

JURNAL ZEOLIT INDONESIA
Journal of Indonesian Zeolites

Vol. 5 No. 2, November, Tahun 2006

ISSN 1411-6723

1. Pengaruh Zeolit pada Litter Lantai Kandang terhadap Performa Ayam Pedaging (**Dede Kardaya dan Niken Ulupi**) 45
2. Karakterisasi Zeolit Alam dengan Metode Difraksi Sinar-X (**Supandi Suminta**) 52
3. Pembuatan Zeolit Alam sebagai Keramik Batu pada Suhu Bakar di Bawah 1000°C (**Dewi Fatimah**) 69
4. Prospek Zeolit sebagai Bahan Penjerap dalam Remediasi Lahan Bekas Tambang (**Suwardi dan Budi Mulyanto**) 76
5. Pemucatan Minyak Kelapa Sawit (CPO) dengan Cara Adsorpsi Menggunakan Zeolit Alam Lampung (**Widi Astuti, Muhammad Amin dan Aprimal**) 85
6. Kinerja Katalis Zeolit Sintetik ZSM-5 – Al₂O₃ dalam Reaksi Perengkahan Minyak Sawit Menjadi Hidrokarbon Fraksi *Gasoline* (**Setiadi dan Benny A. W**) 89

Diterbitkan Oleh:

IKATAN ZEOLIT INDONESIA (IZI)
Indonesian Zeolite Assosiation (IZA)

Alamat Redaksi:

Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor, Indonesia
Telepon. (0251) 629357, Faksimili: (0251) 629357,
HP: 08129674021 email:
suwardi_bogor@yahoo.com

Journal of Indonesian Zeolites

Vol. 5 No. 2, November, Tahun 2006

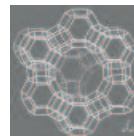
ISSN 1411-6723

Indonesian Zeolite Assosiation (IZA)



JURNAL ZEOLIT INDONESIA

Journal of Indonesian Zeolites



Vol. 5 No. 2, November, Tahun 2006

EDITOR INTERNASIONAL :

Prof. Dr. Alan Dyer DSc. FRCC.
(University of Salford, UK)
Prof. Dr. G.Q. Max Lu

(University of Queensland, Australia)

DEWAN EDITOR :

Dr. Yateman Arryanto
Dr. Siti Amini
Dr. Suwardi
Dr. Supandi Suminta
Ir. Husaini MSc

PELAKSANA EDITOR:

Hesti Nurmayanti
Maesaroh

PIMPINAN REDAKSI/CHIEF

EDITOR:
Dr. Suwardi

ALAMAT REDAKSI/ SECRETARIATE ADDRESS :

Departemen Ilmu Tanah dan
Sumberdaya Lahan, Fakultas
Pertanian, IPB
Jl. Meranti, Kampus IPB
Darmaga, Bogor, Indonesia
Telepon. (0251) 629357,
Faksimili: (0251) 629357,
HP: 08129674021 emails:
suwardi_bogor@yahoo.com

REKENING BANK/ BANK ACCOUNT:

1. BANK NISP Cabang Bogor
No. 586-130-00016-6
2. BCA Cabang Bogor 0950698381

J. Zeolit Indonesia diterbitkan oleh IZI (Ikatan Zeolit Indonesia) setahun dua kali pada bulan Maret dan November, dalam versi bahasa Indonesia yang dilengkapi dengan abstrak berbahasa Indonesia dan Inggris (*abstract*) atau semua ditulis dalam versi English.

Naskah yang diterbitkan dalam Jurnal Zeolit Indonesia (JZI) ini mengandung tulisan ilmiah baik berupa tinjauan, gagasan, analisis, ilmu terapan, teknologi proses dan produksi zeolit, zeotipe atau bahan lain yang terkait dengan nanopori material.

Pengantar Redaksi

Jurnal yang diterbitkan oleh asosiasi seperti Jurnal Zeolit Indonesia ini memperoleh perhatian khusus dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Dirjen Dikti mendorong agar jurnal yang diterbitkan oleh Perguruan Tinggi atau Lembaga Penelitian untuk bergabung satu sama lain menjadi Jurnal Asosiasi. Kami mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah memberikan bantuan dana kepada Jurnal Zeolit Indonesia untuk pengembangan jurnal ini. Kami terus berusaha untuk meningkatkan kualitas jurnal dan mendistribusikannya kepada pembaca yang lebih luas. Terima kasih.

*Salam,
Redaksi*

Editorial

Journals published by association such as Indonesian Zeolite Journal obtain a special attention from Directorate General of Higher Education. Directorate General of Higher Education encourages journals published by universities and research centers for joining one to each other to become Association Journals. We thank Directorate General of Higher Education for the relief fund for improvement of this journal. We endeavor for improvement of the quality and wider distribution of this journal. Thank you.

*Best regards,
Editors*

Catatan Untuk Penulis:

Kontribusi naskah dapat disampaikan kepada Pimpinan Redaksi JZI, disertai lampiran surat pernyataan penulis dan pembantu penulis (jika ada) tentang keabsahan dan persetujuan bahwa isi tulisan tersebut benar-benar merupakan hasil temuan sendiri dan belum pernah dipublikasikan. Naskah yang tidak memenuhi persyaratan yang telah ditentukan Staf Editor, tidak akan dikembalikan. Komunikasi antar Penulis dengan Editor dapat diadakan secara langsung demikian pula komunikasi antara pembaca dengan penulis. Isi dan kebenaran dari makalah di luar tanggung jawab redaksi.

Tata Cara Penulisan Naskah

Naskah yang akan dimuat dalam Jurnal Zeolit Indonesia harus bersifat asli, belum pernah dipublikasikan atau diterbitkan dalam media cetak lain. Naskah ditulis secara ilmiah dan sistematika sesuai dengan panduan berikut:

Judul, Abstrak dengan kata kunci (bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris), **Isi teks** terdiri dari sub judul **Pendahuluan, Bahan dan Metoda eksperimen, Hasil dan bahasan, Kesimpulan, Ucapan Terimakasih** (kalau ada), dan **Daftar Acuan Pustaka**, dan atau Daftar Pustaka (Bibliografi) yang terkait, ditulis dengan huruf kapital Arial 10 tebal.

Format:

Naskah diketik menggunakan *Microsoft Word* atau *pdf.format* dan dicetak pada kertas HVS ukuran A4, dengan batasan sebagai berikut: Margin atas dan margin kiri masing-masing 3,2 cm, margin kanan dan bawah masing-masing 2,6 cm. Jumlah halaman **maksimum 25** halaman termasuk gambar dan tabel.

1. **Judul** ditulis singkat dan informative (huruf kapital, tebal, huruf Arial ukuran 12, di posisi tengah).
2. **Nama penulis** (huruf normal, Arial ukuran 10, di posisi tengah), dengan catatan kaki **Alamat** Penulis yang ditulis di baris terakhir halaman tersebut. **Unit kerja penulis** ditulis di bawah penulis dengan jarak 1 spasi.
3. **Abstrak** (sebagai judul: ditulis dengan huruf Arial kapital 10, tebal, di tengah. Isi abstrak ditulis dengan huruf Arial 9). **Isi abstrak** ditulis dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris. Semua tulisan berbahasa Inggris menggunakan huruf *miring* termasuk judul makalah dalam bahasa Inggris ditulis dengan huruf miring kapital, Arial 9 tebal. Abstrak terdiri dari satu paragraf tunggal dengan jarak baris 2 spasi.
4. **Kata kunci dan key words** ditulis di bawah abstrak masing-masing, dengan huruf dan ukuran sama seperti isi abstrak.
5. **Isi teks** ditulis dengan huruf Arial 10 dengan spasi 2 dan dibagi 2 kolom dengan jarak antar kolom 1 cm. Antar sub-judul dengan baris pertama alinea atau antar alinea diberi jarak spasi-2 menggunakan format **justify**.
6. **Gambar dan Tabel** ditulis menggunakan perangkat lunak yang kompatibel dengan *Microsoft Word*, dicetak dengan huruf **jelas** berkualitas tinggi, dan pada lembar terpisah.
7. Daftar Acuan **Pustaka** ditulis berdasarkan nomor urut di dalam isi teks dengan angka dalam kurung [] dan sesuai dengan nomor daftar acuannya. Cara penulisan pustaka meliputi: Nama semua penulis, Tahun, Judul tulisan, Nama buku atau majalah, Volume, Nomor, dan Nomor halaman.
8. Makalah yang diterima harus dilengkapi dengan disket file dokumennya, dan diserahkan kepada pimpinan redaksi.

Instructions for Authors

Journal of Indonesian Zeolites is the journal providing communication among users, potential users and person otherwise interested in topics such as zeolites and zeotypes microporous and nanoporous materials including reviews, articles, reports characterizations, analyses, modification and synthesizing process technology, its products and their usage, development of materials applications.

Manuscript should contain the original reviews, experimental results or ideas written in English or Indonesian systematically, and it has not been published in any other publications. It contains of **Title, Abstract** with appropriate key words and **Full Text** which cover sub-titles of **Introduction, Experimental methods, Result and Discussion, Conclusion, Acknowledgment** (if it's necessary), **References**, and related **Bibliography**, which are respectively written using bold capital Arial 10 font.

Format:

The manuscript should be written on A4 paper size using the Microsoft Word or pdf format, with the top and left margin of 3.2 cm, and the right and bottom margin of 2.6 cm. The maximum total pages are not exceeded from 25 pages include figures and tables.

1. **Title**, use a brief and informative (Capital Arial-12 bold font, and center)
2. **Authorship**, provide full names of authors and the name of institutions where the work is completed. Use the footnote for the addresses of all authors on the last line of the first full page.
3. **Abstract** as a title is written in Arial 10 capital bold and centre. The contents of abstract is written in normal font Arial 9, containing of a paragraph using a double spaced line.
4. **Key words** written using the same fonts as in Abstract.
5. **Full Text** is written using Arial 10 font and double spacing line with **justify** align with two column format, with column space of 1 cm. Between sub-title and the first line of the paragraph or between paragraphs should use a double spacing line.
6. **Figures and Tables** should be done using the Microsoft Word compatible software, and printed with clearly high quality printing on separated sheets.
7. **Reference** to other work should be numbered consequentially and indicated by superscript number in the text corresponding to that in the reference list. It covers The name of all authors, Title, Name of Book or Journal/Publication, Volume and Number Year (in the bracket) and numbers of pages of publication.
8. The accepted manuscript should be completed with document file and submitted to the Chief Editor.

Pengaruh Zeolit pada Litter Lantai Kandang terhadap Performa Ayam Pedaging

Dede Kardaya¹ dan Niken Ulupi²

¹Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Djuanda Bogor

²Fakultas Peternakan, IPB Bogor

ABSTRAK

Pengaruh penaburan zeolit pada litter lantai kandang terhadap performa ayam pedaging yang dipelihara dengan kepadatan kandang yang berbeda telah diteliti selama 5 minggu. Untuk tujuan ini, digunakan sebanyak 324 ekor anak ayam pedaging umur sehari berstrain Hubbard yang diberi ransum komersial mengandung 3.000-3.100 kkal/kg ME dan 21% protein kasar selama periode starter dan 20% selama periode finisher; tiga taraf kepadatan kandang (10; 12; dan 14 ekor/m²); dan tiga taraf campuran litter dengan zeolit (0,0; 2,5; dan 5,0 kg zeolit/m²) yang dirancang menurut rancangan acak lengkap berfaktor 3 x 3 dengan 3 ulangan. Konsumsi ransum, penambahan bobot hidup, konversi ransum, dan mortalitas telah diamati. Analisis peubah dilakukan melalui sidik ragam dan uji lanjut beda nyata terkecil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi antara kepadatan kandang dan litter berzeolit tidak berpengaruh ($P>0,05$) terhadap semua peubah yang diamati. Kepadatan kandang berpengaruh ($P<0,01$) terhadap konsumsi dan konversi ransum, namun tidak terhadap penambahan bobot hidup dan mortalitas. Penggunaan zeolit dalam litter hanya berpengaruh ($P<0,05$) terhadap konversi ransum. Konversi ransum pada zeolit 5 kg/m² lebih rendah ($P<0,05$) daripada pada zeolit 2,5 kg/m² dan zeolit 0,0 kg/m², sedangkan konversi ransum antara zeolit 2,5 kg/m² dan zeolit 0,0 kg/m² bernilai sama. Disimpulkan bahwa penaburan zeolit sebanyak 5 kg/m² hamparan litter lantai kandang dengan tingkat kepadatan 10, 12, dan 14 ekor ayam/m² mampu memperbaiki konversi ransum ayam pedaging sampai 4,40 persen. Ada indikasi bahwa penaburan zeolit sebanyak 5 kg/m² hamparan litter lantai kandang cenderung memperbaiki kualitas lingkungan kandang, mempertahankan tingkat konsumsi ransum, penambahan bobot hidup, dan mortalitas ayam pedaging.

Kata kunci: Ayam pedaging, litter, konversi ransum, zeolit

ABSTRACT

EFFECTS OF ZEOLITES ON LITTER FLOOR ON PERFORMENT OF BROILER. *Effect of zeolites-spread litters on broiler performances under different floor spaces had been performed in five weeks. As many as 324 chicks of a day-old Hubbard strain were fed rations contained 3,000 – 3,100 Kcal/Kg ME and 21% crude protein during starter period and fed the ration contained 20% crude protein with similar energy during finisher period. The chicks were randomly allocated to three different floor spaces (10, 12, and 14 heads/m²) and three different zeolites spread-litters (0.0, 2.5, and 5.0 kg zeolites/m²) under completely randomized design with factor 3 x 3 and 3 replications. Parameters concerned of present research including feed intake, live weight gain, and mortality rate were analyzed with analysis of variance and least significant different. Results of the present research showed that there was no interaction effect between floor spaces and zeolites spread litters on all parameters concerned. Floor spaces affected both feed intake and feed conversion significantly ($P<0.01$) but neither did live weight gain nor mortality rate. The zeolites-spread litters affected feed conversion significantly ($P<0.05$). Spreading zeolites at rates of 5.0 kg/m² on litter floor resulted in the lowest feed conversion ($P<0.05$). It was concluded that the only significantly improved by spreading zeolites at rates of 5.0 kg/m² on litter floor was the feed conversion. It was an indication that spreading zeolites on litter floor tended to improve environmental quality of broiler barn, maintain both*

feed intake and live weight gain, and decrease mortality rate of broilers raised under higher floor spaces.

Key words: *Feed conversion, litter, broiler, zeolites.*

PENDAHULUAN

Salah satu strategi usaha peternakan di daerah padat penduduk adalah meminimumkan penggunaan lahan dan mengoptimalkan produksi ternak. Strategi ini telah banyak diadopsi oleh para peternak ayam pedaging yang lebih menyukai kepadatan kandang tinggi karena alasan keterbatasan lahan dan tingginya biaya kandang [1]. Namun praktek ini sering menimbulkan dampak negatif baik terhadap produksi ternak maupun terhadap kualitas lingkungan kandang. Lebih daripada itu, kandang sistem litter yang banyak diadopsi oleh para peternak ayam pedaging sering menambah dampak tadi karena ayam langsung kontak dengan feses yang berakumulasi pada litter yang menjadi basah dan bau, sehingga menimbulkan rasa tidak nyaman dan gangguan pernafasan yang pada akhirnya bermuara pada penurunan performa ayam pedaging.

Penurunan kualitas kandang di atas dapat ditekan dengan penaburan zeolit pada litter. Hal ini karena zeolit dapat berperan sebagai penyerap (*absorbent*), pengering (*desiccant*), dan penukar kation [2,3,4,5,6]. Karena sifat-sifatnya ini maka zeolit dapat menyerap air, gas, dan mengikat amoniak sehingga diharapkan dapat memperbaiki kualitas lingkungan kandang yang pada akhirnya memperbaiki performa ayam pedaging. Pada penelitian terdahulu [7], penaburan zeolit pada litter lantai kandang ayam pedaging belum berhasil secara nyata menurunkan kelembapan dan kadar amoniak litter sehingga belum dapat mengurangi polusi kandang. Penelitian ini bertujuan untuk mengungkapkan pengaruh penaburan zeolit pada litter terhadap performa ayam pedaging pada tingkat kepadatan kandang yang berbeda.

BAHAN DAN METODE

Sebanyak 324 ekor anak ayam pedaging umur sehari berstrain Hubbard ditempatkan secara acak pada 27 petak kandang berdasarkan rancangan acak lengkap (RAL) pola faktorial 3 x 3 dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah kepadatan kandang (K) yang terdiri dari tiga taraf (10, 12, dan 14 ekor/m²) dan faktor kedua adalah litter berzeolit (Z) yang terdiri dari tiga taraf (0,0; 2,5; dan 5,0 kg zeolit/m²). Setiap satuan percobaan diulang tiga kali.

Anak ayam diberi ransum starter (21% protein kasar; 3.000-3.100 kkal/kg ME) sampai umur 4 minggu, kemudian diberi ransum finisher (20% protein kasar dengan energi yang sama) sampai umur 5 minggu. Baik ransum maupun air minum diberikan *ad libitum*. Pada hari ke-21 penelitian, zeolit berukuran 60 - 70 mesh ditaburkan pada litter sesuai dengan dosis perlakuan.

Peubah yang diukur meliputi konsumsi ransum, penambahan bobot hidup, konversi ransum, dan mortalitas. Selain itu, diamati pula suhu dan kelembapan kandang pada pagi, siang, dan sore hari. Data yang berhasil dihimpun dianalisis melalui sidik ragam dan uji lanjut beda nyata terkecil apabila analisis sebelumnya menunjukkan perbedaan nyata. Data dalam unit persen (%) sebelum dianalisis ditransformasikan ke dalam Arc sinus [8].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu dan Kelembapan Kandang

Rataan suhu udara dalam kandang pada kepadatan 10, 12, dan 14 ekor/m² berturut-turut adalah 28,07; 28,27; dan 28,47 °C dan kelembapannya adalah 77,73; 77,95; dan 78,04 persen. Walaupun data ini tidak memperlihatkan tingkat keragaman tinggi, namun tampak ada kecenderungan peningkatan suhu dan kelembapan udara kandang dengan semakin meningkatnya

tingkat kepadatan kandang. Sinyalemen ini selain karena jumlah ayam meningkat per satuan luas, juga bobot hidup ayam semakin meningkat dengan bertambahnya umur (untuk kasus ini dari 1 hari - 35 hari) sehingga konsumsi ransum pun meningkat. Akibatnya, panas hasil metabolisme tubuh pun meningkat sehingga perlu dikeluarkan dari tubuh, antara lain melalui pernafasan (*panting*), feses dan urine.

Suhu kandang berlantai litter-zeolit dengan dosis 0,0; 2,5; dan 5,0 kg zeolit/m² berurutan adalah 28,73; 28,55; dan 28,43^oC sedangkan suhu litternya berturut-turut adalah 32,89; 32,69; dan 32,65^oC. Kecenderungan penurunan suhu akibat penaburan zeolit ini selaras dengan temuan Pattiselano dan Randa [9] yang menggunakan 300g zeolit/0,25m² hamparan litter. Namun, penggunaan zeolit sebagai suplemen ransum dengan dosis 7,5 – 10% secara nyata menurunkan suhu litter [10].

Kelembapan udara kandang untuk dosis zeolit di atas, berturut-turut adalah 84,21; 83,52; dan 82,87%. Data ini memperlihatkan kecenderungan bahwa semakin tinggi tingkat penggunaan zeolit dalam litter, maka baik suhu maupun kelembapan udara kandang cenderung kian menurun. Ini terjadi karena peran zeolit sebagai penyerap dan juga sebagai pengering [6]. Panas tubuh yang dikeluarkan ayam melalui pernafasan, urin dan feses diserap oleh zeolit yang ditaburkan pada litter sehingga litter menjadi kering dan tidak berbau, memberikan suasana nyaman bagi ayam. Penelitian ini mengindikasikan bahwa kemangkusan zeolit dalam memperbaiki lingkungan kandang lebih mangkus untuk menurunkan kelembapan daripada suhu. Hasil penelitian ini selaras dengan temuan Pattiselano dan Randa [9], bahwa penaburan 300 g zeolit/0,25m² hamparan litter dengan tiga kali penaburan secara nyata dapat menurunkan kelembapan litter ($P < 0,05$), namun tidak berpengaruh nyata terhadap suhu kandang dan suhu litter

($P > 0,05$) walaupun suhu keduanya cenderung menurun.

Konsumsi Ransum

Rataan konsumsi ransum per ekor ayam selama 5 minggu yang dipelihara dengan tingkat kepadatan dan taraf penaburan zeolit-litter yang berlainan, disajikan pada Tabel 1. Konsumsi ransum tidak dipengaruhi secara nyata oleh interaksi antara tingkat kepadatan kandang dengan taraf zeolit, begitu pula oleh taraf pemberian zeolit, namun sangat nyata dipengaruhi oleh tingkat kepadatan kandang ($P < 0,01$). Konsumsi ransum pada kepadatan kandang 12 ekor/m² lebih tinggi ($P < 0,05$) daripada konsumsi ransum pada kepadatan 10 dan 14 ekor/m². Hasil ini mengherankan karena secara logika konsumsi pada kepadatan 14 ekor/m² harus lebih rendah, sesuai dengan pendapat North [11] bahwa konsumsi ransum menurun dengan meningkatnya kepadatan dan menurut Reece *et al.* [12] dengan meningkatnya suhu. Hal ini diduga terjadi akibat ayam-ayam yang diteliti tidak dibedakan jenis kelaminnya sehingga ayam yang terpilih acak pada kepadatan 12 ekor/m², ternyata lebih banyak yang berkelamin jantan, sehingga konsumsinya pun menjadi lebih tinggi.

Penggunaan zeolit dalam litter tidak berpengaruh nyata terhadap konsumsi ransum ($P < 0,05$). Dengan kata lain, kemangkusan zeolit dalam mengantisipasi pengaruh negatif dari tingkat kepadatan tinggi melalui perannya dalam memperbaiki lingkungan kandang, belum tampak secara nyata terhadap konsumsi ransum. Temuan serupa juga diperoleh pada babi yang mengkonsumsi ransum berzeolit [13].

Pertambahan Bobot Hidup

Rataan pertambahan bobot hidup per ekor sampai umur 5 minggu, disajikan pada Tabel 2. Pertambahan bobot hidup tidak dipengaruhi ($P > 0,05$) oleh interaksi tingkat

kepadatan kandang dan taraf zeolit, tingkat kepadatan kandang, atau taraf zeolit. Kecenderungan peningkatan pertambahan bobot hidup ayam pedaging seiring dengan peningkatan taraf zeolit mengindikasikan adanya perbaikan kualitas lingkungan

kandang oleh zeolit walaupun belum mencapai perbaikan secara nyata ($P>0.05$). Hasil ini pun tidak menegaskan secara nyata peran zeolit dalam memperbaiki kualitas lingkungan kandang seperti telah diungkapkan sebelumnya

Tabel 1. Rataan konsumsi ransum kumulatif umur hari sampai 5 minggu

Taraf Zeolit (kg/m ²)	Kepadatan Kandang (ekor/m ²)			Rataan
	10	12	14	
----- gram/ekor -----				
0,0	2.505,00	2.597,22	2.564,29	2.555,50 ^a
2,5	2.458,32	2.605,56	2.496,43	2.520,11 ^a
5,0	2.488,33	2.675,00	2.489,29	2.550,87 ^a
Rataan	2.483,89 ^a	2.655,93 ^b	2.516,67 ^a	2.552,16

Keterangan: Superskrip berbeda pada kolom dan baris yang sama, berbeda nyata ($P<0,05$).

Tabel 2. Rataan pertambahan bobot hidup dari umur 1 hari sampai 5 minggu

Taraf zeolit (kg/m ²)	Kepadatan kandang (ekor/m ²)			Rataan
	10	12	14	
----- gram/ekor -----				
0,0	1.409,67	1.426,39	1.428,33	1.421.80 ^a
2,5	1.455,33	1.456,39	1.410,71	1.440,81 ^a
5,0	1.498,33	1.493,03	1.443,03	1.478,22 ^a
Rataan	1.454,44 ^a	1.458,60 ^a	1.416,33 ^a	1.443,12

Keterangan: Superskrip sama pada kolom atau baris yang sama, tidak berbeda nyata ($P>0,05$).

