikan sebesar 15 inch. Sehingga, agar menghasilkan efisiensi pembangkit yang optimum, perlu dilakukan pemeliharaan tiap kurang dari 4 tahun 1 bulan 16 hari untuk mencegah tersumbatnya pipa sebesar 25% akibat *silica scaling*. Hal yang sama terjadi pada *Cluster D*, dengan waktu estimasi penyumbatan pipa hingga 25% adalah 3 tahun 23 hari. Waktu estimasi penyumbatan di *cluster D* lebih kecil dikarenakan tingkat salinitas dan kenaikan pH yang tinggi setelah *flashing* yang mengakibatkan peningkatan potensi terbentuknya *silica scaling* dan laju penebalan *silica scaling*. Meskipun penurunan temperatur pada *cluster D* lebih kecil dibanding *cluster C*, namun dikarenakan faktor pH dan salinitas yang lebih dominan maka potensi *silica scaling* dan laju penebalan *silica scaling* pada *cluster D* menjadi lebih besar.

Tabel 2. Waktu Penyumbatan Pipa Hingga 25% dari Diameter Semula

Cluster	Lokasi	SSI	\dot{S}_t (in/tahun)	$t_{25\%}$ (tahun)
C	Separator 1	1,27	1,834	4,088
D	Separator 2	1,38	2,338	3,065

Pada Tabel 3, ketika *brine* diberi treatment berupa sama, dengan merubah pH *brine* menjadi 5, terlihat bahwa potensi *silica scaling* menjadi berkurang (SSI<1). Sehingga, dengan menjaga pH *brine* pada pipa produksi dapat menghindari potensi terbentuknya *silica scaling*. Pada keadaan asam, laju polimerisasi silika terlarut pada *brine* akan menjadi minimum. Sehingga reaksi dalam membentuk *scaling* semakin minimum.



Gambar 1. Grafik laju penebalan *silica scaling* dan estimasi waktu penyumbatan hingga 25% diameter pipa terhadap perubahan pH brine pada (a) *Cluster C* dan (b) *Cluster D*

Dari Gambar 1, grafik laju penebalan silica scaling dan estimasi waktu penyumbatan hingga 25% diameter pipa terhadap perubahan pH *brine* pada *Cluster C* dan *D* terlihat bahwa terjadi peningkatan laju penebalan *silica scaling* secara signifikan pada titik pH >7 . Ini mengindikasikan bahwa pada keadaan asam (pH < 7), laju penebalan *silica scaling* pada keadaan minimum yang ditandai dengan estimasi waktu penyumbatan pipa produksi hingga 25% menjadi semakin besar.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, beberapa faktor penyebab terbentuknya *silica scaling* adalah penurunan temperatur, kenaikan pH dan salinitas. Dari ketiga faktor tersebut, faktor kenaikan pH merupakan faktor yang dapat ditangani dengan pemberian inhibitor *scale* berupa asam untuk menghambat laju polimerisasi silika. ini dibuktikan pada tabel 3, dimana nilai SSI pada cluster C dan D berada pada nilai kurang dari 1 dan pada Gambar 1 terlihat bahwa laju penebalan *silica scaling* terjadi peningkatan pada pH > 7 dan cenderung stabil pada keadaan asam. Inhibitor *scale* yang biasa digunakan adalah asam kuat seperti HCl dan H₂SO₄.

Tabel 3. Hasil perhitungan SSI setelah injeksi asam

Source	T _{Cluster} (°C)	Cl _{surf} (ppm)	SiO _{2surf} (ppm)	pH _{Cluster}	T _{Sep} (°C)	pH _{Sep}	SSI
C	209,88	879,00	589,00	6,40	175,7	5	0,434
D	209,99	1057,00	680,00	6,25	178,3	5	0,422

7. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Potensi *silica scaling* semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kadar pH, besarnya salinitas *brine*, dan penurunan temperatur akibat *flashing*.
2. Pada keadaan asam (pH < 7), laju polimerisasi silika pada keadaan minimum dan potensi terbentuknya *silica scaling* akan menurun. Sehingga laju penebalan menjadi menurun dan waktu estimasi penyumbatan akan semakin lama. Sehingga produksi dari pembangkit akan semakin baik.
3. Untuk memperpanjang umur dan efisiensi yang dihasilkan dari pipa produksi pembangkit, disaran kan untuk dilakukan *treatment* berupa injeksi asam untuk menjaga pH *brine* tetap dalam keadaan asam.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan Ahmad Taufik yang telah membantu penulis dalam memberikan pengarahan dan bimbingannya dalam menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

1. Irawan, S., Ratnaningsih, W.E., Nurmabruruh, S., Anggraini, F.A., dan Dzakiya, N, *Pemboran Sumur Eksplorasi dan Pengembangannya*, Makalah Tugas Mata Kuliah Eksplorasi Panas Bumi, S2 Ilmu Fisika UGM Yogyakarta.
2. DiPippo, R., *International Development in Geothermal Power Production*, Geothermal Resource Council Bulletin, 1988.
3. Edward, F.W., *Geothermal Energy Utilization*, John Wiley & Sons, USA, 1997.
4. Lestari, M. G., Wahyuni, S. dan Sitaresmi, R., *Problema “Scaling” di Beberapa Lapangan Migas*. Proceeding Simposium Nasional IATMI 25 - 28 Juli 2007, UPN “Veteran” Yogyakarta.

ANALISA SIFAT ADSORPSI LOGAM BERAT PADA ECENG GONDOK DALAM PENGELOLAAN AIR LIMBAH ELEKTROPLATING

SARAH MUSTARI, SRI SURYANINGSIH[†], MARIAH KARTAWIDJAJA

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat, Telp. 022-7796014

Abstrak. Pertumbuhan penduduk dunia yang sangat cepat dan perkembangan industri yang semakin pesat menyebabkan semakin banyak bahan buangan yang bersifat racun yang dibuang ke lingkungan dalam bentuk limbah padat, cair dan gas. Limbah dalam bentuk cair yang ada dalam industri elektroplating sebagai proses elektrolisa yang menyisakan logam berat seperti Fe, Cu dan Pb. Tanaman Eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) dapat dimanfaatkan menjadi bahan adsorben yang merupakan tanaman gulma dengan waktu tumbuh sangat cepat, sehingga dapat mengganggu aliran air dan mempercepat pendangkalan perairan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui sifat adsorpsi eceng gondok pada limbah cair yang diperlakukan dalam variasi waktu perendaman selama 30, 60, dan 90 menit. Pengujian adsorpsi pada eceng gondok dengan metoda SEM-EDS (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*). Kandungan unsur logam optimal dari variasi waktu perendaman dari hasil SEM-EDS menunjukkan kadar logam Fe sebesar 2,453% pada waktu perendaman 60 menit dibandingkan dengan logam Cu, dan Pb. Nilai optimal pada proses adsorpsi eceng gondok dibandingkan dengan sifat absorpsi limbah elektroplating dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) sesuai, dimana semakin besar sifat adsorpsi eceng gondok maka semakin besar penurunan konsentrasi logam yang terkandung di dalam limbah cair elektroplating sebesar 99,24%.

