

## Teknologi Pengolahan Zeolit Menjadi Bahan yang Memiliki Nilai Ekonomi Tinggi

Didiek Hadjar Goenadi

Ketua Umum Asosiasi Inventor Indonesia, Ketua Umum Himpunan Ilmu Tanah Indonesia, dan  
Direktur Eksekutif Lembaga Riset Perkebunan Indonesia (LRPI)  
Jl. Salak No 1A, Bogor 16151, Telp. 0251-333087, Fax. 0251-315985,  
e-mail: ipardboo@indo.net.id

### ABSTRAK

*Zeolit merupakan sekelompok mineral alumino silikat terhidrasi dari alkalin, terutama sodium (Na), pottasium (K), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg). Selama lebih dari 2000 tahun sejak ditemukannya pertama kali oleh Cronstedt pada tahun 1756 di Swedia telah ditemukan paling tidak 50 tipe zeolit alam dan telah disintesis 150 tipe zeolit sintetik. Pemanfaatan zeolit meliputi bidang yang sangat luas bedasarkan kemampuannya sebagai adsorpsi, katalis, dan penukar kation. Bagaimanapun juga, pemanfaatan zeolit alam memiliki beberapa keterbatasan antara lain karena ketersediaannya yang terbatas, komposisi mineral penyusun yang sangat bervariasi, ukuran kristal yang bervariasi, porositas, dan diameter pori yang tidak seragam. Dipihak lain zeolit sintetik dikembangkan untuk mengatasi hambatan dan kelemahan dari zeolit alami. Berbagai penelitian dan pengembangan teknologi telah dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomi zeolit dengan mengeksploitasi dan memodifikasi kemampuan zeolit sebagai adsorpsi, katalis, dan penukar kation. Zeolit yang memiliki nilai ekonomi tinggi telah dimanfaatkan di bidang: pertanian, peternakan, perikanan, pengelolaan lingkungan, industri detergen, pasta gigi, komestik, dan berbagai macam industri lainnya.*

**Kata kunci :** Adsorpsi, katalis, penukar kation

### ABSTRACT

**ZEOLITE PROCESSING TECHNOLOGY TO BECOME MATERIAL WITH HIGH ECONOMICAL VALUE.** *Zeolite is a group of hydrated silical alumino mineral from alkaline specially sodium (Na), Potassium (K), Calcium (Ca), and Magnesium (Mg). More then 2000 years since it found the first time by Cronstedt on the year 1756 in Sweden have been found more then 50 type of natural zeolite and 150 type synthetic zeolite. The use of zeolite covers a wide range of field due to its ability as absorber, catalyst and ion exchange. However, the use of natural zeolite have several limitation such as limited source, a very high variation mineral composition, and crystal size, porosity and un uniform pore diameter. On the other hand, synthetic zeolite is created to overcome the difficulty and weaknesses of natural zeolite. Several technological research and development have been carried out to increases the economic value of zeolite by exploitation and modifying zeolite capacity as absorber, catalyst and ion exchanger. Zeolite have been used on agriculture, cosmetics, and other industries. .*

**Keywords :** Adsorbtion, catalyst, ion exchanger



## PENDAHULUAN

Pada tahun 1756, ahli mineralogi bernama Axel Frederick Cronstedt menemukan mineral alam, *stilbite*, yang akan kehilangan air ketika dididihkan, dan dia menamakannya *zeolite* (bahasa Yunani = batu didih). Zeolit adalah mineral aluminosilikat dengan struktur tiga dimensi berdasarkan pada polyhedral  $[\text{SiO}_4]^{-4}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{-4}$ . Rasio  $[\text{Si} + \text{Al}]/\text{O}$  di dalam zeolit adalah 0,5. Keempat ujung polihedral tersebut saling berhubungan sehingga membentuk pori-pori mikro yang dapat menahan berbagai molekul dengan ukuran yang bervariasi. Kation dan air umumnya terperangkap di dalam pori-pori tersebut. Ukuran pori-porinya bervariasi dari 2,0 hingga 4,3 Å (Rampel, 2003).