Tabel 3. Rataan konversi ransum ayam dari umur 1 hari sampai 5 minggu

Taraf zeolit (kg/m ²)	Kepadatan kandang (ekor/m ²)			Rataan
	10	12	14	
----- gram/ekor -----				
0,0	1,78	1,82	1,80	1,80 ^a
2,5	1,69	1,81	1,71	1,74 ^a
5,0	1,66	1,79	1,72	1,72 ^b
Rataan	1,71 ^a	1,81 ^b	1,74 ^{ab}	1,75

Keterangan: Superskrip berbeda pada kolom dan baris yang sama, berbeda nyata ($P<0,05$).

Tingkat kepadatan kandang untuk Indonesia, yang direkomendasikan oleh Creswell dan Hardjosworo [14] adalah 10 ekor/m², sedangkan Rasyaf [15] merekomendasikan kepadatan 8 – 9 ekor/m² untuk dataran rendah dan 11 – 12 ekor/m² untuk dataran tinggi. Namun pada penelitian ini, peningkatan kepadatan kandang sampai 14 ekor/m² masih belum menekan secara nyata laju pertumbuhan ayam pedaging ($P>0,05$) walaupun ada indikasi kecenderungan penurunan pertambahan bobot hidup pada kepadatan 14 ekor/m².

Dengan meningkatnya tingkat kepadatan kandang, pertumbuhan akan tertekan¹¹. Hal ini karena tingkat kepadatan kandang tinggi berdampak pada peningkatan residu feses sehingga litter bertambah basah dan bau yang ditimbulkan oleh amoniak dan hidrogen sulfida hasil fermentasi mikroba dalam feses [16,17]. Tingkat konsumsi dan pertumbuhan ayam pedaging menurun pada kadar amoniak yang mencapai 50 – 75 ppm [18], bahkan kadar amonia 50 ppm dapat menekan pertambahan bobot hidup ayam pedaging sampai 12 persen [12]. Berbeda dengan hasil penelitian pada ayam broiler, ternyata suplementasi 4,5% zeolit pada ransum ayam petelur mampu memperbaiki kualitas telur [19].

Konversi Ransum

Rataan konversi ransum sejak umur 1 hari sampai 35 hari, disajikan pada Tabel 3. Konversi ransum tidak dipengaruhi ($P>0,05$) oleh interaksi antara tingkat kepadatan kandang dengan taraf zeolit, namun dipengaruhi ($P<0,01$) oleh kepadatan kandang dan juga oleh pemberian zeolit ($P<0,05$).

Konversi ransum pada kepadatan 12 lebih tinggi ($P<0,05$) daripada pada kepadatan 10, namun sama ($P>0,05$) dengan konversi ransum pada kepadatan 14 ekor/m². Dengan kata lain, ayam-ayam pada kepadatan 12 kurang efisien dalam menggunakan ransum sebab untuk mencapai pertambahan bobot hidup yang sama dengan ayam pada kepadatan 10

dan 14 (Tabel 2), harus mengkonsumsi ransum lebih banyak (Tabel 1). Hal ini diduga karena konsumsi ransum yang lebih banyak oleh ayam pada kepadatan 12 menghasilkan lebih banyak panas metabolisme (*heat increment*) yang harus dibuang untuk mengantisipasi tingginya suhu dan kelembapan kandang. Akibatnya ayam tersebut hanya mampu menghasilkan tambahan bobot yang sama dengan ayam-ayam pada kepadatan 10 dan 14 ekor/m². Sementara Ulupi [20] memperoleh angka konversi ransum terbaik pada tingkat kepadatan 10 ekor/m².

Taraf zeolit 2,5 kg/m² belum dapat menekan konversi ransum, namun pada taraf 5,0 kg/m², zeolit nyata menurunkan ($P<0,05$) konversi ransum. Ini berarti bahwa penaburan 5,0 kg zeolit/m² luasan litter kandang mampu memperbaiki efisiensi penggunaan ransum oleh ayam, melalui kemampuannya dalam memperbaiki kualitas lingkungan kandang.

Mortalitas

Mortalitas ayam mencapai 1,85 % (6 ekor) dari 324 ekor ayam yang dipelihara selama 5 minggu. Rataan mortalitas ayam dari umur 1 – 35 hari untuk semua perlakuan disajikan pada Tabel 4.

Mortalitas ayam cenderung meningkat dengan semakin meningkatnya tingkat kepadatan kandang. Sebaliknya, penaburan zeolit pada litter cenderung menurunkan mortalitas, bahkan pada taraf 5 kg zeolit/m² luasan litter mampu menekan mortalitas dari 3,62 % menjadi 0,79 % walau belum mencapai angka yang signifikan ($P>0,05$). Ada indikasi bahwa kecenderungan penurunan mortalitas tersebut berkaitan dengan semakin membaiknya kualitas lingkungan kandang seiring dengan peningkatan taraf penaburan zeolit.

Tabel 4. Rataan mortalitas ayam dari umur 1 hari sampai 5 minggu

Tarf zeolit (kg/m ²)	Kepadatan kandang (ekor/m ²)			Rataan
	10	12	14	
	----- persen -----			
0,0	3,33	2,78	4,76	3,62 ^a
2,5	0,00	2,78	0,00	0,93 ^a
5,0	0,00	2,00	2,38	0,79 ^a
Rataan	1,11 ^a	1,83 ^a	2,38 ^a	1,77

Keterangan: Superskrip sama pada kolom atau baris yang sama, tidak berbeda nyata (P>0,05).

KESIMPULAN

Penaburan zeolit pada litter sebanyak 5,0 kg/m² luas lantai kandang dengan tingkat kepadatan 10, 12, dan 14 ekor ayam/m² mampu memperbaiki konversi ransum ayam pedaging sampai 4,40 persen. Ada indikasi bahwa penaburan zeolit pada litter sebanyak 5 kg/m² hamparan litter lantai kandang cenderung memperbaiki kualitas lingkungan kandang.

DAFTAR PUSTAKA

- Proudfoot, F.G., Hulan, H.W. dan Romey, R.D. 1979. The effect of four stocking densities on broiler carcas grade: the incidence of breast blister and other performance traits. *Poultry Sci.* 58(4):791-793.
- Mumpton, F.A. and Fishman, P.H. 1977. The application of natural zeolites in animal science and aquaculture. *J. Anim. Sci.* 5(45):1189-1192
- Mumpton, F.A. 1984. The role of natural zeolites in agriculture and aquaculture. International Committee on natural zeolite. Westview Press/Boulder, Colorado.
- Harjanto, S. 1987. Lempung, zeolit, dolomit dan magnesit. Direktorat Suberdaya Mineral. Departemen Pertambangan dan Energi RI.
- Tsitsishvili, G.V. 1987. Perspectives of natural zeolite applications. Annual production and zeolite paper 63, FAO, Rome.
- Sutardi, T. 1995. Peningkatan efisiensi penggunaan pakan. Seminar nasional peternakan dan veteriner. P4, Cisarua, Bogor.
- Kardaya, D. dan Malik B. 2001. Pengaruh penggunaan zeolit dalam litter kandang berkepadatan tinggi terhadap perbaikan kualitas lingkungan kandang ayam broiler. *Proseding Seminar Nasional Agribo Expo 2001* tanggal 12-13 Nopember 2001, Hal: 68-71.
- Steel, R.G.D. dan Torrie, J.H. 1993. Prinsip dan prosedur statistik (suatu pendekatan biometrik). Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Pattiselanno, F. dan Sangle Y. Randa. 2004. Kualitas lingkungan kandang broiler yang mendapat perlakuan perbedaan frekuensi penaburan zeolit pada alas litter. *Jurnal Zeolit Indonesia*. Ikatan Zeolit Indonesia. 3(2): 79-84.
- Pattiselanno, F. dan Hartini. 2000. Respon penambahan mineral zeolit dalam ransum terhadap kondisi lingkungan kandang ayam pedaging. *Jurnal Peternakan dan Lingkungan*. 6(2): 80-84.
- North, M.O. 1984. Commercial Chicken Production Manual. Third ed. AVI publ. Co. Inc. Wesport, Connecticut.

12. Reece, F.N., Lott, B.D. dan Deaton, J.W. 1981. Low concentration of ammonia during brooding decrease broiler weight. *Poultry. Sci.* 60:937-940.
13. Siagian, P.H. 2005. Sumber dan taraf zeolit yang berbeda dalam ransum serta pengaruhnya terhadap penampilan ternak babi. *Jurnal Zeolit Indonesia*. Ikatan Zeolit Indonesia. 4(1): 10-18
14. Creswell, D. dan Hardjosworo, P.S. 1979. Bentuk kandang unggas dan kepadatan kandang untuk daerah tropis. Laporan seminar ilmu dan industri perunggasan II. Pusat Penelitian dan Pengembangan Ternak. Ciawi, Bogor.
15. Rasyaf, M. 1994. Beternak ayam pedaging. Edisi Revisi. Penebar Swadaya. Jakarta.
16. Kling, H.F. and Quarles, C.L. 1974. Effect of atmospheric ammonia and the stress of infectious bronchitis vaccination on Leghorn Males. *Poultry Sci.* 53:1161-1163.
17. Nesheim, M.C., Austic, R.T. and Card, L.E. 1979. *Poultry Production*. Lea Febiger. Philadelphia.
18. Wibowo, M.H. 1995. Pengaruh amoniak terhadap kesehatan hewan. *Poultry Indonesia* 184:14-16.
19. Riyanti dan Purwaningsih, N. 2004. Pengaruh penambahan zeolit dalam ransum terhadap kualitas telur Lohmann brown fase produksi II. *Jurnal Zeolit Indonesia*. Ikatan Zeolit Indonesia. 3(2): 49-54.
20. Ulupi, N. 1993. Pengaruh luas lantai kandang dan tingkat pemberian vitamin C terhadap performa ayam broiler. *Media Peternakan*, 16 (1):40-47.

Karakterisasi Zeolit Alam dengan Metode Difraksi Sinar-X

Supandi Suminta

Pusat Teknologi Bahan, Industri Nuklir-BATAN
Puspitek Blok IID No. 8, Serpong 15314, E-mail: supandi_1@yahoo.com

ABSTRAK

Karakterisasi Zeolit Alam dengan Metoda Difraksi Sinar-X. Identifikasi struktur sangkar kristal zeolit alam dari Bayah, Lampung dan Malang dengan metode Rietveld telah dilakukan. Data intensitas difraksi sinar-x zeolit alam tersebut diukur di PT-BIN-BATAN. Refinement parameter struktur fasa Mordenit dan Klinoptilolit dalam bahan zeolit alam telah dilakukan. Hasil refinement kedua fasa tersebut, menunjukkan bahwa bahan zeolit alam Bayah dan Lampung adalah berfasa Klinoptilolit, memiliki simetri grup ruang C2/m no.12, sistim kristal Bravais Base-Centered Monoklinik, masing-masing konstanta kisi $a = 17,69(2) \text{ \AA}$, $b = 17,92(1) \text{ \AA}$ dan $c = 7,422(9) \text{ \AA}$ (zeolit Bayah), zeolit Lampung masing-masing konstanta kisi $a = 17,69(2) \text{ \AA}$, $b = 17,92(1) \text{ \AA}$ dan $c = 7,422(9) \text{ \AA}$, dengan diameter poros yakni S10R = 10,685 \AA dan S8R = 8,193 \AA . Sedangkan zeolit alam Malang berfasa Mordenit, memiliki simetri grup ruang Cmcn No.63, sistim kristal Bravais Base-Centered Orthorombik, dengan konstanta kisi masing-masing yakni $a = 18,115(8) \text{ \AA}$, $b = 20,520(9) \text{ \AA}$ dan $c = 7,515(2) \text{ \AA}$ dengan diameter poros yakni S8R = 11,43 \AA dan S12R = 7,730 \AA . Berdasarkan hasil analisis kerangka struktur zeolit alam Bayah dan Lampung ini memiliki kapasitas tukar kation yang lebih tinggi dibanding dengan zeolit dari Malang.

Kata kunci: Difraksi sinar-X, klinoptilolit, Kapasitas Tukar Kation (KTK), metode rietveld, mordenit

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF NATURAL ZEOLITE BY X-RAY DIFFRACTOMETER. An identification of framework mineral structure of natural zeolit Bayah, Lampung and Malang was carried out by Reitveld methods. X-ray diffraction intensity of Natural zeolit was measured by an X-Ray Diffractometer (XRD). The refinement of Clinoptilolite and Mordenite phases have been carried out and the results of refinement show that in Bayah and Lampung were Clinoptilolite phase (space group C2/m No.12, Bravais lattice is Base-Centered and crystal system is monoclinic) and lattice parameter are $a = 17,69(2) \text{ \AA}$, $b = 17,92(1) \text{ \AA}$ dan $c = 7,422(9) \text{ \AA}$ respectively (Bayah zeolite) and $a = 17,69(2) \text{ \AA}$, $b = 17,92(1) \text{ \AA}$ dan $c = 7,422(9) \text{ \AA}$ respectively (Lampung zeolite) and pore size are S10R = 10,685 \AA dan S8R = 8,193 \AA . While Malang zeolites phase (space group Cmcn No.63, Bravais lattice is Base-Centered and crystal system is orthorombic) was Mordenite phase and the lattice parameter are $a = 18,115(8) \text{ \AA}$, $b = 20,520(9) \text{ \AA}$ dan $c = 7,515(2) \text{ \AA}$. The pore size are S8R = 11,43 \AA dan S12R = 7,730 \AA . Material of natural zeolit from Bayah and Lampung have Cation Exchange Capacity (CEC) bigger than Malang (according to results of the framework structure analysis).

Keywords: X-ray diffraction, Cation Exchange Capacity (CEC), mordenite, clinoptilolite, reitveld methods

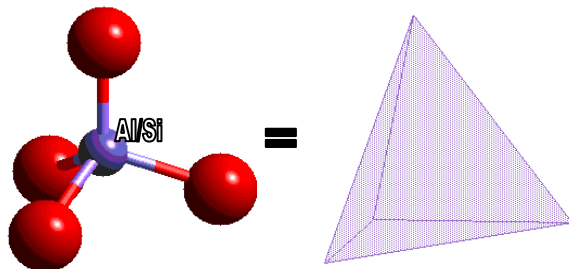
PENDAHULUAN

J.V. Smith [1] zeolit didefinisikan sebagai kristal mineral Alumino-Silikat berbeda dengan tanah lempung (*clay*) yang mempunyai struktur *amorf* dan bersifat

swelling bila bercampur air. Atom utama penyusun zeolit adalah terdiri dari : Al, Si dan O. Sejak tahun 1984 para ahli mineralogi telah mengklasifikasikan zeolit ke dalam golongan tersendiri. Mineral ini

mempunyai struktur sangkar (*framework*) disertai rongga (*cavity*) dan saluran (*channe*) yang biasanya ditempati oleh air dan logam alkali atau alkali tanah dan terbentuk di alam secara alamiah atau disintesa.

Struktur zeolit termasuk kristal mineral yang mempunyai struktur sangkar, berasal dari sangkar terbuka terbentuk dari rantai tetrahedral $[AlO_4]^{5-}$ dan $[SiO_4]^{4-}$ bergabung/berantai bersama-sama membentuk rantai rangka disebut unit bangunan utama (*primary building unit, PBU*) seperti terlihat pada Gambar 1. Selanjutnya mata rantai tetrahedral ini membentuk suatu cincin/lingkaran atau sangkar disebut unit bangunan ke dua (*secondary building unit, SBU*) seperti terlihat pada Gambar 2, tersusun teratur dan berulang (berperiodik) dalam ruang tiga dimensi membentuk material berstruktur sangkar atau disebut juga material porous. Material berbentuk sangkar inilah yang kemudian dinamakan zeolit.



Gambar 1. Representation Tetraherda $[SiO_4]^{4-}$ / $[AlO_4]^{5-}$ (Primay Building Units, PBU)

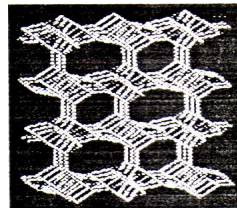
Bentuk struktur yang unik ini memungkinkan zeolit bersifat sebagai absorber, penukar ion, penyaring molekul dan debagai katalis. Sifat penukar ion ini disebabkan oleh struktur sangkar yang mengandung atom Al dan Si berkoordinasi (berikatan) dengan empat atom oksigen dalam bentuk *Tetrahedra Alumino Silicat*, sehingga atom Al akan bermuatan **negatif** dan selalu dinetralkan oleh kation alkali atau alkali tanah untuk membentuk struktur sangkar zeolit yang stabil.

Rumus umum zeolit secara crystallographic dalam unit sel [2]:

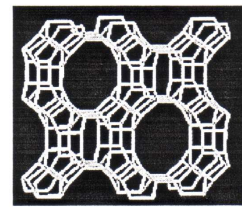
$$M_{2/n} = \{(AlO_4)_x(SiO_4)_y\}_w H_2O$$

M = Kation yang dapat dipertukarkan, n = valensy, (X + y) = jumlah tetrahedra dalam unit sel dan W = jumlah molekul air dalam unit sel

Rasio y/x mempunyai nilai 1-5, tergantung pada jenis sangkar zeolit, Kation biasanya dapat dipertukarkan dan molekul air dalam sangkar struktur mudah diusir dengan cara dipanaskan dan terjadi dehidratasi di udara dengan signifikan. Kandungan molekul air dalam zeolit bervariasi dari 18% di dalam rongga Analcime sampai dengan 50% di dalam rongga Faujasite.



Struktur Sangkar Tipe HEU



Struktur Sangkar Tipe MOR

Gambar 2. Representation Struktur Sangkar Tetraherda $\{[SiO_4]^{4-}/[AlO_4]^{5-}\}$ (Secondary Building Units, SBU) Struktur tipe HEU (*Heulandite*) dan tipe MOR (*Mordenite*), diambil dari W.M. Meier *Atlas of Zeolite Structure Types* (1978), IZA Structure Commission

Sampai dengan tahun 1995 telah diketahui lebih dari 600 bahan zeolit dan terus tumbuh berkembang, tapi tidak semuanya dapat diklasifikasi strukturnya. Menurut para ahli mineralogi sekitar 40 jenis zeolit yang diketahui tipe strukrnya. Tipe struktur zeolit telah diberi nama tiga huruf cetak berdasarkan IUPAC, misalnya tipe struktur HEU yang berasal dari Heulandite, MOR berasal dari Mordenite dan seterusnya.

Clinoptilolite

Clinoptilolite termasuk jenis zeolit yang mempunyai kelas SBU : 4-4-1 dan prototype struktur HEU (Heulandite), mempunyai rumus kimia kristalografi dalam bentuk Na dalam sel satuan adalah: $\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}\cdot 24\text{H}_2\text{O}$. *Clinoptilolite* tipe HEU berasal dari unit SBU 4-4-1 ini bergabung dalam suatu mata rantai seri membentuk suatu lapisan (*layer-like-array*) Lapisan ini bergabung untuk membentuk anggota jendela yang terdiri dari 8 dan 10 oksigen yang dibatasi dua channel. Kedua rongga pada S10R sejajar sumbu c dan rongga lainnya (S8R) sejajar sumbu a. Dalam rongga (tempat kation) zeolit *clinoptilolite*, empat kation telah diidentifikasi oleh A. Dyer [3] dalam mineral hidrat, dua kation (M1 dan M2) berada di

dalam rongga utama, yang lainnya (M3) di dalam rongga 8 'O' sedangkan M4 terletak mendekati tengah rongga S8R. Menurut K. Koyama dan Y. Takeuchi [4], zeolit di daerah lokasi Agoura, USA termasuk zeolit jenis *clinoptilolite*, tipe struktur HEU dengan komposisi kimia: $(\text{K}_{1.76}\text{Na}_{1.84}\text{Ca}_{1.24}\text{Mg}_{0.20})(\text{Si}_{29.84}\text{Al}_{6.16}\text{O}_{72})\cdot 21.36\text{H}_2\text{O}$ dan X-ray single crystal refinement, $R_w=0.088$ [4]

Data parameter struktur *Clinoptilolite* : Simetri grup ruang : C12/m1 (No. 12), sistim kristal : Monoklinik, parameter kisi : $a = 17.662$, $b = 17.911$, $c = 7.407 \text{ \AA}$, sudut antar sumbu : $\alpha = 90.0$, $\beta = 116.4$, $\gamma = 90.0^\circ$. Data koordinat atom *Clinoptilolite* dalam unit sel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Posisi atom *Clinoptilolite*

Atom	Scatt	x	y	z	B_iso	Occ
Na1	Na	0.1428	0.0000	0.6670	5.49	0.36
Na2	Na	0.0393	0.5000	0.2100	3.13	0.10
K3	K	0.2413	0.5000	0.0490	5.10	0.44
Mg4	Mg	0.0000	0.0000	0.5000	1.10	0.10
Ca1	Ca	0.1428	0.0000	0.6670	5.49	0.06
Ca2	Ca	0.0393	0.5000	0.2100	3.13	0.25
Si1	Si	0.1791	0.1694	0.0963	1.07	0.83
Si2	Si	0.2133	0.4110	0.5040	1.10	0.69
Si3	Si	0.2085	0.1903	0.7153	1.01	0.87
Si4	Si	0.0662	0.2984	0.4148	1.09	0.89
Si5	Si	0.0000	0.2165	0.0000	1.11	0.90
Al1	Al	0.1791	0.1694	0.0963	1.07	0.17
Al2	Al	0.2133	0.4110	0.5040	1.10	0.31
Al3	Al	0.2085	0.1903	0.7153	1.01	0.13
Al4	Al	0.0662	0.2984	0.4148	1.09	0.11
Al5	Al	0.0000	0.2165	0.0000	1.11	0.10
O1	O	0.1959	0.5000	0.4574	2.39	1.00
O2	O	0.2336	0.1204	0.6144	2.47	1.00
O3	O	0.1850	0.1551	0.8559	2.64	1.00
O4	O	0.2333	0.1041	0.2509	2.37	1.00
O5	O	0.0000	0.3232	0.5000	2.64	1.00
O6	O	0.0808	0.1627	0.0555	1.96	1.00
O7	O	0.1268	0.2317	0.5492	3.05	1.00
O8	O	0.0122	0.2702	0.1856	2.48	1.00
O9	O	0.2123	0.2520	0.1860	2.31	1.00
O10	O	0.1188	0.3718	0.4148	2.42	1.00
H2O1	O2-(H2O)	0.2110	0.5000	-0.0330	6.20	0.38
H2O2	O2-(H2O)	0.0840	0.0000	0.8880	14.60	0.44

Atom	Scatt	x	y	z	B_iso	Occ
H2O3	O2-(H2O)	0.0777	0.4206	0.9640	9.50	1.00
H2O4	O2-(H2O)	0.0000	0.5000	0.5000	7.40	1.00
H2O5	O2-(H2O)	0.0000	0.0950	0.5000	22.10	0.76
H2O6	O2-(H2O)	0.0730	0.0000	0.2490	19.10	0.84
H2O7	O2-(H2O)	0.0960	0.0000	0.7560	10.20	0.42

Mordenite

Mordenite termasuk jenis zeolit yang mempunyai kelas SBU : 5-1 dan prototype struktur MOR (*Mordenite*), mempunyai rumus kimia kristalografi dalam bentuk Na dalam sel satuan adalah : $Na_8(Si_{40}Al_8 O_{96}) 24H_2O$. Mordenite tipe MOR yang berasal dari unit SBU 5-1 ini bergabung dalam suatu mata rantai seri membentuk dua rongga utama. Pertama dibatasi jendela (windows) dengan 12 oksigen dan kedua dibatasi dengan 8 oksigen. Tempat kation dan molekul air dalam kedua rongga tersebut telah teridentifikasi oleh A.Dyer [3]. Pada S8R, mayoritas kation dan air terletak di

tengah rongga utama dibandingkan dengan rongga sebelahnya pada S5R yang bergabung dengan rongga lebar S12R. Gabungan rantai ini tersusun dan berulang dalam ruang tiga dimensi hingga membentuk suatu gabungan rongga (rings) yang banyak menyerupai sarang lebah.