Kata kunci: Eceng gondok, adsorpsi, limbah

Abstract. The rapid growth of world population and industrial development led to a growing number of toxic waste material that is dumped into the environment in the form of solids, liquids and gases. Waste in liquid form is present in the electroplating industry as an electrolytic process which leaves heavy metals such as Fe, Cu and Pb. Plants Eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) can be utilized as an adsorbent material which is a fast growing weed plant, so it can disrupt the flow of water and accelerate the sinking of waterways. The purpose of this study was to determine the adsorption properties of water hyacinth in liquid waste which was treated in variation of immersion time for 30, 60, and 90 minutes. Tests on water hyacinth adsorption was done by use of SEM-EDS (*Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*). The content of the metal element of the optimal soaking time variation of SEM-EDS results showed levels of 2,453% Fe on a soaking time of 60 minutes compared to that of Cu, and Pb. The optimum value on the adsorption process hyacinth is in line with absorption properties of electroplating waste as measured by AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*), where the greater adsorption properties of water hyacinth, the larger the decrease in the concentration of metal contained in the electroplating wastewater amounted to 99.24%.

Keywords: Water hyacinth, adsorption, waste

1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk dunia yang sangat cepat dan perkembangan industri yang semakin pesat menyebabkan semakin banyak bahan buangan yang bersifat racun yang dibuang ke lingkungan. Bahan-bahan buangan ini yang nantinya menjadi limbah dan mencemari lingkungan dalam jumlah yang sulit di kontrol secara tepat. Di Indonesia, sumber pencemar dapat berasal dari limbah elektroplating. Limbah elektroplating merupakan limbah industri yang berasal dari proses elektroplating, proses elektroplating adalah suatu proses pengendapan logam pada permukaan

[†] email: sri@phys.unpad.ac.id

suatu logam atau non logam, secara elektrolisa [1]. Indonesia sebagai negara dengan keanekaragaman hayati yang luas memiliki kekayaan alam yang sangat melimpah, salah satunya pada bahan organik yang berserat yaitu eceng gondok karena pada eceng gondok memiliki kemampuan dalam menyerap logam. Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) pertama kali ditemukan oleh Carl Friedrich Philipp Von Martius, seorang biotanis berkebangsaan Jerman pada tahun 1824 ketika sedang melakukan ekspedisi di Sungai Amazon, Brazil. Eceng gondok pertama kali didatangkan ke Indonesia pada tahun 1894 dari Brazil untuk koleksi Kebun Raya Bogor. Eceng gondok merupakan tumbuhan yang dianggap gulma bagi lingkungan perairan. Eceng gondok ini merupakan salah satu bahan serat alam yang belum banyak termanfaatkan sehingga potensinya yang cukup beragam. Kandungan kimia eceng gondok itu sendiri yaitu 60% selulosa, 8% hemiselulosa, dan 17% lignin [2].

Terjadinya penyerapan logam berat dengan adanya mikroba rhizosfera pada akar dan didukung oleh daya adsorpsi serta akumulasi yang besar terhadap bahan pencemar tertentu, maka dapat dimanfaatkan sebagai alternatif pengendali pencemaran perairan[3]. Penyerapan pada eceng gondok tidak hanya terjadi pada akarnya saja, tetapi pada batang eceng gondok juga dapat menyerap logam karena terdapat serat pada batang eceng gondok. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui sifat adsorpsi eceng gondok pada limbah cair yang diperlakukan dalam variasi waktu perendaman.

2. Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini yaitu aquades, batang eceng gondok yang terdapat di daerah Desa Tanjung Sari Kecamatan Cikarang Timur Kabupaten Bekasi yang selanjutnya dijadikan serbuk dan limbah cair elektroplating yang diambil dari Jasa Platingan di daerah Bekasi, Pengujian penyerapan logam dengan mengamati morfologi dan komponen unsurnya menggunakan SEM-EDS (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) dan mengetahui konsentrasi logam berat yang berada pada limbah elektroplating menggunakan uji AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*).

3. Eksperimen

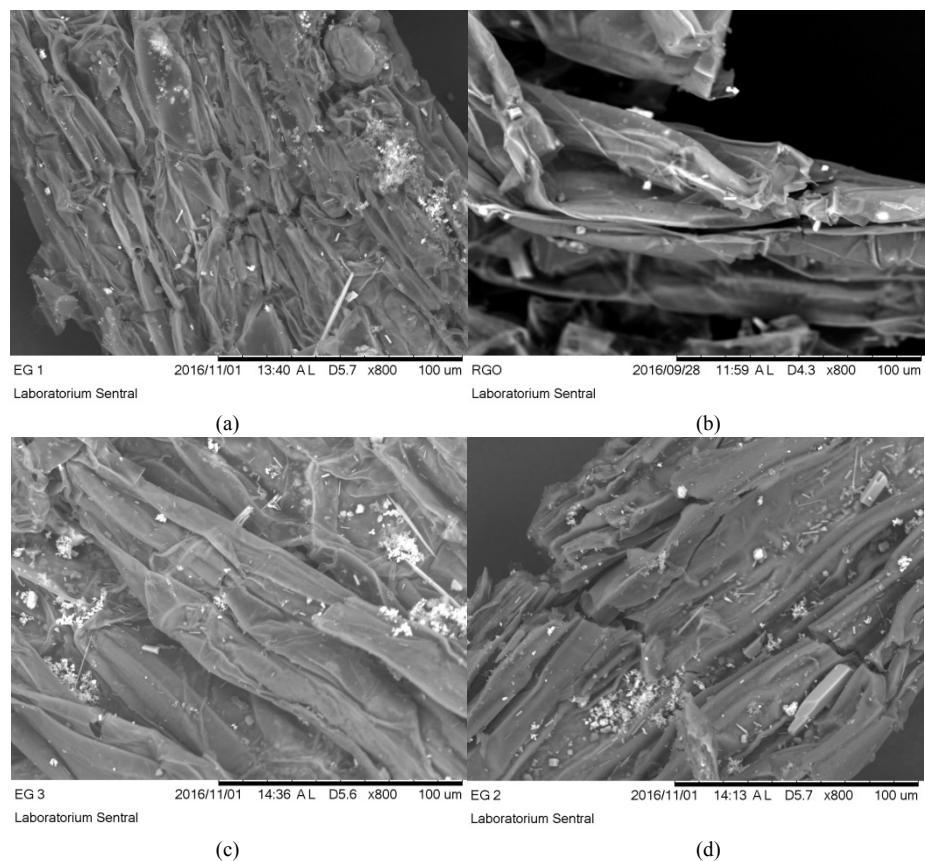
Preparasi Bahan. Bahan yang digunakan adalah batang eceng gondok. Batang eceng gondok yang telah dibersihkan dengan air. Kemudian batang tersebut dikeringkan dengan sinar matahari selama 3 hari, mulai dari jam 08.00 sampai jam 17.00 WIB/hari dengan suhu lingkungan 25°C sampai 31°C. Setelah bahan kering atau memiliki kadar air yang hilang cukup besar. Kemudian bahan dihaluskan dengan *blender* selama 2 menit dengan kecepatan 18.000-21.000 rpm. Setelah halus bahan disaring dengan ukuran 60 *mesh*. Limbah elektroplating yang akan digunakan adalah limbah cair yang dibuang ke lingkungan atau air limbah hasil dari proses platingan.

