

Jurnal

Rekayasa Kimia & Lingkungan

Journal of Chemical Engineering and Environment



Jurnal

Rekayasa Kimia & Lingkungan

(Journal of Chemical Engineering and Environment)

TIM EDITOR

Ketua : Dr. Nasrul Arahman, ST., MT.
Anggota : Dr. M. Faisal, ST., M. Eng., Dr. M. Dani Supardan, ST., MT.
Dr. Ir. Husni Husin, MT., Mirna Rahmah Lubis, ST., MS.

Web admin/lay out : Wahyu Rinaldi, ST., M.Sc.
Cetak dan sirkulasi : Umi Fathanah, ST., MT.

Reviewer (Mitra Bestari)

Dr. Ir. Darmadi, M.T (Universitas Syiah Kuala), Dr. Ir. Asri Gani, M.Eng (Universitas Syiah Kuala), Dr. Ir. Izarul Machdar, M.Eng (Universitas Syiah Kuala), Dr. Ir. Azhari, M.Sc (Universitas Malikussaleh), Dr. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T (Universitas Lampung), Dr. Sunu Herwi Pranolo, S.T., M.Sc (Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta), Dr. Yuli Setyo Indartono (Institut Teknologi Bandung), Dr. Agung Sudrajad, S.T., M.Eng (University Pahang Malaysia), Dr. Muhammad Jawaid (University Sains Malaysia), Dr. Saeid Rajabzadeh Kahnamouei (Kobe University, Japan), Dr. Agus Saptoro (Curtin University, Malaysia), Dr. Abrar Muslim, ST, M. Eng. (Universitas Syiah Kuala), Dr. Fachrul Razi, ST, MT. (Universitas Syiah Kuala).

Jurnal ini terbit setiap enam bulan sekali

Harga Langganan dua kali terbit:

Aceh	Rp. 80.000,-
Luar Aceh	Rp. 100.000,- (termasuk ongkos kirim)

Untuk surat menyurat dan berlangganan, harap menghubungi Sdri. Dewi Yana dengan alamat seperti tercantum di bawah. Petunjuk penulisan artikel dapat dilihat pada halaman terakhir jurnal.

©2015 Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala
Jl. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia
Hp. +62 853-2299-7268 Fax. (0651) 52222
<http://jurnal.unsyiah.ac.id/RKL>
E-mail: rkl@che.unsyiah.ac.id

Vol. 10, No. 3, Juni 2015

ISSN: 1412-5064 (cetak), 2356-1661 (online)

Jurnal

Rekayasa Kimia & Lingkungan

(Journal of Chemical Engineering and Environment)

Daftar Isi

Kata Pengantar

Febrina Dwi Putri, Zuchra Helwani, Drastinawati	99	Pembuatan Biodiesel dari Minyak Sawit Off-Grade Menggunakan Katalis CaO dari Kulit Telur Melalui Proses Dua Tahap
Isdawani Is, Asri Gani	106	Pengaruh Penambahan Kaolin Terhadap Reduksi Logam Pb pada Proses Pembakaran Batubara
Yasumasa Tojo, Natsuki Kishizawa, Toshihiko Matsuto, Takayuki Matsuo	112	Effectiveness of the Vertical Gas Ventilation Pipes Installed After the Landfill Closure for Promoting Waste Stabilization in Post-Closure Phase
Akhyar Rasyidi, Fikri Hasfita	121	Sintesis Molibdenum Oksida Berpenyangga Silika Sebagai Katalis pada Reaksi Oksidasi Etanol Menjadi Asetaldehida
Rahmat Jaya Eka Syahputra, Tri Utami, Khoirina Dwi Nugrahaningtyas, Arikasuci Fitonnah Ridasepri, widy Astuti	127	Pemanfaatan Limbah Pecahan Genteng Sebagai Katalis dalam Reaksi Pirolisis Plastik Polipropilena Menjadi Bahan Bakar Alternatif
M. Nizar Machmud, Zulkarnain Jalil	135	Dampak Penggantian Fe_3O_4 secara Parsial dengan Abu Sekam Padi (ASP) terhadap Porositas dan Kuat Tekan Keramik Komposit Clay- Fe_3O_4
Hasni, Nasrul Arahman, Sri Mulyati	142	Penyisihan Fe dalam Air Tanah Menggunakan Zeolit Alam Banda Aceh Teraktivasi

Kata Pengantar

Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan adalah sebuah jurnal yang memuat artikel hasil penelitian atau kajian literatur dalam bidang ilmu Teknik Kimia, Teknik Lingkungan, dan ilmu lainnya yang berkaitan dengan kedua ilmu tersebut. Volume 10 No. 3 Juni 2015 ini memuat 7 artikel dengan topik kajian yang cukup mendalam. Artikel-artikel tersebut membahas tentang pembuatan biodiesel dari minyak sawit, minimasi polusi logam Pb pada proses pembakaran batubara, desain sanitary landfill, pembuatan asetaldehida, pembuatan katalis, pembuatan material komposit, dan penyisihan logam Fe dari air tanah.

Pada kesempatan ini, redaksi ingin menyampaikan terima kasih banyak atas kesediaan para peneliti yang telah menyumbangkan artikel hasil penelitiannya. Redaksi juga menyampaikan terima kasih banyak kepada para reviewer yang telah meluangkan waktunya sehingga memungkinkan proses publikasi Jurnal RKL kali ini mencapai waktu yang direncanakan. Semoga hasil-hasil kajian yang dipaparkan pada jurnal ini dapat memberi tambahan pengetahuan kepada semua pembaca.

Akhirnya, redaksi menghimbau para pembaca dan peneliti di bidang teknik kimia dan ilmu lain yang berkaitan agar dapat memanfaatkan Jurnal RKL untuk mempublikasikan hasil penelitiannya. Saran dan kritik yang mendukung pengembangan lebih lanjut jurnal ini sangat diharapkan.

Wassalam.

Banda Aceh, Juni 2015

Ketua Editor

Dr. Nasrul Arahman, ST, MT



Pembuatan Biodiesel dari Minyak Sawit *Off-Grade* Menggunakan Katalis CaO Melalui Proses Dua Tahap

Biodiesel Production from Off-Grade Palm Oil Using CaO Catalyst Through Two-Stage Process

Febrina Dwi Putri, Zuchra Helwani*, Drastinawati

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293
*E-mail: zuchrahelwani@yahoo.com

Abstrak

Biodiesel merupakan sumber bahan bakar alternatif yang bisa dihasilkan dari minyak nabati melalui transesterifikasi dengan metanol. Sawit *Off-grade* merupakan salah satu sumber minyak nabati yang mempunyai potensi untuk digunakan sebagai bahan dasar produksi biodiesel. Reaksi transesterifikasi dilangsungkan dengan bantuan katalis CaO dari cangkang telur yang dikalsinasi pada suhu 900°C selama 2 jam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memproduksi biodiesel dari minyak sawit *off-grade* melalui reaksi dua-tahap, melihat performa katalis CaO terhadap reaksi transesterifikasi, serta mempelajari pengaruh temperatur reaksi, rasio mol minyak:metanol dan konsentrasi katalis terhadap *yield* biodiesel pada reaksi transesterifikasi. Esterifikasi dilakukan pada suhu 60°C dengan perbandingan mol minyak:metanol 1:12 menggunakan 1%wt katalis H₂SO₄. Asam lemak bebas (ALB) tereduksi dari 16,18% menjadi 0,6%. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan variasi perbandingan mol minyak:metanol 1:7, 1:9, 1:11, konsentrasi katalis 2%wt, 4%wt, 6%wt, serta suhu reaksi pada 50°C, 60°C, 70°C selama 2 jam. Data yang diperoleh diproses dengan menggunakan *response surface methodology* (RSM), sedangkan jumlah eksperimen ditentukan dengan *central composite design* (CCD). *Yield* yang diperoleh pada penelitian ini yaitu sebanyak 62,30%-87,41%. *Yield* optimum dihasilkan pada reaksi dengan suhu 70°C menggunakan minyak:metanol dengan perbandingan 1:11 dan katalis CaO 2%wt. Kondisi proses yang berpengaruh terhadap *yield* biodiesel adalah suhu reaksi, perbandingan mol minyak:metanol, serta interaksi antara suhu dengan perbandingan mol minyak:metanol. Akan tetapi tidak ditemukan adanya pengaruh signifikan konsentrasi katalis terhadap *yield* biodiesel.

Kata kunci: biodiesel, CaO, minyak sawit *off-grade*, rsm, transesterifikasi

Abstract

Biodiesel is an alternative fuel which can be generated from transesterification of vegetable oil with methanol. Off-grade palm is one of vegetable oil sources which can potentially be used as a raw material in biodiesel production. Transesterification was conducted by using CaO catalyst produced from eggshell calcined at a temperature of 900°C for 2 hours. This research was aimed to produce biodiesel from off-grade palm by means of two-stage reaction, to observe the performance of CaO catalyst from calcined eggshell on the transesterification reaction, and to determine the effect of reaction temperature, mole ratio of oil:methanol, and catalyst concentration on the yield of biodiesel. Esterification was carried out at a temperature of 60°C with mole ratio of oil:methanol 1:12 and 1%wt of catalyst H₂SO₄. Free fatty acid (FFA) managed to be diminished from 16.18% to 0.6%. Transesterification was run for 2 hours with variations of oil:methanol mole ratio of 1:7, 1:9, 1:11, CaO catalyst concentrations of 2%wt, 4%wt, 6%wt, at reaction temperatures of 50°C, 60°C, 70°C. Processing of the data was done by response surface methodology (RSM) method, while the number of experiments was determined by central composite design (CCD). The resulted yield in this study were 62.30%-87.41%. Optimum yield was achieved at reaction with a temperature of 70°C, oil:methanol ratio of 1:11 and catalyst CaO 2%wt. Operational conditions which caused significant effects on the biodiesel yield were temperature, mole ratio of oil:methanol, and the interaction between temperature and mole ratio of oil:methanol. However, the concentration of CaO catalyst did not show a significant influence on the yield.

Keywords: biodiesel, CaO, off-grade palm oil, rsm, transesterification

1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan bahan bakar terbarukan yang berasal dari minyak nabati dan lemak hewani. Biodiesel bersifat ramah lingkungan karena mudah terurai (*biodegradable*), tidak beracun (*non-toxic*), dan menghasilkan gas buang berbahaya yang lebih sedikit dibandingkan diesel seperti sulfur dioksida (SO_2), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), hidrokarbon yang tidak terbakar, dan partikel karbon lainnya. Keuntungan biodiesel lainnya yaitu memiliki angka setana (*cetane number*) dan titik nyala (*flash point*) yang tinggi sehingga biodiesel mudah penanganannya, serta memiliki sifat pelumasan yang baik sehingga dapat memperpanjang umur mesin. Biodiesel dapat digunakan langsung tanpa perlu memodifikasi mesin yang ada (Boey dkk., 2011; Helwani dkk., 2009).

Peluang Indonesia untuk menjadi penghasil biodiesel berbahan baku minyak sawit sangat besar. Indonesia merupakan negara penghasil minyak sawit terbesar di dunia. (Indonesian palm oil association, 2013). Pembuatan biodiesel dari minyak sawit dirasa masih mahal. Sekitar 60-70% biaya produksi biodiesel berasal dari pembelian bahan baku sehingga perlu ditemukan bahan baku yang relatif lebih murah (Hayyan dkk., 2011; Helwani dkk., 2009). Penggunaan minyak sawit *off-grade* dapat mengurangi biaya produksi biodiesel sampai 30-40% (Arifin, 2009). Minyak sawit *off-grade* adalah minyak sawit yang memiliki bilangan asam lebih tinggi dari 5 %.

Pembuatan biodiesel selama ini lebih banyak menggunakan katalis homogen, seperti asam (H_2SO_4) dan basa (larutan NaOH atau KOH). Namun, penggunaan katalis tersebut memiliki kelemahan yaitu pemisahan katalis dari produknya cukup rumit. Selain itu, katalis homogen dapat bereaksi dengan asam lemak bebas (ALB) membentuk sabun sehingga akan mempersulit pemurnian, menurunkan *yield* biodiesel serta memperbanyak konsumsi katalis dalam reaksi metanolisis (Padil dkk., 2010). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan digunakan katalis heterogen seperti CaO untuk reaksi transesterifikasi dalam menghasilkan biodiesel. Penggunaan CaO sebagai katalis sangat menguntungkan karena ketersediaannya yang sangat melimpah. Katalis CaO dapat menurunkan harga produksi dan proses pemisahannya sangat mudah sehingga hasil ester dan gliserol yang didapat memiliki kualitas tinggi (Awaluddin dkk., 2009). Bahan baku pembuatan CaO juga sangat mudah didapat.

Katalis CaO dapat dibuat melalui proses kalsinasi CaCO_3 . Salah satu sumber CaCO_3 yang mudah diperoleh adalah dari kulit telur yang banyak dihasilkan dari limbah pengolahan makanan. Komposisi kimia (per berat) dari kulit telur telah dilaporkan sebagai berikut: kalsium karbonat (94%), magnesium karbonat (1%), kalsium fosfat (1%) dan bahan organik lainnya (4%). Kadar CaCO_3 yang tinggi dan terdapat dalam jumlah yang melimpah, sehingga dimungkinkan untuk membuat katalis heterogen aktif dari kulit telur (Wei dkk., 2009). Meskipun kulit telur merupakan bahan baku yang sangat potensial untuk menghasilkan katalis basa heterogen dalam pembuatan biodiesel, informasi mengenai cara pembuatan katalis kulit telur tersebut, karakteristik fisik dan kimianya, serta kinerjanya dalam pembuatan biodiesel masih sangat terbatas. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian penggunaan katalis heterogen CaO yang berasal dari kulit telur pada reaksi transesterifikasi sawit *off-grade* menjadi biodiesel.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah sawit *off-grade* yaitu sawit lewat matang dan busuk. Proses ekstraksi minyak sawit *off grade* dilakukan dengan menggunakan alat *spindle hydraulic press*. Sawit *off-grade* terlebih dahulu dicuci agar terbebas dari kotoran berupa pasir dan mahkota buah. Selanjutnya buah sebanyak 3 kg dikukus selama 120 menit. Setelah proses pengukusan selesai, buah di *press* menggunakan *spindle hydraulic press* dengan tekanan pengepress 30 bar. Hasil ekstraksi selanjutnya dimasukkan ke dalam corong pisah hingga terbentuk dua lapisan yaitu minyak dan air. Kemudian dianalisis untuk mengetahui kadar ALB dan kadar airnya (Nugroho, 2013).

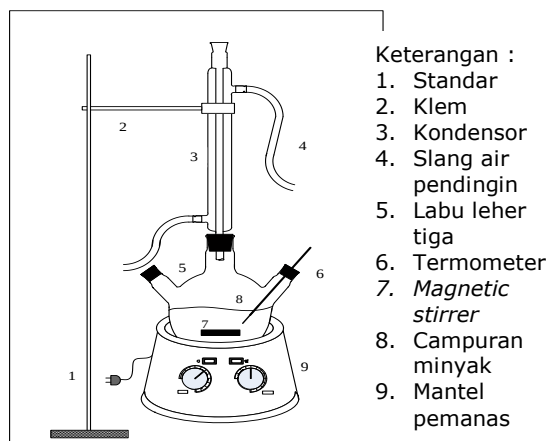
2.2. Proses Pembuatan Biodiesel dengan Reaksi Dua Tahap

Minyak sawit *off-grade* dan metanol direaksikan dengan bantuan katalis asam sulfat (H_2SO_4) sebagai katalis asam pada reaksi esterifikasi dan kalsium oksida (CaO) dari kalsinasi kulit telur sebagai katalis basa pada reaksi transesterifikasi. Rangkaian alat reaktor ditampilkan pada Gambar 1.

a. Esterifikasi

Minyak hasil ekstraksi buah sawit *off-grade* ditimbang sebanyak 100 gram dan

dimasukkan ke dalam reaktor esterifikasi. Proses dilakukan pada reaktor berpengaduk secara *batch* dan ditempatkan di atas pemanas untuk menjaga temperatur reaksi. Setelah temperatur reaksi 60°C, tambahkan pereaksi metanol dengan perbandingan mol minyak:metanol ialah 1:12 dan katalis H₂SO₄ dengan konsentrasi 1%-b. Kondensor dipasang, pengaduk mulai dijalankan dan di reaksikan hingga kadar ALB lebih kecil dari 2% (Budiawan dkk., 2013).



Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian (Budiawan dkk., 2013)

b. Pemisahan produk hasil esterifikasi

Filtrat hasil esterifikasi dimasukkan ke dalam corong pisah dan didiamkan selama 1 jam. Setelah 1 jam akan terbentuk dua lapisan yaitu lapisan atas berupa campuran H₂SO₄ dengan metanol sisa reaksi dan lapisan bawah berupa campuran metil ester dengan trigliserida. Kemudian dipisahkan dan lapisan bawah dilanjutkan ke tahap reaksi transesterifikasi. Sebelum dilanjutkan ke tahap reaksi transesterifikasi, lapisan bawah terlebih dahulu dianalisa kandungan asam lemak bebasnya (Budiawan dkk., 2013).

c. Transesterifikasi

Lapisan bawah hasil esterifikasi dengan kadar ALB lebih kecil 2% dimasukkan ke dalam reaktor transesterifikasi dan dipanaskan sampai suhu reaksi. Setelah suhu reaksi tercapai, ditambahkan campuran metanol dan katalis CaO sesuai dengan variabel penelitian. Endapan berupa katalis dipisahkan dari filtratnya. Filtrat yang didapat dilanjutkan ke proses pemisahan dan pemurnian biodiesel (Awaluddin dkk., 2009).

d. Pemisahan dan pemurnian biodiesel

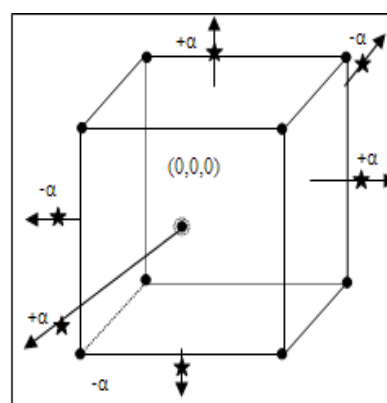
Filtrat dipisahkan dengan corong pisah hingga terbentuk dua lapisan. Lapisan atas yang

terdiri dari *crude* biodiesel dan metanol sisa reaksi dipisahkan dari lapisan bawah berupa gliserol. *Crude* biodiesel kemudian dimurnikan dengan cara dicuci dengan aquades hingga air pencuci jernih. Biodiesel dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 60 menit, kemudian dianalisis untuk mengetahui karakteristiknya (Budiawan dkk., 2013). Selanjutnya biodiesel ditimbang untuk menentukan *yield* biodiesel dan dihitung dengan persamaan 1 (Hayyan dkk., 2011).

$$Yield = \frac{\text{Berat biodiesel}}{\text{Berat bahan baku}} \times 100\% \quad (1)$$

2.5. Rancangan Penelitian dan Analisa Data

Pada proses pembuatan biodiesel dalam penelitian ini terdapat beberapa kondisi proses yang dijaga konstan dan kondisi proses yang berubah untuk mempelajari variasinya. Kondisi proses yang dijaga konstan yaitu berat minyak 100 gr dan kecepatan pengadukan 400 rpm. Kondisi proses reaksi esterifikasi meliputi waktu reaksi 1 jam, konsentrasi katalis 1%-b, perbandingan mol minyak:metanol 1:12 dan temperatur reaksi 60°C. Pada reaksi transesterifikasi waktu reaksi adalah 2 jam. Kondisi proses yang divariasikan adalah pada reaksi transesterifikasi yang meliputi konsentrasi katalis 2%-b, 4%-b, 6%-b, perbandingan mol minyak:metanol 1:7, 1:9, 1:11 dan temperatur reaksi 50°C, 60°C, dan 70°C.



Gambar 2. Sebaran Tempuhan Rancangan Percobaan (Montgomery, 1991).

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan *response surface methodology* (RSM). Jumlah tempuhan percobaan ditentukan dengan *central composite design* (CCD) yang terdiri dari *factorial design*, *star point* dan *central point*. *Factorial design* (n_f) didapat dengan persamaan 2^k faktorial, k merupakan jumlah variabel berubah. Pada penelitian ini terdapat tiga variabel berubah yaitu

temperatur reaksi (ξ_1), perbandingan mol minyak:metanol (ξ_2) dan konsentrasi katalis CaO (ξ_3), sehingga didapatkan n_f berjumlah delapan titik. Titik sebaran tempuhan rancangan percobaan CCD ditampilkan pada Gambar 2.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kadar Asam Lemak Bebas

Sawit *off-grade* diekstrak menggunakan *spindle hydraulic press* dan diperoleh 300 – 400 g minyak dari setiap ekstraksi. Hasil penentuan kadar ALB dan kadar air pada minyak sawit *off-grade* masing-masing adalah 16,18 dan 9,35 %. Minyak sawit *off-grade* memiliki kandungan ALB yang cukup tinggi yaitu sebesar 16,18%. Bahan baku dengan kandungan ALB yang tinggi tidak mudah terkonversi dengan reaksi transesterifikasi karena akan terjadi reaksi antara katalis basa dengan ALB membentuk sabun. Sabun yang terbentuk akan mempersulit proses pemisahan produk (Kouzu dkk., 2008). Awaluddin dkk., (2009) mengatakan bahwa kandungan air merupakan faktor yang lebih dominan bila dibandingkan dengan kandungan ALB minyak, karena air dapat mengakibatkan terjadinya hidrolisis dari minyak dan biodiesel menjadi ALB.

3.2. Konversi ALB pada Reaksi Esterifikasi

Minyak sawit *off-grade* memiliki kadar ALB yang cukup besar yaitu sebesar 16,18%. Oleh karena itu, diperlukan proses pendahuluan berupa reaksi esterifikasi untuk menurunkan kadar ALB. Reaksi esterifikasi pada suhu 60°C dengan perbandingan mol minyak:metanol 1:12 dan dipercepat dengan 1%-b katalis H_2SO_4 dapat menurunkan kadar ALB pada minyak sawit *off-grade* menjadi 0,6%. Sehingga 96,29% ALB pada minyak sawit *off-grade* telah terkonversi menjadi metil ester. Hasil ini lebih besar dari penelitian yang dilakukan (Budiawan dkk., 2013) yang hanya dapat mengkonversi 88% ALB pada minyak sawit *off-grade* menjadi metil ester pada suhu 60°C dengan perbandingan mol minyak:metanol 1:12 dan 1%-b katalis H_2SO_4 .

3.3. Yield Biodiesel

Yield yang dihasilkan berkisar antara 62,30% sampai 87,41%. *Yield* terbesar diperoleh pada temperatur 70°C dengan perbandingan mol minyak:metanol 1:11 dan berat katalis 2%-b. Perolehan ini lebih kecil dibandingkan dengan biodiesel dari *soybean oil* pada temperatur 65°C dengan perbandingan mol minyak:

metanol 1:9 dan 3%-b katalis CaO yang berasal dari kulit telur yaitu sebesar 95% (Wei dkk., 2009). Hal ini terjadi karena sawit *off-grade* yang digunakan masih memiliki ALB sebesar 0,6% sedangkan kadar ALB *soybean oil* sebesar lebih kecil dari 0,1%. Menurut (Kouzu dkk., 2008) penggunaan CaO sebagai katalis basa padat pada reaksi transesterifikasi dengan bahan baku yang memiliki kadar ALB tinggi menyebabkan terjadinya reaksi antara CaO dengan ALB sehingga konversi menjadi metil ester tidak sempurna. Kouzu dkk. (2008) telah membuat biodiesel dari *soybean oil* dan *waste cooking oil* dengan kondisi proses yang sama yaitu pada perbandingan mol minyak:metanol 1:12 dan katalis CaO 0,9%-b selama 1 jam reaksi. *Yield* yang dihasilkan menggunakan *waste cooking oil* dengan kadar ALB 2,6% sebesar 66%, sedangkan menggunakan *soybean oil* dengan kadar ALB lebih kecil dari 0,1% dapat menghasilkan *yield* biodiesel sebesar 93%.

3.4. Karakteristik Biodiesel

Biodiesel dengan densitas 858,12 kg/m³ dapat menghasilkan pembakaran yang sempurna. Biodiesel dengan densitas yang melebihi standar akan menyebabkan reaksi pembakaran tidak sempurna, sehingga dapat meningkatkan emisi dan keausan mesin (Budiawan dkk., 2013). Viskositas kinematik dengan nilai 2,35 mm²/detik dapat dikatakan biodiesel ini mampu menghasilkan kinerja injektor mesin diesel yang lebih baik (Padil dkk., 2010).

Bilangan asam dapat digunakan untuk mengetahui tingkat korosifitas biodiesel yang dihasilkan. Semakin kecil bilangan asam, biodiesel memiliki kualitas yang baik karena tingkat korosifitasnya juga akan semakin kecil (Kartika dan Yuyun, 2012). Angka asam yang dimiliki biodiesel yaitu 0,24 mg-KOH/g-biodiesel. Sementara itu, titik nyala biodiesel yang diperoleh sebesar 132°C. Hasil ini telah sesuai dengan standar yaitu lebih besar dari 100°C yang menandakan biodiesel aman dalam proses penyimpanan (Budiawan dkk., 2013). Biodiesel yang dihasilkan memenuhi spesifikasi standar mutu biodiesel Indonesia karena data yang dihasilkan berada pada rentang standar yang ditetapkan.

3.5. Analisis Model Yield Biodiesel

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan RSM, sedangkan jumlah tempuhan percobaan ditentukan dengan CCD. *Yield* biodiesel hasil penelitian yang disajikan pada Tabel 1, selanjutnya diolah dengan menggunakan program *design expert 8.0*.

Tabel 1. Hasil Percobaan pada Variasi Kondisi Proses

Standard Order	Run Order	Natural Variable			Yield (%)	
		ξ_1	ξ_2	ξ_2	Actual	Predicted
1	17	50	7	2	67,62	67,28
2	16	70	7	2	75,80	74,58
3	20	50	11	2	73,79	71,76
4	19	70	11	2	87,41	85,99
5	4	50	7	6	62,30	63,04
6	9	70	7	6	71,26	72,80
7	6	50	11	6	69,12	69,66
8	13	70	11	6	86,70	86,36
9	3	43	9	4	64,64	65,07
10	11	76	9	4	84,71	85,24
11	10	60	5	4	72,64	71,89
12	8	60	12	4	85,35	87,06
13	12	60	9	0,64	66,76	69,52
14	15	60	9	7	68,07	66,27
15	2	60	9	4	78,17	78,18
16	18	60	9	4	80,92	78,18
17	5	60	9	4	76,57	78,18
18	14	60	9	4	75,62	78,18
19	1	60	9	4	79,12	78,18
20	7	60	9	4	78,85	78,18

Tabel 2 Hasil Pengujian P-value dari Variabel Penelitian

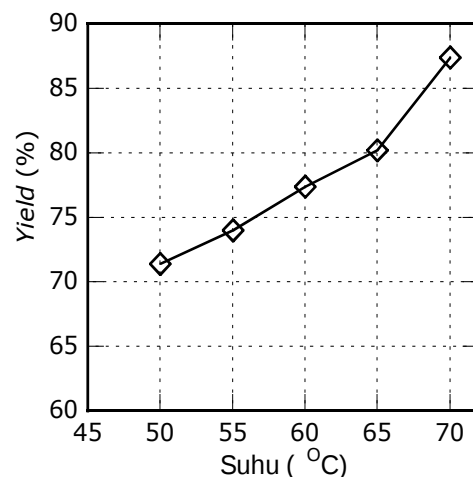
Sumber Varian	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan	Rata-rata Kuadrat	P-value
Model	1020,59	9	113,40	< 0,0001
X ₁	491,32	1	491,32	<0,0001
X ₂	277,81	1	277,81	<0,0001
X ₃	12,79	1	12,79	0,1214
X ₁ ²	16,47	1	16,47	0,0838
X ₂ ²	3,03	1	3,03	0,4295
X ₃ ²	190,50	1	190,50	<0,0001
X ₁ X ₂	24,08	1	24,08	0,0426
X ₁ X ₃	3,03	1	3,03	0,4296
X ₂ X ₃	2,31	1	2,31	0,4884
Residual	44,66	10	4,47	
total	1065,25	19		

Hasil pengolahan data diperoleh persamaan *polynomial* orde dua seperti ditampilkan pada Persamaan 1.

