Penggunaan Zeolit Dalam Bidang Industri dan Lingkungan

Thamzil Las dan Husen Zamroni
Pusat Pengembangan Pengelolaan Limbah Radioaktif-BATAN

Kawasan PUSPIPTEK, Serpong 15314

ABSTRAK

Zeolit adalah mineral alumino-silikat dengan struktur sangkar tiga dimensi, terdapat di Indonesia dalam jumlah besar dengan bentuk hampir murni dan harga murah. Akhir-akhir ini banyak peneliti memfokuskan perhatiannya terahadap pengembangan zeolit agar dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi. Struktur kristal zeolit yang unik menyebabkan zeolit mempunyai sifat sorpsi, penukar ion, "*molecular sieving*" dan katalis, yang dapat ditingkatkan dengan melakukan modifikasi kimia zeolit alam sehingga memungkinkan zeolit dapat digunakan dalam berbagai proses industri, pada pengolelolaan limbah industri dan bidang lingkungan. Dalam makalah ini akan dibicarakan prospek zeolit klinoptilolit dan mordernit yang telah banyak diteliti untuk digunakan dalam bidang industri dan lingkungan.

Kata kunci : Industri, Lingkungan, Zeolit

ABSTRACT

APPLICATION OF ZEOLITE IN INDUSTRIES AND ENVIRONMENTS. *Zeolites are crystalline, hydrates of alumino-silicate mineral with a three-dimensional framework structure which are occured in Indonesia as large deposits in the form of near-pure minerals and of low cost. In recent years, many scientist have focused their research to develop these minerals to be used in science and technology applications. Because of their unique crystal structure, zeolites have the importance properties of sorption, ion-exchange, molecular sieving and catalysis, which enable to them to be used in various industrial processes, waste management and environmental pollution problems. This paper describes the prospect of clinoptilolite and mordenite, which have been investigated in many laboratories, to be considered for their utilization in the industries and environmental management.*

Key Words : *Environment, Industry, Zeolite,*

PENDAHULUAN

Menurut sejarah, zeolit telah dikenal lebih dari 200 tahun yang lalu, masyarakat menggunakannya sebagai batu perhiasan (jewelry) serta dikoleksi diberbagai musium di Eropa. Fredrick Cronstedt pada tahun 1756, ahli mineralogi bangsa Swedia menemukan mineral stilbit, yang apabila dipanaskan akan seperi batuan mendidih. Pada tahun 1857, Damour menemukan zeolit dapat mengalami dehidrasi yang reversibel tanpa mengalami perubahan struktur, sedangkan tahun 1896, Friedel telah meneliti beberapa pelarut organik seperti benzen, alkohol dan khloroform dapat diserap oleh zeolit setelah didehidrasi.[1]

Perkataan zeolit berasal dari bahasa Yunani Zeo (boil) dan lythe (stone) dan didefinisikan oleh J.V. Smith tahun 1984 sebagai " *A zeolite is an aluminosilicate with a framework structure enclosing cavities occupied by large ions and water molecules, both of which have considerable freedom of movement, permitting ion-exchange and reversible dehydration*".[2,3] Dengan demikian, zeolit adalah mineral dengan struktur kristal alumino silikat yang berbentuk rangka (*framework*) tiga dimensi, mempunyai rongga dan saluran, serta mengandung ion Na, K, Mg, Ca dan Fe serta molekul air. Semenjak tahun 1984 tersebut, zeolit telah diklasifikasi sebagai suatu jenis mineral tersendiri, yang sebelumnya sering dimasukkan jenis batuan lempung (*clay materials*) atau jenis mineral silikat. Walaupun batuan lempung merupakan mineral alumino silikat tetapi mempunyai struktur lapisan (layer) dan sifat pertukaran ionnya terutama disebabkan gugusan hidroksil dimana ion H dapat digantikan dengan ion lain.

Pertukaran ion pada zeolit disebabkan substitusi "*isomorf* " Al pada tertrahedra Si dan semua atom Al pada zeolit adalah dalam bentuk tetrahedra, bukan dalam bentuk oktahedra seperti pada batuan lempung.

