

Studi Pengaruh Aktifasi Termal terhadap Struktur Mikro dan Porositas Zeolit Alam

I Putu Putra Widia Semara¹, Tjokorda Gde Tirta Nindhia²

1. Mahasiswa S2 Teknik Mesin Universitas Udayana Bali

2. Jurusan Teknik Mesin universitas Udayana Bali

e-mail: nindhia@yahoo.com

Abstrak

Zeolit memiliki kemampuan menyerap limbah logam baik pada limbah cair dan gas. Sebagai studi awal pemanfaatan zeolit alam untuk diketahui kemungkinan pemanfaatannya dalam penanganan limbah terhadap kandungan limbah logam berbahaya, maka penelitian mengenai sifat fisik dari zeolit alam tersebut perlu terlebih dahulu dilakukan. Agar dapat menyerap kandungan polutan logam dalam limbah, zeolit terlebih dahulu harus diaktifkan, salah satunya adalah dengan melakukan pemanasan. Penelitian ini bertujuan mengetahui perubahan struktur mikro dan porositas zeolit alam akibat aktifasi termal. Zeolit alam yang digunakan berasal dari tambang zeolit di daerah Sukabumi Jawa Barat. Dalam penelitian ini variasi suhu adalah : 100, 200, 300, 400, dan 500 ° C , dengan waktu yang sama yaitu 15 menit. Kemudian dilakukan pengamatan struktur mikro dan porositas dari masing- masing zeolit yang telah diaktifasi, dibandingkan dengan belum diaktifasi. Pengamatan dilakukan dengan stereo optical microscope mengikuti standar teknik ceramography. Perubahan Struktur mikro yang terjadi dianalisa dan dipelajari dihubungkan dengan porositas karena kemampuan zeolit dalam menyerap kandungan polutan logam tergantung pada porositasnya .

Kata kunci: zeolit alam, aktifasi, termal, limbah, logam

Abstract

Zeolite is known as a material having ability as an adsorbent for metal pollutant in both liquid and gas wastes. As initial study in utilizing natural zeolite, and in order to be understood its possibility to control the dangerous metal pollutant from the liquid and gas wastes, then research regarding physical properties from the natural zeolite should be conducted first. The natural zeolite will be able to adsorb the metal pollutant in the waste if already be activated, and one of the method to activate is by applying thermal activation technique or heating. The purpose of this research is to observe the change on microstructure to be related with porosity of natural zeolite from Sukabumi, West Java, Indonesia due to thermal activated, to be compared to one without thermal activation. The temperature variations for thermal activation namely: 100, 200, 300, 400, and 500 ° C with all have the same holding time 15 minutes. The microstructure then is observed by using stereo optical microscope following the standard of ceramography standard. The change in microstructure then is analyzed and studied to be related with the ability of natural zeolite to adsorb the metal pollutant

Key words: natural zeolite, activation, thermal, metal.

1. PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya industri pariwisata di Bali, kebutuhan akan kerajinan juga semakin meningkat, dan secara langsung limbah yang dihasilkan juga meningkat, jika ini tidak segera ditanggulangi ,akan menyebabkan kerusakan pada lingkungan hidup atau alam di sekitar. Dari sekian banyak industri pariwisata di Bali, industri kerajinan logam adalah salah satu yang menghasilkan limbah yang berbahaya. Limbah tersebut terutama berasal dari pencucian logam yang telah dilapisi , atau dalam proses pelapisan logam.

Logam berat yang mencemari alam sangat beracun, walaupun dalam konsentrasi yang tidak banyak, atau melampaui batas ambang yang telah ditentukan, dan tidak bisa terurai di alam. Dengan

meningkatnya batas logam berat yang ada di tubuh mahluk hidup, seperti pada manusia, akan dapat memicu semua penyakit, maka amat perlu untuk menurunkan kadar logam berat yang dapat mencemari lingkungan [1]