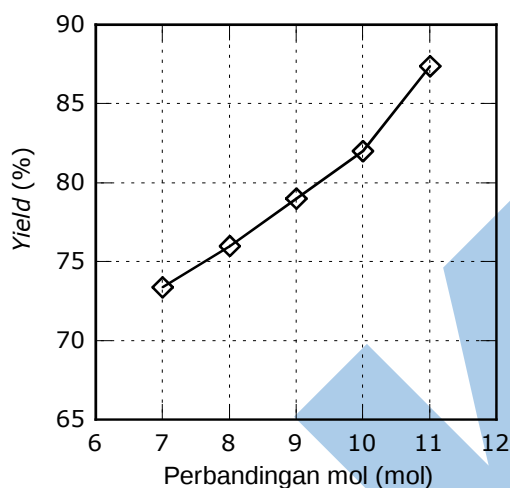
$$y = 78,18 + 6X_1 + 4,51X_2 - 0,97X_3 - 1,07X_1^2 + 0,46X_2^2 - 3,64X_3^2 + 1,73 X_1X_2 + 0,61X_1X_3 + 0,54X_2X_3 \quad (1)$$

Pengaruh variabel proses terhadap *yield* biodiesel dilihat berdasarkan koefisien pada persamaan 1. Variabel yang memiliki pengaruh besar terhadap *yield* biodiesel adalah temperatur reaksi dan perbandingan mol minyak:metanol, sedangkan konsentrasi katalis hanya memberikan pengaruh yang kecil terhadap *yield* biodiesel. Grafik hubungan antara variabel proses terhadap *yield* biodiesel ditampilkan pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5. Dapat dilihat bahwa temperatur dan perbandingan mol

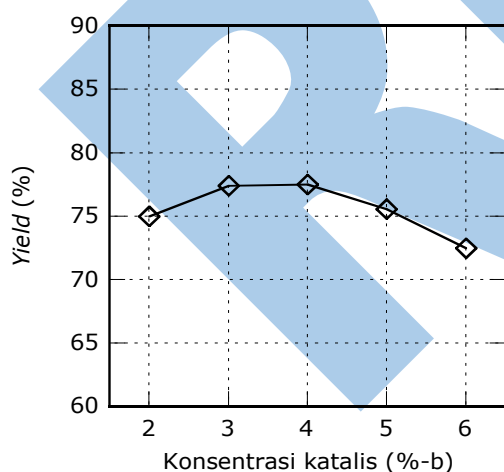
minyak:metanol berbanding lurus terhadap *yield* biodiesel.

**Gambar 3.** Hubungan suhu reaksi terhadap *yield* biodiesel

Yield terbesar diperoleh pada temperatur 70°C (Gambar 3) dengan perbandingan mol minyak: metanol 1:11 (Gambar 4) yaitu sebesar 87,41%. Hasil pengujian *P-value* dari variabel penelitian ditampilkan pada Tabel 2. Huaping dkk. (2006) telah mempelajari pengaruh suhu reaksi dan perbandingan mol minyak:metanol menggunakan katalis CaO super basa terhadap konversi biodiesel dari *jatropha curcas oil* (JCO). Konversi biodiesel terbesar diperoleh pada suhu 70°C dengan perbandingan mol minyak:metanol 1:12 yaitu sebesar 92,6%.



Gambar 4. Hubungan perbandingan mol minyak dan metanol terhadap *yield* biodiesel

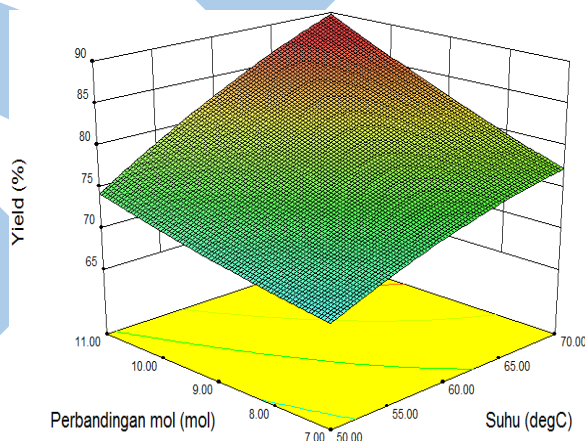


Gambar 5. Hubungan konsentrasi katalis terhadap *yield* biodiesel

Wei dkk. (2009) telah membuat biodiesel dari *soybean oil* pada temperatur 65°C, perbandingan mol minyak:metanol 1:9 dengan 3%-b katalis CaO dan diperoleh *yield* biodiesel sebesar 95%. Liu dkk. (2008) mengatakan penggunaan perbandingan mol minyak:metanol dalam jumlah berlebihan agar reaksi kesetimbangan berjalan ke arah kanan (produk). Sehingga penggunaan perbandingan mol minyak:metanol dapat

meningkatkan *yield* biodiesel. Setelah kesetimbangan tercapai maka penambahan metanol tidak akan meningkatkan *yield* biodiesel yang dihasilkan tetapi meningkatkan biaya produksi. Menurut Huaping dkk. (2006), penggunaan perbandingan mol minyak: metanol dalam jumlah berlebihan tidak menguntungkan karena membutuhkan energi yang lebih besar untuk memurnikan biodiesel dari metanol yang tidak bereaksi.

Pada Gambar 5 memperlihatkan penambahan konsentrasi katalis dapat meningkatkan *yield* biodiesel yang dihasilkan. Namun setelah tercapai kondisi maksimum, *yield* biodiesel yang dihasilkan semakin menurun. Hal ini terjadi karena biodiesel terserap ke dalam katalis sehingga *yield* biodiesel yang dihasilkan menurun (Huaping dkk., 2006). Wei dkk. (2009) mengatakan *yield* biodiesel meningkat ketika katalis ditambah hingga 3%-b, sedangkan ketika katalis digunakan dalam jumlah yang sedikit (<1%-b) *yield* biodiesel yang dihasilkan tidak besar. Namun penambahan katalis lebih dari 3%-b tidak memberikan peningkatan pada *yield* biodiesel.



Gambar 6. Pengaruh Suhu dan perbandingan mol minyak:metanol terhadap *yield* biodiesel

Hasil pengujian *P-value* menunjukkan bahwa interaksi antara temperatur dengan perbandingan mol minyak:metanol (X_1X_2) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *yield* biodiesel. Interaksi antara temperatur dan perbandingan mol minyak:metanol terhadap *yield* biodiesel disajikan pada Gambar 6. Penentuan titik optimum proses dilakukan dengan menentukan titik stationer. Titik optimum diperoleh pada temperatur 60°C dengan perbandingan mol minyak:metanol sebesar 1:9 dimana *yield* biodiesel prediksi sebesar 78% sedangkan *yield* biodiesel hasil penelitian berkisar antara 75,25% - 80,92%. *Yield* biodiesel tertinggi pada penelitian ini diperoleh pada temperatur 70°C dengan

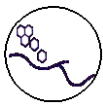
perbandingan mol minyak:metanol sebesar 1:11 dan katalis CaO 2%-b yaitu sebesar 87,41%. Namun, untuk memperoleh *yield* biodiesel sekitar 87% berdasarkan *contour plot* seharusnya pada kondisi proses dengan temperatur 60°C dengan perbandingan mol minyak:metanol sebesar 1:12.

4. Kesimpulan

Pembuatan biodiesel dari bahan baku ALB tinggi dapat dilakukan dengan proses dua tahap. Pada penelitian ini, reaksi esterifikasi dapat mengkonversi 96,29% ALB pada sawit *off-grade* menjadi metil ester. *Yield* biodiesel tertinggi diperoleh pada temperatur 70°C dengan rasio molar minyak:metanol 1:11 yaitu sebesar 87,41%. Kondisi proses yang memberikan pengaruh signifikan terhadap *yield* biodiesel adalah temperatur reaksi, perbandingan mol minyak:metanol, dan interaksi antara temperatur dengan perbandingan mol minyak:metanol, sedangkan konsentrasi katalis tidak memberikan pengaruh yang signifikan.

Daftar Pustaka

- Arifin, J.K. (2009) Pemanfaatan buah sawit sisa sortiran sebagai sumber bahan baku asam lemak, *Tesis*, Program S2 Teknik Kimia Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Awaluddin, A., Saryono, Nelvia, S., dan Wahyuni, W. (2009) Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi biodiesel dari minyak sawit mentah menggunakan katalis padat kalsium karbonat yang dipijarkan, *Jurnal Natur Indonesia*, 11(2), 129-134.
- Boey, P., Maniam, G.P., Hamid, S.A. (2011) Performance of calcium oxide as a heterogeneous catalyst in biodiesel production: A Review, *Chemical Engineering Journal*, 168, 15-22.
- Budiawan, Zulfansyah, R., Fatra, W., dan Helwani, Z. (2013) Off-grade palm oil as a renewable raw material for biodiesel production by two-step processes, *ChESA-7 Conference*, Januari, Banda Aceh, 40 – 50.
- Hayyan, A., Alam, Md. Z., Mirghani, M.E.S., Kabbashi, N.A., Hakimi, N.I.N.M., Siran, Y.M., Tahiruddin, S. (2011) Reduction of high content of free fatty acid in sludge palm oil via acid catalyst for biodiesel production, *Fuel Processing Technology*, 52, 920 – 924.
- Helwani, Z., Othman, M.R., Kim, J., Fernando, W.J.N. (2009) Solid heterogeneous catalyst for transesterification of triglycerides with methanol: A review, *Applied Catalysis A: General*, 363, 1 -10.
- Huaping, Z., Zongbin, W., Yuanxiong, C., Ping, Z., Shije, D., Xiaohua, L., Zongqiang, M. (2006) Preparation of biodiesel catalyzed by solid super base of calciumoxide and its refining process, *Chinese Journal of Catalysis*, 27(5), 391-396.
- Indonesian palm oil association (2013) Indonesian and oil palm plantations amid global environmental issues, GAPKI, Jakarta.
- Kartika, I.A., dan Yuyun P. (2012) Optimasi produksi biodiesel dari biji jarak pagar melalui transesterifikasi *in situ* menggunakan metode respon permukaan, *Agroindustri Indonesia*, 1(2), 68-74.
- Kouzu, M., Kasuno, T., Tajika, M., Sugimoto, Y., Yamanaka, S., Hidaka, J. (2008) Calcium oxide as a solid base catalyst for transesterification of soybean oil and its application to biodiesel production, *Fuel Processing Technology*, 87, 2798-2806.
- Liu, X., Ye, H., Wang, Y., Zhu, S., Piao, X. (2008) Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst, *Fuel*, 87, 216-221.
- Montgomery, D.C. (1991) *Design and Analysis of Experiments 3rd edition*, John Wiley and Sons Inc, Singapore.
- Nugroho, D.A. (2013) Ekstraksi sawit *off-grade* menggunakan metode *artisanal*, *Skripsi Sarjana*, Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau, Pekanbaru.
- Padil, Wahyuningsih, S., Awaluddin, A. (2010) Pembuatan biodiesel dari minyak kelapa melalui reaksi metanolisis menggunakan Katalis CaCO₃ yang dipijarkan, *Jurnal Natur Indonesia*, 13(1), 27-32.
- Wei, Z., Xu, C., dan Li, B. (2009) Application of waste eggshell as low-cost solid catalyst for biodiesel production, *Bioresource Technology*, 100, 2883-2885.



Pengaruh Penambahan Kaolin Terhadap Reduksi Logam Pb pada Proses Pembakaran Batubara

The Effect of Kaolin Addition on the Leads Reduction in Coal Combustion Process

Isdawani Is¹, Asri Gani^{2*}

¹ Dinas Kesehatan Pemerintah Aceh, Jl. Tgk. Syech Mudawali No.6 Banda Aceh

² Program Studi Magister Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala, Jl. Syech Abdurrauf No.7 Banda Aceh 23111

*E-mail: axgani@yahoo.com

Abstrak

Adsorpsi emisi pembakaran briket batubara dengan menggunakan adsorben kaolin telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh rasio adsorben terhadap performa penyerapan SO₂ dan logam berat plumbum (Pb). Kaolin dicampur dalam briket batubara dengan variasi massa 2, 4, 6, 8, dan 10%. Briket dibakar pada *electrically stainless steel reaction tube* pada kondisi temperatur pembakaran yaitu 600, 700, dan 800°C. Analisis kadar pb dilakukan dengan menggunakan *atomic absorbtion spectroscopy* (AAS) Perkin Elmer. Konsentrasi emisi SO₂ dalam gas buang dianalisis menggunakan industrial gas combustion and emission analyzer (E4400i). Hasil percobaan dan analisis menunjukkan, bahwa tingginya rasio adsorben dapat menurunkan *trend* emisi SO₂ yang dihasilkan. Pada emisi logam tingkat kejenuhan penyerapan oleh kaolin berada pada rasio adsorben 6%-10%. Kapasitas adsorpsi yang dihasilkan cenderung tinggi pada suhu pembakaran 600°C.

Kata kunci: Batubara, kaolin, kapasitas adsorpsi, Pb, SO₂

Abstract

The adsorption of coal briquettes combustion emission has been done by using kaolin as adsorbents. The objective of this research is to study the effect of adsorbent ratio on the adsorption performance of SO₄ and leads. Kaolin are blended into coal briquette with variation of mass of 2, 4, 6, 8, and 10%. Briquettes are burned in electrically stainless steel reaction tube with combustion temperature of 600, 700 and 800°C. The concentration of Pb was analyzed by using atomic absorption spectroscopy (AAS) Perkin Palmer. Emission levels of SO₂ in the flue gas was analyzed using industrial gas combustion and emission gas analyzer (E 4400i). The results indicate that the high ratio of adsorbent can reduce SO₂ emissions. While the saturation level of the Pb emission absorption by kaolin adsorbent ratio was at 6% -10%. Adsorption capacity was high on the combustion temperature of 600°C.

Keywords: Adsorption capacity, coal, kaolin, Pb, SO₂

1. Pendahuluan

Pemanfaatan batubara sebagai sumber energi menjadi pilihan yang paling diminati oleh para pengusaha di Indonesia karena ketersediaannya cukup melimpah dan nilai bakarnya yang tidak jauh berbeda dengan bahan bakar lainnya. (Putra dkk., 2011; Hadi dkk., 2012). Di sisi lain, bahan bakar batubara identik sebagai bahan bakar yang kotor dan tidak ramah lingkungan karena komposisinya yang terdiri dari C, H, O, N, S, dan abu yang tertahan di *bottom ash* serta *trace metal* yang terbang ke udara (*fly ash*). Kandungan C per mol batubara jauh lebih besar dibandingkan bahan bakar fosil lainnya, sehingga pengeluaran CO₂ dari batubara jauh lebih banyak. Kandungan S

dan N batubara bisa terlepas sebagai SO_x dan NO_x yang menyebabkan terjadinya hujan asam. Selain itu, *fly ash* dapat mencemari air tanah dengan kandungan didalamnya seperti arsenik, barium, berillium, boron, kadmium, kromium, thallium, selenium, molibdat, dan merkuri.

Hasil pembakaran batubara dari *bottom ash* mengandung alumina oksida (Al₂O₃), silika oksida (SiO₂), fero oksida (Fe₂O₃), kalsium oksida (CaO), magnesium oksida (MgO), fosfor trioksida (P₂O₅), sulfur trioksida (SO₃) titanium oksida (TiO₂), alkalin (Na₂O dan K₂O (Wilcox dkk., 2012). Haryati (2010), mengidentifikasi ruang lingkup dan besarnya efek samping logam-logam berat yang melayang di udara (*trace metal*) ketika

terlepas ke atmosfer. Karakteristik abu terbang (*fly ash*) yang dihasilkan dari pembakaran batubara sangat berbeda-beda, tergantung dari bahan induk, dan tipe kontrol emisi yang digunakan. Keberadaan SO_2 di udara dalam konsentrasi yang berlebihan dari ambang batas memberi efek berbahaya bagi kehidupan manusia dan lingkungan (Yao dan Naruse, 2010). Untuk mengatasi masalah ini pemerintah mengeluarkan peraturan yang ketat tentang perlunya kontrol polusi seperti CO_2 , NO_x , SO_x dan logam-logam berat (*heavy metal*) yang terbang ke udara

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan dapat mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh emisi pembakaran batubara dan *trace metal* melalui proses adsorpsi. Dengan proses adsorpsi diharapkan emisi dapat tertahan di *bottom ash* dan tidak ikut terbang ke udara. Adsorben kaolin dicampur ke dalam proses pembakaran briket batubara untuk mengikat senyawa Pb agar tidak terbang ke udara. Penelitian tentang kaolin sebagai adsorben bagi logam-logam berat telah dilakukan antara lain pada absorpsi Cu dan Ni dengan menggunakan kaolin dan bentonit (Liu dan Zhou, 2010).

2. Metodologi Penelitian

2.1. Pembuatan Briket Batubara

Batubara dihaluskan menggunakan *crusher* hingga ukuran partikel dihomogenkan hingga mencapai -60 mesh (*pan*) 1,25 in. Kaolin dicampur dalam briket batubara dengan variasi massa 2, 4, 6, 8, dan 10%. Dibuat campuran bahan briket untuk masing-masing variasi rasio perbandingan lalu dicetak menggunakan pencetak briket batubara, dimana tekanan yang digunakan untuk mencetak briket batubara menurut SNI 047, (2006) adalah dengan tekanan 10

ton/cm². Briket batubara dicetak membentuk silinder kecil seperti batangan.

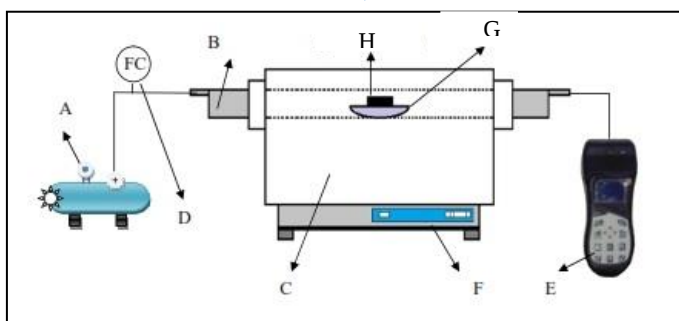
2.2. Pembakaran Batubara

Proses pembakaran diperlihatkan pada Gambar 1. Pembakaran dilakukan dengan menggunakan *tube furnace* selama 30 menit, pada temperatur 600°C, 700°C, dan 800°C, serta laju alir udara pembakaran sebesar 1,5 liter/menit. Analisa pelepasan SO_2 dilakukan selama pembakaran menggunakan gas analyzer *E-Instrument* dengan interval waktu 5 menit.

Batubara yang sudah menjadi briket dibakar di *furnace electric* 120, dilengkapi dengan *industrial gas combustion and emission analyzer* (E4400, E instrument). Alat ini berguna untuk menganalisis SO_2 yang terlepas melalui *outlet stainless steel furnace reaction tube* sejak awal pembakaran. Dengan demikian dapat diketahui banyaknya sulfur yang terlepas ke udara dengan mencatat kandungan emisi pada *emission analyzer* sesuai variabel waktu yang ditentukan.

2.3. Analisis Sampel Atomic Analyzer Spectrometer (AAS) 600

Dari 15 (Lima belas) sampel, masing masing sampel dibuat larutan induknya. Prinsip kerja pada *atomic analyzer spectrometer* (AAS) 600 yaitu dengan sistem kalibrasi larutan induk dengan larutan yang telah diencerkan karena alat ini sangat sensitif terhadap konsentrasi larutan sampel. Tujuan dari kalibrasi larutan induk dengan larutan hasil pengenceran tersebut adalah untuk kalibrasi sebelum dilakukan analisis dari masing-masing sampel sehingga kandungan sampel dapat dianalisa dalam jumlah *part per million* (ppm).



Keterangan:

- A. Compressor (Penyedia Udara)
- B. Stainless Steel Reaction Tube
- C. Electrically Furnace
- D. Flow Meter
- E. Industrial Gas Combustion Emission Analyzer (E4400)
- F. Set Time & Temperature Control
- G. Ceramics Boat
- H. Sampel Briket Batubara

Gambar 1. Skema alat penelitian (*Furnace electric* 120)

Digestion sampel yang dilarutkan dengan reagensinya masing-masing di multiwave 3000, dari hasil *digestion* didapat 15 (lima belas) sampel larutan untuk di analisa masing-masing kandungan logam Pb yang terkandung pada sampel tersebut.

2.4. Efisiensi Adsorpsi

Tinjauan performa dari adsorben kaolin dalam menyerap emisi logam pembakaran batubara dapat dilihat dari efisiensi penyerapan elemen logam berat. Efisiensi adsorpsi ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{Ca - Ca_0}{Ca} \times 100\% \quad (1)$$

η : Efisiensi adsorpsi (%)

Ca : konsentrasi setelah penambahan adsorben (ppm)

Ca_0 : konsentrasi tanpa adsorben (ppm)

2.5. Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi menggambarkan kemampuan penyerapan terhadap adsorbat pada tiap gram adsorben. Dimana nilai tersebut dapat menjadikan acuan penggunaan jumlah adsorben yang digunakan dalam skala besar. Dengan membandingkan nilai kapasitas adsorpsi dari tiap-tiap rasio adsorben yang digunakan maka akan di dapat kapasitas optimum pada rasio-rasio tertentu. Kapasitas adsorpsi ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{Ca - Ca_0}{M_{\text{adsorben}}} \quad (2)$$

Q : kapasitas adsorpsi

Ca : konsentrasi emisi setelah penambahan kaolin

Ca_0 : konsentrasi emisi tanpa penambahan adsorben

M_{adsorben} : adalah massa adsorben

Untuk melihat kemampuan adsorpsi tiap gram adsorben terhadap masing-masing variabel logam terhadap kapasitas penyerapan diperlukan agar dapat dilihat kapasitas optimum di antara *range* variabel rasio adsorben yang ada.

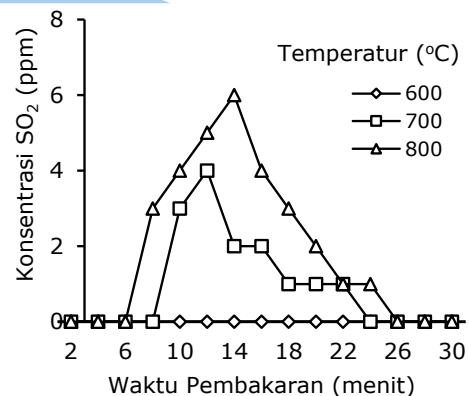
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh Waktu Pembakaran terhadap Kandungan SO₂

Fenomena yang terjadi pada proses pembakaran briket batubara cenderung

akan menghasilkan emisi seperti gas SO₂ dan yang lainnya pada saat awal-awal waktu pembakaran. Gas yang dihasilkan cenderung meningkat hingga pada kondisi maksimum dan diikuti penurunan hingga pada kondisi *steady*. Ini dikarenakan pada proses pembakaran batubara dimulai dengan teroksidasinya zat *volatile matter* yang termasuk didalamnya unsur sulfida yang mudah teroksidasi menghasilkan SO₂. Ketika *volatile matter* tersebut telah habis terbakar lalu diikuti dengan teroksidasinya *fixed carbon* dimana pada kondisi tersebut emisi SO₂ telah stabil.

Umumnya penyerapan SO₂ yang baik ditentukan dengan rasio Ca/S (Yao dan Naruse, 2010). Namun teori tersebut tidak dapat dilakukan pada penelitian ini karena kandungan kalsium pada kaolin yang terlalu kecil. Hal ini menunjukkan bahwa kaolin dengan kandungan kalsium sebesar 0,57% hanya mampu mereduksi sedikit emisi SO₂. Untuk penyerapan SO₂ yang baik, sebaiknya digunakan adsorben lain dengan kadar kalsium yang tinggi. Gambar 2 menunjukkan hubungan antara waktu pembakaran briket batubara terhadap emisi SO₂ yang dihasilkan.

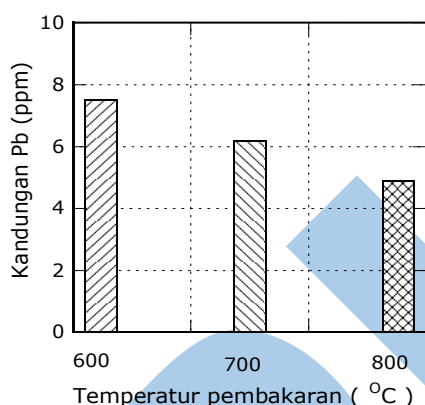


Gambar 2. Profil konsentrasi SO₂ pada berbagai waktu pembakaran

Pada Gambar 2 dapat dilihat kecenderungan emisi SO₂ yang dihasilkan meningkat pada 10 menit proses pembakaran berlangsung, dengan puncak emisi terjadi pada rentang waktu 10 sampai dengan 15. Hubungan antara kondisi pembakaran khususnya temperatur sangatlah berpengaruh pada emisi yang dihasilkan. Pada temperatur 800°C dapat dilihat emisi SO₂ yang dihasilkan berada pada titik tertinggi diikuti dengan temperatur 700°C dan 600°C. Hal ini berdasarkan persamaan Arrhenius, dimana semakin tinggi temperatur maka semakin besar nilai konstanta oksidasi sehingga kecepatan konversi S menjadi SO₂ semakin naik pula.

3.2. Pengaruh Temperatur Pembakaran

Pembakaran batubara akan menghasilkan *fly ash* dan *bottom ash* (Muchjidin, 2006). Kandungan logam-logam berat yang menguap pada proses pembakaran batubara akan tersuspensi pada *fly ash* dan sebagian tetap tinggal pada *bottom ash*. Diharapkan kandungan logam tersebut lebih cenderung terdapat pada *bottom ash* karena lebih mudah penanganannya dibandingkan bebas terbang ke atmosfer. Pada proses pembakaran briket batubara tanpa menggunakan adsorben menghasilkan kandungan Logam Pb pada *bottom ash* yang berbeda seiring dengan variasi temperatur pembakarannya seperti disajikan pada Gambar 3.



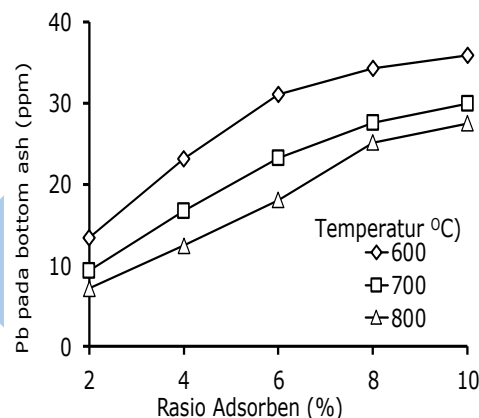
Gambar 3. Konsentrasi logam Pb pada *bottom ash* pada berbagai variasi temperatur pembakaran

Gambar 3 menunjukkan konsentrasi logam Pb yang tersisa pada *bottom ash* pada temperatur pembakaran yang berbeda. Konsentrasi logam Pb yang terdapat pada abu sisa di bawah 8 ppm, dimana kandungannya menurun seiring dengan meningkatnya temperatur pembakaran. Berdasarkan Gambar 3, dapat dinyatakan bahwa peningkatan temperatur pembakaran berbanding lurus dengan jumlah emisi logam yang dihasilkan (Xu dkk., 2003). Kandungan logam Pb pada batubara Aceh (sub-bituminus) relatif tinggi, yaitu sekitar 20,26 ppm/gram (Mahidin dkk., 2009). Logam Pb masuk ke dalam kelas *partially volatile* atau logam yang sebagian menguap (Huang dkk., 2003).

3.3. Pengaruh Adsorben Kaolin

Adsorpsi menggunakan kaolin pada briket batubara dapat mengurangi emisi yang dihasilkan seperti SO₂ dan logam-logam berat. Emisi dapat direduksi dengan cara mengikat emisi yang rentan terbawa oleh *fly*

ash agar cenderung menjadi *bottom ash* yang lebih mudah untuk dikendalikan. Berdasarkan hasil pembakaran briket batubara dengan adsorben kaolin pada berbagai rasio terdapat perbedaan warna secara visual pada *bottom ash*. Warna *bottom ash* cenderung didominasi oleh kaolin seiring dengan tingginya rasio adsorben.



Gambar 4. Hubungan rasio adsorben pada briket batubara terhadap Kandungan Logam Pb dalam *Bottom Ash*.

Gambar 4 memperlihatkan konsentrasi logam Pb yang terserap meningkat berbanding lurus dengan rasio massa adsorben yang digunakan. Penggunaan adsorben kaolin pada penyerapan Pb lebih cenderung efektif pada temperatur pembakaran 600°C dan 700°C. Dimana pada temperatur pembakaran 800°C konsentrasi logam Pb pada *bottom ash* sangatlah sedikit dibandingkan dua variabel temperatur yang lebih rendah. Ini menunjukkan efektifitas adsorben kaolin pada penyerapan Pb optimal pada kondisi operasi pembakaran 600°C dan 700°C. Pengaruh temperatur pembakaran yang tinggi membuat performa adsorben berkurang. Adapun pada temperatur 800°C – 1100°C merupakan titik aktivasi dari adsorben kaolin atau juga kaolin pada temperatur pembakaran 800°C cenderung rentan terjadi desorpsi (Liu dan Zhou, 2010). Hal tersebut terlihat jelas kondisi adsorben sendiri lebih cenderung berkurang kemampuannya pada temperatur 800°C.

Proses penyerapan Logam Pb yang dihasilkan dari pembakaran batubara sangat dipengaruhi oleh proses terbentuknya elemen-elemen yang saling berkaitan dengan elemen organik dan fraksi sulfida. Penambahan kaolin sebagai adsorben diharapkan dapat menciptakan gaya tarik-menarik antara logam berat dengan mineral melalui peristiwa adsorpsi fisik. Logam yang

semulanya tersuspensi pada abu terbang akan diikat oleh adsorben kaolin yang merupakan komponen mineral.

3.4. Efisiensi Adsorpsi Logam Pb

Tinjauan performa dari adsorben kaolin dalam menyerap emisi logam hasil pembakaran batubara dapat dilihat dari efisiensi penyerapan terhadap suatu unsur pada kondisi tertentu. Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa efisiensi penyerapan logam Pb cenderung meningkat seiring peningkatan rasio adsorben. Peningkatan temperatur pembakaran berbanding lurus dengan jumlah emisi logam yang dihasilkan, sehingga efisiensi penyerapan semakin menurun dengan beban adsorben dalam menyerap emisi semakin tinggi (Xu dkk., 2003).