Zeolit terdapat secara alami didaerah batuan sedimen di sekitar daerah gunung api atau mengendap sebagai batuan sedimen, pada bagian tanah jenis basalt didaerah sumber air panas (hot spring). Komposisi kimia zeolit alam ini banyak tergantung pada kondisi hidrotermal lingkungan lokal, seperti suhu, tekanan uap air setempat dan komposisi air tanah lokasi kejadiannya. Hal ini menyebabkan zeolit alam dari suatu lokasi, meskipun mempunyai warna dan tekstur yang sama tetapi mungkin berbeda berbeda dalam komposisi kimia dari yang diperoleh dari tempat lain karena adanya campuran mineral lainnya berupa partikel halus sebagai impuritis. Zeolit di Indonesia ditemukan pada tahun 1980 oleh PPTM bandung yang terdapat pada 46 lokasi dengan jumlah endapan ribuan ton.[4]

Pada saat ini teknologi pengolahan bahan galian zeolit masih sederhana sehingga sebagian besar zeolit diproduksi untuk bidang pertanian yaitu untuk campuran pupuk tanaman.[5] Di luar negeri dengan mempelajari struktur kristal sangkar serta empat sifat utama zeolit yaitu sebagai sorben, ion-exchange, molecular sieving dan katalis maka pemanfaatan zeolit telah berkembang sedemikian rupa mulai dari penyediaan bahan baku industri sampai pada sistim pembuangan limbah industri.

Dalam era globalisasi ini, untuk meningkatkan produktifitas industri perlu dilakukan penemuan-penemuan material untuk memenuhi kebutuhan industri dan mengurangi ketergantungan pada material impor. Zeolit yang terdapat secara alami kiranya dapat dimodifikasi untuk ditingkatkan kualitasnya menjadi mineral industri, sehingga ketergantungan industri nasional pada material impor dapat dikurangi. Makalah ini akan membahas potensi zeolit alam Indonesia baik jenis klinoptilolit ataupun mordernit untuk dimanfaatkan dalam bidang industri, dan lingkungan.

MINERAL ZEOLIT

1. Komposisi kimia dan klasifikasi

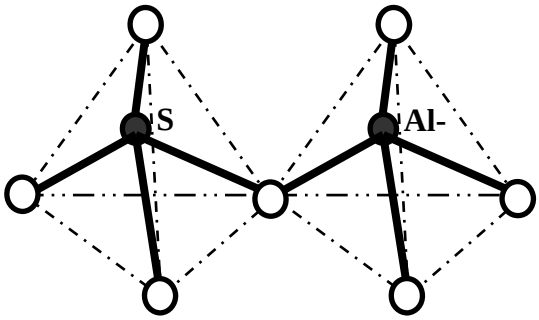
Secara umum zeolit biasanya ditulis dengan rumus kimia oksida atau berdasarkan satuan sel kristal sebagai berikut :

$$M_{2/n}O\ Al_2O_3\ aSiO_2\ b\ H_2O$$

atau $M_{c/n}\{(AlO_2)_c\ (SiO_2)_d\}\ b\ H_2O$

dimana n adalah valensi logam, a dan b adalah molekul silikat dan air, c dan d adalah jumlah tetrahedra alumina dan silika (Gambar 1). Rasio d/c atau SiO_2/Al_2O bervariasi dari 1-5. Pada saat ini dikenal sekitar 40 jenis zeolit alam dan lebih dari 120 zeolit sintetik yang sudah diketahui strukturnya.

Breck mengklasifikasi zeolit berdasarkan ikatan lingkar tunggal 4, 6, 8 dan ikatan lingkar ganda 4, 6 dan 8 dan kompleks tetrahedra yang disebut dengan unit bangun sekunder (UBS) yang adalah merupakan konfigurasi beberapa tetrahedra Si dan Al atau (TO_4) sebagai unit bangun primer sebagaimana terlihat pada Tabel 1dan 2.[6,7]



Gambar 1. Bentuk tetrahedra silika atau alumina

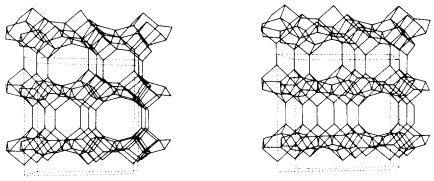
Tabel 1. Unit bangun primer dan sekunder struktur zeolit