Selama dua abad sejak ditemukannya pertama kali hingga sekarang telah ditemukan paling tidak 50 tipe zeolit alam. Mineral zeolit yang umum ditemukan antara lain : *analcime*, *chabazite*, *clinoptilolite*, *erionite*, *ferrierite*, *heulandite*, *laumontite*, *mordenite*, dan *philipsite*. *Clinoptilolite* merupakan zeolit alam yang paling banyak digunakan untuk berbagai macam aplikasi. Selain itu *chabazite* dan *mordenite* juga digunakan secara komersial namun dalam jumlah kecil karena jumlahnya di alam yang lebih terbatas. Pemanfaatan zeolit alam memiliki beberapa kendala antara lain : jumlahnya yang terbatas, komposisi mineral yang bervariasi, ukuran kristal, porositas, dan ukuran pori-pori yang bervariasi.

Untuk mengatasi berbagai kelemahan zeolit alami para ahli mencoba untuk membuat zeolit sintetis. Zeolit sintetis pertama kali diproduksi pada tahun 1949 oleh *Linde Division of Union Carbide Corporation* di Amerika. Sejak saat itu hingga sekarang telah disintesis 150 tipe zeolit sintetis (<http://www.mineral-n-more.com>). Zeolit sintetis memiliki keunggulan dibandingkan dengan zeolit alami. Zeolit sintetis dapat dibuat dengan struktur yang lebih seragam, rasio silika dan aluminium 1:1, ukuran diameter pori-pori dapat diatur sesuai kebutuhan, dapat diperoleh sifat katalitik, adsorpsi, dan penukar kation yang diinginkan. Zeolit sintetis dimanfaatkan untuk aplikasi-aplikasi khusus seperti katalis dalam industri petrokimia,

pengolahan limbah beracun, dan limbah radioaktif.

Zeolit memiliki karakteristik yang unik. Zeolit memiliki kemampuan sebagai adsorpsi, katalis, dan penukar kation. Struktur kristal zeolit tetap stabil walau dipanaskan hingga 650° C, stabil pada kondisi basa hingga pH 10, dan stabil pada kondisi asam hingga pH 3,0 (Whitelaw, 2003; <http://www.markw.com>). Zeolit dikarakterisasi berdasarkan kemampuannya untuk melepaskan dan menyerap air tanpa merusak struktur kristalnya. Eksploitasi dan modifikasi dari karakteristik zeolit yang unik tersebut telah dimanfaatkan secara komersial pada berbagai bidang yang sangat luas, antara lain pertanian, peternakan, perikanan, pengelolaan lingkungan, industri detergen, pasta gigi, komestik, dan berbagai macam industri lainnya (<http://www.mineral-n-more.com>).

Konsumsi global zeolit untuk keperluan komersial mencapai lebih dari 4 juta metrik ton per tahun. Secara umum pemanfaatan zeolit dapat dibagi menjadi tiga bidang utama yaitu material bangunan, pertanian (*agriculture*), dan yang lainnya. Rasio pemakaian dari ketiga bidang tersebut adalah 6 : 2 : 1. Sedangkan konsumsi zeolit alam mencapai 3,9 juta metrik ton per tahun. Konsumsi ini diperkirakan akan terus meningkat menjadi 4,58 juta metrik ton per tahun pada tahun 2005 dan 5,5 milyar metrik ton per tahun pada tahun 2010. Konsumsi zeolit sintetis diperkirakan 1,36 milyar metrik ton per tahun. Peningkatan konsumsi ini diperkirakan akan menjadi 1,61 milyar metrik ton per tahun pada tahun 2005 dan pada tahun 2010 akan menjadi 1,86 milyar metrik ton per tahun. Nilai dari pasar zeolit tersebut diperkirakan mencapai \$2,15 milyar dan diperkirakan akan meningkat menjadi \$2,52 milyar pada tahun 2005 dan \$2,94 milyar pada tahun 2010 (<http://www.hewin>).

Penggunaan zeolit secara komersial pertama kali dilakukan pada tahun 1925 oleh dua orang ahli, Wiegel dan Steinhof, yang mempelajari kekuatan serap zeolit alam dalam hubungannya dengan molekul organik. J.W. McBain pada tahun 1932 menemukan bahwa zeolit mengadsorpsi molekul kecil dan menahan molekul yang

lebih besar. Kemampuan ini dimanfaatkan sebagai saringan molekuler.