Data parameter struktur *Mordenite* : simetri grup ruang : Cmcm (No. 63), sistim kristal : *Ortorombik*, parameter kisi : a = 18.11, b = 20.53, c = 7.528 Å, sudut antar sumbu : $\alpha = 90.0, \beta = 90.0, \gamma = 90.0^\circ$, koordinat atom Mordenit dalam unit sel disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Posisi Atom *Mordenite*

Atom	Scatt	x	y	z	B_iso	Occ
Na1	Na	0.0000	0.5000	0.0000	2.50	1.00
Na2	Na	0.0000	0.4335	0.7500	4.95	1.00
Si1	Si	0.1990	0.4277	0.5418	1.37	1.00
Si2	Si	0.1966	0.1905	0.5454	1.49	1.00
Si3	Si	0.0871	0.3840	0.2500	1.21	0.50
Si4	Si	0.0866	0.2280	0.2500	1.32	0.50
Al1	Al	0.0871	0.3840	0.2500	1.21	0.50
Al2	Al	0.0866	0.2280	0.2500	1.32	0.50
O1	O	0.1232	0.4170	0.4292	3.09	1.00
O2	O	0.1226	0.1946	0.4262	2.95	1.00
O3	O	0.2632	0.3776	0.4887	3.63	1.00
O4	O	0.0974	0.3057	0.2500	3.61	1.00
O5	O	0.1694	0.1946	0.7500	3.62	1.00
O6	O	0.1769	0.4212	0.7500	2.66	1.00
O7	O	0.2324	0.5000	0.5000	2.35	1.00
O8	O	0.2500	0.2500	0.5000	4.72	1.00
O9	O	0.0000	0.4071	0.2500	2.17	1.00
O10	O	0.0000	0.2061	0.2500	3.00	1.00
H2O1	O2-(H2O)	0.0400	0.3030	0.7500	16.32	0.50
H2O2	O2-(H2O)	0.0000	0.1810	0.7500	13.84	1.00
H2O3	O2-(H2O)	0.0000	0.0940	0.5020	21.32	1.00
H2O4	O2-(H2O)	0.1090	0.0300	0.7500	17.50	1.00
H2O5	O2-(H2O)	0.0000	-0.0090	0.2500	22.84	0.25

Banyak rongga-rongga dalam bentuk struktur sangkar dapat menentukan sifat penukar ion, sorben dan katalis dari suatu zeolit. Menurut V. Gramlich [5], zeolit di daerah lokasi Challis, Idaho, USA termasuk zeolit jenis Mordenite, tipe struktur MOR dengan komposisi kimia : $\text{Na}_8(\text{Si}_{40}\text{Al}_8\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ dan X-ray single crystal refinement, $R_w=0.07$ [5].

Penelitian struktur zeolit alam sudah banyak dilakukan oleh para peneliti terdahulu dengan metode Hanawalt, tapi hasilnya tidak akurat dan tidak jelas sehingga hasilnya tidak mencerminkan zeolit alam daerah asal yang sebenarnya. Problem ini disebabkan adanya campuran dua jenis zeolit yang mempunyai pola difraksi yang hampir mirip yakni fasa Mordenit dan Clinoptilolit. Menurut Thamzil Las [6] zeolit Bayah diduga merupakan campuran dua jenis zeolit fasa Mordenit dan Clinoptilolit. Data tersebut diperoleh berdasarkan data XRD dengan metode Hanawalt dan analisis cara kimia dengan metode internal standard. Kedua fasa ini sering terdapat pada lokasi yang sama, namun perbandingan fraksi massa MOR dan CLIP ini sangat sulit ditentukan dengan akurat. Penelitian zeolit Bayah, juga telah dilakukan oleh Eliyanti A [7] dan diinformasikan bahwa zeolit yang berlokasi di daerah Bayah mengandung zeolit alam fasa Mordenit. Dari kedua penelitian tersebut terdapat perbedaan interpretasi, hal ini disebabkan ke duanya menggunakan metode yang kurang akurat dan bahan zeolit yang diteliti sangat kompleks strukturnya.

Sampai saat ini penggunaan metode Rietveld untuk analisis struktur fasa belum begitu banyak digunakan di Indonesia, meskipun beberapa peneliti terdahulu dari BATAN dan ITB, telah menggunakannya dan terbatas pada peneliti yang memiliki keterampilan dan kesabaran yang tinggi serta dibekali ilmu kristallographi. Analisis struktur fasa dengan metode Rietveld akan memberikan penampilan profil pola difraksi yang berbeda dari bila digunakan secara Hanawalt. Berdasarkan problem tersebut di atas, penelitian selanjutnya ditunjukkan

pada cara analisis struktur kristal dengan metode Rietveld, yaitu data intensitas difraksi zeolit fasa klinoptilolit dan mordenit dari daerah Bayah, Lampung dan Malang dibandingkan dengan standar fasa mordenit. Di dalam makalah ini diutarakan penelitian identifikasi struktur fasa dan kandungan fraksi massa, sehingga diketahui dapat tidaknya campuran fasa struktur tersebut untuk dibedakan dalam zeolit. Sampel yang dipilih untuk diteliti adalah beberapa sampel dari daerah Bayah, Lampung, Malang dan standar zeolit Mordenit

Difraksi Sinar-X [7]

Dari sudut pandang kristallografi sinar-X, kristal merupakan ruang pola tiga-dimensi kerapatan elektron (*electron density*). Susunan internal elektron dalam kisi kristal ini dapat menentukan kedudukan arah dan intensitas hamburan sinar-X. Terjadinya pengumpulan atom-atom dalam kristal dapat menghasilkan **simetri** distribusi kerapatan elektron dan bentuk serta ukuran pengulangan bagian terkecil dari ruang tiga-dimensi suatu kristal. Bagian terkecil ini dikenal sebagai **sel satuan** atau disebut juga **volume sel satuan**. Di dalam sel satuan banyak mengandung informasi **struktur** seperti **posisi atom** dan **simetri** kristal.

Suatu langkah penting dalam analisis struktur kristal dengan melihat simetri yaitu dengan metode Rietveld. Simetri dalam kristal diperoleh dari beberapa operasi yakni: operasi translasi, inversi, refleksi (cermin) dan rotasi. Kumpulan operasi ini dapat menghasilkan grup titik (*point group*) dan grup ruang (*space group*). Sebagai contoh simetri grup ruang fasa Al adalah $Fm\bar{3}m$ dan fasa Si adalah $Fd\bar{3}m$.

Volume sel satuan dibatasi oleh parameter tiga sumbu (kisi) a, b dan c dan tiga sudut α , β dan γ . Tujuh bentuk sel satuan yang berbeda dapat dibentuk oleh parameter-parameter ini, dikenal sebagai sistim kristal konvensional. Tujuh sel satuan ini, bila dikombinasikan dengan posisi atom-atomnya akan menghasilkan 14 kisi Bravais.

Dalam sebuah atom, elektron-elektron didistribusikan secara kontinu sebagai kerapatan awan elektron (*electron density*). Persamaan hukum Bragg menunjukkan bahwa famili tiap bidang (hkl) merefleksikan sinar-X pada sudut yang berbeda. Selama bidang refleksi (indeks Miller) dihubungkan dengan parameter sel, posisi puncak dalam profil pola difraksi sinar-X secara langsung dapat memberikan penggunaan *space group* suatu kristal. Pengukuran intensitas (I_{hkl}) ditentukan oleh penguatan bidang(hkl) dari refleksi sinar-X. Tambahan, bahwa tiap atom r , mempunyai kerapatan elektron yang berbeda. Dalam sinar-x tiap atom memberikan hamburan elektron masing-masing. Hamburan dari distribusi elektron atom r , diwakili oleh faktor hamburan, f_r .

Sejumlah kontribusi seluruh atom dalam *lattice*, dan *scattering* dengan *atomic positions* x,y,z didefinisikan sebagai F_{hkl} (faktor struktur) dinyatakan rumus berikut:

$$F_{hkl} = \sum_j f_j \exp 2\pi i(hx_j + ky_j + lz_j) \quad (1)$$

Keterangan: = faktor hamburan(*scattering*) atom yang ke j

hkl = indeks Miller bidang refleksi (hkl)

x_j, y_j, z_j = fraksi koordinat atom ke j dalam sel satuan

Intensitas difraksi dihitung dengan rumus : $I = (F_{hkl})^2$.

Penentuan struktur kristal dapat dilakukan dengan metode difraksi. Difraksi adalah suatu metode eksperimen hamburan elastis, dimana proses transfer/perubahan energi dapat diabaikan dalam proses hamburan tersebut. Informasi yang diperoleh dari metode difraksi ini yakni data koordinat atom-atom dalam kristal yang **mendasari sifat** dan karakteristik bahan pada umumnya.

Beberapa metode difraksi yang dapat dilakukan sehubungan dengan penentuan koordinat atom-atom yaitu difraksi sinar-X dan neutron. Kedua metode ini saling mengisi (komplemen), ada bahan yang

baik ditentukan oleh sinar-X dan sebaliknya tidak baik oleh neutron. Sebagai contoh suatu bahan yang baik ditentukan oleh neutron yakni yang mempunyai unsur ringan seperti oksigen dan hidrogen. Dalam beberapa hal penggunaan neutron untuk penelitian bahan sering memberikan informasi yang tidak mungkin diperoleh dengan teknik lainnya. Hal ini disebabkan neutron mempunyai sifat-sifat khusus yang menguntungkan.

Prinsip dasar dari masing-masing metode difraksi adalah sama yaitu harus memenuhi hukum Bragg ($n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta$). Bila seberkas sinar-X jatuh pada suatu bahan, maka berkas ini akan didifraksikan oleh bidang kristal yang disusun oleh atom-atom (ion). Besarnya sudut difraksi θ , tergantung pada panjang gelombang target λ , dan jarak antar bidang d . Interferensi konstruktif akan muncul jika perbedaan lintasan adalah kelipatan bilangan bulat n untuk panjang gelombang tersebut.

Rietveld [8]

Penggunaan program komputer dalam simulasi merupakan pilihan yang sangat menarik dan semakin penting. Dengan tersedianya sarana komputer yang dapat melakukan perhitungan dengan cepat maka peranan program simulasi menjadi semakin menonjol dalam menyelesaikan hasil-hasil penelitian. Pemanfaatan program simulasi dapat menghemat waktu dengan hasil akhir yang dapat diandalkan. RIETAN (**RIET**veld **AN**alysis) adalah merupakan suatu paket perangkat lunak (*software*) komputer yang telah dikembangkan penggunaannya dalam metode **Rietveld** untuk menganalisis data difraksi neutron maupun difraksi sinar-x. Keunggulan metode Rietveld dibanding dengan metode lain adalah dapat memisahkan puncak-puncak pola difraksi yang saling bertumpuk dan kompleks. Simulasi pola difraksi dapat dilakukan pula oleh program ini.

Prinsip dasar dari metode Rietveld adalah menghitung intensitas pola difraksi titik

demikian berdasarkan model perhitungan yang kemudian dicocokkan dengan intensitas pola difraksi dari pengamatan. Perhitungan intensitas tersebut melibatkan fungsi profil puncak difraksi yang tergantung dari ukuran butiran, resolusi alat dan lain-lain. Proses pencocokkan itu sendiri dapat dilakukan dengan metode *least squares* atau metode optimasi. Software RIETAN menggunakan metode *least squares marquardt*. Untuk software simulasi RIETAN metode *least squares marquardt* tidak digunakan.

Metode Rietveld menganggap bahwa setiap titik pada pola difraksi sebagai suatu pengamatan tunggal yang mungkin mengandung kontribusi sejumlah refleksi Bragg yang berbeda. Untuk mewujudkan hal ini dipilih fungsi yang sesuai dengan bentuk profil puncak yang muncul pada pola difraksi suatu kristal. Intensitas yang diamati (hasil percobaan), $Y_i(0)$ pada step tertentu i , dimodelkan/dicocokkan oleh intensitas hasil perhitungan $Y_i(c)$ sebagai berikut :

$$Y_i(c) = \sum_k s |F_k|^2 m_k P_k L(\theta) G(\Delta\theta_{ik}) + Y_{ib}(c) \quad (2)$$

$$|F_k|^2 = |F_k(\text{crystal})|^2 \quad (3)$$

bila bahan bersifat magnetik, maka persamaan menjadi :

$$|F_k|^2 = |F_k(\text{crystal})|^2 + |F_k(\text{magn})|^2 \quad (4)$$

$$\Delta\theta_{ik} = \theta_i - \theta_k \quad (5)$$

Keterangan :

- K = jumlah refleksi
- s = faktor skala
- F_k = faktor struktur
- m_k = multiplisitas
- P_k = faktor koreksi untuk kecenderungan berorientasi
- $L(\theta_k)$ = faktor Lorentz dan polarisasi
- $G(\Delta\theta_{ik})$ = fungsi bentuk profil
- $Y_{ib}(c)$ = intensitas latar belakang (*background*)
- θ_i = sudut hamburan
- θ_k = sudut Bragg

- $F_k(\text{crystal})$ = faktor struktur kristal
- $F_k(\text{magn})$ = faktor magnetik = 0 untuk bahan yang tidak bersifat magnetik

Ukuran Crystallite

Bila ukuran dari kristal individu kurang dari $0,1 \mu\text{m}$ (1000 \AA) biasa digunakan term "crystallite size" yang dapat dihitung dengan rumus menurut pendekatan Sheerer :

$$\tau = \frac{0,9\lambda}{B \cos \theta} \quad (6)$$

Dimana : λ = panjang gelombang, B = FWHM dan τ = ukuran partikel (*crystallite*)

ANALISIS STRUKTUR KRISTAL (TEORI)

Prinsip dasar dari analisis struktur kristal suatu bahan dengan difraksi sinar-x adalah berdasarkan teori hukum Bragg [10]

$$\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad 1)$$

dimana :

- λ : panjang gelombang sinar-x ($\lambda \text{ Cu} = 1,540562 \text{ \AA}$)
- θ : sudut difraksi yang menggambarkan posisi puncak
- d_{hkl} : jarak antar bidang yang menggambarkan sistem, ukuran sel satuan dan indeks Miller bidang tersebut.

Struktur kristal suatu bahan menentukan pola difraksi suatu bahan tersebut, lebih spesifik lagi bahwa bentuk dan besar sel satuan menentukan kedudukan sudut suatu garis atau puncak difraksi dan susunan atom (koordinat atom) dalam sel satuan yang menentukan intensitas relatif. Di bawah ini suatu bahan berbentuk kristal dapat dinyatakan dalam 2 (dua) bentuk yakni *profile* pola difraksi dan struktur kristal [10] :

Struktur kristal	Pola difraksi
Terdiri dari : Sel satuan \longleftrightarrow Posisi atom \longleftrightarrow	Terdiri dari : Kedudukan garis puncak Intensitas garis puncak

Bila suatu bahan diketahui, maka bahan tersebut memiliki pola difraksi tertentu, tetapi sebaliknya dari suatu pola difraksi tidak dapat ditentukan strukturnya secara langsung.

Penentuan struktur yang tidak diketahui dapat diproses dalam 3 tahapan :

- Bentuk dan besar sel satuan dari kedudukan posisi sudut dari garis pola difraksi
- Jumlah atom dalam sel satuan, dan komposisi kimia spesimen dan rapat massanya
- Kedudukan posisi atom dalam sel satuan dapat dicari dari intensitas relatif dari garis puncak difraksi.

Dengan metode Rietveld menggunakan program RIETAN, GSAS, SHADOW, RIETICA dll ke tiga tahapan proses tersebut dapat dengan mudah dianalisis baik berasal dari data difraksi neutron maupun sinar-x untuk menentukan struktur kristal suatu bahan.

Sifat bawaan profile (*Intrinsic profile*) [10, 15]

Di dalam produk kristal sempurna memiliki sifat bawaan profile dan terjadi suatu sifat dinamika difraksi dari hamburan sinar-x, yakni refleksi lebar *inherent*. Refleksi ini disebut dengan *Darwin width*. Lebar *inherent* ini adalah suatu hasil sederhana yang berdasarkan atas prinsip dasar atau aturan dasar yang tidak tentu. Dari pengertian ini dapat dijelaskan bahwa lokasi foton di dalam kristalit dibatasi oleh volume yang kecil, dimana koefisien absorpsi dari specimen inilah yang dikehendaki. Artinya bahwa Δp harus dibatasi dan diseling dengan $\Delta \lambda$ ($\Delta p = h/\Delta \lambda$). Profil *Darwin* kadang kadang digambarkan oleh fungsi *Lorenszian*. Ada dua contoh efek fisika dasar yang akan melebarkan fungsi dari bentuk profil, dimana lebar *inherent* terdapat kontribusi specimen atas profil pengamatan.

Sherrer untuk pertama kali menyatakan bahwa ukuran kristal menurun kira-kira dibawah 1 μm , dan profil integral lebar

puncak B (FWHM) akan menaik menurut persamaan :

$$B = \frac{0.9\lambda}{D \cos \theta} \quad 2)$$

Dimana D adalah ukuran kristal dari data intensitas difraksi sinar-x

$$B = k\varepsilon \tan \theta \quad 3)$$

Dimana k adalah konstanta, θ = sudut Bragg dan ε = regangan mikro (*micro strain*) tergantung nilai dari suatu definisi regangan micro yang digunakan (Langford dan Delhetz *et al.*, 1988) [10]

Kedua efek pelebaran specimen tersebut umumnya adalah sebagai pemodelan symmetric, akan tetapi perpanjangan regangan atau penyusutan regangan mikro tidak diperlukan pada pemodelan ini. Ketidak homogenan ini mungkin juga bersumber dari sejumlah data $\tan \theta$ (Langford dan Louer 1991) [10]. Pengertian ini dapat dikatakan pula bahwa profil puncak difraksi sinar-x umumnya melebar yang disebabkan oleh ukuran kristalit sangat kecil, regangan mikro akibat dislokasi dan ketidak teraturan susunan atom (*stacking faults*). Sehingga pelebaran puncak (FWHM) dapat digunakan untuk analisis bahan.

Kontribusi ukuran kristalit dan microstrain

Pelebaran sebagai fungsi sudut Bragg merupakan kontribusi ukuran kristalit dan regangan mikro. Pengaruh ketergantungan sudut Bragg dari ukuran kristalit murni dan regangan mikro mengacu pada persamaan (2) dan (3). Williamson–Hall (1953)[10] telah membuat kurva antar $\beta \cos \theta/\lambda$ vs $k\eta \sin \theta/\lambda$ menghasilkan garis slop η dan y-intersep λ/D , dimana β adalah FWHM (*full-width-at half-maximum intensity*).

Regangan micro η kristalit zeolit dan ukuran kristalit D dihitung berdasarkan persamaan Hall's [11] seperti berikut :

$$\frac{B \cos \theta}{\lambda} = \frac{0.90}{D} + 2\eta \frac{\sin \theta}{\lambda} \quad 4)$$

Penggunaan program RIETAN atau Igor Pro dengan suatu model yang *simple* ini dapat menentukan regangan mikro η , dan ukuran kristalit D secara simultan.

METODE PERCOBAAN

Bahan

Bahan uji yang digunakan adalah bongkahan zeolit alam dari Lampung, Malang dan Bayah. Semua bahan diperoleh dari PT. Minatama Mineral.

Alat

Difraktometer Sinar-X, buatan Shimadzu Type XD-610 P3IB – BATAN, timbangan analitik, *furnace* (maksimum 1000 °C), Program RIETAN, program *CrystalMaker* dan Igor Pro.

Tata Kerja

Bahan uji zeolit alam yang akan digunakan dipreparasi terlebih dahulu dengan menghaluskan ukuran melalui beberapa tingkatan, yaitu mulai dari peremukan (*crushing*), penggerusan (*grinding*), sampai dengan pengayaan (*sieving*). Tujuan dari tahapan ini adalah untuk memperoleh ukuran besar butir zelit yang diperlukan - 7+10 mesh dan -20+48 mesh.

Aktifasi

Berdasarkan penelitian sebelumnya, terdapat beberapa cara untuk mengaktifasi zeolit antara lain dengan pemanasan, penambahan asam sulfat dan NaOH. Akibat dari perlakuan tersebut diperkirakan dapat merubah besarnya kapasitas tukar kation zeolit. Aktifasi fisis zeolit melalui pemanasan pada suhu 105 °C, sebanyak 50 gram zeolit dengan ukuran -7+10 mesh dan -20+48 mesh dipanaskan masing-masing pada temperatur 105°C selama 6 jam, dan kemudian dikarakterisasi.

Pengukuran dengan XRD.

Data difraksi Sinar-X dari cuplikan zeolit, dengan ukuran -7+10 mesh dan -20+48 mesh diukur secara tanpa *insitu*. Artinya pengukuran data difraksi sinar-X dilakukan pada suhu kamar. Selanjutnya dianalisis dengan metode Rietveld menggunakan program RIETAN. Pengambilan data dilakukan pada kondisi operasi : *Target* : Cu-K α , *Voltage* : 30 KV, *Current* : 30 mA, pada jangkauan (*range*) sudut $2\theta = 5^\circ$ sampai 50° dengan selang antara (*step width*) $0,05^\circ$ dan panjang gelombang yang digunakan $\lambda=1,540562 \text{ \AA}$

Analisis Rietveld

Analisis penghalusan (*refinement*) dengan Program RIETAN dilakukan dengan cara memasukkan dua jenis data yakni data parameter struktur dan intensitas difraksi sinar-X. Data parameter struktur adalah data masukan model perhitungan yang diambil dari referensi sebagai acuan. Sedangkan data intensitas berasal dari intensitas difraksi sinar-X cuplikan zeolit. Kemudian kedua data parameter struktur dan intensitas difraksi sinar-X dari cuplikan tersebut dianalisis dengan metode Rietveld menggunakan Program RIETAN. Penghalusan dilakukan dengan menggunakan cara *Nonlinear least-squares fitting by the Maquardt method* [8].

Analisis Crystal Maker

Gambar struktur 3D, panjang dan sudut ikatan hasil analisis penghalusan (*refinement*) dengan Program RIETAN dilakukan dengan cara memasukkan dua jenis data yakni data hasil akhir parameter struktur dan grup ruang (*space group*) kisi *Bravais orthorombic* dan *monoclinic*. Data parameter struktur adalah data parameter kisi, geometri sudut, posisi atom yang diambil dari data hasil penghalusan RIETAN. Sedangkan grup ruang berasal dari referensi sebagai acuan. Kemudian kedua data tersebut dianalisis dengan program *CrystalMaker* menggunakan *Macintosh 7100/80 w Komputer* [9].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penghalusan fasa Mordenit dan Klinoptilolit

Penghalusan dilakukan dengan cara mengasumsikan bahwa zeolit alam Bayah, Lampung mengandung fasa klinoptilolit bentuk poli kation dengan parameter struktur [5] : simetri grup ruang : $C_{12/m1}$ (No. 12), sistim kristal : Monoklinik, parameter kisi : $a = 17.662$, $b = 17.911$, $c = 7.407 \text{ \AA}$, sudut antar sumbu : $\alpha = 90.0$, $\beta = 116.4$, $\gamma = 90.0^\circ$. Posisi atom (Tabel 1). Zeolit Malang mengandung fasa mordenit bentuk poli kation memiliki data parameter struktur [4] : simetri grup ruang : $Cmcm$ (No. 63), sistim kristal : *Ortorombik*, parameter kisi : $a = 18.11$, $b = 20.53$, $c = 7.528 \text{ \AA}$, sudut antar sumbu : $\alpha = 90.0$, $\beta = 90.0$, $\gamma = 90.0^\circ$. Posisi atom (Tabel 2). Kemudian masing-masing kedua fasa tersebut dianalisis dengan metode Rietveld menggunakan program RIETAN.

Zeolit Bayah dan Lampung

Tahapan penghalusan (*refinement*) dilakukan dengan cara memasukan *species* atom dari urutan kadar unsur tertinggi dalam zeolit pada masing-masing fasa secara *trial and error* hingga diperoleh nilai konvergen. Dari hasil akhir penghalusan dengan RIETAN secara *trial and error* ternyata diperoleh fasa klinoptilolit bentuk poli kation K-Mg.