Untuk menghilangkan ion logam berat dari limbah menggunakan material penyerap adalah sangat menarik. Karbon aktif telah banyak dipesan digunakan untuk menyerap inorganik ion dari larutan cair, tetapi memerlukan biaya yang cukup banyak, kemudian banyak penelitian yang dilakukan untuk media penyerap yang lebih murah. Klinoptilolit diketahui memiliki kelebihan yang bisa menyerap logam berat seperti Timbal, Cadmium, seng Tembaga, dan lainnya. Zeolit Masih tergolong klinoptilolit, yang secara alami atau disebut zeolit alam, dan harus

dilakukan perlakuan awal atau pengaktifan untuk dapat dijadikan bahan penjerap yang lebih bagus, dengan sifat penjerap dari zeolit (klinoptilolit) yang bagus, penelitian tentang pemanfaatannya sebagai penjerap limbah asam dari industri pertambangan yang mengandung Fe^{3+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} and Zn^{2+} juga telah dilakukan [10] Dengan proses pemanasan zeolit alam diaktivasi dan memberikan peningkatan kemampuan penjerapan yang signifikan, penelitian ini sudah dilakukan untuk zeolit yang berasal dari Bayah, Tasikmalaya Dan Lampung [2]

Dari proses terbentuknya, batuan alam dapat dibedakan menjadi tiga klasifikasi, yaitu :

1. *Igneous* atau Batuan beku

Batuan beku atau batuan *igneous* (dari Bahasa Latin: *ignis*, "api") adalah jenis batuan yang terbentuk dari magma yang mendingin dan mengeras, dengan atau tanpa proses kristalisasi, baik di bawah permukaan sebagai batuan intrusif (*plutonik*) maupun di atas permukaan sebagai batuan ekstrusif (*vulkanik*). Magma ini dapat berasal dari batuan setengah cair ataupun batuan yang sudah ada, baik di mantel ataupun kerak bumi. Umumnya, proses pelelehan terjadi oleh salah satu dari proses-proses berikut: kenaikan temperatur, penurunan tekanan, atau perubahan komposisi. Lebih dari 700 tipe batuan beku telah berhasil dideskripsikan, sebagian besar terbentuk di bawah permukaan kerak bumi. Batuan beku yaitu batuan yang terbentuk sebagai hasil dari kumpulan mineral-mineral silikat hasil penghamburan magma yang mendingin [3]. Berdasarkan teksturnya batuan beku ini bisa dibedakan lagi menjadi batuan beku plutonik dan vulkanik. Perbedaan antara keduanya bisa dilihat dari besar mineral penyusun batuan. Batuan beku plutonik umumnya terbentuk dari pembekuan magma yang relatif lebih lambat sehingga mineral-mineral penyusunnya relatif besar. Contoh batuan beku plutonik ini seperti *gabro*, *diorite*, dan granit (yang sering dijadikan hiasan rumah). Sedangkan batuan beku vulkanik umumnya terbentuk dari pembekuan magma yang sangat cepat (misalnya akibat letusan gunung api) sehingga mineral penyusunnya lebih kecil. Contohnya adalah *basalt*, *andesit* dan *dacite*.

2. *Metamorphic*

Yaitu batuan yang berasal dari batuan induk yang mengalami perubahan tekstur dan komposisi mineral pada fasa padat sebagai akibat perubahan kondisi fisika tekanan, temperatur, atau tekanan dan temperatur. Akibat bertambahnya suhu dan atau tekanan, batuan sebelumnya akan berubah tekstur dan strukturnya sehingga membentuk batuan baru dengan tekstur dan struktur yang baru pula. Contoh batuan tersebut adalah batu sabak atau *slate* yang merupakan perubahan batu lempung. Batu marmer yang

merupakan perubahan dari batu gamping. Batu kuarsit yang merupakan perubahan dari batu pasir. Apabila semua batuan-batuan yang sebelumnya terpanaskan dan meleleh maka akan membentuk magma yang kemudian mengalami proses pendinginan kembali dan menjadi batuan-batuan baru lagi. Salah satu kelompok utama batuan yang merupakan hasil transformasi atau ubahan dari suatu tipe batuan yang telah ada sebelumnya, *protolith*, oleh suatu proses yang disebut metamorfisme, yang berarti "perubahan bentuk". *Protolith* yang dikenai panas (lebih besar dari 150 °Celsius) dan tekanan ekstrim akan mengalami perubahan fisika dan atau kimia yang besar. *Protolith* dapat berupa batuan sedimen, batuan beku, atau batuan *metamorf* lain yang lebih tua. Beberapa contoh batuan *metamorf* adalah *gneis*, batu sabak, batu marmer, dan *skist*. Batuan *metamorf* menyusun sebagian besar dari kerak Bumi dan digolongkan berdasarkan tekstur dan dari susunan kimia dan mineral (*fasies metamorf*) Mereka terbentuk jauh dibawah permukaan bumi oleh tegasan yang besar dari batuan diatasnya serta tekanan dan suhu tinggi. Mereka juga terbentuk oleh intrusi batu lebur, disebut magma, ke dalam batuan padat dan terbentuk terutama pada kontak antara magma dan batuan yang bersuhu tinggi. Penelitian batuan metamorf (saat ini tersingkap di permukaan bumi akibat erosi dan pengangkatan) memberikan kita informasi yang sangat berharga mengenai suhu dan tekanan yang terjadi jauh di dalam permukaan bumi.