Proses Uji Adsorpsi Bahan. Eceng gondok sebanyak 100 mg pada konsentrasi 4 mg/ml dengan pelarut aquades sebanyak 25 ml, dihomogenkan dengan magnetic stirrer selama 5 menit dengan kecepatan putar 300 rpm. Kemudian larutan eceng gondok dicampurkan dengan limbah cair elektroplating sebanyak 75 ml. Larutan tersebut dihomogenkan dengan magnetic stirrer selama 15 menit dengan kecepatan 300 rpm. Setelah larutan homogen maka larutan diendapkan selama 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Setelah proses pengendapan larutan tersebut disaring dengan kertas saring, dan bahan yang mengendap kemudian dikeringkan di oven dengan suhu 60°C. Bahan yang telah kering kemudian ditimbang massa akhirnya.

Uji Adsorpsi Bahan. Sampel eceng gondok yang kering kemudian dianalisis menggunakan SEM-EDS (*Scanning Elektron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) untuk mengetahui morfologi serta komposisi kimianya. Jumlah sinar yang diserap tergantung pada konsentrasi larutan sehingga berlaku hukum Lambert-Beer, pada saat terjadi penyerapan logam berat pada adsorben sehingga dapat dihitung penurunan kadar logam. Selanjutnya cairan limbah elektroplating di uji dengan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) untuk mengetahui berapa banyak logam berat yang terdapat didalam limbah.

4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian serbuk eceng gondok menggunakan SEM-EDS dari pengujian sebelum perlakuan dan sesudah perlakuan. Gambar 1 menunjukkan hasil dari uji SEM, morfologi dari eceng gondok setiap perlakuan dan eceng gondok sebelum perlakuan pada pembesaran 800x. Pada eceng gondok dengan beberapa perlakuan dapat mempengaruhi perubahan morfologi pada eceng gondok tersebut, kecuali pada serat eceng gondok akan tetap sama karena memiliki ikatan yang kuat antar satu serat ke serat yang lain. Dari morfologi tersebut didapat sebuah komposisi kimia yang terkandung di dalam eceng gondok.



Gambar 1. Hasil uji metalografi eceng gondok yang direndam dalam limbah cair elektroplating dengan perbesaran 800x: (a) sebelum perlakuan, (b) selama 30 menit, (c) selama 60 menit, (d) selama 90 menit.

Tabel 1. menjelaskan bahwa hasil sebelum perendaman eceng gondong dengan limbah cair elektroplating didapat kandungan oksigen yang tinggi karena terdapatnya selulosa pada eceng gondok, sementara unsur logam lainnya memiliki kandungan yang rendah kurang dari 10%. Unsur Pb dan Fe tidak teramati dibandingkan dengan logam berat Cu sebesar 0,4878%.

Tabel 1. Hasil Uji EDS pada eceng gondok dalam limbah cair elektroplating

Unsur	Uji Komposisi Kimia (%)			
	Sebelum perlakuan	perendaman selama 30 menit	perendaman selama 60 menit	perendaman selama 90 menit
Fe	0	0,687	2,453	0,752
Cu	0,4878	0	0	0,115
Pb	0	0,94	0,467	0,307
C	42,108	56,291	52,787	48,735
O	39,016	35,54	44,293	47,012
Mg	0,808	0	0	0
Al	1,871	0	0	0
Cl	8,73	3,258	0	0
K	6,98	0	0	0
Ca	0	3,284	0	0,83
Zn	0	0	0	1,142
Br	0	0	0	1,117

Pada perendaman selama 30 menit kandungan timbal (Pb) sebesar 0,94% dan terus menurun pada perendaman selama 60 menit dan 90 menit. Untuk unsur besi (Fe) didapat peningkatan yang tajam pada perendaman selama 60 menit sebesar 2,453%. Sedangkan unsur Cu terjadi peningkatan pada saat perendaman selama 90 menit sebesar 0,115%. Bawa pada unsur Cu tidak terjadi perubahan yang signifikan. Eceng gondok dapat menyerap unsur logam Fe lebih besar dibandingkan dengan unsur logam lainnya.

Tabel 2. Selisih massa pada eceng gondok sebelum dan sesudah perlakuan

Perlakuan (menit)	Massa (g)		
	Sebelum	Sesudah	Δm
30	0,1	0,113	0,013
60	0,1	0,115	0,015
90	0,1	0,116	0,016

Tabel 2. menjelaskan nilai massa bahan sebelum pengeringan dan massa bahan setelah pengeringan dengan cahaya matahari selama 1 hari, 2 hari sampai dengan 3 hari. Didapat semakin lama pengeringan batang eceng gondok, maka semakin banyak massa yang berkurang pada batang eceng gondok. Karena ada air yang menguap ketika cahaya matahari memanaskan batang eceng gondok. Bahan yang digunakan adalah bahan dengan waktu pengeringan selama 3 hari, karena kadar air paling rendah.