Data parameter struktur zeolit Bayah dan Lampung hasil penghalusan akhir RIETAN disajikan pada Tabel 3. Data parameter struktur tersebut menggambarkan data posisi atom, parameter kisi, fraksi massa dan lain-lain hasil penghalusan RIETAN dari struktur sangkar zeolit Bayah dan Lampung. Dari hasil analisis diperoleh konfirmasi bahwa zeolit alam Bayah dan Lampung mengandung fasa yang sama yakni fasa klinoptilolit grup ruang $C_{2/m}$ bersistim kisi Bravais *base-centered* monoklinik. Ternyata bahwa pada daerah lokasi ini didominasi oleh fasa klinoptilolit, sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya pada daerah lokasi Desa Suwakan Bayah

Selatan mengandung fraksi berat yang sama, yakni didominasi oleh fasa klinoptilolit. Kualitas fitting (*criteria-of-fit*) diperoleh $Rwp = 10,34 \%$ dan *goodness-of-fit*, $S = 1,5904$.

Dari Tabel 3 terlihat bahwa data parameter struktur fasa klinoptilolit pada atom Mg dan K (K1 dan K2), diperoleh faktor hunian (g) untuk atom Mg = 0,04 dan K (K1 = 1,04 dan K2 = 0,5) dengan jumlah atom dalam sel satuan berturut-turut adalah 0,1592 (atom Mg) dan 5,1687 (atom K), sehingga diperoleh rumus kimia kristalografi dalam sel satuan adalah $K_{5,17} Mg_{0,16} (Al_6 Si_{30} O_{72}) \cdot 24H_2O$. Jumlah atom n dari kedua fasa zeolit tersebut adalah hasil dari perkalian *Wyckoff position* dengan faktor hunian (g) seperti yang terlihat data posisi atom dan parameter struktur pada Tabel 3.

Zeolit Malang

Tahapan penghalusan (*refinement*) dilakukan dengan cara memasukan *species* atom dari urutan kadar unsur tertinggi dalam zeolit [14] pada fasa mordenit secara *trial and error* hingga diperoleh nilai konvergen. Dari hasil akhir penghalusan dengan RIETAN secara *trial and error* ternyata diperoleh fasa mordenit dalam bentuk poli kation Ca-Na.

Data parameter struktur zeolit alam Malang hasil penghalusan akhir RIETAN disajikan pada Tabel 4. Data parameter struktur tersebut menggambarkan data posisi atom, parameter kisi, fraksi massa dan lain-lain hasil penghalusan RIETAN dari struktur sangkar zeolit Malang. Dari hasil analisis diperoleh konfirmasi bahwa zeolit alam Malang mengandung fasa Mordenit grup ruang $Cmcm$ bersistim kisi Bravais *base-centered* ortorombik. Kualitas fitting (*criteria-of-fit*) diperoleh $Rwp = 10,34 \%$ dan *goodness-of-fit*, $S = 1,5904$.

Dari Tabel 4 terlihat bahwa data parameter struktur fasa mordenit pada atom Ca dan Na (Na1 dan Na2), diperoleh faktor hunian (g) untuk atom Ca = 0,28 dan Na (Na1 = 1,00 dan Na2 = 0,41) dengan jumlah atom dalam sel satuan berturut-turut adalah

1,1310 (atom Ca) + 5,6268 (atom Na), sehingga fasa mordenit diperoleh rumus kimia kristalografi dalam sel satuan adalah $Na_{5,63} Ca_{1,13} (Al_8 Si_{40} O_{96}) \cdot 22H_2O$. Jumlah atom n dari kedua fasa zeolit tersebut adalah hasil dari perkalian *Wyckoff position* dengan faktor hunian (g) seperti yang terlihat data parameter struktur pada Tabel 4.

Untuk lebih meyakinkan dan kesempurnaan penelitian ini, pada tahap awal diukur data intensitas difraksi dari standar mordenit yang dapat dianggap sebagai faktor koreksi. Kondisi parameter operasi instrumen sama dengan cuplikan zeolit Bayah dan Lampung. Pengukuran standar mordenit ini bertujuan untuk membandingkan pola difraksi fasa mordenit dalam zeolit alam Bayah,

Lampung dan Malang. Profil pola difraksi standar mordenit dan zeolit alam Bayah & Lampung serta zeolit alam Malang disajikan pada Gambar 3.

Berdasarkan asumsi data-data tersebut hasil akhir penghalusan dengan RIETAN fasa klinoptilolit dan mordenit pada bahan zeolit alam Bayah & Lampung dan zeolit Malang serta standar mordenit seperti terlihat pada Gambar 3. Bentuk profil pola difraksi pada skala $2\theta = 5^\circ - 55^\circ$ ini menggambarkan kecocokan atau kesesuaian (*fitting*) intensitas difraktogram berkas sinar-x antara pengamatan dengan perhitungan hasil penghalusan RIETAN. Tanda (+) adalah data hasil pengamatan, garis malar (—) adalah data perhitungan, garis vertikal (|) dan (|) dibawahnya

Tabel 3. Data parameter struktur zeolit Bayah dan Lampung, hasil penghalusan RIETAN

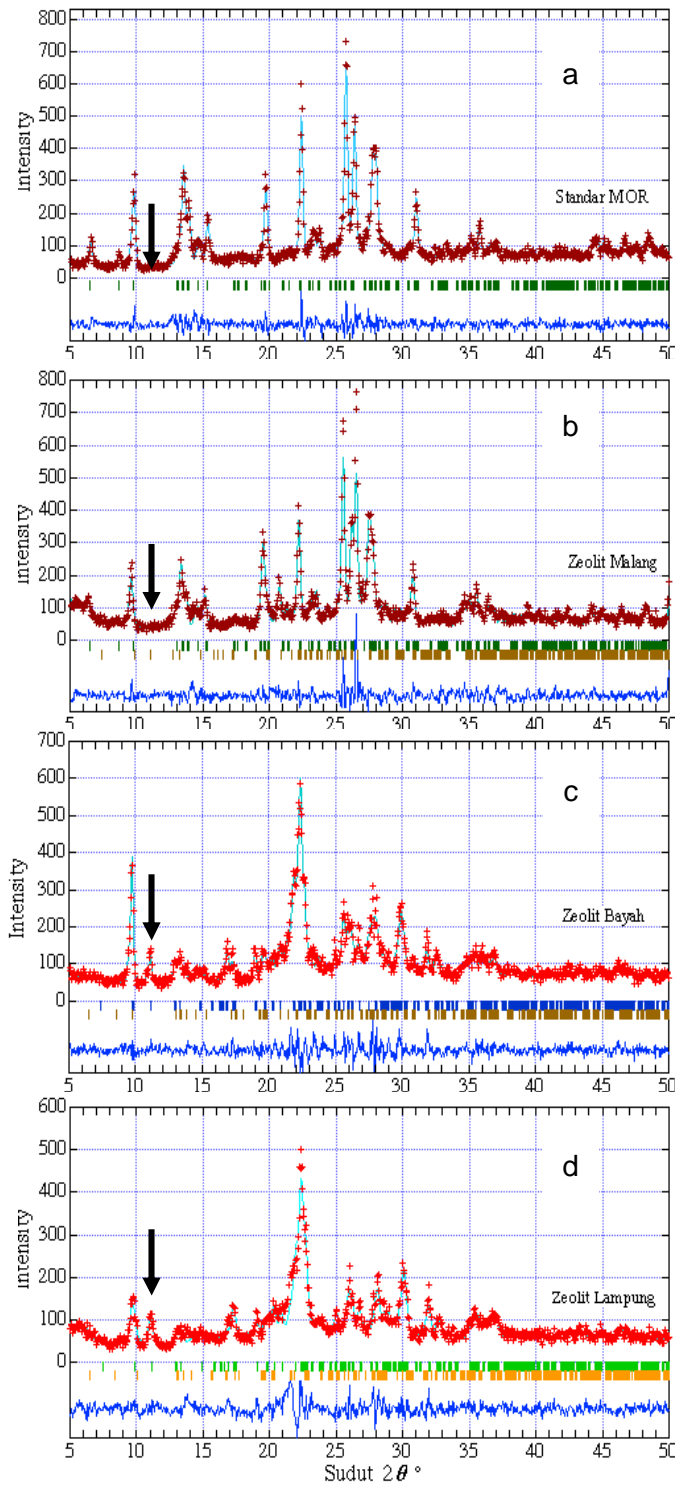
Kualitas fitting : Rwp = 10,34 % dan S = 1,5904											
Bayah : RI = 2,47, RF = 1,05						Lampung : RI = 2,68, RF = 1,23					
Atom	Wcf	g	x	y	z	Atom	Wcf	g	x	y	Z
Mg	4	0,04	0,2(5)	0,50	0,7(3)	Mg	4	0,04	0,2(5)	0,50	0,7(3)
K1	4	1,04	0,24(4)	0,50	0,33(5)	K1	4	1,04	0,24(4)	0,50	0,33(5)
K2	2	0,05	0,00	0,50	0,00	K2	2	0,05	0,00	0,50	0,00
Al1	2	1	0,00	0,50	0,50	Al1	2	1	0,00	0,50	0,50
Al2	4	1	0,00	0,25	0,00	Al2	4	1	0,00	0,25	0,00
O1	4	1	0,31(5)	0,50	0,2(1)	O1	4	1	0,31(5)	0,50	0,2(1)
O2	8	1	0,28(7)	0,18(7)	0,6(1)	O2	8	1	0,28(7)	0,18(7)	0,6(1)
O3	8	1	0,2(1)	0,2(1)	0,3(2)	O3	8	1	0,2(1)	0,2(1)	0,3(2)
O4	8	1	0,27(9)	0,1(1)	0,33(6)	O4	8	1	0,27(9)	0,1(1)	0,33(6)
O5	4	1	0,00	0,23(8)	0,50	O5	4	1	0,00	0,23(8)	0,50
O6	8	1	0,03(5)	0,09(2)	-0,2(1)	O6	8	1	0,03(5)	0,09(2)	-0,2(1)
O7	8	1	0,22(5)	0,12(3)	0,7(1)	O7	8	1	0,22(5)	0,12(3)	0,7(1)
O8	8	1	0,01(7)	0,3(2)	0,3(2)	O8	8	1	0,01(7)	0,3(2)	0,3(2)
O9	8	1	0,31(7)	0,25(7)	0,3(2)	O9	8	1	0,31(7)	0,25(7)	0,3(2)
O10	8	1	0,01(8)	0,3(2)	0,3(2)	O10	8	1	0,01(8)	0,3(2)	0,3(2)
Si1	8	1	0,25(8)	0,42(8)	0,7(1)	Si1	8	1	0,25(8)	0,42(8)	0,7(1)
Si2	8	1	0,26(5)	0,21(7)	0,8(1)	Si2	8	1	0,26(5)	0,21(7)	0,8(1)
Si3	8	1	-0,03(3)	0,42(2)	0,26(2)	Si3	8	1	-0,03(3)	0,42(2)	0,26(2)
Si4	2	1	0,00	0,00	0,46(2)	Si4	2	1	0,00	0,00	0,46(2)
Si5	4	1	0,52(5)	0,26(4)	0,00	Si5	4	1	0,52(5)	0,26(4)	0,00

Sumber Target : Co-K α , $\lambda = 1,788965 \text{ \AA}$, a = 18,01(3) \AA , b = 17,93(3) \AA dan c = 7,44(3) \AA , grup ruang C2/m, monoklinik, jumlah atom dalam sel satuan : Mg = 0,159, K = 5,168, Al = 6, Si = 30 dan O = 72

Keterangan : g = faktor hunian, Wcf = posisi *Wyckoff*, x,y,z = koordinat atom, R = indeks reliabilitas, Rwp = R- bobot pola difraksi, RI = R-intensitas Bragg, RF = R-faktor struktur dan S = *goodness-of-fit*

adalah masing-masing posisi puncak dan indeks fasa (indeks Miller) klinoptilolit dan mordenit dan garis mendatar (—) dibawah

garis vertikal adalah gambaran selisih pengamatan dengan perhitungan.



Gambar 3. Profil pola difraksi zeolit alam hasil penghalusan RIETAN a) Standar Mordenit, b) Zeolit alam Malang, c) Zeolit alam Bayah dan d) Zeolit alam Lampung

Tabel 4. Data parameter struktur **zeolit Malang**, hasil penghalusan RIETAN

Kualitas fitting : Rwp = 10,34 % dan S = 1,5904						
Zeolit Malang : RI = 2,68, RF = 1,23, dan Fraksi berat = 66,87 %(MOR), 33,13%(CLIP)						
Atom	Wyckoff	g	x	y	z	
Ca	4	0,28	0,00	0,50	0,00	
Na1	4	1,00	0,00	0,50	0,00	
Na2	4	0,41	0,00	0,37(2)	0,75	
Al1	4	1	0,00	0,32(1)	0,25	
Al2	4	1	0,00	0,18(4)	0,25	
O1	16	1	0,14(1)	0,440(5)	0,33(1)	
O2	16	1	0,12(2)	0,156(7)	0,45(1)	
O3	16	1	0,30(4)	0,415(6)	0,43(1)	
O4	8	1	0,08(3)	0,30(2)	0,25	
O5	8	1	0,18(3)	0,15(1)	0,75	
O6	8	1	0,17(2)	0,307(8)	0,75	
O7	8	1	0,41(2)	0,50	0,50	
O8	8	1	0,25	0,25	0,50	
O9	4	1	0,00	-0,01(1)	0,25	
O10	4	1	0,00	0,13(1)	0,25	
Si1	16	1	0,268(7)	0,416(3)	0,543(8)	
Si2	16	1	0,19(1)	0,198(3)	0,545(8)	
Si3	8	0,5	0,08(1)	0,38(1)	0,25	
Si4	8	0,5	0,08(1)	0,19(4)	0,25	
-	-	-	-	-	-	-

Sumber Target : Co-K α , $\lambda = 1,788965 \text{ \AA}$, a = 18,115(8) \AA , b = 20,520(9) \AA dan c = 7,515(2) \AA , grup ruang Cmcm, ortorombik, jumlah atom dalam sel satuan : Ca = 1,13, Na = 5,63, Al = 8, Si = 40 dan O = 96

Hasil akhir penghalusan RIETAN fasa klinoptilolit bentuk poli kation K, Mg dan mordenit bentuk poli kation Ca, Na, terlihat bahwa puncak-puncak hasil perhitungan garis malar (—) mendekati kesesuaian dengan puncak-puncak hasil pengamatan marker (+), berarti bahwa proses penghalusan telah mendekati kesempurnaan yang telah memberikan nilai kesesuaian (*criteria-of-fit*), *goodness-of-fit*, S = 1,5904.

Puncak 1 dan 2 hasil penghalusan RIETAN

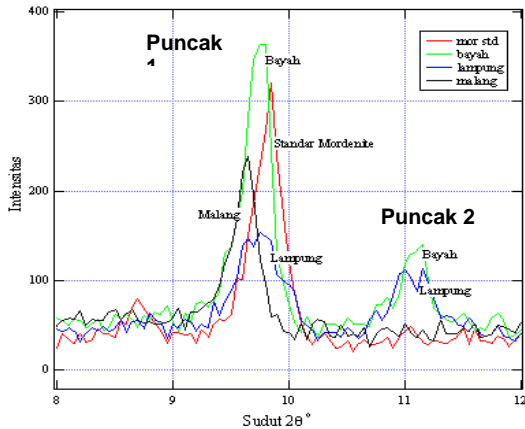
Tiga puncak Bragg indeks Miller tunggal dengan intensitas cukup tinggi pada daerah skala sudut $2\theta = 5^\circ - 15^\circ$ yang dapat memberikan ciri yang nyata untuk membedakan milik fasa mordenit dan klinoptilolit, sedangkan di atas sudut $2\theta = 15^\circ$ memiliki puncak Bragg ganda yang lebar, indeks fasa (indeks Miller) ganda

dan menumpuk, sehingga sulit teridentifikasi dan dengan *Background* yang tinggi. 3 (tiga) puncak Bragg milik fasa mordenit pada bidang (110) (020) dan (200) masing-masing terletak pada sudut $2\theta = 7,553^\circ, 10,003^\circ$ dan $11,335^\circ$ yang berimpit dengan puncak Bragg milik fasa klinoptilolit terletak pada sudut $2\theta = 11,451^\circ$ bidang (020) dan 2 (dua) puncak Bragg milik fasa klinoptilolit terletak pada sudut $2\theta = 8,603^\circ$ bidang (110) dan puncak yang dapat membedakan dengan jelas antara fasa klinoptilolit dan mordenit terletak pada sudut $2\theta = 12,865^\circ$, bidang (200) milik fasa klinoptilolit.

puncak 1 (Gambar 4) :

Zeolit std mordenit garis warna merah pada bidang (200) sudut $2\theta = 9,818^\circ$, zeolit Bayah garis warna hijau pada bidang (020) sudut $2\theta = 9,731^\circ$, zeolit Lampung garis

warna biru pada bidang (200) sudut $2\theta = 9,740^\circ$, zeolit Malang garis warna hitam pada bidang (200) sudut $2\theta = 9,621^\circ$.



Gambar 4. Puncak 1 dan 2 zeolit alam Bayah, Lampung, Malang dan standar Mordenit (raw data) hasil Spektrometer Sinar-X (XRD) P3IB-BATAN. Profil pola difraksi zeolit alam pada skala antara sudut $2\theta = 8,00^\circ$ s.d 12°

Puncak 2 (Gambar 4) :

Zeolit Bayah (garis warna hijau pada bidang (020) sudut $2\theta = 11,081^\circ$, zeolit Lampung (garis warna biru pada bidang (200) sudut $2\theta = 11,066^\circ$) di dominasi zeolit clinoptilolite

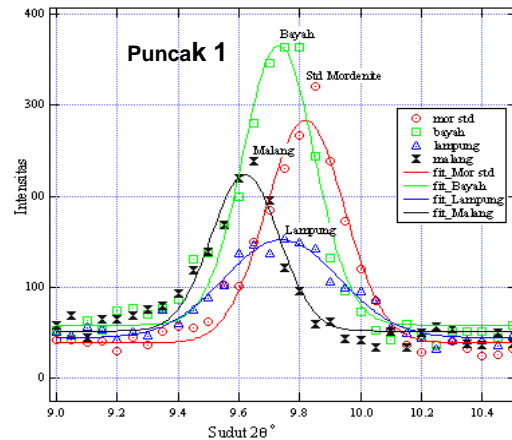
Puncak 1 (Gambar 5)

Rocking curve 1 (puncak 1) zeolit alam hasil fitting antara sudut $2\theta = 9,0^\circ$ s.d $10,5^\circ$ menggunakan program Igor Pro. Terlihat bahwa pada posisi antara sudut 2θ ini zeolit alam Bayah, Lampung dan Malang semuanya merefleksikan sudut Bragg, seperti nampak jelas pada Gambar 5.

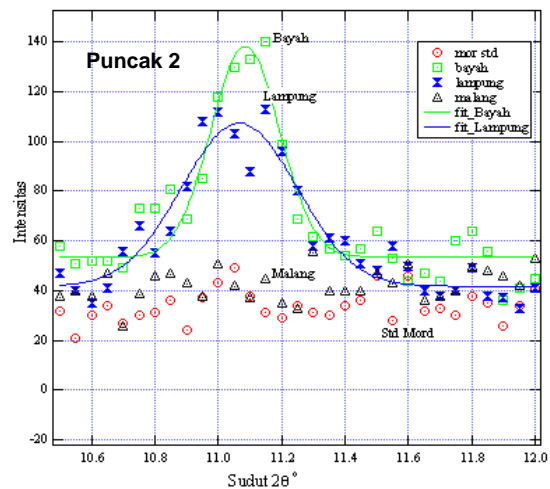
Puncak 2 (Gambar 6)

Rocking curve 2 (puncak 2) zeolit alam hasil fitting antara sudut $2\theta = 10,70^\circ$ s.d $12,5^\circ$ menggunakan program RIETAN. Terlihat bahwa pada posisi antara sudut 2θ ini hanya zeolit alam Bayah dan Lampung yang merefleksikan sudut Bragg, seperti

nampak jelas pada Gambar 6. Suatu ciri bahwa zeolit alam ini berfasa klinoptilolit.



Gambar 5. Rocking curve 1 (puncak no.1) zeolit alam hasil fitting a) puncak garis warna hijau zeolit Bayah pada sudut $2\theta = 9,731^\circ$, Puncak warna merah zeolit mordenit standar pada sudut $2\theta = 9,818^\circ$, puncak warna biru zeolit Lampung pada sudut $2\theta = 9,740^\circ$ dan puncak warna hitam zeolit Bayah pada $9,621^\circ$



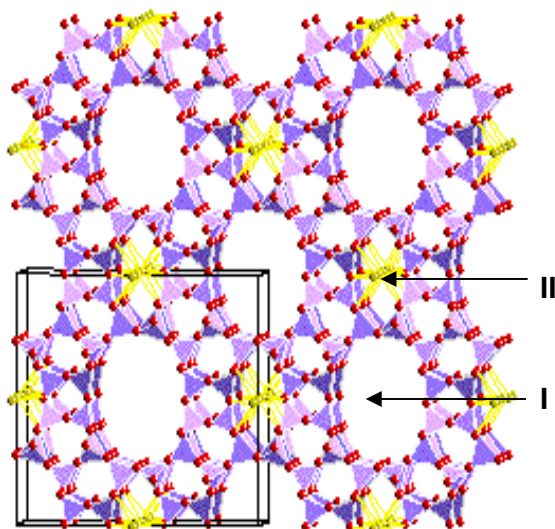
Gambar 6. Rocking curve 2 (puncak no.2) zeolit alam hasil fitting a) puncak warna biru zeolit Lampung pada sudut $2\theta = 11,066^\circ$ dan puncak warna hijau zeolit Bayah pada sudut $2\theta = 11,084^\circ$

Dari hasil kajiing puncak Bragg 1 dan 2 inilah yang dapat membedakan kedua jenis zeolit alam, bahwa zeolit Bayah dan Lampung berfasa klinoptilolit dan zeolit alam Malang berfasa mordenit, seperti

nampak pada Gambar 5 dan 6. Penentuan fasa dari ketiga daerah zeolit alam tersebut adalah berdasarkan hasil kaji penghalusan struktur kristal dengan program Igor Pro, seperti dijelaskan dimuka.