Karakteristik zeolit dapat dimodifikasi untuk meningkatkan nilai ekonomi zeolit. Modifikasi ini diarahkan untuk pemanfaatan zeolit yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Modifikasi kerangka struktur (*framework*) zeolit dapat dilakukan dengan berbagai metode antara lain dengan mensintesis zeolit dengan kation logam selain aluminium dan silikon. Kerangka struktur zeolit dapat juga dimodifikasi dengan dealuminasi untuk meningkatkan kandungan silikon dan meningkatkan sifat hidrofobik zeolit.

### ADSORPSI

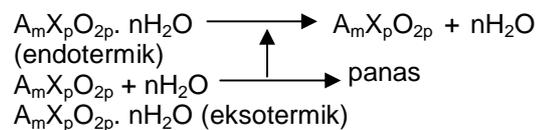
Zeolit adalah mineral yang sangat porous. Diameter pori-pori berkisar antara 2,0 hingga 4,3 Å. Pori-pori tersebut memiliki luas total yang sangat besar, satu gram zeolit luas permukaan pori-porinya ekuivalen dengan 40 meter persegi. Pori-pori inilah yang menyebabkan zeolit memiliki kemampuan untuk menyerap molekul. Zeolit mampu menyerap molekul gas hingga 30% dari bobot keringnya, menyerap air hingga lebih dari 70% bobot keringnya, dan menyerap molekul beberapa hidrokarbon hingga 90% dari bobot keringnya (Whitelaw, 2003; <http://www.markw.com>).

Dimensi dari pori-pori zeolit dan kemampuannya untuk mengadsorpsi gas dan air menjadikan zeolit semacam saringan molekuler yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam aplikasi. Pemanfaatan sifat adsorpsi ini digunakan untuk proses pengeringan, purifikasi/pemurnian, dan separasi/pemisahan. Bentuk dan ukuran pori zeolit mengontrol molekul yang dapat melewatinya. Beberapa tipe molekul dapat melewati pori-pori zeolit, molekul lainnya akan terperangkap dalam pori-pori, dan molekul yang lebih besar akan terhambat. Proses aktivasi zeolit untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi dapat dilakukan dengan proses yang sederhana, seperti pemanasan untuk mengeluarkan material teradsorpsi, penggantian ion dengan sodium (Na) untuk mengeluarkan kation, atau tekanan yang tinggi untuk mengeluarkan gas. Proses pemanasan pada suhu tinggi akan mengeluarkan air

dan molekul-molekul lain yang terdapat di dalam pori-pori tanpa merusak struktur kristalnya.

Aplikasi komersial kemampuan adsorpsi zeolit misalnya untuk menghilangkan bau. Gas yang secara cepat dapat diadsorpsi oleh zeolit misalnya : amoniak, hidrogen sulfida, karbon monoksida, karbon dioksida, sulfur dioksida, oksigen, nitrogen, dan formaldehida (Whitelaw, 2003; <http://www.markw.com>). Zeolit mampu mengadsorpsi nitrogen dan amoniak atau senyawa derivatnya yang umumnya merupakan penyebab bau yang tidak sedap. Produk-produk komersial zeolit telah dimanfaatkan untuk menghilangkan bau pada lemari es, alas sepatu, dan bau pada area peternakan. Saat ini juga telah dikembangkan produk komersial yang berupa papan atau lembaran zeolit yang digunakan untuk perumahan seperti untuk ventilasi udara, ruangan kamar kecil (WC), dan lain-lain.

Baoqi *et al.* (2003) memanfaatkan sifat adsorpsi zeolit sebagai media penyimpan energi cahaya/panas. Zeolit memiliki sifat adsorpsi isotherm yang sangat tidak linier terhadap air. Kemampuan zeolit untuk mengadsorpsi dan mendesorpsi air dapat dimanfaatkan untuk menyimpan energi panas. Ketika zeolit dipanaskan, molekul air akan dikeluarkan dan energi panas akan disimpan di dalamnya untuk beberapa waktu. Ketika air diadsorpsi lagi, energi panas akan dilepaskan lagi. Kedua proses tersebut dapat digambarkan persamaan kimianya sebagai berikut :



Energi panas tetap dapat dipertahankan di dalam zeolit selama dapat dipertahankan agar zeolit tidak menyerap air kembali. Pemanenan energi panas dapat dilakukan dengan mengatur kecepatan penyerapan air oleh zeolit.

