

PROSIDING

Seminar Nasional Sains, Matematika,
Informatika dan Aplikasinya IV

*“Inovasi Sains, Matematika dan Informatika
untuk Memperkuat Potensi Lokal”*

BIDANG :
FISIKA DAN APLIKASINYA

ISSN: 2086 – 2342

Vol. 4

Buku 3

Tahun 2016

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung

PROSIDING SN-SMIAP

Seminar Nasional Sains, Matematika, Informatika dan Aplikasinya



Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung

PROSIDING SN-SMIAP

Seminar Nasional Sains, Matematika, Informatika dan Aplikasinya

PENASIHAT

Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.S.
Prof. Dr. H. Bujang Rahman, M.Si.
Prof. Dr. Ir. Muhammad Kamal, M.Sc.
Prof. Dr. Karomani, M.Si.
Prof. Dr. Mahatma Kufepaksi, M.Sc.

PENANGGUNG JAWAB

Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D.
Prof. Dr. Sutopo Hadi, M.Sc.
Dian Kurniasari, M.Sc.
Drs. Suratman, M.Sc.

PENGARAH

Dr. Suropto Dwi Yuwono
Dra. Nuning Nurcahyani, M.Sc.
Dr. Tiryono Ruby
Arif Sutono, M.Si.
Dr. Kurnia Muludi

REVIEWER

Dwi Asmi, Ph.D.
Dr. Asmiati
Tugiyono, Ph.D.
Dr. Rudy Situmeang
Dr. Eng. Admi Syarif

EDITOR

Tristiyanto, S.Kom., M.I.S., Ph.D.
Aristoteles, M.Si.
Priyambodo, M.Sc.

PENERBIT

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung

ALAMAT PENERBIT

Gedung Dekanat Lantai III FMIPA Alam Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145
<http://smiap.unila.ac.id> telpon/fax: 0721 - 704625

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena Prosiding Seminar Nasional Sains, Matematika, Informatika dan Aplikasinya tahun 2016 (SN SMIAP IV) yang telah dilaksanakan pada 26-27 Oktober 2016 dapat terselesaikan. Kegiatan seminar ini merupakan salah satu rangkaian dalam rangka Dies Natalis FMIPA Unila.

Segenap panitia mengucapkan terima kasih kepada Rektor Unila, Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P. dan Dekan FMIPA Unila, Prof. Warsito, S.Si., DEA, Ph.D. yang telah memfasilitasi berlangsungnya kegiatan ini. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada para pembicara utama, Prof. Dr. Kudang Boro Seminar, M.Sc. (Institut Pertanian Bogor), Dr. Agus Yodi Gunawan (Institut Teknologi Bandung), dan Dr. Herawati Soekardi, M.Si. (Universitas Lampung, *founder* Taman Kupu-Kupu Gita Persada Lampung) yang telah berkenan memberikan presentasi pada seminar ini.

Kami menyampaikan terima kasih dan apresiasi setinggi-tingginya kepada seluruh akademisi dan peneliti yang telah berkenan menyampaikan makalahnya dalam seminar ini. Seminar ini diikuti oleh akademisi dan peneliti bidang dasar dan aplikasi pada kelompok ilmu kimia, biologi, fisika, matematika dan informatika. Akhir kata, kami menyampaikan permohonan maaf apabila ada hal-hal yang kurang berkenan dalam pelaksanaan kegiatan seminar maupun penyusunan prosiding seminar ini. Semoga seminar ini menjadi bagian dalam mendukung upaya peningkatan daya saing bangsa untuk terus berinovasi dengan berpijak pada kearifan lokal.

Penyusun

DAFTAR ISI

Analisis Uji Karakteristik Elektrik Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan	
Gurum Ahmad Pauzi, Encep Hudaya, Amir Supriyanto, Warsito, Arif Surtono	1
Eksperimen Dan Analisis Perilaku Tanah Lempung Lunak Dan Lempung Organik Ditinjau Dari Siklus Pembebanan Yang Menggunakan Matras Beton Bambu	
Iswan, Lusmeilia Afriani, Idharmahadi Adha, Ikratul, H.	9
Pemodelan Aliran Pada Pipa Suplai Untuk Menentukan Berat Katup Buang (Waste Valve) Model Pompa Tanpa Motor (Hydraulic Ram Pump)	
Jorfri Boike Sinaga, Azhar, Novri Tanti, Sugiman	22
Pengaruh Kalsinasi (150, 250, Dan 350 c) Elektrode Superkapasitor Zeolit Terhadap Reversibilitas Elektrokimia	
Siti Imas Masitoh, Agus Riyanto, Suprihatin	33
The Effect Of Immersion Time To Low Carbon Steel (0.02% C) Hardness And Microstructure With Hot Dip Galvanizing Coating Method	
Tumpal Ojahan, Aziz Al Hakim, Slamet Sumardi	41
Karakteristik Mikrostruktur dan Konduktivitas Listrik Zeolit Serta Potensinya Sebagai Elektrode Superkapasitor	
Alfi Hamidah, Agus Riyanto, Pulung Karo Karo	51
Karakteristik Liquid Fuel Hasil Ko-Pirolisis Bagas Tebu dan Minyak Jarak Kaliki (<i>Ricinus communis</i>) Menggunakan Aluminosilikat yang Dibuat dari Silika Sekam Padi dan Logam Aluminium	
Endah Pratiwi, Wasinton Simanjuntak, dan Simon Sembiring	57
Peluang Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dalam Produksi Eternit	
Tarkono dan Hadi Ali	72
Analisis Fasa-Fasa dan Luas Permukaan Spesifik Zeolit Berbasis Silika Sekam Padi yang Disintering pada Suhu 150°C, 250°C, dan 350°C	
Siti Rokayah, Agus Riyanto, Suprihatin	84

ANALISIS UJI KARAKTERISTIK ELEKTRIK AIR LAUT SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK TERBARUKAN

Gurum Ahmad Pauzi, Encep Hudaya, Amir Supriyanto, Warsito, Arif Surtono

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung
e-mail: gurum4in@yahoo.com

ABSTRACT

The electrical characteristics of sea water can be determined by using the electrodes as C-Zn, Cu-Zn, and Cu-Al. The electrical characteristics are measured by load and no load resistance component as LED with 1000 Ω . The volume variation of sea water used by 30 ml, 40 ml, 50 ml, 100 ml, and 200 ml. The voltage output from no-load resistance showed that volume variation of sea water did not significantly affect, but on the load measurements the electric energy of sea water has proportional to the variation of volume. At 10th minute voltage measurement on the no load resistor, the pair of C-Zn electrode has produced the voltage bigger than another. The measurement with load resistor, the energy of pair Cu-Zn electrode has produced greater energy.

Keyword: Sustainable energy, C-Zn electrode, Cu-Zn electrode, Cu-Al electrode, sea water energy.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat dan menuntut tersedianya berbagai energi listrik alternatif yang bersumber dari energi terbarukan. Peningkatan kebutuhan energi sejalan dengan peningkatan pertumbuhan perekonomian di Indonesia. Permintaan listrik diperkirakan meningkat dengan laju pertumbuhan 8,8% per tahun. Pemakaian energi listrik harus sesuai dengan kapasitas sumber energi listrik yang tersedia. Umumnya energi listrik dihasilkan dari tenaga disel, air, dan energi panas bumi. Namun, dalam pengembangannya masih terdapat banyak kendala. Oleh karena itu diperlukan alternatif lain untuk pengembangan sumber listrik yang terbarukan dengan memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia (ESDM, 2012).

Pemanfaatan energi alternatif dari air laut sebagai sumber energi listrik menjadi salah satu pilihan. Ditinjau dari geografis Indonesia, pengembangan pemanfaatan energi kelautan dengan memanfaatkan air laut sebagai penghasil energi listrik sangat potensial karena sumber air laut yang melimpah dan belum dimanfaatkan dengan baik (Kadir, 1995).

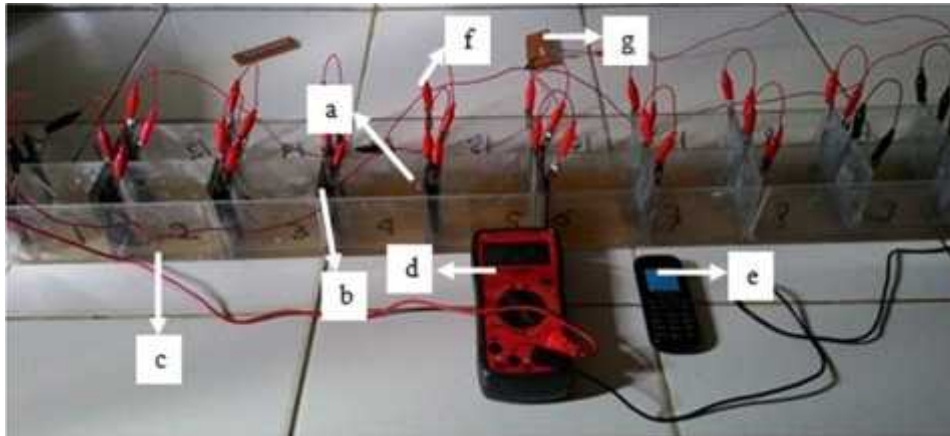
Energi yang dihasilkan dari air laut memiliki banyak keunggulan diantaranya ramah lingkungan dan tidak membutuhkan banyak dana. Air laut memiliki kadar garam (salinitas)

karena bumi dipenuhi dengan garam mineral yang terdapat di dalam batu-batuan dan tanah, misalnya natrium, kalium, kalsium, dan lain-lain (Millero and Sohn, 1992).

Adanya unsur NaCl yang tinggi dan oleh H₂O diuraikan menjadi Na⁺ dan Cl⁻, maka muncul arus listrik. NaCl memiliki derajat ionisasi 1, atau mendekati 1 dan NaCl termasuk larutan elektrolit kuat serta dapat terionisasi sempurna dalam air (Keenan, 1984). Penyebaran salinitas secara alamiah dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain curah hujan, aliran air tawar ke laut secara langsung maupun lewat sungai dan gletser, penguapan, arus laut, turbulensi percampuran, dan gelombang laut (Campbell, 2004). Namun walaupun demikian salinitas dari berbagai tempat di lautan terbuka dan di tepi pantai tidak jauh berbeda yaitu antara 34-37‰ dengan rata-rata 35‰. (Nybakken, 1992).

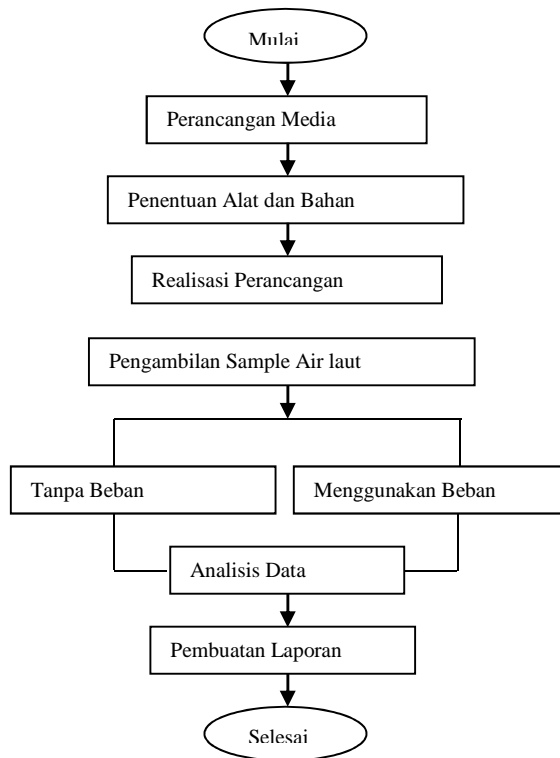
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada 20 sel dimana setiap sell menggunakan pasangan elektroda tembaga (Cu), seng (Zn), alumunium (Al), dan karbon (C) seperti terlihat pada **Gambar 2**. Data pengamatan terdiri dari data tanpa beban dan menggunakan beban. Beban yang digunakan adalah rangkaian LED dengan hambatan 1000 .



Gambar 1. Rangkaian keseluruhan tempat uji karakteristik elektrik air laut terdiri dari elektroda positif (a), elektroda negatif (b), air laut (c), multimeter digital (d), stopwatch (e), kabel penghubung (f) LED (g)

Diagram alir penelitian yang telah dilakukan terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

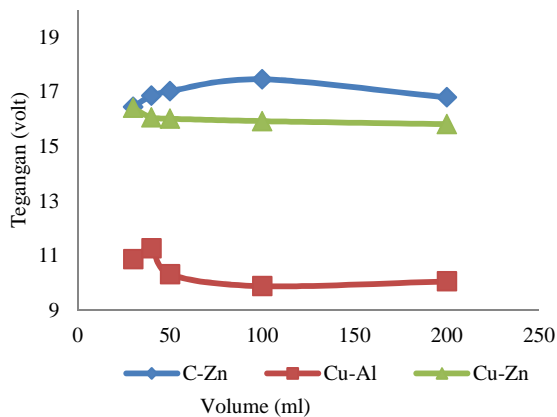
Air laut mengandung senyawa air (H_2O) 96,5% dan natrium klorida ($NaCl$) 3,5%, bercampurnya $NaCl$ dan H_2O menghasilkan Na^+ dan Cl^- . $NaCl$ atau garam dapat dijadikan larutan elektrolit atau zat yang dapat membentuk ion-ion yang memiliki muatan listrik. Dalam keadaan terlarut atau cair, garam akan membentuk elektrolit setelah melalui proses elektrolisis dengan reaksi redoks. Anoda berupa lempeng Zn dan Al , sedangkan katoda berupa lempeng Cu dan C , pada anoda terjadi proses reaksi oksidasi dan pada katoda terjadi proses reduksi. Terjadinya reaksi redoks disebabkan karena adanya perbedaan potensial kedua elektroda tersebut. Pada penelitian ini digunakan tiga pasang elektroda, yaitu $C-Zn$, $Cu-Al$ dan $Cu-Zn$, masing-masing pasangan elektroda tersebut memiliki range yang berbeda-beda pada deret Volta (Silberberg, 2000).

Pemanfaatan bahan elektroda dengan berbagai kombinasi dapat menghasilkan nilai potensial sel yang sangat bervariasi. Hal ini disebabkan karena perbedaan potensial antara kedua elektroda (Anderson, et al, 2010).

Pengambilan data menggunakan multimeter digital. Pasangan elektroda diletakkan pada setiap sel yang telah dibuat sebelumnya. Pasangan elektroda diletakkan pada setiap sel dengan

jarak 10 cm. Volume air laut yang digunakan ialah 30 ml, 40 ml, 50 ml, 100 ml, dan 200 ml. Rangkaian keseluruhan tempat uji karakteristik elektrik air laut seperti terlihat pada **Gambar 1**. Hasil pengukuran hubungan volume air laut dan tegangan tanpa beban hambatan ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Karakteristik elektrik air laut tanpa Beban



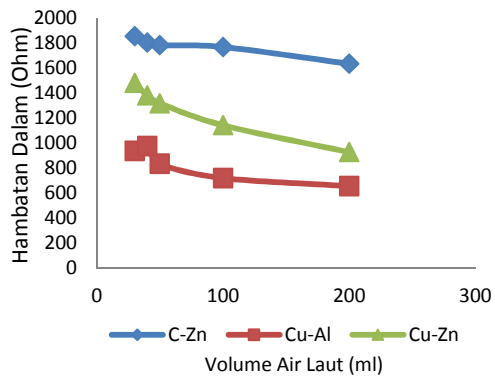
Gambar 3. Grafik hubungan tegangan volume air laut terhadap tegangan tanpa beban pada pasangan elektroda C-Zn, Cu-Al dan Cu-Zn

Grafik pada **Gambar 3** menunjukkan bahwa semakin besar volume air laut yang digunakan tidak berpengaruh pada kenaikan tegangan yang dihasilkan oleh sel volta. Bahkan tegangan yang diperoleh pasangan Cu-Zn terus mengalami penurunan walaupun volume air laut ditambah. Dari ketiga pasang elektroda tersebut dapat diketahui bahwa hubungan volume air laut terhadap tegangan tidak berbanding lurus.

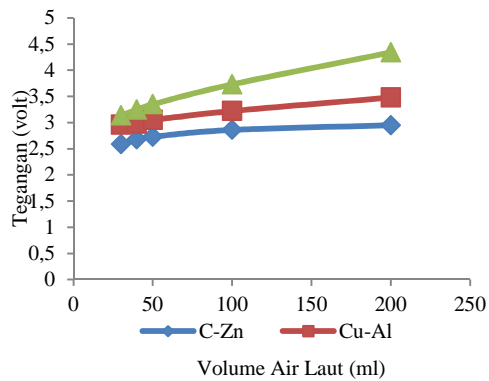
Ketidakbergantungan tegangan dengan volume juga menandakan kandungan ion yang sangat tinggi dalam larutan, sehingga proses reduksi oksidasi pada pasangan elektroda akan sama meskipun terjadi perubahan luas lempeng dan volume air laut. Berdasarkan hasil variasi volume maka diperoleh kesempatan untuk memperkecil ukuran volume air laut sehingga nantinya akan bisa membuat suatu sel Volta yang lebih kecil lagi.

Karakteristik Elektrik Air Laut dengan Beban

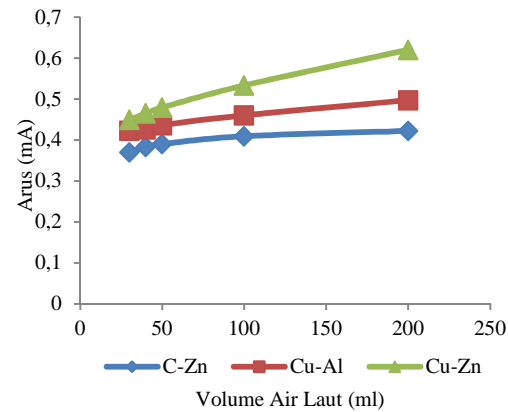
Karakteristik elektrik diperoleh dengan memberikan beban lampu LED dengan hambatan 1000 selama 10 menit. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sell volta memiliki hambatan dalam yang berbeda untuk tiap pasangan electrode seperti ditunjukkan pada **Gambar 4** berikut ini.



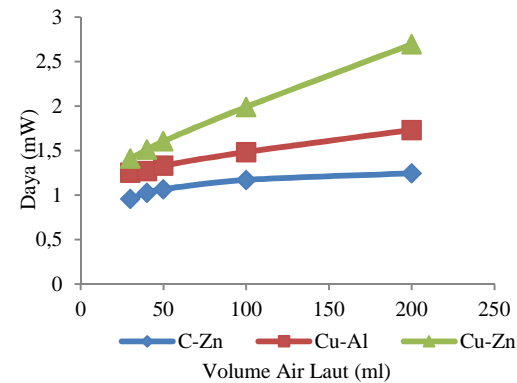
Gambar 4. Grafik hubungan hambatan dalam terhadap volume air laut pada menit ke-10



Gambar 5. Grafik hubungan tegangan terhadap volume air laut pada menit ke-10



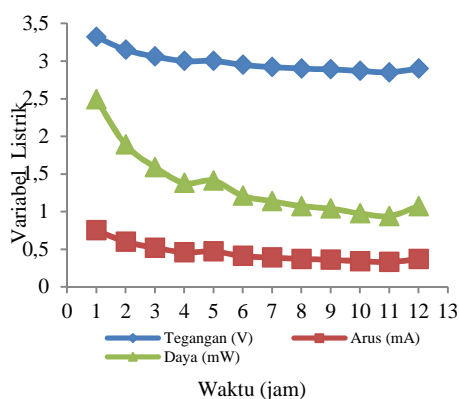
Gambar 6. Grafik hubungan arus terhadap volume air laut pada menit ke-10



Gambar 7. Grafik hubungan daya terhadap volume air laut pada menit ke-10

Lima variabel volume air laut, yaitu 30 ml, 40 ml, 50 ml, 100 ml, dan 200 ml pada masing-masing pasangan elektroda memiliki respon tegangan, arus dan daya yang sama terhadap volume air laut. Semakin besar volume air laut maka semakin besar pula tegangan, arus dan daya yang diperoleh setelah digunakan untuk menyalakan LED dengan hambatan 1000 Ω .

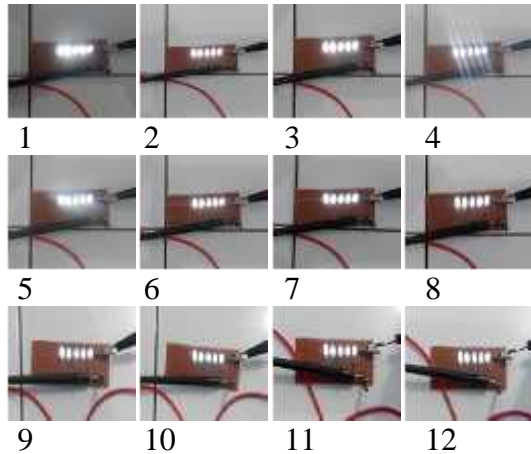
Pada pengukuran menggunakan beban terjadi penurunan tegangan, arus dan daya yang cukup besar pada menit awal sampai menit ke-1, pada menit selanjutnya sampai menit ke-10 penurunan tegangan, arus dan daya semakin kecil bahkan ada yang cenderung tetap. Selain data pengamatan karakteristik elektrik air laut tanpa beban dan menggunakan beban pada volume air laut 30 ml, 40 ml, 50 ml, 100 ml, dan 200 ml dengan menggunakan pasangan elektroda C-Zn, Cu-Al, dan Cu-Zn. Pada penelitian ini diketahui juga lama LED menyala. Tetapi lama nyala LED yang diketahui hanya pada pasangan elektroda Cu-Zn dengan volume air laut 200 ml. Energi yang dihasilkan oleh pasangan elektroda Cu-Zn dengan volume air laut 200 ml dapat menghidupkan LED sebanyak 5 buah dengan hambatan 1000 Ω . Pengamatan dilakukan dengan cara pengambilan tegangan, arus dan daya setiap 10 menit sekali selama 12 jam. Data tegangan, arus dan daya yang diperoleh pada uji lama nyala LED seperti terlihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Grafik hubungan arus terhadap waktu pada pasangan elektroda Cu-Zn dengan volume 200 ml

Berdasarkan grafik diketahui bahwa terjadi penurunan energi listrik yang cukup besar pada jam pertama sampai jam ke-2, sedangkan pada jam berikutnya penurunan energi listriknya tidak terlalu besar walaupun terus mengalami penurunan, tetapi pada jam ke-12 energi listriknya kembali naik karena sel/kotaknya digerakkan dan air laut ikut bergerak sehingga mengubah kecepatan perpindahan elektron. Selain pengambilan tegangan, arus dan

daya diambil juga foto/gambar LED setiap 1 jam sekali, diketahui bahwa nyala LED semakin lama semakin redup karena terjadi penurunan energi listrik, walaupun semakin lama penurunannya semakin kecil bahkan ada yang cenderung tetap, foto/gambar LED seperti terlihat pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Foto/gambar nyala LED

Permasalahan serius pada elektroda logam jika terkena air laut adalah tingginya laju pengkaratan (*corotion*) yang dialami oleh elektroda setelah terkena udara (oksigen). Namun jika logam hanya terendam dalam air laut tanpa terkena udara laju pengkaratan berjalan lambat yaitu $5.42 \times 10^{-5} \text{ mm/year}$ (Pauzi dkk, 2015). Hal ini menunjukkan bahwa permasalahan pengkaratan dapat diatasi selama logam elektrode tidak terkena udara.

KESIMPULAN

Variasi pasangan elektroda menghasilkan karakteristik elektrik air laut yang berbeda, pasangan elektroda Cu-Zn menghasilkan karakteristik elektrik air laut yang lebih besar dibandingkan dengan pasangan Cu-Al. Pada pengukuran tanpa beban, volume air laut tidak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik elektrik air laut sedangkan pada pengukuran menggunakan beban volume air laut berpengaruh terhadap karakteristik elektrik air laut dan pasangan elektroda Cu-Zn dengan volume air laut 200 ml dapat menghidupkan LED sebanyak 5 buah.

DAFTAR PUSTAKA

Anderson, M.A., Alberto Cudero and Jose Palma. 2010. *Capasitive deionization (CDI) as an electrochemical means of saving energy and delivering clean water*. *Electrochimica Acta*, No. 55, hal. 3845-3856.

Campbell, J.B., George Lewis Reece and Mitchell. 2004. *Biologi Edisi Kelima Jilid 3*. Jakarta: Erlangga.

ESDM. 2012. *Indonesia Energy Outlook 2012*. Jakarta. Kementrian ESDM.

Kadir, A. 1995. *Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi Edisi Kedua*. Jakarta. Universitas Indonesia.

Keenan, Kleinfelter Wood. 1984. *Kimia Untuk Universitas Edisi Keenam Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.

Millero F.J. and Sohn Miller. 1992. *Chemical Oceanography*. Florida. CRC Press, Inc.

Nybakken, J.W. 1992. *Biologi Laut, Suatu Pendekatan Ekologis*. Jakarta. PT Gramedia Pustaka.

Pauzi. G.A., Ayu S.A., Dita Rahmayani., Nindi E.M., 2015. Perhitungan Laju Korosi di dalam Air Laut dan Air garam 3% pada paku dan Besi ASTM 36. *Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika (Gravity)*. Jurusan Fisika FKIP Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Silberberg, Martin S. 2000. *Chemistry, The Molecular Nature Of Matter And Change*. New York. McGraw Hill Education.

**EKSPERIMEN DAN ANALISIS PERILAKU TANAH LEMPUNG LUNAK DAN
LEMPUNG ORGANIK DITINJAU DARI SIKLUS PEMBEBANAN YANG
MENGUNAKAN MATRAS BETON BAMBU**

Iswan, Lusmeilia Afriani, Idharmahadi Adha, Ikratul, H.

ABSTRACT

This research was conducted by making test Boks modeling land subsidence, and perform impairment testing ground that has been given concrete reinforcement using a bamboo mat with a pole on soft clay soil of the village Belimbing Sari and organic clay from the village of Beteng Sari. Using weights ranging from 0.2 kg/cm^2 , 0.3 kg/cm^2 , 0.4 kg/cm^2 , 0.5 kg/cm^2 . Testing was conducted on the impairment testing ground to seek consolidation coefficient (C_v), congestion coefficient of volume (M_v), compression index (C_c) and coefficient of compression (A_v). Based on the research results, the test box, the decline in clay is lower than the original soil testing, this happens because the test soil reinforcement box has been given a concrete form bamboo mat with a pole. From this it can be concluded that the carrying capacity of the clay to get better after being given reinforcement. This is because the pore cavities filled with particles that bind to each other so that the soil structure becomes more dense and easily compressible. So when it is under pressure from the imposition of land subsidence will be minor.

Keywords: Soft Clay Soil, Soil Organic Clays, Consolidation

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan material yang sangat penting dalam bidang Teknik Sipil. Semua sistem pembebanan produk Teknik Sipil berhubungan langsung dengan tanah serta sifat – sifatnya, baik itu sifat fisik, mekanis, maupun kimiawi. Tanah pada kondisi alam, terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Butiran-butiran tersebut dapat dengan mudah dipisahkan satu sama lain dengan kocokan air. Material ini berasal dari hasil pelapukan batuan, baik secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat fisik tanah, kecuali dipengaruhi oleh sifat batuan induk yang merupakan material asalnya, juga dipengaruhi oleh unsur-unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan tersebut (Setyanto, 1999).

Proses stabilitas tanah saat ini belum mampu merubah sifat kembang susut tanah sehingga walaupun suatu perkerasan atau kontruksi jalan tersebut sudah di padatkan akan cepat mengalami kerusakan dikarenakan sifat buruk tanah yang ada dibawah tanah tersebut. Oleh sebab itu perlu ada penanganan khusus, misalnya dengan stabilitas tanah, khusus pada tanah organik yang mempunyai sifat yang berbeda dengan lempung. Maka dari itu penelitian kali

ini akan dicoba menggunakan tanah lempung lunak dan lempung organik yang akan di uji besarnya penurunannya. Hal ini didasarkan kenyataannya berat suatu setiap struktur memampatkan dan mendeformasi setiap lapisan tanah dibawahnya Terzaghi, K., Peck, R. B. 1987. Berat struktur disini diasumsikan sebagai matras beton yang sekaligus sebagai lantai kerjanya menggunakan Matras Bambu dan perkuatan tanahnya menggunakan kayu gelam.

Terjadinya penurunan (konsolidasi) tanah apabila mengalami pembebanan diatasnya maka tekanan air pori akan naik sehingga air-pori ke luar yang menyebabkan berkurangnya volume tanah, oleh karena itu akan terjadi penurunan signifikan pada tanah yang akan mempengaruhi berkurangnya daya dukung tanah untuk menahan beban yang ada di atas tanah tersebut. Pada penelitian ini lingkup pembahasan dan masalah yang akan dianalisis dibatasi dengan pengujian pada tanah lempung lunak dan lempung organik sebelum dan sesudah dipasang matras beton bambu berdasarkan uji di lapangan dan di laboratorium.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, sampel tanah yang diambil berasal dari Desa Belimbing Sari dan Desa Beteng Sari kabupaten Lampung Timur – Provinsi Lampung, dengan titik koordinat lintang ($-5^{\circ} 71' 84,26''$) dan bujur ($105^{\circ} 39' 10,73''$). Lokasi pengambilan sampel dipilih pada daerah sekitar persawahan yang jauh dari pemukiman penduduk. Dan tanah yang akan di uji berupa tanah lempung lunak dan lempung organik. Sampel tanah yang diambil meliputi tanah (undisturbed soil) dan tanah (disturbed soil). Pada pengambilan sampel tanah undisturbed soil dilakukan dengan cara membersihkan dan mengupas permukaan tanah sedalam 30 cm, hal ini dilakukan agar membuang tanah-tanah yang mengandung humus dan akar-akar tanaman, setelah itu diletakkan tabung besi dengan diameter 4 inchi dan tinggi 50 cm, lalu ditekan perlahan lahan sampai seluruh tabung terisi dengan tanah, setelah itu tabung diangkat ke permukaan tanah dan dibagian ujung – ujungnya yang terbuka dilapisi dengan lilin lalu ditutupi dengan plastik, hal ini bertujuan untuk menjaga kadar air aslinya. Sampel ini akan digunakan untuk melakukan uji fisik tanah pada laboratorium. Selanjutnya untuk pengambilan sampel tanah disturbed soil dilakukan dengan cara penggalian menggunakan cangkul dan memasukkannya kedalam karung, sampel ini akan digunakan sebagai bahan percobaan penurunan tanah pada pemodelan boks uji.