Ukuran rongga (cavity)

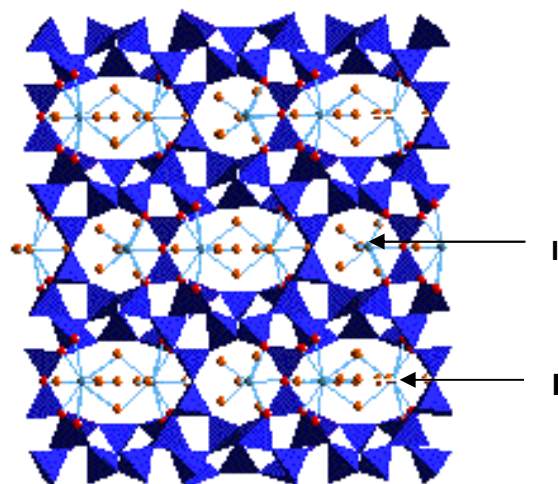
Crystal Maker



Gambar 3. Kerangka struktur Sangkar zeolit *mordenit* (Malang), dalam ruang 3D hasil program *Crystal Maker*, **S8R** (I), diameter Poros = 11,435 Å dan **S12R** (II), diameter Poros = 7,730 Å

Gambar 3 adalah bentuk struktur sangkar zeolit *mordenit* dalam ruang tiga dimensi (3D) hasil program *Crystal Maker*. Data struktur diperoleh dari hasil penghalusan (*refinement*) dengan RIETAN. Data parameter struktur : simetri grup ruang : Cmcm (No. 63), sistim kristal : *Ortorombik*, parameter kisi : a = 18.11, b = 20.53, c = 7.528 Å, sudut antar sumbu : $\alpha = 90.0$, $\beta = 90.0$, $\gamma = 90.0^\circ$, koordinat atom *Mordenit* dalam unit sel (Tabel 4) adalah sebagai data masukan untuk menggambar bentuk struktur sangkar dengan menggunakan program *Crystal Maker*. Pada gambar tersebut terlihat bahwa struktur sangkar *mordenit* mempunyai kelas SBU : 5-1 yang memiliki 2 (dua) rongga utama. Rongga pertama dibatasi 8 oksigen (S-8R), berdiameter 7,09 Å, ditempati oleh logam

alkali dan dan alkali tanah ($K > Ca > Fe > Mg > Na > Mn$), rongga ke dua lebih besar dibatasi 12 oksigen (S-12R), berdiameter 10,42 Å, hanya ditempati oleh molekul air, seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 4. Kerangka struktur Sangkar Zeolit *Clinoptilolite* (Bayah dan Lampung) dalam ruang 3D hasil program *Crystal Makker*, **S10R** (I), diameter Poros = 10,685 Å dan **S8R** (II) diameter PorosI = 8,193 Å

Gambar 4 adalah bentuk struktur sangkar zeolit *clinoptilolit* dalam ruang tiga dimensi (3D) hasil program *Crystal Maker*. Data struktur diperoleh dari hasil penghalusan (*refinement*) dengan RIETAN. Data parameter struktur: simetri grup ruang: C12/m1 (No. 12), sistim kristal: *Monoklinik*, parameter kisi: a = 17.662, b = 17.911, c = 7.407 Å, sudut antar sumbu : $\alpha = 90.0$, $\beta = 116.4$, $\gamma = 90.0^\circ$. Posisi atom (Tabel 3) adalah sebagai data masukan untuk menggambar bentuk struktur sangkar dengan menggunakan program *Crystal Maker*. Pada gambar tersebut terlihat bahwa struktur sangkar *clinoptilolit* mempunyai kelas SBU : 4-4-1 yang memiliki 2 (dua) rongga utama. Rongga pertama dibatasi 10 oksigen (S-10R), berdiameter 10,685 Å, ditempati oleh logam alkali dan dan alkali tanah ($K > Ca > Fe > Mg > Na > Mn$), rongga ke dua lebih kecil dibatasi 8 oksigen (S-8R), berdiameter 8,193 Å, ditempati oleh

molekul air, dan logam alkali dan alkali tanah seperti terlihat pada Gambar 4.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil akhir penghalusan dengan RIETAN memberikan tingkat reliabilitas Rwp sebesar 10,34% dan $S = \text{goodness-of-fit}$, $S = 1,5904$
2. Zeolit alam Bayah dan Lampung mengandung fasa yang didominasi oleh fasa **klinoptilolit** yakni : fasa klinoptilolit bentuk poli kation K-Mg dengan komposisi rumus kimia adalah : $K_{5,17} Mg_{0,16} (Al_6 Si_{30} O_{72}) \cdot 24H_2O$. *Cavity* : **S10R** (I), diameter Poros = 10,685 Å **dan S8R** (II), diameter Poros = 8,193 Å
3. Zeolit alam Malang mengandung fasa yang didominasi oleh fasa **mordenit** bentuk poli kation Ca-Na dengan komposisi rumus kimia adalah $Na_{5,63} Ca_{1,13} (Al_8 Si_{40} O_{96}) \cdot 22H_2O$. *Cavity* : **S8R** (I), diameter Poros = 11,435 Å **dan S12R** (II), diameter Poros = 7,730 Å
4. Berdasarkan analisis struktur dengan metode Rietveld menggunakan program RIETAN, bahwa zeolit Bayah dan Lampung adalah berfasa klinoptilolit memiliki kapasitas tukar kation lebih tinggi dibanding zeolit alam Malang berfasa mordenit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada kepala PTBIN, kepala Balai Spektrometer beserta staf dan teknisi, ketua beserta anggota KPTF dan semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan hingga selesainya percobaan ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. J.V. Smith. 1988. Topochemistry of Zeolites and Related Material 1, Topology and Geometry, Chem. Rev. 88, 149-182.
2. Las T. 1989. Use of Natural Zeolite for Nuclear Waste Treatment, PhD Thesis, Dept. Applied Chemistry, University of Salford, England.
3. Dyer.A. 1988. An Introduction to Zeolite Molecular Sieves, John Wiley & Son Ltd, Chichester.
4. K. Koyama and Y. Takeuchi. 1977. Z. Kristallogr. 145, 216-239.
5. V. Gramlich. 1971. PhD dissertation, ETH, Zurich.
6. Thamzil Las. 1995-1997. Pemanfaatan Mineral Zeolit untuk pengolahan limbah, Riset Unggulan Terpadu, PTPLR-BATAN.
7. Agustina Eliyanti. 1992. Physical and Chemical Properties of Dealuminated Indonesian Natural Mordenite and Evaluation as a Cracking Catalyst, Thesis submitted in partial fulfilment for the degree of Master of Science, Pascasarjana Program Studi Materials Science, Universitas Indonesia.
8. Izumi. F. 1989. Rietveld Analysis System, RIETAN, Part I, Asoftware Package for the Rietveld Analysis and Simulation of X-Ray and Neutron Diffraction Patterns, Rigaku J6, No.1 10.
9. D. Palmer. 1995. Crystal Maker, Iterative Crystallography for Macintosh, Version 1.1- User Manual, Lynxvale Ltd, 20 Trumpington Street, Cmbridge, England.
10. Tsitsishvili G.V., dkk. 1992. "Natural Zeolit" Ellis Horwood Limited.
11. Tsitsishvill G.V., dkk. 1995. "Natural Zeolit" Ellis Horwood Limited.
12. Meier W.M. 1961. The Crystal Structur of Mordenit (ptilolite), Zeitschrift fur Kristallographie, Bd. 115, S 439-449.

13. Alberti A., Davoli P., and Vezzalini. 1986. "The Crystal Structur Refinement of a Natural Mordenit", Zeitschrift Kristallographie 175.
14. Lenny Marilyn Estiaty, Dewi Fatimah and Yoshiaki Oto. 2003. Improvement of Animal Manure by Mixing with Natural Zeolite, Jurnal Zeolit Indonesia Vol.2 No.1, 37-44

Pembuatan Zeolit Alam sebagai Keramik Batu pada Suhu Bakar di Bawah 1000°C

Dewi Fatimah

Pusat Penelitian Geoteknologi- LIPI
Jl. Sangkuriang Bandung 40135, Email :dewi.fatimah@lipi.go.id

ABSTRACT

Saat ini, dunia keramik telah berkembang menjadi bagian interior dan eksterior bangunan, industri dan barang rumah tangga. Kualitas dan kemampuannya dibuat dengan spesifikasi tertentu yang kompatibel dengan struktur, desain, dan fungsinya. Sebagai contoh struktur bangunan yang biasanya mempunyai kelembaban tinggi apakah di dalam atau di luar akan membutuhkan keramik seperti itu untuk lantai guna menjaga kondisi kering, tidak licin, bersih sehingga jamur tidak akan tumbuh. Untuk tujuan itu, keramik yang dibuat dari zeolit alam akan mempunyai sifat-sifat yang sama dengan zeolit alam yang berfungsi seperti sebagai penyerap atau pelepas air dapat balik, penyerap bau, atau senyawa mudah menguap atau saringan molekul. Pembuatan keramik zeolit dilakukan dengan pembakaran pada suhu dimana struktur zeolit tidak akan rusak membentuk senyawa amorf. Oleh karena itu, fungsi zeolit masih terjaga. Perkembangan komposit dibuat dari bahan utama zeolit dengan tambahan, liat, kaolin, dan felspar dibuat sebagai pengikat. Untuk mengurangi suhu pembakaran, senyawa natrium ditambahkan ke dalam komposit dan dalam penelitian dilakukan pada suhu 800-1000 °C dengan tekanan komposit antara 50-100 kg/cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembakaran pada suhu 800°C baik menggunakan analisis SEM atau XRD, zeolit dalam bentuk kristal mordenit. Pada pembakaran suhu 1000°C, struktur kristal dari zeolit telah rusak dan membentuk albit dan kalsit sebagai senyawa baru. Keramik zeolit yang terbentuk pada 800 °C, dengan tekanan 50 kg/cm mempunyai karakter kuat dan kompak dengan kemampuan absorpsi lebih dari 23%.

Kata kunci: Zeolit, periuk belanga, penyerap dapat balik, natrium

ABSTRACT

MAKING OF NATURAL ZEOLITES AS STONE CERAMICS AT TEMPERATURE OF LESS THAN 1000°C. Nowadays, ceramics world has been developing into what the interior, building exterior, industries and household. The quality and its ability made by certain specification which compatible with the structure, design and the function. For example, the building structure that usually has high humidity whether indoor or outdoor will need certain ceramics for the floor to keep on dry condition, unslippery, clean while fungus will not live. For that purpose stone ceramics that made by natural zeolite will has same characters as natural zeolite function such us absorb/release water reversibly, absorb smelt or volatile compound, molecular filter. The making of zeolite ceramic was done at certain burning temperature where natural structure of zeolite will not be destructed or collaps and forming amorphous compound. So the natural zeolite function will preserve. The development of composite is made from natural zeolite as the main ingredients which clay, kaolin, and feldspar are used as binders. In order to decrease burning temperature, natrium compound added into the composite and the experiment done at temperature 800-1000 °C with composite pressure between 50-100 kg/cm. the result of experiment indicate that on burning temperature 800°C whether with using SEM or XRD analysis, zeolite is in mordenite crystal form. Whereas at burning temperature 1000°C, the crystal structure of zeolite has been destructed and forming albit and calcian as new compound. The zeolite ceramics which formed at 800 °C, with pressure at 50 kg/cm has strong and compact characters with absorption ability up to 23%.

Keywords: Zeolite, stoneware, reversible absorber, sodium

PENDAHULUAN

Keramik secara umum dibuat dari matriks kuarsa dan dibentuk oleh masa butiran yang terikat antara bahan pengikat (*binders*), bahan pengisi (*filler*), bahan pelebur (*flux*) dan bahan tambahan (*additive*). Lempung dan kaolin berfungsi sebagai pengikat pada saat mentah sedangkan feldspar berfungsi sebagai *flux* yang melebur, yang akan mengikat matriks menjadi kuat. Prosesnya mengalami panas tinggi 1000°C – 1300°C, dimana produk mempunyai sifat keras dan kuat, namun bersifat getas dan mudah patah [1].

Kualitas unjuk kerja dari keramik terus berkembang, dengan membuat spesifikasi tertentu disesuaikan dengan struktur, *design* serta fungsinya. Untuk keperluan dengan kondisi yang memerlukan sifat mampu menyerap bau, mempunyai stabilitas yang cukup tinggi terhadap perubahan yang kurang menguntungkan. Maka, diperlukan jenis keramik tertentu yang mempunyai sifat yang sesuai untuk kebutuhan tersebut. Sifat-sifat tersebut dimiliki oleh zeolit yang merupakan "*beautiful mineral*" dengan sifat spesifik yang tidak dipunyai oleh mineral lain dan dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang industri [2].

Secara struktur zeolit adalah mineral berongga dan bersifat polar, rongga biasa diisi oleh air, memiliki ukuran pori tertentu sehingga mempunyai sifat sebagai penyaring molekul, penukar ion, penyerap bau ataupun sebagai katalisator. Sifat dehidrasi berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya, zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam rongga permukaan yang menyebabkan medan listrik meluas ke rongga utama dan akan efektif terhadap molekul yang akan diadsorpsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori atau volume ruang hampa yang akan terbentuk bila unit sel kristal zeolit tersebut dipanaskan. Bila kristal zeolit dipanaskan pada suhu 300°C-400°C maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit menjadi aktif dan dapat berfungsi sebagai penyerap [3].

Keramik yang dibentuk oleh kaolin, lempung, feldspar dan kuarsa, sebagai bahan utama, pada proses pembakaran akan terjadi perubahan-perubahan berupa penguapan air permukaan dan air kristal, pirolisis, oksidasi bahan organik, oksidasi unsur logam alkali dan alkali tanah, dekomposisi karbonat dan sulfat yang terkandung dalam bahan tambahan maupun bahan baku. Perubahan perubahan tersebut dikenal dengan proses *pre-sintering* yang mengubah bahan baku menjadi keramik kuat, reaksi kimia serta mekanisme pemadatan bahan mulai saat proses peleburan. Pada proses pembakaran kaolin akan berubah menjadi meta-kaolin pada suhu 400-700°C. Gas yang terbentuk akan menimbulkan tekanan, sehingga kecepatan pembakaran perlu dikontrol agar tidak merusak struktur badan keramik. Perubahan mikro-struktur atau peningkatan densitas keramik dapat dibedakan dalam 3 (tiga) tahap [4].

- 1) Pada tahap awal (*initial stage*) terjadi kontak antara butiran *binders*, porositas akan menurun sekitar 12% dan permukaan partikel mulai tampak halus.
- 2) Pada tahap 2 (dua) atau *intermediate*, terjadi pengembangan batas pertemuan butiran sehingga porositas akan menurun dengan tajam, dan terbentuk butiran dari campuran material.
- 3) Dan pada tahap akhir (*final stage*) porositas antar butiran akan tertutup, prosen densitas akan mencapai 85% atau lebih.

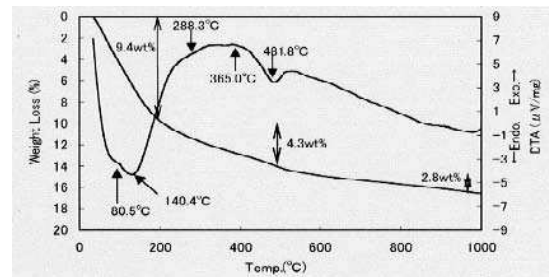
Masalah yang timbul dalam pembuatan keramik zeolit adalah sifat adsorben dari zeolit akan berubah jika terkena pengaruh suhu lebih besar dari 800°C, dari hasil penelitian diketahui bahwa zeolit Cikanra, Tasikmalaya dengan jenis mineral mordenit terdestruksi sebagian mulai suhu 800°C lebih dan pada kurva TG-DTA mulai turun walaupun tidak terlalu tajam dan di dalam difraktogram masih terlihat berbentuk kristal mordenit [5].

Dari data-data tersebut, dapat ditentukan bahwa pembuatan keramik batu (*stone ceramics*) perlu dilakukan pada suhu dimana zeolit masih mempunyai sifat alamiahnya atau di sekitar suhu 800°C. Sementara bahan keramik mencapai kekuatan optimal setelah mengalami proses pembakaran pada suhu 1000°-1300°C, suhu tersebut untuk melelehkan *binders* yang akan mengikat matriks (James Reed).

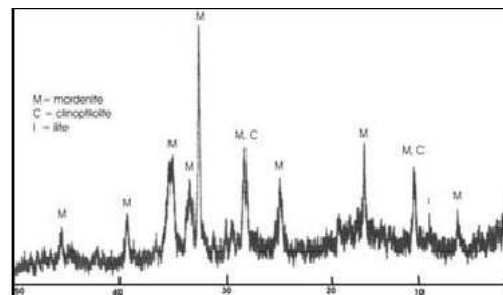
Akibat dari parameter-parameter di atas saling bertolak belakang, beberapa hal telah dilakukan dalam proses pembuatan keramik zeolit. Antara lain penggabungan butiran-butiran zeolit dengan bahan perekat keramik pada suhu dimana zeolit masih mempunyai sifat alamiahnya sedangkan bahan-bahan pembantu seperti feldspar maupun kaolin sudah terpicu akibat pembakaran membentuk massa yang kuat, dengan menambahkan senyawa natrium pada komposit.

Komposit hasil bakar yang berupa *stone ceramics* dari zeolit alam dapat dimanfaatkan dalam berbagai keperluan seperti untuk struktur bangunan yang lingkungannya selalu lembab baik *outdoor* maupun *indoor*, dimana diperlukan keramik khusus agar lantai selalu dalam kondisi kering sehingga tidak licin, kotor atau ditumbuhi jamur. Begitu juga untuk

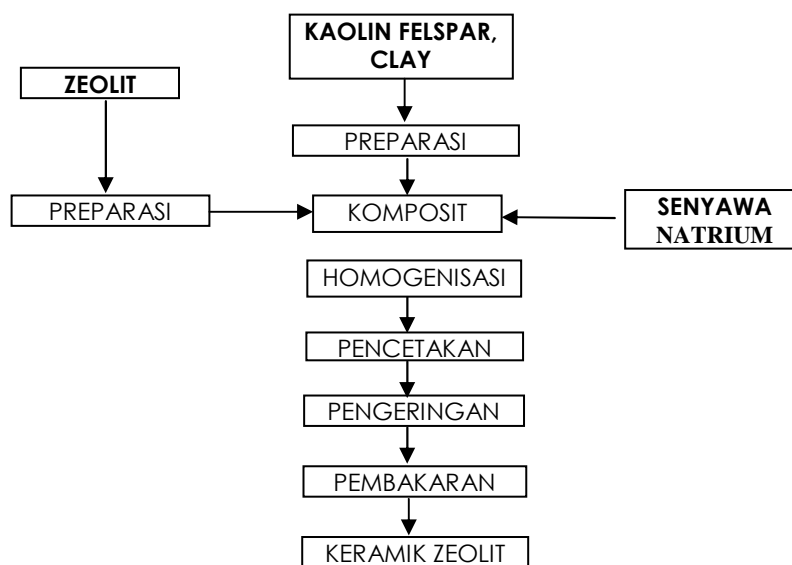
keperluan dalam rumah tangga seperti untuk mengatasi aroma tak sedap yang timbul dalam lemari es, aroma sigaret, kandang binatang peliharaan, sebagai penyerap amonia maupun untuk *smelly shoes*. Hal tersebut dimungkinkan karena *stone ceramics* tersebut bahan utamanya dibentuk oleh mineral zeolit yang mempunyai sifat spesifik dari kristalnya.



Gambar 1. TG-DTA zeolit Cikanca, Tasikmalaya



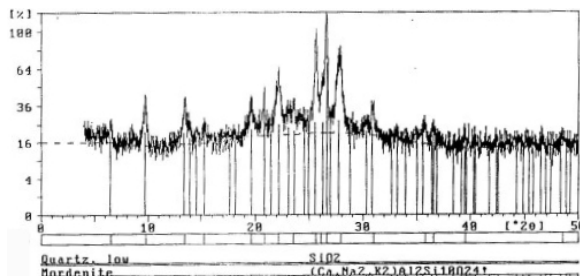
Gambar 2. Diffraktogram zeolit Cikanca, Tasikmalaya



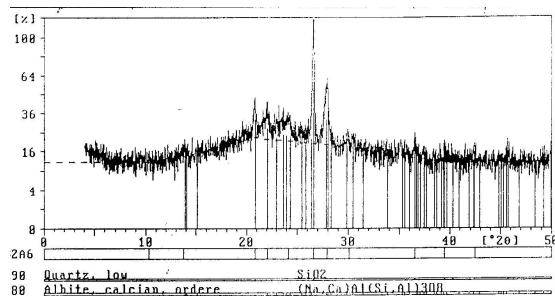
Gambar 3. Diagram alir penelitian

METODOLOGI

Pembuatan dan pembentukan masa keramik dilakukan dengan proses pencetakan bertekanan, dengan ukuran diameter 4 cm, tebal 0.5-1 cm. Komposit terdiri dari campuran homogen dari bahan baku zeolit, kaolin, feldspar, air serta senyawa natrium karbonat. Komposit kemudian dikeringkan pada suhu kamar dan pada suhu 50-60°C, kadar air maksimal sebelum pembakaran 5%. Untuk meningkatkan kekuatan keramik zeolit, dilakukan pembakaran pada suhu 800°-1000°C, setelah pembakaran dilakukan pengujian produk keramik zeolit. Percobaan dilakukan dengan menggunakan 3 (tiga) ukuran partikel yaitu -48 mesh -120 mesh dan -200 mesh pada suhu pembakaran 800°C, 850°C 900°C, 950°C dan 1000°C dengan waktu pembakaran 2-8 jam. Analisis penyerapan air oleh produk dilakukan dengan metoda gravimetri. Identifikasi mineral dilakukan dengan alat *X-Ray Difraktometer (XRD)* dan *Scanning Electron Microscop (SEM)*. Variabel formula komposit dilakukan dalam 6 variabel pada 4 jenis kuat tekan 150; 100; 75 dan 50 kg/cm².



Gambar 4. Difraktogram zeolit keramik pada suhu 800°C



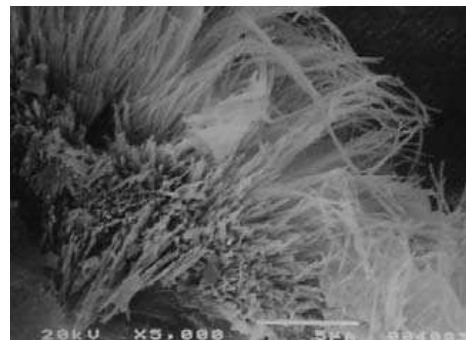
Gambar 5. Difraktogram zeolit keramik pada suhu 1000°C

Tabel 1. Densitas dari zeolit keramik

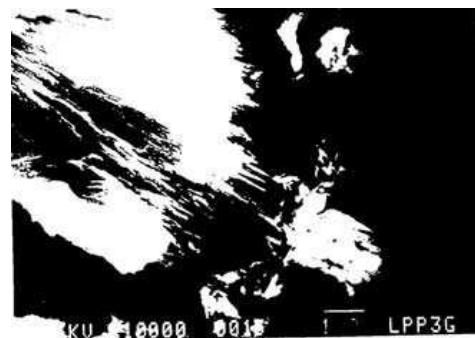
No	Suhu Bakar	Density
1	800°C	2,24
2.	1000°C	2,46

Tabel 2. Penyerapan air oleh zeolit

Material	% Air
Zeolit Cikanra	22.33



Gambar 6. Foto SEM zeolit alam dari Cikanra, Tasikmalaya



Gambar 7. Foto SEM of zeolit keramik pada suhu 800°C

Perbandingan antara matrik zeolit dengan bahan tambahan (kaolin, feldspar, kapur) sebesar 70:30, sedangkan senyawa natrium sebanyak 5 persen berat dan air sebanyak 15 persen berat dari berat formula (lihat diagram alir percobaan di atas) :

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari **Tabel 3** terlihat rata-rata penyerapan air dari keramik zeolit hasil bakar 800°C, pada tekanan pencetakan 50 kg/cm² berkisar antara 22.18 – 23%, ini memperlihatkan terjadi kenaikan angka penyerapan. Sedangkan produk blanko tanpa zeolit, penyerapannya sebesar 19.56% dan zeolit murni penyerapannya sebesar 22.33%. Secara visual, kekuatan keramik dengan suhu bakar 800°C direndam air selama 7 (tujuh) hari, tidak mengalami perubahan, produk tetap stabil. Semakin tinggi tekanan pencetakan maka akan semakin menurun daya serapnya terhadap air, hal ini disebabkan karena semakin kompaknya material, begitu juga semakin tinggi suhu pembakaran maka akan semakin menurun pula daya serapnya terhadap air, hal tersebut disebabkan karena semakin tinggi suhu, maka degradasi struktur mineral zeolit semakin bertambah, sehingga sifat alamiah zeolit mulai berubah.

Difraktogram zeolit keramik yang dibakar pada suhu 800°C masih terlihat puncak-puncak zeolit (mordenit), didukung pula oleh hasil SEM masih terlihat kristal-kristal mordenit berbentuk jarum (*needle*) dan serat (*fiber*). Pada suhu bakar 1000°C, puncak yang terlihat hanya tinggal kuarsa

dan albite, demikian pula pada SEM sudah terjadi *pre-sintering*, tetapi masih terlihat porous dan lebih kompak bila dibandingkan dengan hasil pembakaran suhu 800°C.

Ini menunjukkan bahwa pembakaran keramik dengan matrik zeolit harus dilakukan pada suhu lebih kecil dari 1000°C, dari hasil penyerapan air-pun terlihat bahwa pada pembakaran 1000°C, terjadi penurunan daya serap terhadap air. Penambahan senyawa natrium karbonat sebanyak 5%, memperlihatkan penurunan suhu yang signifikan pada pembakaran material yang pada dasarnya keramik jenis *stoneware* dilakukan pada suhu 1100°C - 1300°C.