Penurunan kadar logam pada limbah elektroplating terjadi karena adanya penyerapan logam pada eceng gondok atau terjadi peristiwa adsorpsi pada eceng gondok, sehingga terjadi pengurangan konsentrasi pada limbah elektroplating. Pada Tabel 3 menunjukkan hasil uji AAS pada larutan limbah didapat penurunan kadar logam semakin meningkat pada setiap waktu perendaman. Penurunan kadar maksimum Fe berada pada waktu selama 60 menit yaitu sebesar 99,24% dengan

kadar air 10%. Manurut Clara dapat menurunkan kadar Fe sebesar 79,6% oleh batang eceng gondok [5]. Waktu kontak dapat mempengaruhi penurunan kadar logam.

Tabel 3. Konsentrasi unsur logam Fe, Cu, dan Pb

Perlakuan (menit)	Pb		Cu		Fe	
	Konsentrasi (mg/L)		Konsentrasi (mg/L)		konsentrasi (mg/L)	
	Sebelum	sesudah	Sebelum	sesudah	Sebelum	sesudah
30	0,009244	0,005836	0,01196	0,008424	0,020668	0,050215
60	0,009244	0,003742	0,01196	0,006646	0,020668	0,030860
90	0,009244	0,002695	0,01196	0,005868	0,020668	0,034455

5. Kesimpulan

Penelitian yang telah dilakukan bahwa eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dapat menurunkan kadar ion logam berat yang terdapat pada limbah elektroplating. Hasil dari pengujian sebelum perlakuan dan sesudah perlakuan yaitu memiliki nilai maksimum pada waktu 60 menit yaitu memiliki massa dalam persentase sebesar 2,453% pada unsur Fe sehingga terdapat penyerapan pada eceng gondok atau penurunan konsentrasi pada limbah cair elektroplating sebesar 99,24% diketahui dengan pengujian AAS pada limbah cair elektroplating. Eceng gondok dapat dijadikan sebagai adsorben. Hasil uji SEM-EDS unsur logam berat besi (Fe), timbal (Pb), dan tembaga (Cu) yang terserap pada eceng gondok dengan menunjukkan peningkatan penyerapan yang lebih besar dibandingkan logam lainnya. Besi (Fe) merupakan unsur yang memiliki peningkatan kadar logam sebesar 2,453% pada perendaman dalam limbah cair elektroplating selama 60 menit.

Ucapan terima kasih

Terimakasih kepada Laboratorium Sentral Unpad yang telah menguji sampel dan Laboratorium Energi Terbarukan dan Sistem yang memberikan kesempatan untuk dapat melakukan penelitian ini.

Daftar Pustaka

1. Sahara, E, *Distribusi Pb Dan Cu pada Berbagai Ukuran Partikel dan Sedimen Pelabuhan Benoa*, Jurnal Kimia. Vol. 3, No. 2, 2009, 75-80.
2. Achmad, N, *Pemanfaatan Serat Eceng Gondok sebagai Penguat Material Komposit Pengganti Serat Karbon dalam Pembuatan Cooling Pad*, Gardan Vol. 1, No. 1, 2012, 81-90.
3. Marianto A, *Tanaman Air*, Agromedia Pustaka, 2001.
4. Nugraheni P, Trihadaningrum, Y., *Pengaruh Sifat Payau Dan Kesadahan Sumber Air oleh Eceng gondok*. Jurnal Kimia Lingkungan. Vol.3, No.2, 2002.
5. Clara, R. G, Rahmila R., Isna, S., *Adsorpsi Logam Berat Fe²⁺Dalam Larutan Menggunakan Karbon Aktif dari Eceng Gondok*, Prosiding Semnas Industri Kimia dan Sumber Daya Alam 2016, 2016, 87-92.

PENGARUH KONSENTRASI CERIUM DALAM POLI(TMSPMA) TERHADAP KARAKTERISTIK IMPEDANSINYA PADA PERMUKAAN BAJA KARBON

FARIED LATIEF, DESY NUR ROCHMAH, TUTI SUSILAWATI , NORMAN SYAKIR, FITRILAWATI[†]

*Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat, Telp. 022-7796014*

Abstrak. Bahan baja karbon banyak dipakai sebagai pipa penyalur minyak dan gas yang diletakkan dibawah laut. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan bahan Poli(TMSPMA)-Cerium dan pengujinya terhadap korosi. Prekursor polimer hibrid dibuat dari monomer 3-(Trimetoksilsilil)propil metakrilat (TMSPMA dengan menggunakan metoda *sol-gel*. Kedalam prekursor tersebut ditambahkan dengan Inhibitor Cerium dengan berbagai konsentrasi mulai dari 0,1% hingga 0,4%. Prekursor polimer hibrid tersebut selanjutnya ditambahkan inisiator Irgacure 819, lalu dilapiskan pada permukaan baja karbon dengan menggunakan metode *solution casting* dan proses fotopolimerisasi. Untuk menguji ketahanan korosi, sampel tersebut diuji pada suhu ruang dalam larutan 3,5 % NaCl yang setara dengan air laut dengan menggunakan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Hasil sintesis menunjukkan gel komposit poli(TMSPMA)-Ce yang dihasilkan tetap berada pada fase gel dan transparan. Nilai Impedansi hasil pengujian EIS menunjukkan penambahan inhibitor Cerium dapat meningkatkan nilai impedansi total dari lapisan pada baja karbon. Peningkatan nilai impedansi tersebut dapat memperkecil arus korosi sehingga proses korosi dapat diperlambat.

Kata kunci: Polimer poli(TMSPMA), *sol-gel*, inhibitor, *coating*, korosi, EIS

Abstract. Carbon steel materials has been used for gas and oil pipelines under the sea. In this research, poly(TMSPMA)-Cerium was done and was tested its resistance againts corrosion. The hybrid polymer precursor are made from the monomer 3-(Trimethoxysilyl)propyl methacrylate (TMSPMA) by using sol-gel method. The Cerium hexahydrate inhibitor were added into precursor with various concentrations ranging from 0,1% to 0,4%. The hybrid polymer precursor subsequently added by Irgacure 819 initiator, and then coated on the surface of carbon steel using a solution casting method and photopolymerization. To perform test of corrosion resistance, the samples were tested at the room temperature in a sulton of 3.5 % NaCl which equivalent to seawater by using Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). The result showed that the gel composite poly(TMSPMA)-Ce that formed still remain in gel phase and transparent. EIS impedance test results show that the addition of Cerium inhibitors increase the total impedance. Increasing value of the impedance can decrease corrosion current so that the corrosion process can be slowed.