Unit bangun struktur	Keterangan
Unit bangun primer (TO4)	Tetrahedra dari 4 atom oksigen dengan pusat atom Si atau Al
Unit bangun sekunder (SBU)	Lingkar tunggal: S4R, S6R, S8R, Lingkar ganda: D4R, D6R dan D8R, Kompleks: T_5O_{10} (4-1), T_8O_{16} (5-1) dan $T_{10}O_{20}$ (4-4-1)

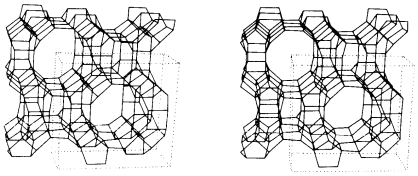
Pada tahun 1923, Schaller menemukan mineral di "Hoodoo Mountain Wyoming,

Amerika Serikat, dan menamakannya dengan klinoptilolit. Klinoptilolit mempunyai struktur complex 4-4-1 ($T_{10}O_{20}$), dengan dua ukuran saluran 0,35 x 0,79 nm dan 0,44x0,30 nm (Gambar 2). Mordernit dikenal dari tahun 1858, ketika How menemukan mineral di Morden, Kings County, Nova Scotia. Mordernit mempunyai struktur kompleks 5-1 (T_8O_{16}) dengan ukuran saluran 0,67 x 0,70 nm dan 0,29 x 0,57 nm (Gambar 3). Rasio Si/Al klinoptilolit adalah 4,0-5,1 dan mempunyai kandungan ion K>Na>Ca>Mg. Modernit mempunyai rasio Si/Al antara 4,3-5,3 dan mengandung ion Na>K>Ca>Mg.

Keduanya diklasifikasi sebagai zeolit dengan kandungan silika tinggi, sedangkan mordernit juga dikenal dengan jenis "*large port*" atau "*small pore*" disebabkan perbedaan posisi atom alkali (K dan Na) dalam struktur kristal, sedangkan semua mordernit alam adalah "small pore".



Gambar 2. Struktur stereotip klinoptilolit



Gambar 3. Struktur stereotip mordernit

Klinoptilolit dan mordernit terdapat pada beberapa jenis batuan yang tesebar di daerah dengan kebasaan yang tinggi (saline, alkaline soil), permukaan tanah, endapan lautan dalam (deep-see sediment), sistim hidrologi terbuka (open hydrologic system), daerah alterasi panas bumi (hydrothermal alteration zones) dan di daerah dengan batuan metamorfosa.[7,8] Klinoptilolit pernah disintesa oleh Ames dengan mereaksikan gel silika dengan $Al(OH)_3$ dan LiOH tetapi hasilnya tidak memuaskan, sedangkan Hawkins mencoba membuat klinoptilolit dengan cara kalsinasi kaolin pada suhu 400^oC juga tidak berhasil, tetapi akhirnya Hawkins menyatakan dapat mensintesa klinoptilolit dengan mereaksikan abu gunung api (volcanic ash) dengan campuran larutan $K_2(CO_3)$ dan $Na_2(CO_3)$ pada tekanan dan suhu tertentu. Mordernit mula-mula disintesa oleh Barrer pada tahun 1948 kemudian oleh Ames dan Sand pada tahun 1958.[1,8]

Zeolit alam yang telah ditambang secara intensif di Indonesia diantaranya terdapat :

1. Lampung, antara lain : Campang Tiga, Sidomulyo, Talangpadang dan Cikuhbalak
2. Jawa Barat, antara lain : Bayah (Banten), Cikalong, Tasikmalaya
3. Jawa tengah, Wangon, Cilacap
4. Jawa Timur, antara lain : Arjosari (Pacitan), Trenggalek, Blitar, Kepanjen (Malang).[4,5]

Dari penambangan zeolit tersebut, sebagian besar dikenal sebagai jenis zeolit klinoptilolit dan mordernit.