Tabel 1. Efisiensi penyerapan logam berat Pb pada berbagai rasio adsorben

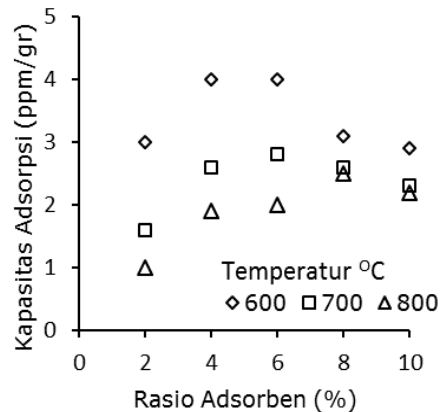
Rasio Adsorben (%)	Efisiensi Penyerapan (%)		
	600 °C	700°C	800°C
2	4	7	2
4	12	17	7
6	18	25	14
8	22	28	20
10	24	30	28

3.5. Kapasitas Adsorpsi Logam Pb oleh Kaolin

Kapasitas adsorpsi menjadikan acuan penggunaan jumlah adsorben yang akan digunakan dalam skala besar. Dengan membandingkan nilai kapasitas adsorpsi dari tiap-tiap rasio adsorben yang digunakan, maka akan didapat kapasitas optimum pada rasio-rasio tertentu. Massa adsorben sebagai penyerap yang mendekati optimum dalam banyak penelitian adalah berkisar 5% untuk adsorben batu kapur (Chen and Yao, 2010) dan 5% kaolin untuk pembakaran 1,5 λ (stoichiometric air ratio) serta 10% untuk kaolin berbasis kalsium dengan 1,2 λ (Liu and Zhou, 2010).

Pada Gambar 5 dapat dilihat garis kecenderungan kapasitas penyerapan untuk logam Pb pada temperatur 800°C terdapat jarak yang jauh dibandingkan dengan kedua variabel temperatur pembakaran lainnya, sehingga mengindikasikan kapasitas penyerapan yang rendah pada temperatur tersebut. Apabila nilai tersebut diratakan antara masing-masing *trend*, perbedaan kapasitas penyerapan adsorben dari masing-masing titik tidak terlalu jauh, sehingga hal ini menginformasikan bahwa kapasitas penyerapan logam Pb oleh kaolin

tidak terlalu berpengaruh terhadap rasio adsorben.



Gambar 6. Pengaruh rasio adsorben terhadap kapasitas penyerapan pada logam Pb

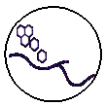
4. Kesimpulan

Emisi gas SO₂ yang dihasilkan cenderung meningkat pada awal-awal waktu pembakaran dimana pengaruh penggunaan kaolin sebagai adsorben untuk mengurangi peningkatan emisi SO₂ yang dihasilkan pada awal-awal pembakaran tersebut. Penyerapan logam berat dipengaruhi oleh partikel logam berat yang terperangkap di dalam matriks *fly ash* dan *bottom ash*, serta volatilitasnya. Pengaruh difusi logam Pb dalam penyerapan oleh adsorben menyebabkan efisiensi cenderung meningkat seiring dengan penambahan adsorben dengan sifat logam tersebut yang memiliki titik uap di atas variabel pembakaran. Pada suhu 800°C performa kaolin cenderung menurun dimana pada kondisi tersebut kaolin mulai jenuh.

Daftar Pustaka

- Chen, J., Yao, H. (2010) *Control of PM1 by kaolin or limestone during O₂/CO₂ pulverized coal combustion*, Wuhan, China.
- Haryati (2010) *Penelitian kesehatan lingkungan*, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Huang, Y., Jin, B., Zhong, Z., Xiao, R., Tang, Z., Ren, H. (2003) Trace elements (Mn, Cr, Pb, Se, Zn, Cd and Hg) in emissions from a pulverized coal boiler, *Fuel Processing Technology*, 86, 23– 32.
- Liu, Z. R., Zhou, S. Q. (2010) Adsorption of copper and nickel on Na-bentonite, *Process Safety and Environmental Protection*, 88, 62-66.

- Mahidin, Khairil, Adisalamun dan Gani, A. (2009) Karakteristik pembakaran batubara peringkat rendah, cangkang sawit dan campurannya dalam fluidized bed boiler, *Jurnal Reaktor*, 12 (4), 253-259.
- Muchjidin, M. (2006) *Pengembalian mutu dalam industri batubara*, Jilid 1 Edisi Pertama, ITB: Bandung.
- Xu, M., Yan, R., Zheng, C., Qiao, Y., Han, J., Sheng, C. (2003) Status of trace element emission in a coal combustion process: A review. *Fuel Processing Technology*, 85, 215- 237.
- Yao, H., Naruse, I. (2010) Control of trace metal emissions by sorbents during coal combustion, *Department of Ecological Engineering*, Toyohashi University of Technology, Japan.
- Wilcox, J., Rupp, E., Ying, S. C., Lim, D. H., Negreira, A. S., Kirchofe, A., Feng, F., Lee, K. (2012) Mercury adsorption and oxidation in coal combustion and gasification processes, *International Journal of Coal Geology*, 90-91, 4-20.
- Putra, S.M. (2012), Teknologi pemanfaatan batubara untuk menghasilkan batubara cair, pembangkit tenaga listrik, gas metana dan briket batubara, *Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3*, Palembang, 26-27 Oktober.
- Hadi, A.I., Refrizon, R., Susanti, E. (2012) Analisis kualitas batubara berdasarkan nilai HGI dengan standar ASTM, *Simetri*, 1 (D), 37-41.



Effectiveness of the Vertical Gas Ventilation Pipes for Promoting Waste Stabilization in Post-Closure Phase

Keefektifan Pipa Ventilasi Vertikal untuk Meningkatkan Stabilisasi Limbah pada Phase Penutupan Akhir

Yasumasa Tojo*, Natsuki Kishizawa, Toshihiko Matsuto, Takayuki Matsuo

Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Kita 13, Nishi 8, Kita-ku, Sapporo, Japan

*E-mail: tojo@eng.hokudai.ac.jp

Abstract

To make inside of the municipal solid waste (MSW) landfill aerobic as much as possible is thought to be preferable for promoting waste stabilization, reducing pollutant's load in leachate, minimizing greenhouse gas emission and shortening post-closure-care period. In Japan, installation of semi-aerobic landfill structure has widely spread in order to promote waste stabilization in MSW landfill from 1980s. In semi-aerobic landfill structure, outlet of main leachate collection pipe is opened to atmosphere. Heat generated by aerobic degradation of waste causes natural convection and natural aeration arises from the outlet of leachate collection pipe to the gas vents. It is so-called stack effect. This air flow is thought to be effective for purifying leachate flowing through drainage layer and leachate collection pipes. And it is also thought to be contributing to expanding aerobic region in waste layer in landfill. Recently, measures attempting the promotion of waste stabilization are taken at several landfills at where stabilization of waste delays, in which many vertical gas vents are newly installed and close structure to semi-aerobic landfill is created. However, in many cases, these gas vents are not connected to leachate collection pipes. Many vertical gas vents are just installed without scientific proof regarding whether they can contribute for waste stabilization. In this study, how such installation of gas vents is effective for waste stabilization and aerobization of waste layer was discussed by numerical analysis. In numerical analysis, heat transfer, gas movement by pressure, gas diffusion, biological degradation of organic matter, and heat generation by biodegradation were taken into account. Simulations were carried out by using the general purpose simulator of finite element method. Three types of landfill structure were assumed. As the results, the following information were obtained. In dig-down type landfill, installation of gas vents has no effect for changing air flow. On the other hand, in pile-up type landfill, installation of vertical gas vents can accelerate air invasion and significantly promote waste stabilization, if it has high permeable horizontal layer.

Keywords: gas ventilation pipe, natural convection, semi-aerobic landfill, waste stabilization

Abstrak

Pembuatan kondisi yang sangat aerobik dalam sistem penimbunan limbah padat domestik dilakukan dengan menciptakan stabilisasi limbah, mengurangi beban pencemaran lindi, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan memperpendek periode penutupan akhir. Di Jepang, pemasangan struktur penimbunan semi-aerobik sudah secara luas untuk memperkenalkan stabilisasi limbah pada proses penimbunan sejak tahun 1980-an. Pada struktur tersebut, keluaran pipa pengumpul lindi terbuka ke atmosfer. Panas yang dibangkitkan dari degradasi limbah menyebabkan konveksi alami dan aerasi alami timbul dari keluaran pipa pengumpul lindi menuju cerobong gas. Ini disebut pengaruh cerobong asap. Aliran udara dianggap efektif untuk memurnikan lindi yang mengalir melalui lapisan drainase dan pipa pengumpul lindi. Dan aliran ini juga memperluas kawasan aerobik dalam lapisan limbah pada landfill. Akhir-akhir ini, upaya memperkenalkan stabilisasi limbah dilakukan pada beberapa bangunan landfill yang stabilisasi limbahnya terlambat, dimana banyak cerobong gas vertikal baru dipasang dan struktur penutup mengarah ke *semi-aerobic landfill* diciptakan. Namun, dalam banyak kasus ventilasi gas ini tidak terhubung ke pipa pengumpul lindi. Banyak ventilasi gas vertikal dipasang tanpa bukti ilmiah apakah berkontribusi pada stabilisasi limbah. Kajian ini membahas instalasi cerobong gas efektif untuk stabilisasi limbah dan aerobisasi lapisan limbah dengan analisis numerik. Analisis mempertimbangkan perpindahan panas, gerakan gas karena tekanan, difusi gas, degradasi biologis zat organik, dan pembangkitan panas karena biodegradasi. Simulasi menggunakan simulator tujuan umum dengan metode elemen tak-terbatas. Tiga tipe struktur landfill diasumsikan. Hasilnya diperoleh bahwa pada landfill tipe *dig-down*, instalasi cerobong gas vertikal tidak berpengaruh terhadap perubahan laju alir udara. Pada landfill tipe *pile-up*, pemasangan cerobong gas vertikal mempercepat invasi udara dan secara signifikan menaikkan stabilisasi limbah jika cerobong memiliki lapisan horizontal yang sangat permeabel.

Kata kunci: pipa ventilasi gas, konveksi alami, penimbunan semiaerobik, stabilisasi limbah

1. Introduction

In Japan, installation of semi-aerobic landfill structure, which is generally called "FUKUOKA Method" (Hanashima, 1999, Matsufuji, 2004), has widely spread in order to promote waste stabilization in MSW landfill from 1980s because land reclamation is in particular important. In semi-aerobic landfill structure, outlet of main leachate collection pipe is opened to the atmosphere. This leachate collection pipe is designed to have relatively large diameter compared to ordinary system installed in anaerobic landfill and it is connected to vertical gas vents.

Almost a half of cross section of the leachate collection pipe is used for leachate to flow and the other half is used for air to flow. Air introduced from the outlet of leachate collection pipe flows towards the exits of each gas vents due to the heat generated by aerobic degradation of waste adjacent to the pipes. Driving force of this air flow is considered to be the natural convection caused by the difference between the temperature of the waste mass and the ambient temperature outside the landfill (Matsuto et al, 2015). It is so-called stack effect or buoyancy effect. This air flow is thought to be effective for purifying leachate flowing through drainage layer and leachate collection pipes. And it is also thought to be contributing to expand aerobic region in waste layer in landfill (Ishimori et al., 2011).

Advantages of this system are low installation cost and low operational cost compared to the forced aeration (Hrad et al, 2013; Ritzkowski et al, 2006; Ritzkowski and Stegmann, 2012; Raga and Cossu, 2014) because it doesn't require additional energy for aeration.

Figure 1 shows typical semi-aerobic landfill structure. Semi-aerobic structure requires temperature rise generated by aerobic reaction for introducing air inside. It is known that temperature of waste mass rises up to 70-80°C under aerobic degradation. Therefore, if the waste mass is dry, landfill fire is likely to be caused. So, this structure may not be suitable for arid or semi-arid region. However, it is especially suitable for the areas in tropical climate and actually installation of this structure to several landfills in Southeast Asian country showed success (Chong et al., 2005; Matsufuji and Tachifji, 2007). In the survey conducted by Kim et al. (2010), they identified upward gas velocity in many vents. However, they also identified existence of oxygen and nitrogen in deep part of the vents. So, they concluded that "Inflow of air into the gas vents can occur at a wide range of depths, even 10–20 m below ground level. Air is induced not from the surface of the landfill, but horizontally along the waste layer" and "passive gas vents can help to aerate landfilled waste as well as collect and release LFG".

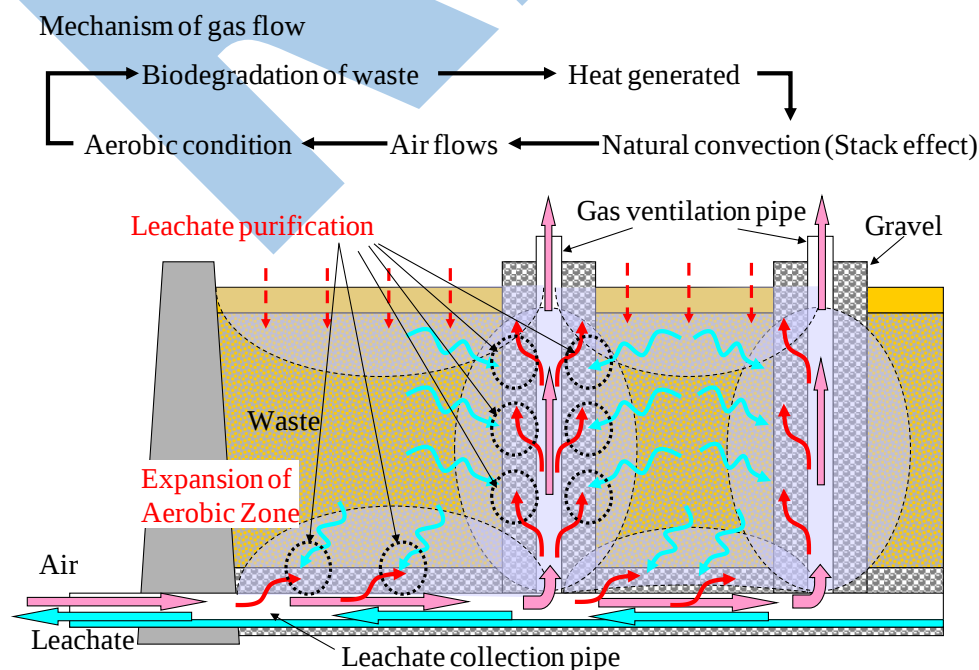


Figure 1. Schematic diagram of semi-aerobic landfill structure

In addition, from similar study, Yoshida (2010) reported that temperature of vents increased to 60°C even in winter and concluded that aerobic degradation of waste occurred around vents caused temperature increase and the aerobic condition was created by installation of vents. If just installing vertical gas vents simply can promote aeration, such methodology is regarded to be effective for landfill in which stabilization is delayed because the method is low-cost and low energy. But both studies mentioned above did not confirm practically two facts; from where did air enter? By what route did air flow? It is not clear whether simple installation of vertical gas vents contributes air induction or not. Furthermore, what air flow occur is not clear. So, in this study, how such installation of gas vents is effective for waste stabilization and aerobization of waste layer was discussed by numerical analysis.

First, as for natural convection in porous media caused by temperature increase, validity of theoretical formula was confirmed by conducting small scale experiment. Next, coupled model in which heat transfer, gas movement by pressure, gas diffusion, biological degradation of organic matter, and heat generation were taken into account was developed. Then, by using the model, how installation of vertical gas vents affect on the stabilization of waste in landfill was examined assuming three different landfill structures. So, temperature field with heat generation was created experimentally in order to confirm gas flow caused by natural convection. Then, numerical model that can simulate natural convection was developed and results of both experiment and numerical simulation were compared.

2. Methodology

2.1. Confirmation of natural convection by small-scale lab test

Experimental apparatus is indicated in Figure 2. Size of the rectangular parallelepiped that is made of acrylic is 30 cm of height, 30 cm of width, and 5 cm of depth. At the side of the box, many thermocouples were equipped at intervals of 5 cm to measure temperature. To exert the effect of natural convection more efficiently, steel shot and sand were used for filling material. In Table.1, specific weight, porosity, and intrinsic permeability of both materials are indicated. Steel shot

was filled with 5 cm height at the bottom then sand was filled over the steel shot.

At the right side of the box, steel shot was again filled vertically to imitate gas ventilation pipe. Ribbon heater (10 cm long and 4 cm wide) was placed directly above bottom steel shot layer. After filling of material was completed, temperature of heater was raised to 110°C and it was maintained until steady state was achieved. After temperature and gas flow reached at steady state, temperature of each thermocouple was measured and gas flux at the exit was measured.

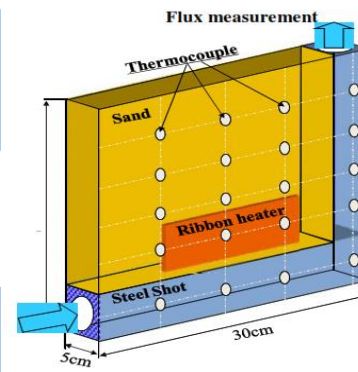


Figure 2. Experimental apparatus

Table 1. Basic characteristics of filling

Material	Intrinsic Permeability [m ²]	True density [Kg/m ³]	Void ratio [-]
Sand	4.47E-10	2604	0.4236
Steel shot	8.15E-09	7401	0.402

2.2. Modelling of Natural Convection

Mass balance equation under advection of gas can be expressed by equation (1).

$$\theta \frac{\partial \rho_g}{\partial t} + \nabla \cdot \left[\rho_g \cdot \left\{ -\frac{\kappa}{\eta} (\nabla p + \rho_g g \nabla D) \right\} \right] = R(1)$$

where; ρ_g is density of gas (kg·m⁻³), θ is porosity (-), κ is intrinsic permeability (m²), η is viscosity (kg·m⁻¹·s⁻¹), p is pressure (Pa=kg·m⁻¹·s⁻²), g is gravitational constant (m·s⁻²), D is height (m), R is source-sink term (kg·m⁻³·s⁻¹). Terms within brace indicate Darcy's velocity (u (m·s⁻¹)).

In above equation, density of gas (ρ_g) is calculated by equation of state. So, the

equation (1) is depending on temperature. Then, heat balance equation is as follows.

$$C_{eq} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (K_{eq} \nabla T - C_g \mathbf{u} T) + Q \quad (2)$$

Here; T is temperature (K), t is time (s), C_{eq} ($\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$) is effective specific heat, K_{eq} is effective thermal conductivity ($\text{J} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), Q is heat generation rate ($\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1} = \text{W}$). C_{eq} can be calculated from equation (3).

$$C_{eq} = \theta C_g + (1 - \theta) C_p \cdot \rho_p \quad (3)$$

Here; C_g ($\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$) is specific heat of gas and C_p ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) is that of porous media, ρ_p is true density of porous media ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$). Also, K_{eq} is calculated by using thermal conductivity of gas (K_g) and porous media (K_p).

$$K_{eq} = K_g^\theta K_p^{1-\theta} \quad (4)$$

By substituting temperature calculated by equation (2) for equation (5), density of gas (ρ_g) is calculated.

$$\rho_g = \frac{p \cdot M_{mix}}{T \cdot R_g} \quad (5)$$

Here, M_{mix} is molar weight of gas ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) and R_g is gas constant ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$). By coupling equation (1), (2) and (5), change of temperature produces change of gas density and this change creates driving force of gas movement. By this way, natural convection was modelled.

3. Results and Discussion

3.1. Temperature Distribution and Flow Vector

Calculated temperature distribution and flow vector are showed in Figure 3. In Figure 3, right side part is steel shot layer with high permeability which was set to imitate vertical gas vent. As indicated in the figure, strong air flow occurred in layer with high permeability if heat is generated in adjacent region. Therefore, if aerobic degradation that is generally exothermic reaction occurs in adjacent zone of pipe, it induces natural convection and air flow is produced. In figure 4, temperature distributions obtained by experiment and simulation respectively are indicated. Both temperature distributions show similar pattern. And gas flux at right

upper edge was 0.62 L/hour in experiment. Meanwhile, the flux calculated from the model was 0.79 L/hour. They were slightly different but we evaluated that developed model is able to express air flow caused by natural convection.

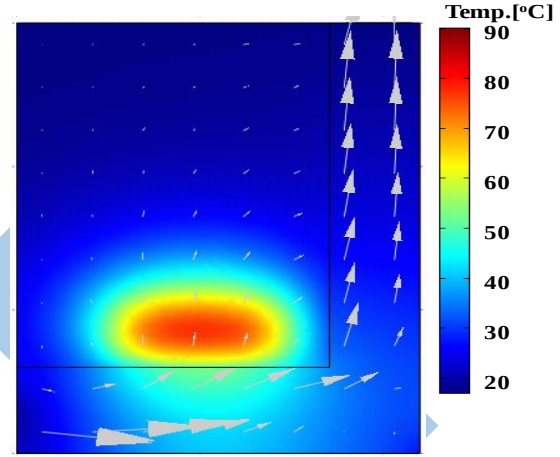


Figure 3. Calculated temperature distribution and flow vector

Experimental Result (temp. °C)					Calculation Result (temp. °C)				
20.8	21.6	23.0		19.7	17.6	17.9	18.2		19.0
22.5	24.3	28.5		21.8	19.0	20.3	20.7		21.3
23.9	32.8	44.5		26.9	23.2	29.5	30.3		24.7
28.5	62.9	91.2		35.0	30.2	63.1	66.6		29.0
26.8	46.4	66.0		33.0	27.7	45.2	49.1		32.1

Flow rate at exit = 0.62 L/hour

Flow rate at exit = 0.79 L/hour

Figure 4. Comparison of temperature distribution between experiment and calculation

It was confirmed that natural convection created by heat generation can be expressed by the developed model. However, the model is simplifying the phenomena by setting constant heat generation. In actual condition, microorganisms degrade organic matter then heat is generated. Furthermore, activity of microorganisms generates gas (such as CO_2 and CH_4) and also consumption of oxygen occurs under aerobic condition. These formation and consumption of gas create concentration gradient and it results in diffusion of gas. So, in order to express heat generation and consumption/generation of gas, advection-diffusion equation and biodegradation model for organic carbon were added.

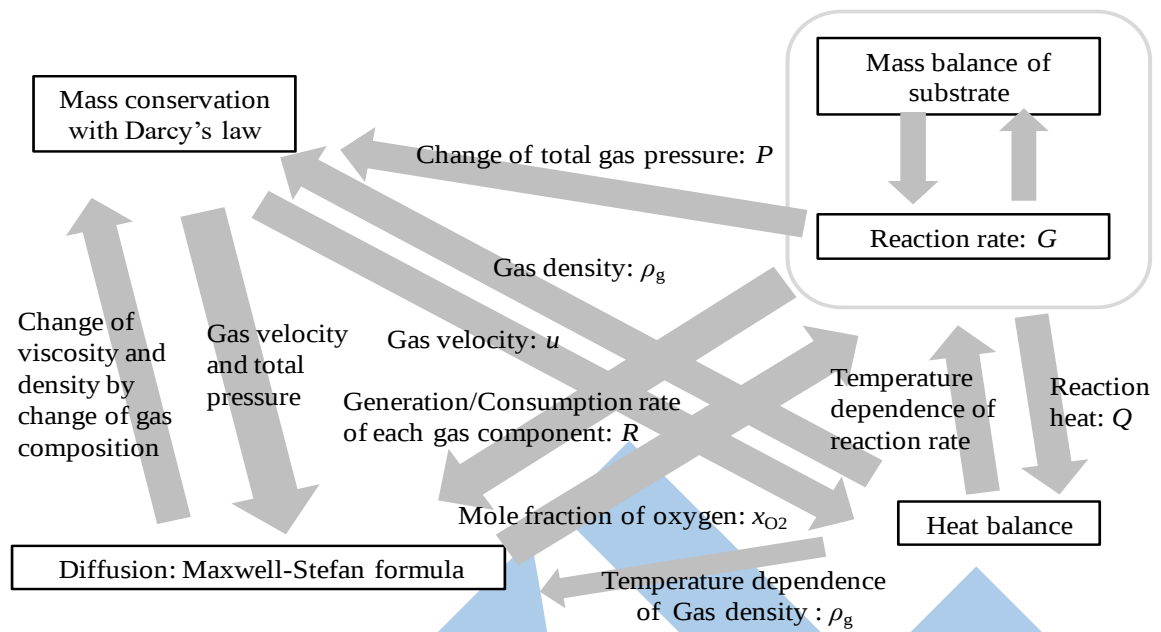


Figure 5. Interrelation among each equation

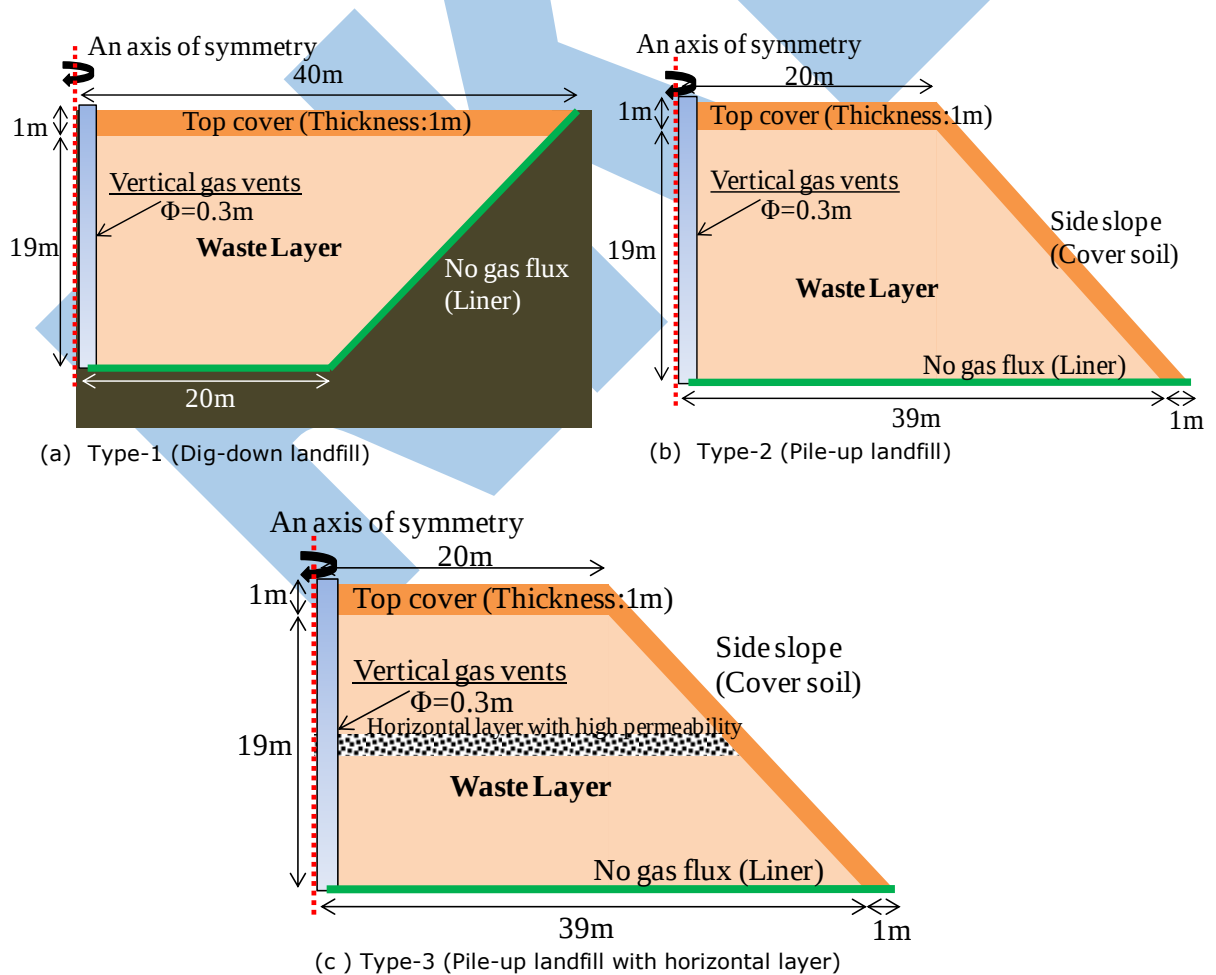


Figure 6 Simulated landfill structure

3.2. Development of Coupled Simulation Model

Advection-diffusion equation

In this study, advection-diffusion equation by Maxwell-Stefan is used because multi-component gas diffusion has to be considered. As for gas component, oxygen, carbon dioxide, and methane are taken into account. In addition, nitrogen was used as a balancing component. So, in total, four components are considered. For each gas component (i), the following Maxwell-Stefan equation can be formulated.

$$\theta \frac{\partial}{\partial t} \rho_g x_i = \nabla \left[\rho_g x_i \sum_{j=1}^4 D_{ij} \frac{\theta}{\xi} \nabla x_j - \mathbf{u} \rho_g x_i \right] + R_i \quad (6)$$

Here, x_i is mole fraction of gas i ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$), D_{ij} is molecular diffusion coefficient for component i and j ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), θ is porosity (-), ξ is tortuosity factor (-), R_i is source and sink term for component i ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$).