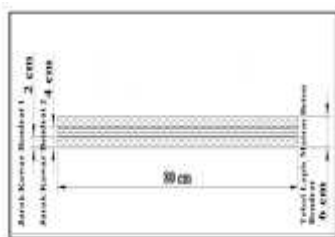
Sampel tanah yang akan diuji adalah jenis tanah lempung yang diambil dari Desa Belimbing Sari, dan Lempung organik Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur. Daerah ini terkenal dengan daerah berawa dan jenis tanahnya sebagian besar lunak dan

lempung organik. Pelaksanaan pengujian dilakukan dalam 3 tahap. Pertama adalah pengujian sifat fisik. Ke dua adalah pengujian konsolidasi dengan menggunakan alat standar laborotorium dan tahap ke tiga adalah menggunakan disain alat penurunan yang dilengkapi dengan program akusisi data untuk mendekteksi penurunannya. Tahap pengujian dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat untuk uji analisis saringan, uji berat jenis, uji kadar air, uji berat volume, uji batas-batas konsistensi, uji hidrometri, uji konsolidasi yang telah sesuai dengan standarisasi *American Society for Testing Material* (ASTM), Gogot, S.Budi, 2011, Bowels Y E. 1970. Hasil data yang diperoleh dan didapatkan dari percobaan yang telah dilakukan dan diolah kemudian hasil dari pembacaan penurunan tanah lempung dengan derajat kejenuhan yang berbeda ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

Keutamaan pada penelitian tentang penurunan tanah ini adalah menggunakan alat uji dilaboratorium yaitu alat uji penurunan tanah berupa Kotak Baja berbentuk persegi empat dengan ukuran 80 cm x 90 cm x 100 cm. Bahan yang diperlukan pada pembuatan alat ini adalah: Kaca setebal 12 mm, Plat baja setebal 5 mm dan 1 mm, Besi hollow tebal dengan dimensi penampang 40 x 20 mm dan Baja U dengan tebal 5 mm. Berikut adalah rencana proses pekerjaanya dan penempatan beban terpusat vertikal dan alat untuk mengukur penurunan secara vertical (*displasement vertical*).

Langkap awal adalah membuat pemodelan matras beton dengan tulangan kawat bendrat, Matras beton yang digunakan pada penelitian ini memiliki ketebalan berkisar 8 cm, mutu beton yang dipakai adalah K-225 kg/cm², sedangkan tulangan yang akan digunakan kawat bendrat yang dipasang berlapis, lihat gambar 1. Beton yang telah dicor, dibiarkan dulu sampai 21 hari agar tercapai kuat optimal matras beton. Urutan pengerjaannya sebagai berikut: tanah dimasukkan kedalam Box Pengujian lalu dilakukan penjenuhan, pemasangan tiang kayu gelam berdiameter 8cm dengan dengan jarak 24 - 26 cm dengan desain seperti gambar 1(b) dan gambar 2.



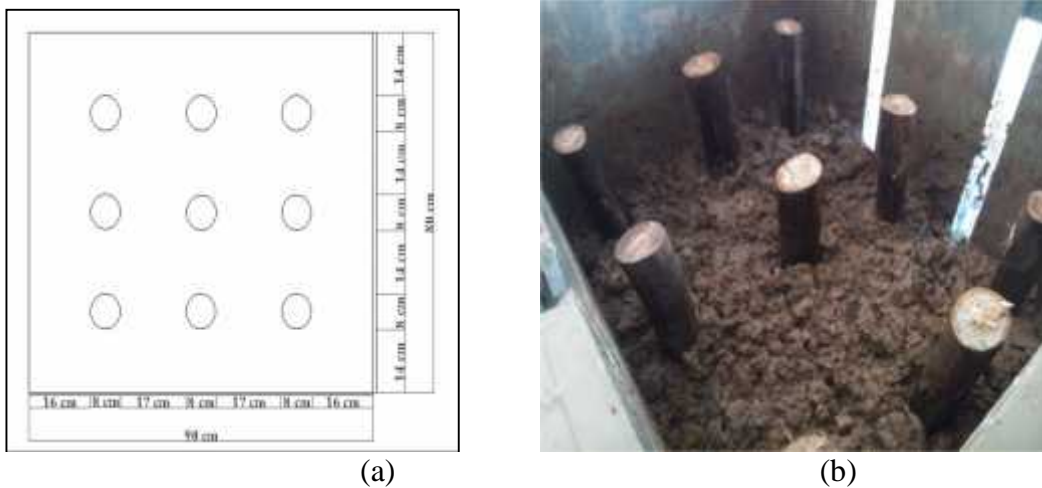
(a) Proses pembuatan matras beton



(b) Dimensi matras beton

Gambar 1. (a). Bentuk matras beton setelah dilakukan pengecoran dan (b) ukuran dan dimensi matras beton dan pemasangan anyaman bambu

Dari gambar 2 diletakkan matras benton lalu diatas matrasnya ditempatkan beban yang dilakukan dengan beban bertahap yaitu: $0,2 \text{ kg/cm}^2$; $0,3 \text{ kg/cm}^2$; $0,4 \text{ kg/cm}^2$; $0,5 \text{ kg/cm}^2$. Melakukan Pengukuran penurunan Matras Bambu dengan alat ukur sensor jarak.



Gambar 2. (a) dan (b) Ukuran jarak tiang dan peletakkan serta pemasangan tiang kayu.

Mencatat hasil penurunan dan membuat perbandingan penurunan antara tanah lempung lunak dan tanah lempung organik. Lalu disimpulkan dalam bentuk tabel dan grafik. Data-data yang diperoleh dari hasil penelitian di laboratorium diolah menurut klasifikasi data dengan menggunakan persamaan-persamaan dan rumus-rumus yang berlaku.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian terbatas pada sifat fisik tanah dan melakukan pembebanan awal secara periodik serta mengetahui besarnya penurunan tanah selama *preloading* dengan sebelum dan sesudah penelitain. Penelitian pemodelan matras beton dengan menggunakan tiang, tiang diasumsikan sebagai pondsi tiang. Tujuan penelitian ini untuk mendesain matras beton dengan tulangan kawat bendrat dan medesain alat pemodelan. Mengetahui penurunan tanah dengan tiang yang digunakan pada alat pemodelan dengan sensor straingage atau menggunakan dengan dial indicator. Mengetahui kekuatan tanah dengan menggunakan alat pemodelan tersebut.

a). Hasil dan Pembahasan uji tanah sifat Fisik

Pengujian sifat fisik tanah adalah sebagai pertimbangan untuk merencanakan dan melaksanakan pembangunan suatu konstruksi. Dengan hasil yang didapatkan dari tes sifat fisik ditampilkan pada tabel 1. Dari hasil uji kadar air, di Desa Belimbing Sari, Kecamatan Jabung Lampung Timur sebesar 64,48%, sedangkan dari sampel Desa Benteng Sari kadar airnya sebesar 183,18%. Dari hasil tersebut kadar airnya cukup tinggi, hal ini menunjukkan sifat tanah yang berbeda. Karena tingkat kadar air yang terkandung dalam tanah sangat berpengaruh pada sifat-sifat lainnya, Sosrodarnono, 1997. Menurut sistem klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS), berdasarkan nilai persentase butiran lolos saringan No. 200 sebesar 82,77 % (lebih besar dari 50%), maka berdasarkan tabel klasifikasi tanah USCS, sampel tanah yang diambil dari Desa Belimbing Sari dan Beteng Sari, Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur secara umum dikategorikan pada golongan tanah berbutir halus (lempung). Berdasarkan hasil pengujian ditampilkan pada tabel 1.

Sedangkan berat volume tanah. Belimbing Sari sebesar 1,558 gr/cm³ dan nilai berat volume tanah Beteng Sari sebesar 1,153 gr/cm³. maka berat kering tanah akan berkurang karena penambahan air tadi akan memperkecil konsentrasi partikel-partikel padat tanah persatuan volume (Braja M. Das, 1995). Sedangkan nilai berat jenis (Gs) di laboratorium dilakukan sebanyak dua sampel. Dari pengujian berat jenis didapatkan nilai-nilai sebagai berikut, untuk Desa Belimbing Sari 2,540 dan untuk Desa Beteng Sari 2,153. angka ini menunjukkan bahwa tanah tersebut adalah tanah lempung 2,68-2,75.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah Lempung dan Tanah Organik

NO.	DESKRIPSI	Hasil Tes Sifat Fisik	
		Belimbing Sari	Benteng Sari
1	Kadar Air (%)	64,48	183,18
2	Berat volume (gr/cm ³)	1,558	1,153
3	Berat Jenis	2,54	2,153
4	Analisa Saringan No.200 (%)	82,77	48,33
5	Batas-batas Atterberg (%)		
	a. Batas Cair (Liquid Limit)	82,25	183,9
	b. Batas Plastis (Plastic Limit)	57,93	154,83
	c. Indeks Plastisitas (Plasticity Index)	24,32	29,07
6	Uji Geser Langsung		
	kohesi (c) (kg/cm ²)	0,08	0,048
	Sudut geser ()	25,7	17,8

b). Analisa Hasil Pengujian Konsolidasi pada Boks uji penurunan tanah

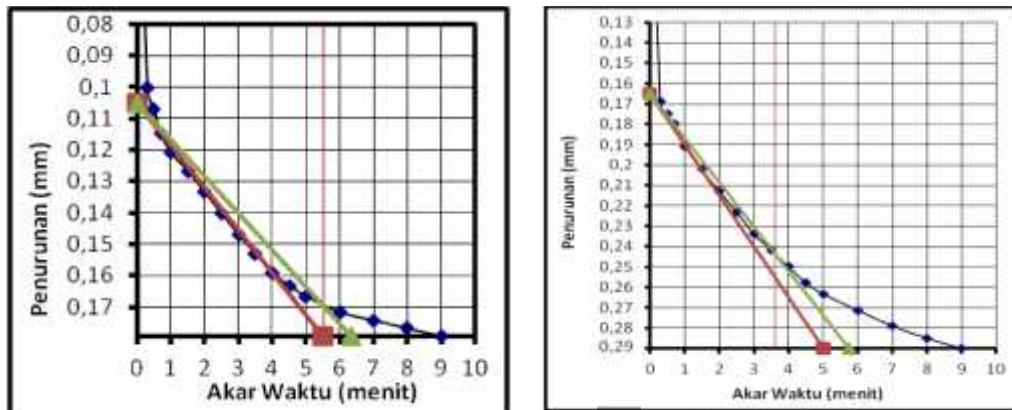
Metode akar waktu digunakan untuk menentukan C_v dengan cara menggambarkan hasil uji konsolidasi pada grafik hubungan akar waktu terhadap penurunan. Kurva teoritis yang terbentuk, biasanya linear sampai dengan kira-kira 60% konsolidasi. Karakteristik akar waktu ini, adalah dengan menentukan derajat konsolidasi $U=90\%$, dimana pada $U=90\%$ tersebut absis O_r akan sama dengan 1,15 kali absis O_Q . Prosedur untuk memperoleh derajat konsolidasi $U=90\%$ dapat dilihat dipembahasan di bawah ini.

Dari hasil pengamatan terlihat bahwa terjadi penurunan ketinggian tanah secara bertahap. Penurunan ini sebanding dengan besarnya beban dan lamanya pembebanan. Penurunan ini dapat terjadi karena keluarnya sejumlah air pori yang ada didalam tanah sebagai akibat penambahan tegangan vertical pada tanah (prinsip dasar konsolidasi). Dari grafik e (angka pori) terhadap tekanan diperoleh hubungan bahwa nilai penurunan angka pori meningkat sebanding dengan penambahan logaritma tekanan. Penyebab turunnya angka pori adalah pada saat tekanan diperbesar, ketinggian sampel tanah mengalami penurunan, penurunan ini menandakan adanya pengurangan jumlah dari pori tanah yang ada sehingga mengurangi besarnya angka pori.

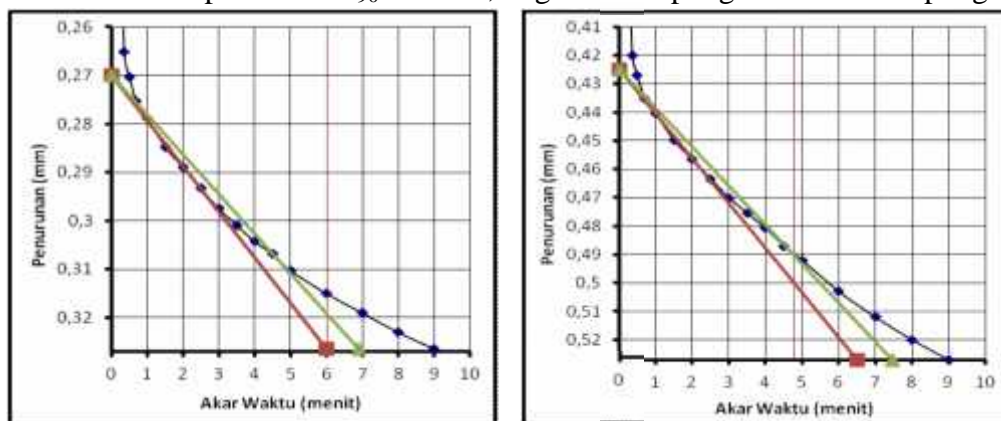
Pada pembebanan $0,2 \text{ kg/cm}^2$ ini diperoleh nilai $\sqrt{t}=5,5$ dan $t_{90}=30,25$ pada lempung lunak dan nilai $\sqrt{t}=3,6$ dan $t_{90}=12,96$ pada lempung organik.. Untuk mengetahui nilai C_v , C_c , M_v , dan A_v , dari grafik diatas dapat dilihat pada pembahasan setelah ini. Pada pembebanan $0,3 \text{ kg/cm}^2$ ini diperoleh nilai $\sqrt{t}=6$ dan $t_{90}=36$ pada lempung lunak dan nilai $\sqrt{t}=4,8$ dan $t_{90}=23,04$ pada lempung organik. Pada pembebanan $0,4 \text{ kg/cm}^2$ ini diperoleh nilai $\sqrt{t}=6$ dan $t_{90}=36$ pada lempung lunak dan nilai $\sqrt{t}=5$ dan $t_{90}=25$ pada lempung organik. Besarnya angka pori. $0,5 \text{ kg/cm}^2$ ini diperoleh nilai $\sqrt{t}=4$ dan $t_{90}=16$ pada lempung lunak dan nilai $\sqrt{t}=4$ dan $t_{90}=16$ pada lempung organik

Tabel 2. Penurunan t_{90} pada beban $0,2 \text{ kg/cm}^2$, $0,3 \text{ kg/cm}^2$, $0,4 \text{ kg/cm}^2$, $0,5 \text{ kg/cm}^2$ pada tanah lempung lunak dan lempung organik.

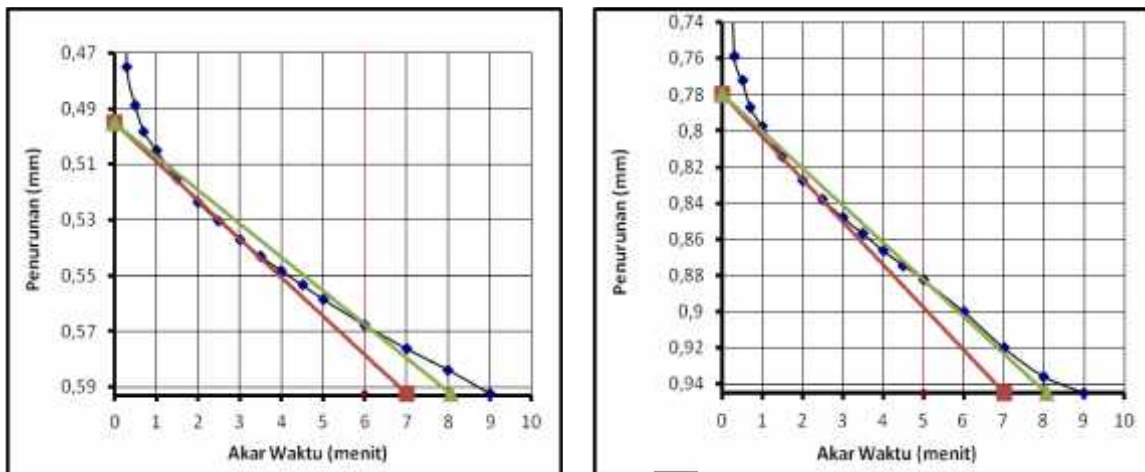
Waktu (menit)	Lempung Lunak				Lempung Organik			
	0,2 kg/cm ²	0,3 kg/cm ²	0,4 kg/cm ²	0,5 kg/cm ²	0,2 kg/cm ²	0,3 kg/cm ²	0,4 kg/cm ²	0,5 kg/cm ²
0	0	0,1793	0,3264	0,5924	0	0,29	0,527	0,945
0,09	0,1003	0,2652	0,4751	0,8372	0,169	0,42	0,759	1,329
0,25	0,107	0,2703	0,4887	0,8466	0,175	0,4274	0,7722	1,3376
0,49	0,1147	0,2754	0,4981	0,8568	0,18	0,4351	0,7869	1,3537
1	0,1207	0,2788	0,5049	0,867	0,1907	0,4405	0,7977	1,3698
2,25	0,1266	0,2847	0,5151	0,88	0,202	0,4499	0,8138	1,3908
4	0,1334	0,289	0,5236	0,8925	0,213	0,4566	0,8272	1,4101
6,25	0,1402	0,2932	0,5304	0,9035	0,223	0,4633	0,838	1,4276
9	0,147	0,2975	0,537	0,912	0,2336	0,47	0,848	1,441
12,25	0,153	0,3009	0,543	0,918	0,2417	0,4754	0,8568	1,4504
16	0,159	0,3043	0,5482	0,9248	0,2497	0,4807	0,8662	1,4611
20,25	0,1632	0,3068	0,5533	0,931	0,2578	0,487	0,8742	1,4692
25	0,1666	0,3102	0,5584	0,9367	0,2632	0,492	0,8823	1,4799
36	0,1717	0,315	0,5678	0,946	0,2712	0,503	0,9001	1,5012
49	0,1742	0,319	0,5763	0,9554	0,279	0,512	0,92	1,521
64	0,1768	0,323	0,5839	0,9639	0,285	0,52	0,936	1,543
1440	0,1793	0,3264	0,5924		0,29	0,527	0,945	



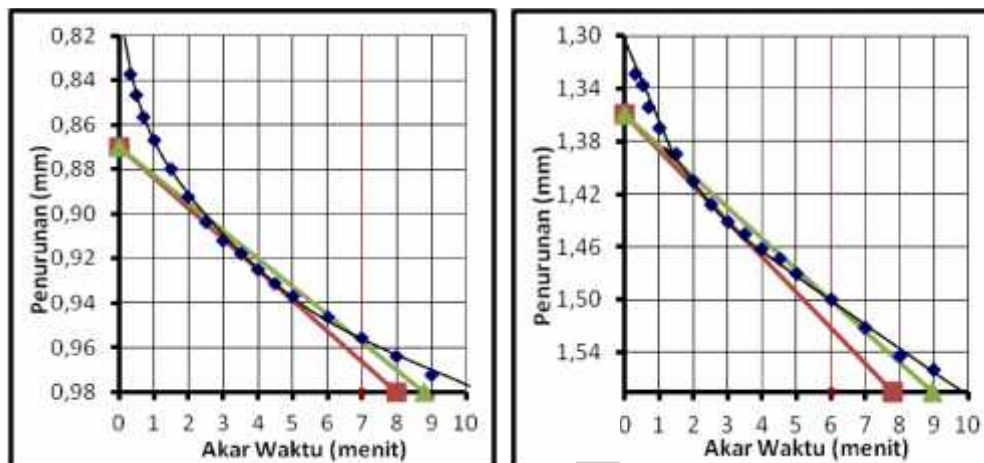
Gambar 3. Grafik penurunan t_{90} beban 0,2 kg/cm² lempung lunak dan lempung organik



Gambar 4. Grafik penurunan t_{90} beban 0,3 kg/cm² lempung lunak dan lempung organik



Gambar 5. Grafik penurunan t_{90} beban $0,4 \text{ kg/cm}^2$ lempung lunak dan lempung organik



Gambar 6. Grafik penurunan t_{90} beban $0,5 \text{ kg/cm}^2$ lempung lunak dan lempung organik

Koefisien konsolidasi (C_v) dicari untuk menentukan kecepatan pengaliran air pada arah vertical dalam tanah. Ada dua metode yang dapat digunakan untuk memperoleh koefisien konsolidasi yaitu metode logaritma waktu (Casagrande dan Fedum, 1940) dan metode akar waktu (Taylor, 1842). Untuk kedua metode tersebut, parameter C_v dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$C_v = \frac{T_v \cdot H^2}{t_{90} \cdot dr} \tag{1}$$

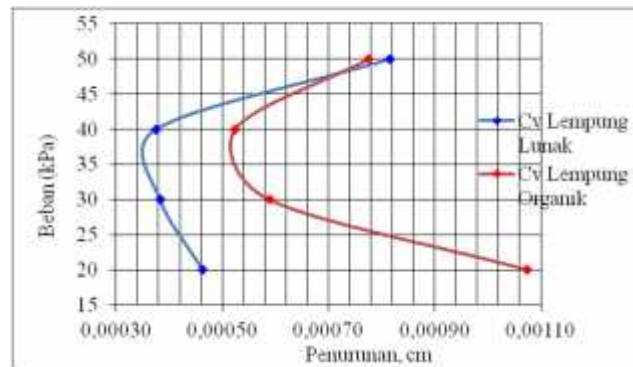
C_v = koefisien konsolidasi vertical, T_v = factor waktu

H_{dr} = tinggi contoh uji sesuai kondisinya, t_{90} = waktu pada 90%

Dari rumus diatas dan data yang di peroleh dapat dihitung nilai koefisien konsolidasi vertikalnya, hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada nilai C_v ditabel dan gambar 7 dibawah ini :

Tabel 3.Perbandingan P terhadap Cv pada pengujian boks

P, kPa	Cv lempung lunak cm ² / dt	CV lempung organik cm ² /dt
20	0.29191	0.68119
30	0.24512	0.38276
40	0.22937	0.35229
50	0.17971	0.24415



Gambar 7. Perbandingan Tekanan terhadap Penurunan Cv

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan nilai koefisien konsolidasi (Cv) pada tanah lempung organik lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena tanah lempung organik mempunyai sifat permeabilitas yang tinggi sehingga akan lebih mudah di tembus oleh air yang menyebabkan tanah cepat mengalami penurunan. Selain sifat permeabilitasnya yang tinggi berat jenis dari tanah lempung lunak itu sendiri lebih besar dari pada tanah lempung organik. Hal ini dapat dilihat pada pembebanan 20 kPa yaitu sebesar 0.00107 dibandingkan tanah lempung lunak sebesar 0.00046. Nilai koefisien konsolidasi (Cv) pada tanah lempung organik pada pembebanan 30 kPa yaitu sebesar 0.00059 dan tanah lempung lunak sebesar 0.00038. Nilai koefisien konsolidasi (Cv) pada tanah lempung organik pada pembebanan 40 kPa yaitu sebesar 0.00052 dan tanah lempung lunak sebesar 0.00037.

Dengan sifat permeabilitas yang tinggi apabila mendapat tekanan dari pembebanan maka air pori dapat mengalir keluar dari dalam tanah dengan cepat sehingga penurunan tanah yang terjadi juga akan semakin besar maka akan semakin cepat mencapai lapisan tanah yang stabil. Sedangkan nilai koefisien konsolidasi (Cv) pada tanah lempung organik lebih rendah pada pembebanan 50 kPa yaitu sebesar 0.00078 dibandingkan tanah lempung lunak sebesar 0.00082. Hal ini terjadi karena lempung organik telah habis air porinya dan telah mampat sedangkan lempung lunak memiliki struktur tanah yang lebih padat sehingga proses konsolidasi berjalan lambat dan tanah terus terkonsolidasi.

Koefisien pemampatan volume merupakan perubahan volume untuk setiap satuan perubahan tegangan.

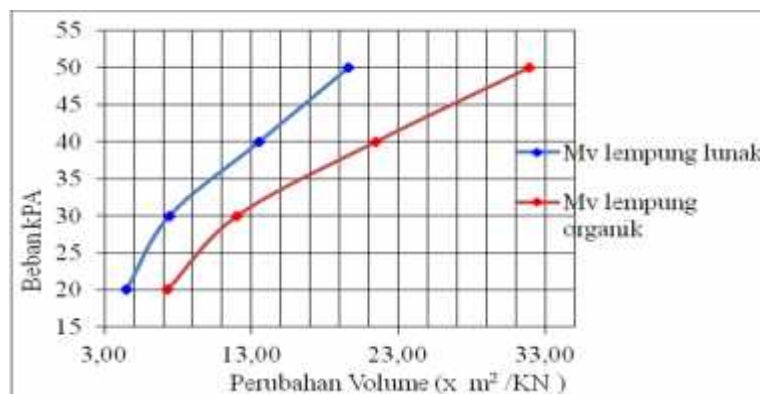
$$Mv = \frac{\frac{\Delta v}{v}}{\Delta p} = \frac{a_v}{1+e} \quad (2)$$

Mv= koefisien kemampuan volume , Δv = perubahan volume akibat beban tegangan
 a_v = perubahan angka pori persatuan perubahan tegangan, e = angka pori.

Dari tabel 4 diatas dapat dibandingkan antara koefisien kemampuan volume lempung lunak desa Belimbing Sari dengan koefisien kemampuan volume desa Beteng Sari yang dapat dilihat pada gambar grafik 8.

Tabel 4.Perbandingan P terhadap Mv pada tanah Lempung Lunak dan Lempung Organik

P Kpa	Mv lempung lunak (x 10 ⁴ m ² /KN)	Mv lempung organik (x 10 ⁴ m ² /KN)
20	4,48	7,25
30	7,42	12,02
40	13,52	21,47
50	19,58	31,91



Gambar 8.Perbandingan tekanan terhadap perubahan volume (Mv)

Dari hasil tersebut dapat dilihat koefesien pemampatan tanah lempung organik lebih besar dibandingkan tanah lempung lunak, perbedaan ini terjadi karena tanah lempung organik memiliki ruang pori yang besar sehingga ketika diberi beban akan terjadi perubahan volume yang besar. Sedangkan tanah lempung lunak memiliki struktur tanah yang lebih padat dan akan mengalami perubahan volume yang lebih kecil ketika diberi pembebanan disbanding tanah organik. Tanah lempung lunak lebih cepat mampat juga disebabkan kerana perilaku tanahnya memiliki berat jenis yang lebih besar dibanding pada tanah lempung organik. Hal ini terlihat pada Nilai koefisien kemampuan (mv) pada tanah lempung organik pada pembebanan 20 kPa yaitu sebesar 7.25 dan tanah lempung lunak sebesar 4.48. Nilai koefisien konsolidasi

(mv) pada tanah lempung organik pada pembebanan 30 kPa yaitu sebesar 12.02 dan tanah lempung lunak sebesar 7.42. Nilai koefisien kemampatan (mv) pada tanah lempung organik pada pembebanan 40 kPa yaitu sebesar 21.47 dan tanah lempung lunak sebesar 13.52. Nilai koefisien konsolidasi (Mv) pada tanah lempung organik pada pembebanan 50 kPa yaitu sebesar 31.91 dan tanah lempung lunak sebesar 19.58.

Indeks pemampatan digunakan untuk menghitung besarnya penurunan yang terjadi dilapangan sebagai akibat dari konsolidasi dapat di tentukan dari kurva yang menunjukkan hubungan antara angka pori dan tekanan yang didapat dari uji konsolidasi di laboratorium . Cc dapat di hitung dengan rumus :

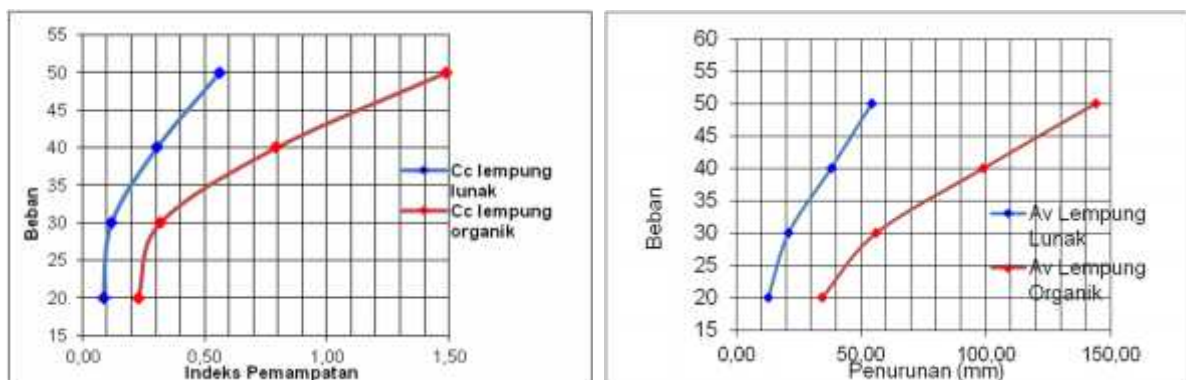
$$C_c = \frac{e}{\log p'} = \frac{e_1 - e_2}{\log 2' - \log p_1'} = \frac{e_1 - e_2}{\log \left(\frac{a_2'}{p_1'}\right)} \quad (3)$$

Dengan menggunakan rumus diatas dapat diketahui nilai Cc seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 5.Perbandingan P terhadap Cc

P KPa	Cc lempung lunak	Cc lempung organik
20	0,09	0,23
30	0,119	0,320
40	0,305	0,790
50	0,561	1,490

Dari tabel 5 dapat dilihat perbandingan indeks pemampatan antara tanah lempung lunak di desa belimbing sari dan tanah lempung organik di desa beteng sari, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



Gambar 9. Perbandingan tekanan terhadap indeks pemampatan (Cc) dan Av

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa nilai indeks pemampatan (Cc) pada tanah lempung lunak lebih kecil. Hal ini disebabkan karena rongga-rongga porinya terisi dengan partikel-partikel yang saling mengikat sehingga struktur tanahnya menjadi lebih padat dan mudah mampat. Sehingga apabila mendapat tekanan dari pembebanan maka penurunan tanah yang

terjadi akan semakin berkurang. Selain itu berat jenis dari tanah lempung lunak itu sendiri lebih solid dibandingkan dengan tanah organik karna material penyusun tanahnya berupa tanah lempung murni. Hal ini terlihat pada Nilai koefisien kemampatan (Cc) pada tanah lempung organik pada pembebanan 30 kPa yaitu sebesar 0.32 dan tanah lempung lunak sebesar 0.12. Nilai koefisien kemampatan (Cc) pada tanah lempung organik pada pembebanan 40 kPa yaitu sebesar 0.79 dan tanah lempung lunak sebesar 0.30. Nilai koefisien konsolidasi (Cc) pada tanah lempung organik pada pembebanan 50 kPa yaitu sebesar 1.49 dan tanah lempung lunak sebesar 0.56.