2. Identifikasi dan karakterisasi

Zeolit tidak dapat diidentifikasi dengan analisa komposisi kimianya saja dan harus dianalisa dengan peralatan XRD. Biasanya hasil data XRD dibandingkan dengan data XRD yang diperoleh dari literatur, yang semestinya diperlukan standar primer zeolit yang diidentifikasi. Standar primer zeolit sulit diperoleh, untuk itu metoda Rielvald yang menggunakan metoda komputasi untuk penghalusan (refined) data XRD sangat bermanfaat dalam mengidenrtifikasi zeolit alam yang terdiri dari berbagai mineral atau fasa zeolit dan hasil analisis akan diperoleh lebih teliti. Pengamatan lokasi Si atau Al dalam struktur zeolit dapat diamati dan metoda ini terutama digunakan untuk campuran beberapa jenis atau fasa zeolit alam yang merupakan campuran mineral.[9]

Spektrometer Infra merah (FTIR) dan Electron Microscope (SEM) juga sering dipakai untuk mempelajari ikatan kimia zeolit dan morfologi kristal itu sendiri. Sedangkan XRF dan AAS diperlukan untuk analisis komposisi kimia zeolit. Mengingat zeolit selalu mengandung molekul air, analisis termal gravimetri TG/DSC) sangat membantu dalam melihat jumlah molekul air yang terdapat dalam zeolit. Teknik analisa lain yang, seperti Nuclear Magnetic Resonance (NMR) atau Difraksi Neutron juga banyak dipakai dalam meneliti gugus H, OH yang terikat Si-O-Al atau Si-O-Si dan sebagainya dalam kristal rangka zeolit.[8,10,11]

Tabel 2. Klasifikasi mineral zeolit

Zeolit	Rumus kimia	UBS
Grup Analsim		
Analsim	$Na_{16}[Al_{16}Si_{31}O_{96}]$ 6 H_2O	S4R
Wairakit	$Ca_8[Al_{16}Si_{31}O_{96}]$ 6H_2O	S4R
Grup Natrolit		
Natrolit	$Na_{16}[Al_{16}Si_{24}O_{80}]$ 6 H_2O	T_5O_{10} (4-1)
Thomsonit	$Na_{16}Ca_8[Al_{20}Si_{20}O_{80}]$ 24 H_2O	T_5O_{10}
Grup Heulandit		
Heulandit	$Ca_4[Al_8Si_{28}O_{72}]$ 24H_2O	$T_{10}O_{20}$ (4-4-1)
Klinoptilolit	$Na_6[Al_6Si_{30}O_{72}]$ 24 H_2O	$T_{10}O_{20}$
Grup Filipsit		
Filipsit	$K_2Ca_{1.5}[Al_6Si_{10}O_{32}]$ 12H_2O	S4R
Zeolit Na-P-1	$Na_8[Al_{31}SiO_{16}]$ 16H_2O	S4R
Grup Mordernit		
Mordernit	$Na_8[Al_8Si_{40}O_{96}]$ 24 H_2O	T_8O_{16} (5-1)
Ferrierit	$NaCa_{0.5}Mg_2[Al_6Si_{30}O_{72}]$ 24 H_2O	T_8O_{16}
Grup Kabazit		
Kabazit	$Ca_2[Al_4Si_8O_{24}]$ 13H_2O	D4R,D6R
Zeolit L	$K_6Na_3[Al_9Si_{27}O_{72}]$ 21H_2O	S6R
Grup Faujasit		
Faujasit	$Na_{12}Ca_{12}Mg_{11}[Al_{58}Si_{134}O_{384}]$ 235H_2O	D4R,D6R
Zeolit A	$Na_{12}[Al_{12}Si_{12}O_{48}]$ 27 H_2O	D4R, D6R
Grup Laumontit		
Laumontit	$Ca_4[Al_8Si_{16}O_{46}]$ 16H_2O	S4R,S6R,S8R
Grup Pentasil		
ZSM-5	$Na_n[Al_nSi_{96}O_{192}]$ 16 H_2O	5-1
Grup Zeotype		
ALPO4-5	$[Al_{12}P_{12}O_{48}]$ (C_3H_7)4 NOH q H_2O	S4R, S6R