Formulation of biodegradation

Only two organic substrates were set such as easily-degradable organic matter and organic acid in the model. And four reactions are taken into account; aerobic biodegradation of easily-degradable organic matter (AeOm), aerobic degradation of organic acid that is formed under anaerobic condition (AeOa), acidogenesis of easily-degradable organic matter (AnOm), and methanogenesis of organic acid (AnMt). Mass balance equations of each organic substrate are as follows. To simplify the model, these organic substrates increase or decrease by only biodegradation and their transport by liquid was not incorporated.

$$\frac{dS_1}{dt} = (G_{S_1_AeOm} + G_{S_1_AnOm}) \quad (7)$$

$$\frac{dS_2}{dt} = (G_{S_2_AeOa} + G_{S_2_AnOm} + G_{S_2_AnMt}) \quad (8)$$

Here, S_1 is content of easily-biodegradable organic matter ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), S_2 is content of organic acid ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), $G_{S_1_x}$ is consumption rate of S_1 by reaction x ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$), $G_{S_2_x}$ is formation/consumption rate of S_2 by reaction x ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$). Then, the following three reaction rates are substituted for source-sink term (R_i) in Maxwell-Stefan equation.

$$R_{CH_4} = G_{CH_4_AnMt} \quad (9)$$

$$R_{O_2} = G_{O_2_AeOm} + G_{O_2_AeOa} \quad (10)$$

$$R_{CO_2} = G_{CO_2_AeOm} + G_{CO_2_AeOa} + G_{CO_2_AnMt} \quad (11)$$

In addition, by substituting sum of these three reaction rates for R in equation (1), coupling with advection is achieved.

3.3. Coupled Simulation Model

The model is created based on the following assumption; installation of vertical gas vent creates air flow and the induced air flow changes anaerobic condition in landfill to aerobic then aerobic degradation occurs. As the result, temperature distribution changes by reaction heat then air flow is further promoted. In order to simulate this scheme, equations for heat transfer, gas movement by pressure, gas diffusion, biological degradation of organic matter, and heat generation were coupled. Their inter-relations are indicated in Figure 5.

In the model, output of each equation is utilized by others mutually. Calculation was done by using The COMSOL Multiphysics engineering simulation software environment (COMSOL, Inc.) which is multi-purpose finite element model solver. These structures are indicated in Figure 6. The depth and width of landfill were set to 20 m and 40 m respectively. For each structure, two cases were considered; namely with or without installation of vent. In the case with gas vent, vent whose diameter is 30 cm was assumed to be installed at the left side of landfill. Since the simulated landfill structure is designed to be symmetrical about an axis of left edge, the vent is in actual located at the center of the landfill. As for Type-3 landfill, horizontal layer was set to have high permeability that was two orders of magnitude higher than waste layer.

3.4. Simulated Landfill Structure

Changes of gas flow and temperature and degradation of organic matter in landfill for 50 years after installation of vertical gas vent were simulated by using the developed coupled model. Simulated landfill was assumed to be a closed landfill in which much organic matter still remained. Three structures were assumed; dig-down landfill (Type-1), pile-up landfill (Type-2), and pile-up landfill with horizontal layer (Type-3). Figure 7 indicates transition of organic carbon in Type-1 landfill after 10, 30 and 50 years. Initial content of organic carbon was set to $7.8 \text{ kg} \cdot \text{C} \cdot \text{m}^{-3}$. Left column shows landfill without gas vents and right column

shows that with vents. Any significant difference cannot be found. Air gets in from only top surface, so organic carbon disappears gradually from top towards bottom in both cases. However, organic carbon still exists even after 50 years. Hence, even if vertical gas vent is installed, no specific flow change arises in the dig-down type landfill and it can be concluded that installation of gas vent does not have effect for acceleration of waste stabilization.

Figure 8 shows temperature distribution at 10, 30, 50 years in Type-2 landfill. Initially, temperature of entire landfill was set to 15°C. In pile-up landfill, air can get in from

both top and side slope. Induced air creates aerobic zone and the zone expands gradually into inside. So, temperature rise by aerobic reaction occur from side slope. Temperature reaches to approximately 50°C at area in which aerobic reaction is most active. Effect of air invasion is more prominent in the case with vent. And its high temperature area spreads wider than the case without vent. At 50 years, temperature of most of landfill body becomes steady (15°C) but its distribution is not so different in both cases with or without vent. In Type-3 which has high permeable horizontal layer, organic carbon disappears from not only top and side but also along with the horizontal layer.

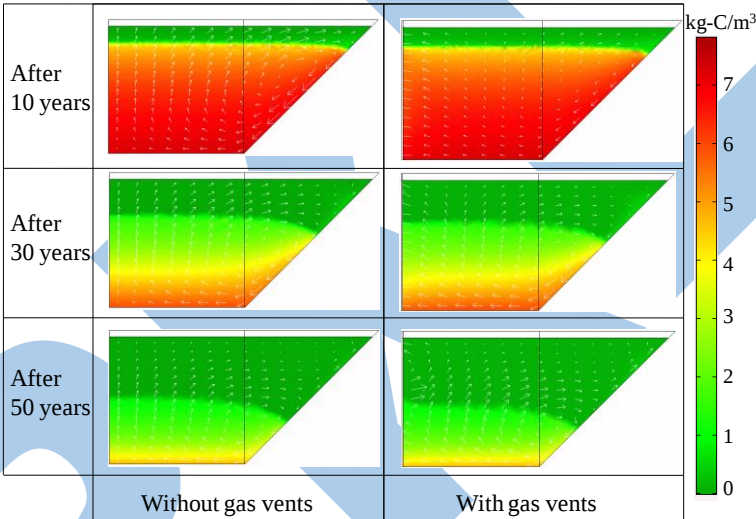


Figure 7.Transition of organic matter in Type-1 (Dig-down landfill)

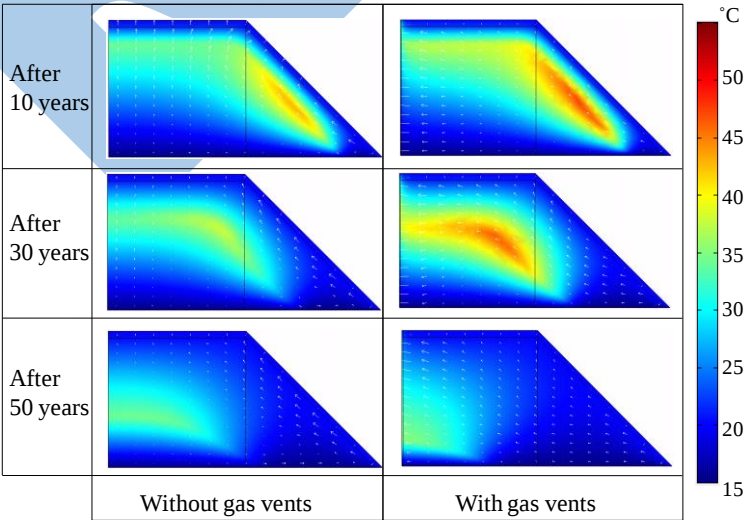


Figure 8. Change of temperature in Type-2 (Pile-up landfill)

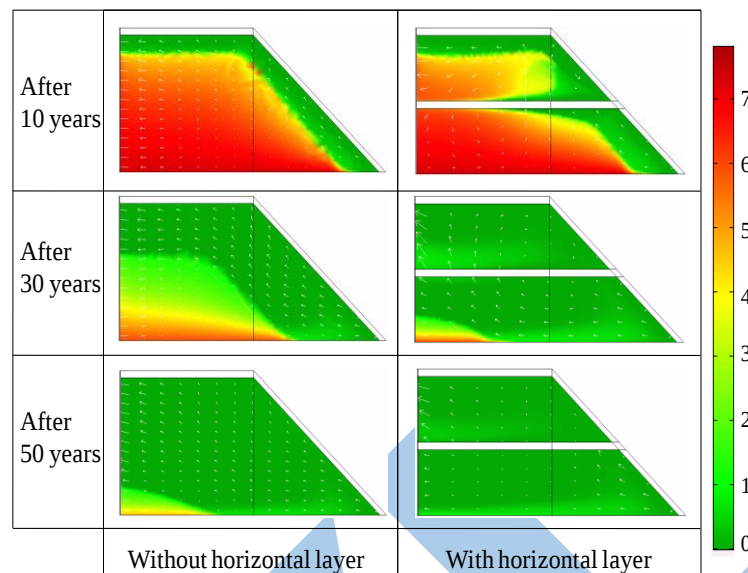


Figure 9. Change of organic matter in Type-2 and Type-3 with gas vents

Installation of gas vent leads to more drastic promotion of air induction if horizontal layer exists. This is because stack effect is produced more effectively with horizontal layer. The difference of organic carbon content is evident at 30 years when only a little organic carbon remains at the bottom central region in Type-3. And it is vanished completely at 50 years. From these results, it can be concluded that installation of gas vent becomes particularly effective when there is high permeable horizontal layer. So, creating such horizontal layer with coarse material before installation of gas vents is recommended when remediation countermeasure to promote stabilization of waste in landfill of high organic matter content is taken.

4. Conclusion

In this paper, waste stabilization in landfill construction was discussed. Heat transfer, gas movement by pressure, gas diffusion, biological degradation of organic matter, and heat generation by biodegradation were calculated by using coupled model for three landfill structures. The effect of gas vent was various depending on landfill structure. In dig-down landfill, installation of vertical vent has no effect. On the other hand, the effect was obvious in pile-up landfill. Especially, in pile-up landfill with high permeable horizontal layer, installation of gas vent changes gas flow drastically and induction of air is promoted. The induced air makes circumstance of landfill aerobic from

anaerobic and aerobic degradation of waste readily stabilizes organic carbon remaining in landfill. Therefore, it can be concluded that creating high permeable horizontal layer with coarse material before installation of vertical gas vents is recommended when remediation countermeasure to promote stabilization of waste in landfill of high organic matter content is taken. This measure is thought to be especially effective for landfills/open dumps under tropical climate at which remediation is required because rainy climates is favorable to maintain water content and to control excessive rise in heat.

References

- Chong, T. L., Matsufuji, Y., Hassan, Moh. N. (2005) Implementation of the semi-aerobic landfill system (Fukuoka method) in developing countries: A Malaysia cost analysis, *Waste Management*, 25, 702-711.
- Hanashima, M. (1999) Pollution control and stabilization process by semi-aerobic landfill type: the Fukuoka Method, *Proceedings of SARDINIA, 7th International Waste Management and Landfill Symposium*, 1, 313-326.
- Hrad, M., Gamperling, O., Huber-Humer, M. (2013) Comparison between lab- and full-scale applications of in situ aeration of an old landfill and assessment of long-term emission development after

- completion, *Waste Management*, 33, 2061–2073.
- Ishimori, H., Endo, K., Ishigaki, T., Sakanakura, H., Yamada, M. (2011) Coupled fluid flow and thermal and reactive transport in porous media for simulating waste stabilization phenomena in semi-aerobic landfill, *Proceedings of COMSOL Conference Worldwide*, Boston, USA.
- Kim, H., Yoshida, H., Matsuto, T., Tojo, Y., Matsuo, T. (2010) Air and landfill gas movement through passive gas vents installed in closed landfills, *Waste Management*, 30, 465–472.
- Matsufuji, Y. (2004) A Road to semi-aerobic landfill experience of semi-aerobic landfills in Japan and Malaysia, *The 3rd Intercontinental Landfill Research Symposium*, Hokkaido, Japan.
- Matsufuji, Y., Tachifuji, A. (2007) The history and status of semi-aerobic landfills in Japan and Malaysia. In: Stegmann, Ritzkowski (Eds.), *Landfill aeration*, IWWG Monograph, CISA Publisher.
- Matsuto, T., Zhang, X., Matsuo, T., Yamada, S. (2015) Onsite survey on the mechanism of passive aeration and air flow path in a semi-aerobic landfill, *Waste Management*, 36, 204–212.
- Raga, R., Cossu, R. (2014) Landfill aeration in the framework of a reclamation project in Northern Italy, *Waste Management*, 34, 683–691.
- Ritzkowski, M., Heyer, K. U. (2006) Stegmann, R., Fundamental processes and implications during in situ aeration of old landfills, *Waste Management*, 26, 356–372.
- Ritzkowski, M., Stegmann, R. (2012) Landfill aeration worldwide: concepts, indications and findings, *Waste Management*, 32, 1411–1419.
- Yoshida, H. (2010) Analysis of landfill gas temperatures and components in new passive gas extraction wells of a closed landfill, *Proceedings of the 5th Intercontinental Landfill Research Symposium*, Colorado, USA.



Sintesis Molibdenum Oksida Berpenyangga Silika sebagai Katalis pada Reaksi Oksidasi Etanol Menjadi Asetaldehida

Synthesis of Molibdenum Oxide with Silica Supported Catalyst for Oxidation of Ethanol to Acetaldehyde

Achyar Rasyidi¹, Fikri Hasfita^{2*}

¹World Vision Indonesia, Jl. Wahid Hasyim, Gedung 33, Jakarta Pusat

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Aceh Utara 24300, Indonesia

*E-mail: itaku_hf@yahoo.com

Abstrak

Oksidasi etanol membentuk asetaldehida dengan menggunakan katalis molibdenum oksida berpenyangga silika oksida telah dilakukan. Preparasi katalis dilakukan dengan metode impregnasi dengan rasio Mo : Si 1 : 1, 3 : 1, 6 : 1, 9 : 1. Karakterisasi katalis dilakukan menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD). Hasil identifikasi menunjukkan bahwa komponen katalis yang telah dibuat mengandung kristal MoO_3 dan SiO_2 . Uji kinerja katalis dilakukan terhadap reaksi oksidasi etanol menjadi asetaldehida. Reaksi oksidasi berlangsung dalam reaktor pipa lurus berunggun tetap yang beroperasi pada suhu 200°C, 225°C, 250°C, 275°C, 300°C, 325°C, dan 350°C pada tekanan atmosfer. Hasil uji kinerja menunjukkan bahwa konversi tertinggi diperoleh sebesar 91,99% pada temperatur 350°C menggunakan katalis dengan rasio Mo : Si = 9 : 1. Selektivitas tertinggi diperoleh sebesar 89,10% pada temperatur 200°C dengan rasio Mo : Si = 9 : 1. Yield tertinggi diperoleh sebesar 74,80% pada temperatur 350°C pada katalis dengan rasio Mo : Si = 9 : 1.

Kata kunci: asetaldehida, katalis $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$, oksidasi etanol

Abstract

Synthesize of molybdenum oxide with silica supported catalysts for oxidation of ethanol to acetaldehyde was done. The catalysts were prepared via impregnation method with Mo : Si ratio of 1 : 1, 3 : 1, 6 : 1 and 9 : 1. The synthesized catalysts were characterized with X-Ray Diffractometer (XRD). MoO_3 and SiO_2 were found in the resulted catalysts. Catalytic oxidation of ethanol to acetaldehyde was conducted in order to observe the performance of prepared catalysts. The reaction was carried out in the fixed bed tubular reactor at temperature of 200, 225, 250, 275, 300, 325, and 350°C in atmospheric pressure. The result showed that the highest conversion of 86.68% was achieved at temperature of 350°C in the catalyst with Mo : Si ratio of 3 : 1. The highest selectivity of 89.10% was attained at temperature of 200°C with Mo : Si ratio of 9 : 1. Furthermore, the highest yield of 74.80% was obtained at temperature of 350°C using catalyst with Mo : Si ratio of 9 : 1.

Keywords : acetaldehyde, catalyst $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$, oxidation of ethanol

1. Pendahuluan

Asetaldehida (CH_3CHO) merupakan komponen penting dalam banyak proses kimia. Asetaldehida pertama kali dibuat oleh Schleele pada tahun 1774 melalui proses reaksi mangan dioksida dan asam sulfur pada etanol. Produksi asetaldehida dari etanol melalui proses reaksi dehidrogenasi oksidatif dan oksidasi parsial alkohol menjadi senyawa-senyawa karbonil adalah salah satu reaksi terpenting dalam kimia sintesis. Dalam golongan aldehida, asetaldehida adalah senyawa yang memiliki reaktivitas yang paling tinggi, umumnya dimanfaatkan sebagai bahan baku intermediat dalam pembuatan bahan organik sintesis

(Antoniadou dkk., 2013). Bahan-bahan kimia yang merupakan hasil turunan asetaldehida antara lain: asam asetat, butil alkohol, butiraldehida, floral, piridin aseton, ester asetat, 1-butanol, selulosa asetat, resin finilasetan, 2-etil heksanol, asam kloroaseanat, dan pentaeritritol.

Sebagian besar asetaldehida digunakan sebagai bahan baku pembuatan pentaeritritol dan asam asetat. Kebutuhan asetaldehida terus meningkat setiap tahunnya. Karena asetaldehida merupakan komponen penting dalam banyak proses kimia, maka perlu diusahakan untuk mencari proses dan katalis yang lebih ekonomis dan kompetitif. Usaha-usaha untuk mendapatkan

proses dan mencari katalis pun terus dilakukan oleh para peneliti dunia. Berdasarkan kenyataan di atas maka perlu dilakukan studi mengenai pembuatan katalis $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ untuk digunakan dalam oksidasi etanol menjadi asetaldehida.

Secara konvensional asetaldehida diproduksi melalui jalur *ethylene*, menggunakan $\text{PdCl}_2\text{-CuCl}_2$ sebagai katalis. Akan tetapi dikarenakan menipisnya cadangan minyak bumi yang dipakai untuk menghasilkan *ethylene*, proses ini dianggap tidak lagi menjanjikan untuk diaplikasikan di masa depan (Tang dkk., 2015). Prosedur lain untuk menghasilkan asetaldehida telah diusulkan dengan dehidrogenasi alkohol secara katalitik dan oksidasi parsial etanol (Abdullahi dkk., 2014). Etanol umumnya digunakan sebagai bahan bakar, baik sebagai campuran dengan bensin atau sebagai etanol murni. Etanol juga bisa diubah menjadi berbagai macam produk kimia berharga lainnya (Guan dan Hensem, 2013).

Takei dkk. (2011) melakukan review tentang berbagai macam proses yang bisa diterapkan untuk mengubah etanol menjadi senyawa-senyawa kimia seperti asetaldehida dan asam asetat. Mereka menyimpulkan bahwa transformasi bioetanol menjadi asetaldehida lebih menguntungkan dari pada memanfaatkannya untuk produksi asam asetat. Oksidasi etanol untuk produksi asetaldehida dengan bantuan katalis heterogen lebih menguntungkan karena harganya murah dan prosesnya yang aman dibandingkan proses konvensional yang melibatkan bahan kimia berbahaya seperti krom dan permanganat (Redina dkk., 2015).

Katalis besi-molibdenum oksida (Fe/Mo/O) adalah salah satu oksida semikonduktif yang terkenal dengan sensitivitas terhadap gas yang tinggi, dan sifat termal serta stabilitas yang bagus telah mengesankan banyak peneliti (Zhang dkk., 2015). Zhang juga mengusulkan proses alternatif baru untuk menghasilkan asetaldehida melalui reaksi oksidasi etanol dengan udara menggunakan katalis MoO_3 dalam rentang temperatur 180 - 240°C. Mereka membuktikan bahwa MoO_3 dapat digunakan sebagai katalis proses oksidasi etanol menjadi asetaldehida. Mereka menyarankan penggunaan penyangga TiO_2 , Al_2O_3 , dan SiO_2 . Oleh karena itu, studi pembuatan katalis MoO_3 berpenyangga SiO_2 perlu dilakukan untuk mendapatkan katalis yang aktif dan selektif untuk oksidasi etanol menjadi asetaldehida. Debecker dkk. (2011) menyatakan bahwa cara termudah membuat katalis berbasis MoO_3 adalah

dengan impregnasi prekursor Mo pada penyangga yang diinginkan. Proses ini berdampak bagus pada properti dari produk akhir katalis, seperti morfologi, sifat, dan proporsi dari Mo Oksida.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan katalis MoO_3 berpenyangga SiO_2 dan mempelajari pengaruh temperatur terhadap konversi etanol dan selektivitas asetaldehida. Reaksi pembuatan asetaldehida dilakukan pada temperatur 200, 225, 250, 275, 300, 325, 350, dan 375°C.

2. Metodologi

2.1. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah ammonium hepta-molibdat $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ (Merck), silika oksida (SiO_2), etanol 99,8%, gas nitrogen (N_2) 99%, gas oksigen (O_2), dan aquades. Peralatan yang diperlukan untuk sintesis katalis meliputi timbangan digital, *magnetic stirrer*, cawan petri, *hot plate*, gelas ukur 100 ml, 250 ml, 500 ml, dan 1000 ml, kertas saring, dan oven. Untuk proses reaksi diperlukan reaktor gelas, *tube furnace* tipe 21100 *termolyne*, *termokopel* tipe K, *bubble soap flowmeter*, kondensor, dan pencatat gas tipe *Gascon GM-4A*.

2.2. Preparasi Katalis

Pembuatan katalis dilakukan dengan proses impregnasi garam *ammonium heptamolibdat* $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ pada penyangga SiO_2 , seperti yang dilaporkan sebelumnya (Husin dan Hasfita, 2006). Variasi perbandingan berat Mo : Si yaitu: 1 : 1, 3 : 1, 6 : 1 dan 9 : 1. Amonium heptamolibdat dan silika oksida masing-masing dilarutkan dalam air kemudian diaduk selama 2 jam. Kemudian keduanya dicampur sambil diaduk selama 4 jam. Campuran dikeringkan pada suhu 110°C dengan waktu pengeringan 4 jam, dan selanjutnya dikalsinasi pada suhu 400°C selama 6 jam dengan dialiri udara. Katalis yang terbentuk selanjutnya dikarakterisasi dengan mengidentifikasi fasa kristal yang terbentuk. Karakterisasi katalis dilakukan di Laboratorium XRD Jurusan Kimia Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

2.3. Uji Reaksi

Reaksi uji kinerja katalis dilangsungkan dalam reaktor pipa lurus berunggun tetap (*fixed bed tubular reactor*). Katalis dimasukkan ke dalam reaktor sebanyak 0,3

gram sebagai unggun tetap. Reaktor dipanaskan sampai suhu konstan 200°C. Udara dialirkan sebanyak 150 ml/menit melalui *bubble soap flow meter*. Campuran udara dan etanol diumpahkan ke dalam reaktor dengan variasi temperatur 200, 225, 250, 275, 300, 325, dan 350°C, serta tekanan atmosfer. Produk didinginkan dalam kondensor sehingga diperoleh produk cair.

2.4. Analisis Produk

Hasil keluaran reaktor yang berupa produk gas dan cair dianalisis dengan menggunakan *Gas Chromatograph GC-8A* buatan shimadzu untuk mendeteksi dan menentukan fraksi mol produk. Analisis ini menggunakan detektor jenis TCD (*Thermal Conductivity Detector*) dengan kolom Porapak Q. Luas puncak dapat dihitung dengan alat *Cromatopac C-R6B*. Analisis produk dilakukan dengan temperatur injektor 130°C dan temperatur kolom 100°C. Kromatografi dikalibrasi dengan larutan standar yang telah diketahui komposisinya.

3. Hasil dan Pembahasan

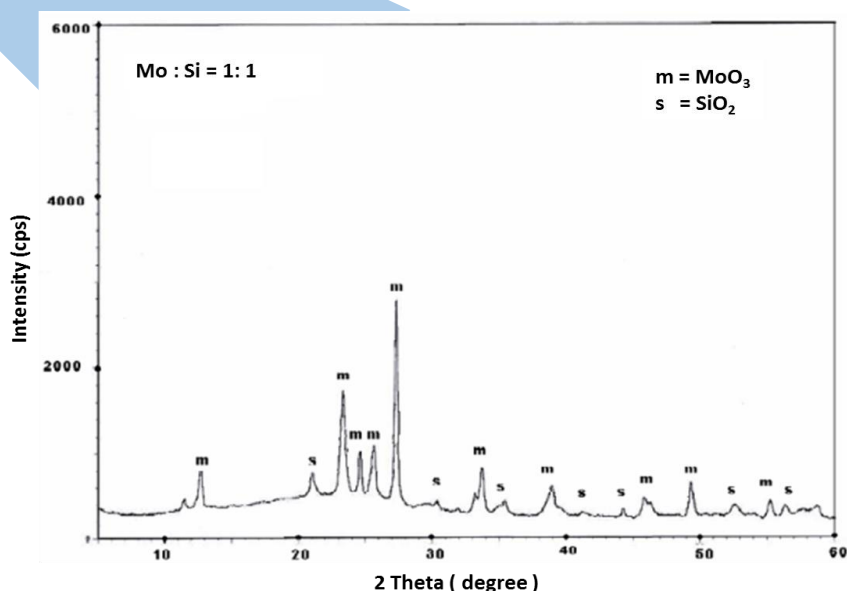
3.1. Identifikasi Katalis dengan X-ray Difraktometer (XRD)

Hasil karakterisasi sampel dengan perbandingan Mo : Si = 1 : 1 ditampilkan pada Gambar 1. Analisis data peak terhadap semua hasil pembacaan XRD ditabulasikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Grafik XRD yang diperoleh memiliki nilai 2θ dari 10° sampai

60° dengan ukuran *scanning step* 0,02°. Grafik XRD sampel dibaca dengan membandingkan nilai d dari masing-masing *peak difraktogram sample* dengan nilai d difraktogram senyawa standar. Analisis XRD dilakukan terhadap semua sampel dengan berbagai rasio Mo dan Si.

Gambar 1. menunjukkan bahwa komponen katalis terdiri dari MoO_3 dan SiO_2 . Terlihat bahwa tiga puncak utama karakteristik MoO_3 terdapat pada $2\theta = 23,44$; $2\theta = 25,79$ dan $2\theta = 27,42$ derajat. Sedangkan tiga puncak utama karakteristik SiO_2 terdapat pada $2\theta = 21,95$; $2\theta = 31,45$ dan $2\theta = 36,1$ derajat. Intensitas tertinggi MoO_3 pada katalis dengan rasio Mo : Si = 1 : 1 terdapat pada $2\theta = 27,42$ sebesar 2700 cps. Sedangkan intensitas tertinggi SiO_2 terdapat pada $2\theta = 21,95$ sebesar 790 cps. Puncak-puncak karakteristik MoO_3 terlihat lebih dominan karena memiliki intensitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan intensitas puncak-puncak SiO_2 .

Data difraktogram spektrum XRD katalis $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ dengan rasio Mo : Si = 3 : 1 memperlihatkan bahwa intensitas puncak-puncak karakteristik MoO_3 terjadi penurunan intensitas dibandingkan dengan sampel pada rasio Mo : Si = 1 : 1 (Tabel 1). Intensitas puncak-puncak karakteristik SiO_2 juga terjadi penurunan. Sebagai contoh, pada rasio katalis 1:1 pada $2\theta = 27,42$ intensitasnya 2700 cps, menurun menjadi 1750 cps pada katalis dengan rasio Mo : Si = 3:1.



Gambar 1. Difraktogram $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$, rasio Mo:Si = 1:1

Tabel 1. Puncak utama data hasil XRD senyawa MoO_3

No Puncak	Katalis Buatan							
	1 : 1		3 : 1		6 : 1		9 : 1	
	2θ (°)	Intensitas	2θ (°)	Intensitas	2θ (°)	Intensitas	2θ (°)	Intensitas
1	23,44	1700	23,44	800	23,44	2500	23,44	2600
2	25,79	1100	25,79	600	25,79	1750	25,79	1900
3	27,42	2700	27,42	1750	27,42	4500	27,42	4800

Tabel 2. Puncak utama data hasil XRD senyawa SiO_2

No Puncak	Katalis Buatan							
	1 : 1		3 : 1		6 : 1		9 : 1	
	2θ (°)	Intensitas	2θ (°)	Intensitas	2θ (°)	Intensitas	2θ (°)	Intensitas
1	21,95	790	21,95	200	21,95	690	21,95	800
2	31,45	489	31,45	180	31,45	600	31,45	500
3	36,10	500	36,10	197	36,10	505	36,10	600

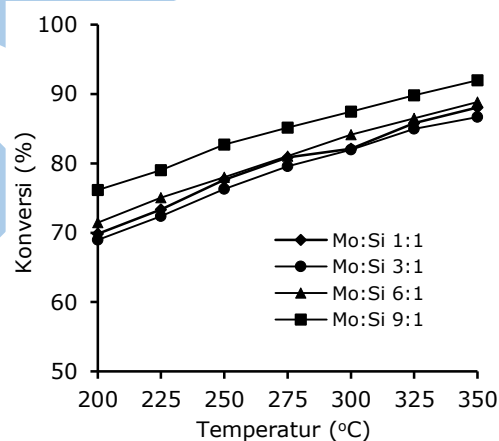
Intensitas pada $2\theta = 23,44$ derajat dari 1700 cps (katalis dengan rasio Mo : Si = 1 : 1) menurun menjadi 800 cps (katalis dengan rasio Mo : Si = 3 : 1). Intensitas SiO_2 juga terlihat menurun pada katalis dengan rasio Mo : Si = 3 : 1 dibandingkan katalis dengan rasio Mo : Si = 1 : 1. Sebagai contoh puncak SiO_2 pada katalis dengan rasio 1 : 1 yaitu $2\theta = 21,95$, intensitasnya 379 cps menurun menjadi 200 cps pada katalis dengan rasio Mo : Si = 3 : 1. Pada $2\theta = 36,1$ intensitas SiO_2 katalis dengan rasio Mo : Si = 1 : 1 500 cps menurun menjadi 197 cps; dan pada $2\theta = 31,45$ derajat intensitasnya 489 menurun menjadi 180 cps.

Perbandingan keempat difraktogram katalis $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ menunjukkan bahwa puncak karakteristik MoO_3 cenderung meningkat dengan bertambahnya rasio Mo : Si yang disebabkan adanya interaksi antara spesies molibdenum dengan permukaan silika seperti yang dilaporkan oleh Wang dkk., (2015), kecuali pada rasio Mo : Si = 3 : 1. Hal ini dapat dilihat pada data puncak utama hasil XRD senyawa MoO_3 yang ditabulasikan pada Tabel 1. Sedangkan puncak karakteristik SiO_2 terlihat intensitasnya cenderung stabil, kecuali pada rasio Mo : Si = 3 : 1 yang ditabulasikan pada Tabel 2. Pembuatan katalis berhasil dengan baik karena fasa aktif katalis yaitu MoO_3 terbentuk dengan baik.