Koefisien pemampatan (Av) adalah koefisien yang menyatakan kemiringan kurva $e - p'$. jika volume awal v^1 mampat menjadi v^2 , maka terjadi pengurangan angka pori perubahan volume menjadi :

$$aV = \Delta e / \Delta p = \frac{(e_1 - e_2)}{p_2' - p_1'} \quad (4)$$

dengan menggunakan rumus diatas dan dari data data yang sudah dikumpulkan dapat dihitung nilai Av seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 6. Perbandingan P terhadap av

Beban	av Lempung Lunak	av Lempung Organik
kPa		
20	12,83	34,35
30	21,04	56,15
40	38,06	99,03
50	54,36	144,05

Dari tabel 28 diatas dapat dilihat nilai av pada tanah lempung lunak desa Belimbing sari dan nilai av tanah lempung organik didesa Beteng sari, untuk perbandingannya dapat dilihat pada gambar gambar 38 dibawah ini

Dari gambar 9 di atas dapat dijelaskan bahwa koefisien pemampatan (aV) pada tanah lempung organik memiliki koefisien pemampatan yang cukup besar dan cepat. Hal ini dikarenakan perubahan perilaku tanah lempung organik apabila dilakukan pembebanan akan dengan cepat mengalami penurunan, ini juga dikarenakan persentase kadar air yang lebih tinggi sedangkan pada tanah lempung lunak memiliki kadar air yang lebih rendah sehingga koefisien pemampatannya lebih kecil dan perubahan volumenya apabila dilakukan pembebanan tidak secepat tanah lempung organik. Hal ini juga dipengaruhi berat jenis dari tanah organik sendiri yang terdiri dari bahan bahan organik yang memiliki sifat tidak terlalu mengikat air sehingga dengan mudah menyusut apabila dilakukan pembebanan.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa perkuatan tanah dengan menggunakan matras beton bambu dengan tiang mampu mengurangi penurunan yang terjadi di tanah lempung lunak dan lempung organik. Sehingga dukung tanah lempung lunak dan lempung organik akan meningkat apabila diberi perkuatan berupa matras beton bambu dengan tiang, hal ini berarti matras beton bambu dengan tiang dapat digunakan sebagai solusi perkuatan tanah yang berbutir halus.
- 3.. Dari hasil penelitian nilai M_v , C_c dan a_v pada pengujian tanah asli dengan pengujian boks, pada pada pengujian boks M_v lebih kecil dari pengujian lab, hal ini disebabkan pada pengujian boks perubahan volume tanahnya setelah diberi pembebanan tidak begitu besar karna sudah diberi perkuatan berupa matras beton bamboo dan tiang sebagai material perkuatan tanah. Sehingga tanahnya menjadi lebih mampat dan dapat lebih kuat menahan pembebanan. Hal ini terjadi pada kedua jenis tanah baik tanah lempung lunak maupun tanah lempung organik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E. 1991. Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah, Erlangga, Jakarta.
- Das, M. Braja. 1995. Mekanika Tanah (Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis), Jilid I, Erlangga . Jakarta.
- Hardiyatmo, H., C., 1996. Mekanika Tanah1. PT. GramediaPustakaUtama. Jakarta..
- Hardiyatmo, H., C., 2002. Mekanika Tanah 2. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Terzaghi, Karl, Ralph B. Peck. (1987), Mekanika Tanah dalam. Praktek Rekayasa Jilid 1. PT.Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

PEMODELAN ALIRAN PADA PIPA SUPLAI UNTUK MENENTUKAN BERAT KATUP BUANG (WASTE VALVE) MODEL POMPA TANPA MOTOR (HYDRAULIC RAM PUMP)

Jorfri Boike Sinaga¹, Azhar², Novri Tanti¹, Sugiman¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

²Jurusan Teknik kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

Email: jorfri6@yahoo.com

ABSTRAK

Pompa tanpa motor (hydraulic ram pump) adalah suatu peralatan yang istimewa dimana peralatan ini dapat dimanfaatkan untuk memompakan air ke tempat yang jauh lebih tinggi dari tinggi sumber air dengan menggunakan energi aliran air itu sendiri. Berdasarkan prinsip kerja peralatan pompa ini, maka pompa ini dapat digunakan untuk penyediaan air bagi kebutuhan rumah tangga, ununtuk memenuhi kebutuhan air untuk pertanian atau masyarakat, dan juga dapat digunakan untuk pembangkit listrik. Salah satu parameter yang mempengaruhi unjuk kerja pompa ini adalah katup buang (waste valve). Pada makalah ini dilakukan pemodelan matematika aliran air di dalam pipa suplai untuk menentukan berat katup buang yang digunakan pada suatu model pompa tanpa motor. Hasil pemodelan digunakan untuk merancang model pompa tanpa motor yang akan digunakan untuk head sumber 1,5 m, dan juga diuji untuk mengetahui unjuk kerja pompa ketika digunakan untuk memompakan air ke ketinggian (delivery head) 7 m, 8 m, dan 9 m.

Kata kunci: Pemodelan, pompa tanpa motor, katup buang, energi terbarukan.

1. PENDAHULUAN

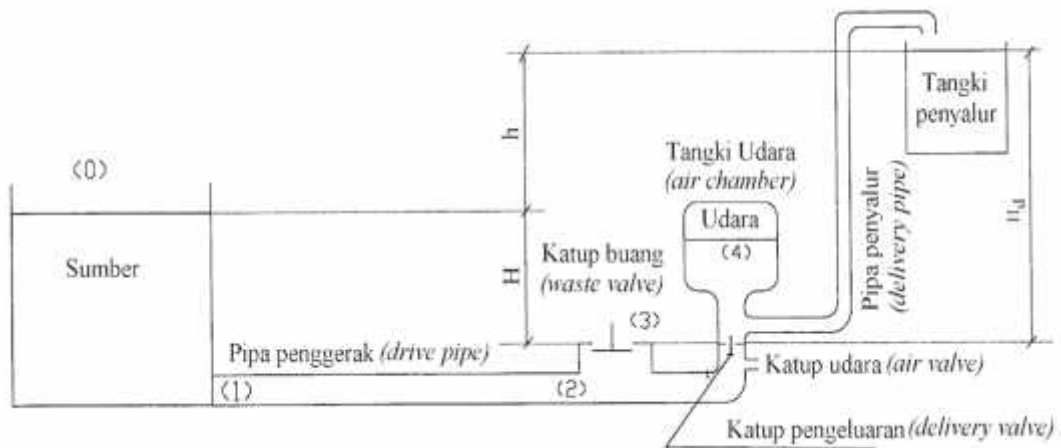
Pompa tanpa motor (*hydraulic ram pump*) adalah suatu peralatan yang unik dimana peralatan ini menggunakan energi dari aliran air yang memiliki ketinggian jatuh rendah sebagai energi suplai untuk memompa sebagian air ke tempat yang jauh lebih tinggi dari head sumber air. Aliran air yang kontinu mengakibatkan pengeoperasian pompa ini juga kontinu dengan tidak menggunakan sumber energi lain (Taye, 1998).

Dengan menggunakan teknologi pompa ini, sawah atau lahan pertanian tadah hujan yang terletak di ketinggian yang letaknya jauh di atas sumber air, dapat dialiri air dengan menggunakan energi aliran air itu sendiri tanpa menggunakan energi listrik atau bahan bakar minyak. Dan juga saat ini penggunaan teknologi pompa ini sedang dikembangkan untuk pembangkitan energi listrik disamping digunakan untuk membantu irigasi pertanian dan memenuhi kebutuhan air bagi rumah tangga (Sinaga, ddk., 2015).

Salah satu parameter yang mempengaruhi unjuk kerja pengoperasian pompa tanpa motor ini adalah katup buang (Tessema, 2000). Pada makalah ini diberikan pemodelan aliran di dalam sistem pompa tanpa motor, sehingga dihasilkan berat katup buang yang digunakan sesuai dengan potensi head sumber. Hasil pemodelan ini juga digunakan untuk menentukan berat katup buang model alat uji pompa tanpa motor yang dirancang bangun di Laboratorium Mekanika Fluida Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

1.1 Sistem Pompa Tanap Motor (*Hydraulic Ram Pump*)

Gambar 1 menunjukkan diagram seluruh komponen sistem pompa *hydraulic ram pump*.



Gambar 1. Instalasi pompa tanpa motor (*hydraulic ram pump*) (Taye, 1998).

Pompa *hydraulic ram pump* adalah suatu alat yang sederhana secara struktur, terdiri atas dua bagian yang bergerak yaitu: katup buang (*waste valve*), dan katup pengeluaran (*delivery valve*). Unit ini juga terdiri atas tangki penyimpan udara (*air chamber*) dan katup udara masuk (*snifter valve*). Pengoperasian *hydraulic ram pump* adalah *intermitent* akibat siklus pembukaan dan penutupan katup buang dan pengeluaran. Penutupan katup buang akan mengakibatkan peningkatan tekanan yang tinggi di dalam pipa suplai (*drive pipe*). Tangki penyimpan udara dibutuhkan untuk mencegah tekanan yang tinggi ini dan digunakan untuk memompakan air yang mengalir secara *intermitent* menjadi suatu aliran yang kontinu. Lubang udara memberikan udara masuk ke *hydraulic ram pump* menggantikan udara yang diabsorb oleh air akibat tekanan yang tinggi dan percampuran di dalam tangki udara (*air chamber*).

1. 2. Model Aliran di Dalam Pipa Suplai

Akibat adanya head (H) sumber yang dihasilkan seperti pada Gambar 1, maka air mengalami percepatan di dalam pipa suplai (*drive pipe*) dan keluar melalui katup buang (*waste valve*). Percepatan air sesaat di dalam pipa suplai dapat dimodelkan (Thomas, 1994).

$$\frac{dV}{dt} = g S (1 - kV^2) \quad (1)$$

Dimana: V adalah kecepatan aliran di dalam pipa (m/det), t adalah waktu (det), g adalah percepatan gravitasi bumi, S adalah kemiringan pipa suplai H/L , L adalah panjang pipa suplai (m) dan k adalah faktor hambatan. Percepatan di dalam pipa suplai akan berhenti ketika:

$$V = V_{\infty} = k^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Faktor hambatan k merefleksikan kerugian head pada masukan pipa suplai, plus kerugian head gesekan di dalam pipa suplai, kerugian gesekan di dalam pompa dan head kecepatan yang keluar dari air yang terbang. Kerugian head akibat seluruh faktor-faktor ini dapat dinyatakan sebagai suatu perkalian head kecepatan di dalam pipa

$$H_{Loss} = C \times \frac{V^2}{2g} \quad (\text{dimana } C = 2gH \times k) \quad (3)$$

$$\text{Dan } C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (4)$$

Dimana C_1 adalah koefisien kerugian pada masukan pipa, C_2 adalah koefisien gesekan pipa fL/D dan f faktor gesekan dalam pipa dan nilai ini dapat diketahui dari buku teks mekanika fluida (Fox dan McDonald, 1995), C_3 adalah koefisien kerugian pompa, umumnya 1,5 tapi mungkin lebih besar, dan $C_4 = A^2/Ae^2$, dimana A adalah luas permukaan penampang pipa dan Ae adalah luas efektif dari aliran keluar katup impuls.

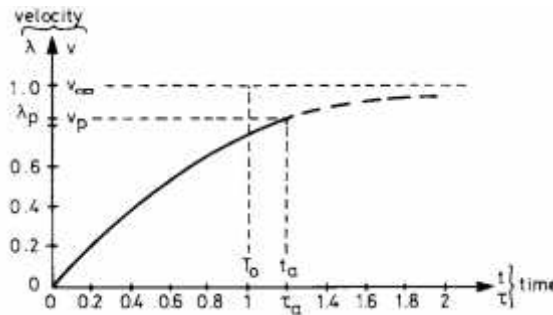
Faktor hambatan k pada Persamaan 1 dapat disederhanakan menjadi $k = k_d + k_p$ dimana k_d mewakili hambatan pipa suplai $k_d = C_2/2gH$ dan k_p mewakili hambatan pada pompa $k_p = (C_3 + C_4)/2gH$. Untuk perancangan ini meminimiliasi k_p adalah tujuan dimana, khususnya dengan memaksimumkan Ae untuk menjaga C_4 kecil dan memiliki saluran dalam yang besar untuk menjaga C_3 kecil.

Penyelesaian Persamaan 2 dan 3 dilakukan dengan mengenalkan suatu variabel kecepatan normalisasi yang didefinisikan,

$$\lambda = V/V_\infty = \frac{e^{2\ddagger} - 1}{e^{2\ddagger} + 1} \quad (5)$$

dimana waktu normalisasi, $\ddagger = t/t_0$ (bila $\lambda = \lambda_p$, $\ddagger = \ddagger_m = t_a/t_0$) dan waktu acuan, $t_0 = V_\infty / g S$ (waktu untuk mencapai kecepatan v_∞ dimana tidak ada pengaruh yang memperlambat).

Hubungan kecepatan normalisasi terhadap waktu t dan waktu normalisasi ini digambarkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Variasi kecepatan air selama fase percepatan ($\lambda = V / V_\infty$ dan $\ddagger = t/t_0$ adalah nilai-nilai normalisasi)

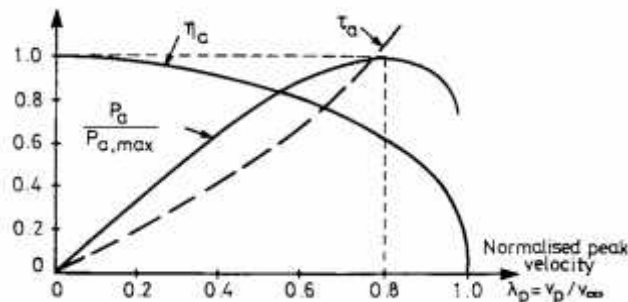
Sebagaimana tujuan fase percepatan adalah untuk mengubah energi potensial (ketinggian) menjadi energi kinetik, maka kita tertarik pada efisiensi dan daya (laju pembentukan energi kinetik). Kedua fungsi dapat dihungkan menjadi fungsi yang dihubungkan dengan kecepatan puncak V_p .

Gambar 3 menunjukkan efisiensi dan daya normalisasi dari fase percepatan sebagai suatu keseluruhan, sebagai fungsi dari kecepatan puncak normalisasi pada penutupan katup buang ($\lambda_p = V_p / V_\infty = Q_p / Q_\infty$). Persamaan aljabar efisiensi dan daya normalisasi ini adalah:

$$y_a = -\lambda_p^2 / \ln(1 - \lambda_p^2)$$

$$P_a = \dots A L \frac{g H}{2} V_\infty \times \frac{\lambda_p^2}{\ddagger_\infty^2} \quad (6)$$

$$t_a = \ddagger_a t_0 = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 + \lambda_p}{1 - \lambda_p} \right) V_\infty / g S$$



Gambar 3. Grafik hubungan efisiensi dan daya dari fase percepatan (V_p adalah kecepatan pada akhir fase)

Selama periode percepatan kecepatan rata-rata adalah sekitar setengah kali dari kecepatan puncak (akhir) dan aliran puncak dihubungkan dengan cara yang sama. Waktu percepatan adalah mendekati $V_p / g S$ yang secara aktual nilainya:

$$t_a = V_p / g S \cdot \frac{\text{Ln} \left(\frac{1 + \lambda_p}{1 - \lambda_p} \right)}{2 \lambda_p} \quad (7)$$

dan kecepatan rata-rata selama fase percepatan diberikan persamaan:

$$\frac{\bar{V}_a}{V_p} = \frac{\bar{Q}_a}{Q_p} = \frac{-\text{Ln}(1 - \lambda_p^2)}{\lambda_p \text{Ln} \left\{ \frac{(1 + \lambda_p)}{(1 - \lambda_p)} \right\}} \quad (8)$$

Nilai-nilai variabel ini dapat dilihat seperti dalam Tabel 1.

Dari Gambar 3 jelas terlihat tidak ada manfaatnya memilih nilai λ lebih tinggi dari 0,8 (sebagai contoh aliran puncak pipa suplai sama dengan 80% dari nilai aliran maksimum yang mungkin). Daya percepatan maksimum terjadi pada $\lambda = 0,8$ tapi efisiensi kemudian menurun $\eta = 0,63$. Pemilihan aliran yang jauh lebih rendah umumnya lebih disukai, sebagai contoh $\lambda = 0,47$ akan memberikan daya maksimum 75% tapi efisiensi kemudian meningkat $\eta = 90\%$. Gambar 3 ini menunjukkan hubungan utama antara yang dihasilkan dan efisiensi di dalam perancangan pompa tanpa motor.

Tabel 1. Laju aliran percepatan dan waktu percepatan rata-rata

λ_p	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	(1.0)
$t_a + g S / v_p$	1.00	1.00	1.01	1.03	1.06	1.10	1.16	1.24	1.37	1.64	(∞)
$\bar{Q}_a / \frac{1}{2} Q_p$	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.05	1.07	1.11	1.16	1.25	(2)
η_a	1.00	0.99	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.72	0.62	0.49	(0)

Akhirnya dari model fase percepatan ini diperoleh kecepatan rata-rata aliran, dan kecepatan ini diandaikan kecepatan yang cukup untuk memulai menutup katup buang (*waste valve*). Hal ini terjadi bila gaya geseran dan tekanan di dalam air sama dengan berat katup buang. Gaya geseran dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini

$$F_d = C_d \times A_v \times \rho_w \times \frac{V^2}{2g} \quad (9)$$

Dimana: F_d adalah gaya geseran yang terjadi pada katup pembuangan (N), A_v adalah luas penampang katup pembuangan (m^2), dan ρ_w adalah massa jenis air = 1000 kg/m^3 , C_d adalah

koefisien geseran katup pembuangan. Koefisien geseran C_d tergantung pada bilangan Reynolds aliran dan bentuk objek, untuk benda sirkular $C_d = 1.12$.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu melakukan penyelesaian persamaan-persamaan model fase percepatan aliran di dalam pompa tanpa motor yang telah diberikan untuk memperoleh ukuran berat katup buang sesuai potensi aliran dan head sumber yang akan dimanfaatkan. Hasil pemodelan tersebut kemudian digunakan untuk menentukan berat katup buang suatu rancangan model pompa tanpa motor, dimana head sumber yang digunakan 1,5 m. Hasil rancang bangun model pompa ini kemudian diuji dengan tinggi pemompaan 7 m, 8 m, dan 9 m.

Untuk mendapatkan karakteristik unjuk kerja rancangan model pompa tanpa motor, maka efisiensi pompa ini dihitung dengan menggunakan metode Rankine (Taye, 1998):

$$\eta_{\text{Rankine}} = \frac{Q \times h}{((Q + Q_w) \times H)} \quad (10)$$

Dimana: η adalah efisiensi pompa, Q adalah aliran yang dipompakan (lit/ men), Q_w adalah aliran yang terbuang (lit/men), H adalah head sumber di atas pembukaan katup pembuangan (m), h adalah head pompa di atas head sumber (m).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

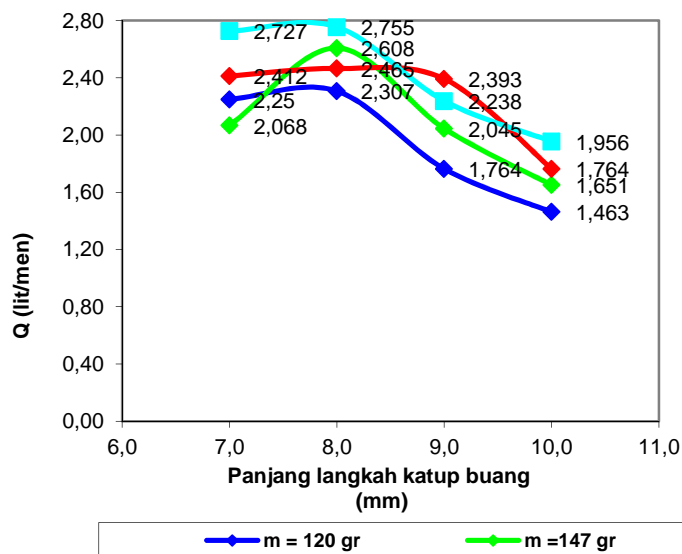
Persamaan-persamaan hasil pemodelan fase percepatan aliran di dalam pompa tanpa motor kemudian digunakan untuk menentukan berat katup buang pompa tanpa motor dimana head sumber yang digunakan $H = 1,5$ m. Model pompa tanpa motor ini menggunakan diameter pipa suplai ukuran 1 1/4 in., dan panjang pipa 7,8 m. Dimana rasio panjang dan diameter pipa suplai ini L/D , masih dalam daerah rasio panjang dan diameter pipa suplai yang diusulkan Taye (1998). Hasil pemodelan fase percepatan di dalam pompa diperoleh kecepatan rata-rata aliran selama fase percepatan di dalam pipa suplai $V_a = 0,495 \text{ m/s}$. Massa katup buang dihitung dengan menggunakan Persamaan 9 dan diperoleh $m = 200$ gr, dimana diameter katup buang yang digunakan 45 cm, dan volume tabung udara 4,2 lit. (Sinaga, dkk., 2015). Katup buang hasil rancangan dan model pompa tanpa motor dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5. Pompa ini kemudian diuji dengan tinggi pemompaan 7 m, 8 m, dan 9 m dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6, 7, 8, 9, 10, dan 11.



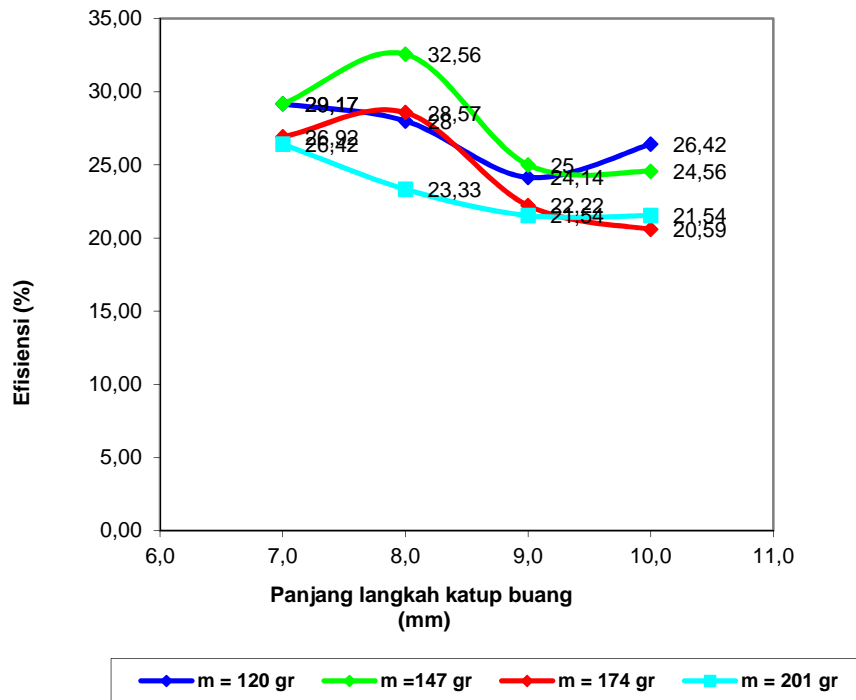
Gambar 4. Model katup buang pompa *hydram*.



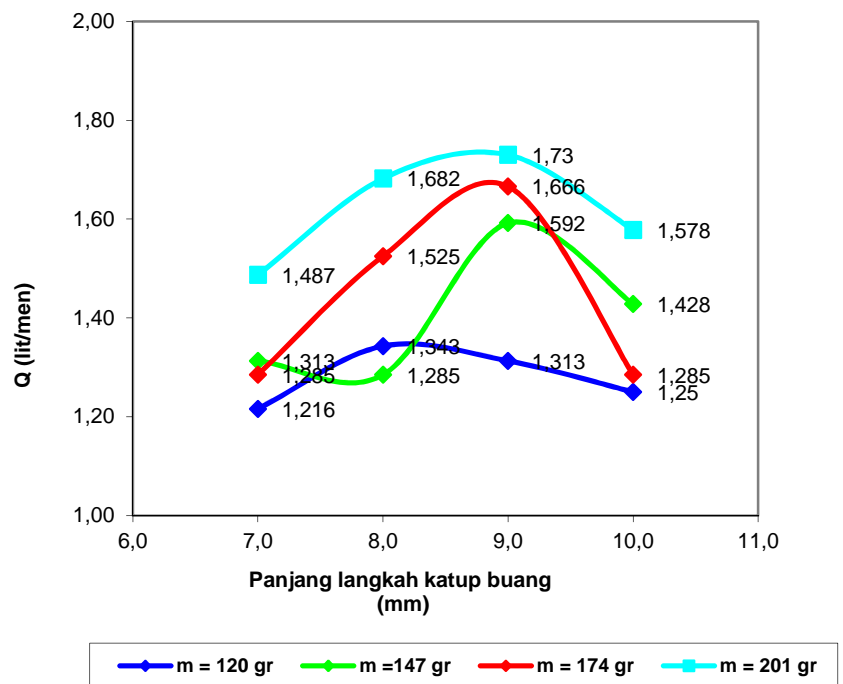
Gambar 5. Model pompa tanpa motor (*hydram pump*) yang dirancang.