Kemampuan zeolit untuk menyimpan energi panas juga telah dimanfaatkan oleh Marier-Lexhuber *et al.* (2003) untuk mengembangkan teknologi yang disebut dengan *Micro Climatization System* (MiCS). Teknologi ini dapat dikembangkan untuk berbagai aplikasi komersial yang

berdasarkan pada proses pendinginan, pemanasan, dan dehumidifikasi. Salah satu contohnya adalah teknologi *Air Conditioner* (AC). Aplikasi komersial untuk proses pengeringan makanan dengan zeolit telah dikembangkan oleh *TNO Enviromental, Energy, and Process Innovation* (<http://www.mep.tno.nl>). TNO-MEP mengembangkan sebuah teknologi untuk membuat zeolit yang memiliki afinitas sangat kuat terhadap air. Dengan menggunakan zeolit termodifikasi ini proses pengeringan makanan dapat dilakukan dengan suhu yang rendah dan waktu yang lebih singkat. Keuntungan yang didapatkan dari proses ini antara lain adalah : kerusakan makanan akibat pengeringan dengan suhu tinggi dapat dihindari, mempertahankan aroma dan senyawa aromatik makanan, waktu yang diperlukan lebih singkat, dan menghemat energi karena menggunakan suhu yang lebih rendah.

Kemampuan zeolit sebagai saringan molekuler berdasarkan pada perbedaan ukuran, bentuk dan polaritas molekul terhadap zeolit. Falconer dan Noble (2003) mengembangkan membran zeolit yang digunakan untuk proses penyaringan molekuler gas dan campuran liquid. Modifikasi terhadap zeolit dilakukan untuk merubah sifat hidrofilik dan hidrofobik zeolit, serta merubah ukuran dan struktur pori-pori mikro.

Kemampuan zeolit untuk mengadsorpsi dan mendesorpsi air juga telah dimanfaatkan sebagai bahan pembawa produk-produk berbasis mikroba, seperti biofertilizer, biopestisida, dan bioinsektisida. Zeolit akan menyerap air dan mempertahankan kelembaban di dalam bahan pembawa. Mikroba dapat memanfaatkan air tersebut untuk mempertahankan kehidupannya. Bahan pembawa mikroba yang berbasis zeolit dapat mempertahankan kehidupan mikroba hingga satu tahun (Goenadi, 1995)

## PENUKAR KATION

Zeolit secara alami memiliki ikatan ion logam yang mudah lepas dan mudah digantikan oleh kation lain di dalam sistem larutan. Kerangka struktur alumunium (Al) dan silikon (Si) saling berhubungan melalui pemakaian bersama atom oksigen (O). Unit  $\text{SiO}_4$  bersifat netral  $\text{Si}^{+4}/4\text{O}^-$ , tetapi

$\text{AlO}_4$  menghasilkan muatan negatif :  $\text{Al}^{+3}/4\text{O}^-$ . Muatan negatif tersebut diseimbangkan oleh kation yang terbentuk pada waktu sintesis zeolit. Kation tersebut sangat *mobile*/mudah lepas dan dapat digantikan oleh katio-kation logam lainnya. Kation logam alkali yang terdapat di dalam zeolit seperti sodium (Na) dan potasium (K) akan cenderung untuk dilepaskan dan zeolit akan menangkap kation-kaiton logam lain.

Aplikasi klasik dari zeolit sebagai penukar kation adalah digunakan untuk meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah. Kapasitas tukar kation erat kaitannya dengan kesuburan tanah. Nilai KTK yang tinggi menunjukkan bahwa tanah dapat mengikat kation yang merupakan unsur hara tanaman. Kation-kation ini sukar tercuci oleh air, tetapi mudah digantikan oleh kation lain (Goenadi, 1990). Peneliti *US Geological Survey* memanfaatkan zeolit untuk membuat pupuk lepas terkendali (*controlled-release fertilizers*) yang pelepasan unsur haranya terkendali, yaitu pupuk nitrogen lepas terkendali (*controlled-release nitrogen fertilizers*), pupuk fosfat lepas terkendali (*controlled-release phosphorus fertilizers*), dan pelepasan unsur hara mikro (<http://www.usgs.gov>).