3. Batuan endapan atau batuan sedimen adalah salah satu dari tiga kelompok utama batuan (bersama dengan batuan beku dan batuan metamorfosis) yang terbentuk melalui tiga cara utama: pelapukan batuan lain (*clastic*); pengendapan (*deposition*) karena aktivitas biogenik; dan pengendapan (*precipitation*) dari larutan. Jenis batuan umum seperti batu kapur, batu pasir, dan lempung, termasuk dalam batuan endapan. Batuan endapan meliputi 75% dari permukaan bumi. Penamaan batuan sedimen biasanya berdasarkan besar butir penyusun batuan tersebut, breksi, konglomerat, batupasir, batulempung. *Breksi* adalah batuan sedimen dengan ukuran butir lebih besar dari 2 mm dengan bentuk butiran yang bersudut, Konglomerat adalah batuan sedimen dengan ukuran butir lebih besar dari 2 mm dengan bentuk butiran yang membudar, Batu pasir adalah batuan sedimen dengan ukuran butir antara 2 mm sampai 1/16 mm, Batu *lanau* adalah batuan sedimen dengan ukuran butir antara 1/16 mm sampai 1/256 mm, Batu lempung adalah batuan sedimen dengan ukuran butir lebih kecil dari 1/256 mm Batuan sedimen ini bisa digolongkan lagi menjadi beberapa bagian diantaranya batuan sedimen klastik, batuan sediment kimia, dan batuan sediment organik. Batuan sediment klastik terbentuk melalui proses

pengendapan dari material-material yang mengalami proses transportasi. Besar butir dari batuan sediment klastik bervariasi dari mulai ukuran lempung sampai ukuran bongkah. Biasanya batuan tersebut menjadi batuan penyimpan hidrokarbon (*reservoir rocks*) atau bisa juga menjadi batuan induk sebagai penghasil hidrokarbon (*source rocks*). Contohnya batu konglomerat, batu pasir dan batu lempung. Batuan sediment kimia terbentuk melalui proses presipitasi dari larutan. Biasanya batuan tersebut menjadi batuan pelindung (*seal rocks*) hidrokarbon dari migrasi. Contohnya *anhidrit* dan batu garam (*salt*). Contohnya adalah batu gamping terumbu. Zeolit tergolong batuan *sedimentary* atau endapan. Mineral alam zeolit biasanya masih tercampur dengan mineral lainnya seperti kalsit, gipsum, *feldspar* dan kuarsa dan ditemukan di daerah sekitar gunung berapi atau mengendap pada daerah sumber air panas (*hot spring*). ditemukan sebagai batuan endapan pada bagian tanah jenis *basal*. Ada tiga tipe zeolite [4] yang banyak dikembangkan, berdasarkan struktur dari zeolite tersebut. Simpul di dalam struktur dari T atom (Si atau Al) dan garis diantara simpul merupakan jembatan dari jembatan atom O, ini adalah cara konvensional untuk menunjukkan struktur zeolit. *Frame work* zeolit terdiri dari gugus gabungan jaringan dari T atom berbentuk (T=Si, Al,dll.) dihubungkan oleh ion oksigen. Blok bangunan dari struktur zeolit terdiri 3, 4, 5, dan 6 anggota rings (n-MR). masing – masing n-MR terdiri dari n T atoms dihubungkan ion O dan aktualnya memiliki 2n atom, kemudian 6-MR memiliki 12 total atom. Struktur yang teratur yang terbentuk jadi ring yang besar, merupakan *molecular pores* – biasanya 8-, 10- dan 12-MR, meskipun dengan struktur 9-, 14-, 18-, dan 20-MR pores telah diketahui. 8-, 10-, dan 12-MR biasa diklasifikasikan zeolit yang memiliki porositas kecil, sedang dan besar. Zeolit dengan porositas kecil biasa digunakan untuk menyerap n-paraffins, zeolit yang memiliki porositas yang lebih besar digunakan untuk menyerap *branched paraffins*. Zeolite dengan porositas sedang atau menengah hanya digunakan untuk paraffin rantai bercabang, tetapi yang tidak terlalu tinggi dapat terjerap. Zeolite yang memiliki porositas yang besar, disebut dengan material kelas sebagai *molecular sieves*, yang bisa memisahkan molekul yang memiliki struktur yang berbeda.