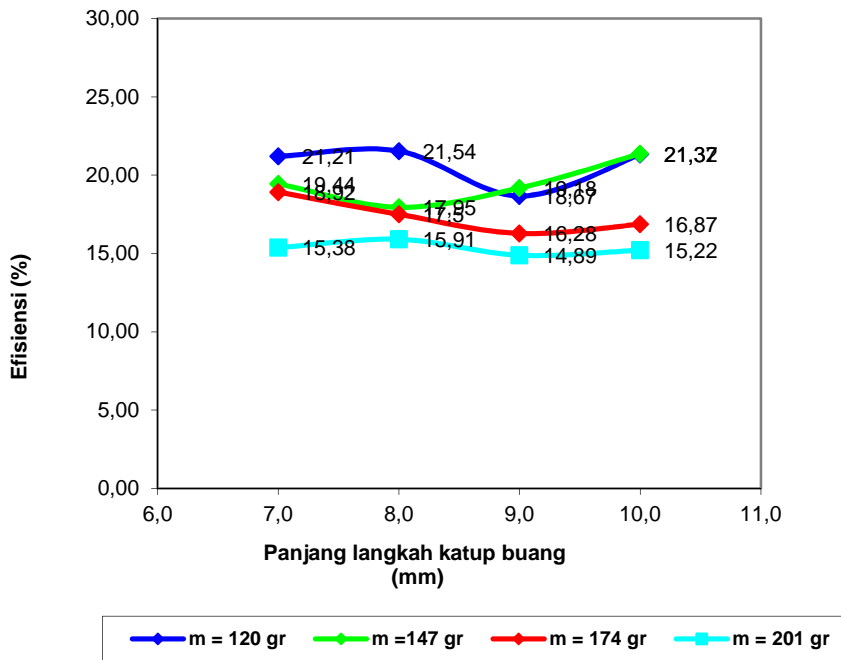
Gambar 6. Grafik hubungan antara laju aliran volume air yang disalurkan terhadap panjang langkah katup buang untuk tinggi head pemompan 7 m



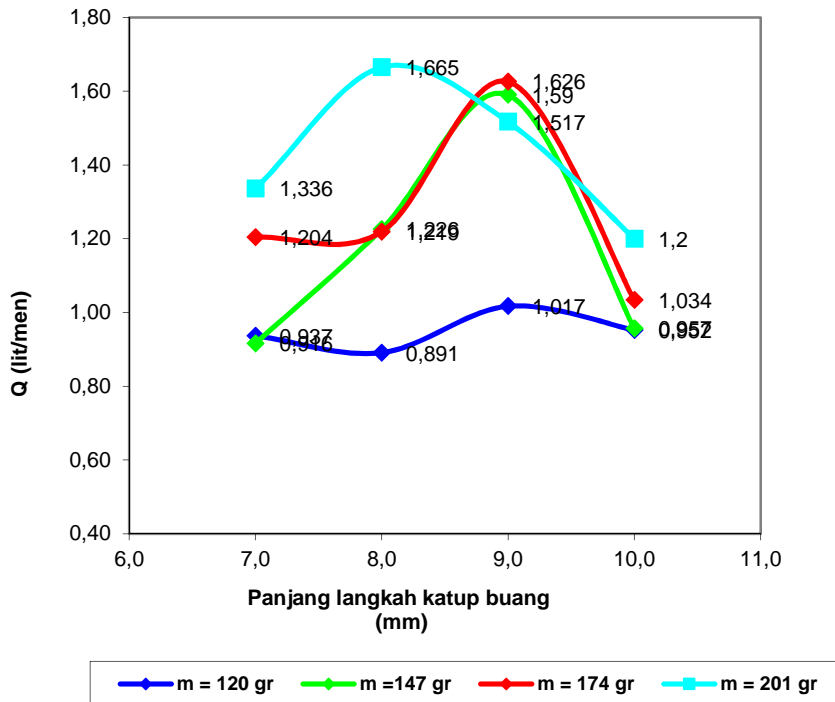
Gambar 7. Grafik hubungan antara efisiensi terhadap panjang langkah katup buang untuk tinggi head pemompan 7 m



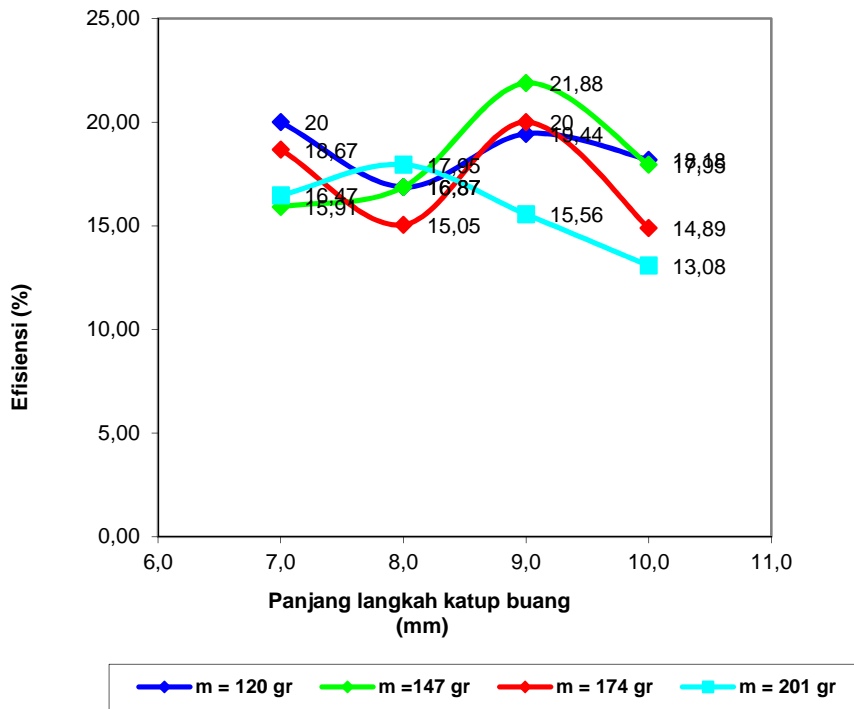
Gambar 8. Grafik hubungan antara laju aliran volume air yang disalurkan terhadap panjang langkah katup buang untuk tinggi head pemompan 8 m



Gambar 9. Grafik hubungan antara efisiensi terhadap panjang langkah katup buang untuk tinggi head pemompan 8 m



Gambar 10. Grafik hubungan antara laju aliran volume air yang disalurkan terhadap panjang langkah katup buang untuk tinggi head pemompan 9 m



Gambar 11. Grafik hubungan antara efisiensi terhadap panjang langkah katup buang untuk tinggi head pemompan 9 m

Dari Gambar 6, 8, dan 10 dapat dilihat bahwa debit pemompaan maksimum untuk ketinggian pemompaan 7 m, 8 m, dan 9 m, adalah dengan menggunakan berat katup buang 201 gr, dimana debit pemompaan yang dihasilkan yaitu 2,755 lit./menit, 1,730 lit./menit, 1,665 lit./menit. Hasil debit air yang dipompakan ini lebih baik dibandingkan dengan menggunakan berat katup buang 120 gr, 147 gr, dan 174 gr. Walaupun pengoperasian dengan menggunakan berat katup buang 201 gr ini tidak memberikan pengoperasian dengan efisiensi maksimum bila dibandingkan dengan menggunakan berat katup buang 120 gr, 147 gr, dan 174 gr, tetapi yang diinginkan dari pengoperasian pompa tanpa motor ini adalah debit aliran maksimum yang dipompakan, karena energi penggerak air ini adalah energi aliran air itu sendiri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa massa katup buang yang digunakan ini, mendekati massa katup buang yang dihitung dengan menggunakan pemodelan fase percepatan aliran di dalam pompa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dari hasil perancangan model pompa tanpa motor (*hydraulic ram*) ini maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Berat katup buang mempengaruhi unjuk kerja dari model pompa tanpa motor (*hydraulic ram pump*).

2. Pemodelan aliran yang dilakukan memberikan hasil yang cukup baik untuk menentukan berat katup buang dan metode pemodelan ini dapat digunakan untuk perancangan katup buang pompa tanpa motor.
3. Model pompa *hydram* yang telah dibuat ini mampu memompakan air hingga mencapai ketinggian 7 m, 8 m, dan 9 m untuk kondisi pengoperasian volume tabung udara 4,2 lit, head sumber 1,5 m, dan memberikan debit aliran air maksimum yang dipompakan masing-masing 2,955 lit./menit, 1,730 lit./menit, 1,665 lit./menit.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Fox, R. W., and Mc Donald, A. T., 1995. Introduction to Fluid Mechanics. John Wiley & Sons, New York. 781 pp.
- 2 Sinaga, J. B., Azhar, dan N. Tanti, 2015a. Rancang Bangun Model Pembangkit Listrik dengan Menggunakan Teknologi Pompa Tanpa Motor (*Hydraulic Ram Pump*) untuk Membantu Memenuhi Listrik Pedesaan di Provinsi Lampung. Laporan Tahun Pertama Hibah Bersaing, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- 3 Taye, T., 1998. Hydraulic Ram Pump, Journal of the Ethiopian society of Mechanical Engineers, Vol. II, No. 1, July 1998.
- 4 Tessema, A. A., 2000. Hydraulic Ram Pump System Design And Application. ESME 5th Annual Conference on Manufacturing and Process Industry, held at Addis Ababa, Ethiopia , September 2000.
- 5 Thomas, T. H., 1994. Algebraic Modelling of the Behaviour of Hydraulic Ram Pumps, Working Paper No. 41 Department of Engineering, University of Warwick.

PENGARUH KALSINASI (150, 250, DAN 350 C) ELEKTRODE SUPERKAPASITOR ZEOLIT TERHADAP REVERSIBILITAS ELEKTROKIMIA

Siti Imas Masitoh, Agus Riyanto, Suprihatin

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung,
email: imassiti693@gmail.com

ABSTRACT

This study was conducted to determine the effect of calcination on the zeolite phase, the constant value standard velocity of the electron (k_0), and the inter-relationship between the phase zeolite with constant value standard velocity electron (k_0). Synthetic zeolite obtained from mixing through a chemical reaction using the silica sol derived from rice husk and sodium alumina. Zeolite then calcined at a temperatures of 150, 250, and 350 C and characterized using XRD (X-Ray Diffraction) and CV (Cyclic voltammetry). The results of XRD analysis on the calcination 150 C Gibbsite phase has been formed, in the calcination 250 C been formed Gibbsite, Bohmite, and Quartz. As well as the calcination 350 C formed Bohmite phase and Quartz. CV analysis results showed the k_0 value varies, and the mechanism reaction was irreversible. Gibbsite phase at a calcination 150 C k_0 highest values obtained by $3,75 \times 10^{-7}$, Gibbsite phase, Bohmite and Quartz on the calcination 250 C k_0 highest values obtained by $1,52 \times 10^{-7}$, as well as the phase Bohmite and Quartz on the calcination values obtained 350 C k_0 highest of $2,16 \times 10^{-7}$.

Keywords: Electrodes, Electrochemistry, Reversibility, Supercapacitor, Zeolite.

1. PENDAHULUAN

Superkapasitor merupakan terobosan baru di dunia piranti penyimpan energi listrik karena memiliki siklus hidup lebih lama dari baterai (Conway, 1999), kapasitas penyimpanan energi lebih besar, rapat daya lebih tinggi dari baterai (Kotz *and* Bartschi, 2002), serta rapat energi yang lebih tinggi dari kapasitor konvensional (Jayalakshmi *and* Balasubramanian, 2008). Sebagai alat penyimpan energi listrik, superkapasitor telah digunakan secara luas pada bidang elektronik dan transportasi, seperti sistem telekomunikasi digital, komputer, mobil listrik hibrid (*hybrid electrical vehicles*), dan lain sebagainya (Wang, 2004). Proses penyimpanan energi listrik pada superkapasitor mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan kapasitor konvensional, diantaranya adalah waktu pengisian (*charge*) pendek, prinsip kerja dan modelnya sederhana, serta aman dalam penggunaannya (Kotz *and* Carlen, 2000).

Superkapasitor membutuhkan elektrode dari bahan dengan luas permukaan spesifik yang besar dan struktur berpori sehingga aksesibilitas ion akan lebih cepat meningkatkan efisiensi

elektrode superkapasitor. Material dasar yang umum digunakan untuk pembuatan elektrode superkapasitor adalah karbon aerogel (Stoller *et al*, 2008), *single-walled carbon nanotube* (An *et al*, 2001), komposit mineral karbon (Izadi *et al*, 2011), dan *ruthenium oxide* (Patake *et al*, 2009). Selain itu, aluminosilikat atau zeolit berpotensi sangat besar untuk dapat digunakan sebagai pengganti *carbon* maupun *ruthenium oxide*. Zeolit termasuk kelompok aluminosilikat terhidrasi dari logam alkali atau logam alkali tanah, yang merupakan bahan anorganik berpori dengan struktur pori sangat teratur (Shumba *et al*, 2011). Zeolit diketahui mempunyai sifat unik yang mampu menukar ion, densitas rendah, dan struktur berpori (Bogdanov *et al*, 2009). Zeolit juga sangat berguna untuk mengatasi mobilitas unsur-unsur beracun dalam sejumlah aplikasi lingkungan, memiliki sifat nonkorosif (Wu *et al*, 2008), dan tidak mudah rusak bila terkena pelarut organik atau bahan kimia lain (Saputra dan Rosjidi, 2004). Sehingga zeolit berpotensi untuk dijadikan elektrode superkapasitor yang dapat bekerja melalui mekanisme transfer faraday muatan reaksi redoks yang ramah lingkungan. Zeolit dapat disintesis dari campuran silika dan natrium alumina yang direaksikan secara kimiawi dengan berbagai metode seperti hidrotermal, *hydro gel*, dan *sol gel*. Silika dalam pembuatan zeolit sintesis dapat diperoleh dari limbah sekam padi. Menurut Fahmi dan Ronaldi (2013), tingkat kemurnian tertinggi silika sekam padi diperoleh sebesar 98,12%. Disamping itu, silika sekam padi memiliki struktur amorf (Suka dkk, 2008).

Penelitian terkait zeolit sintesis telah banyak diteliti, seperti yang dilakukan oleh Putro dan Prasetyoko (2007) yang berhasil mensintesis zeolit ZSM-5 menggunakan metode hidrotermal dengan sumber silika dari abu sekam padi pada suhu 195⁰C selama 24 jam dengan perbandingan mol silika dan alumina sebanyak 50. Namun, pembuatan zeolit sintesis dengan metode hidrotermal memiliki sisi kelemahan, yaitu memerlukan suhu cukup tinggi dan waktu reaksi yang cukup lama. Dari sisi kelemahan kedua metode tersebut, dipilihlah metode *sol gel*. Metode *sol gel* dipilih karena berbiaya rendah (*low-cost*), tidak memerlukan suhu tinggi, dan menghasilkan tingkat kehomogenan yang tinggi (Sembiring, 2011).

Pada penelitian ini, zeolit sintesis akan dikalsinasi (150, 250, dan 350⁰C), kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui fase struktur kristal, serta diuji menggunakan teknik CV (*cyclic voltammetry*) guna mengetahui reversibilitas reaksi yang dihasilkan. CV merupakan suatu teknik yang mampu memberikan informasi mengenai proses termodinamika reaksi redoks dan kinetika transfer elektron yang terjadi di permukaan elektrode (Wang, 2000).

2. METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang dibutuhkan berupa: aquades, sekam padi, aluminium *hydroxide* (Al(OH)₃) Merck KGaA *made in Germany* (1.01091.1000), *sodium hydroxide* (NaOH) Merck KGaA *made in Germany* (1.06498.1000) 99%, asam nitrat (HNO₃) 68% RP Chemical Product, dan karbon aktif.

Alat yang digunakan berupa: *beaker glass* Pyrex USA 250 ml, 500 ml; 80 ml, labu ukur Pyrex USA 10 ml/0,2 ml, pH indikator *strips* Merck KgaA *made in Germany* (1.09535.0001), *magnetic stirer* Kenko 79-1, neraca digital Adventures Ohaus Kern ABT 220-4 4M, ayakan 100 µm, penekan hidrolik GRASEBY SPECAC, *furnace* Nabertherm, XRD dan potensiostat.

Preparasi Sekam Padi

Prosedur kerja yang dilakukan adalah: Mencuci sekam padi dengan air bersih, merendam sekam padi, dan mengeringkan sekam padi pada temperatur ± 35°C selama ± 2 hari.

Ekstraksi Silika Sekam Padi

Menimbang NaOH 5% sebanyak 25,25 gr, melarutkan ke dalam 500 ml aquades, memasukkan sebanyak 50 gr sekam padi ke dalam *beaker glass* dan mencampurnya dengan NaOH 5%, memanaskan campuran sekam padi dan NaOH sampai mendidih (± 30 menit), menyaring campuran sekam padi dan NaOH supaya memperoleh silika *sol*, dan mengaging *sol* silika ± 24 jam.

Sintesis Zeolit

Melarutkan 5 gr natrium alumina ke dalam 50 ml larutan NaOH 5%, menambahkan *sol* silika 250 ml, mentetesi sedikit demi sedikit HNO₃ 5% sampai pH menjadi netral, mengaging zeolit ± 24 jam, mengeringkan *gel* zeolit pada suhu 110°C ± 24 jam, menggerus zeolit sampai halus, memasukkan zeolit ke dalam cetakan berbentuk silinder dan ditekan menggunakan pompa hidrolik (*zeolit pellet*), mengkalsinasi zeolit *pellet* pada suhu 150, 250, dan 350⁰C ke dalam *furnace*.

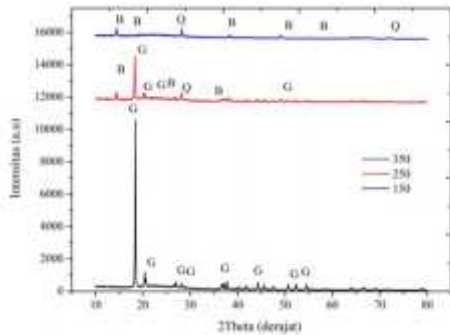
Uji Karakterisasi Bahan

Zeolit yang telah dikalsinasi kemudian diuji menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Cyclic Voltammetry* (CV).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Fase Struktur Kristal Zeolit

Analisis fase struktur kristal zeolit dilakukan menggunakan alat XRD (*X-Ray Diffraction*) pada rentang sudut $2\theta = 10-80$, dan panjang gelombang sinar-X yang digunakan adalah $1,541874 \text{ \AA}$. Dari hasil uji tersebut diperoleh pola difraktogram yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola difraktogram XRD zeolit serbuk (G=*Gibbsite*), B=*Bohmite*), dan (Q=*Quartz*).

Berdasarkan Gambar 1 terlihat beberapa puncak karakteristik zeolit kalsinasi 150 C, yaitu pada sudut $2\theta = 18,44 ; 20,42 ; 20,65 ; 27,02 ; 36,73 ; 44,28 ; 52,30 ;$ dan $54,56$ yang didominasi oleh fase *Gibbsite* (COD 96-101-1082). Suhu kalsinasi 150 C merupakan tahap awal dalam proses pembentukan fase zeolit, sehingga fase yang terbentukpun didominasi oleh *Gibbsite* (AlH_3O_3). Pada zeolit yang dikalsinasi 250 C, puncak karakteristik fase *Gibbsite* (COD 96-101-1082) berada pada sudut $2\theta = 18,30 ; 20,32 ; 26,87 ; 2 = 52,20$. Dan pada sudut $2\theta = 28,14$ telah nampak puncak karakteristik fase *Quartz*. Kemudian, pada sudut $2\theta = 14,45 ; 36,54 ;$ dan $44,13$ telah nampak puncak karakteristik dari fase *Bohmite* (COD=96-901-2254). Zeolit yang di kalsinasi pada suhu 350 C, fase yang mendominasi adalah *Bohmite*, terlihat beberapa puncak menghilang dan terdapat sebagian puncak yang intensitasnya melemah. Seperti pada fase *Bohmite* di sudut $2\theta = 14,46$. Pada sudut $2\theta = 28,21 ;$ dan $28,21$ telah terbentuk fase *Quartz*. Dengan terbentuknya fase *Gibbsite*, *Bohmite*, dan *Quartz* telah mengindikasikan adanya unsur pembentuk zeolit. Sehingga diprediksi akan membentuk kerangka zeolit yaitu kerangka aluminosilikat terhidrat.

Hasil Analisis CV (*Cyclic Voltammetry*)

Pengukuran dilakukan pada rentang potensial -400 mV sampai 200 mV dengan *scan rate* 10, 50, 100, 500, dan 1000 mV/s. Dan larutan elektrolit yang digunakan berupa NaOH 0,1 M dan KHP (*Potassium Hydrogen Phthalate*) 0,1 M. Hasil pengukuran CV disajikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Hubungan Fase Struktur Kristal Zeolit terhadap Nilai k_0

Berdasarkan Tabel 1 dan 2, suhu kalsinasi yang berbeda pada masing-masing sampel, menyebabkan nilai k_0 yang berbeda. Hal ini dikarenakan elektrode kerja berupa zeolit sangat

berpengaruh dalam sel elektrokimia. Pergerakan reaksi elektrokimia dalam sel elektrokimia sangat dipengaruhi oleh mikrostruktur, kebersihan, dan kehalusan permukaan elektrode (Wang, 2000). Selain itu, nilai k_0 yang tertinggi diperoleh pada suhu kalsinasi 150 C yaitu $3,75E-07$ discan rate 1000 mV/s dan pada suhu kalsinasi 350 C yaitu $2,16E-07$ discan rate 500 mV/s. Hal ini disebabkan pada sampel zeolit yang dikalsinasi pada 350 C telah didominasi fase *Bohmite* dan pada sampel zeolit yang dikalsinasi pada 150 C didominasi oleh fase *Gibbsite*. *Bohmite* dan *Gibbsite* merupakan fase metastabil yang hadir pada sebagian besar sampel karena kecepatan transformasinya rendah (Hemingway, 1982; Violante and Huang, 1984).

Tabel 1. Hasil Pengukuran Arus Puncak dan Potensial Puncak Voltametri Siklik

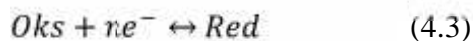
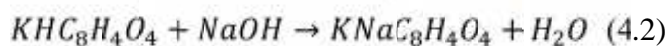
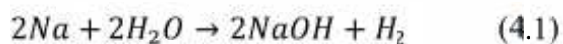
Suhu (°C)	Scan rate (mV/s)	E_{pa} (V)	E_{pc} (V)	I_{pa} (A)	I_{pc} (A)
150	10	-0.044	-0.29	0.0001	-0.0001
	50	-0.034	-0.3	0.00026	-0.0004
	100	-0.024	-0.31	0.00045	-0.0007
	500	0.04	-0.32	0.00108	-0.0019
	1000	0.07	-0.34	0.00171	-0.0027
250	10	-0.014	-0.24	0.00011	-2×10^{-5}
	50	0.002	-0.246	0.00028	-0.0004
	100	0.03	-0.25	0.00048	-0.0007
	500	0.01	-0.296	0.00062	-0.001
	1000	0.03	-0.298	0.00101	-0.0015
350	10	0.1	-0.13	0.00012	-1×10^{-5}
	50	0.06	-0.15	0.00033	-0.0001
	100	0.06	-0.242	0.0009	-0.0005
	500	0.12	-0.218	0.00184	-0.0013
	1000	0.02	-0.316	0.00112	-0.0023

Tabel 2. Hasil Perhitungan Nilai k_0 Elektrode Kerja Zeolit

Scan rate mV/s	Nilai k_0 pada beberapa Suhu			Mekanisme Reaksi
	Kalsinasi			
	150 C	250 C	350 C	
10	$0,15 \times 10^{-7}$	$0,01 \times 10^{-7}$	$0,20 \times 10^{-7}$	Irreversibel
50	$0,43 \times 10^{-7}$	$0,01 \times 10^{-7}$	$0,42 \times 10^{-7}$	Irreversibel
100	$0,82 \times 10^{-7}$	$0,28 \times 10^{-7}$	$0,83 \times 10^{-7}$	Irreversibel
500	$1,85 \times 10^{-7}$	$0,69 \times 10^{-7}$	$2,16 \times 10^{-7}$	Irreversibel
1000	$3,75 \times 10^{-7}$	$1,52 \times 10^{-7}$	$2,06 \times 10^{-7}$	Irreversibel

Pada saat reaksi oksidasi berlangsung, *scan rate* melaju naik menghasilkan suatu arus katodik. *Scan rate* terus naik sampai potensialnya mendekati potensial oksidasi yang akhirnya menghasilkan arus puncak anodik. Pada saat reduksi berlangsung, *scan rate* berbalik menghasilkan suatu arus katodik. Kemudian *scan rate* terus turun sampai potensialnya mendekati potensial reduksi yang akhirnya menghasilkan arus puncak katodik. Saat analisis menggunakan voltametri siklik, elektrolit organik KHP akan melepaskan ion elektronnya dan mengalami reaksi reduksi. Sehingga luasnya reaksi redoks yang terjadi menyebabkan kenaikan tingkat transfer elektron dari KHP ke permukaan elektrode kerja zeolit.

Transfer elektron di dalam sel elektrokimia merupakan proses yang terjadi secara heterogen antara permukaan elektrode kerja dan elektrolit organik atau terjadi hanya pada elektrolit organiknya saja (Skoog *et al*, 2013). Diprediksi reaksi yang terjadi di dalam sel elektrokimia saat analisis dengan metode voltametri siklik adalah:



Persamaan reaksi (4.1) terjadi pada larutan elektrolit pendukung NaOH, dimana Na berperan sebagai reduktor karena bilangan oksidasi Na naik dari 0 ke +1. Dan ion H dari 2H₂O berperan sebagai oksidator dikarenakan bilangan oksidasi H berubah dari +1 menjadi 0. Persamaan reaksi (4.2) merupakan reaksi yang terjadi antara elektrolit pendukung NaOH dan elektrolit organik KHP. Pada Persamaan reaksi (4.3) dan (4.4), Oks merupakan elektrolit organik KHP yang teroksidasi dan Red berarti reduksi dari Z (elektrode kerja zeolit) yang tereduksi dan bersifat irreversibel (tidak dapat diubah kembali ke bentuk oksidasi dengan arah transfer elektron).

Besaran nilai k_0 yang telah diperoleh akan menentukan luas dari tingkat reaksi reduksi Z. Transfer elektron tidak terjadi secara cepat karena terjadi suatu komplikasi sehingga nilai k_0 pada suhu 250 C menjadi rendah. Besarnya nilai k_0 juga dapat dipengaruhi oleh faktor elektrolit organik yang digunakan. Elektrolit organik memiliki disosiasi tegangan yang lebih tinggi dan resistivitasnya lebih besar meskipun daya selnya terbatas (*limiting cell power*) jika dibandingkan dengan elektrolit anorganik (Jacob, 2009).

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan dari penelitian ini adalah:

1. Suhu kalsinasi mempengaruhi pembentukan fase dari kerangka aluminosilikat terhidrat (zeolit). Pada suhu kalsinasi 150 C fase yang terbentuk didominasi oleh *Gibbsite*. Sedangkan pada suhu kalsinasi 250 C fase yang terbentuk adalah *Gibbsite*, *Bohmite*, dan *Quartz*. Pada suhu kalsinasi 350 C fase *Gibbsite* bertransformasi seluruhnya menjadi fase *Bohmite*, dan masih terdapat fase *Quartz*.
2. Suhu kalsinasi mempengaruhi nilai k_0 . Pada suhu kalsinasi 150 C nilai k_0 lebih tinggi jika dibandingkan pada suhu kalsinasi 250 C. Dan mengalami kenaikan kembali pada suhu kalsinasi 350 C.
5. Fase *Gibbsite* pada suhu kalsinasi 150 C diperoleh nilai k_0 tertinggi sebesar $3,75 \times 10^{-7}$. Fase *Gibbsite*, *Bohmite* dan *Quartz* pada suhu kalsinasi 250 C diperoleh nilai k_0 tertinggi sebesar $1,52 \times 10^{-7}$. Sedangkan untuk fase *Bohmite* dan *Quartz* pada suhu kalsinasi 350 C diperoleh nilai k_0 tertinggi sebesar $2,16 \times 10^{-7}$.

5. DAFTAR PUSTAKA

- An, Kay Hyeok., Kim, W.S., Park, Y.S., Moon, J.M., Bae, D.J., Lim, S.C., Lee, Y.S., Lee, Y.H. 2001. Electrochemical Properties of High-Power Supercapacitor Using Single-Walled Carbon Nanotube Electrodes. *Advanced Functional Materials*. Vol. 2. No. 5. Hal: 387-392.
- Bogdanov, B., Dimitar, G., Krasmira, A., Yancho, H. 2009. Synthetic Zeolites and Their Industrial and Environmental Applications. *Natural and Mathematical Science*. Vol. 4. Hal: 1-5.
- Conway, B.E. 1999. *Electrochemical Supercapacitors Scientific Fundamentals and Technological Applications Edisi ke-1*. New York United State of America: Kluwer Academic/Plenum Publisher.
- Fahmi, H., dan Ronaldi. 2013. Optimasi Variasi Waktu Pengeringan dan Kecepatan Tiupan Udara Pembakaran pada Proses Produksi Silika dari Sekam Padi. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 3. No. 2. Hal: 49-54.
- Hemingway, B.S. 1982. Gibbs Free Energies of Formation for Bayerite, Nordstrandite, $Al(OH)_2^+$, Aluminium Mobility, and The Formation of Bauxites and Laterites. In *Advances in Physical Geochemistry*. Vol. 2. Springer-Verlag. New York. Hal: 285-315.
- Izadi, N.A., Yamada, T., Futuba, D.N., Yudasaka, M., Takagi, H., Hatori, H., Ijima, S., Hata, K. 2011. High-Power Supercapacitor Electrodes from Single-Walled Carbon Nanohorn/Nanotube Composite. *ACS Nano*. Vol. 5. No. 2. Hal: 811-819.

- Jacob, G.M. 2009. *Nanocomposite Electrodes For Electrochemical Supercapacitors* (Thesis). McMaster University. Hal: 24
- Jayalakshmi, M., and Balasubramanian, K. 2008. Simple Capacitors to Supercapacitors-An Overview. *International Journal of Electrochemical Science*. Vol 3. Hal: 1196-1217
- Kotz, R., and Bartschi, M. 2002. *Hy Power-A Fuel Cell Car Boosted With Supercapacitors The 12 th International Seminar on Double Layer Capacitors and Similar Energy Storage Devices*. USA: Deerfield Beach.
- Kotz, R., and Carlen, M. 2000. Principles and Applications of Electrochemical Capacitors. *Electrochimica Acta*. Vol. 45 (15-16). Hal: 2483-2498.
- Putro, A.L dan Prasetyoko, D. 2007. Abu Sekam Padi sebagai Sumber Silika pada Sintesis Zeolit ZSM-5 tanpa menggunakan Templat Organik. *Akta Kimindo*. Vol. 3. No. 1. Hal: 33 – 36.
- Saputra, H., dan Rosjidi, M. 2004. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Zeolit. *Jurnal Zeolit Indonesia*. Vol. 3. No. 2. Hal: 62-67.
- Sembiring, S. 2011. Synthesis and Characterization of Rice Husk Silica Based Borosilicate (B_2SiO_4) Ceramics by Sol-Gel Routes. *Indonesian Journal Chemistry*. Vol 11. Hal: 85-89.
- Shumba, M., Chigondo, M., Guyo, U., Chigondo, F., Moyo, M., Nhairingo, T., Sebata, E. 2011. Synthesis of Zeolites and Their Applications in Heavy Metals Removal. *IRACST-Engineering Science and Technology An International Journal*. Vol. 30. No. 30. Hal: 1-7.
- Skoog, D.A., Donald, M.W., F James, H., Stanley, R.C.R. 2013. *Fundamentals of Analytical Chemistry 9E*. Cengage Learning. Hal: 638.
- Stoller, M.D., Park, S., Zhu, Y., An, J., Ruoff, R.S. 2008. Graphene-Based Ultracapacitors. *Nano Letters*. Vol. 8. No. 10. Hal: 3498-3502.
- Suka, I.G., Wasinton, S., Simon, S., Evi, T. 2008. Karakteristik Silika Sekam Padi dari Provinsi Lampung yang Diperoleh dengan Metode Ekstraksi. *Jurnal MIPA*. Vol. 37. No. 1. Hal: 47-52.
- Violante, A and Huang, P.M. 1984. Nature and Properties of Pseudoboehmites Formed in The Presence of Organic and Inorganic Ligands. *Soil Sci Soc Amer. J*. Vol. 48. Hal: 1193-1201.
- Wang, Gui-Xin. 2004. Manganese Oxide/MWNTs Composite Electrodes for Supercapacitor. *Solid State Ionic*. Vol. 176. Hal: 1169-1174.
- Wang, J. 2000. *Analytical Chemistry*. New York: Willey-VCH. Hal: 67-74.
- Wu, D., Zhang, B.C.Li., Zhang, Z., Kong, H. 2008. Simultaneous Removal of Ammonium and Phosphate by Zeolite Synthesized from Fly Ash As Influenced by Salt Treatment. *Journal Colloid Inter Science*.