Pada saat proses eksperimentasi, secara visual terlihat komposit tanpa penambahan senyawa natrium pada suhu bakar 1100°C belum mengalami proses *sintering* dan kondisi keramik masih rapuh. Demikian pula halnya dengan blanko (tanpa zeolit) yang dibakar pada suhu 800°C kondisinya masih berupa *earthenware* yang berpori besar dan sangat rapuh dengan daya serap air sebesar 19.56%. Penyerapan air (**Tabel 4**) pada berbagai tekanan memperlihatkan bahwa formula komposit dengan bahan utama zeolit masih berkisar antara 21-22%, sedangkan tanpa zeolit penyerapan hanya 16.75%

Tabel 3. Penyerapan air oleh zeolit keramik pada suhu bakar 800 °C

No.	Kode	% Air (Tek. 50)	% Air (Tek. 75)	% Air (Tek. 100)
1	Z ₁ - 120	22.18	22.67	21.34
2	Z ₂ - 120	22.81	22.03	21.11
3	Z ₃ - 120	22.73	22.00	21.11
4	Z ₄ - 120	22.33	21.09	21.25
5	Z ₅ - 120	23.00	21.68	21.27
6.	blanko	19.56	18.11	17.08

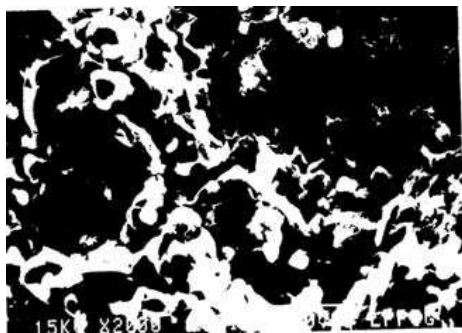
Tabel 4. Penyerapan air oleh zeolit keramik

No	Kode	Tek. 150, 850°C	Tek.150, 950°C	Tek.150, 1000°C
1.	Z ₃ - 48	14.37	12.23	9.71

Tabel 5. Penyerapan air oleh zeolit keramik pada suhu bakar 800 °C, selama 3 jam

No	Kode	Tek. 50	Tek. 75	Tek. 100
1.	Z ₁ - 200	22.76	22.10	21.04
2.	Z6-Blanko	19.06	18.11	16.75

Pada saat proses eksperimentasi, ditemukan pula kondisi yang menarik, dimana secara visual terlihat bahwa blanko (tanpa zeolit) yang belum mengalami pembakaran pada permukaan body keramik, terbentuk kristal jarum yang tersebar. Dugaan ini adalah kristal senyawa natrium karbonat yang berasal dari reaksi antara senyawa natrium yang bersifat basa yang menghisap gas CO₂ dari udara. Hal tersebut dapat berakibat pada proses pembakaran akan terjadi pelelehan bagian luar terlebih dahulu (*case hardening*) sehingga akan menghalangi pembakaran bagian dalam komposit, sehingga produk menjadi rapuh.



Fambar 8. Foto SEM zeolit keramik pada suhu 1000 °C (pembesaran 200 kali)

Sedangkan pada body matriks yang mengandung zeolit hal tersebut tidak terjadi, karena senyawa natrium diikat oleh struktur zeolit menjadi matriks yang homogen, sehingga dalam proses pengeringan, pemanasan dan pembakaran, tidak terjadi *case hardening*.



Gambar 9. Foto SEM zeolit keramik pada suhu 1000 °C (pembesaran 10000 kali)

Densitas keramik zeolit hasil bakar 800°C sebesar 2.24, karena zeolit masih berbentuk mineral alamiah, adanya lorong yang dibentuk oleh pori pada struktur kristal mengakibatkan jaringan (densitas zeolit alam berkisar antara 2.1 -2.47). Produk keramik zeolit hasil suhu bakar 1000°C adalah sebesar 2.46, menunjukkan kenaikan yang signifikan, karena proses pemadatan pada suhu bakar 1000°C sudah mulai terjadi, dari analisis SEM (**Gambar 8** dan **Gambar 9**) terlihat material mulai kompak dan terjadi pelelehan bahan. Dari data data di atas pembuatan keramik zeolit jenis *stone ceramics* masih dimungkinkan pembakaran komposit dengan penambahan waktu bakar pada suhu 800°C atau dibawah 1000°C.

KESIMPULAN

Keramik zeolit (*stone ceramics*) yang dibentuk oleh bahan utama zeolit alam dan bahan pembantu sebagai binders dan fluks berupa clay, kaolin dan feldspar dengan perbandingan zeolit/bahan pembantu sebesar 70/30 pada tekanan pencetakan 50 kg/cm² dapat dibuat dengan suhu bakar 800°C mampu menyerap air sebanyak 23%. Pada kondisi tersebut zeolit masih berupa kristal alamiah (SEM dan XRD).

Untuk meningkatkan kekuatan keramik, komposit dapat diperpanjang waktu bakar pada suhu sekitar 800°C atau dibawah 1000°C. Dan pembakaran komposit tidak boleh lebih dari 1000°C, karena pada suhu tersebut terjadi disfungsi dari zeolit, membentuk kuarsa dan albite. Substitusi senyawa natrium karbonat sebanyak 5% berat, secara signifikan dapat menurunkan suhu pembakaran.

DAFTAR PUSTAKA

1. conference/dit03/pdf
2. A., Bresciani and Bandini R. 1991. *Strength of Pressed Tile, The Contribution of the Processing Parameters*, SACMI, Ceramic Laboratory
3. Lenny M. Estiaty, Dewi Fatimah, Yoshiaki Gotto. 2002. *Zeolite From Cikancra Tasikmalaya, West Java: A Review of Its Properties*, Seminar Iptek Nuklir dan Pengelolaan Sumberdaya Tambang, Pusat Pengembangan Bahan Galian dan Geologi Nuklir, BATAN, Jakarta 2 Mei 2002 ISBN 979-8769-11-2.
4. Dondi M., Raimondo, C.Zanelli, *Sintering Mechanism of Porcelain Stoneware Tile*, Institute of Science and Technology for Ceramicz, Faenza, Italy, www.mri.psu.edu/
5. Hartomo A.J. 1994. *Mengenal Keramik Modern*, Cetakan Pertama, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.

Prospek Zeolit sebagai Bahan Penjerap dalam Remediasi Lahan Bekas Tambang

Suwardi dan Budi Mulyanto

Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan
Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor
Email: suwardi_bogor@yahoo.com

ABSTRAK

Sampai saat ini, pertambangan dan energi masih merupakan sektor penting untuk menopang ekonomi negara. Namun pada umumnya kegiatan penambangan menimbulkan masalah lingkungan karena sebagian besar pertambangan menerapkan teknik penambangan terbuka yang menyebabkan perubahan bentang alam, yang meliputi topografi, vegetasi penutup, pola hidrologi, dan kerusakan tubuh tanah. Sebagai akibatnya, ekosistem tempat penambangan dan sekitarnya terganggu. Gangguan ini akan semakin nyata jika batuan limbah (overburden) mengandung mineral-mineral yang tidak stabil dalam kondisi oksidatif (seperti mineral pirit dan chalkopirit), sehingga menghasilkan air masam tambang (acid mine drained) yang mengganggu pertumbuhan biota. Zeolit merupakan kelompok mineral aluminosilikat yang mempunyai struktur yang khas, nilai kapasitas tukar kation (KTK) tinggi, porous, dapat menyerap ion amonium dan air. Sehubungan dengan sifat-sifat tersebut bahan ini dapat digunakan sebagai: (a) penjerap unsur atau senyawa yang tidak diinginkan seperti logam-logam berat, (b) pembawa unsur hara seperti ion amonium, dan (c) meningkatkan kapasitas penyangga tanah. Paper ini akan menjelaskan prospek zeolit sebagai bahan untuk remediasi lahan bekas tambang.

Kata kunci: Reklamasi lahan bekas tambang, revegetasi, zeolit, bahan penjerap

ABSTRACT

PROSPECT OF ZEOLITE AS ABSORBENT MATERIALS FOR REMEDIATION OF ABANDONED MINE LAND. Nowadays, mining and energy are still as important sectors for contributing state economics. However, mining activities usually make environmental problems because most of mining use open pit mining technique that causing the change for the landscape comprising topography, cover vegetation, hydrology pattern, and destruction of soils. In the consequence, the ecosystem of mining area and its surrounding will disturb. The disturbances will more clear if the overburden containing unstable minerals in oxidize condition (such as pyrite and chalcopyrite) release acid mine drained that disturbing biota growth. Zeolite is aluminosilicate mineral group having unique structure, high cation exchange capacity, porous, and adsorb of ammonium ion and water. With those properties, zeolite can be used as (a) adsorb of undesirable elements or compounds such as heavy metals, (b) carrier of nutrients such as ammonium ions, and (c) increasing buffer capacity of soils. This paper will discuss the prospect of zeolite as material for remediation of abandoned mine land.

Keywords: Reclamation of abandoned land, revegetation, zeolite, adsorption material.

PENDAHULUAN

Sektor pertambangan merupakan sektor yang sangat penting bagi Indonesia karena cadangan bahan tambang cukup besar dan kegiatan pertambangan cukup intensif. Sektor ini pada triwulan III tahun 2005 menyumbang 10.45% dari Pendapatan Domestik Bruto (PDB) Nasional atau setara 74 trilyun rupiah (BPS, 2005) [1]. Indonesia mempunyai Indeks Potensi Mineral pada peringkat 16 dari 47 negara yang dinilai mempunyai potensi bahan tambang cukup besar di dunia. Sehubungan dengan itu maka banyak investor yang berusaha untuk dapat melakukan kegiatan usaha pertambangan di Indonesia. Saat ini terdapat 186 perusahaan aktif dalam bentuk 146 Kuasa Pertambangan (KP), 25 Perjanjian Karya Perusahaan Pertambangan Batubara (PKP2B) dan 15 Kontrak Karya (KK).

Kegiatan pertambangan sebagian besar merupakan pertambangan di darat yang menerapkan teknik penambangan terbuka (*open pit mining*), sehingga menyebabkan perubahan bentang alam, yang meliputi topografi, vegetasi penutup, pola hidrologi, dan kerusakan tubuh tanah. Sebagai akibatnya adalah ekosistem tempat penambangan dan sekitarnya akan terganggu dan bahkan berubah. Gangguan ini akan semakin nyata jika batuan limbah (*overburden*) mengandung mineral-mineral yang tidak stabil dalam kondisi oksidatif (seperti mineral-mineral yang tergolong dalam mineral sulfidik), sehingga menghasilkan air asam tambang yang mengganggu pertumbuhan biota. Gangguan terhadap ekosistem dapat terjadi juga pada lahan di luar tempat penambangan oleh karena adanya pengendapan tailing sebagai limbah proses pengolahan bahan galian tersebut. Lahan yang telah mengalami kerusakan akibat kegiatan penambangan perlu direklamasi untuk mengembalikan fungsi ekologisnya dan kalau mungkin dapat ditingkatkan nilai ekonomisnya.

Menurut UU No 11, 1967 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Pertam-

ban dalam Pasal 30 yang menyatakan bahwa "Apabila selesai melakukan penambangan bahan galian pada suatu tempat pekerjaan, pemegang KP diwajibkan mengembalikan tanah sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan bahaya bagi masyarakat sekitarnya". Selanjutnya menurut KepMen Pertambangan dan Energi No. 1211.K/008/M.PE/1995, tentang Pencegahan dan Penanggulangan Perusakan dan Pencemaran Lingkungan pada Kegiatan Pertambangan Umum menyatakan bahwa (a) Reklamasi areal bekas tambang harus dilakukan secepatnya sesuai dengan rencana dan persyaratan yang telah ditetapkan, dan (b) Reklamasi dinyatakan selesai setelah disetujui oleh Dirjen (Pasal 12). Selanjutnya KepMen tersebut menyatakan bahwa Kepala Teknik Tambang wajib menanami kembali daerah bekas tambang, termasuk daerah sekitar *project area* sesuai studi AMDAL yang bersangkutan (Pasal 13, ayat1).

Untuk mengembalikan lahan bekas tambang agar tidak bermasalah bagi lingkungan, maka diperlukan usaha-usaha untuk memperbaiki lahan dan menanami kembali lahan tersebut agar berfungsi kembali sebagai hutan. Kebijakan reklamasi ini ditujukan agar pembukaan lahan untuk pertambangan dilakukan seoptimal mungkin dan setelah ditambang segera dipulihkan fungsi lahannya. Disamping itu reklamasi harus dilaksanakan secepatnya sesuai dengan kemajuan tambang yang merupakan bagian dari skenario pemanfaatan lahan pasca tambang.

Zeolit merupakan kelompok mineral aluminosilikat yang mempunyai struktur yang khas, nilai kapasitas tukar kation (KTK) tinggi, porous, dapat menyerap ion amonium dan air. Sehubungan dengan sifat-sifat tersebut zeolit dapat digunakan sebagai: (a) penjerap unsur atau senyawa yang tidak diinginkan seperti logam-logam berat, (b) pembawa unsur hara seperti ion amonium, dan (c) meningkatkan kapasitas penyangga tanah. Paper ini akan

membahas peranan zeolit usaha merehabilitasi lahan bekas tambang melalui revegerasi lahan.

LAHAN BEKAS TAMBANG

Sebagian besar pertambangan di Indonesia dilakukan dengan teknik penambangan terbuka (*open pit mining*). Dengan sistem itu menyebabkan perubahan bentang alam, yang meliputi topografi, vegetasi penutup, pola hidrologi, dan kerusakan tubuh tanah. Topografi berubah karena bahan tambang diambil dari bagian tertentu dari tubuh alam dan menyisakan bahan tanah dan batuan yang tidak dimanfaatkan. Pada banyak kasus terjadi kubangan-kubangan yang sangat besar berbentuk kolam-kolam. Jika hujan turun maka sering terjadi erosi yang membawa bahan tanah yang tertinggal dari proses penggalian tambang. Akibatnya terjadi gangguan keseimbangan alam. Gangguan ini akan semakin nyata jika batuan limbah (*overburden*) yang mengandung mineral-mineral yang tidak stabil dalam kondisi oksidatif (seperti mineral pirit dan chalkopirit), sehingga menghasilkan air masam tambang (*acid mine drained*) yang mengganggu pertumbuhan biota. Untuk mengurangi dampak negatif dari kegiatan pertambangan maka diperlukan berbagai usaha yang bersifat komprehensif.

Penambangan terbuka selalu mengganggu vegetasi penutup tanah karena pada proses penambangan selalu mengupas tanah sebelum mengambil bahan tambangnya. Oleh karena itu untuk mengembalikan kondisi daerah tambang seperti sebelumnya atau membuat lebih baik dari kondisi sebelumnya maka perlu dilakukan revegetasi. Kendala yang sering dihadapi dalam revegetasi adalah sifat-sifat tanah bekas tambang sudah berubah dari tanah sebelumnya karena *topsoil* telah terkupas sehingga perlu dilakukan perbaikan *topsoil* sebelum dilakukan revegetasi.

Gangguan terhadap ekosistem dapat terjadi bukan hanya pada daerah

penambangan tetapi juga pada lahan di luar tempat penambangan akibat adanya pengendapan tailing sebagai hasil proses pengolahan bahan galian tersebut. Lahan yang telah mengalami kerusakan akibat kegiatan penambangan perlu direklamasi untuk mengembalikan fungsi ekologisnya dan kalau mungkin dapat ditingkatkan nilai ekonomisnya. Oleh karena itu sebagian besar wilayah pertambangan terletak di daerah pedesaan, maka usaha reklamasi yang dapat dilakukan adalah revegetasi. Namun untuk melakukan revegetasi menghadapi persoalan antara lain: lapisan tanahnya tipis sehingga ruang perakaran sempit, kandungan unsur hara rendah, daya memahan air rendah, masam, dan kandungan logam-logam berat tinggi. Oleh karena itu diperlukan usaha untuk mengatasi masalah-masalah tersebut agar revegetasi dapat dilakukan lebih baik.

REVEGETASI LAHAN BEKAS TAMBANG

Kegiatan revegetasi pada lahan bekas tambang dilakukan untuk mengurangi dampak negatif dari kegiatan penambangan. Beberapa syarat yang perlu dilakukan agar revegetasi dapat berjalan dengan baik adalah sebagai berikut. (1) Penataan bentang lahan agar kembali ke bentuk semula atau didesain bentuk baru yang lebih baik. (2) Perbaikan *topsoil* dengan penambahan bahan-bahan yang dapat mendukung pertumbuhan tanaman. (3) Memilih jenis tanaman sesuai dengan tujuan revegetasi dengan mempertimbangkan kondisi lahan dan iklim setempat.

Kerusakan lahan bekas tambang sangat bervariasi tergantung dari jenis tambangnya. Pada umumnya lahan bekas tambang menyisakan lubang besar bekas penggalian bahan tambang. Penataan bentang alam yang berbentuk kolam besar dapat dijadikan danau buatan dengan mengatur aliran air jika terjadi *overflow*. Lahan terbuka di sekitar kolam dapat dilakukan penanaman vegetasi sesuai dengan vegetasi alami yang tumbuh di daerah itu atau dengan vegetasi yang mudah tumbuh. Lahan bekas tambang tempat pembuangan batuan limbah

(*overburden*) perlu ditanami dengan vegetasi yang mudah tumbuh pada kondisi sifat-sifat batuan limbah dan kandungan unsur-unsur yang ada di dalamnya. Oleh karena itu sangat diperlukan analisis tanah pada setiap lokasi lahan bekas tambang dan tempat pembuangan batuan limbah.

Pada umumnya lahan bekas tambang, bagian *topsoil* sudah terkupas sehingga bagian atas tanah perlu diperbaiki terlebih dahulu sebelum dilakukan revegetasi. Pada umumnya tanah yang telah dikupas *top soil* nya mengandung bahan organik yang sangat rendah. Dengan kondisi itu tanah bekas tambang harus ditambah bahan organik agar tanaman dapat tumbuh khususnya pada tanah yang akan ditanami tanaman jenis penutup tanah. Untuk tanaman hutan atau tanaman tahunan maka bahan organik dapat diberikan di lubang-lubang tanam. Selain bahan organik bahan mineral zeolit dapat digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah khususnya kapasitas tukar kation, daya jerap terhadap ion amonium, dan daya pegang air. Penggunaan zeolit dapat dicampurkan dengan tanah di permukaan tanah atau di lubang tanam, dicampurkan dengan pupuk, sebagai media tumbuh pembibitan, dan dicampurkan dengan kompos. Uraian detail akan dibahas kemudian dalam sub bab tersendiri.

Untuk melakukan revegetasi diperlukan pemilihan tanaman sesuai dengan jenis penutupannya. Tanaman dapat berupa tanaman penutup tanah dan tanaman pohon. Pada umumnya tanaman yang dipilih memiliki daya tumbuh yang baik sehingga mudah tumbuh dalam kondisi tanah kurang subur sekali pun. Beberapa jenis tanaman penutup misalnya *Calopogonium mucunoides*, *Centrocema pubescens*; sedangkan tanaman pohon adalah *Gliricidia sepium*, *Acacia mangium*, Sengon (*Parasiantes falcataria*). Tanaman penutup tanah banyak ditanam pada lahan yang miring untuk mengurangi erosi sedangkan lahan yang lebih datar ditanami pohon.

ZEOLIT MERUPAKAN BAHAN PENJERAP DALAM REMEDIASI LAHAN BEKAS TAMBANG

Zeolit merupakan mineral yang mempunyai kegunaan yang sangat luas di berbagai bidang pertanian, industri, energi, lingkungan dan kesehatan. Agar pemanfaatan zeolit dapat optimal, maka pemahaman sifat-sifat zeolit menjadi sangat penting. Pemanfaatan zeolit pada dasarnya adalah pemanfaatan sifat-sifat zeolit itu sendiri. Dengan mengetahui sifat-sifat zeolit secara mendalam, terbuka peluang yang lebih besar untuk memanfaatkan sifat-sifat tersebut untuk berbagai penggunaannya.

Sifat-sifat kimia zeolit menyangkut susunan kimia, dominasi kation yang dapat dipertukarkan, kandungan air kristal, kapasitas tukar kation (KTK), pH, daya hantar listrik, dan sifat-sifat lainnya. Penetapan sifat-sifat kimia lebih mudah dilakukan dibandingkan sifat-sifat mineralogi karena menggunakan alat-alat yang lebih sederhana yang umum banyak tersedia di laboratorium. Yang paling penting untuk analisis kimia adalah metode yang digunakan. Penggunaan metode yang berbeda dapat menyebabkan hasil yang berbeda pula. Oleh karena itu setiap hasil analisis harus disertai metode yang digunakan untuk menetapkan sifat-sifat kimia tersebut.

Berbagai usaha untuk memperbaiki lahan bekas tambang dilakukan antara lain dengan penambahan kompos, pupuk kandang, kapur, zeolit dan bahan-bahan lain dalam jumlah yang cukup besar. Kalau penambahan pupuk sekitar 100-300 kg/ha, maka penambahan bahan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah tersebut bisa mencapai 10-20 ton/ha. Fungsi utama zeolit sebagai bahan pembenah tanah adalah meningkatkan nilai kapasitas tukar kation (KTK) tanah sehingga pemberian zeolit pada tanah-tanah yang mempunyai KTK rendah diharapkan dapat meningkatkan KTK-nya. Penggunaan zeolit sebagai bahan pembenah tanah bekas tambang telah banyak dilakukan di Jepang,

Amerika Serikat, dan negara-negara Eropa.

Penggunaan zeolit sebagai bahan pembenah tanah bekas tambang berdasarkan tingginya nilai KTK dan daya serap air. Disamping itu, selektivitas adsorpsi terhadap ion amonium yang tinggi dapat dimanfaatkan untuk mengefisiensikan penggunaan pupuk nitrogen dan penjerap logam berat. Mekanisme efisiensi dapat dijelaskan sebagai berikut. Mula-mula pupuk nitrogen yang diberikan ke dalam tanah akan terurai menjadi ion-ion amonium dan nitrat. Kemampuan zeolit menjerap ion amonium menyebabkan perubahan ion amonium menjadi ion nitrat atau menguap sebagai gas amonik akan terhambat. Dengan mekanisme itu, kehilangan nitrogen dalam bentuk ion nitrat yang biasanya tercuci bersama air perkolasi atau menguap dalam bentuk gas amoniak dapat ditekan sehingga kehilangan nitrogen dapat dikurangi. Jika kadar nitrogen dalam larutan tanah berkurang karena diserap oleh tanaman, amonium yang diadsorpsi oleh zeolit akan dilepas secara perlahan ke dalam larutan tanah.

Berdasarkan kemampuan pertukaran terhadap kation yang tinggi, zeolit dapat mengikat dan menyimpan unsur pupuk sementara dan melepas kembali ke tanah saat tanaman memerlukan. Dengan proses kerja seperti itu, zeolit sering disebut sebagai bahan penyedia lambat (*slow release agent*). Perlu ditekankan bahwa zeolit hanya berfungsi sebagai karier dalam mengatur pelepasan hara untuk tanaman. Hal ini perlu digarisbawahi karena banyak yang beranggapan bahwa zeolit sering dianggap sebagai bahan pupuk. Sehingga zeolit bukan sebagai slow release fertilizer tetapi hanya sebagai slow release agent. Penambahan zeolit tanpa dibarengi dengan penambahan pupuk dan bahan-bahan lain yang diperlukan tanaman, justru akan merugikan tanaman karena sebagian dari haranya akan dijerap oleh zeolit.

BEBERAPA HASIL PENELITIAN PENGGUNAAN ZEOLIT

Pengaruh pemberian zeolit terhadap sifat-sifat tanah antara lain untuk: (a) Meningkatkan KTK Tanah. Peningkatan KTK tanah ditentukan oleh KTK zeolit, dosis zeolit, dan jenis muatan dari tanah. Semakin tinggi KTK zeolit dan semakin besar dosis zeolit semakin besar pula kenaikan KTK tanah. Berkaitan dengan muatan tanah, zeolit yang diberikan pada tanah yang mempunyai mineral liat alofan ternyata tidak dapat meningkatkan KTK tanah. (b). Meningkatkan efisiensi pupuk nitrogen. Kandungan kalium yang tinggi dalam zeolit klinoptilolit (K_2O sekitar 3%) menyebabkan pemberian zeolit meningkatkan kalium dalam tanah. Pemberian 10 ton/ha, misalnya akan menambah K_2O setara 300 kg/ha jika semua kalium tersedia. Namun demikian, karena tidak semua kalium yang berada dalam zeolit dapat digunakan dengan segera oleh tanaman, penambahan pupuk kalium masih sangat diperlukan dalam dosis yang lebih kecil. (c) Meningkatkan ketersediaan P. Dari percobaan lapang yang dilakukan di Kebun Percobaan IPB, Darmaga menunjukkan bahwa zeolit meningkatkan P_2O_5 tersedia dari 5,28 mg/kg menjadi 20,1 mg/kg pada Podsolik tetapi tidak meningkatkan fosfor pada tanah Mediteran (Suwardi, 1997) [2]. Ini berarti zeolit mampu meningkatkan fosfor pada tanah ber pH rendah yang fosfornya terikat dalam bentuk Fe-P dan Al-P. Mekanisme peningkatan fosfor diduga karena Ca dalam zeolit mengikat fosfor dalam tanah yang semula diikat oleh Fe dan Al. Karena Ca dalam zeolit mudah dilepaskan dalam bentuk dapat dipertukarkan, maka fosfor yang diikat Ca menjadi tersedia. Sifat fisik berongga dari zeolit menyebabkan penambahan zeolit pada tanah bertekstur liat dapat memperbaiki struktur tanah sehingga meningkatkan pori-pori udara tanah. Pada Regosol, zeolit dapat meningkatkan daya pegang tanah terhadap air. Zeolit dapat bertahan lama di dalam tanah karena struktur zeolit relatif stabil.