3.2. Pengaruh Temperatur terhadap Konversi Etanol

Pengujian kinerja katalis dilakukan melalui reaksi oksidasi etanol menjadi asetaldehida.

Reaksi dilangsungkan pada temperatur 200, 225, 250, 275, 300, 325, dan 350°C. Katalis yang dibuat memiliki rasio Mo : Si = 1 : 1, 3 : 1, 6 : 1 dan 9 : 1. Kurva pengaruh temperatur reaksi terhadap konversi etanol ditampilkan pada Gambar 2.

**Gambar 2.** Hubungan temperatur terhadap konversi etanol

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa peningkatan temperatur reaksi menyebabkan naiknya konversi etanol. Konversi tertinggi diperoleh sebesar 91,99% pada temperatur 350°C menggunakan katalis $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ dengan rasio Mo : Si = 9 : 1. Kenaikan konversi ini sesuai dengan hukum Arrhenius yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur maka laju reaksi juga semakin tinggi. Reaksi dapat dipercepat dengan menaikkan temperatur reaksi (T), dan menaikkan konsentrasi (C_i). Konversi maksimum dapat dicapai dengan banyaknya kalor yang terlibat di dalam reaksi. Dengan

demikian laju reaksi sama dengan jumlah tumbukan setiap satuan waktu.

Pada Gambar 2 dapat dipahami bahwa puncak-puncak dari komponen katalis dengan rasio Mo : Si = 9 : 1 memiliki intensitas yang tinggi. Hal ini kemungkinan karena katalis $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ dengan rasio Mo : Si = 9 : 1 memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan katalis yang memiliki rasio Mo : Si = 1 : 1, 3 : 1, 6 : 1. Karakteristik yang lebih baik ini berkaitan dengan kenaikan rasio Mo : Si yang cenderung menaikkan derajat konversi. Fenomena ini terjadi karena pada saat pembuatan katalis dengan rasio Mo : Si = 9 : 1, konsentrasi Mo yang ditambahkan lebih tinggi, menyebabkan pori-pori penyangga Si akan lebih banyak terisi oleh fasa aktif Mo sehingga menyebabkan luas permukaan katalis menjadi lebih besar. Maka pada saat etanol bereaksi dengan oksigen, kemungkinan tumbukan antar reaktan di ujung reaktor juga menjadi lebih besar. Hal ini terjadi karena etanol dan oksigen di dalam ujung reaktor teradsorpsi lebih banyak pada fasa aktif katalis, sehingga reaksi kimia berjalan lebih cepat yang menyebabkan etanol yang terkonversi menjadi lebih besar pula.

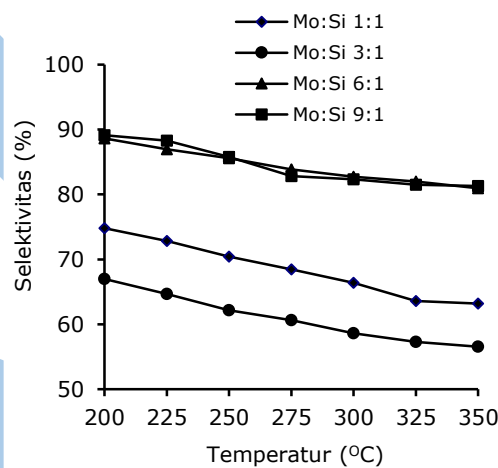
3.3. Selektivitas

Selektivitas asetaldehida pada berbagai temperatur reaksi diperlihatkan pada Gambar 3. Di sini tampak bahwa kenaikan temperatur reaksi menyebabkan selektivitas asetaldehida menurun. Selektivitas tertinggi diperoleh sebesar 89,10% pada temperatur 200°C menggunakan katalis $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ dengan rasio Mo : Si = 9 : 1 turun menjadi 81,30% pada temperatur 350°C. Penurunan selektivitas kemungkinan disebabkan karena pada temperatur yang lebih tinggi terjadi oksidasi lebih lanjut dari asetaldehida menjadi CO dan CH_4 . Hal ini sesuai dengan yang dilaporkan oleh Zhang dkk., (1995) bahwa pada temperatur tinggi akan terbentuk CO karena terjadi oksidasi lanjut menurut reaksi pada Persamaan 1.

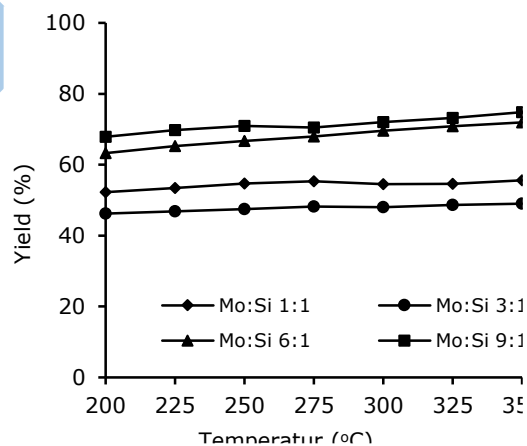


Kenaikan rasio Mo : Si cenderung menaikkan selektivitas asetaldehida. Hal ini dapat dilihat bahwa pada suhu 200°C penggunaan katalis dengan rasio Mo : Si = 1 : 1, 6 : 1, dan 9 : 1 memberikan selektivitas asetaldehida berturut-turut 74,78%; 88,58%; dan 89,10%. Fenomena ini disebabkan karena Mo sangat selektif terhadap pembentukan asetaldehida. Kecenderungan ini sesuai dengan yang

dilaporkan Husin dan Hasfita (2006) bahwa katalis molibdenum selektif terhadap produk asetaldehida. Penggunaan katalis dengan rasio Mo : Si = 3 : 1 terlihat mengalami penyimpangan dimana tidak menunjukkan kecenderungan seperti pada rasio Mo : Si = 1 : 1, 6 : 1, 9 : 1. Katalis dengan rasio Mo:Si=3:1 menunjukkan selektivitas asetaldehida yang lebih rendah. Kejadian ini kemungkinan karena pada katalis dengan rasio Mo : Si = 3 : 1, senyawa MoO_3 tidak teradsorpsi dengan merata pada penyangga, sehingga etanol di dalam ujung tidak teroksidasi dengan baik.



Gambar 3. Selektivitas asetaldehida didapatkan pada berbagai temperatur reaksi



Gambar 4. Hubungan temperatur terhadap yield asetaldehida

3.4. Pengaruh Temperatur Reaksi terhadap Yield Asetaldehida

Pengaruh temperatur terhadap *yield* asetaldehida dengan rasio perbandingan katalis Mo : Si = 1 : 1, 3 : 1, 6 : 1, dan 9 : 1, diperlihatkan pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa temperatur reaksi berpengaruh terhadap *yield* asetaldehida. Semakin tinggi temperatur reaksi

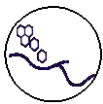
yield asetaldehida cenderung meningkat. Hal ini dikarenakan asetaldehida (Tang dkk., 2015) dan katalis MoO_3 (Zhang dkk., 2015) memiliki selektivitas yang besar terhadap temperatur. Kenaikan temperatur ini berperan penting dalam membantu proses dekarbonilasi etanol menjadi asetaldehida (Tang dkk., 2015). Yield tertinggi diperoleh sebesar 74,80% pada temperatur 350°C dengan rasio katalis Mo : Si = 9 : 1.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa, katalis MoO_3 berpenyangga silika dibuat dengan cara impregnasi. Karakterisasi XRD menunjukkan komponen katalis yang dibuat terdiri dari MoO_3 dan SiO_2 . Semakin tinggi rasio perbandingan katalis maka intensitas MoO_3 juga semakin tinggi. Kenaikan temperatur reaksi menyebabkan meningkatnya konversi etanol dan menyebabkan kenaikan yield asetaldehida tetapi menurunkan selektivitas asetaldehida. Kenaikan rasio katalis Mo : Si menyebabkan meningkatnya konversi etanol dan yield asetaldehida tetapi menurunkan selektivitas asetaldehida. Konversi etanol tertinggi adalah 91,99% yang diperoleh pada temperatur reaksi 350°C dan menggunakan katalis $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ dengan rasio 9 : 1. Selektivitas asetaldehida tertinggi adalah 89,10% yang diperoleh pada kondisi temperatur 200°C dan menggunakan katalis $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ dengan rasio 9 : 1. Yield asetaldehida tertinggi adalah 74,80% yang diperoleh pada temperatur 350°C dan menggunakan katalis $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ dengan rasio 9 : 1.

Referensi

- Abdullahi, I., Davis, T. J., Yun, D. M., Herrera, J. E. (2014) Partial oxidation of ethanol to acetaldehyde over surface-modified single-walled carbon nanotubes, *Applied Catalyst, A: General*, 469, 8 - 17.
- Antoniadou, M., Vaiano, V., Sannino, D., Lianos, P. (2013) Photocatalytic oxidation of ethanol using undoped and Ru-doped titania: Acetaldehyde, hydrogen or electricity generation, *Chemical Engineering Journal*, 224, 144 - 148.
- Debecker, D. P., Stoyanove, M., Rodemerck, U., Leonard, A., Su, B.L., Gaigneaux, E. M. (2011) Genesis of active and inactive species during the preparation of $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ metathesis catalyst via wet impregnation, *Catalys Today*, 169, 60 - 68.
- Guan, Y., Hensem, J.M.E. (2013) Selective oxidation of ethanol to acetaldehyde by Au-Ir catalyst, *Journal of Catalysis*, 305, 135 - 145.
- Husin, H., Hasfita, F. (2006) Studi oksidasi etanol menjadi asetaldehida menggunakan katalis molibdenum oksida berpenyangga Al_2O_3 , TiO_2 , dan SiO_2 , *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 5 (1), 8 - 16.
- Redina, A. E., Greish, A. A., Mishin, I. V., Kapustin, G. I., Tkachenko, O. P., Kirichenko, O. P., Kustov, M. L. (2015) Selective oxidation of ethanol to acetaldehyde over Au-Cu catalysts prepared by a redox method, *Catalyst Today*, 241, 246 - 254.
- Takei, T., Iguchi, N., Haruta, M. (2011) Synthesis of acetaldehyde, acetic acid, and others by the dehydrogenation and oxidation of ethanol, *Catalysis Surveys from Asia*, 15, 80-88.
- Tang, C., Zhai, Z., Li, X., Sun, L., Wei, B. (2015) Sustainable production of acetaldehyde from lactic acid over the magnesium aluminate spine, *Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineers*, xxx, x - xx.
- Wang, S., Zhang, Y., Chen, T., Wang, G. (2015) Preparation and catalytic property of $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$ for disproportionation of methyl phenyl carbonate, *Journal of Molecular Catalysis: A Chemical*, 398, 248 - 254.
- Zhang, H., Yao, G., Wang, L., Su, Y., Yang, W., Lin, Y. (2015) 3D Pt/MoO_3 nanocatalysts fabricated for effective electrocatalytic oxidation of alcohol, *Applied surface science*, 365, 294 - 300.



Pemanfaatan Limbah Pecahan Genteng sebagai Katalis dalam Reaksi Pirolisis Plastik Polipropilena Menjadi Bahan Bakar Alternatif

Utilization of Roof-tile Fragments as a Catalyst in Pyrolysis Reaction of Polypropylene Plastics into Alternative Fuels

Rahmat Jaya Eka Syahputra, Tri Utami, Khoirina Dwi Nugrahaningtyas*, Arikasuci Fitonnah Ridasepri, Widy Astuti

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret
Jl.Ir Sutami 36A, Surakarta 55281 Indonesia
*E-mail: khoirnadwi@yahoo.com

Abstrak

Artikel ini mendiskusikan karakterisasi pecahan genteng dan pemanfaatannya untuk memproduksi katalis. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik pecahan genteng dan kemudian melakukan modifikasi untuk pembuatan katalis. Katalis dibuat dengan pilarisasi nikel ke dalam pecahan genteng, dan dikarakterisasi menggunakan *x-ray diffractometer* (XRD). Pirolisis dilakukan terhadap limbah plastik polipropilena hingga diperoleh cairan minyak. Minyak *direforming* menggunakan katalis pecahan genteng terpilarisasi nikel. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa pecahan genteng mempunyai kandungan logam oksida berdasarkan standar Fe_2O_3 , NiO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 . *Refinement* dilakukan menggunakan program Rietica metode Le-Bail dan diperoleh hasil nilai keberterimaan $\text{Rp/Rwp} < 10$. Setiap 1,3 kg sampel limbah polipropilena diperoleh hasil minyak sebanyak 1,7 L. Hasil *reforming* menunjukkan bahwa densitas minyak sebesar $745,919 \text{ kg/m}^3$ dan viskositas 0,720 cp. Berdasarkan analisis GC-MS diperoleh fraksi pembentukan terbesar dari katalis pecahan genteng terpilarisasi nikel adalah fraksi C10 - C12. Sehingga, pecahan genteng yang terpilarisasi nikel efektif dijadikan sebagai katalisator dalam proses pirolisis untuk mengubah limbah plastik polipropilena menjadi bahan bakar.

Kata Kunci: katalis, pecahan genteng, *reforming*, XRD

Abstract

This article discusses the characterization of roof-tile fragments and its benefit to produce catalyst. The objective of this study was to determine the characteristic of the roof-tile fragment and its modification on the fabrication of catalyst. Catalyst was prepared by nickel pillarization into roof-tile fragments, and then characterized by *x-ray diffractometer* (XRD). The pyrolysis was carried out by heating up polypropylene plastics until the oil produced. The oil was reformed by using catalyst from roof-tile fragments nickel pillarized. The characterization results showed that the roof-tile fragment has metal oxide content as based on standard of Fe_2O_3 , NiO_2 , Al_2O_3 , and SiO_2 . Refinement was done by using Rietica program with Le-Bail method and the acceptance value obtained was $\text{Rp/Rwp} < 10$. 1.7 L oil was attained for every 1.3 kg polypropylene waste sample. The result of reforming informed that the generated oil has a density of 745.919 kg/m^3 and viscosity of 0.720 cp. GC-MS result confirmed that the biggest fraction formed in the reaction using catalyst from roof-tile fragments nickel pillarized was C10 - C11. Therefore, roof-tile fragments pillarized by nickel was useful for a catalyst in pyrolysis process to convert polypropylene plastic waste into fuel.

Keywords: catalyst, reforming, roof-tile fragments, XRD

1. Pendahuluan

Katalisator merupakan substansi yang mengubah laju suatu reaksi kimia tanpa mempengaruhi produk akhir reaksi. Katalisator akan mengalami penggabungan dengan senyawa kimia dan akan terbentuk suatu kompleks antara substansi tersebut dengan katalisator. Kompleks yang terbentuk hanya merupakan bentuk hasil antara yang akan terurai menjadi produk reaksi dan molekul

katalisator. Katalisator tidak mengalami perubahan pada akhir reaksi, karena itu tidak memberikan energi ke dalam sistem, tetapi akan memberikan mekanisme reaksi alternatif dengan energi pengaktifan yang lebih rendah dibandingkan dengan reaksi tanpa katalis, sehingga adanya katalis akan meningkatkan laju reaksi (Widjajanti, 2005).

Salah satu katalisator yang cukup baik adalah katalisator lempung (Ausavasukhi

dan Sooknoi, 2014). Lempung telah digunakan sebagai katalis untuk sejumlah reaksi organik dan anorganik dengan menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan asam klasik. Misalnya keasaman yang kuat, sifat tidak korosif, kondisi reaksi ringan, tinggi hasil, dan selektivitas serta kemudahan pengaturan dan bekerja maksimal (Navjet dan Dharma, 2012). Katalisator menggunakan lempung dianggap sebagai katalis yang ramah lingkungan atau *green catalyst*. Lempung digunakan karena sifatnya yang *ecofriendly* ini tidak beracun, tidak korosif, ekonomis, dan dapat didaur ulang. Sehingga sangat efisien digunakan untuk berbagai reaksi organik (Theng, 1974; Krstic dkk., 2002; Aznárez dkk., 2015).

Produk lempung sangatlah beragam sebagai produk industri bangunan dan rumah tangga misalnya saja produk genteng sokka, vas bunga, gerabah, dan sebagainya. Tetapi produk-produk tersebut merupakan bahan yang tidak dapat didaur ulang sehingga pemanfaatannya hanya sekali pakai dan menjadi limbah apabila pecah. Oleh karena itu, diperlukan pemanfaatan kembali limbah pecahan produk lempung menjadi produk yang lebih bermanfaat, salah satunya adalah sebagai katalis (Olutoye dan Hameed, 2013). Genteng sokka dan gerabah dibuat dengan campuran lempung alam yang mengalami penggilingan beberapa kali hingga bahan lebih padat dan butir-butir lempung liat menjadi lebih halus atau dengan kata lain pori-pori lempung semakin rapat, yang selanjutnya dicetak dan dibakar pada suhu tinggi. Kerapatan pori-pori lempung akan menekan terjadinya susut kering dalam proses pengeringan genteng atau gerabah sehingga akan memperkecil pula porositas dalam proses pembakaran dan susut bakar yang terjadi semakin kecil (Sanjaya, 2009). Porositas dapat diartikan sebagai fraksi ruang kosong di dalam padatan berpori yang terjadi akibat terbentuknya pori antar partikel dan pori di dalam partikel. Pori di dalam partikel terbentuk karena adanya bahan yang terlepas atau terurai pada saat pembakaran yang kemudian terisi oleh silika sebagai hasil dari proses pembakaran.

Karakteristik genteng dan gerabah ini sangat menarik untuk ditinjau lebih jauh. Pecahan genteng dan gerabah yang terbuang masih memiliki komponen yang sama dengan genteng utuh. Perbedaan dimungkinkan pada kandungan air yang terdapat dalam pecahan genteng yang dipengaruhi kondisi lingkungan. Berdasarkan karakteristik yang terbuat dari lempung inilah pecahan genteng

atau gerabah diprediksikan mampu menjadi katalisator yang baik. Dari beberapa katalis dalam reaksi kimia, lempung alam yang dimodifikasi telah menarik perhatian yang signifikan karena sifat sangat serba guna (Bhatt dan Halligudi, 1994). Modifikasi lempung dapat dilakukan dengan interkalasi logam pada struktur kristal lempung untuk meningkatkan selektivitasnya.

Pirolisis merupakan salah satu teknologi alternatif yang digunakan untuk mendapatkan sumber energi hidrokarbon. Teknologi ini adalah pembakaran tanpa melibatkan oksigen dalam proses pembakarannya (Lailunnazar dkk., 2013). Proses pirolisis sudah banyak dilakukan untuk melakukan dekomposisi termal dari suatu bahan yang diharapkan nantinya bisa menghasilkan suatu zat yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Pirolisis suatu bahan umumnya membutuhkan energi yang sangat tinggi. Menurut Nugraha dkk. (2013), variasi tekanan, temperatur dan komposisi bahan perlu dipertimbangkan untuk didapatkan hasil optimal. Proses pirolisis akan menghasilkan zat cair melalui reaksi kimia yang terjadi. Dalam proses pirolisis diperlukan usaha alternatif dalam menurunkan energi aktivasi reaksi kimianya yang biasa digunakan adalah menambahkan katalisator. Pirolisis yang dilakukan terhadap plastik jenis polipropilena akan menghasilkan fuel dari reformasi struktur dan sifat kimianya.

2. Metodologi

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pecahan genteng yang dikumpulkan dari Sentra Industri Genteng Desa Grogol, Kecamatan Weru kabupaten Sukoharjo. Berukuran 200 mesh. Digunakan nikel klorida (NiCl_2) sebagai paduan genteng menjadi katalis dan aquades. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mix mill, siever 200 mesh. Dalam pembuatan genteng *loading* Ni sebagai katalis digunakan peralatan gelas seperti gelas beaker, pengaduk, hot plate, magnetic stirrer, alat refluks, rotary evaporator, furnace dan XRD.

2.2. Loading Ni pada Paduan Genteng

Loading Ni dilakukan ke dalam partikel genteng. Partikel genteng telah mengalami pemanasan pada suhu tinggi dalam tungku pembakaran dihaluskan menggunakan *mix mill* dan diayak dengan *siever* 200 mesh. Sebanyak 8 gram sampel dilarutkan dalam larutan Ni 0,5 M, kemudian diimpregnasi

selama 3 jam pada suhu 30°C sambil diaduk terus menerus. Larutan yang telah jadi dikeringkan menggunakan *rotary evaporator* hingga kering. Sampel yang telah kering selanjutnya dikalsinasi pada suhu 550°C dengan aliran gas N_2 10 ml/menit selama 4 jam. Hasil pembuatan serbuk genteng *loading* Ni setelah dikalsinasi kemudian dilakukan analisis menggunakan XRD untuk mengetahui besarnya kandungan senyawa logam.

2.3. Analisis XRD

Analisis XRD dilakukan dengan menggunakan fasilitas peralatan XRD yang ada di Laboratorium Kimia FMIPA UGM dengan sudut baca 2θ dari 3° hingga 90° . Analisis XRD ini dilakukan terhadap sampel genteng mentah, genteng jadi, dan genteng katalis atau genteng *loading* Ni. Hasil XRD dianalisis kandungan senyawa logam oksida menggunakan standar Fe_2O_3 pada data ICSD 154191 *space group* R3-CR, NiO_2 pada data ICSD 88720 *space group* C12/M1, Al_2O_3 pada data ICSD 173014 *space group* P1 dan SiO_2 pada data ICSD 156198 *space group* P3221. Selanjutnya difraktogram sampel di *refinement* dengan metode *Le Bail* untuk mendapatkan nilai R_p dan R_{wp} .

2.4. Pirolisis Plastik Polipropilen untuk Menghasilkan Minyak

Pirolisis sampah plastik polipropilena dilakukan dengan mempersiapkan sampel berupa sampah plastik seberat 1,3 kg berasal dari gelas air minum dalam kemasan. Sampah plastik ini dipotong-potong kecil untuk memperluas permukaan sehingga lebih mudah dilakukan pembakaran dalam reaktor. Plastik yang telah dipotong kemudian dimasukkan ke dalam sistem reaktor. Sistem reaktor yang digunakan merupakan alat sederhana yang dikom-binasikan dengan proses destilasi menggunakan air es untuk mendinginkan sampel.

Pirolisis dilakukan terhadap limbah plastic polipropilena yang dipanaskan pada suhu tinggi kemudian di kondensasi hingga diperoleh cairan minyak. Pemanasan dilakukan pada suhu 450°C tanpa adanya proses pengadukan. Uap air yang terkondensasi akan menjadi minyak plastik yang kemudian ditampung. Minyak kemudian di-*reforming* menggunakan katalis pecahan genteng ter-pilarisasi nikel yang telah dibuat pada bagian awal penelitian ini. Proses *reforming* dilakukan dengan penguapan sampel minyak pada suhu 400°C yang kemudian uap ditangkap oleh katalis dan dikondensasi kembali.

2.5 Analisis Kandungan Minyak GC-MS

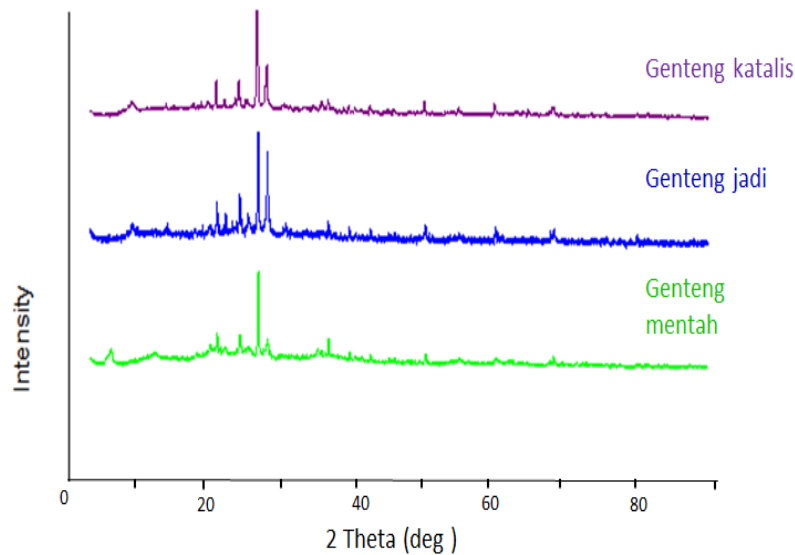
Analisis Kandungan minyak dilakukan berdasarkan analisis karakterisasi sifat minyak seperti densitas dan viskositas. Sementara untuk karakterisasi sifat kimia dilakukan analisis menggunakan GC-MS. Analisis GC-MS dilakukan dengan menggunakan *Gas Chromatography* dan *Mass Spectrofotometry* di Laboratorium Kimia Organik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Hasil analisis kemudian disesuaikan dengan literatur Wiley 229LIB.

3. Hasil dan Pembahasan

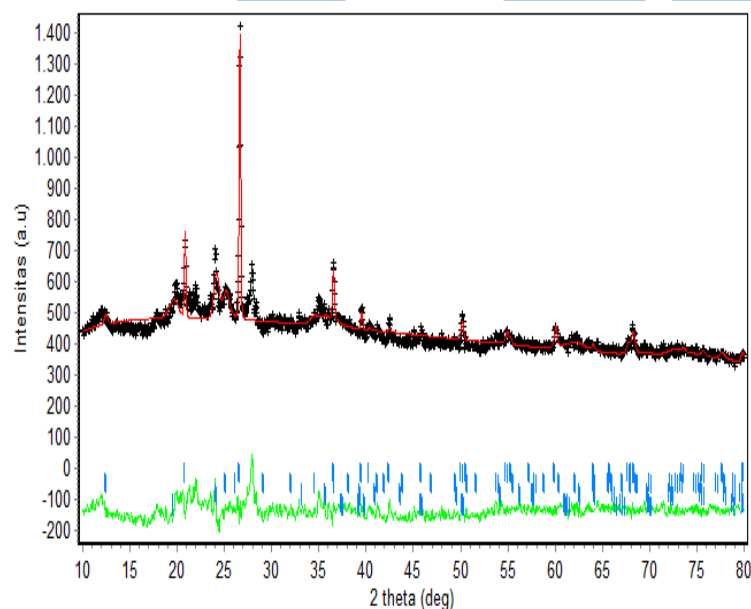
3.1. Hasil Pembacaan Sampel XRD

Hasil analisis data XRD terhadap semua sampel genteng diperlihatkan pada Gambar 1. Berdasarkan uji karakterisasi yang dilakukan dapat diketahui kandungan logam penyusun dalam sampel. Gambar 1 merupakan difraktogram analisis XRD genteng mentah atau genteng sebelum dilakukan pemanasan, genteng jadi atau genteng setelah dilakukan pemanasan dan genteng dengan *loading* Ni. Dari hasil difraktogram (Gambar 1), genteng mentah mempunyai puncak identik pada posisi 2θ ($26,6814^\circ$; $20,8458^\circ$, dan $27,9136^\circ$). Genteng jadi merupakan genteng yang telah dibakar pada suhu tinggi di dalam tungku pembakaran.

Berdasarkan hasil difraktogram menggunakan XRD, didapatkan hasil difraktogram genteng tidak mengalami pergeseran signifikan melainkan mengalami penurunan intensitas pada beberapa puncak dibandingkan dengan genteng mentah. Hal ini terlihat pada hasil XRD dimana intensitas puncak pada posisi $2\theta = 20,8458^\circ$ menurun dan terdapat puncak tinggi pada posisi $24,0060^\circ$. Karakterisasi ini memperlihatkan bahwa pemanasan pada suhu tinggi dalam pembentukan genteng, tidak banyak merusak struktur kristal genteng. Sementara itu, difraktogram genteng *loading* Ni menunjukkan adanya pergeseran pada puncak tertinggi dimana genteng *loading* Ni berada pada puncak $26,5068^\circ$; $27,8216^\circ$; dan $20,7116^\circ$. Puncak tertinggi yang dihasilkan berbeda dengan genteng mentah, tetapi puncak-puncak tersebut masih dalam *range* prekursor genteng yaitu lempung merah dan lempung putih. Sementara *loading* Ni, memberikan pengaruh pada perubahan intensitas dan peningkatan nilai *basal spacing* setiap puncak yang ada. Hal ini dimungkinkan bahwa Ni telah terinterkalasi pada struktur pori kristal genteng.



Gambar 1. Difraktogram Sampel



Gambar 2. Refinement difraktogram genteng mentah dengan standar

3.2. Perbandingan difraktogram XRD dengan Standar

Perbandingan difraktogram hasil analisis XRD dengan standar menyatakan bahwa sampel genteng mentah, genteng jadi, dan katalis pecahan-genteng/nikel mengandung logam oksida yang sesuai dengan standar. Fe_2O_3 pada data ICSD 154191 *space group* R3-CR dengan struktur kristal *trigonal/rhombohedral* dan mempunyai unit cell 5,4195(1) 5,4195(1) 5,4195(1). NiO_2 pada data ICSD 88720 *space group* C12/M1 dengan struktur kristal monoklinik dan mempunyai unit cell 4,8754(3) 2,8141(2)

5,5820(3). Al_2O_3 pada data ICSD 173014 *space group* P1 dengan struktur kristal triclinic dan mempunyai unit cell 3,4009(6) 2,7895(3) 7,0762(9). Dan SiO_2 pada data ICSD 156198 *space group* P3221 dengan struktur kristal trigonal/rhombohedral dan mempunyai struktur unit cell 4,917(5) 4,917(5) 5,410(5).