**THE EFFECT OF IMMERSION TIME TO LOW CARBON STEEL (0.02% C)
HARDNESS AND MICROSTRUCTURE WITH HOT DIP GALVANIZING
COATING METHOD**

Tumpal Ojahan^{1*}, Aziz Al Hakim¹, Slamet Sumardi²

¹Fakultas Teknik, Universitas Malahayati

²Balai Penelitian Teknologi Mineral LIPI

*email: tumpal_ojahan@yahoo.com

ABSTRACT

Along with developing necessities of metal materials, these rise demands of quality improvements and material protections especially the mechanical properties of the material. This research used hot dip galvanizing coating method. The objectives of this research were to find out Rockwell hardness (HRb), layer thickness, microstructure and observation with Scanning Electron Microscope (SEM) from a result of a coating by using Hot Dip Galvanizing coating method with an immersion time of 3, 6, 9, and 12 minutes at 460 °C. Highest Rockwell hardness test (HRb) was at 3 minutes immersion time with 76.012 HRb. Highest thickness result was 217.3 µm at 12 minutes immersion. Microstructure test result showed that coating was formed at eta, zeta, delta and gamma phases, while Scanning Electron Microscope (SEM) showed Fe, Zn, Mn, Si and S elements at the specimens after coating.

Keywords: low steel carbon (0.02% C), Hot Dip Galvanizing, immersion time variations.

1. Introduction

Current industry developments demand more materials for a product. Demands of metal materials in varying product components are growing. Steel is a common metal used by industries of constructions, machineries, and handicrafts. Steel uses for machinery components and constructions often demonstrate damage sooner than time use had been estimated before. Some of the common causes are corrosion, the metal fatigue, brittle fracture, overload, high-temperature corrosion, -stress corrosion cracking and wear. Effects of metal damage in a component or critical part are sometimes beyond expectation, and even it may cause disaster. Consider a steel wire for bridge drag is getting damaged because of corrosion or dynamic loads from vehicles running on the bridge that this wire receives. This may fail and this means more weight loads for other wires. This further makes the bridge fail. Continuous vibration and dynamic movement will cause the metal to get fatigue. Another example is industrial pipes in mining, water pipes, oil pipes, etc. If there is no protection for these pipes, these pipes will get damaged over time caused by natural factors, chemicals, air,

etc. the most common cause of metal damage is corrosion. Therefore, protection and control efforts are required to prevent or minimize unexpected damage because of corrosion and other mechanical damages. The surface metal coating method is one of protection efforts. This can be done by electroplating^{1,2}, spraying or *Hot Dip Galvanizing*^{3,4,5}. This research used hot dip galvanizing method and the objectives of this research were to find out the hardness value, layer thickness and microstructure of lo carbon steel material (0.02% C) after being coated with zinc.

2. Research Methodology

Steps to conduct this research were as follows:

1. Preparing equipment and research materials. They were grinding cutter, drilling machine, measuring cup, hot plate, Beaker flask, stopwatch, digital scale, Rockwell hardness tester, OES, metallurgy microscope, furnace machine, oven, polishing machine, crucible (galvanized container), low carbon steel (0.0169% C), NaOH, resin, clean water, H₂SO₄, Zinc Ingot, Zinc Ammonium Chloride.
2. Making specimens by cutting low steel carbon material with a dimension of 10 cm length, 3.5 cm wide, and 3.5 mm thickness by using a grinding cutter. The specimen was drilled on each of middle tip as it is shown in Figure 3.1. These holes helped to facilitate specimen assembly.



Figure 3.1 Testing Specimen



Figure 3.2 Crucible (galvanized container)

3. Making crucible (galvanized container) by using steel pipe which was cut into two pieces and then their lower back were welded. The steel pipe was cut with a dimension of 35 cm length and 20 cm diameter, and it was split into two pieces by using *blunder*. After spilled, each of lower back was connected with welding, and the edges of the split pipe were closed to form a container.
4. Weighing before coating process to obtain weight comparison after coating.

5. Testing chemical composition to find out chemical composition contained in a particular material or percentage of each forming element; for example, C, Si, Fe, Cu, Mg, Al, or other elements.
6. Physical cleaning by sandpapering and chemical cleaning by *degreasing*, *rinsing I*, *pickling*, *rinsing II*, *fluxing*. Hot dip galvanizing process was conducted with immersion time variations of 3, 6, 9 and 12 minutes at 460⁰C.



Figure 3.3 Coating result



Figure 3.4 Hardness testing process

7. Weighing after coating to find out the additional weight at the specimen.
8. Conducting Rockwell B hardness test.
9. Conducting microstructure test by using *metallurgy microscope*.
10. Conducting thickness test by using *Thickness Meter Gauge*.
11. Conducting test with *Scanning Electron Microscope (SEM)*



Figure 3.5 Microstructure test process



Figure 3.6 Layer thickness test

3. Result and Discussion

a. Chemical Composition Test Result

Table 4.1 Chemical Composition Test Result from the Basic Material

Element	Symbol	Degree %
Ferrum	Fe	98.6
Sulfur	S	0.0013
Aluminum	Al	0.0457
Carbon	C	0.0231
Nickel	Ni	0.0382
Niobium	Nb	0.0136
Silicon	Si	0.1990
Chromium	Cr	0.0199
Vanadium	V	<0.0005
Mangan	Mn	0.8030
Molybdenum	Mo	0.0113
Tungsten	W	0.0147
Phosphors	P	0.0063
Copper	Cu	0.0324
Titanium	Ti	0.0146

Table 4.1 shows that the specimen in this research is low carbon steel with 0.0231% carbon content.

Table 4.2 Chemical composition test result at Zinc Ingot

Element	Symbol	Degree %
Zinc	Zn	98.65
Silicon	Si	0.710
Sulfur	S	0.430
Ferrum	Fe	0.180
Nickel	Ni	0.039

Table 4.2 shows that Zn content in Zinc ingot is 98.65% and it complies SNI standard number 07-135331989 where Zinc to use for coating must be G.O.B (*Good Ordinary Brand*) qualified and containing 98.5% Zn.

b. Difference between initial (W_o) and final (W_a) weights

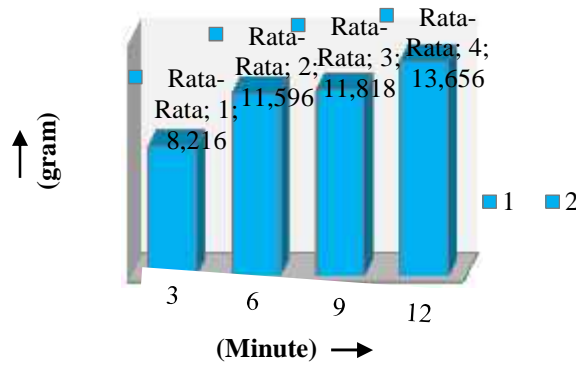


Figure 4.1 Graphic of difference of initial (W_o) and final (W_a) weights of the specimen based on time variations

Figure 4.1 shows that specimen weighing before and after coating suggests that the longer immersion time, then, the higher is Zn (W_{zn}) additional weight attached or coating the specimen. This can be seen from increasing specimen weight at each of time variation. 3 minutes immersion results in lowest weight difference (W_{zn}) (8.216 gram). 6 and 9 minutes immersion result in 11.596 gram and 11.818 gram weight difference (W_{zn}) respectively. 12 minute immersion shows a significant difference by producing 13.656 gram weight difference (W_{zn}). These are results of continuous attaching zinc into the metal surface during the process. In the *hot-dipped galvanizing*, attached zinc to a base metal surface is the formation and growth of inter-metallic layer. This zinc layer is principally containing pure zinc layer which is drawn when the working material is removed from *galvanizing* and produces mixing layer between zinc and base metal (Fe-Zn).

c. Raw material Rockwell hardness (HRb) test results before and after coating with immersion time variations.

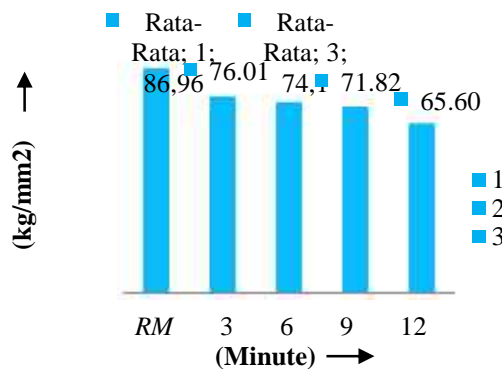


Figure 4.2 Raw material Rockwell hardness (HRb) test results before and after coating with immersion time variations.

Figure 4.2 shows that the average hardness value of the coated raw material is 86.96 kg/mm².

After raw material is coated with zinc (Zn) by using Hot Dip Galvanizing for 3 minutes, the variations of hardness values are not significant between them. The average hardness value of 5 specimens is 76.01 kg/mm^2 . The hardness value of raw material seems to decrease. It is because the raw material has been protected with Zn metal with lower hardness value (42.04 kg/mm^2) than raw material, so that indenter of hardness testing equipment only touches Zn layer and only a little touches base material; only on Zeta layer containing of 96.257% Zn and 3.743 Fe, so that hardness value becomes smaller than initial hardness value of raw material. 6, 9, and 12 minutes immersion show average hardness values of 74.10 kg/mm^2 , 71.824 kg/mm^2 , and 65.604 kg/mm^2 respectively. These hardness values are more decreasing compared with 3 minute immersion. This is caused by thicker Zn metal will coat base material along with longer immersion time so that indenter only touches Zn layer and presses only a little the base material. Obtained data show that the longer the immersion time, the smaller is the hardness value.

d. Layer thickness test result

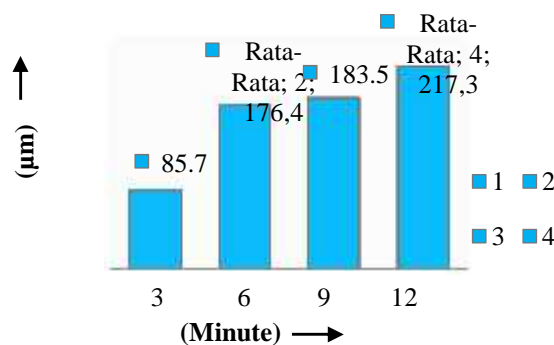


Figure 4.3 Layer thickness test result

Figure 4.3 shows that layer thickness

Figure 4.5 shows layer thickness result at each of immersion time variation. At 3 minutes, the average of layer thickness is $85.742 \mu\text{m}$, and this is proportional to the weighing result difference (W_{Zn}) before and after coating and the thinnest layer is obtained with 3 minutes immersion.

6 minutes immersion produces $176.40 \mu\text{m}$ layer thickness and this is proportional to the weighing result difference (W_{Zn}) between 6 and 3 minutes immersion, where 6 minutes immersion produces thicker layer than 3 minutes immersion. 9 minutes immersion produces an average layer thickness of $183.52 \mu\text{m}$. This shows a little difference with 6 minutes immersion but it is proportionally thicker compared to 6 minutes immersion.

12 minutes immersion produces an average layer thickness of 217.30 μm , and it demonstrates significant difference than lesser immersion time. This is proportional to the previous weighing where 12 immersion time produces thicker layer than other less time immersion variations.

d. Microstructure test results

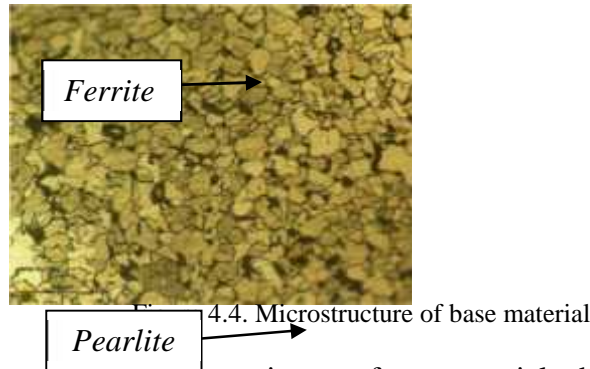


Figure 4.4 demonstrates microstructure image of raw material where the domination of *ferrite* crystal appears in white bright color toward dark color *pearlite* crystal. *Ferrite* phase is called as alpha (α). Interatom space is small and dense so that it will accommodate lesser Carbon atom. The maximum carbon dissolve is 0.025% at 723⁰C and its crystal structure is BCC (body center cubic). At room temperature, its carbon degree is 0.008% so that it is considered as a pure iron. Ferrite is magnetic until 768⁰C and it has low toughness, high tenacity, medium corrosion resistance and it has most smooth structure amongst Fe₃C diagram. Meanwhile, *pearlite* phase is a mechanical mixture containing of two phases; *ferrite* with 0.025% carbon content and *cementite* in a form of *lamellar* (layer) with 6.67% carbon content with interstitial forms. Thus, *perlite* is the microstructure of *eutectoid lamellar* reaction. This domination shows that the raw material is a metal which is not too hard and it is, in fact, a low carbon steel

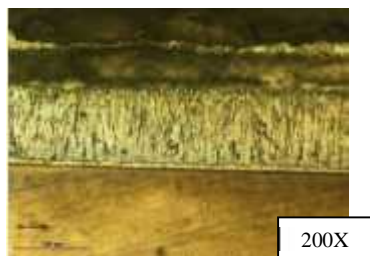


Figure 4.5 Microstructure with 3 minute time variation

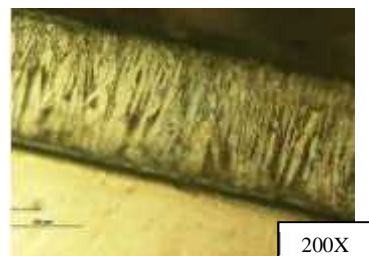


Figure 4.5 Microstructure with 6 minute time variation

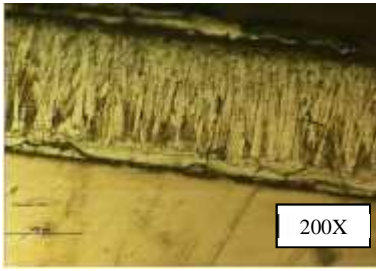


Figure 4.6 Microstructure with 9 minute time variation



Figure 4.7 Microstructure with 12 minute time variation

The microstructures of the images above demonstrate the result of Zinc (Zn) coating to low steel carbon surface and it is shown that the zinc coating is not evenly distributed.

A specimen having pre-treatment is immersed into a container with liquid zinc at 460⁰C temperature for 3, 6, 9 and 12 minutes so that mixture Fe-Zn layer is formed. The formed Fe-Zn mixture in the outer layer is Eta () phase, Zeta () phase and Delta () phase, while layer in steel interface is Gamma () phase. The raw material does not undergo microstructure change.

Eta () phase is the outer layer which is composed of pure 100% of zinc (Zn) with a hexagonal structure and it has soft and ductile mechanical characteristics. Zeta () phase is the second outer layer after Eta () phase which is composed of 94% Zn and 6% Fe (FeZn₁₃), and it has a monoclinic structure with hard and brittle mechanical characteristics. The next layer is Delta () layer composed of 90% Zn and 10% Fe (FeZn₇) with a hexagonal structure and it has the ductile mechanical characteristic. The last layer is Gamma () layer composed of 75% Zn and 25% Fe (Fe₃Zn₁₀) with BBC structure and it has thin, hard and brittle mechanical characteristics.

Zeta phase formed in 3 minute times of immersion composed of 96.257% Zn and 3.743% Fe. Zeta phase formed in 6 minute times of immersion composed of 96.478% Zn and 3.522% Fe. Zeta phase formed in 9 minute times of immersion composed of 96.698% Zn and 3.302% Fe. Zeta phase formed in 12 minutes time of immersion composed of 97.303% Zn and 2.697% Fe.

a. f. SEM (*Scanning Electron Microscope*) testing result

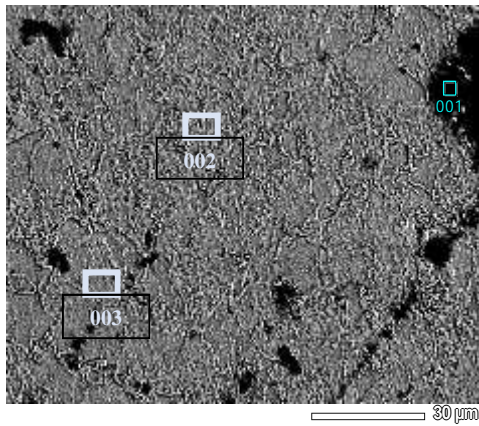


Figure 4.9 SEM observation on the base material before coating.

SEM imaging is conducted to find out bond structure between Fe and Zn and other elements contained in the metal. Figure 4.9 shows that there are 3 different points in the image. Point 001 shows dark color and contains Fe, C, and O elements. Point 002 shows bright but a little rough color and it only contains Fe element. Point 003 shows bright and soft color and it has Fe and Mn elements.

Figure 4.10 shows 4 different points in the image. Point 001 shows dark and rough color and it contains Fe and Zn elements. Point 002 shows bright and soft color and it contains Fe and Zn elements. Point 003 shows dark color and it contains Fe, Zn, Mn, Ti, S, and O. point 004 shows bright and a little rough color and it contains Fe and Zn.

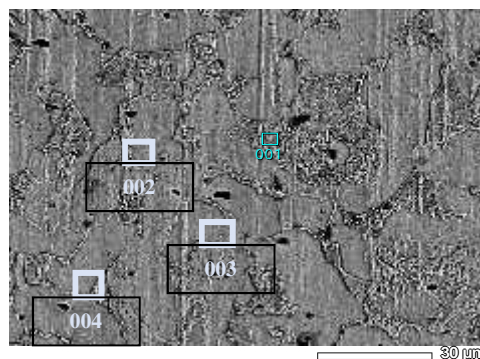


Figure 4.10 SEM observation to base material after coating

4. Conclusions

- a) The longer immersion time, the smaller is the hardness value. Highest hardness value obtained after *hot dip galvanizing* process at 3 minutes immersion time produces 76.012 kg/mm² Rokwellhardness (HRb).

- b) The longer time immersion, the longer is layer thickness. The highest layer thickness value after *hot dip galvanizing* process obtained after 12 minutes immersion is 217.3 μm .
- c) Microstructure testing result shows that raw material composed of *pearlite* and *ferrite*, where *ferrite* crystal dominates more than *pearlite* crystal. Specimen of *hot dip galvanizing* at 3 minutes immersion shows that Zn coating is not evenly distributed and it is formed in stratifying form. Zn layer will be thicker along with longer time immersion until 12 minutes immersion time variation.
- d) 3, 6, 9, and 12 immersion time do not change microstructure of specimen after *hot dip galvanizing* process.

References

- ¹Callister Jr W.D and David G Rethwisch. 2009. *Materials science and Engineering an introduction eight edition*. USA, Wiley
- ²Nasoetion Ronald, Jesse GPN dan Ricky Ridwa. 2005. *Ketahanan Korosi Lapisan Zn dan Ni-Zn Hasil Proses Elektroplating*. Serpong:LIPI.
- ³Saragih, K.Kardi. 2008. *Degradasi lapisan galvanis baja ressing pada menara SUTET di Jawa Barat akibat korosi dan kemungkinan untuk di regalvanisasi*. Bandung:Institut Teknologi Bandung.
- ⁴Stephen R Yeomans. 2004. *Galvanized Steel Reinforcement In Concrete*. Elsevier.
- ⁵Bicao, Peng, dkk. 2007. *Effects of zinc bath temperature on the coatings of hot-dip galvanizing* . China.

**KARAKTERISTIK MIKROSTRUKTUR DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK
ZEOLIT SERTA POTENSINYA SEBAGAI ELEKTRODE
SUPERKAPASITOR**

Alfi Hamidah, Agus Riyanto, Pulung Karo Karo

Fakultas MIPA Universitas Lampung
e-mail: alfiha_midah@gmail.com

ABSTRACT

Supercapacitor has been widely used to provide a power source for the excess that has a large charge storage capacitance and power density. One of the important properties that must be possessed by electrode supercapacitor is having high electrical conductivity. Zeolite with silica base material of rice husk (sodium silicate) and alumina (sodium aluminate) using sol-gel method with volume ratio 5: 1 has been prepared. Zeolite samples were made in pellets and thermally treated 150 °C, 250 °C and 350 °C, then characterized using Scanning Electron Microscopy (SEM) and Inductance, Capacitance, and Resistance (LCR) meter. SEM characterization is conducted to obtain information of microstructure including the particle size, pore, and grains of zeolite. Small particle size and large pore size produce high electrical conductivity, while the small grain size can degrade its electrical conductivity. The highest electrical properties of zeolite obtained in 250 °C of 1.5540×10^{-4} S/cm. At temperature 250 °C pore size and grain size support the value of their electrical conductivity, respectively amounted to 2.400 to 8.000 μm and 1.800 to 10.400 μm . Based on the result of electrical conductivity values, it indicates that zeolite is included in the semiconductor and has potential as a supercapacitor electrode.

Keywords: Zeolite, thermal treatment, microstructure, electrical conductivity.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan baterai sebagai penyimpan energi telah banyak digunakan saat ini. Namun, baterai memiliki siklus hidup yang pendek, rapat daya yang rendah, dan waktu pengisian yang lama (Emmenegger *et al*, 2003). Hal ini disebabkan karena baterai harus mengubah energi listrik menjadi bentuk kimia agar energi ini dapat tersimpan (Lu dan Hartman, 2011). Dibanding baterai, superkapasitor memiliki banyak kelebihan, diantaranya memiliki rapat daya yang besar, kapasitansi penyimpanan muatan yang sangat besar, pengisian muatan yang cepat, dan tahan lama (Deshpande, 2015). Salah satu komponen yang menentukan performa superkapasitor adalah elektrode.

Umumnya, elektrode superkapasitor menggunakan bahan karbon karena beberapa sifat keunggulannya, seperti luas permukaan yang tinggi, konduktivitas listr

ik yang tinggi, relatif murah, dan ketersediannya melimpah. Selain karbon, senyawa aluminosilikat seperti zeolit juga memiliki potensi sebagai elektrode superkapasitor, diantaranya memiliki luas permukaan yang cukup tinggi, selektivitas bentuk, ukuran, dan muatan, serta memiliki pori yang berukuran molekuler. Zeolit juga termasuk dalam membran organik yang memiliki sifat tidak mudah rusak bila terkena pelarut organik maupun bahan kimia, sehingga *lifetime* membran dapat lebih lama. Mendez *et al.* (2014) juga mengatakan bahwa penggunaan zeolit dapat meningkatkan konduktivitas ionik, kekuatan mekanik, stabilitas termal dan stabilitas elektrokimia.

Zeolit merupakan material yang tersusun atas silika dan alumina dengan perbandingan tertentu. Dewasa ini, penelitian telah banyak dilakukan dengan pemanfaatan silika yang terkandung dalam sekam padi sebagai bahan untuk mensintesis zeolit (Nur, 2001; Fuadi *et al.*, 2012). Menurut Sapendik (2012) sekam padi memiliki kandungan silika yang cukup tinggi yaitu sebesar 18-22%, memiliki sifat *amorf* dan ukuran *ultra fine*, serta sangat reaktif (Chandrasekhar *et al.*, 2003).

Pada penelitian ini, karakterisasi sampel zeolit meliputi analisis mikrostruktur menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) serta nilai konduktivitas listrik menggunakan *Inductance, Capacitance, and Resistance* (LCR) meter. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Muttaqin dkk (2014) bahwa dengan penambahan zeolit pada campuran resin dammar dapat meningkatkan konduktivitas listrik campuran tersebut. Dengan demikian pada penelitian ini diharapkan didapatkan nilai konduktivitas listrik zeolit yang dapat diaplikasikan sebagai elektrode superkapasitor.

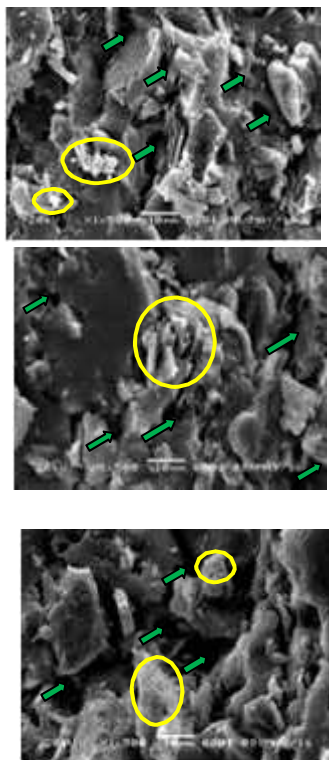
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mencakup beberapa tahapan, diantaranya ekstraksi silika sekam padi, sintesis zeolit, perlakuan kalsinasi, dan pengujian sampel. Pada tahapan ekstraksi silika, sekam padi dibersihkan melalui proses pencucian, perendaman, dan pengeringan terlebih dahulu. Proses ekstraksi dilakukan dengan teknik *sol gel* menggunakan 50 gr sekam padi yang dilarutkan dalam NaOH 5%, dididihkan selama 30 menit, didinginkan, disaring, dan *diaging* selama 24 jam. Sol silika diaduk dengan sol aluminat yang diperoleh dari 5 gr $Al(OH)_3$ yang dilarutkan ke dalam 50 ml larutan NaOH 5% dengan kecepatan 500 rpm selama 2 jam dan ditetesi HNO_3 5%

hingga diperoleh pH 7. Kemudian diaduk dengan kecepatan 1000 rpm selama 7 jam dan *diaging* selama 24 jam. Selanjutnya *gel* zeolit dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 7 jam, digerus, dan diayak menggunakan ayakan 100 µm. Selanjutnya, sampel zeolit diberikan perlakuan termal 150, 250, dan 350 °C dengan kenaikan suhu 3° per menit dan waktu penahanan selama 3 jam. Kemudian dilakukan pengujian mikrostruktur dan konduktivitas listrik zeolit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Zeolit kalsinasi 150 °C mulai terbentuk pori-pori yang ditunjukkan dengan panah berwarna hijau dengan bentuk dan ukuran yang tidak seragam. Partikel yang terbentuk juga terlihat menumpuk dan belum menyatu dengan distribusi yang tidak merata pada permukaan. Warna putih seperti yang ditunjukkan lingkaran berwarna kuning merupakan kandungan Si dan warna hitam merupakan kandungan Al. Pada kalsinasi 250 °C, terlihat adanya aglomerasi (penumpukan), sehingga partikel cenderung berukuran lebih besar. Sedangkan perlakuan termal 350 °C membuat penumpukan partikel terlihat berkurang, sehingga mengindikasikan mulai terjadinya keteraturan dan keseragaman.



Gambar 1. Hasil mikrograf SEM sampel zeolit; (a) kalsinasi 150 °C (b) 250 °C (c) 350 °C

Tabel 1. Hasil perhitungan ukuran partikel

Tabel 1. Hasil perhitungan ukuran partikel

Suhu kalsinasi (°C)	Luas rata-rata (μm)	Diameter (μm)
150	206,581	16,222
250	549,874	24,465
350	186,079	15,396

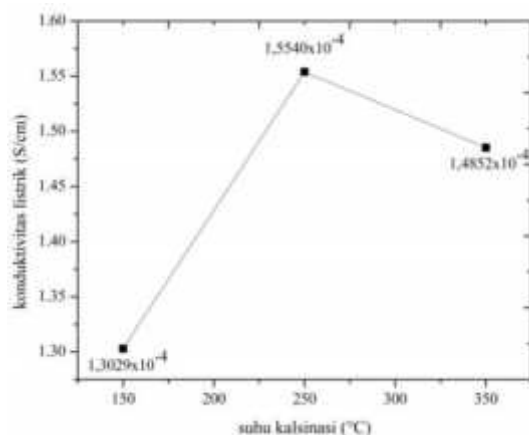
Tabel 2. Hasil perhitungan ukuran butir

Suhu kalsinasi (°C)	Ukuran (μm)	Mean (μm)
150	1,600-9,600	4,430
250	1,800-10,400	5,190
350	2,00-11,200	5,291

Tabel 3. Hasil perhitungan ukuran pori

Suhu kalsinasi (°C)	Ukuran (μm)	Mean (μm)
150	2,400-6,933	3,786
250	2,400-8,000	3,996
350	0,533-8,400	2,110

Pada **Tabel 1** menunjukkan kalsinasi 350 °C memiliki ukuran partikel paling kecil dan pada kalsinasi 250 °C ukuran partikel menunjukkan kenaikan pesat. Hal ini terjadi karena adanya aglomerasi, sehingga mengakibatkan sampel memiliki ukuran partikel lebih besar. Pada **Tabel 2** menunjukkan kalsinasi 350°C menghasilkan ukuran butir yang paling besar karena semakin tinggi suhu kalsinasi, maka semakin besar ukuran dan kekasaran butir. Berdasarkan hasil pengukuran nilai konduktivitas listrik pada **Gambar 2** menunjukkan bahwa kalsinasi 250 °C memiliki nilai konduktivitas listrik cenderung lebih besar. Hal ini disebabkan oleh adanya perubahan struktur kristal (Considine, 1995) dan ukuran pori paling besar (Hakamada *et al*, 2007). Konduktivitas listrik yang tinggi juga dapat dipengaruhi oleh ukuran partikel yang kecil (Sadeli dkk, 2012). Namun, nilai konduktivitas listrik kalsinasi 250 °C tidak didukung oleh ukuran partikel yang kecil akibat adanya aglomerasi.



Gambar 2. Grafik perubahan suhu kalsinasi terhadap nilai konduktivitas listrik

4. KESIMPULAN

Sampel zeolit silika berbasis silika sekam padi yang telah dikalsinasi pada suhu 150, 250, dan 350 °C memiliki nilai konduktivitas yang termasuk dalam rentang semikonduktor dan berpotensi sebagai elektrode superkapasitor dengan nilai konduktivitas listrik tertinggi terdapat pada perlakuan kalsinasi 250 °C.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Chandrasekhar, S., Pramada, P.N., and Majeed, J. 2003. Effect of Calcination Temperature and Heating Rate on The Optical Properties and Reactivity of Rice Husk Ash, *Journal of Materials Science*, Vol. 41. Pp 7926-7933.
- Considine, D. M. 1995. *Van Nostrand's Scientific Encyclopedia 8th Edition*. Springer Science. New York. Pp 599.
- Deshpande R.P. 2015. *Ultracapacitors*. Mc Graw-Hill Education. India. Pp 71-72.
- Emmenegger, Ch., Mauron, Ph., Sudan, P., Wenger, P., Hermann, V., Gallay, R., and Zuttel, A. 2003. Investigation of Electrochemical Double-layer (ECDL) Capacitors Electrodes Based on Carbon Nanotubes and Activated Carbon Materials. *J. Power Sources*. Vol.124, Pp 321-329.
- Fuadi, A. M., Musthofa, M., Harismah, K., Haryanto, dan Hidayati, N. 2012. Pembuatan Zeolit Sintesis dari Sekam Padi. *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS-2K012*. Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Hakamada, M., Tetsunome, K., Youging, C., Hiromu, K., and Mamoru, M. 2007. Influence of Porosity and Pore Size On Electrical Resistivity of Porous Aluminum Produced by Spacer Method. *Material Transactions*. Vol. 48, No.1. Pp 32-36.
- Lu, W., and Hartman, R. 2011. Nanocomposite Electrodes for High-Performance Supercapacitors. *Journal of Physical Chemistry Letters*. Vol. 43. Pp 655.