Pupuk nitrogen lepas terkendali dibuat dengan cara memanaskan zeolit pada suhu  $400^\circ\text{C}$  sehingga air dan material lain yang terdapat di dalam pori-pori dikeluarkan dan digantikan oleh urea yang dilelehkan. Urea akan mengkristal pada suhu  $132^\circ\text{C}$ . Kecepatan pelepasan urea dari dalam zeolit akan lambat dalam tiga cara : (1) urea yang ditempatkan di dalam pori-pori zeolit akan terhindar dari proses pencucian (*leaching*) di dalam zona akar, (2) pelambatan konversi urea oleh enzim tanah, sehingga memperlambat pembentukan ion amonium, (3) ion amonium yang terbentuk ditangkap oleh sisi penukar zeolit sehingga terhindar dari bakteri nitrifikasi. Zeolit yang terjenuhi oleh N dengan metode ini mengandung kurang lebih 17% N dari bobot keringnya. Kecepatan pelepasan N dapat dikontrol dengan merubah ukuran butiran zeolit.

Pupuk fosfat lepas terkendali dibuat dengan mencampurkan batuan fosfat dengan zeolit yang memiliki ion dapat ditukar seperti ion

amonium. Reaksi di dalam larutan tanah dapat digambarkan sebagai berikut :



Zeolit akan menangkap ion  $\text{Ca}^{2+}$  dari batuan fosfat dan akan melepaskan ion fosfat dan amonium. Fosfat lepas terkendali dilepaskan sebagai hasil dari reaksi tanah spesifik. Pada saat fosfat diserap oleh tanaman atau terfiksasi oleh tanah, reaksi kimia akan melepaskan ion fosfat dan amonium untuk mempertahankan kondisi kesetimbangan. Kecepatan pelepasan fosfat diatur dengan memvariasikan rasio batuan fosfat dengan zeolit. Penelitian ini juga menemukan bahwa zeolit berperan pula pada pelepasan dan pengambilan unsur hara mikro oleh tanaman di tanah-tanah netral. Teknologi proses telah dikembangkan untuk membuat pupuk lepas terkendali berbasis zeolit.

Dengan metode yang hampir sama seperti di atas, zeolit dikembangkan pula sebagai media tanam tanpa tanah (*soil less media*). NASA melakukan riset untuk menumbuhkan tanaman kedelai di stasiun ruang angkasa dengan memanfaatkan zeolit yang disebut dengan *zeoponics* (<http://spaceresearch.nasa.gov>). Tanaman kedelai tersebut dapat tumbuh dengan cepat dan subur pada *zeoponic* dibandingkan pada media lain. Unsur hara tanaman dijerapkan di dalam pori-pori zeolit dan tanaman dapat ditumbuhkan hanya dengan menambahkan sedikit air pada zeolit tersebut.

Teknologi tersebut juga telah dikembangkan untuk menumbuhkan berbagai jenis tanaman. Tanaman terbukti dapat tumbuh lebih cepat dengan performa yang lebih baik. Keuntungan yang diperoleh dari teknologi ini adalah efisiensi penggunaan pupuk dapat ditingkatkan, mengurangi resiko kehilangan unsur hara, dan mengurangi pencemaran lingkungan akibat penggunaan pupuk yang berlebihan. Target pasar dari teknologi ini adalah tanaman yang memiliki nilai ekonomi tinggi seperti untuk menumbuhkan rumput di lapangan golf (<http://www.comercial.nasa.gov/>).

Kemampuan zeolit sebagai penukar kation juga telah dieksploitasi untuk dimanfaatkan

sebagai agen pelunak air (*water softening agent*). Zeolit akan menangkap ion-ion "berat" kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) untuk menggantikan ion sodium (Na) dan potasium (K) di dalam zeolit. Produk-produk detergen juga memanfaatkan zeolit sebagai *water softener* dan untuk menangkap ion-ion fosfat sehingga detergen menjadi lebih aman lingkungan. Konsumsi zeolit dunia untuk detergen pada tahun 1992 mencapai 1,44 juta ton/tahun (Fawer, *et.al.*, 1998).

Zeolit juga telah dimanfaatkan untuk mengolah limbah cair industri. Sebagai contoh, Cesium dapat dengan sendirinya terikat pada zeolit sehingga dapat dihilangkan dari cairan limbah. Ion amonium dapat terikat dengan zeolit sehingga mudah dihilangkan dari cairan limbah sebelum dibuang ke sungai. Kemampuan ini juga telah dimanfaatkan untuk pengolahan limbah-limbah radioaktif (<http://www.mineral-n-more.com>).