Nilai kecocokan sampel ditunjukkan dengan menggunakan metode *Le Bail* pada program *Rietica* dan diperoleh bahwa semua sampel mempunyai kandungan logam oksida sesuai dengan standar. Difraktogram hasil XRD untuk genteng mentah ditunjukkan pada

Gambar 2. *Refinement* dengan standar Fe_2O_3 ICSD 154191, NiO_2 ICSD 88720, Al_2O_3 ICSD 173014, SiO_2 ICSD 156198 dan diperoleh hasil Rp 3,64 dan Rwp 5,71. Penelitian sejenis telah dilaporkan oleh grup penelitian Erno dkk. (2003).

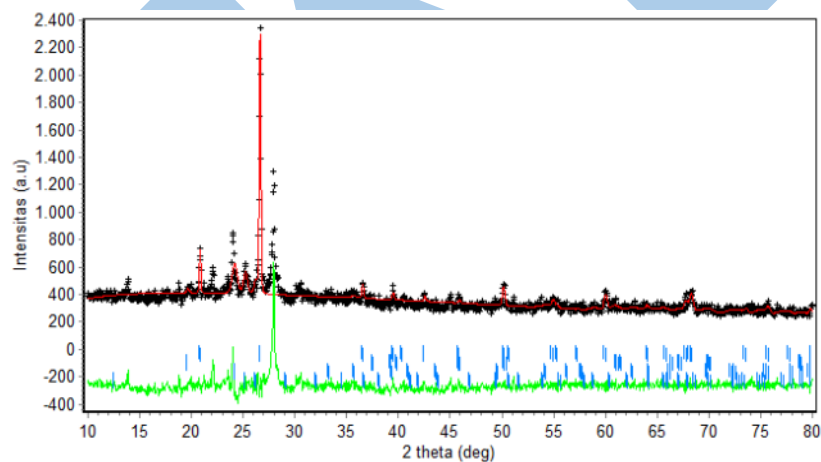
Untuk melihat kandungan senyawa pecahan genteng yang menjadi bahan katalis, *refinement* dilakukan terhadap standar yang sama dan hasil *refinement* ditunjukkan pada Gambar 3, dan diperoleh hasil Rp 6,98 dan Rwp 12,97. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembuatan genteng tidak mengubah kandungan logam oksida di dalam sampel, sehingga pemanfaatan interkalasi nikel pada logam oksida tersebut dapat dilakukan dan dimungkinkan untuk menjadi katalis.

Produk katalis di-*refinement* juga menggunakan standar yang sama ditunjukkan pada Gambar 4, dan diperoleh nilai Rp 6,47 dan Rwp 8,48. Berdasarkan difraktogram, hal ini menunjukkan bahwa terdapat peningkatan kandungan nikel pada

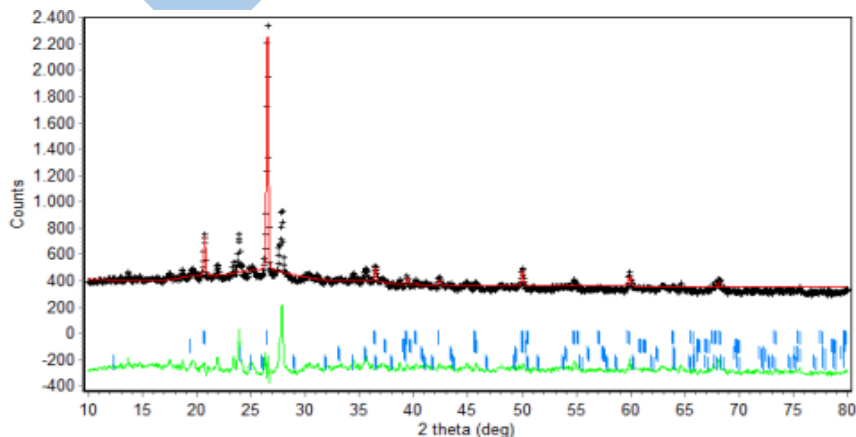
sampel. Sehingga menjadi gambaran bahwa interkalasi nikel pada pecahan genteng telah terjadi, sehingga pecahan genteng/nikel siap untuk dijadikan katalis.

3.3. Analisis Minyak Hasil Pirolisis Plastik

Dalam penelitian ini diperoleh 2 hasil minyak yang mempunyai ciri khas yang berbeda. Minyak hasil pirolisis dihasilkan sebesar 1700 ml dari bahan limbah polipropilena 1300 gram. Sementara proses *reforming* minyak hasil pirolisis yang dilakukan menggunakan katalis pecahan genteng *loading* Nikel, diperoleh hasil cairan minyak yang berbeda sifat fisika dan kimianya dengan hasil % *yield* sebesar 0,37%; 0,21% cairan atas bukan bahan bakar dan 0,42% residu minyak. Karakteristik minyak hasil pirolisis ditampilkan pada Tabel 1. Hasil kromatogram kedua jenis minyak yang didapatkan ditampilkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



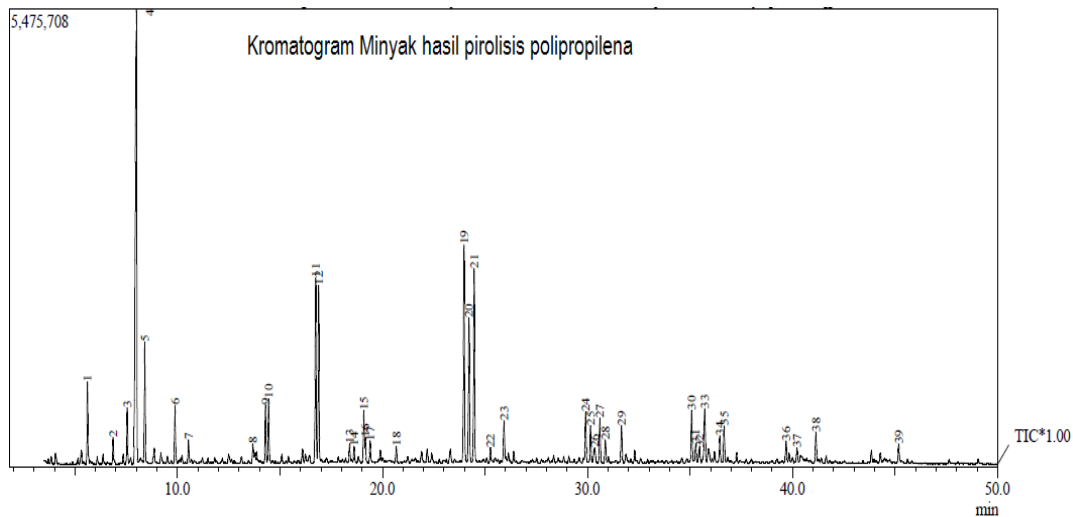
Gambar 3. *Refinement* difraktogram genteng jadi dengan standar



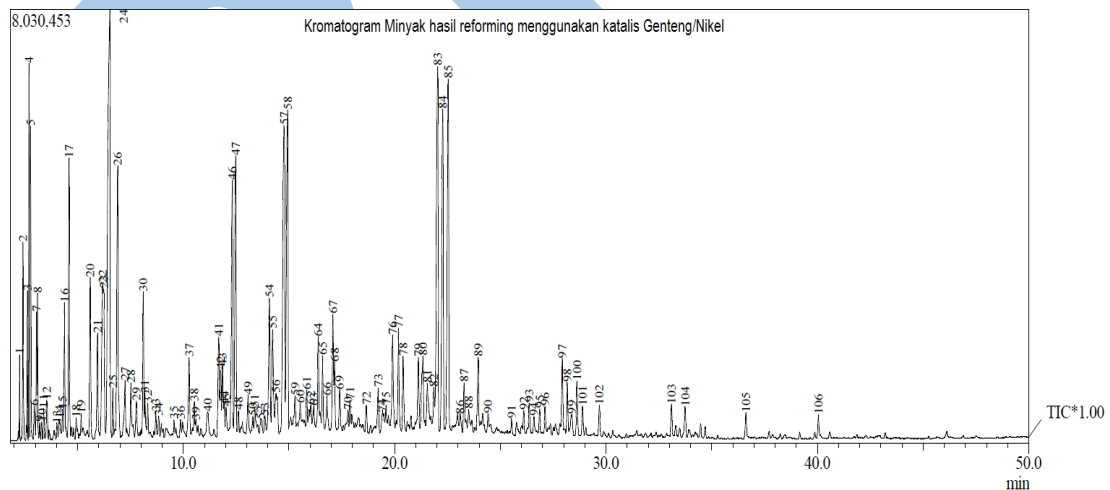
Gambar 4. *Refinement* difraktogram genteng/Ni dengan standar

Tabel 1. Perbandingan karakteristik fisika minyak hasil pirolisis dan *hydrocracking*

Parameter	Minyak Hasil Pirolisis Polipropilena	Minyak hasil reforming menggunakan Katalis
Warna	Kuning dan terdapat endapan	Kuning bening sedikit kecoklatan, tanpa endapan
Bau	Menyengat plastik terbakar	Seperti bensin menguap
Massa Jenis	754,64 kg/m ³	740,29 kg/m ³
Viskositas	0,723 cp	0,715 cp



Gambar 5. Kromatogram minyak hasil pirolisis polipropilena



Gambar 6. Kromatogram minyak hasil *reforming* menggunakan katalis genteng/nikel

Besaran densitas minyak yang dihasilkan dari penelitian ini dapat disimpulkan telah memenuhi syarat spesifikasi bensin komersil Pertamina. Standar bensin komersial Pertamina sesuai keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi No. 3674 K/24/DJM/2006 memiliki densitas (60°F) 715 – 780 kg/m³. Sementara itu dari hasil

analisis GC-MS, memberi konfirmasi bahwa dalam sampel mengandung banyak senyawa, yaitu terlihat dari banyaknya puncak (*peak*) dalam spektra GC-MS tersebut. Berdasarkan data waktu retensi yang sudah diketahui dari literatur WILEY229LIB, bisa diketahui senyawa apa saja yang ada dalam sampel.

Tabel 2. Hasil GC-MS minyak produk pirolisis plastik polipropilena (% Area)

Fraksi	% Area
C7 - C9	32,62
C10 - C12	45,30
≥C13	22,08
Total	100

Tabel 3. Hasil GC-MS minyak produk *reforming* menggunakan katalis pecahan genteng

Fraksi	% Area
C4 - C6	6,47
C7 - C9	27,49
C10 - C12	55,05
≥C13	10,99
Total	100

Berdasarkan perbedaan kedua kromatogram hasil GC-MS tersebut, dapat diketahui bahwa *reforming* dengan sistem *hidrocracking* menggunakan katalis pecahan-genteng/nikel akan mempengaruhi pemecahan ikatan rantai karbon. Perbandingan hasil kromatogram menunjukkan adanya peningkatan fraksi C10 - C12 setelah proses *hidrocracking* menggunakan katalis pecahan-genteng/Nikel. Sementara terjadi penurunan fraksi rantai karbon dengan jumlah C di atas 13. Hal ini menunjukkan bahwa katalis pecahan-genteng/Nikel efektif untuk mengkondisikan senyawa dengan jumlah C 10 - 12. Peningkatan terjadi sebesar 9,75% dari persentase sebelum *hidrocracking*. Setelah proses *hidrocracking*, diperoleh C10 - C12 sejumlah 55,05%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi lempung dan pecahan genteng, diperoleh hasil bahwa pecahan genteng masih mempunyai struktur dan sifat kristalinitas yang sama dengan pecahan genteng sehingga dapat dimanfaatkan sebagai katalis dalam proses *hidrocracking* pirolisis plastik menjadi bahan bakar. Katalis pecahan-genteng/Nikel secara efektif mampu meningkatkan pemutusan ikatan rantai karbon menjadi fraksi C10 - C12 sebesar 9,75%. Minyak hasil pirolisis mempunyai densitas 754,64 kg/m³ dan viskositas 0,723 cp, sedangkan hasil *hidrocracking* diperoleh densitas 740,29 dengan viskositas 0,715 cp. Hasil pirolisis telah masuk dalam range standar bensin komersial Pertamina sesuai keputusan

Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 3674 K/24/DJM/2006 memiliki densitas (60°F) 715 - 780 kg/m³.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terimakasih kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang memberikan dana penelitian pada anggaran 2015.

Daftar Pustaka

- Ausavasukhi, A., Sooknoi, T. (2014) Catalytic activity enhancement by thermal treatment and re-swelling process of natural containing iron-clay for fenton oxidation, *Journal of Colloid and Interface Science*, 436, 37 - 40.
- Aznárez, A., Delaigle, R., Eloy, P., Gaigneaux, E. M., Korili, S. A., Gil, A. (2015) Catalysts based on pillared clays for the oxidation of chlorobenzene, *Catalysis Today*, 246, 15 - 27.
- Bhatt, K. N., Halligudi, S. B. (1994) Hydroformylation of allyl alcohol catalysed by (Rh(PPh₃)₃)⁺/montmorillonite: A kinetic study, *Journal of Molecular Catalysis*, 91(2), 187 - 194.
- Erno E. K., Jonjaua G.R., Radmila P. M.N., Tatjana J.V. (2003) Catalytic wet peroxide oxidation of phenol over AlFe pillared montmorillonite, *Reaction Kinetics and Catalysis Letter*, 80(2), 255-260.
- Krstic, L J., Sukdolak, S., Solujic, S. (2002) An efficient synthesis of warfarin acetals on montmorillonite clay K-10 with microwaves, *Journal of Serbian Chemical Society*, 67 (5), 325 - 329.
- Lailunnazar, L., Wijayanti, W., Sasongko, M.N. (2013) Pengaruh temperatur pirolisis terhadap kualitas tar hasil pirolisis serbuk kayu Mahoni, *Skripsi*, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
- Navjeet, K., Dharma, K. (2012) *Montmorillonite: An efficient, heterogeneous and green catalyst for organic synthesis*. India: Banasthali University.
- Nugraha, M. F., Wahyudi, A., Gunardi, I. (2013) Pembuatan fuel dari liquid hasil pirolisis plastik polipropilen melalui proses *reforming* dengan katalis NiO/f-

Al₂O₃, *Jurnal Teknik Pomits*, 2(2), 299 - 302.

Olutoye, M. A., Hameed, B. H. (2013) A highly active clay-based catalyst for the synthesis of fatty acid methyl ester from waste cooking palm oil, *Applied Catalysis A: General*, 450, 57 - 62.

Sanjaya, I. P. A. (2009) Pengaruh jumlah penggilingan tanah liat sebagai bahan

pembuat genteng terhadap karakterisasi genteng keramik, *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 13(1), 82 - 92.

Theng, B.K.G. (1974) *The chemistry of clay-organic reactions*, Hilger, London.

Widjajanti, E. (2005) *Pengaruh katalisator terhadap laju reaksi*, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.

ARK



Dampak Penggantian Fe_3O_4 secara Parsial dengan Abu Sekam Padi (ASP) terhadap Porositas dan Kuat Tekan Keramik Komposit $\text{Clay-Fe}_3\text{O}_4$

Influence of Partially Replacement of Fe_3O_4 with Rice Husk Ash (RHA) on Porosity and Strength of Clay- Fe_3O_4 Composite Ceramic

M. Nizar Machmud^{1*}, Zulkarnain Jalil²

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Syiah Kuala, Jalan Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia

²Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Syiah Kuala, Jalan Tgk. Syech Abdurrauf No. 3, Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia

*E-mail: nizar.machmud@unsyiah.ac.id

Abstrak

Berdasarkan kajian pendahuluan diketahui bahwa penggunaan pasir laut dan penggantinya dengan abu sekam padi (ASP) hingga pada fraksi berat tertentu dalam pembentukan keramik komposit *clay* belum mampu menunjukkan kuat tekan seperti yang diinginkan. Ditambah lagi karena kandungan Cl^- dan SO_4^{2-} yang bersifat korosif, penggunaan pasir laut tersebut tidak lagi direkomendasikan. Mineral utama dari pasir besi yaitu Fe_3O_4 selanjutnya diajukan sebagai penggantinya untuk memproduksi keramik komposit *clay* baru. Karena pasir besi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, maka penggunaan mineral Fe_3O_4 tersebut perlu dibatasi. Selanjutnya, ASP masih dipilih untuk menggantikan Fe_3O_4 secara parsial demi keberlanjutan produksi dari material-material keramik tersebut. Keramik dari komposit *clay-Fe}_3\text{O}_4/ASP tersebut selanjutnya diperkenalkan dalam makalah ini dan nantinya dirancang sebagai material bagi komponen-komponen yang menerima pembebanan berupa tekan dan juga termal. Dua tipe ASP lalu disiapkan dan selanjutnya dikarakterisasi menggunakan spektrometer *X-ray fluorescence* (XRF). Tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada komposisi kimia dari keduanya. Namun, keduanya memiliki *bulk density* yang berbeda. Hasil pengujian porositas terhadap material keramik komposit tersebut menunjukkan bahwa penggantian Fe_3O_4 dengan ASP meningkatkan porositas material. Hasil pengujian tekan menunjukkan bahwa meningkatnya berat fraksi dari ASP diikuti oleh penurunan kuat tekan material. Analisis *X-ray diffraction* (XRD) terhadap material baru tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar dari Fe_3O_4 telah bertransformasi menjadi Fe_2O_3 dan transformasi tersebut selanjutnya dapat menentukan besarnya porositas dan juga kuat tekan dari material tersebut.*

Kata kunci: abu sekam padi (ASP), keramik, komposit, *clay*, Fe_3O_4 , XRD

Abstract

A preliminary study revealed that both utilization of marine sand and its replacement with rice husk ash (RHA) up to Particular extent in forming ceramic of clay composites were not yet able to exhibit compressive strength as expected. In addition, the marine sand is not recommended since corrosive effect because of presence of Cl^- and SO_4^{2-} contents. Instead, Fe_3O_4 , a dominant mineral in iron sand, is proposed to produce a novel ceramic of clay composite. Since the iron sand is not renewable natural resources, utilization of Fe_3O_4 should be hence maintained to ensure sustainable production of such ceramic materials. In this paper, RHA is then still proposed to partially replace Fe_3O_4 . Study on impact of the replacement is important and the study therefore should be established. Ceramic of the *clay-Fe}_3\text{O}_4*/RHA composites is then introduced and later designed as materials of any components subjected to compression and thermal as well. Two types of available RHA are prepared and then characterized by *X-ray fluorescence* (XRF) spectrometer. There was no significant difference appears on their chemical compositions in fact. Bulk density of them is different, however. Porosity testing results showed that porosity of ceramic of the composite materials increased with increase of weight fraction of RHA. Whilst, compression test results showed that the increase of weight fraction of RHA decreased their compressive strength. *X-ray diffraction* (XRD) analyses on the novel materials showed that most of Fe_3O_4 has transformed to Fe_2O_3 and such transformation may further determine their porosity and compressive strength as well.

Keywords: ceramic, *clay*, composite, Fe_3O_4 , rice husk ash (RHA), XRD

1. Pendahuluan

Keramik merupakan salah satu dari material teknik yang memiliki beberapa kelebihan dibanding logam. Beberapa keunggulan keramik adalah tahanterhadap temperatur tinggi, tahanterhadap korosi dan resisten terhadap erosi kimia (Ryan, 1978; US Congress, 1988; Hermawan dkk., 2011). Walaupun demikian, pori yang terdapat pada material keramik tidak diinginkan karena dapat meningkatkan konsentrasi tegangan yang selanjutnya menurunkan ketangguhan dan kekuatannya (Rice, 2002; Komlev dan Barinov, 2006; Yin dkk., 2009a; Yin dkk., 2009b).

Clay yang memiliki struktur multilayer unit menyerupai sandwich yang terdiri dari layer silikat dengan kelompok atom-atom logam, oksigen, dan hidroksil membentuk dua layer yang terikat diantara layer silikat tadi dengan kisaran nilai ketebalan sebesar 1 nm (Harris dan Levey, 1975; Warkentin dan Yong., 1966; Janeba dkk., 1998; Klopogge dkk., 2006; Jong, 2011). Melalui metode dan teknik perlakuan panas, porositas dari keramik komposit yang terbuat dari *clay* juga dapat diturunkan sehingga sifat fisik dan kuat tekannya dapat diperbaiki (Hamisi dkk., 2014; Xu dkk., 2005; Machmud, 2013; Sultana dkk., 2014).

Substitusi material lain baik organik maupun inorganik ternyata dapat memperbaiki karakteristik dan sifat *clay* (Azeez dkk., 2011). Kajian pendahuluan menunjukkan bahwa dengan metode perlakuan panas tertentu, dengan substitusi abu sekam padi (ASP) sebesar 20%wt dan 30%wt dari pasir laut, masing-masing keramik komposit *clay*/pasir laut/ASP menunjukkan kuat tekan yang lebih baik pada temperatur 950°C dan 1000°C (Machmud, 2013). Berdasarkan kajian pendahuluan tersebut telah diketahui bahwa temperatur tinggi secara signifikan telah mempengaruhi kuat tekan dari material tersebut.

Pada kajian ini, mineral Fe_3O_4 , yang selama ini dikenal sebagai bahan baku bagi industri logam dan industri semen, digunakan sebagai pengganti material pasir laut. Mineral ini biasanya ditemukan masih bercampur dengan mineral-mineral lainnya seperti titaniferous magnetit, ilmenit, limonit, dan hematit yang membentuk pasir besi (Sulistianingsih, 2009). Di satu aspek, pasir besi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui sementara pada aspek yang lain manufakturisasi keramik mensyaratkan ketersediaan ter-

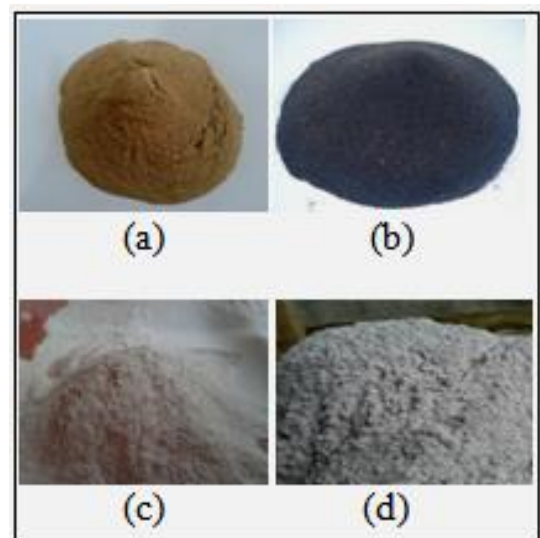
hadap bahan baku secara berkelanjutan maka penggunaan mineral Fe_3O_4 tersebut harus dibatasi. Dalam kajian ini, pembatasan tersebut dilakukan dengan menggantikan Fe_3O_4 secara parsial dengan ASP. Karena memiliki pori, sebagian besar dari material keramik bersifat getas (*brittle*). Penggantian secara parsial tersebut tentunya memberikan dampak yang signifikan pada karakteristik dari keramik komposit *clay*- Fe_3O_4 /ASP.

Porositas dan kuat tekan merupakan parameter-parameter penting yang menjadi karakteristik material keramik. Mitigasi terhadap permasalahan yang menyertai karakteristiknya tersebut harus dilakukan sebelum material keramik tersebut digunakan pada aplikasi tertentu. Oleh karena itu, kajian ini dilakukan untuk mengetahui dampak dari penggantian Fe_3O_4 secara parsial dengan ASP tersebut terhadap porositas dan kuat tekan dari keramik komposit baru *clay*- Fe_3O_4 /ASP.

2. Persiapan Material dan Metodologi

2.1. Persiapan Material

Clay dan Fe_3O_4 yang digunakan dalam kajian ini diperoleh dari suatu lokasi di sekitar Kota Banda Aceh. Sementara itu, abu sekam padi (ASP) diperoleh dari suatu lokasi penggilingan padi di kawasan Kabupaten Aceh Besar. Terdapat dua tipe ASP yang selanjutnya disebut sebagai: ASP-1 (*bulk density* 0,444 g/cm³) dan ASP-2 (*bulk density* 0,317 g/cm³). Material-material penyusun komposit tersebut selanjutnya diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Material-material penyusun komposit: (a) *clay* (b) Fe_3O_4 (c) ASP-1 dan (d) ASP-2

Sebelum digunakan sebagai material penyusun dari material komposit, kedua tipe ASP dikeringkan terlebih dahulu menggunakan oven berventilasi pada temperatur $110 \pm 5^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Perbedaan pada *bulk density* dari kedua abu sekam padi tersebut selanjutnya dirancang untuk membedakan porositas dari komposit dengan masing-masing ASP tersebut. Material komposit *clay-Fe₃O₄/ASP* selanjutnya diperoleh setelah melalui beberapa proses seperti pengeringan, penghalusan, pencampuran, pembentukan pasta, pencetakan dan pengeringan pasta di udara. Pada kajian ini, proses penghalusan hanya dilakukan terhadap *clay* saja. Pemilihan ukuran partikel dari *clay* tersebut selanjutnya dilakukan dengan metode sieve menggunakan US Standard Sieve No. 70 (0,210 mm). Pencampuran *clay* dan *Fe₃O₄* selanjutnya dilakukan menurut perbandingan volume dari keduanya sebesar 3:1 dengan substitusi dari masing-masing tipe ASP ke dalam campuran adalah sebesar 10, 20, 30, 40, dan 50% dari fraksi berat *Fe₃O₄* yang terdapat di dalam campuran tersebut.



Gambar 2. Pasta komposit *clay-Fe₃O₄/ASP* yang telah dicetak dan dikeringkan di udara

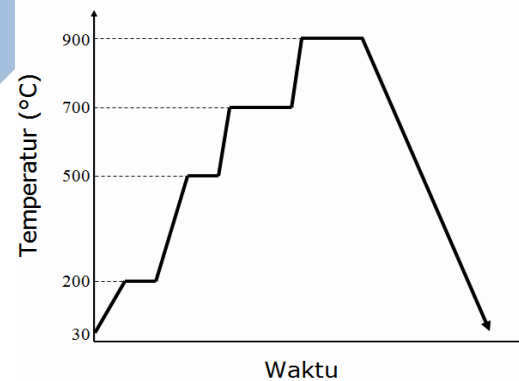
Komposit yang diperoleh dari pencampuran *clay*, *Fe₃O₄* dan ASP-1 tersebut selanjutnya berturut-turut disebut sebagai CFA10-1, CFA20-1, CFA30-1, CFA40-1, dan CFA50-1. Sementara komposit yang diperoleh dari pencampuran *clay*, *Fe₃O₄* dan ASP-2 tersebut selanjutnya berturut-turut disebut sebagai CFA10-2, CFA20-2, CFA30-2, CFA40-2, dan CFA50-2. Komposit tanpa ASP atau dengan kata lain komposit yang diperoleh dari pencampuran *clay* dan *Fe₃O₄* juga disiapkan sebagai material pembandingan. Komposit pembandingan ini selanjutnya disebut sebagai CFX. Komposit-komposit yang telah dicetak dan dikeringkan di udara dengan dimensi $70 \times 70 \times 70$ (mm) diperlihatkan pada Gambar 2.

2.2. Karakterisasi *Clay* dengan X-ray Fluorescence (XRF)

Karakterisasi terhadap sampel *clay* dan kedua ASP dilakukan dengan menggunakan spektrometer XRF (Bruker, S2 Stranger) untuk mendapatkan komposisi kimia dari masing-masing sampel.

2.3. Perlakuan Panas

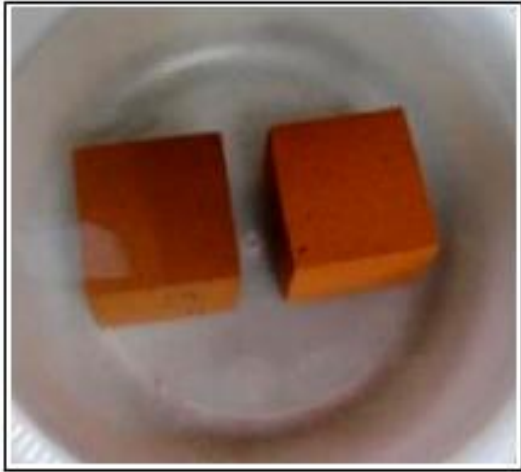
Masing-masing pasta komposit yang telah dikeringkan di udara terlebih dahulu dikeringkan menggunakan oven berventilasi pada temperatur $120 \pm 5^\circ\text{C}$ selama 24 jam untuk menghilangkan kandungan air. Pastakomposit ini kemudian didinginkan hingga mencapai temperatur kamar. Perlakuan panas terhadap semua pasta komposit menggunakan tungku pemanas elektrik dari temperatur kamar (30°C) ke temperatur 200°C dengan laju pemanasan konstan $1^\circ\text{C}/\text{menit}$ selama 30 menit. Temperatur selanjutnya dinaikkan hingga pada 500°C dengan laju pemanasan konstan $3^\circ\text{C}/\text{menit}$ selama 30 menit. Kemudian dengan laju pemanasan $5^\circ\text{C}/\text{menit}$, temperatur selanjutnya dinaikkan hingga pada 700°C selama 60 menit. Setelah itu temperatur kembali dinaikkan hingga mencapai temperatur 900°C dengan laju pemanasan konstan $5^\circ\text{C}/\text{menit}$ dan waktu tahan selama 60 menit.