Zeolit memiliki kemampuan untuk memurnikan air dari pengotor logam berat [3,5,6, dan 7] di samping itu zeolit juga diketahui memiliki peranan penting sebagai *heterogeneous catalys* dan banyak digunakan sebagai katalis [8].

Zeolite dipakai karena keunikan properties yang dimiliki, antara lain [8]. :

1. Memiliki struktur porositas mikro (*microporous*) yang unik, sehingga memiliki sifat *molecular*

sieving yang baik, sehingga banyak digunakan sebagai katalis.

2. Struktur yang bervariasi, mulai dari dengan porositas rendah, sampai dengan yang memiliki porositas yang tinggi, sehingga cukup untuk memproses molekul yang berat.
3. Kemungkinan untuk kontrol dengan cara yang bervariasi, tidak hanya geometri, tetapi juga komposisinya.
4. Kemampuan zeolit sebagai media penjerap, media lain yang memiliki sifat katalis , seperti ion logam, gugus logam kecil atau transisi logam kompleks.

Di Indonesia, zeolit ditemukan dalam jumlah besar, diantaranya tersebar di beberapa daerah pulau Sumatera dan Jawa. Mineral zeolit merupakan kelompok alumino silikat terhidrasi dengan unsur utama terdiri dari kation, alkali dan alkali tanah, memiliki pori-pori yang dapat diisi oleh molekul air. Kandungan air yang terperangkap dalam rongga zeolit. Bila terhidrasi kation-kation yang berada dalam rongga tersebut akan terselubungi molekul air, molekul air ini sifatnya labil atau mudah terlepas.

Zeolit dapat digunakan untuk menyerap limbah secara langsung karena porositas yang dimiliki. Untuk meningkatkan kemampuan penyerapan maka dapat dilakukan aktivasi. Aktivasi ada dua yaitu fisika dilakukan dengan melakukan pemanasan pada temperatur tertentu untuk mengurangi kandungan air, dan meningkatkan porositas dari zeolit, dan secara kimiawi yaitu dengan menggunakan bahan kimia tertentu yang berfungsi mengikat dan membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Setelah zeolit diaktivasi, maka sudah dapat digunakan untuk mengolah limbah, baik limbah dari rumah tangga, industri kimia, industri makanan, industri logam dan yang lain-lainnya

Sebagai studi awal pemanfaatan zeolit alam untuk diketahui kemungkinan pemanfaatannya dalam penanganan limbah dari kandungan polutan logam berbahaya, maka penelitian mengenai sifat fisik dari zeolit alam tersebut perlu dilakukan terlebih dahulu. Penelitian ini menekankan pengamatan pada perubahan struktur mikro zeolit alam berasal dari Indonesia dihubungkan dengan porositasnya yang terbentuk karena adanya aktivasi termal. Hasil optimum porositas yang diperoleh dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan pilihan suhu pemanasan aktivasi yang dipilih agar diperoleh penyerapan limbah logam berat yang optimal.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan mengetahui perubahan struktur mikro, dan porositas zeolit alam akibat aktivasi termal. Zeolit alam yang digunakan berasal dari tambang zeolit di daerah Sukabumi Jawa Barat.

Untuk pengamatan struktur mikro penelitian dimulai dengan pemotongan zeolite dengan ukuran ± 0.7 x 0.7 x 0.7 mm, menggunakan *diamond cutting wheel* untuk mempermudah memasukkan spesimen ke dalam tungku, untuk diaktifasi. Satu spesimen tidak dilakukan pengaktifan, sebagai pembandingan antara zeolit yang telah diaktifasi dan zeolite yang tidak diaktifasi. Aktivasi dilakukan pada variasi suhu, 100, 200, 300, 400, dan 500 °C, dengan waktu yang sama yaitu 15 menit. langkah selanjutnya adalah *specimen mounting* yaitu spesimen dibuatkan pemegang dengan resin, untuk mempermudah penanganan spesimen. Pengamplasan permukaan dilakukan untuk mendapatkan permukaan yang halus, pengamplasan bertingkat mulai dari kertas amplas, grit 400, 600, 1000, 1500, dan 2000. Selama proses pengamplasan, spesimen dan kertas amplas dialiri dengan air bersih, yang bertujuan untuk menghanyutkan sisa atau hasil pengamplasan.