Keywords: Polymer poly(TMSPMA), so-gel, inhibitor, coating, corrosion.

1. Pendahuluan

Baja karbon merupakan salah satu bahan pada pipa penyalur minyak dan gas bumi yang cenderung mengalami korosi akibat adanya reaksi elektrokimia yang terjadi akibat adanya zat-zat korosif seperti garam klorida, asam organik dan gas CO₂ pada suhu tinggi. Pada saat ini industri migas masih banyak menggunakan pipa baja karbon dalam penyaluran migas. Hal itu berkaitan dengan harga yang jauh lebih murah dibanding baja yang sudah dimodifikasi sehingga tahan karat [1]. Oleh karena itu, korosi merupakan masalah yang sangat penting karena menyangkut aspek lingkungan dan biaya penanggulangan akibat terjadinya peristiwa korosi yang sangat besar [2].

Karena hampir tidak mungkin untuk mencegah korosi, maka mengontrol laju korosi menjadi lebih memungkinkan dan menjadi solusi yang lebih ekonomis [3]. Pencegahan kerusakan pipa baja

[†] email: fitrilawati@phys.unpad.ac.id

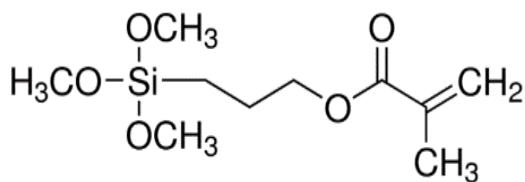
karbon akibat korosi ini dapat dilakukan dengan cara pemilihan material, penambahan inhibitor ke dalam lingkungannya, dan pemberian lapisan penghalang (*coating*). Polimer hibrid merupakan salah satu alternatif yang banyak digunakan sebagai *coating* karena mempunyai sifat adhesi, stabilitas termal dan kekuatan mekanik yang baik [4]. Polimer hibrid merupakan perpaduan antara polimer organik dan anorganik yang terbentuk pada jejaring anorganik (-Si-O-Si-) dan jejaring organik (seperti akrilat, epoksi dan lainnya). Pembuatan polimer hibrid sebagai bahan *coating* menggunakan 3-(Trimetoksil)propil metakrilat (TMSPMA). Sifat dari polimer ini diharapkan dapat pula dimodifikasi melalui variasi struktur dan macam molekul pembentuknya, serta penambahan material dopan atau molekul fungsional [5].

Sifat proteksi korosi dari Poli(TMSPMA) ditingkatkan melalui penambahan bahan inhibitor yang merupakan zat yang dapat menurunkan laju korosi pada logam. Inhibitor yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Cerium (III) Nitrate Hexahydrate* ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) [4]. Gabungan dari polimer hibrid dan inhibitor diharapkan dapat menghasilkan proteksi korosi yang terdiri dari lapisan aktif dan lapisan pasif. Sehingga karakteristik proteksi korosinya semakin meningkat.

Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk memperoleh karakteristik proteksi korosi dari baja karbon yang dilapisi polimer hibrid dengan variasi konsentrasi inhibitor Cerium.

2. Eksperimen

Pembuatan prekursor polimer hibrid poli 3-(Trimetoksil)propil metakrilat (TMSPMA) dengan menggunakan metode *sol-gel* yang merupakan proses polimerisasi bagian anorganik (-Si-O-Si-). Bahan yang digunakan dalam proses *sol-gel* adalah monomer 3-(Trimetoksil)propil metakrilat 98% (TMSPMA, Aldrich), etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, Merck) dan kloroform (CHCl_3 , Merck) sebagai pelarut, 0,1 M asam klorida (HCl , Merck) sebagai katalis, dan aquades (H_2O).



Gambar 1. Struktur molekul monomer 3-(Trimetoksil)propil metakrilat (Aldrich,2010).

Pada proses ini, hal yang pertama dilakukan adalah mengaduk etanol yang akan digunakan terlebih dahulu, kemudian melarutkan monomer ke dalam larutan etanol dengan perbandingan volume 1 : 4 dan mengaduknya dengan *magnetic stirer* hingga larutan menjadi homogen. Proses pengadukan dilakukan selama 10 menit. Setelah itu dilakukan penambahan aquades dengan perbandingan volume dengan monomer 1 : 8. Proses ini juga dilakukan selama 10 menit. Setelah aquades bereaksi dengan larutan yang terbentuk, dilakukan penambahan katalis HCl hingga pH nya bernali 2 (keadaan asam). Campuran tersebut kemudian diaduk pada suhu 50°C dengan kecepatan pengadukan sekitar 200 rpm hingga terbentuk gel transparan. Gel yang didapat kemudian dilakukan purifikasi untuk menghilangkan zat-zat sisa yang tidak bereaksi. Purifikasi dilakukan dengan menggunakan penambahan kloroform kemudian ditambah dengan aquades hingga pH larutan menjadi netral.

Proses selanjutnya adalah pencampuran (*blend*) gel polimer hibrid dengan inhibitor Cerium yang telah disiapkan sebagai larutan stok. Larutan stok Cerium dibuat dari 1 gram Cerium yang

dilarutkan dalam 25 mL etanol. Variasi konsentrasi Cerium yang digunakan adalah 0,1%; 0,2%; 0,3%; dan 0,4%. Untuk 0,1% dibuat dengan menambahkan larutan stok sejumlah 0,025 mL. Jumlah inhibitor yang ditambahkan sangat kecil sehingga untuk penambahan inhibitor digunakan mikropipet. Campuran polimer hibrid dan Cerium ditambah dengan dengan fotoinisiator sebesar 1% dari massa prekursor. Fotoinisiator yang digunakan adalah Irgacure-819 (Ciba) kemudian dilapiskan pada substrat baja karbon yang telah dibersihkan sebelumnya. Proses pelapisan dilakukan dengan menggunakan metode *solution casting*.