Zeolit dikenal sebagai bahan karier pupuk P dan Cu. Besarnya jerapan maksimum zeolit terhadap unsur P, K dan Cu menunjukkan bahwa kandungan unsur P, K dan Cu zeolit meningkat setelah diperkaya dengan larutan yang mengandung unsur-unsur tersebut. Tingkat pemberian larutan masing-masing sebesar 500 ppm terjadi peningkatan sebesar 85, 10 dan 276% dibandingkan sebelum diperkaya (Tabel 1). Perlu pendugaan jumlah P, K dan Cu yang harus ditambahkan dengan mempertimbangkan jumlah unsur tersebut yang terdapat di dalam larutan tanah agar dapat mencukupi kebutuhan tanaman. Hasil di atas juga menunjukkan bahwa zeolit dapat dipakai sebagai carrier untuk unsur Cu dan P tetapi tidak untuk K.

Zeolit tidak banyak mengandung unsur hara kecuali kalium dan sedikit unsur mikro. Oleh karena itu, agar memberikan pengaruh lebih besar, zeolit perlu diberikan dalam bentuk campuran dengan bahan lain. Dari percobaan lapang menunjukkan

bahwa campuran zeolit dengan kotoran ayam meningkatkan produksi kedelai 24%, lebih tinggi dibandingkan dengan zeolit dan kotoran ayam jika digunakan secara terpisah. Demikian juga campuran zeolit, kompos, dan terak baja dapat meningkatkan produksi gandum pada musim tanam kedua sampai 106% dan nilainya lebih baik jika digunakan secara terpisah-pisah.

Sifat fisik berongga dari zeolit menyebabkan penambahan zeolit pada tanah bertekstur liat dapat memperbaiki struktur tanah sehingga meningkatkan pori-pori udara tanah. Pada tanah berpasir, zeolit dapat meningkatkan daya pegang tanah terhadap air. Zeolit dapat bertahan lama di dalam tanah karena struktur zeolit relatif stabil. Penelitian yang dilakukan untuk rehabilitasi beberapa sifat fisik tanah bekas tambang pasir di Bogor dengan penambahan zeolit dan bahan organik menunjukkan bahwa perlakuan zeolit nyata menurunkan bobot isi tanah (Tabel 2).

Tabel 1. Kandungan P, K dan Cu zeolit sebelum dan sesudah diperkaya.

Unsur	Sebelum Diperkaya (ppm)	Sesudah Diperkaya (ppm)	Peningkatan (%)
P	800	1,480	85
K	17,500	19,300	10
Cu	260	720	276

Tabel 2. Pengaruh zeolit dan bahan organik terhadap bobot isi tanah.

Zeolit (ton/ha)	Bahan Organik (ton/ha)				Rata-rata*
	0	15	30	45	
	----- (g/cm ³) -----				
0	1,39	1,32	1,21	1,11	1,25 a
5	1,34	1,24	1,21	1,08	1,20 a
10	1,25	1,22	1,09	1,03	1,14 b
Rata-rata*	1,32 a	1,26 b	1,17 c	1,07 d	

* Angka pada baris atau kolom yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata dengan uji Tukey (P < 0,05)

Penurunan bobot isi tanah akibat perlakuan zeolit berkaitan dengan kemampuan zeolit dalam meningkatkan ketersediaan kation-kation tanah, khususnya ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang tersedia dapat merangsang proses agregasi dalam tanah melalui pengikatan secara kimia muatan negatif partikel liat dengan muatan mineral zeolit melalui perantaraan kation. Selain itu Fe_2O_3 yang dilepaskan mineral zeolit dapat memantapkan agregat yang telah terbentuk.

Adanya pengaruh air saat terjadi penguapan maka butir-butir liat dapat tertarik satu sama lain, sehingga terbentuk agregat-agregat tanah yang lebih stabil, yang akhirnya menurunkan bobot isi tanah. Tabel 3 menunjukkan pengaruh perlakuan zeolit dan bahan organik terhadap permeabilitas tanah. Perlakuan zeolit nyata meningkatkan permeabilitas tanah. Interaksi antara zeolit dan bahan organik tidak nyata namun terdapat kecenderungan meningkatnya permeabilitas tanah dengan semakin meningkatnya takaran zeolit yang digunakan.

Peningkatan permeabilitas akibat perlakuan zeolit berkaitan dengan fungsi zeolit yang dapat merangsang proses agregasi tanah. Proses ini dapat menciptakan kondisi tanah yang lebih sarang, sehingga kecepatan

bergeraknya air di dalam tanah meningkat. Peningkatan permeabilitas akibat perlakuan bahan organik berkaitan dengan fungsi bahan organik yang dapat menurunkan bobot isi tanah. Penurunan nilai bobot isi dapat mengakibatkan peningkatan kecepatan bergerak air di dalam tanah. Tabel 4 menunjukkan pengaruh perlakuan zeolit dan bahan organik terhadap amonium dalam tanah. Perlakuan bahan organik nyata meningkatkan amonium tanah dan interaksi antara zeolit dan bahan organik tidak nyata namun terdapat kecenderungan peningkatan amonium tanah dengan semakin meningkatnya takaran zeolit dan bahan organik yang diberikan. Peningkatan amonium tanah akibat perlakuan zeolit berkaitan dengan peningkatan jumlah NH_4^+ yang dapat ditahan jauh lebih tinggi. Selektifitas jerapan kation zeolit $\text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$.

Hasil penelitian kandungan logam berat pada *sludge* menunjukkan kandungan logam-logam berat Cr 11 ppm, Cd 9,5 pm, Pb 22 ppm, Cu 27 ppm, dan Zn 24 ppm. Dengan penambahan zeolit pada *sludge* memberikan hasil yang menunjukkan bahwa zeolit dapat dipergunakan sebagai penjerap logam-logam berat untuk mengurangi polusi di dalam tanah.

Tabel 3. Pengaruh zeolit dan bahan organik terhadap permeabilitas tanah.

Zeolit (ton/ha)	Bahan organik (ton/ha)				Rata-rata*
	0	15	30	45	
	----- (g/cm ³) -----				
0	1,84	2,62	3,15	3,37	2,74 b
5	3,15	3,54	3,86	3,83	3,59 a
10	3,22	3,75	4,53	4,69	4,04 a
Rata-rata*	2,73 b	3,30 ab	3,84 a	3,96 a	

* Angka pada baris atau kolom yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata dengan uji Tukey (P < 0,05)

Tabel 4. Pengaruh zeolit dan bahan organik terhadap NH_4^+ dalam tanah.

Zeolit (ton/ha)	Bahan organik (ton/ha)				Rata-rata*
	0	15	30	45	
	----- (g/cm ³) -----				
0	40,16	67,06	101,52	156,33	91,26 b
5	45,69	85,47	123,05	150,46	101,16 ab
10	56,94	96,90	114,71	174,74	110,82 a
Rata-rata*	47,59 d	83,14 c	113,09 b	160,05 a	

* Angka pada baris atau kolom yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata dengan uji Tukey ($P < 0,05$).

Tabel 5. Kandungan logam dalam tanah (Rata-rata dan maksimum yang diperkenankan) dan dalam tanaman yang tidak tercemar.

Logam	Konsentrasi dalam Tanah (DTPA-ekstraktan)		Konsentrasi Dalam Tanaman
	Rata-rata	Maksimum yang Diperkenankan	
	----- ppm) -----		
Cr	1,40	11,20	0,2 - 1,0
Cd	0,28	0,57	0,2 - 0,8
Pb	1,82	65,00	0,1 - 10
Cu	9,00	36,00	4,0 - 15
Zn	14,31	57,24	8,0 - 100

Sumber : Allaway, W.H. 1968 [3]

Seperti yang diperkirakan, kandungan logam berat Pb, Cd, Cr, Cu, dan Zn pada limbah lumpur adalah relatif tinggi. Tingginya kandungan logam berat ini terutama disebabkan karena banyaknya kegiatan industri dan pemukiman di daerah antara perkotaan yang berada pada hulunya. Evaluasi kandungan logam berat dalam media dilakukan dengan membandingkan hasil analisis dengan kriteria yang dipersyaratkan untuk lahan pertanian yang berlaku di Kanada yang dikonversikan ke DTPA-ekstraksi (larutan ekstraksi DTPA) [4]. Sedangkan untuk tanaman dibandingkan dengan kandungan logam pada tanaman yang tidak tercemar, keduanya disajikan pada Tabel 5. Berdasarkan kriteria tersebut maka konsentrasi seluruh parameter logam berat dalam limbah lumpur lebih tinggi dari rata-rata, sedangkan yang melebihi konsentrasi maksimum yang diperkenankan adalah Cr dan Cd.

Dari informasi di atas dapat disimpulkan bahwa zeolit dapat digunakan sebagai bahan untuk remediasi lahan bekas

tambang dengan cara dicampur dengan tanah di permukaan tanah, dicampur dengan pupuk kandang atau pupuk urea. Zeolit juga dapat digunakan sebagai bahan campuran media tumbuh tanaman.

KESIMPULAN

1. Permasalahan lahan tambang pada umumnya lapisan tanah tipis atau bahkan tidak ada tanahnya sehingga ruang perakaran sempit, kandungan unsur hara rendah, daya menahan air rendah, masam, dan kandungan logam-logam berat tinggi, sehingga menyulitkan proses revegetasi.
2. Zeolit merupakan kelompok mineral aluminosilikat yang mempunyai struktur berongga yang khas, luas permukaan dan KTK tinggi, mengandung kation-kation seperti: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , penjerap logam berat Pb, Cd, Cr, Cu, dan Zn serta penjerap air.

3. Zeolit dapat membantu dalam reklamasi tambang dengan cara aplikasi ditebarkan di permukaan tanah, dicampur dengan tanah dalam lubang tanam, dicampur dengan kompos, dicampur dengan pupuk urea sebelum digunakan untuk pemupukan, atau sebagai media tumbuh tanaman pembibitan.

DAFTAR PUSTAKA

1. BPS. 2005. Laporan Tahunan Badan Pusat Statistik, Jakarta.
2. Suwardi, L.T Indriyati, and I. Goto. 1997. Effect of Zeolite Addition to Chicken Manure on Nitrogen Mineralization in the Soil. Development in Plant and Soil

Sciences. *Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium*. Tokyo, Japan, September 13-19, 1997.

3. Allaway, W. H. 1968. Agronomic controls over the environmental cycling of trace elements. *Advances in Agronomy* 20, 235-274.
4. Giordano P.M and D.A. Mays. 1975. Remediation of metals-contaminated sites using plants. *Remediation Journal* 6 (3):1-18.

Pemucatan Minyak Kelapa Sawit (CPO) dengan cara Adsorpsi Menggunakan Zeolit Alam Lampung

Widi Astuti¹, Muhammad Amin¹ dan Aprimal²

¹ UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung – LIPI
Jl. Ir. Sutami Km.15 Tanjung Bintang – Lampung Selatan
Telp. (0721) 350055, Fax. (0721)350056
Email : as_widi@yahoo.com

² Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang

ABSTRAK

Penelitian tentang pemucatan minyak kelapa sawit dengan metode penyerapan telah dilakukan dengan menggunakan zeolit alam dari Lampung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa zeolit alam dari Lampung dapat digunakan sebagai adsorben untuk proses pemucatan minyak kelapa sawit. Zeolit yang telah diaktivasi dengan metode kimia dengan larutan asam klorida (HCl) sebelum digunakan sebagai bahan adsorben. Kondisi terbaik untuk proses pemucatan adalah persentase berat zeolit untuk memperoleh transmisi tertinggi adalah 20% dan konsentrasi terbaik larutan HCl adalah 4%. Transmittan tertinggi pada kondisi ini adalah 48.5.

Kata kunci: Pemucatan, zeolit alam dari Lampung, adsorpsi, aktivasi

ABSTRACT

BLEACHING OF CRUDE PALM OIL BY ADSORPTION METHOD WITH USING NATURAL ZEOLITE FROM LAMPUNG. The research about bleaching of crude palm oil by adsorption method with using natural zeolite from Lampung has been done. The experiment result shows that natural zeolite from Lampung can be used as adsorbent for bleaching process of crude palm oil. Zeolite had been activated by chemical method with hydrochloric acid (HCl) solution before it was used as adsorbent. From the experiment result, we know that the best condition for bleaching process are weight percentage of zeolite that was used to get the highest of transmittance is 20% and the best concentration of HCl solution is 4%. The highest of transmittance for this condition is 48.5.

Keywords: Bleaching, natural zeolite from Lampung, adsorption, activation

PENDAHULUAN

Minyak kelapa sawit yang diperoleh dari pengolahan buah kelapa sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq), merupakan senyawa yang tidak larut dalam air dengan komponen utamanya trigliserida dan non trigliserida. Seperti jenis minyak lain, minyak kelapa sawit tersusun dari unsur-unsur C, H, dan O. Minyak kelapa sawit ini terdiri dari fraksi padat yang biasanya berupa lemak dan fraksi cair yang berupa minyak dengan perbandingan yang

seimbang. Penyusun fraksi padat terdiri dari asam oleat (39%) dan asam linoleat (11%). Komposisi tersebut ternyata agak berbeda jika dibandingkan dengan minyak inti sawit dan minyak kelapa (Ketaren, 1986) [1].

Trigliserida merupakan ester dari gliserol dengan tiga molekul asam lemak, sedangkan senyawa non trigliserida yang ada pada minyak sawit adalah monogliserida, digliserida, fosfatida, karbohidrat, protein, bahan berlendir atau

getah (gum) serta zat warna alami. Adanya senyawa tersebut berpengaruh terhadap kualitas minyak sawit, misalnya perubahan bau, warna yang ditunjukkan dalam bentuk kadar kotoran, kadar air, bilangan asam, bilangan peroksida, bilangan penyabunan, zat warna dan sebagainya.

Pemucatan minyak kelapa sawit merupakan salah satu proses pemurnian yang bertujuan menghilangkan partikel-partikel zat warna alami dalam minyak. Pemucatan menggunakan *bleaching earth* dengan komposisi utama SiO_2 dan Al_2O_3 terjadi disebabkan oleh adanya ion Al^{3+} pada permukaan adsorben yang mengadsorpsi partikel-partikel zat warna (Ketaren, 1986) [1].

Zeolit merupakan jenis batuan alam dapat digunakan sebagai adsorben pada proses pemucatan minyak kelapa sawit. Zeolit sangat baik digunakan sebagai adsorben sebab mempunyai daya serap yang tinggi, luas permukaan yang besar, memiliki pori yang banyak dan juga harganya relatif murah serta banyak terdapat di Indonesia. Zeolit merupakan sumber daya mineral yang banyak terdapat di tempat-tempat yang berdekatan dengan gunung api seperti di Jawa Barat (bayah, Nanggung, Cikalong), di Sumatera (Aceh, Sumatera Utara dan Lampung) dan beberapa tempat lainnya. Dari hasil penelitian lapangan, Indonesia berpotensi memiliki sumber daya mineral zeolit, diperkirakan sekitar 120 juta ton endapan zeolit terdapat di Jawa Barat (Husaini, 1990) [2]. Propinsi Lampung juga memiliki potensi zeolit yang cukup besar sehingga pemanfaatan zeolit alam Lampung ini perlu ditingkatkan untuk meningkatkan nilai jualnya.

METODOLOGI PENELITIAN

Persiapan Adsorben

Zeolit yang digunakan berasal dari daerah Sukamulyo, Lampung Selatan, Propinsi Lampung dengan ukuran partikel yang digunakan adalah 100 mesh dan dilakukan aktivasi secara kimia menggunakan larutan

HCl. Persen HCl yang digunakan divariasikan dan digunakan sebagai variabel percobaan.

Komposisi kimia zeolit yang digunakan adalah :

SiO_2 = 69,6 %	MgO = 0,83 %
Al_2O_3 = 13,6 %	K_2O = 2,25 %
Fe_2O_3 = 1,86 %	Na_2O = 0,88 %
TiO_2 = 0,19 %	LOI = 8,66 %
CaO = 1,63 %	

Analisa fisik :

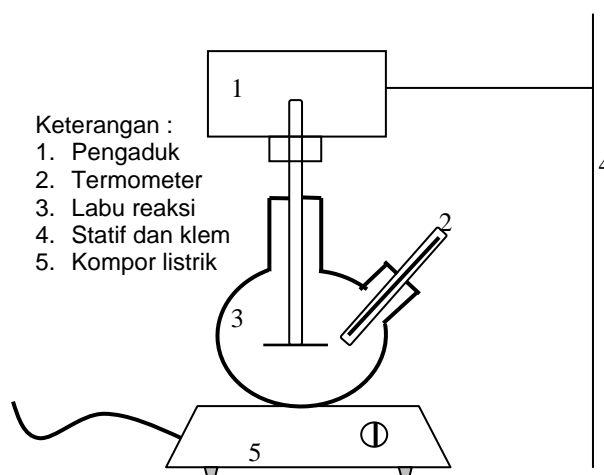
KTK	= 85,71 meq/100 gr
True density	= 1,99
Bulk density	= 0,8 gr/cm ³
Butiran	= 100 mesh

Hasil analisa XRD :

Komposisi mineral adalah clinoptilolite dan montmorillonite.

Proses Adsorpsi

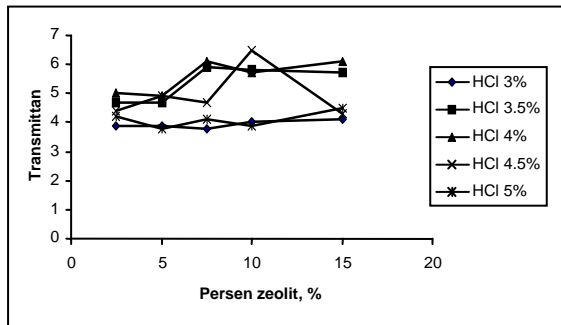
Adsorpsi dilakukan dengan cara pengadukan menggunakan pengaduk magnetik dengan kecepatan 575 rpm selama 1 jam. Variabel yang digunakan dalam proses ini adalah persen berat zeolit yang digunakan terhadap berat minyak kelapa sawit (CPO) dan temperatur (suhu) operasi.



Gambar 1. Rangkaian Alat Adsorpsi Cara Batch

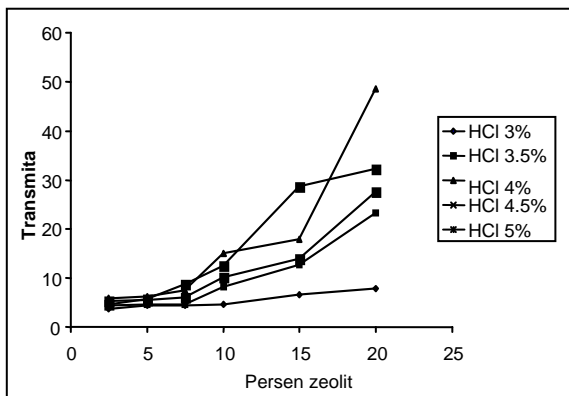
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan pemucatan minyak kelapa sawit dengan cara adsorpsi menggunakan zeolit alam Lampung dapat dilihat pada gambar 2 dan 3 berikut.



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Persen Zeolit dalam CPO Terhadap %Transmittan Pada Berbagai Macam Variasi %HCl untuk Aktivasi (perlakuan tanpa pemanasan)

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara persen zeolit dalam CPO terhadap transmittan pada berbagai macam variasi konsentrasi HCl yang digunakan untuk aktivasi pada kondisi operasi tanpa pemanasan.



Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Persen Zeolit dalam CPO Terhadap %Transmittan Pada Berbagai Macam Variasi %HCl untuk Aktivasi (perlakuan dengan pemanasan)

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara persen zeolit dalam CPO terhadap transmittan pada berbagai macam variasi konsentrasi HCl yang digunakan untuk

aktivasi pada kondisi operasi dengan pemanasan pada suhu 60°C.

Pada kondisi yang sama dan untuk konsentrasi HCl yang sama, semakin tinggi persen zeolit yang dimasukkan ke dalam CPO, maka akan semakin tinggi angka transmittan yang dihasilkan dan secara fisik terlihat semakin jernih. Yang berarti zat warna (karoten) yang ada dalam dalam CPO akan semakin berkurang, karena zat warna ini akan terserap oleh zeolit selaku adsorban.

Dilihat dari persen zeolit pada CPO yang sama untuk setiap konsentrasi HCl, maka didapatkan nilai maksimum untuk transmittan, di mana jika jumlah zeolit ditambah maka kenaikan angka transmittan hanya sedikit. Hal ini dikarenakan bila jumlah zeolit yang berada pada CPO sudah optimum maka zat warna yang terdapat pada CPO sudah habis terserap oleh zeolit, jadi jika terus ditambah maka akan hanya terjadi pemborosan adsorban saja. Pada penelitian ini diperoleh titik maksimum pada konsentrasi HCl 3,5% dan jumlah zeolit dalam CPO sebesar 15% dengan angka transmittan sebesar 70%. Daya pemucatan CPO terbaik menggunakan konsentrasi HCl 3,5% dan persen zeolit dalam CPO 15% adalah 96,3%.

Konsentrasi HCl pada proses aktivasi juga sangat berpengaruh pada kondisi zeolit, karena jika penambahan HCl berlebihan maka zeolit akan kehilangan daya serapnya karena kandungan-kandungan montmorillonitnya akan rusak, dan juga sebaliknya jika konsentrasi HCl kurang, maka kotoran-kotoran yang berada di dalam zeolit tidak akan hilang semua sehingga pori-porinya masih tertutup.

Kondisi operasi yang digunakan adalah pemanasan pada suhu 60° C dan divariasikan dengan tanpa pemanasan atau pada suhu ruang. Dari data, diperoleh hasil bahwa pemanasan sangat berpengaruh dan lebih efektif terhadap daya pemucatan CPO oleh zeolit dibandingkan dengan yang tanpa pemanasan. Hal ini ditunjukkan oleh

angka transmittansi yang naik tinggi jika menggunakan pemanasan dilihat pada salah satu konsentrasi HCl. Akan tetapi jika tanpa pemanasan tidak naik begitu tinggi, hal ini dapat dilihat perbandingannya pada gambar 3 dan gambar 4 di atas. Karena kurang efektifnya kondisi operasi tanpa pemanasan maka penelitian untuk tanpa pemanasan dilakukan sampai dengan konsentrasi HCl 3,5%.

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan yang dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa ternyata zeolit yang digunakan dapat dipakai sebagai adsorben pada proses pemucatan minyak kelapa sawit (CPO). Proses pemucatan yang dilakukan lebih baik dengan

menggunakan pemanasan dari pada yang tidak menggunakan pemanasan. Aktifasi terbaik dilakukan dengan cara kimia menggunakan HCl 3,5%. Persen zeolit optimum pada penelitian ini adalah 15% pada konsentrasi HCl 3,5% dengan menggunakan pemanasan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ketaren, S., 1986, *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*, Universitas Indonesia Press, Jakarta.
2. Husaini, 1990, *Percontohan Pengolahan Zeolit Bayah*, Laporan Teknik Pengolahan, No. 29, PPTM Bandung.

Kinerja Katalis Zeolit Sintetik ZSM-5 – Al₂O₃ dalam Reaksi Perengkahan Minyak Sawit Menjadi Hidrokarbon Fraksi Gasoline

Setiadi dan Benny A. W.