Untuk memperoleh hasil permukaan yang lebih halus, langkah pemolesan selanjutnya dilakukan. Pemolesan (*polishing*) dilakukan dengan kain satin dengan serbuk alumina (± 1µm). proses ini juga dialiri dengan air, sehingga permukaan spesimen yang dihasilkan benar - benar halus dan tidak ada goresan. Pengamatan struktur mikro permukaan zeolite dilakukan dengan menggunakan *stereo optical microscope*.

Pengujian porositas, dilakukan berdasarkan standar ASTM C 20-80a [6] sebagai berikut:.

Berat kering (D) dalam satuan gram ditentukan dengan cara dipanaskan 105° C, selama 5 menit, kemudian ditimbang, untuk mendapatkan berat kering dari spesimen.

Spesimen selanjutnya diletakkan dalam air mendidih selama 2 jam. Setelah direbus spesimen ditimbang di dalam air, dengan cara menggantung spesimen pada timbangan untuk memperoleh nilai berat di dalam air (S).

Berat basah (W) dalam satuan gram, ditentukan dengan cara menimbang spesimen dalam keadaan basah setelah proses penimbangan di dalam air. *Volume exterior* (V) diperoleh dengan menggunakan Persamaan 1:

$$V(\text{cm}^3) = W - S \dots\dots\dots(1)$$

Apparent porosity (P), adalah persentase dari volume rongga, dengan volume keseluruhan dari

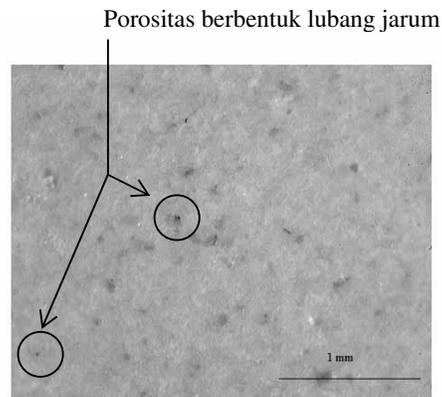
spesimen yang diperoleh dengan menggunakan Persamaan 2

$$P (\%) = [(W-D)/V] \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Keaktifan zeolite alam dalam menyerap limbah logam berat dipengaruhi oleh porositas dari zeolit. Semakin tinggi porositasnya maka semakin baik penyerapan limbah logam berat yang dapat diserap.

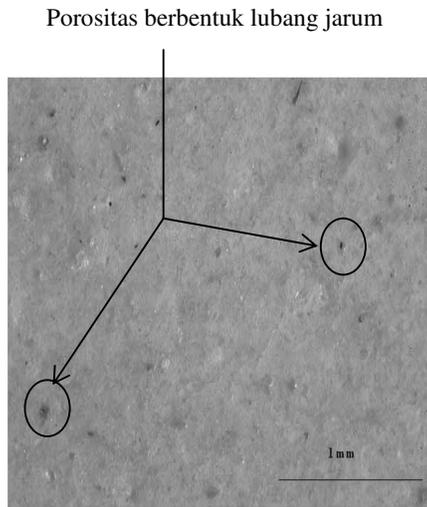
Gambar 1 sampai Gambar 5 menjelaskan bagaimana perubahan struktur mikro yang terjadi akibat variasi suhu aktivasi. Natural zeolit dalam penelitian ini memiliki struktur mikro dengan porositas berbentuk jarum seperti tersaji pada Gambar 1. Porositas berbentuk jarum tampak semakin menghilang jika benda uji diaktifasi pada suhu 100°C seperti terlihat pada Gambar 2. Sangat menarik untuk dibahas disini di mana jika benda uji diaktifasi pada suhu 200°C maka porositas berbentuk jarum menghilang secara keseluruhan dan berganti dengan tebaran porositas berbentuk rongga-rongga persegi baik yang kecil maupun yang besar seperti tersaji pada Gambar 3.