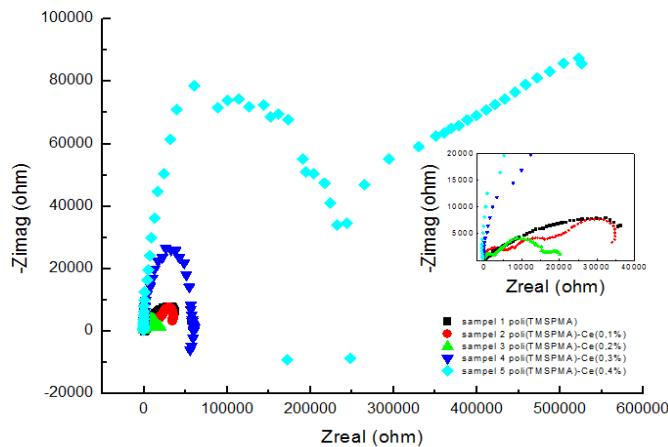
Langkah selanjutnya adalah proses fotopolimerisasi, dimana pada proses ini akan terbentuk ikat-silang pada rantai organik. Proses ini terdiri dari tiga tahapan yaitu, *pre-bake*, fotopolimerisasi, dan *post-bake*. Tahapan *pre-bake* dilakukan pada suhu 70° C selama 10 menit dengan tujuan meningkatkan homogenitas film dan daya lekat (*adhesi*) film dengan permukaan substrat baja. Proses fotopolimerisasi dilakukan pada ruangan khusus sinar UV. Sampel diletakan dibawah sumber sinar UV agar terbentuk jejaring organik, proses ini dilakukan selama 10 menit. Setelah sampel menjadi kering, langkah selanjutnya adalah tahapan *post-bake*. Sampel yang telah difotopolimerisasi dipanaskan pada *hot plate* dengan suhu 70° C selama 30 menit dengan tujuan untuk lebih meningkatkan daya lekat film pada permukaan substrat dan menyempurnakan proses polimerisasi.

Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) *Reference 3000* untuk melihat karakteristik impedansi dan proteksi yang terjadi pada baja karbon. Metode ini dilakukan pada sel elektrokimia yang terdiri dari sampel baja karbon sebagai *working electrode*, Platina sebagai *counter electrode*, dan Kalomel sebagai *reference electrode* pada larutan 3,5% NaCl. Karakterisasi EIS dilakukan pada variasi frekuensi dengan rentang frekuensi 0,1 Hz hingga 1 MHz dengan tegangan 10 mV dan luas permukaan uji 1,21 cm² [6].

3. Hasil dan Pembahasan

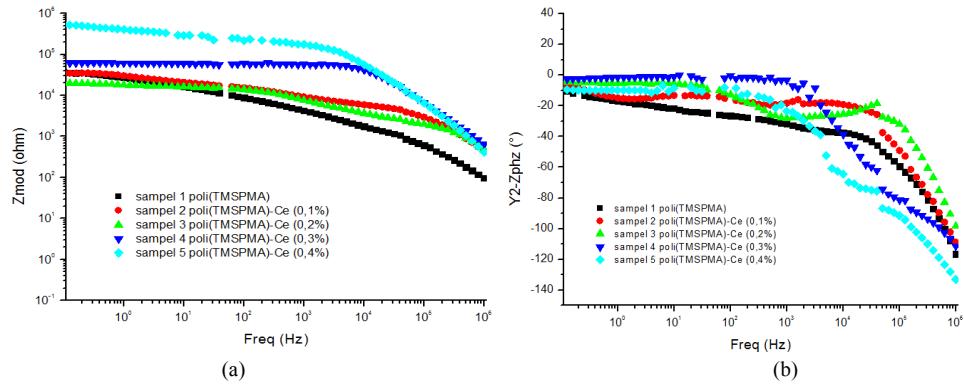
Hasil prekursor polimer hibrid TMSPMA yang dibuat berbentuk gel kental dan transparan. Terbentuknya gel yang kental menunjukkan adanya bagian anorganik dari polimer yang telah terpolimerisasi. Tidak seluruh monomer membentuk polimer karena ada kemungkinan ketika proses purifikasi ada yang terbuang pada saat pemisahan fasa cair dan fasa gel. Selain itu juga pada saat pemindahan gel dari *beaker glass* ada kemungkinan gel yang tertinggal sehingga tidak ikut tertimbang. Setelah terbentuk prekursor dilakukan penambahan inhibitor Cerium pada prekursor. Pada penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi pada Cerium yang ditambahkan yaitu konsentrasi 0,1%; 0,2%; 0,3%; dan 0,4% sehingga membentuk prekursor komposit poli(TMSPMA)-Ce.

Pelapisan bahan proteksi korosi pada permukaan baja karbon dilakukan dengan menggunakan metode *solution casting*. Kemudian dilakukan proses fotopolimerisasi. Sifat proteksi korosi pada baja karbon di karakterisasi dengan menggunakan EIS. Pengukuran dilakukan dalam larutan 3,5% NaCl pada suhu ruang, yaitu 25° C. Karakterisasi dilakukan dengan melakukan setting pada rentang frekuensi 0,1 Hz – 1 MHz, luas permukaan uji 1,21 cm², dan menggunakan tegangan 10 mV. Data pengukuran EIS direpresentasikan dalam bentuk Nyquist plot. Nyquist plot menampilkan impedansi bagian imajiner dan bagian riil, bagian imajiner di plot pada sumbu-y dan bagian riil diplot pada sumbu-x. Hasil nyquist plot ditunjukkan pada Gambar 2.