Jurusan Teknik Gas dan Petrokimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus UI Depok, Depok 16424. Telp. 021-77880401
E-mail: setiadi@che.ui.edu

ABSTRAK

Kebutuhan akan bahan bakar yang terus meningkat dan tidak diimbangi dengan produksi menyebabkan sumber bahan bakar dari minyak bumi akan segera habis. Oleh karena itu, minyak sawit sebagai sumber yang terbarukan dipilih untuk menghasilkan bahan bakar khususnya bensin. Proses perengkahan katalitik dengan menggunakan katalis ZSM-5/Alumina digunakan dalam penelitian ini. Reaksi dilangsungkan pada sebuah fixed bed reactor sederhana dengan tekanan 1,5 atm selama setengah jam serta WHSV 1,8 h⁻¹ dan 2,4 h⁻¹. Produk hasil reaksi kemudian dianalisa dengan menggunakan GC-FID, untuk menentukan fraksi bensin yang didapat, dan FT-IR, untuk mengetahui jenis ikatan dalam sampel. Umpan yang digunakan adalah umpan minyak sawit murni, minyak yang telah dioksidasi, POME (Palm Oil Methyl Esther), dan minyak dengan ditambah metanol. Variabel penelitian adalah temperatur (350 – 500 °C), komposisi katalis (5 – 20 %), dan jenis umpan. Hasil yang didapat setelah reaksi dilakukan menunjukkan bahwa komposisi katalis 5% pada temperatur reaksi 400 °C dengan menggunakan umpan POME menghasilkan bensin yang paling tinggi yaitu sebesar 63,1%.

Kata kunci: ZSM-5 – Al₂O₃, minyak sawit, reaksi perengkahan, fraksi gasoline

ABSTRACT

CATALIST PERFORMANCE OF SYNTETIC ZEOLITE ZSM-5 – Al₂O₃ IN CRACKING REACTION OF PALM OIL TO BECOME GASOLINE FRACTION OF HYDROCARBON. *The requirement of fuel increases without balancing with its production causing the oil resources from fuel will immediately finished. Therefore, palm oil as renewable energy resources is selected for fuel production especially gasoline. Catalitic cracking process by using ZSM-5/Alumina catalys is selected in this research. The reaction was conducted in a simple fixed bed reactor with the pressure of 1.5 atm during half hour and WHSV 1,8 h⁻¹ dan 2,4 h⁻¹. The reaction result product then analyzed by using GC-FID for identify the gasoline fraction obtained, and FT-IR for identify the bonding kind of the samples. The baits used were pure palm oil, oxydized oil, POME (Palm Oil Methyl Esther), and oil with methanol. The parameters of the research were temperature (350 – 500 °C), catalist composition (5 – 20 %), and kinds of baits. The results showed that the composition of catalist 5% at reaction temperature of 400 °C with the bait of POME resulting the highest gasoline yield of 63,1%.*

Keywords: ZSM-5 – Al₂O₃, palm oil, cracking reaction, Gasoline fraction

PENDAHULUAN

Konsumsi bahan bakar minyak (BBM) mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Di sisi lain, produksi minyak bumi menunjukkan tren yang cenderung menurun. Di Indonesia sendiri, konsumsi BBM pada tahun 2004 mencapai 61,7 juta

kilo liter dengan kemampuan produksi 44,8 juta kilo liter [1]. Ini mengakibatkan Indonesia membuang devisa mencapai 15 triliun rupiah setiap tahunnya. Oleh karena itu, sumber lain untuk dapat menghasilkan hidrokarbon setara fraksi bensin sangat diperlukan.

Katikaneni dan Subash Bhatia telah melakukan penelitian yang memberikan hasil bahwa minyak berbasis tumbuh-tumbuhan dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar [2-3]. Oleh karena itu penggunaan minyak sawit sebagai salah satu sumber bahan baku pembuatan hidrokarbon fraksi bensin sangat mungkin untuk dilakukan. Pemilihan minyak sawit ini sendiri dikarenakan Indonesia diperkirakan akan menjadi produsen minyak sawit terbesar di dunia [4]. Selain itu, hasil pembakaran bahan bakar berbasis minyak sawit juga lebih ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi yang berlebihan. Proses yang dapat diadopsi untuk pembuatan hidrokarbon setaraf fraksi bensin ini adalah proses perengkahan katalitik (*catalytic cracking*). Proses perengkahan katalitik ini telah digunakan oleh para peneliti lain untuk penelitian serupa. Reaksi perengkahan katalitik adalah suatu reaksi dimana terjadi pemutusan suatu molekul hidrokarbon yang besar menjadi molekul hidrokarbon yang lebih kecil dengan menggunakan katalis. Perengkahan ini dilakukan pada temperatur yang relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan reaksi *thermal cracking* [5]. Katalis yang telah digunakan untuk melangsungkan reaksi ini adalah katalis sintetik H-ZSM-5 murni yang menghasilkan yield sebesar 49,3% [6].

Reaksi perengkahan ini biasanya dilakukan pada suhu yang tinggi, yaitu antara 300–500°C. Pada suhu yang lebih rendah, katalis asam yang digunakan belum aktif, namun pada suhu yang lebih tinggi, katalis juga sudah tidak aktif. Suhu yang tinggi menyebabkan reaksi yang terjadi adalah perengkahan termal. Oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan temperatur reaksi sebesar 350–500°C, sehingga umpan minyak sawit sudah berada dalam fasa uapnya.

Optimasi hasil perengkahan dapat dilakukan dengan memodifikasi katalis yang digunakan. Katikaneni telah melaporkan bahwa penggunaan katalis hibrida (*hybrid catalyst*) akan menghasilkan

produk dengan yield yang lebih tinggi [7]. Katalis H-ZSM-5 murni akan menghasilkan produk gas yang besar karena keasamannya yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena katalis ini mengandung asam Bronsted yang tinggi [8]. Maka dari itu, pada penelitian ini akan digunakan katalis hibrida H-ZSM-5/Alumina agar yield yang dihasilkan meningkat. Katalis Alumina berperan sebagai katalis perengkah utama karena katalis ini memiliki luas permukaan yang tinggi dan juga katalis ini merupakan katalis asam. Katalis untuk melakukan reaksi perengkahan haruslah katalis asam. Sedangkan katalis H-ZSM-5 digunakan untuk menambah keasaman dan menghasilkan yield hidrokarbon fraksi bensin yang lebih tinggi.

Kereaktifan minyak sawit terdapat pada gugus karbonil dan ikatan rangkapnya. Minyak ini akan mengalami reaksi polimerisasi pada ikatan rangkap dan reaksi polikondensasi pada gugus karbonil jika dilakukan pemanasan pada suhu tinggi. Maka pada penelitian ini, minyak sawit terlebih dahulu dipreparasi dengan dilakukan reaksi oksidasi, transesterifikasi, dan penambahan metanol sehingga kerja katalis untuk merengkah molekul minyak menjadi lebih baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui temperatur, komposisi katalis, dan jenis umpan yang optimum untuk mendapatkan hidrokarbon setaraf fraksi bensin.

BAHAN DAN METODE

Preparasi Katalis

Katalis hibrida H-ZSM-5/Alumina adalah suatu kombinasi komponen katalis yang kinerja katalitiknya saling mendukung, dimana keduanya hanya dicampur secara fisik saja. Komposisi H-ZSM-5 dalam katalis ini dibuat bervariasi dengan persentase beratnya dalam katalis sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20%. H-ZSM-5 dan Alumina ditimbang dengan berat tertentu, sesuai dengan komposisi yang akan diuji. Masing-masing katalis tersebut ditimbang

agar memiliki total berat 3 gram. Maka untuk membuat katalis dengan komposisi ZSM-5/Alumina sebesar 5%, dilakukan penimbangan terhadap Alumina sebesar 2,85 gram dan katalis H-ZSM-5 sebesar 0,15 gram. Begitu selanjutnya untuk komposisi katalis H-ZSM-5/Al₂O₃ 10%, 15%, dan 20%. Setelah masing-masing katalis ditimbang sesuai dengan beratnya masing-masing, maka keduanya dicampur menggunakan cawan petri, dan kemudian diaduk-aduk sampai merata. Untuk selanjutnya penulisan katalis H-ZSM-5/Alumina akan disingkat menjadi Z/A.

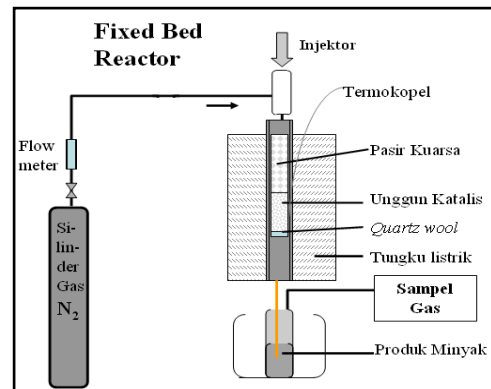
Persiapan Umpam Minyak Sawit

Transesterifikasi. Proses transesterifikasi dilakukan untuk mendapatkan metil ester POME (*Palm Oil Methyl Esther*). Tujuan dari reaksi transesterifikasi ini adalah untuk memisahkan metil ester dari gliserin yang terdapat di dalam minyak berbahan dasar kelapa sawit (*palm oil*). Proses ini merupakan proses penggantian gugus alkoksi dari ester dengan alkohol lain, dalam hal ini adalah metanol. Perbandingan mol metanol dan mol minyak yang digunakan adalah 6:1. Katalis basa NaOH sebesar 0,8 % berat minyak digunakan untuk mempercepat reaksi. NaOH dicampur terlebih dahulu dengan metanol sebelum ditambahkan ke dalam minyak. Suhu reaksi pembuatan POME ini adalah 65 °C dan dilakukan selama 1 jam. Produk POME dan gliserin yang terbentuk kemudian dipisahkan.

Penambahan Metanol.

Penambahan metanol ini dilakukan untuk menyingkat jalur reaksi perengkahan. Metanol ditambahkan pada umpam dengan rasio mol metanol : mol minyak sebesar 5 : 1. Metanol langsung ditambahkan ke dalam reaktor setelah umpam minyak kelapa sawit diinjeksikan ke reaktor.

Reaksi Perengkahan Katalitik



Gambar 1. Fixed bed reactor

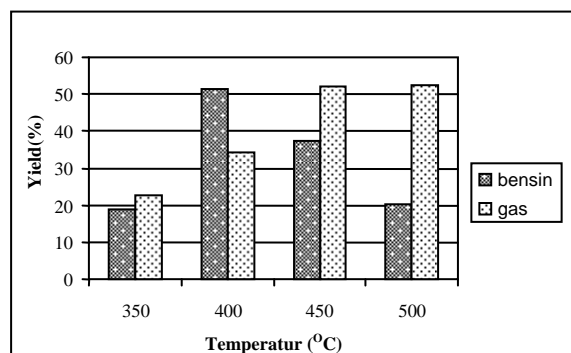
Minyak sawit yang digunakan adalah minyak goreng dengan merek Sania. Reaksi perengkahan dilakukan pada temperatur 350 – 500 °C dengan tekanan 1,5 atm dan WHSV 1,8 h⁻¹ untuk umpam POME dan 2,4 h⁻¹ untuk umpam minyak yang ditambah metanol. Katalis hibrida sebesar 3 gram disangga dengan menggunakan *quartz wool* pada dasar reaktor berbahan *stainless steel* SS-316 yang tahan terhadap bahan kimia dengan panjang 30 cm dan diameter dalam 1,9 cm. Gas nitrogen dengan laju alir 10 ml/min dialirkan ke dalam reaktor untuk mengeluarkan umpam yang telah dimasukkan ke reaktor dengan menggunakan *syringe*. Produk hasil reaksi ditampung dan didinginkan pada temperatur ruang sebab temperatur penampungan yang lebih rendah akan mengakibatkan memadatnya produk hasil reaksi.

Analisa Produk

Produk hasil reaksi kemudian dianalisa menggunakan kromatografi gas (Shimadzu 9A dengan kromatogram Shimadzu RC-26A) yang dilengkapi detektor FID dengan kolom yang digunakan adalah SE-30 dengan panjang 3 m. Temperatur kolom diprogram dari 40-130 °C dengan laju pemanasan 8 °C/min. Kromatogram yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan kromatogram dari bensin komersial untuk mengetahui fraksi bensin yang didapat. Selain itu juga digunakan FT-IR untuk mengetahui jenis ikatan yang terdapat di dalam produk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Temperatur

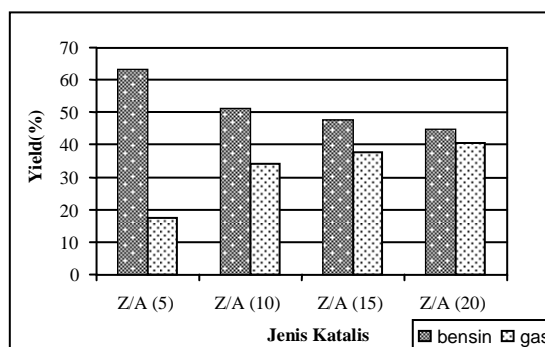


Gambar 2. Pengaruh temperatur terhadap yield hidrokarbon setaraf fraksi bensin

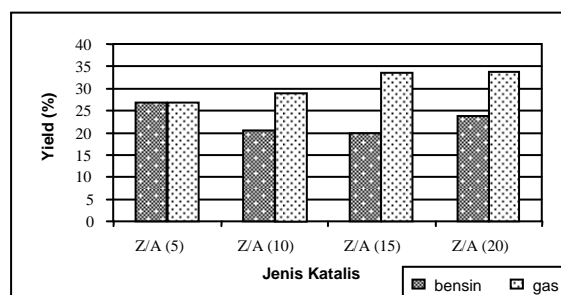
Pada reaksi peregrakan, temperatur reaksi memiliki pengaruh yang cukup signifikan. Temperatur 350°C menghasilkan yield bensin sebesar 18,9% dan temperatur optimum dicapai pada 400°C yang menghasilkan yield sebesar 51,3%. Yield bensin menunjukkan jumlah hidrokarbon setaraf fraksi bensin dalam produk hasil reaksi. Temperatur yang lebih tinggi menghasilkan yield yang lebih kecil karena produk cair yang terbentuk lebih sedikit, dan menghasilkan produk gas yang lebih besar.

Reaksi perengkahan merupakan reaksi endotermis, sehingga jika temperatur yang digunakan terus dinaikkan, maka reaksi perengkahan akan terus terjadi. Hal ini mengakibatkan molekul yang terengkah menjadi sangat kecil, dan sangat memungkinkan produk yang didapatkan adalah produk gas. Pada temperatur tinggi, kinetika reaksi juga akan meningkat karena kinetika molekul juga tinggi. Difusi molekul dengan katalis juga akan meningkat pada temperatur yang tinggi. Namun, pada temperatur tinggi, kokas juga akan lebih cepat terbentuk. Kokas yang menutupi inti aktif katalis, akan mengakibatkan penurunan kereaktifan katalis, sehingga fungsi katalis tidak optimum. Maka dari itu temperatur reaksi optimum yang didapatkan dalam penelitian ini sebesar 400 °C, sebanding dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Katikaneni [9].

Pengaruh Penambahan H-ZSM-5



Gambar 3. Pengaruh penambahan H-ZSM-5 terhadap yield hidrokarbon setaraf fraksi bensin pada umpan POME



Gambar 4. Pengaruh penambahan H-ZSM-5 terhadap yield hidrokarbon setaraf fraksi bensin pada umpan minyak + metanol

Penambahan H-ZSM-5 pada komposisi katalis akan menyebabkan berkurangnya yield hidrokarbon fraksi bensin. Penambahan 5% katalis H-ZSM-5 pada Alumina menghasilkan yield bensin dari umpan POME yang paling tinggi yaitu sebesar 63,1% dan yield akan terus mengalami penurunan seiring dengan penambahan H-ZSM-5. Begitu pula dengan umpan minyak yang ditambah dengan metanol, komposisi katalis H-ZSM-5/Alumina 5% juga menghasilkan yield yang paling besar yaitu 26,8%. Untuk umpan POME, penambahan katalis H-ZSM-5 sebesar 5% menyebabkan penurunan yield yang sangat signifikan, sedangkan untuk umpan minyak + metanol, penambahan 5 % H-ZSM-5 tidak menurunkan yield dengan sangat signifikan.

Katalis sintetik H-ZSM-5 mengandung sisi asam Bronsted yang besar sehingga keasamannya tinggi. Meningkatnya keasaman dalam katalis ini menyebabkan kemampuan katalis untuk merengkah molekul minyak menjadi semakin tinggi. Katalis dengan keasaman yang tinggi lebih banyak menghasilkan produk gas. Grafik dalam Gambar 3 dan Gambar 4 juga membuktikan bahwa yield produk gas yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan meningkatnya komposisi katalis H-ZSM-5.

Penambahan H-ZSM-5 berarti juga mengurangi jumlah dari Alumina. Berkurangnya Alumina ini menyebabkan pengurangan yang signifikan terhadap luas permukaan katalis. Dengan berkurangnya luas permukaan katalis maka inti aktif yang terdapat dalam katalis juga berkurang sehingga umpan yang terengkah oleh katalis Alumina, yang keasamannya di bawah H-ZSM-5, juga menjadi lebih sedikit.

Pengaruh Umpan

Dari Gambar 3 dan Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa umpan POME menghasilkan produk hidrokarbon setaraf fraksi bensin yang lebih tinggi daripada umpan minyak + metanol. Umpan POME memiliki rantai molekul yang lebih pendek, yaitu sekitar $\frac{1}{3}$ dari umpan minyak sawit murni. Oleh sebab itu, kerja katalis akan menjadi lebih ringan jika dibandingkan dengan umpan minyak. Hal ini menyebabkan umur katalis juga akan bertambah lama. Namun penambahan metanol yang langsung dilakukan di dalam reaktor ini lebih mempermudah jalur reaksi karena tidak perlu melakukan reaksi transesterifikasi secara terpisah. Maka dengan perbedaan yield sekitar 35%, penyingkatan jalur reaksi ini dapat dijadikan pertimbangan untuk memilih metode ini. Yield dari umpan minyak yang

lebih sedikit disebabkan karena metanol tidak berperan secara optimal sebagai sumber alkil yang baik. Tidak adanya katalis NaOH juga dapat menyebabkan terjadinya hal ini.

Sedangkan untuk umpan minyak yang telah dioksidasi, didapatkan produk yang sangat kental dan berwarna hitam. Kemungkinan yang menyebabkan terjadinya hal ini adalah karena ikatan rangkap pada asam lemak yang terkandung dalam minyak sawit sedikit. Kandungan asam lemak yang terbanyak dalam minyak sawit adalah asam palmitat, asam stearat, serta asam linoleat dimana kandungan ikatan rangkapnya sedikit, sehingga oksigen menyerang gugus ester dari minyak yang adalah gugus polar. Pada suhu reaksi yang tinggi, ester dengan hidrogen alfa dapat bereaksi kondensasi diri. Produk intermediet yang dihasilkan adalah suatu ion enolat yang diikuti dengan eliminasi ROH. Jadi keseluruhannya merupakan reaksi substitusi nukleofilik. Kondensasi ini mirip dengan kondensasi aldol, namun kondensasi ester merupakan reaksi substitusi, sedangkan kondensasi aldol adalah reaksi adisi [10].

Kemungkinan lain yang menyebabkan hal ini terjadi ialah bahwa terjadi pembentukan gugus baru. Produk hasil reaksi mungkin adalah asam lemak dengan rantai yang lebih pendek (telah terjadi reaksi perengkahan), namun karena memiliki gugus yang asam yang baru, maka properti yang dimiliki juga berubah. Salah satu sifat yang berubah tersebut adalah titik beku yang tinggi, sehingga pada suhu ruang produk hasil reaksi memiliki fasa padat (seperti pada asam miristat, asam azealat, dll).

Analisa FT-IR

Tabel 1. Absorbansi berbagai ikatan pada POME dan produk hasil reaksi perengkahan

Jenis ikatan	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Absorbansi		
		POME	Produk	Bensin
C-H pada CH ₃	2843-2863	0,25	0,74	0,55
C=O pada ester	1735-1750	1,0	0,52	-
RCH ₃	1450-1475	0,12	0,38	0,4
RC(CH ₃) ₃	1235-1255	0,07	0,26	-
RCH (CH ₃) ₂	~1170	0.114	0,3	-

Perbedaan absorbansi antara POME dan produk setelah reaksi perengkahan menunjukkan bahwa POME yang digunakan sebagai umpan reaksi perengkahan telah mengalami perubahan. Gugus ester yang terdapat dalam POME telah mengalami pemutusan, yang ditandai dengan berkurangnya absorbansi pada gugus ester tersebut. Terjadinya reaksi perengkahan juga ditandai dengan meningkatnya absorbansi pada ikatan RC(CH₃)₃ dan RCH(CH₃)₂. Dengan semakin banyaknya rantai karbon yang putus, maka jumlah ikatan C(CH₃)₃ dan CH(CH₃)₂ akan semakin banyak dan ditandai dengan naiknya absorbansi.

KESIMPULAN

1. Konversi katalitik minyak sawit dengan menggunakan katalis H-ZSM-5/Alumina telah berhasil menghasilkan produk senyawa hidrokarbon setaraf bensin.
2. Pada hasil uji aktivitas katalis diperoleh temperatur optimum untuk reaksi perengkahan katalitik minyak kelapa sawit adalah 400 °C.
3. Katalis yang optimum adalah Z/A 5 %, dimana yield yang diperoleh untuk umpan POME adalah 63,1 % dan umpan minyak metanol adalah 26,8 %.
4. Jenis umpan yang menghasilkan yield bensin yang tinggi adalah POME (*Palm Oil Methyl Ester*). Penambahan metanol secara langsung ke dalam reaktor terbukti tetap dapat

menghasilkan hidrokarbon setaraf fraksi bensin, sehingga jalur reaksi ini juga dapat dipertimbangkan sebagai alternatif pembuatan hidrokarbon setaraf fraksi bensin.

DAFTAR PUSTAKA

1. Andi, N. A. S. 2006. *Mengenal Lebih Dekat Biodiesel Jarak Pagar*. PT. Agromedia Pustaka, Depok.
2. Katikaneni, S. P. R., Adjaya, J. D., Bakhshi N. N. 1995. *Performance of Aluminophosphate Molecular Sieve Catalysts for Production of Hydrocarbons from Wood-Derived and Vegetable Oils*. Energy Fuels. 9: 1065-1078.
3. Bhatia, S., Noor A.M., Zabidi and Twaiq F. 1999. *Catalytic Conversion of Palm Oil to Hydrocarbon Performance of Various Zeolit Catalyst*. Industrial and Engineering Chemical Research. 38: 3230-3237.
4. Syarief, E. 2004. *Melawan Ketergantungan pada Minyak Bumi*. Insist Press, Yogyakarta.
5. Yuriagada, Prasad S, Hu Y. L., Bakhshi N. N. 1986. *Effect of Hydrothermal Treatment of HZSM-5 Catalyst on Its Performance for Conversion of Canola and Mustard Oils to Hydrocarbons*. Ind. and Eng. Che. Production Research. 25: 251-257.

6. Setiadi. 2005. *Oksidatif Dehidrogenasi Etana menjadi Etilen Menggunakan B₂O₃ : Pengaruh Kandungan Boron Oksida*. Prosiding Simposium dan Kongres Masyarakat Katalis Indonesia. Jakarta.
7. Katikaneni, S. P. R., Adjaye, J. D., Bakhshi N. R. 1995. *Studies on the Catalytic Conversion of Canola Oil to Hydrocarbons: Influence of Hybrid Catalyst and Steam*. Energy Fuels. 9: 599-609.
8. Katikaneni, S. P. R., Adjaye, J. D., Idem, R. O., Bakhshi N. R. 1996. *Catalytic Conversion of Canola Oil over Potassium-Impregnated HZSM-5 Catalysts: C₂-C₄ Olefin Production and Model Reaction Studies*. Industrial and Engineering Chemical Research. 35: 3332-3346.
9. Katikaneni, S. P. R., Idem O. R., Narendra N. B. 1997. *Catalytic Conversion of Canola Oil to Fuels and Chemical: Roles of Catalyst Acidity, Basicity and Shape Selectivity on Product Distribution*. Fuel Processing Technology. Elsevier. 51: 101-125.
10. Fessenden, R. J. and Joan S. F. 1981. *Organic Chemistry*. USA: Wadsworth Asian Student Edition.