- Mendez, S.L., Lopes, A.C., and Martins, P. 2014. Aluminosilicate and Aluminosilicate based polymer composites; Present status, applications and future trends. *Progress in Surface Science*. Vol. 89. Pp 239-277.
- Muttaqin H.S A, Emriadi, Alif., A dan Tetra, O.N. 2014. Konduktivitas Elektroda dari Campuran Resin Dammar dan Zeolit dari Bottom Ash. *Jurnal Ilmu Fisika*. Vol. 6, No. 1
- Nur, H. 2001. Direct Synthesis of NaA Zeolite From Rice Husk And Carbonaceous Rice Husk Ash. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, Vol. 1. Pp 40-45.
- Sapei, L. Miryanti, A., dan Widjaja, L.B. 2012. Isolasi dan karakterisasi silika dari sekam padi dengan perlakuan awal menggunakan asam klorida. *The 1st Symposium in Industrial Technology*. Vol. 2. Hal A8-A1.

KARAKTERISTIK *LIQUID FUEL* HASIL KO-PIROLISIS BAGAS TEBU DAN MINYAK JARAK KALIKI (*Ricinus communis*) MENGGUNAKAN ALUMINOSILIKAT YANG DIBUAT DARI SILIKA SEKAM PADI DAN LOGAM ALUMINIUM

Endah Pratiwi*, Wasinton Simanjuntak, dan Simon Sembiring

Fakultas MIPA Universitas Lampung
endahpratiwi1117011016@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai karakteristik liquid fuel hasil pirolisis campuran bagas tebu dan minyak jarak kaliiki (ko-pirolisis) menggunakan aluminosilikat dengan nisbah Si/Al yang berbeda sebagai katalis. Katalis dibuat dari silika sekam padi dan logam aluminium menggunakan metode elektrokimia pada potensial yang berbeda, untuk mendapatkan aluminosilikat dengan komposisi yang berbeda. Katalis selanjutnya dikalsinasi pada suhu 600 °C sebelum digunakan. Percobaan pirolisis dilakukan terhadap campuran 50 gram bagas tebu dan 100 mL minyak jarak serta 10 gram katalis. Percobaan pirolisis dilakukan dalam rentang suhu 400-430 °C. Hasil percobaan menunjukkan komposisi katalis mempengaruhi rendemen dan komposisi liquid fuel yang dihasilkan, dengan hasil terbaik sebesar 54,37% yang diperoleh dengan aluminosilikat yang memiliki nisbah Si/Al 2,48.

Kata kunci: liquid fuel, aluminosilikat, ko-pirolisis, silika sekam padi, bagas tebu

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan bahan bakar fosil yang terus menipis, sementara kebutuhan akan energi terus meningkat merupakan tantangan besar yang dihadapi dunia saat ini. Di samping itu, penggunaan bahan bakar fosil juga berdampak pada lingkungan, karena pembakarannya menghasilkan gas rumah kaca, terutama CO₂, dalam jumlah yang sangat besar dilepaskan ke atmosfer. Dalam upaya mengurangi ketergantungan akan bahan bakar fosil, sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, dewasa ini pengembangan sumber energi alternatif dan terbarukan terus digiatkan di berbagai negara, termasuk Indonesia, dengan berbagai cara salah satunya metode pirolisis. Pirolisis pada prinsipnya adalah proses penguraian molekul besar menjadi molekul yang lebih sederhana dengan bantuan panas. Teknik ini dimanfaatkan untuk

menghasilkan bahan bakar cair dari berbagai jenis biomassa misalnya tandan kosong kelapa sawit (Mujiarto dkk, 2014), tongkol jagung (Syahri dkk, 2015), ampas tebu (Erawati dkk, 2013), minyak kelapa (Sudrajat dkk, 2010), dan minyak kelapa sawit (Yakup *et al.*, 2015). Dengan memanfaatkan teknik pirolisis, dapat dihasilkan produk cair yang secara umum dikenal sebagai bahan bakar cair (*liquid fuel*).

Dari berbagai bahan baku yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan *liquid fuel*, bagas tebu merupakan bahan baku yang memiliki potensi sangat besar. Bagas tebu merupakan sisa tanaman tebu yang jumlahnya sangat melimpah di Indonesia, termasuk Provinsi Lampung. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2014, di Provinsi Lampung terdapat 12.000 ha perkebunan tebu, yang dikelola oleh perusahaan besar dan masyarakat. Dari satu ha kebun tebu diperkirakan akan dihasilkan 100 ton bagas (Kementerian Lingkungan Hidup, 2005), sehingga bagas tebu yang tersedia berdasarkan total luas perkebunan tebu di daerah ini mencapai 1.200.000 ton per tahun.

Dari berbagai penelitian diketahui bahwa pirolisis biomassa padat memiliki kelemahan, yakni produk cair yang relatif sedikit dan cenderung menghasilkan padatan atau gas. Hasil yang berbeda didapatkan untuk bahan baku cair, dimana zat cair dihasilkan sebagai produk utama. Berdasarkan karakteristik di atas, dalam penelitian ini digagas untuk mengkaji pirolisis campuran bagas tebu dengan minyak jarak kaliki, dengan harapan rendemen produk cair yang dihasilkan akan meningkat.

Dalam penerapan teknik pirolisis, katalis merupakan bahan pendukung yang mutlak diperlukan. Katalis dibutuhkan karena pirolisis tanpa menggunakan katalis memerlukan suhu yang tinggi sehingga memerlukan biaya produksi yang cukup besar. Dengan bantuan katalis, biaya produksi dapat ditekan karena energi aktivasi akan menurun, sehingga proses pirolisis dapat dilangsungkan pada suhu yang lebih rendah. Contoh beberapa katalis pirolisis yang pernah digunakan antara lain adalah dolomit (Jahirul *et al.*, 2012), aluminosilikat (Isoda *et al.*, 1998; Wan and Wang, 2014), ZSM-5 (Gopakumar *et al.*, 2012), alumina (Ates *et al.*, 2009), ZrO₂ (Watanabe *et al.*, 2002), dan zeolit (Williams *et al.*, 2002)

Salah satu katalis yang banyak digunakan dalam proses pirolisis adalah aluminosilikat. Dalam penelitian ini aluminosilikat dibuat dari silika sekam padi dan logam aluminium dengan menggunakan metode elektrokimia. Sekam padi digunakan atas pertimbangan ketersediaannya yang sangat melimpah, dan diketahui mengandung silika dalam bentuk oksida (SiO₂) sekitar 18 hingga 20% (Simanjuntak and

Sembiring, 2016). Silika sekam padi dapat diekstraksi dengan mudah karena memiliki kelarutan yang tinggi dalam larutan alkali (Pandiangan dkk, 2008), sehingga dapat diperoleh dalam bentuk sol. Sol silika dapat diubah menjadi gel dengan cara menetralkan sol dengan suatu asam, kemudian gel yang dihasilkan dapat diolah menjadi padatan silika (serbuk) dengan kemurnian mencapai 95% (Sembiring dan Karo-karo, 2009).

Pemilihan metode elektrokimia didasarkan pada oksidasi logam aluminium secara elektrolisis menghasilkan ion Al^{3+} , yang selanjutnya akan terdistribusi dalam sol silika. Campuran sol akan menghasilkan gel yang selanjutnya dapat diubah menjadi padatan aluminosilikat dengan cara pemanasan.

2. METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sekam padi, NaOH, HNO₃, akuades, logam aluminium, biji jarak kaliki, dan bagas tebu.

Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, pemeras minyak jenis DL-ZYJ02 *oil press machine*, perangkat elektrokimia, perangkat pirolisis, neraca analitik, penangas, magnetic stirrer, furnace, cawan porselin, oven, thermometer, saringan, dan peralatan gelas. Analisis unsur menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) jenis PANanalytical Epsilon 3 dan analisis *liquid fuel* dengan alat Gas Chromathography-Mass Spectrometry (GC-MS)- QP2010 SHIMADZU.

Prosedur

Sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, secara garis besar penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yakni ekstraksi silika sekam padi, sintesis aluminosilikat dengan metode elektrokimia, ekstraksi minyak jarak kaliki, uji aktivitas aluminosilikat sebagai katalis pirolisis bagas tebu dan minyak jarak kalili, dan analisis produk *liquid fuel* dengan alat GC- MS.

Ekstraksi minyak jarak kaliki

Buah jarak dijemur hingga kering, kemudian dipisahkan bijinya. Biji jarak diekstraksi dengan mesin *press*, hasil *press* kemudian disaring untuk memisahkan minyak dengan padatan daging biji. Minyak jarak siap untuk proses pirolisis.

Preparasi bagas tebu

Ampas tebu atau bagas tebu dijemur hingga kering. Bagas tebu kering di potong hingga kecil dan kemudian digiling hingga halus. Bagas tebu halus siap untuk proses pirolisis.

Ekstraksi silika sekam padi

Sekam padi dipreparasi terlebih dahulu dengan cara diayak, direndam dengan air panas dan dikeringkan. Selanjutnya sekam padi direndam dalam HNO_3 1 M kemudian didiamkan selama 24 jam. Sekam padi kemudian dicuci sampai tidak tercium bau asam dari HNO_3 . Selanjutnya, sekam padi diekstrak dengan NaOH 1,5% dan dipanaskan hingga mendidih selama 30 menit. Kemudian sampel disaring dan filtrat yang mengandung silika terlarut ditampung. Silika dalam filtrat diendapkan dengan penambahan HNO_3 10% secara bertahap hingga terbentuk gel. Gel silika didiamkan selama 24 jam pada suhu kamar. Selanjutnya, gel silika disaring dan dicuci dengan akuades panas hingga bersih. Silika yang diperoleh dikeringkan pada oven dengan suhu $70\text{ }^\circ\text{C}$ dan silika yang telah kering dihaluskan.

Sintesis Aluminosilikat

Sintesis aluminosilikat secara elektrokimia dilakukan dengan mengikuti prosedur yang telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya (Simanjuntak *et al.*, 2013). Untuk percobaan, sebanyak 600 mL sol silika diencerkan dengan 1400 mL akuades, kemudian diasamkan dengan HNO_3 10% secara bertahap hingga pH campuran 7 pada reaktor elektrolisis. Pada reaktor, ditempatkan batangan aluminium sebagai katoda dan anoda, selanjutnya dielektrolisis pada potensial berbeda, yakni 6 dan 8 volt. Masing-masing potensial dielektrolisis dengan variasi waktu 1, 2, dan 3 jam. Sampel hasil elektrolisis dikeringkan pada suhu $90\text{ }^\circ\text{C}$, setelah kering sampel dihaluskan. Masing-masing aluminosilikat selanjutnya dikalsinasi pada suhu $600\text{ }^\circ\text{C}$ kemudian digunakan sebagai katalis untuk proses pirolisis campuran bagas tebu dan minyak jarak

kaliki. Aluminosilikat kemudian dikarakterisasi dengan XRF untuk menentukan komposisi, khususnya nisbah Si/Al.

Uji pirolisis

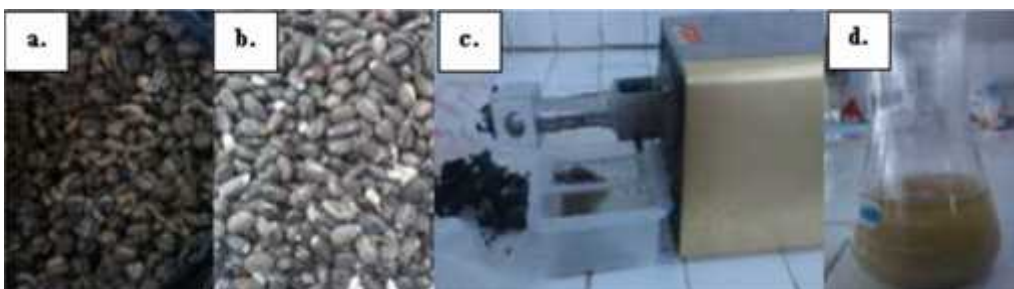
Uji aktivitas katalis dilakukan dalam reaktor pirolisis. Sebanyak 50 gram bagas tebu dicampur dengan 10 gram aluminosilikat. Kemudian pada campuran ditambahkan 100 mL minyak jarak kaliki dan diaduk rata. Campuran tersebut dimasukkan kedalam reaktor pirolisis dan dilakukan proses pirolisis dengan memanaskan reaktor menggunakan energi

listrik, sampai suhu yang ditentukan. Uap yang terbentuk dialirkan dari reaktor ke kondensor. Destilat yang dihasilkan ditampung dalam botol. Percobaan dianggap berakhir jika tidak ada lagi destilat yang menetes dari kondensor. *Liquid fuel* hasil pirolisis kemudian dianalisis dengan GC-MS untuk mengidentifikasi komponen-komponen dalam *liquid fuel*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstraksi minyak jarak kaliki

Pada tahap awal, buah jarak dijemur dan dipisahkan bijinya. Tahapan persiapan biji jarak hingga proses ekstraksi minyak ditunjukkan pada Gambar 1. Gambar 1a adalah buah jarak kering, yang kemudian diambil bijinya (Gambar 1b). Pada Gambar 1c minyak biji jarak diekstraksi dengan mesin pemeras minyak dan minyak jarak kaliki hasil ekstraksi ditunjukkan pada Gambar 1d.

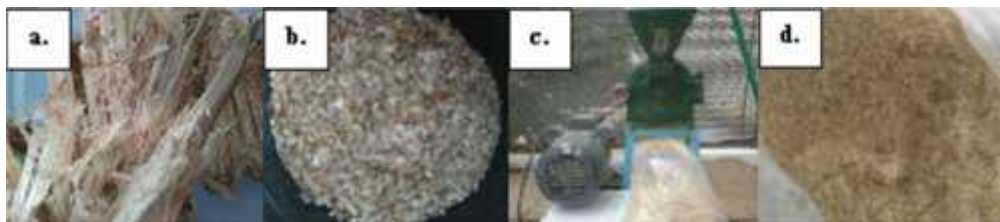


Gambar 1. Ekstraksi minyak jarak kaliki, (a) buah jarak kaliki kering; (b) biji jarak kaliki; (c) proses pemerasan minyak (d) minyak jarak kaliki

Dari percobaan didaatan bahwa dari 100 gram biji jarak kaliki dihasilkan minyak dengan volme 39 mL dan massa 37,42 gram. Berdasarkan hasil tersebut kadar minyak biji jarak kaliki adalah 37,42% w/w.

Preparasi bagas tebu

Bagas tebu dipreparasi dengan cara dijemur hingga kering. (Gambar 2a). Bagas tebu kering di potong hingga kecil seperti pada Gambar 2b, dan kemudian digiling dengan mesin giling yang ditunjukkan Gambar 2c hingga didapatkan bubuk bagas tebu halus (Gambar 2d).

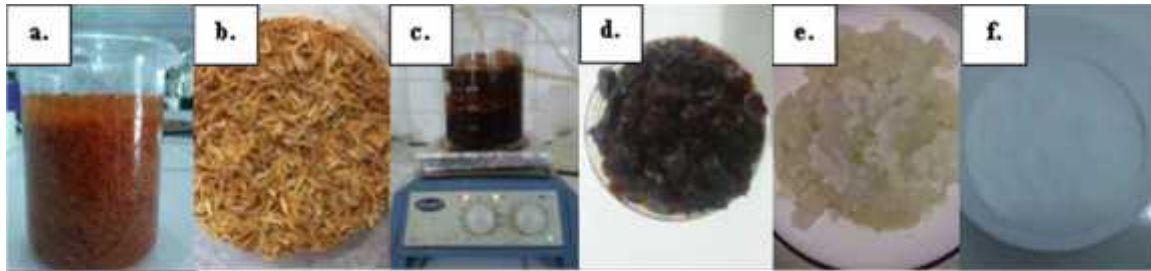


Gambar 2. Preparasi bagas tebu, (a) bagas tebu; (b) bagas tebu yang telah dipotong; (c) mesin penggiling bagas tebu; (d) bagas tebu halus

Ekstraksi silika sekam padi

Tahapan ekstraksi silika sekam padi ditunjukkan dalam Gambar 3. Sebelum proses ekstraksi silika, sekam padi terlebih dahulu dipreparasi dengan membersihkannya terlebih dahulu dengan cara diayak dan direndam dengan air panas. Kemudian sekam direndam dengan larutan HNO_3 10% (Gambar 3a) untuk menghilangkan struktur lunak dan mengkilat pada sekam, sisa asam selanjutnya dihilangkan dengan pencucian berulang dan sekam selanjutnya dikeringkan seperti pada Gambar 1b.

Proses ekstraksi silika ditunjukkan pada Gambar 3b, hasil ekstraksi berupa gel silika (Gambar 3c) kemudian dicuci dengan air suling hingga gel berwarna putih (Gambar 1e), gel silika setelah dikeringkan digerus hingga berbentuk bubuk seperti pada Gambar 1f.



Gambar 3. Ekstraksi silika sekam padi, (a) perendaman sekam padi dengan HNO₃ 1M; (b) sekam padi setelah direndam dengan HNO₃ 1M; (c) ekstrak silika dengan NaOH 1,5%; (d) gel silika; (e) gel silika setelah dicuci dengan air panas; (f) silika sekam padi kering

Sintesis Aluminosilikat

Contoh proses sintesis aluminosilikat dengan metode elektrokimia disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Sintesis Aluminosilikat dengan metode elektrolisis, (a) reaktor elektrolisis; (b) hasil elektrolisis; (c) gel hasil sintesis; (d) aluminosilikat

Aluminosilikat disintesis dengan metode elektrokimia. Proses elektrolisis dilakukan dalam reaktor elektrolisis seperti pada Gambar 4a, pada reaktor terdapat logam Al yang bertindak sebagai anoda dapat larut membentuk Al³⁺ dan akan membentuk koagulasi dalam elektrolit sol silika. Hasil elektrolisis berupa pembentukan gel aluminosilikat (Gambar 4b). Gel kemudian dikeringkan dan digerus hingga halus seperti pada Gambar 4d. Bubuk aluminosilikat selanjutnya dikalsinasi pada 600 °C.

Jumlah Al³⁺ yang larut dipengaruhi oleh potensial dan waktu elektrolisis. Akibat adanya perbedaan potensial dan waktu elektrolisis ini, maka akan diperoleh nisbah Si/Al yang berbeda yang ditunjukkan pada Tabel 1.

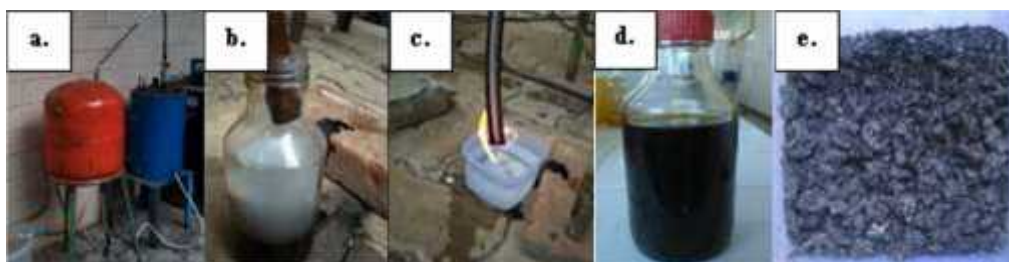
Tabel 1. Nisbah Si/Al aluminosilikat hasil analisis XRF

No	Aluminosilikat	Oksida			Nisbah Si/Al
		Al O	2 SiO	2 Na O	
1	6V 1jam	10,931	88,77	0,300	7,16
2	6V 2 jam	26,112	73,607	0,281	2,48
3	6V 3 jam	33,705	66,062	0,233	1,73
4	8V 1 jam	18,889	80,714	0,397	3,77
5	8V 2 jam	20,231	79,443	0,326	3,46
6	8V 3 jam	33,609	66,041	0,254	1,73

Dari data Tabel 1 diatas dapat dilihat bahwa besarnya potensial dan lama waktu elektrolisis berpengaruh terhadap nisbah Si/Al pada aluminosilikat. Untuk potensial yang sama dengan waktu elektrolisis yang berbeda, nisbah Si/Al menurun dengan meningkatnya lama waktu elektrolisis. Demikian pula pada waktu yang sama namun potensial berbeda, nisbah SI/Al menurun dengan naiknya potensial elektrolisis.

Uji pirolisis

Masing-masing aluminosilikat yang telah disintesis diujicobakan sebagai katalis reaksi perengkahan campuran minyak jarak kaliki dan bagas tebu. Reaksi perengkahan dilakukan dalam reaktor pirolisis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5a. Pada tahap awal, produk gas dihasilkan pada suhu 100-200 °C (Gambar 5b), produk gas diuji bakar seperti pada Gambar 5c. *Liquid fuel* (Gambar 5d) dihasilkan pada suhu 400-430 °C, *liquid fuel* kemudian dianalisis dengan GC-MS. Hasil akhir dari pirolisis, yakni produk padat berupa karbon yang ditunjukkan pada Gambar 5e.



Gambar 5. Uji aktivitas aluminosilikat, (a) Reaktor pirolisis; (b) Hasil pirolisis berupa gas dan produk cair; (c) Produk padat pirolisis; (d) Produk cair pirolisis; (e) Uji bakar gas hasil pirolisis

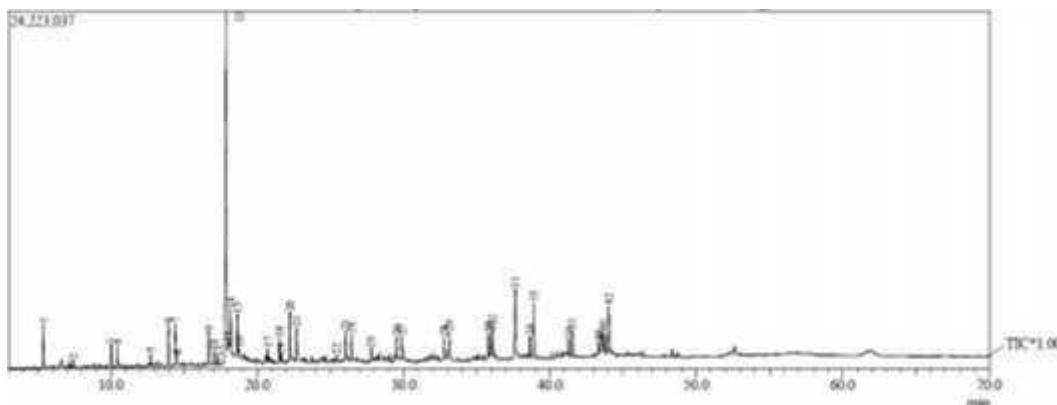
Produk cair (*liquid fuel*) kemudian ditimbang untuk menentukan rendemennya. Data rendemen *liquid fuel* masing-masing percobaan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rendemen *liquid fuel*

No.	Aluminosilikat	Nisbah Si/Al	Rendemen (%)
1	6V 1jam	7,16	19,15
2	6V 2 jam	2,48	68,08
3	6V 3 jam	1,73	43,53
4	8V 1 jam	3,77	82,68
5	8V 2 jam	3,46	8,59
6	8V 3 jam	1,73	89,98

Tabel 2 menunjukkan bahwa umumnya aluminosilikat mampu berperan dalam reaksi perengkahan bagas tebu dan minyak jarak kaliki. Berdasarkan data tersebut, 3 *liquid fuel* dengan rendemen tertinggi diperoleh menggunakan katalis aluminosilikat dengan nisbah Si/Al, yakni 1,73 (89,98%); 3,77 (82,68%); dan 2,48 (68,08%). Ketiga sampel selanjutnya dikarakterisasi dengan GC-MS.

Kromatogram sampel yang diperoleh menggunakan aluminosilikat dengan nisbah Si/Al 1,73 disajikan dalam Gambar 6, dan senyawa yang teridentifikasi disajikan dalam Tabel 3.

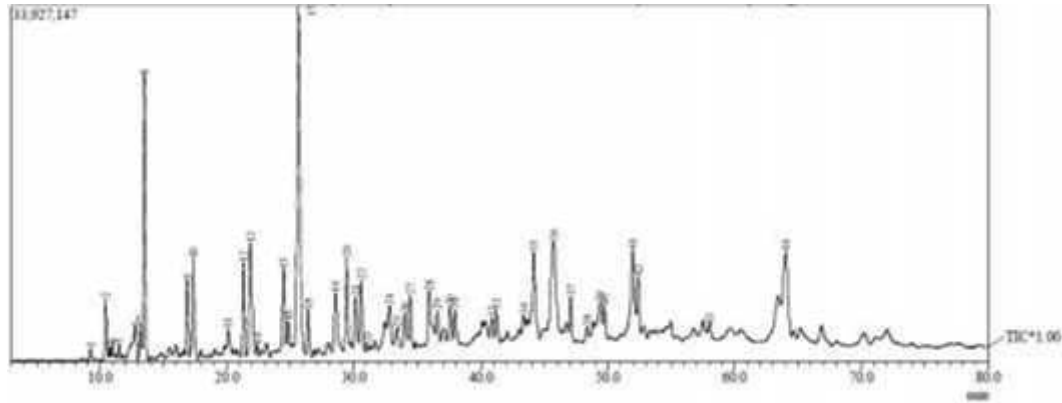


Gambar 6. Kromatogram GC sampel menggunakan aluminosilikat dengan nisbah Si/Al 1,73

Tabel 3. Komponen *liquid fuel* yang menggunakan aluminosilikat dengan nisbah Si/Al 1,73

No. Puncak	Persen Relatif (%)	Nama Senyawa	Kategori Senyawa
1	2.17	2-	Keton
2	0.37	2-Methylbutanal	Aldehida
3	1.20	1-Heptene	Hidrokarbon
4	1.14	Heptane	Hidrokarbon
5	0.74	Toluene	Hidrokarbon
6	2.25	1-Octene	Hidrokarbon
7	2.48	Octane	Hidrokarbon
8	0.94	2-Octene	Hidrokarbon
9	1.97	Ethylbenzen	Hidrokarbon
10	1.18	1,3-dimethyl-Benzene	Hidrokarbon
11	0.66	3-Penten-2-one	Keton
12	31.36	Heptanal	Aldehida
13	1.70	1,2-dimethyl-Benzene	Hidrokarbon
14	2.92	1-Nonene	Hidrokarbon
15	2.33	Nonane	Hidrokarbon
16	0.48	4-Nonene	Hidrokarbon
17	0.83	Phenol	Alkohol
18	1.53	2-Octanone	Keton
19	0.58	1-Ethyl-2-methylbenzene	Hidrokarbon
20	2.78	1-Decene	Hidrokarbon
21	2.23	Decane	Hidrokarbon
22	0.40	2-Nonanone	Keton
23	1.72	1-Undecene	Hidrokarbon
24	1.95	Dodecane	Hidrokarbon
25	0.98	4-	Alkohol
26	1.41	1-Dodecene	Hidrokarbon
27	1.74	Dodecane	Hidrokarbon
28	1.55	1-Pentadecene	Hidrokarbon
29	1.91	Dodecane	Hidrokarbon
30	1.65	1-Tridecene	Hidrokarbon
31	1.74	Methyl 10-undecenoate	Ester
32	2.07	Hexadecane	Hidrokarbon
33	5.43	5-Hydroxy-2-Decenoic Acid	Keton
34	1.38	1-	Hidrokarbon
35	3.82	Hexadecane	Hidrokarbon
36	1.26	1-Pentadecene	Hidrokarbon
37	1.78	Dodecane	Hidrokarbon
38	1.12	1,1-dicyclopentyl-Ethane	Hidrokarbon
39	0.70	Nonenal	Aldehida
40	1.76	Heptadec-8-ene	Hidrokarbon
41	0.78	1-Heptadecene	Hidrokarbon
42	3.01	Heptadecan	Hidrokarbon

Kromatogram sampel yang diperoleh menggunakan aluminosilikat dengan nisbah Si/Al 2,48 disajikan dalam Gambar 7, dan senyawa yang teridentifikasi disajikan dalam Tabel 4.