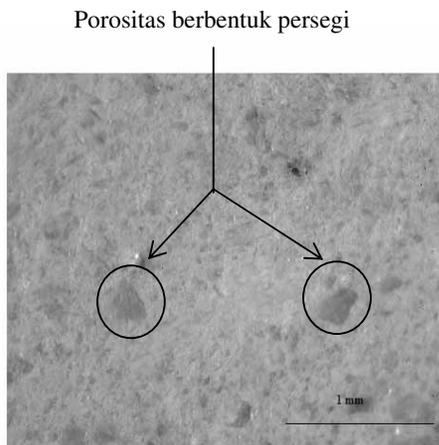
Gambar 1. sruktur mikro zeolite alam tanpa perlakuan. Porositas ditemukan dalam bentuk seperti akibat tusukan lubang jarum (needle hole)

Rongga-rongga berbentuk persegi yang bertebaran terlihat berkurang akibat aktivasi pada suhu 300°C seperti dapat dilihat pada Gambar 4 dibandingkan dengan pemanasan pada suhu 200°C yang tersaji pada Gambar 3 sebelumnya. Porositas berbentuk rongga persegi semakin mengecil akibat pemanasan pada suhu 400°C (Gambar 4) dan akhirnya dengan pemanasan mencapai suhu 500°C

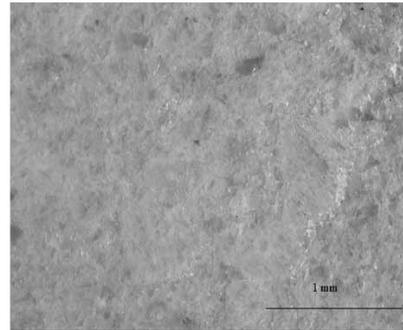
struktur mikro zeolit menjadi sangat rapat dan tidak terlihat lagi porositas yang ada (Gambar 5).



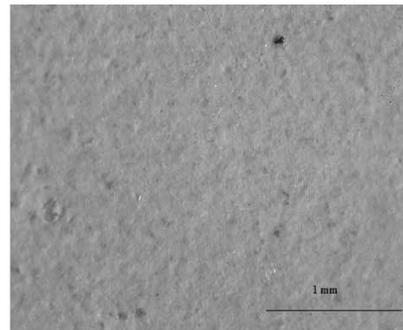
Gambar 2. struktur mikro Zeolit alam akibat pemanasan 100°C. Porositas berbentuk lubang jarum masih ditemukan



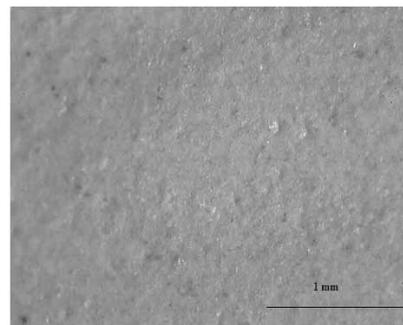
Gambar 3. struktur mikro zeolite alam akibat pemanasan 200°C. Porositas berbentuk lubang jarum tidak ditemukan. Porositas berbentuk rongga persegi (berwarna gelap) tampak bertebaran baik dalam ukuran besar maupun bintik bintik kecil.



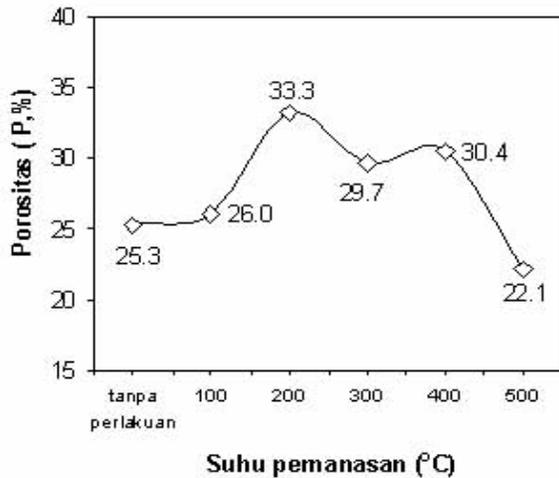
Gambar 4. Pemanasan mencapai suhu 300°C menyebabkan tebaran rongga porositas berbentuk persegi semakin mengecil dan berkurang.