## KATALIS

Zeolit memiliki kemampuan sebagai katalis untuk berbagai reaksi kimia. Kemampuan katalitik ini merupakan katalis selektif bentuk (*shape-selective catalyst*) yaitu dengan selektivitas bentuk transisi atau dengan kompetisi eksklusi reaktan berdasarkan diameter molekuler. Zeolit juga dapat menjadi katalis asam dan dapat digunakan sebagai pendukung untuk logam aktif atau reagen. Salah satu kelas reaksi penting adalah reaksi yang dikatalisasi oleh hidrogen-dapat tukar (*hydrogen-exchanged*) zeolit, dimana ikatan kerangka struktur proton memberikan peningkatan keasaman yang tinggi. Kemampuan ini telah dieksploitasi dalam berbagai reaksi organik, yang meliputi pemecahan minyak mentah, isomerisasi dan sintesis bahan bakar minyak (*fuel*). Zeolit juga telah digunakan sebagai katalis reaksi oksidasi dan reduksi, seringkali setelah atom logam diintroduksi ke dalam kerangka struktur zeolit. Sebagai contoh penggunaan titanium ZSM-5 di dalam produksi caprolactam, dan zeolit tembaga di dalam dekomposisi NOx (<http://www>).

Sifat katalitik zeolit dimanfaatkan untuk mempercepat dekomposisi pestisida di dalam air. Penelitian di University of Maine (<http://www.sciencedaily.com>) menemukan

bahwa penggunaan zeolit dapat mempercepat proses dekomposisi residu pestisida seperti *malathion*, *carbofuran*, dan *carbaryl* 35, 120, dan 164 kali lebih cepat daripada tanpa digunakan zeolit sebagai katalis. Residu pestisida dapat diadsorpsi oleh zeolit kemudian dengan bantuan cahaya matahari terjadi reaksi pemecahan. Kunci dari penemuan ini adalah menemukan zeolit yang memiliki ukuran pori yang tepat dan memiliki sifat katalis yang sesuai.

Salah satu proses komersial yang memanfaatkan katalis selektif bentuk (*shape-selective catalyst*) zeolit adalah pada proses pemurnian minyak bumi dan proses petrokimia. Zeolit telah dimanfaatkan untuk isomerisasi parafin, pengurangan wax dari minyak pelumas, dan konversi minyak kualitas rendah menjadi bensin. Teknologi proses katalitik berbasis zeolit memberikan lebih banyak keuntungan dibandingkan menggunakan proses konvensional. Teknologi ini juga telah digunakan untuk proses isomerisasi xylene, sintesis ethylbenzene, disproporsionasi toluen, dan isomerisasi C5/C6.

Selain yang telah disebutkan di atas teknologi pemanfaatan zeolit telah dimanfaatkan untuk berbagai bahan yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Zeolit dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (*filler*) kertas, pasta gigi, dan berbagai bahan komestik. Selain itu zeolit juga dimanfaatkan untuk *feed additive* makanan berbagai macam ternak dan terbukti dapat meningkatkan produktivitas ternak (<http://www.zeolinc.com>).

## PENUTUP

Zeolit adalah mineral yang memiliki karakteristik yang unik. Zeolit merupakan mineral yang sangat porous dengan diameter pori-pori antara 2,0 hingga 4,3 Å. Zeolit memiliki kemampuan sebagai adsorpsi, penukar kation, dan katalis. Ketiga kemampuan zeolit tersebut telah dimanfaatkan untuk berbagai macam aplikasi komersial. Nilai ekonomi zeolit diperkirakan mencapai \$2,52 milyar pada tahun 2005 dan \$2,94 milyar pada tahun 2010.

Aplikasi komersial zeolit berdasarkan pada tiga kemampuan utamanya, yaitu: sebagai adsorpsi, penukar kation, dan katalis. Aplikasi komersial zeolit meliputi bidang yang sangat luas, antara lain : pertanian, peternakan, perikanan, pengelolaan lingkungan, industri detergen, pasta gigi, komestik, dan berbagai macam industri lainnya. Pemanfaatan zeolit alam memiliki beberapa keterbatasan antara lain karena ketersediannya yang terbatas, komposisi mineral penyusun yang sangat bervariasi, ukuran kristal yang bervariasi, porositas, dan diameter pori yang tidak seragam. Berbagai kelemahan ini mendorong untuk dikembangkannya teknologi pembuatan zeolit sintetik dengan sifat dan karakteristik yang diinginkan.