Gambar 3. Metode dan teknik perlakuan panas

Spesimen yang dihasilkan dari metode dan teknik perlakuan panas tersebut selanjutnya didinginkan di dalam tungku pemanas hingga mencapai temperatur kamar (30°C). Pada metode perlakuan panas ini, lama waktu yang dihabiskan selama proses pendinginan terhadap spesimen yang dilakukan di dalam tungku pemanas elektrik tersebut tidak dihitung. Ilustrasi dari metode dan teknik perlakuan panas tersebut secara skematik dapat dilihat seperti pada Gambar

3. Gambar 4 memperlihatkan material keramik komposit *clay*-Fe₃O₄/ASP berukuran 50 × 50 × 50 (mm) yang diperoleh setelah perlakuan panas.



Gambar 4. Material keramik komposit *clay*-Fe₃O₄/ASP

2.4. Pengujian Porositas

Porositas, r (%) dari material ditentukan berdasarkan pada ASTM C20-00. Porositas selanjutnya dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 dimana S , D , dan W masing-masing adalah berat setelah pencelupannya di dalam air, berat kering, dan berat basah dari sampel uji yang berdimensi 50×50 × 50 (mm). S adalah berat yang diukur setelah pencelupannya berlangsung selama 24 jam. Sedangkan D dan W masing-masing adalah berat yang diukur pada temperatur kamar setelah keluar dari tungku pemanas dan berat yang diukur pada temperatur kamar setelah pendidihannya selama 5 jam di dalam air.

$$\rho = \frac{S-D}{S-W} \times 100 \quad (1)$$

2.5. Pengujian Tekan

Pengujian tekan terhadap material dengan spesimen berbentuk kubus yang berdimensi 50×50 × 50 (mm) dilakukan menurut ASTM C67-03a pada temperatur kamar dengan laju konstan 20 mm/menit. Pengujian tekan tersebut dilakukan menggunakan perangkat pengujian universal (HT-2402, 250kN) dengan tiga kali perulangan terhadap masing-masing material. Kuat tekan, s , selanjutnya dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 dimana P adalah beban maksimum (N) dan A adalah luas penampang tekan (mm²).

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

2.6. Analisis dengan X-ray Diffractometer (XRD)

Sebelum analisis menggunakan XRD ini dilakukan, masing-masing sampel dari material keramik komposit dihancurkan dan dihaluskan hingga diperoleh serbuk tepung dari masing-masing sampel uji dengan menggunakan saringan dengan ukuran bukaan 75 μ m. Analisis menggunakan instrumen XRD (Shimadzu D6000) ini untuk mengidentifikasi fasa-fasa yang terbentuk di dalam keramik komposit akibat perlakuan panas. Difraksi sinar X dideteksi dari sudut (2θ) 10° sampai dengan 80° pada tegangan 40 kV dan kuat arus 30 mA.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakterisasi dengan X-ray Fluorescence (XRF)

Hasil karakterisasi terhadap *clay* dan kedua tipe ASP menggunakan spektrometer XRF ditampilkan pada Tabel 1. Tidak terlihat adanya perbedaan yang signifikan pada komposisi kimia dari kedua tipe ASP tersebut. Tidak adanya perbedaan dari keduanya karena keduanya dihasilkan dari bahan baku sekam yang berasal dari lokasi yang sama.

Tabel 1. Komposisi kimia dari *clay* dan ASP dengan XRF

Komposisi Penyusun	Clay (%)	ASP-1 (%)	ASP-2 (%)
SiO ₂	54,48	92,4	92,22
Al ₂ O ₃	16,77	0,74	0,78
Fe ₂ O ₃	15,48	0,28	0,14
MgO	3,74	-	-
CaO	3,44	0,77	0,78
K ₂ O	2,23	2,73	2,71
TiO ₂	1,55	-	-
P ₂ O ₅	0,69	1,73	1,64
SO ₃	0,58	0,61	0,95
Cl	0,39	0,46	0,58
MnO	0,14	0,17	0,13
Cr ₂ O ₃	0,11	0,01	-
SrO	0,08	-	-
Nd ₂ O ₃	0,07	-	-
ZrO ₂	0,06	-	-
NiO	0,03	-	-
SnO ₂	0,03	-	-
ZnO	0,03	-	0,02
V ₂ O ₅	0,02	-	-
CuO	0,02	-	-
Rb ₂ O	0,01	0,02	0,01
La ₂ O ₃	-	-	0,02

3.2. Pengujian Porositas

Hasil pengujian porositas terhadap material keramik komposit ditampilkan pada Tabel 2. Telah disebutkan di atas bahwa ASP-1 memiliki *bulk density* sebesar 0,444 g/cm³ sedangkan ASP-2 memiliki *bulk density* 0,317 g/cm³. Adanya perbedaan pada *bulk density* tersebut disebabkan oleh adanya perbedaan pada nilai porositas dari kedua tipe abu sekam padi tersebut. *Bulk density* dari ASP-2 yang lebih rendah kemungkinan besar disebabkan oleh karena ASP-2 memiliki nilai porositas yang lebih tinggi. Besarnya volume ASP-2 di dalam campuran tersebut selanjutnya menyebabkan nilai porositas dari keramik komposit *clay-Fe₃O₄/ASP-2* lebih tinggi dibandingkan keramik komposit lainnya sebagaimana data pengujian porositas keramik komposit tersebut yang ditampilkan pada Tabel 2. Tampak pada Tabel 2 bahwa penggantian Fe₃O₄ secara parsial dengan ASP meningkatkan porositas dari material keramik komposit.

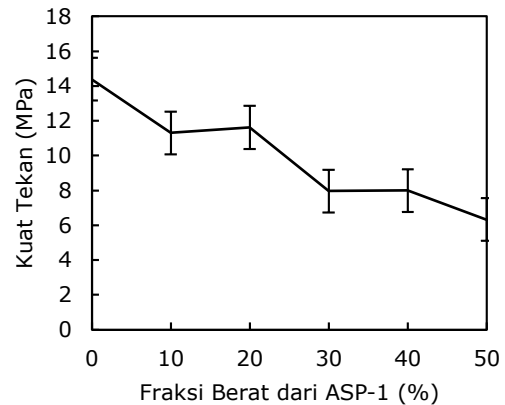
Tabel 2. Porositas material keramik komposit

Tipe ASP	Material	ASP (%)	Porositas (%)
ASP-1	CFX	0	25,2
	CFA10-1	10	28,6
	CFA20-1	20	31,0
	CFA30-1	30	35,1
	CFA40-1	40	38,4
	CFA50-1	50	40,0
ASP-2	CFA10-2	10	30,0
	CFA20-2	20	35,0
	CFA30-2	30	36,8
	CFA40-2	40	37,0
	CFA50-2	50	41,0

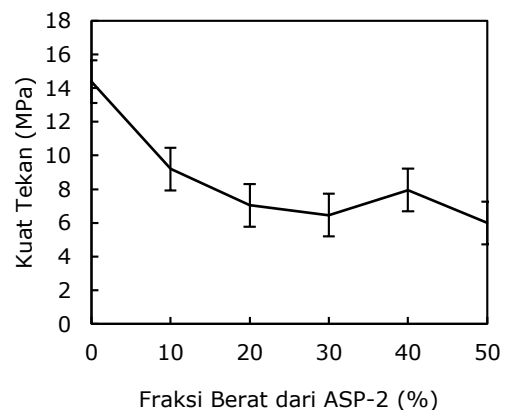
3.3. Pengujian Tekan

Selain nilai kuat tekan dari komposit pembanding, *clay-Fe₃O₄*, masing-masing hasil pengujian tekan terhadap material keramik komposit *clay-Fe₃O₄/ASP-1*, dan *clay-Fe₃O₄/ASP-2* juga secara berturut-turut diperlihatkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa penggantian Fe₃O₄ secara parsial dengan ASP menurunkan kuat tekan dari material-material keramik komposit tersebut. Namun pada penggantian sebesar 10%wt dan 20%wt dari Fe₃O₄ dengan ASP, keramik-keramik komposit tersebut memiliki kuat tekan yang lebih baik dibandingkan keramik komposit dengan kandungan ASP yang lebih tinggi. Di sisi lain, keramik komposit *clay-Fe₃O₄/ASP-2* memiliki kuat tekan yang lebih rendah karena memiliki porositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan keramik komposit lainnya. Hasil pengujian tekan

tersebut juga menunjukkan bahwa penggantian Fe₃O₄ dengan masing-masing ASP hingga di atas 20%wt tidak lagi berdampak secara signifikan terhadap kuat tekan dari kedua keramik komposit *clay-Fe₃O₄/ASP* tersebut walaupun keduanya memiliki porositas dan volume ASP yang berbeda. Hal itu disebabkan karena porositas dari masing-masing material tersebut tidak lagi dipengaruhi oleh adanya penggantian Fe₃O₄ tersebut.



Gambar 5. Hubungan antara fraksi berat ASP-1 dan kuat tekan keramik komposit *clay-Fe₃O₄/ASP-1*

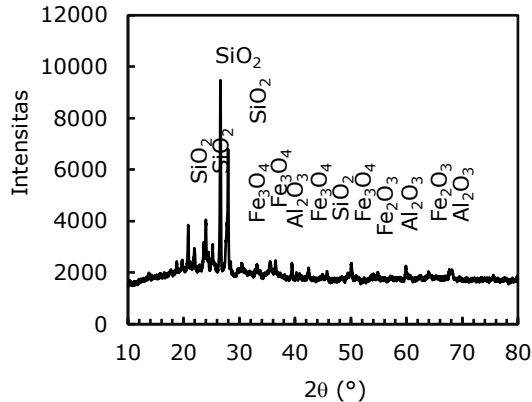


Gambar 6. Hubungan antara fraksi berat ASP-2 dan kuat tekan keramik komposit *clay-Fe₃O₄/ASP-2*

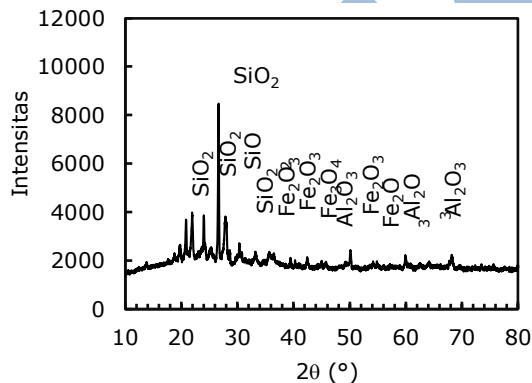
3.4. Analisis dengan X-ray Diffractometer (XRD)

Hasil analisis XRD terhadap material keramik komposit *clay-Fe₃O₄* dan dua keramik komposit *clay-Fe₃O₄/ASP* lainnya dengan fraksi berat dari masing-masing ASP sebesar 20%wt, secara berturut-turut diberikan pada Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9. Dari hasil analisis tersebut diketahui bahwa telah terjadi transformasi fasa dari Fe₃O₄ menjadi Fe₂O₃. Walaupun fasa Fe₃O₄ masih ditemukan pada sampel uji keramik komposit *clay-Fe₃O₄* namun fasa ini

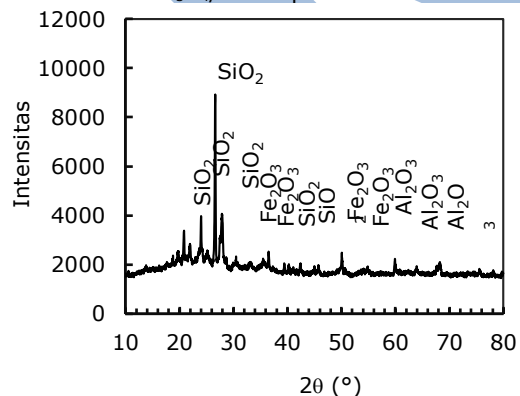
sebagian besar telah bertransformasi menjadi Fe_2O_3 . Seperti halnya pada keramik komposit $\text{clay-Fe}_3\text{O}_4$, fasa Fe_3O_4 masih dapat ditemukan pada keramik komposit $\text{clay-Fe}_3\text{O}_4/\text{ASP-1}$ namun dengan fasa Fe_3O_4 yang lebih sedikit. Sementara pada keramik komposit $\text{clay-Fe}_3\text{O}_4/\text{ASP-2}$, fasa Fe_3O_4 sudah tidak lagi ditemukan.



Gambar 7. Profil XRD dari keramik komposit $\text{clay-Fe}_3\text{O}_4$ pada 900°C



Gambar 8. Profil XRD dari keramik komposit $\text{clay-Fe}_3\text{O}_4/\text{ASP-1}$ pada 900°C



Gambar 9. Profil XRD dari keramik komposit $\text{clay-Fe}_3\text{O}_4/\text{ASP-2}$ pada 900°C

Korelasi antara analisis XRD, porositas dan hasil kuat tekan memperlihatkan bahwa transformasi fasa yang terjadi tersebut juga memberikan dampak terhadap porositas dan kuat tekan dari material. Karena kehadiran

fasa Fe_3O_4 turut berkontribusi pada perbaikan porositas dan kuat tekan, maka transformasi fasa Fe_3O_4 menjadi Fe_2O_3 harus dikontrol. Fraksi berat dari ASP dan temperatur sintering pada perlakuan panas, karenanya patut dipertimbangkan karena memainkan peran penting terhadap pengontrolan fasa tersebut.

4. Kesimpulan

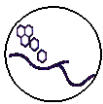
Dampak dari penggantian Fe_3O_4 secara parsial dengan abu sekam padi (ASP) terhadap porositas dan kuat tekan material keramik komposit $\text{clay-Fe}_3\text{O}_4$ telah dikaji. Terdapat kaitan yang erat antara porositas dan kuat tekan dari keramik komposit clay . Peningkatan porositas berdampak pada menurunnya kuat tekan. Penggantian 10% dan 20% (berat) Fe_3O_4 dengan ASP, mampu menghasilkan kuat tekan yang lebih baik dibandingkan keramik komposit dengan kandungan ASP yang lebih tinggi. Penggantian Fe_3O_4 dengan ASP secara parsial setelah 20%wt tidak lagi berdampak secara signifikan terhadap porositas dan juga kuat tekan dari material keramik tersebut. Analisis XRD memperlihatkan bahwa penggantian Fe_3O_4 secara parsial dengan ASP tidak hanya memberikan dampak terhadap porositas dan kuat tekan material tersebut tetapi juga berdampak terhadap fasa yang terbentuk di dalam keramik komposit. Temperatur sintering dari suatu perlakuan panas terhadap material keramik komposit juga dapat memicu terjadinya transformasi fasa dari Fe_3O_4 menjadi Fe_2O_3 . Karena kehadiran Fe_2O_3 tidak berkontribusi terhadap perbaikan kuat tekan, maka transformasi fasa Fe_3O_4 harus dikontrol. Fraksi berat dari ASP dan juga temperatur sintering pada perlakuan panas, karenanya patut dipertimbangkan karena memainkan peran penting terhadap pengontrolan fasa tersebut.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia atas pemberian Hibah Penelitian Fundamental Nomor:384/UN11/A.01/APBN-P2T/2013 tanggal 29 April 2013 sehingga kajian terkait dapat dilakukan. Terimakasih tak luput pula kami sampaikan kepada Andia Fatmaliana dan Ulul Azmi atas bantuan yang sangat berharga selama kajian ini berlangsung.

Daftar Pustaka

- Azeez, O., Ogundare, O., Oshodin, T.E., Olasupo, O.A., Olunlade, B.A. (2011) Evaluation of the compressivestrength of hybrid clay bricks, *Journal of Minerals & Materials Characterization &Engineering*, 10(7), 609-615.
- Hamisi, H., Park, S. Y. E., Choi, B. H., An, Y. T., Lee, J. G. (2014) Influence of firing temperature on physical properties of same clay and pugu kaolin for ceramic tiles application, *International Journal of Materials Science and Applications*, 3(5), 143-146.
- Harris, W. H., Levey, J. S. (1975) *The New Columbia Encyclopedia*, Columbia University Press, New York.
- Hermawan, H., Ramdan, D., Djuansjah, J. R. P. (2011) *Metals for biomedical applications*, dalam Fazel, R. (ed.), *Biomedical Engineering - From Theory to Applications*, Intech, Universiti Malaysia, Malaysia.
- Janeba, D., Capcova, P., Weiss, Z., Schenk, H. (1998) Characterization of intercalated smectites using XRD profile analysis in the low-angle region, *Clays and Clay Minerals*, 46(1), 63-68.
- Jong, D. S. M. (2011) Influence of normal stress and temperature on water content of (smectite) clays and possible implications for frictional strength of fault gouge, *M.S. Thesis*, Utrecht University, Netherlands.
- Kloprogge, J. T., Mahmutagic, E., Frost, R. L. (2006) Mid-infrared and infrared emission spectroscopy of Cu-exchanged montmorillonite, *Journal of Colloid and Interface Science*, 296(2), 640-646.
- Komlev, V. S., Barinov, S. M. (2006) *Novel Bioactive Hydroxyapatite-base ceramics and gelatin-impregnated composites*, Caruta, B. M. (ed.), *Ceramics and Composite Materials: New research*, Nova Science Publisher, New York.
- Machmud, M. N. (2013) Sensitivitas dari kuat tekan keramik komposit clay/pasir/abu sekam padi pada temperatur tinggi, *Prosiding SNYuBe*, Lhokseumawe, 21-22 November.
- Rice, R. W. (2002) *Fabrication of ceramics with designed porosity*, ed.: Lin, H.Tand Singh, M, The American Ceramic Society. Wiley Publisher.
- Ryan, W. (1978) *Properties of Ceramic Raw Materials*, 2nd edition, 1978, Pergamon Press Ltd., England.
- Sulistianingsih, F. (2009) Pemodelan struktur bawahpermukaan daerah "X" untuk menentukan sumber pasir besi dengan metode gravity, *Skripsi*, Universitas Indonesia, Indonesia.
- US Congress (1988) *Advanced Materials by Design*, Office of Technology Assessment, US Government Printing Office, Washington DC.
- Warkentin, B. P., Yong, R. N. (1966) *Introduction to Soil Behavior*, 2nd edition, The Macmillan Company, London.
- Xu, L. L., Guo, W., Wang, T., Yang, N. (2005) Study on fired bricks with replacing clay by fly ash in high volume ratio, *Construction and Building Materials*, 19, 243-247.
- Yin, Q. R., Zhu, B. H., Zeng, H. R. (2009a) *Microstructure, Property and Processing of Functional Ceramics*, Metallurgical Industry Press, Berlin Heidelberg.
- Yin, X. W., Li, X. M., Zhang, L. Cheng, L., Liu, Y. S., Pan, T. H. (2009b) *Fabrication of porous silicon nitride ceramics with gradient micro-structure*, Narayan, R., Colombo, P.(eds.), *Advances in Bioceramics and Porous Ceramics*, The American Ceramic Society, John Wiley & Sons, New Jersey.



Penyisihan Fe dalam Air Tanah Menggunakan Zeolit Alam Banda Aceh Teraktivasi

The Removal of Fe in Groundwater by Using Activated Natural Zeolite of Banda Aceh

Hasni¹, Nasrul Arahman², Sri Mulyati^{2*}

¹Program Studi Magister Teknik Kimia Program Pascasarjana Universitas Syiah Kuala

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Jalan Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia

*E-mail: sri_nafidz@yahoo.com

Abstrak

Kajian ini membahas proses pemisahan logam besi dalam sampel air secara adsorpsi. Secara umum bertujuan untuk melihat pengaruh perlakuan zeolit alam terhadap efisiensi penyisihan logam besi dalam sampel air baku. Proses adsorpsi menggunakan zeolit alam Banda Aceh dengan variasi ukuran partikel 40, 60, 80, dan 100 mesh. Kadar besi (Fe) dalam larutan sampel buatan adalah 1,25 mg/l agar mendekati kadar logam besi sesungguhnya. Kadar sampel asli air tanah dari Desa Alue Peunyareng Kabupaten Aceh Barat sebesar 1,1206 mg/l. Analisis kadar logam besi dilakukan dengan alat spektrofotometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi maksimum diperoleh pada penyerapan dengan zeolit alam berukuran 100 mesh baik untuk sampel asli maupun sampel buatan. Aktivasi zeolit alam menaikkan kemampuan adsorpsi bahan penyerap hingga 154,72%. Kemampuan penyerapan yang dimiliki zeolit alam menurun hingga 92,25% manakala sampel yang diserap berupa air tanah karena sampel masih banyak mengandung bahan pengotor.

Kata kunci: adsorpsi, penyisihan Fe, zeolit alam, spektrofotometer

Abstract

This study discusses the separation process of of ferrous from water sample by adsorption. In general the objective of this study is to investigate the effect of natural zeolite treatment on the metal removal efficiency of iron in raw water samples. Adsorption process using natural zeolite Banda Aceh with a variety of particle sizes of 40, 60, 80, and 100 mesh. Artificial sample concentration is 1.25 mg/l in order to approach the actual content of ferrous (Fe) metals. The concentration of Fe in original water sample from the Alue Peunyareng of 1.1206 mg/l. Ferrous metal content analysis was performed with a spectrophotometer. The results showed that the maximum adsorption capacity is obtained on the absorption of natural zeolite size of 100 mesh well for the original sample and artificial samples. Activation of natural zeolite adsorption capacity of absorbent material to raise up to 154.72%. Absorption capability possessed natural zeolite decreased by 92.25% when the sample is absorbed in the form of ground water as the sample still contains many impurities.

Keywords: adsorption, Fe removal, natural zeolite, spectrophotometer

1. Pendahuluan

Pada umumnya air tanah mengandung Fe dengan kadar relatif tinggi bahkan dapat mencapai 20 mg/l (Nazarenko dan Zarubina, 2013). Sesuai Permenkes RI Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tanggal 19 April 2010 bahwa standar baku mutu logam besi dalam air minum adalah 0,3 mg/l. Manakala kadar logam besi melebihi baku mutu maka perlu upaya menurunkan konsentrasi Fe tersebut agar air tanah dapat dikonsumsi. Masyarakat Alue Peunyareng Aceh Barat mengkonsumsi air tanah yang secara organoleptik mengandung kadar logam besi tinggi di atas 1 mg/l. Kondisi ini akan dapat mendatangkan berbagai penyakit. Penulis

ingin mencoba menyerap logam besi air tanah Desa Alue Penyareng dengan adsorben zeolit alam Ujong Pancu Banda Aceh sebagaimana yang telah dilakukan oleh Poerwadio dan Masduki (2004).

Sejumlah peneliti telah melakukan studi penurunan kadar Fe dalam air tanah, akan tetapi belum memberi hasil yang optimal. Penulis ingin mencoba meneliti pengaruh perlakuan zeolit alam terhadap kemampuan adsorpsi logam besi dalam sampel. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengamati sejauh mana pengaruh ukuran partikel adsorben dan perlakuan zeolit alam terhadap kapasitas adsorpsi serta persen removal logam besi yang terdapat dalam sampel air.

Batuan dan mineral dalam tanah mengandung logam besi yang dapat larut ketika berada dalam air (Poerwadio dan Masduki, 2004). Umumnya kadar logam besi dalam air tanah dapat mencapai 3,6 mg/l (Rahman dan Hartono, 2004). Pada kawasan tertentu kadar Fe dalam air tanah mencapai 20 mg/l (Nazarenko dan Zarubina, 2013). Manakala kadar logam besi mencapai satu 1 mg/l maka keberadaannya dapat dikenali secara organoleptik karena air akan berwarna kuning kecokelatan, berbau tidak enak dan berasa asam-pahit.

Zeolit berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari kata "*zein*" bermakna buih dan "*lithos*" berarti batuan, sehingga *zeolithos* disebut sebagai batu berbuih yang telah ditemukan oleh Axel F. Cronstedt tahun 1756 (Said dkk., 2008). Zeolit merupakan penukar ion alami (Rahman dan Hartono, 2004). Kapasitas adsorpsi zeolit alam sangat tinggi karena mampu memisahkan molekul menurut ukuran dan konfigurasi molekul (Poerwadio dan Masduki, 2004). Zeolit dimanfaatkan sebagai pendehidrasi, penukar ion dan adsorben (Said dkk., 2008). Zeolit telah digunakan secara luas pada pengolahan air limbah untuk memperoleh kembali air baku yang dapat digunakan untuk air bersih (Erdem dkk., 2004). Aktivasi dan karakterisasi zeolite alam telah juga dilakukan oleh group peneliti Fergueirodo (2014). Zeolit alam yang telah diaktivasi memiliki luas permukaan spesifik sebesar 700 m²/g (Fergueirodo dan Quntelas, 2014). Sementara itu, Barlokova dan Ilavsky (2010) memanfaatkan zeolite alam tanpa aktivasi untuk menyisihkan logam besi dari air tanah. Didapatkan bahwa kadar besi air tanah berhasil diturunkan dari 0,5 mg/L menjadi 0,005 mg/L.

Adsorpsi dapat dilakukan dengan dua proses yakni cara *batch* dan kontinu (Said dkk., 2008). Fenomena adsorpsi dapat diklasifikasi menjadi dua yakni secara kimia dan fisika (Suseno, 2011). Reaksi antara bahan penyerap dengan zat terserap melibatkan gaya tarik menarik antar molekul dinyatakan sebagai adsorpsi fisika. Erdem dkk. (2004) melakukan percobaan dengan 15 gram zeolit alam dan 500 ml sampel dalam suatu reaktor *batch*. Penyisihan logam berat secara adsorpsi telah dilakukan dengan 15 gram zeolit alam pada 100 ml larutan sampel (Motsi dkk., 2011). Percobaan dilakukan dengan cara memasukkan larutan sampel ke dalam reaktor dan diaduk secara kontinu. Adsorpsi secara dinamis dilakukan dengan cara melewati larutan sampel ke dalam kolom adsorpsi *fixed-bed* yang telah diisi

dengan bahan penyerap. Proses adsorpsi dapat berhenti ketika telah mencapai kondisi kesetimbangan.

2. Metodologi

2.1. Alat dan Bahan

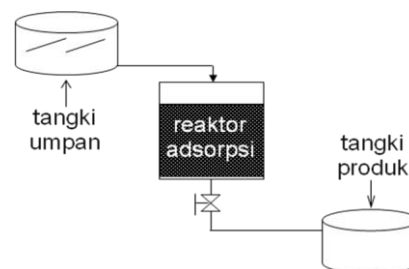
Kristal Fe(NH₄)₂(SO₄)₂·6H₂O dan zeolit alam merupakan bahan utama pada penelitian ini. Alat utama adalah *erlenmeyer*, *shaker*, dan botol sampel. Pemeriksaan hasil penelitian menggunakan *spektrofotometer*.

2.2. Proses Aktivasi Zeolit Alam

Zeolit alam yang diambil dari lokasi wilayah Ujung Puncu (Aceh Besar) dibersihkan dari kotoran tanah dan lumut. Ukuran zeolit alam dikecilkan dengan palu *stainless steel* dan dihaluskan dengan *ball mill*. Zeolit halus dipisahkan dengan ayakan lengser sehingga didapat butiran berukuran 40, 60, 80, dan 100 mesh. Penentuan temperatur kalsinasi merujuk pada penelitian yang telah dilaporkan oleh Nasrun (2012). Zeolit alam aktif disiapkan dengan cara kalsinasi pada suhu 450°C selama 4 jam. Butiran zeolit alam didinginkan sampai suhu kamar selanjutnya direndam dalam HCl 0,1 N sambil diaduk selama 3 jam. Zeolit alam disaring dan dibilas dengan aquades serta dikeringkan dalam oven pada suhu 100 - 110°C selama 1 jam.

2.3. Proses Adsorpsi

Sebanyak 10 gram butiran zeolit alam aktif dimasukkan ke dalam reaktor berukuran 500 ml (Gambar 1). Sejumlah 250 ml larutan sampel dituangkan ke dalam reaktor yang berisi zeolit alam aktif. Reaktor diletakkan di atas alat penggetar (*shaker*) untuk pengadukan. Pemeriksaan kadar besi dalam sampel dilakukan ketika adsorpsi telah berlangsung selama 20 menit. Perlakuan yang sama dikerjakan untuk percobaan dengan zeolit alam tidak aktif dan sampel air tanah.



Gambar 1. Diagram alir proses adsorpsi

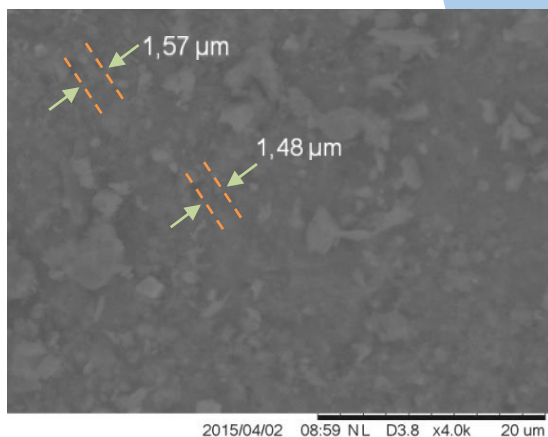
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Penyiapan Sampel

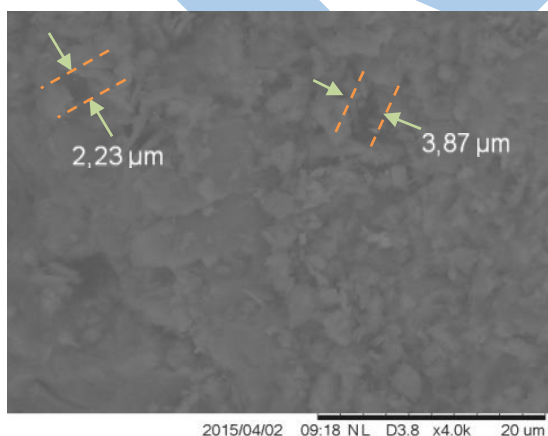
Konsentrasi logam besi dalam air Desa Alue Penyareng tanah hasil pemeriksaan dengan peralatan spektrofotometer memberikan angka 1,1206 mg/l. Kadar larutan buatan yang disiapkan untuk penelitian ini lebih tinggi dari pada konsentrasi air tanah sampel yakni 1,25 mg/l. Konsentrasi tersebut mendekati keadaan sebenarnya.