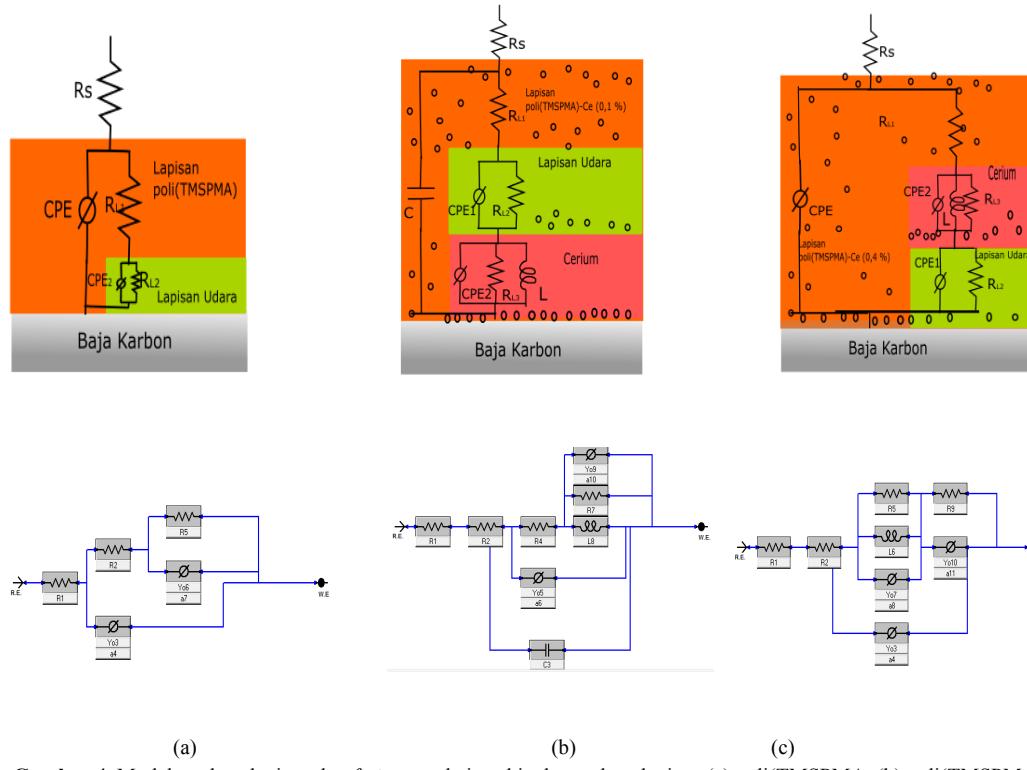
Gambar 2. Nyquist plot poli(TMSPMA) dan poli(TMSPMA)-Ce dan *zoom in* poli(TMSPMA) dan poli(TMSPMA)-Ce.

Hasil Nyquist plot yang didapat memperlihatkan karakteristik impedansi real dan impedansi imajiner dari setiap sampel baja karbon. Secara umum terlihat bahwa sampel dengan menggunakan lapisan komposit poli(TMSPMA)-Ce mempunyai impedansi lebih besar dari sampel yang dilapisi poli(TMSPMA). Kenaikan tingkat konsentrasi Cerium yang dicampurkan pada komposit poli(TMSPMA)-Ce memberikan pengaruh yang sebanding dengan kenaikan nilai impedansi dari sampel baja karbon yang diuji. Namun terdapat pengecualian pada sampel 3 (lapisan poli(TMSPMA)-Ce (0,2%)) dimana kurva impedansinya lebih kecil dari sampel 1 (lapisan poli(TMSPMA)), seharusnya sampel ini memberikan kurva impedansi yang lebih besar dari sampel 1. Kemungkinan terdapat perbedaan ketebalan lapisan dan kualitas pelapisan yang belum optimal sehingga menjadikan kurva impedansinya menjadi lebih kecil. Hasil *Bode plot* dari sampel yang diuji memperlihatkan karakteristik impedansi total terhadap log frekuensi. Kenaikan tingkat konsentrasi Cerium yang ditambahkan pada komposit poli(TMSPMA)-Ce memberikan pengaruh yang sebanding dengan kenaikan nilai impedansi total dari sampel baja karbon yang dilapisi komposit poli(TMSPMA)-Ce. Hal ini menjelaskan bahwa adanya penambahan inhibitor pada pelapisan dengan menggunakan poli(TMSPMA) dapat memperlambat terjadinya proses korosi pada baja karbon secara lebih baik.



Gambar 3. (a) Bode plot dan (b) bode fase plot poli(TMSPMA) dan poli(TMSPMA)-Ce.

Analisis terhadap data yang diperoleh diperlakukan melalui pembuatan model struktur lapisan dan *fitting* pada *Nyquist plot* yang telah didapat dengan menggunakan rangkaian ekivalen pada *fitting modelling* yang terdapat pada software *Gamry Enchem Analyst*. Model rangkaian diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Model struktur lapisan dan *fitting* rangkaian ekivalen pada pelapisan (a) poli(TMSPMA), (b) poli(TMSPMA)-Ce (c) poli(TMSPMA)-Ce.

Berdasarkan fitting dari rangkaian ekivalen pada Gambar 4., didapat data nilai dari komponen rangkaian ekivalen yang menentukan karakteristik impedansi dari sampel yang diuji. Data nilai komponen dari rangkaian ekivalen diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai parameter dari komponen pada rangkaian ekivalen

Komponen	Parameter	Nilai Sampel 1	Nilai Sampel 2	Nilai Sampel 3	Nilai Sampel 4	Nilai sampel 5
Rs	R1 (ohm)	$1,498 \times 10^{-6}$	$9,248 \times 10^{-5}$	$2,789 \times 10^{-3}$	$4,836 \times 10^{-4}$	$1,213 \times 10^{-6}$
R _{ct1}	R2 (ohm)	$5,138 \times 10^4$	$4,948 \times 10^3$	$2,123 \times 10^3$	$4,183 \times 10^4$	$1,962 \times 10^5$
CPE ₁	Yo3 (S*s^a)	$7,410 \times 10^{-3}$	-	-	-	$5,932 \times 10^{-9}$
	a4	$3,785 \times 10^{-1}$	-	-	-	1
C _{dl1}	C3 (F)	-	$4,313 \times 10^{-10}$	$4,152 \times 10^{-10}$	$2,753 \times 10^{-10}$	-
R _{ct2}	R4	$4,931 \times 10^4$	$4,575 \times 10^{-7}$	$1,413 \times 10^{-8}$	$1,627 \times 10^{-8}$	$1,587 \times 10^5$
CPE ₂	Yo5 (S*s^a)	$9,793 \times 10^{-6}$	$7,410 \times 10^{-3}$	$3,385 \times 10^{-7}$	$1,693 \times 10^{-3}$	$3,064 \times 10^{-10}$
	a6	$3,917 \times 10^{-1}$	$6,749 \times 10^{-1}$	$6,685 \times 10^{-1}$	1	1
R _{ct3}	R7 (ohm)	-	$1,627 \times 10^4$	$7,387 \times 10^3$	$2,160 \times 10^4$	$2,825 \times 10^5$
Lads	L8 (H)	-	$7,337 \times 10^4$	$1,385 \times 10^4$	$5,360 \times 10^5$	$3,484 \times 10^2$
CPE ₃	Yo9 (S*s^a)	-	$7,560 \times 10^{-6}$	$1,628 \times 10^{-4}$	$2,959 \times 10^{-4}$	$3,254 \times 10^{-7}$
	a10	-	$8,357 \times 10^{-1}$	$5,030 \times 10^{-1}$	$5,641 \times 10^{-1}$	$8,382 \times 10^{-1}$

Berdasarkan hasil parameter dari komponen pada rangkaian ekivalen di dapat nilai impedansi total maksimum yang terdapat pada frekuensi rendah dari hasil pengukuran EIS. Secara umum, karakterisasi terhadap sampel baja karbon yang dilapisi poli(TMSPMA)-Ce telah memperlihatkan sifat proteksi yang lebih baik terhadap terhadap korosi dibandingkan dengan sampel baja karbon yang dilapisi poli(TMSPMA). Selain itu nilai impedansi total yang dihasilkan secara umum mengalami kenaikan seiring dengan penambahan konsentrasi inhibitor Cerium yang diberikan.