Peningkatan nilai ekonomi zeolit dapat dilakukan dengan mengeksploitasi dan memodifikasi tiga kemampuan utama zeolit : adsorpsi, penukar kation, dan katalis. Eksploitasi dan modifikasi sifat adsorpsi dilakukan dengan memodifikasi ukuran pori-pori mikro dan mengeluarkan materi pengisi pori-pori. Kapasitas tukar kation dieksploitasi untuk berbagai macam aplikasi, terutama berkaitan dengan pengikatan logam-logam berat yang seringkali menjadi polutan di lingkungan air maupun tanah. Eksploitasi dan modifikasi sifat katalis zeolit dilakukan dengan merubah struktur mineral, ukuran pori-pori, dan menggantikan logam Si atau Al dengan logam-logam lain.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Panitia Pelaksanan untuk berpartisipasi dalam seminar ini. Terima kasih juga disampaikan kepada Sdr. Ir. Isroi, MSi, staf LRPI yang telah membantu penyiapan makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 2000. Zeolite technique speeds pesticides decomposition in water. <http://www.sciencedaily.com/releases/2000/11/001129075417.htm>
2. Anonim. 2000. Zeolite technique speeds pesticide decomposition in water. [http://www.iza-online.org/Ann\\_28-Nov-00.html](http://www.iza-online.org/Ann_28-Nov-00.html)

3. Anonim. 2001. Zeolite: Industry trends and worldwide Markets in 2010. Report. <http://www.hewin>
4. Anonim. 2002. Zeolite research resumes aboard international space station. <http://www.sciencedaily.com/release/2002/07/020708087938.html>
5. Anonim. 2002. Zeolite research resumes, soybean plants thrive aboard space station. <http://spaceresearch.nasa.gov/>
6. Anonim. 2003. Controlled-release fertilizers using zeolites. U.S. Geological Survey Technology Transfer Information Partnerships. <http://www.usgs.gov/tech-transfer/factsheets/94-066b.html>
7. Anonim. 2003. Drying of food and food ingredients with zeolite. <http://www.mep.tno.nl/Informatiebladeng/240e.pdf>
8. Anonim. 2003. Fact sheet. NASA research into plant nutrition helps earth vegetation. <http://spaceresearch.nasa.gov>
9. Anonim. 2003. Information about the zeolite mineral group. [http://www.minerals-n-more.com/info\\_zeolite\\_group.html](http://www.minerals-n-more.com/info_zeolite_group.html)
10. Anonim. 2003. Newsbrief-Patent applied for new zeolite-based lightweight concretes. Institute for Research in Construction. [http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/newsletter/v1no1/patent\\_e.html](http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/newsletter/v1no1/patent_e.html)
11. Anonim. 2003. The Beck Group: Current Research. <http://www.umich.edu/~becklab/research.html>
12. Anonim. 2003. Zar-Min Feed Additive Research. <http://www.zeonic.com>
13. Anonim. 2003. Zeolite-FAQ's. <http://www.zeolyst.com/html/faq.html>
14. Baoqi, Han., Yuan Hongyen, Yang Dequan, Liu Guoxi. 2003. Utilization of natural zeolites for solar energy storage. <http://www.fao.org/docrep/T4470E/t4470e0j.htm>
15. Falconer, J.L. and Richard D. Noble. 2003. Zeolite membrane Research. <http://www.colorado.edu/che/TalcGrp/research/zeolite.html>
16. Fawer, M., Dennis Postlethwaite, Hans-Jürgen Klüppel. 1998. Life cycle inventory for the production of zeolite A for detergents. LCA Case Studies.
17. Maier-Laxhuber, Peter., Ralf Schmidt, and Christoph Grupp. 2003. Air ventilated heating and cooling based on zeolite technology. Zeo-Tech GmbH.
18. Rempel, Siefried. 1996. Zeolite molecular traps and their use in preventative conservation. WAAC Newsletter, V. 18. No: 1
19. Shimizu, S. and Hideaki Hamada. 2003. The invention of the world largest synthetic zeolite single crystal. <http://www.nimc.go.jp/recent/r99-09-01e.htm>
20. Whitelaw, M. 2003. Zeolite: A cyber interview. <http://www.markw.com/zeointvw.htm>
21. Whitelaw, M. 2003. Zeolites in the landscape. <http://www.markw.com/zeolite.htm>