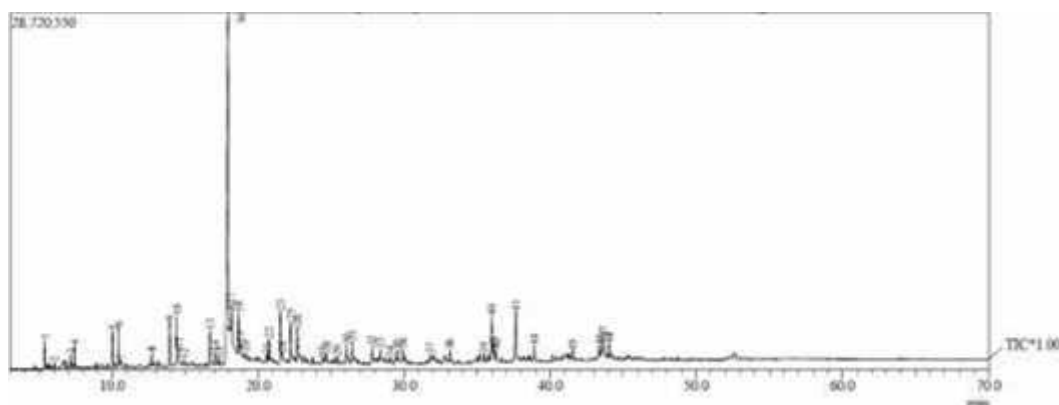
Gambar 7. Kromatogram GC sampel menggunakan aluminosilikat dengan nisbah Si/Al 2,48

Tabel 4. Komponen *liquid fuel* yang menggunakan aluminosilikat dengan nisbah Si/Al 2,48

No. Puncak	Persen Relatif (%)	Nama Senyawa	Kategori Senyawa
1	0.30	Acetaldehyd	Aldehida
2	1.82	2-	Keton
3	0.21	Cyclopropan	Hidrokarbon
4	0.29	Pentane	Hidrokarbon
5	0.35	2-Propenol	Alkohol
6	0.84	Propanal	Aldehida
7	1.04	1-Hexene	Hidrokarbon
8	7.82	Hexane	Hidrokarbon
9	2.10	1-Heptene	Hidrokarbon
10	3.46	Heptane	Hidrokarbon
11	0.92	Toluene	Hidrokarbon
12	2.81	1-Octene	Hidrokarbon
13	5.45	Octane	Hidrokarbon
14	0.33	2-Octene	Hidrokarbon
15	2.70	Ethylbenzen	Hidrokarbon
16	0.79	Benzene	Hidrokarbon
17	17.78	Heptanal	Aldehida
18	1.58	Nonane	Hidrokarbon
19	2.87	Phenol	Alkohol
20	3.07	2-Octanone	Keton
21	2.03	1-Decene	Hidrokarbon
22	2.66	Decane	Hidrokarbon
23	0.24	2-Decene	Hidrokarbon
24	1.11	Isobutylbenzene	Hidrokarbon
25	0.29	2-	Keton
26	1.32	1-Undecene	Hidrokarbon

27	1.94	Undecane	Hidrokarbon
28	1.71	4-	Alkohol
29	0.93	Pentylbenzene	Hidrokarbon
30	1.33	3-Undecene	Hidrokarbon
31	1.38	Dodecane	Hidrokarbon
32	0.74	1-Undecene	Hidrokarbon
33	1.15	Tetradecane	Hidrokarbon
34	0.44	1-Phenyl-2-Ethylbutane	Hidrokarbon
35	3.92	Methyl 10-undecenoate	Ester
36	7.24	Oleic acid	Asam
37	1.26	Tridecane	Hidrokarbon
38	0.37	6-Nonenal	Aldehida
39	0.92	1-chloro-7-Heptadecene	Hidrokarbon
40	0.74	Hexadecane	Hidrokarbon
41	4.50	Heptadec-8-ene	Hidrokarbon
42	2.18	Heptadecan	Hidrokarbon
43	0.34	Methyl palmitate	Ester
44	4.72	Methyl elaidate	Ester

Kromatogram sampel yang diperoleh menggunakan aluminosilikat dengan nisbah Si/Al 3,77 disajikan dalam Gambar 8, dan senyawa yang teridentifikasi disajikan dalam Tabel 5.



Gambar 8. Kromatogram GC sampel menggunakan aluminosilikat dengan nisbah Si/Al 3,77

Tabel 5. Komponen *liquid fuel* yang menggunakan aluminosilikat dengan nisbah Si/Al 3,77

No. Puncak	Persen Relatif (%)	Nama Senyawa	Kategori Senyawa
1	1.50	2-Propanone	Keton
2	0.26	2-Propenol	Alkohol
3	0.65	1-Hexene	Hidrokarbon
4	0.97	Hexane	Hidrokarbon
5	1.85	1-Heptene	Hidrokarbon
6	2.14	Heptane	Hidrokarbon
7	0.37	2-Heptene	Hidrokarbon
8	0.75	Toluene	Hidrokarbon
9	2.37	1-Octene	Hidrokarbon
10	2.87	Octane	Hidrokarbon
11	1.31	2-Octene	Hidrokarbon
12	0.27	2-Octene	Hidrokarbon
13	2.04	Ethylbenzene	Hidrokarbon
14	1.04	1,2-dimethyl-Benzene	Hidrokarbon
15	0.60	2-Butanone	Keton
16	37.80	Heptanal	Aldehida
17	6.12	1-Nonene	Hidrokarbon
18	2.11	Nonane	Hidrokarbon
19	0.57	4-Nonene	Hidrokarbon
20	0.38	4-Nonene	Hidrokarbon
21	0.42	n-Propylbenzene	Hidrokarbon
22	1.31	Phenol	Alkohol
23	3.09	2-Octanone	Hidrokarbon
24	0.61	1-Ethyl-2-methylbenzene	Hidrokarbon
25	2.24	1-Decene	Hidrokarbon
26	2.34	Decane	Hidrokarbon
27	0.68	3-methyl-Phenol	Alkohol
28	0.68	n-Butylbenzene	Hidrokarbon
29	0.33	2-Nonanone	Keton
30	0.94	1-Undecene	Hidrokarbon
31	1.51	Undecane	Hidrokarbon
32	1.09	4-ethyl-Phenol	Alkohol
33	0.79	Pentylbenzene	Hidrokarbon
34	0.38	2-Undecanone	Keton
35	0.69	1-Dodecene	Hidrokarbon
36	0.98	Dodecane	Hidrokarbon
37	0.48	1-Phenylhexane	Hidrokarbon
38	0.81	Tetradecane	Hidrokarbon
39	0.51	2-Tridecanone	Keton
40	3.23	Methyl 10-undecenoate	Ester
41	1.02	Tridecane	Hidrokarbon
42	0.81	Methyl cis-4-octenoate	Ester
43	3.77	5-Hydroxy-2-Decenoic Acid Lactone	Keton
44	1.01	Heptadecane	Hidrokarbon
45	0.55	Hexadecane	Hidrokarbon
46	1.07	1,1-dicyclopentyl-Ethane	Hidrokarbon
47	1.89	Heptadec-8-ene	Hidrokarbon
48	0.81	Hexadecane	Hidrokarbon

Perbandingan komposisi ketiga *liquid fuel* yang dikarakterisasi dirangkum dalam Tabel 6.

Tabel 3. Hasil karakterisasi GC-MS

Aluminosilikat	Nisbah Si/Al	Komposisi Komponen (%)					
		Hidrokarbon	Alkohol	Keton	Aldehida	Ester	Asam
8V 3 jam	1,73	53,83	1,81	10,19	32,43	1,74	0
6V 2 jam	2,48	54,37	4,93	5,18	19,29	8,98	7,42
8V 1 jam	3,77	47,74	3,34	7,09	37,80	4,04	0

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Bagas tebu dapat dikonversi menjadi *liquid fuel* menggunakan metode pirolisis.
2. Aluminosilikat dapat berperan sebagai katalis reaksi perengkahan campuran bagas tebu dan minyak jarak kaliki.
3. Tiga katalis yang menghasilkan *liquid fuel* dengan rendemen tertinggi yakni aluminosilikat dengan nisbah Si/Al sebesar 1,73 (89,98%); 3,77 (82,68%); dan 2,48 (68,08%).
4. *Liquid fuel* yang terbaik jika ditinjau dari hidrokarbon yang dikandungnya adalah sampel yang dihasilkan menggunakan aluminosilikat dengan nisbah Si/Al 2,48 dengan kandungan hidrokarbon sebesar 54,37%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ates, FM., and Isikdag MA. 2009. Influence of Temperature and Alumina Catalyst on Pyrolysis of Corncob. *Fuel*. 88:1991–1997.
- Erawati, E, Sediawan, WB, dan Mulyono P. 2013. Modifikasi Mekanisme Koufopanos Pada Kinetika Reaksi Pirolisis Ampas Tebu (Bagasse). *Jurnal Rekayasa Proses*. 7 (1):14-19.
- Gopakumar, ST, Adhikari S, and Gupta RB. 2012. Catalytic Pyrolysis of Biomass H⁺ZSM 5 under Hydrogen Pressure. *Energy and Fuel*. 26:5300-5306.
- Jahirul, M, Rasul MG, Chowdhury AA, and Ashwath N. 2012. Biofuels Production through Biomass Pyrolysis-A Technological Review. *Energies*. 5:4952-5001.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2005. Produksi Ampas Tebu Di Indonesia. <http://www.menlh.go.id/pemanfaatan-ampas-tebu-bagasse-untuk-bahan-baku-pulp- dan-kertas-masih-hadapi-kendala/> [18 Mei 2016]

- Mujiarto, S, Ristianingsih Y, Amrullah A, dan Khalid A. 2014. Studi Proses Pirolisis Tandan Kosong Sawit Menjadi Bio Oil Sebagai Energi Alternatif. *Jurnal Sains dan Terapan Politeknik Hasnur*. 2 (2):21-25.
- Pandiangan, KD, Suka IG, Mita R, Sony W, Dian A, Syukri A, Novesar J. 2008. Karakteristik Keasaman Katalis Berbasis Silika Sekam Padi yang Diperoleh dengan Teknik Sol-Gel, 3 Hlm. 342-353. *Prosiding Seminar Sains dan Teknologi (SATEK II) Universitas Lampung*.
- Sembiring S, Manurung P, dan Karo-Karo P. 2009. Pengaruh Suhu Tinggi terhadap Karakteristik Keramik Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 5 (1):1-4.
- Simanjuntak W., Sembiring S, Manurung P, Situmeang R, and Low IM. 2013. Characteristics of Aluminosilicates Prepared from Rice Husk Siica and Aluminum Metal. *Ceramics International*. 39:9369-9375.
- Simanjuntak, W, and Sembiring S. 2016. The Use of Liquid Smoke as a Substitute for Nitric Acid for Extraction of Amorphous silica from Rice husk through Sol-Gel Route. *Oriental Journal of Chemistry*. 32 (4):1-7.
- Sudradjat, R, Yulita RI, dan Setiawan D. 2010. Pembuatan Polioliol Dari Minyak Jarak Pagar Sebagai Bahan Baku Poliuretan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 28 (3), hlm. 231-240.
- Syahri, M, Martono T, Dwi C, dan Prasetyo AD. 2015. Pembuatan Biobriket dari Limbah Organik, Hlm 1-7. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*. Yogyakarta, 18 Maret 2015.
- Wan, S. and Wang Y. 2014. A Review on Ex Situ Catalytic Fast Pyrolysis of Biomass. *Chemical Engineering Science*. 1-15.
- Watanabe, M, Inomata H, and Arai K. 2002. Catalytic Hydrogen Generation from Biomass (Glucose and Cellulose) With ZrO₂ In Supercritical Water. *Biomass Bioenergy*. 22:405–410.
- Williams, PT, and Alexander J. Catalytic pyrolysis of tyres: Influence of catalyst temperature. *Fuel*. 2002. 81:2425–2434.
- Yakup, MI, Abdalla AY, Feroz KK, Suzana Y, Ibraheem A, and Chin SA. 2015. Pyrolysis of Oil Palm Residues in a Fixed Bed Tubular Reactor. *Journal of Power and Energy Engineering*. 3:185

**PELUANG SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS)
DALAM PRODUKSI ETERNIT**

Tarkono¹ dan Hadi Ali²

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung

²Jurusan Teknik Sipil Fakultas teknik Universits Lampung

ABSTRAK

Penelitian mengenai sifat fisis dan mekanik eternit berbasis serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) telah dilakukan. Pembuatan eternit berbasis serat TKKS merupakan usaha untuk mengeliminir bahaya dari serat asbes yang persediaanya terbatas. Metode penyusunan serat secara acak dengan persentase 16%, serbuk marmer 12% kemudian semen portland divariasikan dengan persentase 50%, 45%, 40%, 35%, 30%, 25%, 20%, 15% dan persentase volume CaCO_3 sebaliknya dari persentasi semen portland. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa eternit berbasis serat TKKS menghasilkan karakteristik beton serat pada kondisi optimum menghasilkan nilai daya hantar panas (λ) = 0,623 kkal/mh^oC, kerapatan (ρ) = 1519 k g/cm³, daya serap air = 24,28 %, kekuatan lentur = 2,29 Mpa. Penggunaan serat TKSS pada produksi eternit memiliki potensi untuk diproduksi secara masal.

Kata kunci : eternit,serat, TKKS

PENDAHULUAN

Produksi kelapa sawit di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan, pada tahun 2010 mencapai 21.958.120 ton dan pada tahun 2011 mencapai 22.508.011 ton (BPS, 2012). Produksi kelapa sawit pada tahun 2013 sekitar 26 juta ton, sementara produksi kelapa sawit tahun 2014 diproyeksikan menjadi 28 juta ton, yang berarti naik 2 juta ton dari tahun 2013. Setiap produksi kelapa sawit menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) 23%, cangkang 8%, serat 12% dan limbah cair 66% (Andriyati, 2007). Limbah TKKS pada tahun 2010 mencapai 5.050.367,6 ton dan pada tahun 2011 mencapai 5.176.842,53 ton (BPS, 2012). Ternyata limbah TKKS mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya produksi kelapa sawit secara nasional. TKKS merupakan hasil sampingan dari pengolahan minyak kelapa sawit yang pemanfaatannya masih terbatas sebagai pupuk, bahan baku pembuatan matras dan media untuk pertumbuhan jamur dan tanaman (Iriani, 2009). Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah terbesar yang dihasilkan oleh perkebunan kelapa sawit. Jumlah tandan kosong mencapai 30-35 % dari berat

tandan buah segar setiap pemanenan. Namun hingga saat ini, pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit belum digunakan secara optimal (Hambali, dkk, 2007).

Di pabrik minyak kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit hanya dibakar dan sekarang telah dilarang karena adanya kekhawatiran pencemaran lingkungan, atau dibuang sehingga menimbulkan keluhan/masalah karena dapat menurunkan kemampuan menyerap air. Di samping itu, tandan kosong kelapa sawit yang membusuk di tempat akan menarik kedatangan jenis kumbang tertentu yang berpotensi merusak pohon kelapa sawit hasil peremajaan di lahan sekitar tempat pembuangan (Roliadi dan Fatriasari, 2011).

TKKS memiliki potensi besar menjadi sumber biomassa selulosa dengan kelimpahan cukup tinggi dan sifatnya yang terbarukan. TKKS merupakan hasil samping dari pengolahan minyak kelapa sawit yang pemanfaatannya masih terbatas sebagai pupuk, dan media bagi pertumbuhan jamur serta tanaman. Limbah kelapa sawit jumlahnya sangat melimpah, setiap pengolahan 1 ton TBS (Tandan Buah Segar) akan dihasilkan TKKS sebanyak 23% TKKS atau sebanyak 230 kg TKKS. Berdasarkan data bahwa sebuah pabrik dengan kapasitas pengolahan 12,7 juta ton/jam, waktu operasi selama 1 jam, maka akan dihasilkan sebanyak 2,3 juta ton TKKS. Total limbah TKKS seluruh Indonesia, 2004 diperkirakan mencapai 18,2 juta ton. Disimpulkan memproduksi bioetanol berbahan baku limbah kelapa sawit layak diusahakan karena tingkat keuntungan mencapai 75 % (<http://pengolahan-limbah/sawit>).

Upaya untuk menanggulangi masalah limbah pada pabrik kelapa sawit adalah dengan sistem pengolahan yang bersifat ramah lingkungan. Di PT Belitung Energy provinsi Bangka Belitung, sudah memanfaatkan TKKS sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Saat ini hampir semua pabrik kelapa sawit telah memanfaatkan serabut dan cangkang kelapa sawit sebagai umpan bahan bakar boiler untuk pembangkit listrik. Berbeda dengan TKKS, sementara persentase limbah paling banyak dari kelompok limbah padat yang dihasilkan pabrik kelapa sawit berupa TKKS belum dapat dimanfaatkan secara optimal. Jumlah TKKS cukup besar karena hampir sama dengan jumlah produksi minyak sawit mentah (Wardani, 2012). TKKS yang tidak tertangani dapat menyebabkan bau busuk dan tempat bersarangnya serangga lalat. Untuk mengurangi dampak negatif dengan semakin banyaknya limbah dari pabrik kelapa sawit, maka dilakukan beberapa upaya untuk memanfaatkan TKKS. Usaha yang telah dilakukan dalam menanggulangi limbah TKKS adalah untuk pupuk organik,

kemudian pemanfaatan yang lain sebagai bahan papan partikel karena TKKS memiliki potensi yang besar juga mengandung lignoselulosa.

Serat TKKS sebenarnya mengandung selulosa dan holoselulosa yang cukup tinggi sehingga layak dikembangkan dalam teknologi bahan, terutama bidang rekayasa beton. Efek penambahan serat TKKS dalam pembuatan bahan bangunan (beton) antara lain: ringan, kekuatan mekanik tinggi dan ramah lingkungan (Wismogroho, 2002). Serat ini juga berfungsi sebagai penguat serta meningkatkan kekuatan tarik agar lebih daktail dari pada beton pada umumnya. Beton biasanya bersifat getas, adanya serat sebagai penguat pada beton tersebut maka dapat mencegah terjadinya perambatan retakan akibat beban maupun panas hidrasi. Serat TKKS yang digunakan dalam pembuatan beton memberikan prospek dalam penyediaan bahan bangunan yang murah dengan memanfaatkan lokal *resources* yang ramah lingkungan (*eco-friendly*) (Gurning et al, 2013), bahan bangunan tersebut berupa eternit yang digunakan untuk plafon rumah.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Sedangkan beberapa pengujian dilakukan di beberapa tempat yaitu Loratorium Analisis Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung dan Bahan Bangunan serta Laboratorium Tata Bangunan PUSLITBANG PUPR di Bandung.

Bahan utama eternit berupa semen portland, serbuk CaCO_3 , limbah gergajian batu marmer berupa powder, dan serat TKKS. TKKS dibuat serat pendek, sebelumnya serat direndam dalam larutan NaOH untuk menghilangkan sisa-sisa zat lemak. Hasil rendaman dicuci kemudian dikeringkan pada terik matahari. Bahan-bahan tersebut dicampur menjadi satu dengan ditambahkan air secukupnya sehingga berbentuk pasta dengan perbandingan : 16% serat TKKS, 12% serbuk marmer, CaCO_3 dan semen portland divariasikan. Variasi persentase semen portland yang digunakan adalah 50%, 45%, 40%, 35%, 30%, 25%, 20%, 15%, sementara CaCO_3 divariasikan 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45% dan 50%. Dalam proses pencampuran ditambahkan air secukupnya dan diaduk sampai rata.

Proses pencetakan eternit dilakukan cetakan dengan cara menuangkan adonan ke dalam cetakan. Sebelum adonan dituangkan, cetakan dilumuri dengan oli bekas untuk menghindari kelengketan. Campuran semen dan batu kapur kering ditaburkan di atas cetakan

secara tipis dan rata, hal ini bertujuan agar permukaan eternit halus. Kemudian dilakukan pengepresan dengan tekanan 2,5 sampai 3 atm. Setelah berumur 28 hari maka baru dilakukan pengujian karakteristiknya. Untuk mengetahui karakteristik dari eternit yang digunakan sebagai plafon maka perlu diperhatikan beberapa hal antara lain sifat mekanik dan sifat fisik material tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tandan kosong kelapa sawit mengandung serat yang tinggi. Kandungan utama tandan kosong kelapa sawit adalah selulosa dan lignin. Selulosa dalam tandan kosong kelapa sawit mencapai 54-60 %, sedangkan kandungan lignin mencapai 22-27 % (Hambali, 2007).

Tabel 1 Komposisi kimiawi tandan kosong kelapa sawit

Komponen	% berat kering
Abu	6,04
Lignin	15,70
Selulosa	36,81
Hemiselulosa	27,01

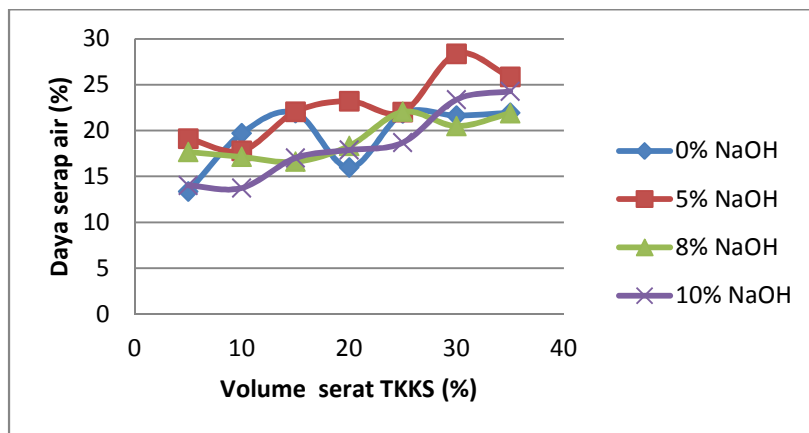
Sumber : Hambali, 2007

Salah satu usaha menanggulangi bahaya limbah pabrik kelapa sawit adalah dengan melakukan pengolahan dan penanganan limbah secara menyeluruh. Penanganan limbah yang tidak tuntas akan berpotensi terjadinya pencemaran di lingkungan penghasil limbah. Pemanfaatan TKKS sejauh ini sebagian besar sebagai bahan organik seperti briket, pakan ternak dan pupuk mulsa. Serat TKKS sebenarnya mengandung selulosa dan holoselulosa yang cukup tinggi sehingga layak dikembangkan dalam teknologi bahan, terutama bidang rekayasa beton. Efek penambahan serat TKKS dalam pembuatan bahan bangunan (beton) antara lain: ringan, kekuatan mekanik tinggi dan ramah lingkungan (Wismogroho, 2002). Serat ini juga berfungsi sebagai penguat serta meningkatkan kekuatan tarik agar lebih daktail dari pada beton pada umumnya. Beton biasanya bersifat getas, adanya serat sebagai penguat pada beton tersebut maka dapat mencegah terjadinya perambatan retakan akibat beban maupun panas hidrasi. Serat TKKS yang digunakan dalam pembuatan beton memberikan prospek dalam penyediaan bahan bangunan yang murah dengan memanfaatkan lokal *resources* yang ramah lingkungan (*eco-friendly*) (Gurning et al, 2013). Dalam rangka

menganalisa kemungkinan/pejuang pemanfaatan serat TKKS sebagai bahan penguat eternit maka perlu dilihat beberapa sifat mekaniknya.

Kemampuan menyerap air

Daya serap air merupakan sifat fisis papan semen yang menunjukkan kemampuan papan untuk menyerap air selama 24 jam. Permeabilitas beton juga dipengaruhi oleh distribusi ukuran butiran semen atau kehalusan dari butiran semen. menggunakan butiran semen yang lebih kasar mempunyai tingkat porositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan ukuran butiran semen yang lebih halus. Secara umum bisa dikatakan bahwa beton yang permeabilitas lebih rendah akan memiliki kuat tekan yang lebih baik dibandingkan dengan beton dengan permeabilitas yang tinggi.



Gambar 2. Grafik daya serap air papan semen berserat TKKS

Hasil pengujian daya serap air selama 24 jam papan semen (eternit) berserat TKKS dengan persentase serat 5% mengalami peningkatan seiring dengan penambahan volume serat sampai 35%. Daya serap air terendah adalah 13,23% terjadi pada papan semen (eternit) berserat TKKS sebanyak 5% dan daya serap air tertinggi adalah 27,35% terjadi pada eternit berserat TKKS sebanyak 30%. Hal ini dipengaruhi oleh nilai kerapatan yang cukup tinggi pada eternit sehingga menyebabkan eternit lebih padat dan sulit menyerap air. Pada eternit dengan 5% serat TKKS kerapatannya lebih tinggi dibandingkan dengan eternit yang berserat 30%. Fatriasari dan Hermiati (2006) dalam Sibarani (2011) menyatakan bahwa besarnya nilai daya serap air dipengaruhi besarnya diameter serat dan panjang serat partikel bambu yang

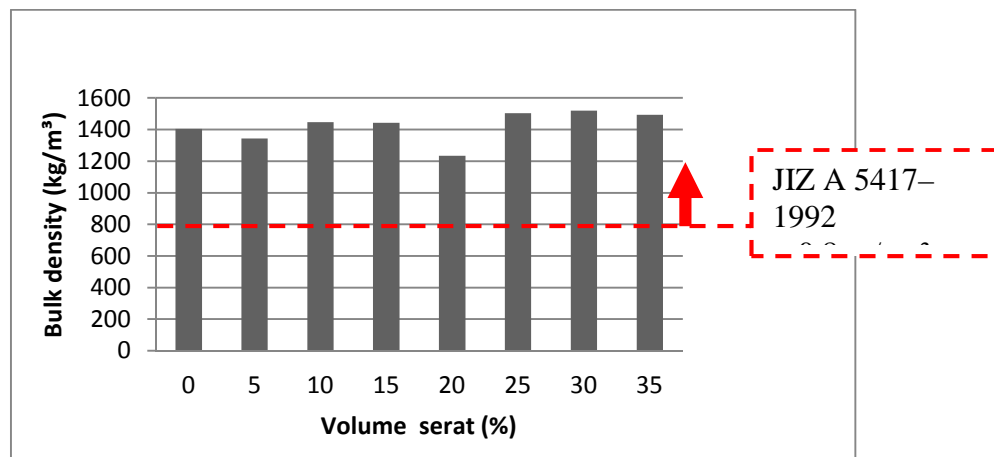
digunakan. Semakin besar ukuran diameter dan panjang serat partikel yang digunakan maka nilai pengembangan tebalnya juga akan semakin besar.

Jumlah serat yang relatif besar biasanya akan membentuk struktur papan semen yang kurang padat sehingga menyebabkan adanya rongga di dalam papan semen yang memudahkan penyerapan air. Namun senyawa semen dapat menutupi permukaan serat dapat menghambat penyerapan air sehingga pada papan semen dengan rendaman serat pada NaOH 5% maupu 8% tidak terlalu terjadi perbedaan yang signifikan. Sebab serat yang telah terbebas dari pengeruh zat lemak akan mudah terjadi ikatan yang kuat dengan semen. Pada standar JIS A 5417-1992 tidak menetapkan nilai daya serap air yang dapat diterima sesuai standar.

Secara umum terjadi kenaikan daya serap air seiring dengan bertambahnya serat TKKS dalam eternit. Hal ini disebabkan semakin banyaknya serat TKKS dalam eternit peluang terjadinya rongga antara serat dengan matriknya semakin besar, walaupun dalam proses pembuatannya campuran antara serat dengan matrik diusahakan setara mungkin. Serat TKKS yang direndam 8% larutan NaOH sangat bagus, hal ini dibuktikan kenaikan daya serapnya tidak terlalu tinggi sehingga jika diaplikasikan sebagai plafon akan sangat cocok.

Kerapatan eternit berserat TKKS

Kerapatan menunjukkan banyaknya massa per satuan volume. Sifat-sifat papan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kerapatan. Selain itu kerapatan juga menjadi dasar pertimbangan penggunaan suatu produk. Hasil pengujian kerapatan eternit berserat TKKS yang dihasilkan pada penelitian ini disajikan pada gambar 4.



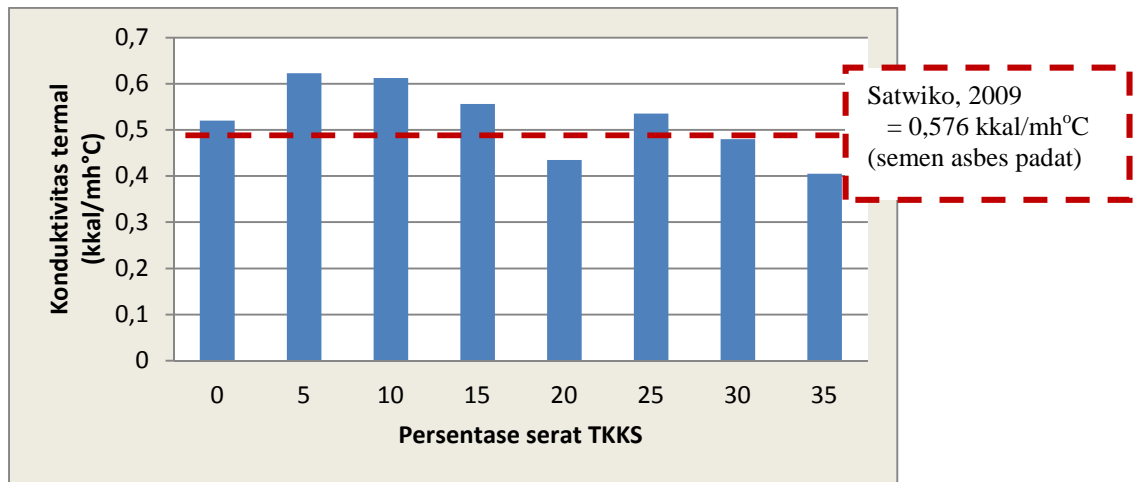
Gambar 4. Grafik kerapatan eternit

Hasil pengujian kerapatan eternit dengan 20% serat merupakan jenis campuran yang paling kecil kerapatannya yaitu $1233,7 \text{ kg/m}^3$, sedangkan dengan campuran 30% serat TKKS kerapatannya 1519 kg/m^3 . Secara umum terlihat bahwa seiring dengan bertambahnya volume serat kerapatannya semakin besar yang berarti ikatan antara matrik dengan serat semakin baik. Hal ini bertentangan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mujtahid (2010) yang menyatakan bahwa ukuran partikel yang besar memiliki kerapatan yang rendah karena partikel dengan ukuran yang besar dapat mengakibatkan kontak yang lemah antara partikel dan semen sehingga menciptakan adanya rongga diantara partikel-partikel tersebut. Perbedaan ini dianggap wajar sebab kedua penelitian menggunakan penguat yang berbeda yaitu serat TKKS dan serbuk batang aren.

Secara umum bahwa kerapatan papan semen berserat TKKS yang dibuat dalam penelitian ini menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan standar yang ada. Artinya eternit yang dibuat menggunakan penguat serat TKKS dengan volume sampai 35% masih memenuhi standar JIS A 5417-1992 yang dipersyaratkan yaitu $0,8 \text{ g/cm}^3$. Dengan demikian bahwa eternit tersebut dapat diaplikasikan sebagai plefon rumah tinggal.