3.2. Karakterisasi Zeolit Alam

Karakterisasi bahan penyerap dimaksudkan untuk pengamatan sifat fisik zeolit alam Banda Aceh terutama dimensi lubang pori adsorben. Hasil foto *scanning electron microscopy* di JTM Fakultas Teknik Unsyiah memperlihatkan pori bahan seperti ditunjukkan Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Morfologi zeolit alam Banda Aceh sebelum aktivasi



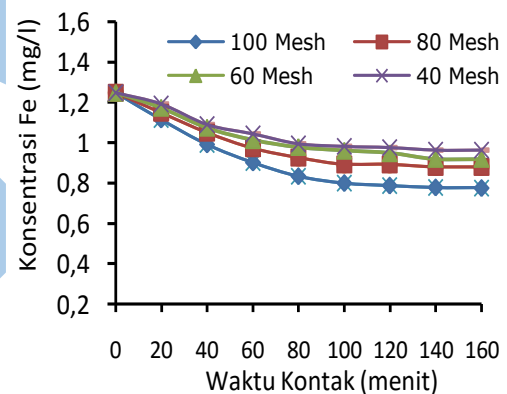
Gambar 3. Morfologi zeolit alam Banda Aceh setelah aktivasi

Gambar 2 menginformasikan diameter pori zeolit alam yang belum diaktivasi berukuran sekitar 1,48 µm sampai dengan 1,57 µm.

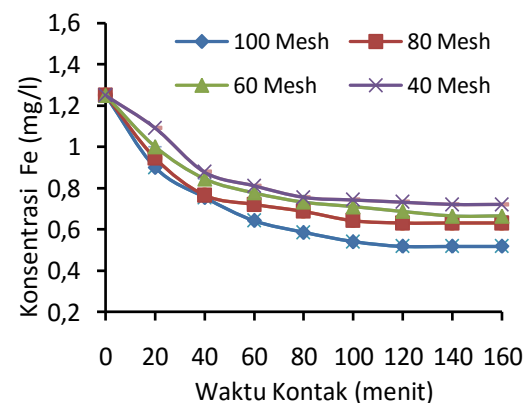
Setelah diaktivasi maka ukuran pori zeolit alam bertambah besar menjadi 2,23 µm hingga 3,87 µm. Aktivasi menaikkan diameter pori rata-rata sebesar 208%. Akibat aktivasi terjadi kenaikan diameter pori rata-rata sebesar 208%. Zeolit alam aktif terlihat lebih bersih dibandingkan dengan adsorben yang belum diaktivasi. Kenaikan diameter pori zeolit alam aktif dapat terjadi akibat impuritis yang ada di dalam butiran telah meninggalkan rongga adsorben sesudah direndam dengan asam klorida dan dibilas dengan aquades.

3.3. Konsentrasi Fe Hasil Adsorpsi Zeolit Alam dan Zeolit Aktif

Analisis kadar Fe dalam sampel air hasil penyerapan dengan zeolite dilakukan setiap 20 menit waktu operasi. Proses penyerapan dengan zeolit alam yang tidak diaktivasi memperlihatkan model kurva seperti diilustrasikan pada Gambar 4. Keadaan kesetimbangan baru dapat tercapai pada saat proses adsorpsi telah berlangsung 160 menit. Kadar logam besi tersisa setelah adsorpsi dengan zeolit alam 100 mesh sebesar 0,7772 mg/l.



Gambar 4. Kadar Fe setelah adsorpsi dengan berbagai ukuran zeolit alam



Gambar 5. Kadar Fe setelah adsorpsi dengan berbagai ukuran zeolit alam aktif

Konsentrasi sampel hasil adsorpsi dengan adsorben 80 mesh yang tidak diaktivasi adalah 0,8810 mg/l. Sebanyak 0,9200 mg/l logam besi masih tersisa setelah penyerapan dengan zeolit alam berukuran 60 mesh dan kadar Fe hasil adsorpsi dengan adsorben 40 mesh adalah 0,9643 mg/l. Pengamatan konsentrasi logam besi pada penyerapan larutan sampel artifisial dengan berbagai ukuran partikel zeolit alam aktif dilakukan setiap waktu pengamatan 20 menit. Hasil pemeriksaan konsentrasi logam besi dalam sampel dengan menggunakan alat *spectrofotometer* pada berbagai variasi ukuran partikel zeolit alam aktif dapat dilihat pada Gambar 5.

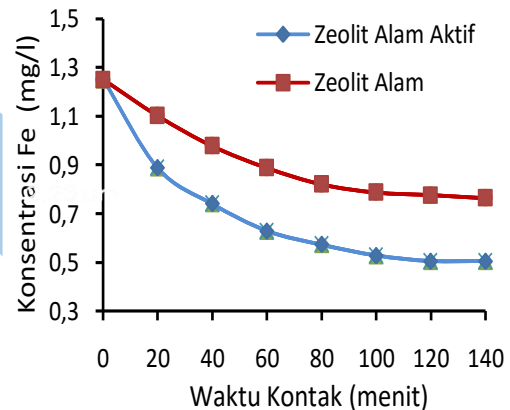
Gambar 5 menjelaskan bahwa pada awal berlangsungnya proses adsorpsi terjadi penurunan konsentrasi logam besi dalam larutan sampel secara signifikan. Penurunan konsentrasi logam besi semakin mengecil pada saat proses telah berlangsung 60 menit karena adsorben sudah mulai jenuh. Semakin lama proses berlangsung maka semakin kecil konsentrasi logam besi yang tersisa dalam larutan. Ketika proses adsorpsi telah berlangsung 120 menit, tidak terjadi perubahan kadar logam besi dalam sampel hasil penyerapan dengan zeolit alam aktif yang berukuran 100 dan 80 mesh.

Pada proses adsorpsi dengan zeolit alam berukuran 60 dan 40 mesh saat berlangsung selama 140 menit, diperoleh informasi bahwa kadar logam besi dalam larutan sampel menunjukkan tidak terjadi perubahan. Memperhatikan kadar sampel hasil penyerapan dengan berbagai dimensi partikel zeolit alam aktif, dapat dinyatakan bahwa penurunan kadar logam besi terbesar diperoleh pada adsorpsi dengan bahan penyerap berukuran 100 mesh. Kehilangan logam besi pada adsorpsi dengan zeolit alam berukuran partikel 100 mesh sebesar 0,7312 mg/l atau konsentrasi hasil adsorpsi senilai 0,5188 mg/l. Proses adsorpsi dihentikan tatkala telah mencapai keadaan kesetimbangan.

3.4. Pengaruh Perlakuan Zeolit Alam

Memperhatikan konsentrasi logam besi hasil proses adsorpsi dengan zeolit alam yang tidak diaktivasi dan penyerapan oleh adsorben aktif diperoleh informasi bahwa kadar logam besi sisa penyerapan dengan adsorben aktif lebih kecil daripada hasil penyerapan oleh bahan penyerap yang tidak diaktivasi seperti terlihat pada Gambar 6. Komparasi tersebut diambil dari hasil penyerapan dengan adsorben berukuran 100

mesh saja karena pada dimensi tersebut memberi hasil maksimum. Pengamatan hanya dilakukan hingga proses adsorpsi berlangsung 120 menit karena penyerapan dengan zeolit alam aktif telah mencapai kesetimbangan. Gambar 6 menjelaskan bahwa adsorben dengan zeolit alam yang tidak diaktivasi menyisakan logam besi sebesar 0,7645 mg/l. Zeolit alam aktif dapat menghilangkan kadar logam besi hingga tersisa 0,5059 mg/l.



Gambar 6. Pengaruh perlakuan zeolit alam terhadap removal Fe dalam sampel

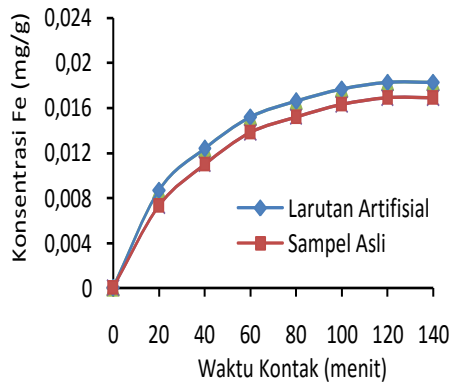
Aktivasi zeolit alam dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi hingga 151%. Untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi perlu dilakukan aktivasi baik secara fisika maupun dengan metode kimia. Pada penelitian ini dilakukan aktivasi secara fisika dan kimia. Kemampuan penyerapan zeolit alam dapat meningkat dengan cara aktivasi (Emelda dkk., 2013).

3.5. Kemampuan Adsorben Menyisihkan Logam Besi dalam Sampel Artifisial dan Air Tanah

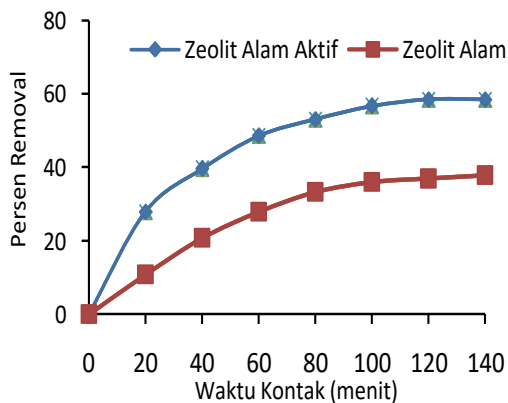
Untuk mengamati kemampuan penyerapan yang dimiliki zeolit alam aktif, dilakukan adsorpsi dengan bahan penyerap berukuran 100 mesh terhadap sampel asli berkadar 1,1206 mg/l dan larutan artifisial dengan kadar 1,25 mg/l. Kapasitas adsorpsi adsorben terhadap sampel asli sebesar 0,0169 mg/g, sedangkan jumlah logam besi yang terserap dari larutan sampel buatan adalah 0,0183 mg/g. Kadar logam besi tersisa dari sampel asli adalah 0,4446 mg/l. Kadar logam besi sisa dalam sampel artifisial sebesar 0,5059 mg/l.

Gambar 7 menjelaskan bahwa kemampuan adsorpsi yang dimiliki zeolit aktif untuk menyisihkan logam besi dalam sampel asli lebih kecil dari kapasitas penyerapan

terhadap larutan sampel buatan. Hal ini disebabkan di dalam sampel asli masih banyak terdapat zat pengotor dan molekul terlarut lainnya yang mengisi lubang pori bahan penyerap dan menghambat proses penyerapan (Said dkk., 2008). Peristiwa adsorpsi logam besi dengan zeolit alam berlangsung secara kimia, dapat balik, dan pada lapisan tunggal.



Gambar 7. Kemampuan adsorpsi zeolit alam terhadap sampel asli dan buatan



Gambar 8. Persen removal Fe hasil adsorpsi oleh zeolit alam aktif dan alami

3.6. Persen Removal

Pengamatan persen removal logam besi oleh zeolit alam aktif dan yang tidak diaktivasi ditinjau pada hasil adsorpsi dengan adsorben berukuran 100 mesh. Gambar 8 menginformasikan bahwa persen removal logam besi hasil adsorpsi dengan zeolit alam aktif lebih banyak dibandingkan dengan adsorben yang tidak diaktivasi. Hal ini disebabkan luas permukaan kontak antara sampel dengan zeolit alam aktif meningkat karena aktivasi. Said dkk. (2008) menjelaskan bahwa aktivasi zeolit dapat meningkatkan rasio silikon terhadap aluminium menjadi besar. Nasrun (2012) menginformasikan bahwa

peningkatan rasio silikon terhadap aluminium sebesar 15% akibat aktivasi dengan kalsinasi dan perendaman dengan asam klorida.

Persen removal logam besi hasil adsorpsi dengan zeolit alam aktif sebesar 58,50%. Persen removal Fe setelah dilakukan penyerapan dengan zeolit alam yang tidak diaktivasi adalah 37,81%. Kenaikan tingkat penghilangan logam besi karena aktivasi sebesar 20,69%.

4. Kesimpulan

Aktivasi zeolit alam Banda Aceh dapat menaikkan diameter pori hingga 20,8% karena telah tersusut zat pengotor yang berada di dalam zeolit alam. Semakin lama proses berlangsung maka semakin kecil kadar logam besi yang tersisa. Ketika adsorpsi setelah proses berjalan 120 menit, tidak terjadi perubahan kadar logam besi dalam sampel hasil penyerapan dengan zeolit alam berukuran 100 dan 80 mesh. Kadar logam besi tersisa setelah adsorpsi dengan zeolit alam 100 mesh sebesar 0,7772 mg/l. Aktivasi bahan penyerap dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi zeolit alam hingga 154,72%. Kemampuan adsorpsi yang dimiliki zeolit aktif untuk menyisihkan logam besi dalam sampel asli lebih kecil dari kapasitas penyerapan terhadap larutan sampel buatan. Kualitas larutan sampel buatan dan air tanah yang diserap tidak dapat memenuhi standar baku mutu air minum. Kenaikan tingkat penghilangan logam besi karena aktivasi sebesar 20,69%. Persen removal logam besi hasil adsorpsi dengan zeolit alam aktif sebesar 58,50% dan 37,81% Fe tersisih karena penyerapan dengan zeolit alam yang tidak diaktivasi.

Daftar Pustaka

- Emelda, L., Putri, S.M., Ginting, S. (2013) Pemanfaatan zeolit alam teraktivasi untuk adsorpsi logam Krom (Cr^{3+}), *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 9(4), 166 - 172.
- Erdem, E., Karapinar, N., Donat, R. (2004) The removal of heavy metal cations by natural zeolites, *Journal of Colloid and Interface Science*, 280, 309 - 314.
- Fergueirodo, H., Quntelas, C. (2014) Tailored zeolites for removal of metal oxyanion: Overcoming intrinsic limitation of zeolites, *Journal of Hazardous Materials*, 274, 287 - 299

- Motsi, T., Rowson, N.A., Simmons, M.J.H. (2011) Kinetic studies of the removal of heavy metals from acid mine drainage natural zeolite, *International Journal of Mineral Processing*, 101, 42 - 49.
- Nasrun, Wirjosentono, B., Herawan, T. (2012) Peningkatan performansi membran selulosa asetat dengan zeolit alam Ujong Pancu pada dehidrasi etanol secara pervaporasi, *Prosiding SEMIRATA BKS-PTN MIPA Unimed*, Medan, 23 Februari.
- Nazarenko, O., Zarubina, R. (2013) Applications of sakhaptinsk zeolite for improving the quality of ground water, *Energy and Environmental Engineering*, 1, 68 - 73.
- PerMenkes RI Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tanggal 19 April 2010, Persyaratan Kualitas Air Minum. Jakarta.
- Poerwadio, A.D., Masduki, A. (2004) Penurunan kadar besi oleh media zeolit alam Ponorogo secara continue, *Jurnal Purifikasi*, 5(4), 169 - 174.
- Rahman, A., Hartono, B. (2004) Penyaringan air tanah dengan zeolit alami untuk menurunkan kadar besi dan mangan, *Makara Kesehatan*, 8(1), 1 - 6.
- Said, M., Prawati, A.W., Murenda, E. (2008) Aktivasi zeolit alam sebagai adsorben pada adsorpsi larutan iodium, *Jurnal Teknik Kimia*, 15(4), 50 - 56.
- Suseno, H.P. (2011) Model adsorpsi Mn^{2+} , Cd^{2+} dan Hg^{2+} dalam sistem air-sedimen di sepanjang sungai Code Yogyakarta, *Jurnal Teknologi*, 4(2), 174 - 179.
- Barlokova, D. Ilavsky, J. (2010) Removal of iron and manganese from water using filtration by natural materials, *Polish Journal of Environmental Studies*, 19 (6), 1117-1122.

Vol. 10, No. 3, Juni 2015

ISSN: 1412-5064 (cetak), 2356-1661 (online)

Jurnal

Rekayasa Kimia & Lingkungan

(Journal of Chemical Engineering and Environment)

Indek Penulis

Achyar Rasyidi, 121
Arikasuci Fitonnah Ridasepri, 127
Asri Gani, 106
Drastinawati, 99
Febrina Dwi Putri, 99
Fikri Hasfita, 121
Hasni, 142
Isdawani Is, 106
Khoirina Dwi Nugrahaningtyas, 127
M. Nizar Machmad, 135
Nasrul Arahman, 142
Natsuki Kishizawa, 112
Rahmat Jaya Eka Syahputra, 127
Sri Mulyati, 142
Takayuki Matsuo, 112
Toshihiko Matsuto, 112
Tri Utamai, 127
Widy Astuti, 127
Yasumasa Tojo, 112
Zuchra Helwani, 99
Zulkarnain Jalil, 135

Vol. 10, No. 3, Juni 2015

ISSN: 1412-5064 (cetak), 2356-1661 (online)

Jurnal

Rekayasa Kimia & Lingkungan

(Journal of Chemical Engineering and Environment)

Indek Subjek

Acetaldehyde, 121
Adsorption, 106,142
Adsorption capacity, 106
Advanced Oxydation process, 121
Biodiesel, 99
CaO, 99
Catalyst, 127
Catalyst $\text{MoO}_3/\text{SiO}_2$, 121
Ceramic, 135
Coal, 106
Composite, 135
Clay, 135
 Fe_3O_4 , 135
Fe removal, 142
Gas ventilation pipe, 112
Kaolin, 106
Natural convection, 112
Natural Zeolite, 142
Off-grade palm oil, 99
Oxidation of ethanol, 121
Pb, 106
Response surface methodology, 99
Rice husk ash (RHA), 135
Reforming, 127
Roof-tile fragments, 127
Rsm, 99
Semi-aerobic landfill, 112
Simulation, 112
 SO_2 , 106
Spectrophotometer, 142
Trace metal, 106
Transesterification, 99
Waste stabilization, 112
XRD, 127, 135

Petunjuk Penulisan Artikel Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan

Tentang Jurnal

Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan (RKL) diterbitkan oleh Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala. RKL terbit dalam versi cetak (ISSN. 1412-5064) dan versi online (e-ISSN. 2356-1661). Versi cetak jurnal RKL telah terbit sejak tahun 2004. Sedangkan versi online, RKL dipublikasikan mulai sejak tahun 2006. RKL adalah jurnal open akses dengan pelibatan mitra bestari (peer-reviewed). RKL telah diindeks oleh Indonesian Publication Index (IPI) dan Google Scholar. Jurnal RKL terbit dua kali pertahun yaitu setiap bulan Juni dan Desember

Naskah yang ingin dipublikasikan pada RKL harus merupakan naskah asli hasil penelitian dan juga naskah hasil studi literature yang memiliki kontribusi dan aplikasi dengan bidang yang berkaitan dengan ilmu teknik kimia dan teknik lingkungan. RKL menerima kontribusi berupa hasil penelitian, review artikel, atau studi kasus yang belum pernah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah lain

Naskah

Naskah yang diterima merupakan hasil penelitian, review artikel, atau studi kasus yang belum pernah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah lain maupun sedang dipertimbangkan penerbitannya di jurnal lain. Bagi naskah yang telah pernah dipresentasikan pada seminar, harap mencantumkan nama seminar, lokasi dan waktunya pada catatan kaki.

Fokus dan ruang lingkup

Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan adalah jurnal open akses, yang menerbitkan paper berkaitan dengan ilmu teknik kimia dan teknik lingkungan. Topik-topik yang berhubungan dengan kedua ilmu tersebut adalah:

- Food and Biochemical Engineering
- Catalytic Reaction Engineering
- Clean Energy Technology
- Environmental and Safety Technology
- Fundamental of Chemical Engineering and Applied Industry
- Industrial Chemical Engineering
- Material Science and Engineering
- Process and Control Engineering
- Polymer and Petrochemical Technology
- Membrane Technology
- Agro Industrial Technology
- Separation and Purification Technology
- Environmental Modeling
- Environment and Information Sciences
- Water/Waste Water treatment and Management
- Material Flow Analyses
- Clean Development Mechanism

Bahasa.

Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris.

Format.

1. Naskah terdiri dari Judul, Nama Penulis, Abstrak, Kata Kunci, Pendahuluan, Metodologi, Hasil dan Pembahasan, Kesimpulan, Ucapan Terima Kasih (bila diperlukan), Notasi (bila diperlukan), dan Daftar Pustaka.
2. Naskah diketik dengan Microsoft Word versi 6.0 (atau versi lebih tinggi) pada kertas A4 (210mm x 297 mm) dalam bentuk ketikan 1 spasi, dengan huruf Verdana 9 pitch. Untuk abstrak, keterangan tabel dan keterangan gambar menggunakan font Verdana ukuran 8 pitch.
3. Petunjuk ukuran font untuk setiap bagian dapat diikuti lebih detail pada template jurnal.
4. Halaman kertas diset dengan margin kiri 3 cm, margin kanan 2,5 cm, margin atas 3,3 cm dan margin bawah 2,5 cm. Untuk bagian judul, nama penulis, afiliasi, dan abstrak dalam bentuk satu kolom dengan jarak antar kolom 1 cm. Untuk bagian pendahuluan sampai daftar pustaka dalam bentuk satu kolom.
5. Penggunaan satuan SI sangat diharapkan. Rumus-rumus Kimia dan matematika diberikan nomor (1), (2), dan seterusnya.

Keterangan Naskah

Judul. Tidak lebih 20 kata ditulis dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris, serta harus jelas dan informatif. Ditulis dengan huruf Verdana 2 pitch (bold untuk judul bahasa Indonesia, dan plain/regular untuk bahasa Inggris).

Nama Penulis. Ditulis lengkap tanpa gelar, disertai nama dan alamat instansi tempat penulis bekerja serta alamat e-mail .

Abstrak. Ditulis dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris dan tidak melebihi dari 250 kata. Abstrak merupakan ringkasan naskah dengan memuat uraian dan hasil penelitian secara ringkas, tanpa opini penulis.

Kata Kunci. Ditulis dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris, sebanyak-banyaknya 5 buah dan dicantumkan dibawah abstrak.

Gambar, Grafik, dan Tabel harus diberi nomor secara berurutan sesuai dengan urutan pemunculannya dan diserahkan dalam bentuk siap cetak (siap dilayout) pada halaman tulisan (pada draft). Setiap gambar dan tabel diberi keterangan singkat yang diletakkan di bawah untuk gambar dan di atas untuk tabel. Gambar berupa foto dikirim dalam bentuk asli. Jika gambar atau tabel dikutip, sumbernya disebutkan sesuai dengan Daftar Pustaka. Tabel diketik satu spasi dan garis pembatas vertical tidak digunakan. Ukuran maksimum gambar tidak melebihi 10 x 15 cm.

Daftar Pustaka. Menggunakan acuan pustaka primer mutakhir 5 tahun terakhir minimal 80%. Cara mengacu ke daftar acuan dilakukan dengan menuliskan nama penulis pertama dan tahun penerbitan di dalam kurung, misalnya (Ahmad dkk., 1999) untuk penulis lebih dari dua orang, atau (Leder, Bruno, 2000) untuk penulis dua orang. Penulisan daftar pustaka harus memuat semua nama penulis. Judul harus lengkap. Daftar pustaka disusun ke bawah menurut abjad nama akhir penulis pertama.

Daftar pustaka dari suatu jurnal ilmiah ditulis:

Wang, S., Zhang, Y., Chen, T., Wang, G. (2015) Preparation and catalytic property of MoO₃/SiO₂ for disproportionation of methyl phenyl carbonate, Journal of Molecular Catalysis: A Chemical, 398, 248-254.

Zhang, H., Yao, G., Wang, L., Su, Y., Yang, W., Lin, Y. (2015) 3D Pt/MoO₃ nanocatalysts fabricated for effective electrocatalytic oxidation of alcohol, Applied Surface Science, 365, 294-300.

Daftar pustaka dari suatu buku ditulis:

Skelland, A. H. P. (1974) Diffusional Mass Transfer, John Wiley & Sons, New York.

Shinnar, R. (1987), Use of residence and contact time distributions in reactor design, dalam Carberry, J. J., Varma, A. (eds.), Chemical Reaction and Reactor Engineering, Marcel Dekker, New York.

Daftar pustaka dari suatu prosiding ditulis:

Berbner, S., Loffler, F. (1994) Pulse jet cleaning of rigid ceramic barriers filters separating hard and brown coal fly ashes at high temperature, Proceeding of the 11th International Pittsburgh Coal Conference, Pittsburgh.

Daftar pustaka dari suatu tesis/disertasi ditulis:

Riley, R. J. (1987) The magnetically stabilized fluidized bed as a solid/liquid separator, M.S. Thesis, University of Michigan, U.S.A.

Daftar pustaka dari suatu paten ditulis:

Primack, H.S. (1983) Method of Stabilizing Polyvalent Metal Solutions, U.S. Patent No. 4,373,104

Peer Review Process

Naskah yang masuk ke Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan akan direview oleh sedikitnya dua orang reviewer, yang bidangnya sesuai. Reviewer dapat berasal dari kalangan akademisi baik dari dalam maupun luar Universitas Syiah Kuala. Waktu yang diperlukan untuk mereview naskah biasanya adalah satu bulan. Naskah yang masuk akan melalui proses double-blind review

Open Access Policy

Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan dikelola secara open journal system (OJS). Jurnal ini menyediakan akses terbuka (Open Access) secara langsung terhadap semua konten yang ada pada website jurnal. Artinya semua orang baik penulis maupun pembaca dapat mengakses secara gratis semua artikel yang dimuat pada website jurnal RKL.

Semua artikel yang telah dinyatakan diterima setelah melalui proses review dan revisi dinyatakan dinyatakan layak publish baik secara cetak maupun secara online. Artikel akan tersedia pada website secara permanen dalam jangka waktu tertentu. Dengan metode seperti ini diharapkan semua informasi ilmu pengetahuan yang tercantum pada jurnal yaitu berupa hasil penemuan di laboratorium ataupun studi kasus, serta review akan bermanfaat bagi pengembangan ilmu bagi masyarakat.

Copyright Transfer Agreement (CTA)

Naskah yang telah dipublikasikan atau dikirimkan ke jurnal lain tidak dibenarkan untuk dikirimkan ke JRKL. Naskah yang merupakan perbaikan atau pengembangan dari naskah seminar, simposium dan workshop dapat diterbitkan JRKL dengan menyebutkan hal tersebut pada saat pengirimannya. Naskah yang dikirimkan ke JRKL harus bebas dari plagiarism dan self-plagiarism.

Penulis juga perlu mengirimkan dokumen terkait dengan Copyright Transfer Agreement (CTA) Form yang telah ditandatangani (scan copy dari form asli yang telah diisi) bersama dengan naskah yang akan dikirimkan secara online (dalam bentuk file pendukung (supplementary file)). File Copyright Transfer Agreement (CTA) form bisa diunduh di website RKL

Biaya Pemrosesan Artikel

Artikel yang telah dinyatakan layak publikasi pada Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan akan dikenakan biaya publikasi sebesar Rp. 200.000 (Dua ratus ribu rupiah). Biaya tersebut sudah termasuk biaya dua eksemplar jurnal versi cetak. Biaya tersebut dikirim ke rekening a.n. Umi Fathanah, No: 1580000689851 Bank Mandiri kk Unsyiah Cabang Darussalam.

Submission Preparation Checklist

Sebagai bagian dari proses submission, penulis harus mengecek kelengkapan semua persyaratan berikut. Editor berhak mengembalikan artikel jika tidak memenuhi kriteria yang dipersyaratkan sesuai petunjuk.

1. File yang dikirimkan berformat OpenOffice, Microsoft Word.
2. Naskah anda ditulis sesuai dengan template Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan (RKL)
3. Naskah ditulis dengan bahasa Indonesia yang baik dan benar, atau Naskah berbahasa Inggris telah diperiksa tata-bahasa dan ejaannya.
4. Semua penulis sudah membaca naskah dan setuju untuk mempublikasikannya pada Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan
5. Referensi yang diacu merupakan jurnal primer mutakhir setidaknya 80% dari total referensi yang digunakan
6. File gambar dikirim juga secara terpisah dalam format 'jpg', file gambar hasil pengolahan dengan micr excel agar dicopy-paste special. Semua gambar dinamai dengan nomor gambar sesuai yang ada pada naskah. Pastikan gambar anda berkualitas baik, dengan kerapatan piksel besar dari 250 dpi.

Template.

Template penulisan artikel RKL dapat didownload pada website.

Pengiriman Naskah.

Online Submissions

Naskah yang akan diterbitkan oleh Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan (JRKL) harus daftar secara online melalui website jurnal <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/RKL>. Pastikan anda login terlebih untuk melanjutkan proses submit artikel.

Untuk menghindari keterlambatan pemrosesan artikel, naskah disarankan dikirim juga ke email redaksi.

Journal Contact
Mailing Address

JURNAL REKAYASA KIMIA DAN LINGKUNGAN
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh, Provinsi Aceh, 23111
Email: rkl@che.unsyiah.ac.id

Principal Contact
Nasrul Arahman, Dr. S.T., M.T.
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Jl. Tgk. Syech Abdurrauf no. 7, Darussalam,
Banda Aceh, Provinsi Aceh, 23111, Phone: +6285322997268, Fax: +6265152222
nasrular@unsyiah.ac.id

Support Contact

Mirna Rahmah Lubis
Email : mirnarahmahlubis@yahoo.com

Wahyu Rinaldi
Email: wahyu.rinaldi@che.unsyiah.ac.id