Gambar 5. Tebaran porositas berbentuk persegi semakin mengecil dan menghilang jika dipanaskan mencapai suhu 400°C



Gambar 6. struktur mikro terlihat semakin rapat dan porositas tidak terlihat lagi dengan pemanasan pada suhu aktivasi 500°C



Gambar 6. Pengaruh suhu aktivasi terhadap porositas zeolit. Nilai porositas optimum diperoleh dengan pemanasan pada suhu 200°C

Perubahan struktur mikro akibat suhu pemanasan jika dihubungkan dengan hasil pengujian porositas seperti tersaji pada Gambar 6 ternyata terdapat hubungan yang bersesuaian. Porositas benda uji tanpa pemanasan dan dengan pemanasan suhu rendah pada 100°C terlihat memiliki porositas rendah yang diakibatkan adanya porositas berbentuk lubang jarum. Porositas kemudian diketahui meningkat dengan signifikan mencapai nilai 33.3% jika dipanaskan pada suhu 200°C yang disebabkan adanya banyak tebaran rongga berbentuk persegi seperti disampaikan sebelumnya pada Gambar 3. Pemanasan di atas suhu 200°C menyebabkan penurunan porositas, dan jika pemanasan dilakukan mencapai suhu 500°C maka porositas zeolit bahkan berada di bawah porositas zeolit tanpa perlakuan. Hal ini dapat dijelaskan dengan mengamati struktur mikro, di mana dengan pemanasan mencapai suhu 500°C maka struktur mikro terlihat rapat tanpa rongga seperti disajikan pada Gambar 5 sebelumnya.

Dengan demikian dapat disampaikan disini bahwa zeolit alam yang diteliti dalam penelitian ini akan memiliki keaktifasi optimum jika dipanaskan pada suhu 200°C.

4. KESIMPULAN

Keaktifan optimum dari zeolit alam yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dengan pemanasan pada suhu aktivasi 200°C. Hal ini disebabkan karena dengan pemanasan pada suhu 200°C porositas yang diperoleh mencapai nilai optimum yang disebabkan karena adanya rongga-rongga porositas berbentuk persegi.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Pengamatan struktur mikro dalam penelitian ini menggunakan fasilitas yang dimiliki oleh Microphotolab, Jimbaran, Bali. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih atas kerjasamanya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Barakat M.A.,2008, *Adsorption of Heavy Metal from Aqueous Solution on Synthetic Zeolite*, Research Journal of Environmental Sciences 2(1):13-22,ISSN 1819-3412
- [2] Aslina, B.G. Anggraini, D. Indaryati, S. & Kriswarini, R, 2007, *Karakterisasi Komposisi Kimia, Luas Permukaan Pori dan Sifat Termal dari zeolit Bayah, Tasikmalaya, dan Lampung*, J. Tek. Bhn. Nukl. ISSN 1907-2635
- [3] Wang, S., and Peng, Y., 2010, *Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment*, Chemical Engineering Journal, 156, 11-24
- [4] Chester A.W, & Derovane E.G, 2001, *Zeolite Characteriation and Catalys*, Springer ISBN 978-1-4020-9677-8
- [5] Ayuso, E. A., Sanches, G., dan Querol, X., 2003, *Purification of metal electroplating waste waters using zeolites*, Water Research 37 , 4855-4862
- [6] Rubio, J., dan Oliveira, C.R.,2007, *New basis for adsorption of ionic pollutanta onto modified zeolites*, Minerals Engineering, 20, 552-558
- [7] Inglezakis, V.J., and Grigoropoulou, H., 2004, *Effect of operating conditions on the removal of heavy metals by zeolite in fixed bed reactors*, Journal of Hazardous Materials B112, 37-43.
- [8] Ribeiro, R.F.m Alvarez, F., Henriques, C., Lemos, F., Lopes, dan Ribeiro, M.F., 1995, *Structure activity relationship in zeolite*, Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 96, 245-270
- [9] ASTM C 20-80a, American national standard. 1980, *Standard test method for apparent porosity, water absorption, apparent specific gravity, and bulk density of burned refractory brick and shape by boiling water*.
- [10] Kocaoba S, & Orhan Y, *Heavy Metal Adsorption by Clinoptilolite from Aqueous Solutions*, Technical University, Faculty of Art and Science, Department of Chemistry, Ýstanbul, Turkey