Konduktivitas termal berserat TKKS

Konduktivitas panas suatu bahan adalah ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan panas (termal) (Isaacs dan Alan, 1994). Berdasarkan pengolahan data diperoleh nilai konduktivitas termal rata-rata untuk setiap benda uji. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai konduktivitas termal eternit untuk masing-masing variasi serat TKKS adalah $0,435 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ hingga $0,623 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$. Dari nilai konduktivitas termal tersebut dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 5.



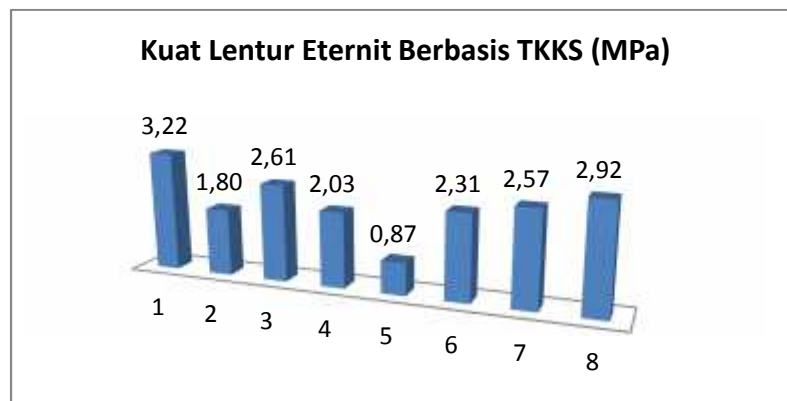
Gambar 5. Konduktifitas termal eternit berserat TKKS (Sumber : Tarkono, 2015)

Dari Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin banyak kandungan kertas pada bata kertas maka nilai konduktivitas termal semakin rendah. Sesuai dengan literatur bahwa bahan yang memiliki nilai konduktivitas tinggi maka tergolong sebagai bahan yang konduktor yaitu penghantar panas yang baik, sedangkan yang memiliki nilai konduktivitas rendah disebut bahan yang isolator yaitu penghantar panas yang buruk. Sementara nilai konduktivitas untuk semen asbes padat adalah 0,576 kkal/mh°C dan konduktivitas batu bata ringan 0,806 kkal/mh°C (Satwiko, 2009). Dari data terlihat bahwa eternit berserat TKKS memiliki konduktivitas termal lebih rendah dibandingkan dengan batu bata ringan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa eternit berserat TKKS merupakan material yang memiliki konduktivitas termal jelek. Maka eternit berserat TKKS tersebut bagus jika digunakan untuk plafon bangunan karena panas udara dari atap rumah tidak akan mudah dihantarkan ke dalam ruangan.

Namun dari penelitian ini ada beberapa eternit dengan campuran serat TKKS memiliki nilai konduktivitas termal lebih tinggi dari literatur. Literatur menunjukkan bahwa konduktivitas termal semen asbes padat adalah 0,576 kkal/mh°C. Eternit dengan serat TKKS sebanyak 5% memiliki nilai konduktivitas termal sebesar 0,623 kkal/mh°C dan 0,612 kkal/mh°C pada campuran serat TKKS sebanyak 10%. Akan tetapi jika serat TKKS diperbanyak sampai 35% maka nilai konduktivitas termalnya dibawah semen asbes padat. Hal ini menandakan bahwa serat TKKS merupakan jenis material yang bersifat sebagai isolator (Tarkono, 2015).

Keteguhan patah berserat TKKS

Keteguhan patah (MOR) adalah nilai ukuran kekuatan lentur statis kayu yang menunjukkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh papan partikel per satuan luas hingga papan tersebut patah. Hasil uji lentur secara keseluruhan rata-rata mencapai 2,29 Mpa dan bisa mencapai 4,02 Mpa 40% semen portland 30% CaCO₃ 16% serat TKKS 12% serbuk marmer dan 4% katalis. Sementara dari hasil penelitian Nuria Gurning tahun 2013 *Modulus of Rupture* (MOR) dari beton serat TKKS dengan variasi penambahan serat hingga 10 % volum adalah berkisar 2,12 – 2,95 MPa. Nilai tertinggi MOR beton serat adalah pada penambahan 6 % (volum) serat TKKS, yaitu sekitar 2,95 MPa.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Kekuatan Lentur Eternit Berbasis TKKS Untuk Berbagai Variasi

Berdasarkan keterangan Nuria Gurning tahun 2013 hasil MOR memiliki kecenderungan menurun di atas penambahan volume serat > 6 – 10 % yang disebabkan reaksi antara campuran air-semen dengan serat yang kurang baik dan cenderung berongga sehingga menurunkan nilai MOR beton serat tersebut. Menggunakan serat bambu sebanyak 0,5 – 1,5 % (berat) dari total semen dan panjang serat yang digunakan 1 – 2 cm, menghasilkan nilai MOR sebesar 5 – 7 MPa. Berarti ada salah satu spesimen yang mendekati hasil penelitian Mulyono (2005).

Perambatan Api (FS)

Data kalibrasi yang digunakan adalah data uji kayu oak merah dan lembaran rata fiber semen. Hasil kalibrasinya ditampilkan pada tabel berikut ini : Berdasarkan uji rambat api yang dikalibrasi dengan kayu oak didapat:

Tabel 1. Hasil kalibrasi :

	Kayu oak merah*	Lembaran fiber semen **
Panjang nyala /flame length (L) 0 dalam inchi	13	
Konstanta FS (k) = 100 (Lo – La) = 100/(13-0) =7,7		
Keterangan : * tebal 3 mm	** tebal 6 mm	

Tabel 2. Hasil uji dan kalibrasi 2-foot flame tunnel

No	Nama sampel	Panjang nyala / flame length (L) dalam inchi		
		Sampel ke - 1	Sampel ke - 2	Sampel ke - 3
1	Kode A	7	7	7
2	Kode B	8	8	8
3	Kode C	8	8	8

Tabel 3. Evaluasi data

No	Nama sampel	2-foot flame spread rating (FS x k)			Prediksi nilai FS E84		
		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Kode A	54	54	54	54,4	54,4	54,4
2	Kode B	62	62	62	61,5	61,5	61,5
3	Kode C	62	62	62	61,5	61,5	61,5

Tabel 4. Data tambahan

Nama sampel	Berat awal rata-rata (gram)	Berat akhir rata-rata (gram)	% bahan yang terbakar
Kode A	1112,00	1098,00	-1,26%
Kode B	1035,33	1004,67	-2,96%
Kode C	940,67	932,33	-0,89%

Tabel 5. Nilai prediksi penjalaran api (Flame Spread)

No	Nama sampel	Prediksi nilai FS
1	Kode A	54,4
2	Kode B	61,5
3	Kode C	61,5

Keterangan :

Klasifikasi berdasarkan nilai FS :

Class I : 0 – 25

Class II : 26 – 75

Class III : 76 - 100

Dari hasil uji rambat api menunjukkan bahwa material eternit berbasis TKKS memiliki nilai FS untuk eternit dengan ketebalan 13 mm (kode sampel A) nilai FS sebesar 54,4 kemudian eternit dengan ketebalan 10 mm (kode sampel B) nilai FS sebesar 61,5 dan eternit dengan ketebalan 10 mm (kode sampel C) memiliki nilai FS sebesar 61,5. Dengan demikian maka eternit berbasis TKKS yang dibuat dalam penelitian ini menduduki kelas II yang berarti dapat digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan.

KESIMPULAN

Daya serap air dari eternit berbasis TKKS akan bertambah besar seiring dengan bertambahnya volume serat. Sementara kerapatannya cukup bagus yaitu rata-rata lebih besar dari standar JIS A 5417-1992 yang dipersyaratkan yaitu $= 0,8 \text{ g/cm}^3$. Konduktivitas termal eternit lebih rendah dari semen asbes padat $= 0,576 \text{ kkal/mh}^\circ\text{C}$, artinya eternit hasil penelitian ini layak diaplikasikan sebagai plafon rumah. Eternit berbasis TKKS masih layak dijadikan bahan bangunan berupa plafon.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyati A.H., 2007, *Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Papan Serat Semen*, Jurnal Permukiman Volume 2 No. 3 Desember 2007.
- BPS, 2012, *Indonesia Dalam Angka*, Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, Jakarta.
- Gurning, N., A.P.Tetuko, dan P. Sebayang, 2013, *Pembuatan Beton Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit*, TELAAH Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Akreditasi LIPI Nomor :377/E/2013.
- Hambali, E., S. Mujdalipah, A. H. Tambunan, A. W. Pattiwiri dan Roy H. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Agromedia Pustaka : Jakarta.
- Iriani, P. I., 2009. *Kajian Awal Biokonversi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Menjadi Etanol Melalui Skarifikasi dan Fermentasi Alkoholik*. Diakses dari <http://www.sith.itob.ac.id> pada tanggal 16 April 2012.
- Isaacs, dan Alan, 1994, *Kamus Lengkap FISIKA*, Erlangga.
- Japanese Standarts Association (JSA), 1992, *Japanese Industrial Standarts JIS A 5417 : 1992, Cementboards Japan* : Japanese Standarts Association.

- Mujtahid, 2010, Pengaruh Ukuran Serbuk Aren Terhadap Kekuatan Bending Densitas dan Hambatan Panas Komposit Semen-Serbuk Aren, *Skripsi*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Mulyono T, 2005, *Teknologi Beton*, Penerbit Andi
- Roliadi, H dan Fatriasari, W. 2011. Kemungkinan Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Pembuatan Papan Serat Berkerapatan Sedang. Universitas Sriwijaya : Palembang.
- Satwiko, P., 2009, Fisika Bangunan, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Sibarani, I.P., 2011. Karakteristik Papan Semen dari Tiga Jenis Bambu dengan Penambahan Katalis Magnesium Klorida (MgCl₂), *Skripsi*, Medan.
- Tarkono, Hadi Ali, 2015, *Pemanfaatan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Dalam Produksi Eternit Yang Ramah Lingkungan, Jurnal Sain Teknonogi dan Lingkungan (JSTL) Unram, Volume 1 / Nomor 1/ Tahun 2015.*
- Wismogroho, A., 2002, The Use of Natural Fibre Reinforced Composites in Building Materials, *Proceedings- International Symposium; Building Research and The Sustainability of The Built Environment in The Tropics*, Tarumanagara University Indonesia. pp. 598-610 9.
- Wardani, D.I., 2012, *Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Sebagai Alternatif Pupuk Organik*, Jurnal Lingkungan Hidup – Bumi - Lestari Bumi Bebas Polusi, <https://uwityangyoyo.wordpress.com/2012/01/04>. (<http://pengolahan-limbah/sawit>)

**ANALISIS FASA-FASA DAN LUAS PERMUKAAN SPESIFIK ZEOLIT BERBASIS
SILIKA SEKAM PADI YANG DISINTERING PADA SUHU 150 °C,
250 °C, DAN 350 °C**

Siti Rokayah, Agus Riyanto, Suprihatin

Jurusan Fisika-FMIPA, Universitas Lampung
email: sitirokayah2027052@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang analisis fasa-fasa dan luas permukaan spesifik zeolit berbasis silika sekam padi yang disintering pada suhu 150 °C, 250 °C, dan 350 °C. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fasa kristalit yang terbentuk, ukuran kristalit, beserta luas permukaan spesifiknya. Penelitian dilakukan dengan mensintesis zeolit dari bahan silika sekam padi, NaOH, dan alumina dengan metode sol gel dan perlakuan suhu sintering 150 °C, 250 °C, dan 350 °C. Sampel zeolit dikarakterisasi dengan difraksi sinar-X (XRD) dan Surface Area Analyzer (SAA). Dari hasil XRD diperoleh fasa yang terbentuk dan ukuran kristalit menggunakan persamaan Scherrer. Pada suhu 150 °C, fasa yang terbentuk gibbsite dengan ukuran kristalit 61,21 nm. Sedangkan pada suhu 250 °C terdapat fasa gibbsite, bohmite, dan quartz dengan ukuran kristalit berturut-turut adalah 58,71; 180,06; dan 80,35 nm. Pada suhu 350 °C fasa gibbsite telah berubah sepenuhnya menjadi bohmite dengan ukuran kristalit 112,37 nm dan adanya fasa quartz dengan ukuran kristalit 30,14 nm. Semakin kecil ukuran kristalit, maka luas permukaan spesifik zeolit akan semakin besar. Dari hasil analisis SAA luas permukaan spesifik akibat suhu sintering 150 °C, 250 °C, dan 350 °C masing-masing adalah 106,900; 90,650; dan 241,970 m²/g. Dari hasil penelitian diketahui ukuran kristalit fasa pada suhu 350 °C memiliki nilai paling kecil, sehingga diperoleh luas permukaan spesifik paling besar dibandingkan pada suhu 150 °C dan 250 °C.

Kata kunci: Sintering, fasa, ukuran kristalit, luas permukaan spesifik, dan zeolit.

1. PENDAHULUAN

Zeolit merupakan aluminasilikat berbentuk struktur kristal tiga dimensi dengan ukuran pori yang seragam (Cejka *et al.*, 2007). Zeolit memiliki sifat yang unik, yakni berpori dan dapat berperan sebagai penukar kation (Muchtar, 2006). Menurut Kabwadza-Comer *et al.*, sintesis zeolit dapat dilakukan secara kimia, sehingga hasilnya dapat dikontrol sesuai dengan kebutuhan. Telah banyak penelitian yang dilakukan mengenai

sintesis zeolit, salah satunya dengan bahan silika sekam padi.

Sekam padi merupakan sumber silika dengan kemurniannya mencapai 95,35% (Suka dkk, 2008). Material silika sudah banyak dimanfaatkan sebagai bahan sintesis zeolit (Mohamed *et al.*, 2012). Salah satu kelebihan sintesis zeolit dari bahan silika sekam padi adalah memiliki luas permukaan spesifik yang besar (Setiawan dan Supriyatna, 1999). Pada penelitian ini pembuatan zeolit dilakukan menggunakan bahan baku silika sekam padi dan alumina (Al_2O_3), yang disintesis menggunakan metode sol gel dengan variasi suhu kalsinasi sebesar 150°C , 250°C , dan 350°C . Karakterisasi yang dilakukan meliputi *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur zeolit dan *Surface Area Analyzer* (SAA) dengan metode *Brunner Emmett Teller* (BET) untuk mengetahui luas permukaan spesifik.

2. METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya sekam padi, *sodium hydroxide* (NaOH) dengan kemurnian 99% produksi Merck, *aluminium hydroxide* ($\text{Al}(\text{OH})_3$) produksi Merck, asam nitrat (HNO_3) dengan kemurnian 68% produksi Merck, akuades.

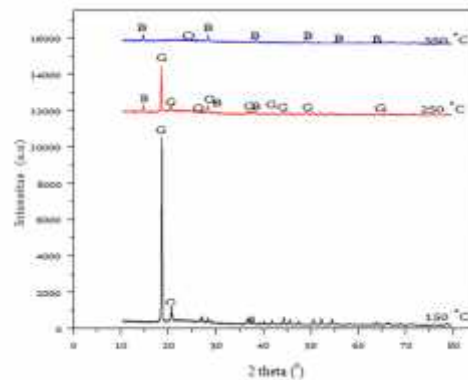
Alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya gelas ukur, gelas *beaker*, tabung *erlenmeyer*, kompor, *magnetic bar*, pH meter (produksi Merck), pengaduk, *hotplate stirrer*, botol sampel, neraca *digital*, pipet tetes, pinset, *stopwatch*, *furnace*, XRD, dan SAA menggunakan metode BET.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya preparasi sekam padi dan melakukan ekstraksi sekam padi untuk memperoleh sol silika (Sembiring dkk, 2009). Kemudian membuat Sol sodium aluminat dengan melarutkan 5% NaOH (2,525 gram) dan 5% $\text{Al}(\text{OH})_3$ (5 gram) ke dalam akuades sebanyak 50 ml. Kemudian mencampurkan sol sodium aluminat dan sol silika 250 ml untuk membentuk sol zeolit. Sol zeolit ditetesi dengan larutan asam 10% HCl dalam 100 ml hingga membentuk gel dengan $\text{pH} = 7$. Gel di-*stirrer* selama 7 jam kecepatan 1000 rpm, setelah itu di-*aging* selama 24 jam. Kemudian gel zeolit dicuci, lalu dilakukan *heating* pada suhu 110°C selama 7 jam. Kemudian digerus dengan mortar dan pastel, lalu diayak dengan ukuran 100 mesh. Serbuk zeolit disintering

pada suhu 150 °C, 250 °C, dan 350 °C dengan kenaikan suhu 3 °C/menit. Setelah itu, dikarakterisasi menggunakan XRD dan SAA.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis XRD serbuk zeolit yang telah disintering pada suhu 150 °C, 250 °C, dan 350 °C ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil XRD pada suhu sintering 150°C, 250°C, dan 350 °C. Simbol G=Gibbsite, Q=quartz, dan B=Bohmite.

Berdasarkan Gambar 1, terjadi adanya perubahan fasa karena variasi suhu sintering. Hal tersebut menunjukkan bahwa adanya suhu sintering semakin tinggi dapat mengubah terbentuknya fasa (Juliansyah, 2015). Dari hasil analisis XRD diketahui bahwa belum terbentuknya fasa yang menunjukkan adanya zeolit. Namun fasa-fasa yang terbentuk merupakan penyusun zeolit. Fasa gibbsite dan bohmite menunjukkan adanya alumina, serta fasa quartz mengidentifikasi adanya silika pada sampel. Alumina dan silika merupakan penyusun utama zeolit (Lutz, 2014).

Dimungkinkan zeolit belum terbentuk karena terdapat unsur penting pemacu terbentuknya zeolit, seperti sodium (NaOH) yang diperkirakan ikut hilang saat proses pencucian ketika preparasi sampel. Keberadaan NaOH sangat mempengaruhi pembentukan zeolit, semakin meningkat konsentrasi NaOH, maka zeolit yang terbentuk akan semakin baik seperti yang dilakukan oleh Astuti dan Lestari (2007). Selain itu, suhu juga mempengaruhi terbentuknya zeolit yaitu dalam penelitian ini masih rendahnya suhu sintering yang digunakan. Setiap fasa dari setiap sampel terletak pada setiap 2 theta yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Besar 2 theta setiap fasa

Suhu °C	Fasa	2 theta (°)
150	<i>Gibbsite</i>	18,45; 20,45; 26,57; 26,82; 37,18; 37,80; 37,91; 44,27; 44,34; 45,44; 54,38; 55,23; 57,80; 63,71; 64,56; 66,10; 66,53; 68,76.
	<i>Bohmite</i>	
	<i>Quartz</i>	
250	<i>Gibbsite</i>	18,22; 18,33; 20,34; 26,94; 28,09; 36,61; 37,78; 44,16; 45,50; 50,53; 52,07; 54,30; 63,72
	<i>Bohmite</i>	14,37; 28,09; 38,38
	<i>Quartz</i>	26,94
350	<i>Gibbsite</i>	
	<i>Bohmite</i>	14,28; 28,15; 45,75; 48,91; 49,35; 51,67; 55,19; 60,68; 64,36; 71,92
	<i>Quartz</i>	26,82

Selain mempengaruhi terbentuknya fasa, suhu sintering juga dapat mempengaruhi ukuran kristalit bahan, semakin besar suhu yang digunakan akan membuat ukuran kristalit semakin meningkat sampai pada suhu tertentu, kemudian akan menurun disertai dengan munculnya fasa baru (Juliansyah, 2015). Dari hasil penelitian besar suhu sintering terhadap ukuran kristalit ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Suhu sintering terhadap ukuran kristalit

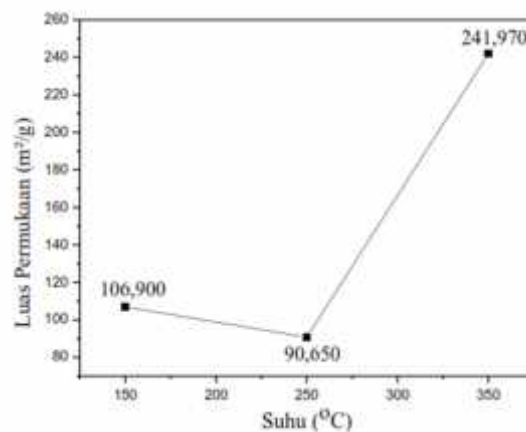
No	Suhu (°C)	Ukuran kristalit (L) Setiap Fasa (nm)		
		<i>Gibbsite</i>	<i>Bohmite</i>	<i>Quartz</i>
1	150	61,21	-	-
2	250	58,71	180,06	80,35
3	350	-	112,37	30,14

Dari Tabel 2 terlihat ukuran kristalit setiap fasa berbeda-beda akibat suhu sintering yang digunakan. Ukuran kristalit diperoleh dengan menentukan nilai FWHM setiap fasa terlebih dahulu, kemudian diselesaikan menggunakan persamaan Scherrer. Pada suhu 150 °C ukuran kristalit fasa *gibbsite* adalah 61,21 nm. Kemudian pada suhu 250 °C terdapat fasa baru, sehingga terjadi perubahan ukuran kristalit. Fasa *gibbsite* mengalami penurunan ukuran kristalit menjadi 58,71 nm. Fasa *gibbsite* pada suhu 250 °C memiliki puncak difraksi dengan ketajaman yang menurun dibandingkan sebelumnya. Hal tersebut yang

menyebabkan perubahan nilai ukuran kristalit, semakin sempit dan tajam puncak difraksi akan menghasilkan nilai ukuran kristalit yang semakin besar (Sriyanti, 2014). Kemudian fasa baru yang muncul adalah fasa *bohmite* dan fasa *quartz* dengan ukuran kristalit masing-masing sebesar 180,06 nm dan 80,35 nm.

Selanjutnya pada suhu 350 oC fasa gibbsite telah mengalami perubahan menjadi fasa bohmite, sehingga ukuran kristalitnya juga berubah. Fasa bohmite dan fasa quartz mengalami penurunan ukuran kristalit masing-masing menjadi 112,37 nm dan 30,14 nm. Terlihat pada Gambar 4 puncak difraksi yang terbetuk mengalami penurunan ketajaman dibandingkan dengan puncak difraksi pada suhu 150 oC dan 250 oC.

Besar nilai ukuran kristalit mempengaruhi besar luas permukaan spesifik, sehingga diperoleh hasil analisis dengan SAA disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil analisis dengan SAA

Gambar 2 merupakan besar nilai luas permukaan spesifik dipengaruhi oleh besar ukuran kristalit setiap fasa akibat variasi suhu sintering. Pada suhu 150 oC terbentuk fasa gibbsite dengan nilai ukuran kristalit seperti pada Tabel 2 , yaitu 61,21 nm. Besar luas permukaan spesifik yang diperoleh adalah 106,900 m²/g. Kemudian pada suhu 250 oC, nilai luas permukaan spesifik mengalami penurunan menjadi 90,650 m²/g. Pada Gambar 1 terlihat adanya tiga fasa yang terbentuk. Fasa gibbsite memiliki nilai ukuran kristalit lebih kecil daripada fasa gibbsite pada suhu 150 oC, yaitu 58,71 nm. Namun terdapat dua fasa lagi dengan nilai ukuran kristalit yang lebih besar yaitu fasa quartz sebesar 80,36 nm dan fasa bohmite sebesar 180,06 nm. Untuk itu besar luas permukaan spesifik pada suhu sintering 250oC mengalami penurunan. Karena semakin besar ukuran kristalit akan

mengakibatkan luas permukaan spesifik semakin kecil (Yamliha, 2013).

Besar nilai luas permukaan spesifik mengalami peningkatan kembali setelah disintering pada suhu 350oC, dapat dilihat pada Gambar 1 fasa gibbsite telah berubah sepenuhnya menjadi fasa bohmite, serta adanya penurunan intensitas pada fasa quartz. Besar ukuran kristalit pada fasa bohmite mengalami penurunan nilai menjadi 112,37 nm dan fasa quartz juga mengalami penurunan menjadi 30,14 nm. Oleh karena itu besar luas permukaan spesifik pada suhu 350 oC mengalami peningkatan sebesar 241,970 m²/g.

Berdasarkan uraian diatas, perubahan nilai luas permukaan spesifik dipengaruhi oleh fasa yang terbentuk akibat dari variasi suhu sintering yang digunakan. Hal ini dikarenakan suhu mempengaruhi kemunculan fasa pada setiap sampel, dari fasa yang terbentuk akan menghasilkan besar ukuran kristalit yang berubah-ubah, sehingga besar luas permukaan spesifiknya juga mengalami perubahan. Semakin kecil ukuran kristalit akan mengakibatkan luas permukaan spesifik semakin besar.

KESIMPULAN

Dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan suhu mempengaruhi bentuk fasa dan ukuran kristalitnya. Pada suhu 150 oC terbentuk fasa gibbsite dengan ukuran kristalit 61,21 nm. Pada suhu 250 oC terbentuk fasa gibbsite, quartz, bohmite dengan ukuran kristalit masing-masing adalah 58,71 nm, 80,35 nm, dan 180,06 nm. Pada suhu 350oC terbentuk fasa bohmite dan quartz dengan ukuran kristalit masing-masing 112,37 nm dan 30,14 nm. Serta semakin kecil ukuran kristalit pada setiap fasa akan menghasilkan nilai luas permukaan spesifik yang semakin besar yaitu pada suhu 150 oC, 250 oC, dan 350 oC masing-masing adalah 106,900; 90,650; dan 241,970 m²/g. Pada suhu 350oC memiliki luas permukaan spesifik tertinggi karena memiliki ukuran kristalit terkecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, T., Prasetyo, I., dan Rochmadi. 2012. Pengaruh Struktur Pori Terhadap Kapasitansi Elektroda Superkapasitor yang Dibuat dari Karbon Nanopori. *Reactor*. Vol. 14. No. 1. Hal. 25 – 32.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. 2014. Produksi Tanaman Padi Provinsi Lampung, 2010-2014. *Lampung. BPS Provinsi Lampung*. ISSN. 1907-4581.

- Boumaza, A., Favors, L., Ledion, J., Sattonnay, G., Brubach, J. B., Berthet, P., Huntz, A. M., Roy, P., and Tetot, R. 2009. Transition Alumina Phases Induced by Heat Treatment of Boehmite: An X-ray Diffraction and Infrared Spectroscopy Study. *Journal of Solid State Chemistry* 182. Hal. 1171-1176.
- Cejka, J., Bekkum, H. V., Corma, A., and Schuth, F. 2007. *Introduction to Zeolite Science and Practice* .3RD Revised Edition. Belanda. Elsevier.
- Conway, B. E. 1999. *Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals and Technological Applications*. New York. Kluwer – Plenum.
- Gujar, T. P., Kim. W. Y., Puspitasari, I., Jung, K. D., and Joo, O. S. 2007. Electrochemically Deposited Nanograin Ruthenium Oxide as a Pseudocapacitive Elektrode. *Int J. Electrochem. Sci.*2. Hal. 666 – 673.
- Juliansyah, Ratnawulan, dan Ahmad, F. 2015. Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Struktur Mineral Granit yang Terdapat di Nagari Surian Kecamatan Pantai Cermin Kabupaten Solok. *Pillar of Physics*. Vol. 06. Hal. 09-16.
- Jumaeri, Astuti, W., dan Lestari, W.T. P. 2007. Preparasi dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Layang Batubara secara Alkali Hidrotermal. *Reactor*. Vol. 11. No. 1. Hal. 38-44.
- Kabwadza-Corner, P., Munthali, M. W., Johan, E., and Matsue, N. 2014. Comparative Study of Copper Adsorptivity and Selectivity Toward Zeolites. *American Journal of Analytical Chemistry*. Vol. 5. Hal. 395-405.
- Lestari, D. Y. 2010. Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia 2010*. ISBN: 978.
- Mohamed, R. M., Mkhallid, I. A., and Barakat, M. A. 2012. Rice Husk Ash as a Renewable Source for the Production of Zeolite NaY and its Characterization. *Arabian Journal of Chemistry*. Vol. 8. Hal. 48-53.
- Muchtar, R. 2006. Karakteristik Zeolit Sebagai Bahan Penanggulangan Pencemaran Lingkungan dan Kotruksi Beton. *Prosiding Seminar Nasional Zeolit V*.
- Nevivilanti, S., Wiranti, F. V., dan Sembiring, S. 2010. Karakteristik Keramik *Mullite* dari Silika Sekam Padi Akibat Perlakuan Suhu Sintering. *Prosiding SN SMAP 10*.
- Saalfeld, H. and Wedde, M. 1974. Refinement of the Crystal Structure of Gibbsite, Al(OH)₃. *Zeitschrift fur Kristallographie, Bd.139, S.* Hal. 129-135.
- Sembiring, S. and Manurung, P. 2009. Synthesis and Characterisation of Cordierite (Mg₂Al₄Si₅O₁₈) Ceramics Based on the Rice Husk Silica. *Prosiding SN SMAP 09*.
- Smith, H. D. and Russel R. L. 2009. *Development and Characterization of Gibbsite Component Simulant*. U. S. Departement of Energy. Pacific Northwest.

- Sriyanti, I. 2014. Nanocomposite Prepared by Simple Mixing Method. *Proceeding of the Third International Seminar on Science Education*. ISBN: 978-602-8171-14-1
- Suka, I. G., Simanjutak, W., Sembiring, S., dan Trisnawati, E. 2008. Karakterisasi Silika Sekam Padi dari Provinsi Lampung yang Diperoleh dengan Metode Ekstraksi. Nomor. 1. Hal. 47 –52.
- Yamliha, A., Argo, B. D., dan Nugroho, W. A. 2013. Pengaruh Ukuran Zeolite terhadap Penyerapan Karbondioksida (CO₂) pada Aliran Biogas. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*. Vol. 1. No. 2
- Yong, C. C. and Wang, J. 2001. Mechanical- Activation-Triggered Gibbsite-to- Bohmite Transition and Activation- Derived Alumina Powders. *J. Am. Ceram. Soc.* Vol. 84. No. 06. Hal. 1225-1230.
- Zhang, D., Shi, L., Fang, J., Dai, K., and Liu, J. 2006. Influence of Carbonization of Hot-Pressed Carbon Nanotube Electrodes on Removal of NaCl from Saltwater Solution. *Materials Chemistry and Physics* 96. Hal. 140 – 144.



9 772086 234006