5. Kesimpulan

Penambahan inhibitor Cerium pada pelapisan baja karbon dengan menggunakan Poli(TMSPMA) dapat menurunkan laju korosi dan menaikan tahanan lapisan adsorpsi molekul. Hasil tersebut didukung oleh peningkatan nilai impedansi total pada pelapisan poli(TMSPMA) sebesar 35,06 kilo-Ohm menjadi 523,8 kilo-Ohm pada pelapisan komposit poli(TMSPMA)-Ce (0,4%).

Ucapan terima kasih

Kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Bun Bun Bundjali dari Laboratorium Korosi Kimia ITB atas akses penggunaan EIS untuk karakterisasi proteksi korosi.

Daftar Pustaka

- [1] Melati, H. A., Fitriawati, Hidayat, R., Suratno, W. and Syakir, N., *Corrosion Protection on Carbon Steel of Oil and Gas Distribution Pipeline in Saline Environment Using Hybrid Polymers Based on Glymo Monomers*, Bionatura, Vol. 13, No. 1, 2011, 1–7.
- [2] Kermani M. B. and Morshed, A., *Carbon Dioxide Corrosion in Oil and Gas Production—A Compendium*, Corrosion, Vol. 59, No. 8, 2003, 659–683.
- [3] Nyborg, R., *Controlling Internal Corrosion in Oil and Gas Pipelines*, Oil Gas Review, No. 2, 2005, 70–74.
- [4] Susilawati, T. and Zulfa, N., *Karakteristik Poli (GLYMO) -Cerium Sebagai Bahan Proteksi Baja Karbon*, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIX HFI Jateng & DIY, 2015, 261–264.
- [5] Pitriana, P., Syakir, N., Fitriawati, F. and R. Hidayat, *Pembuatan dan karakterisasi*

- polimer hibrid poli(trimetoksisilil propil metakrilat), Jurnal Materials dan Energi Indonesia, Vol. 1, No. 3, 2011, 167–172, 2011.
- [6] Rochmah, D. N., Syakir, N., Susilawati, T., Suryaningsih, S. and Fitrialawati, F., *Effect of Cerium Doped on the Poly (3- (Trimethoxysilyl) propyl methacrylate) Characteristic as Corrosion Protection Material of Carbon Steel*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Vol. 196, 2017, 1–4.

INDEKS PENULIS

- A**
Asri Widyasanti, 9
Ahmad Qosam Amrul Haq, 38
- B**
Bambang Wijatmoko, 24
Budy Santoso, 24
- C**
Cukup Mulyana, 38
- D**
Desy Nurochmah, 49
- E**
Eddy Supriyana, 24
Erna Frida, 19
Eva Marlina Ginting, 19
- F**
Faried Latief, 49
Fitriawati, 49
- L**
Lazuardi Umar, 1
- M**
M. Affan Siregar, 19
Mariah Kartawidjaja, 44
Moch. Aril Indra Permana, 38
- N**
Mutiara Nawansari, 38
- P**
Naufal Nandaliarsyad, 38
Nurdin Bukit, 19
Nurhalis Majid, 31
Norman Syakir, 49
- Q**
Qolby Sabrina, 31
- R**
Rahmondia N. Setiadi, 1
- S**
Sarah Mustari, 44
Sarifah Nurjanah, 9
Sri Suryaningsih, 44
- T**
Titik Lestariningsih, 31
Tubagus Muhamad Gilang S., 9
Tuti Susilawati, 31
- U**
Usman Malik, 1
- Y**
Yanuar Hamzah, 1

INDEKS SUBJEK

- A**
Abu Sekam Padi, 18, 19, 21, 22
Adsorpsi, 44-48
- B**
Biodiesel, 9 - 18
Brine, 38 - 42
- C**
Capacitive Sensor, 1 – 5, 7
Coating, 49, 50
Corrosion, 49, 54
- E**
EIS, 49 – 51, 54
ERT, 24-30
Eceng gondok, 46-48
- F**
Filler, 21, 32, 35, 37
Flashing, 38 - 42
- G**
Garam LiBOB, 31, 34, 37
Geothermal, 38, 39, 42
- H**
HDPE, 18 - 23
- I**
Inhibitor, 49 – 52, 54
- K**
Kelembaban Gabah, 1
Kemiri Sunan, 9 - 18
Konduktivitas, 31 – 35, 37
Korosi, 49 – 52, 54
- L**
Limbah, 44 - 48
- M**
Limonit, 24 - 30
- P**
Moisture Content, 1, 2, 8
- R**
Pengunci Fasa, 1, 4
Phillipines Tung, 9
Polimer PVdF HFP, 31
Polimer poli(TMSPMA), 49, 51 - 54
Polynomial, 1, 6
- S**
Pengunci Fasa, 1, 4
Phillipines Tung, 9
Polimer PVdF HFP, 31
Polimer poli(TMSPMA), 49, 51 - 54
Polynomial, 1, 6
- T**
RC oscillator, 1
Rangkaian Osilator, 1, 4, 7
Rice Grain, 1, 7, 8
Rice Husk Ash, 18
- S**
SEM, 31, 33, 34, 35
Saprock, 24 -27
Saprolit, 24 - 30
Sensor Kapasitif, 1 – 4, 6
Silica Saturation Index, 38
Silica Scaling, 38, 40 - 42
Sol-gel, 49, 50
Suhu Transesterifikasi, 9, 11 - 17
- T**
 TiO_2 , 31 - 37
- W**
Waste, 41, 44
Water hyacinth, 1
Wenner, 24, 26, 27
- Z**
Zeolit, 18 - 23

PENERBIT

Departemen Fisika FMIPA Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21 Jatinangor 45363
Telp: 022 779 6014, Fax: 022 779 6014
Email : jmei@phys.unpad.ac.id

e-ISSN: 2579-6054
p-ISSN: 2087-748X



9 772087 748007