3. Beberapa sifat zeolit

Zeolit tidak mengalami perubahan struktur yang berarti bila dipanaskan pada suhu tinggi serta tahan terhadap oksidasi dan reduksi. Pada pemanasan 600 ^oC, sebagian zeolit tidak memberikan perubahan posisi ion dalam kristal,dan tidak menyebabkan perubahan struktur. Berberapa jenis zeolit tahan terhadap perlakuan kimia pada pH < 3 dan pH > 12. Ketahanan radiasi zeolit juga sangat baik, misalnya klinoptilolit dengan tingkat radiasi 10^6 –10^{10} rad tidak mengalami perubahan struktur, sedangkan resin organik radiasi dengan dosis 10^6 rad saja telah menyebabkan menurunnya fungsi pertukaran ion resin.[8,10,11]

Zeolit dengan struktur rangka tiga dimensi akan mempunyai luas permukaan yang besar sehingga memungkinkan zeolit dapat menyerap (sorpsi) molekul gas pada posisi molekul air dalam kristal zeolit. Kemampuan sorpsi ini tidak hanya ditentukan ukuran partikel, tetapi juga oleh muatan dan lokasi kation yang berada dalam rongga zeolit. Zeolit perlu diaktivasi untuk menguapkan molekul air sebelum dipakai sebagai sorben.

Tabel 3. Perbedaan zeolit dengan resin

Sifat	Zeolit	Resin
Bahan	Anorganik	Organik
Struktur	Kristal	Amorf
Porositas	Spesifik, < 1nm	Beragam, 10 nm
Ukuran partikel	0,1 –50 um	Bervariasi, mm
Ion-exchange	Spesifik	Tak jelas
Kestabilan panas	Tinggi	Rendah
Kestabilan kimia	Sedang	Sedang
Kestabilan radiasi	Tinggi	Rendah
Harga	Tinggi	Rendah

Zeolit, dengan dengan struktur atom Al dalam bentuk tertahedra yang berkoordinasi

dengan empat atom oksigen menyebabkan atom Al akan bermuatan negatif yang selalu dinetralkan oleh ion alkali atau alkali tanah untuk mencapai ikatan yang stabil. Parameter utama dalam menentukan kualitas zeolit bila digunakan sebagai penukar kation adalah kemampuan tukar kation (KTK) yaitu jumlah meq ion logam yang dapat diserap maksimum oleh 1 g zeolit dalam kondisi kesetimbangan. Untuk zeolit KTK bervariasi dari 1.5 sampai 6 meq/g dan untuk klinoptilolit mempunyao KTK antara 2,26-3,10 meq/g, mordernit antara 2,29-2,79 meq/g.[1,7,8] Nilai KTK ini banyak tergantung pada jumlah atom Al dalam struktur rangka zeolite.

Zeolit yang mempunyai saluran "uniform" akan dapat melewatkan ion/molekul reaktan kedalam saluran zeolit (molecular sieving), dan pada laruran tersebut terdapat gugusan katalitik yang dapat mempengaruhi reaksi reaktan yang melewatinya. Sifat inilah menyebabkan zeolit sangat menarik dibandingkan katalis lannya, disamping itu zeolit mempunyai kation yang mudah dipertukarkan dengan kation yang diinginkan (Pt, Cu dsb) dan jika kation diubah menjadi bentuk H^+, zeolit akan mempunyai keasaaman yang tinggi, Saluran zeolit mempunyai dimensi pori 1 nm dengan ukuran yang berbeda dalam satu jenis zeolit.
Tabel 4 memperlihatkan klasifikasi zeolit berdasarkan perbedaan diameter "*oksigen window*" dalam rangka zeolit dan kemampuan zeolit terhadap penyaringan molekul organik.[6,12]

Tabel 4. Klasifikasi "*ion/ molecular sieve material*"

Diameter (nm)	Jenis	Penyaring	Tak disaring
0.489 - 0.558	Ca-khabazit	CH_4,CH_2Cl, CHF_3, C_2H_6, C_2H_5Cl, C_2H_5OH, C_3H_8, n-C4H10, n-paraffins	iso-parafin
0.400 - 0.489	Na-mordenit	Kr, CH_4, CH3OH, CH_3Cl, CO_2, CS_2 C_2H_6	n-parafin, aromatik
0.384 - 0.400	Ca-mordenit	He, Ne, Ar, N_2 , CO,H_2O_2, NH_3, H_2O	Hidrokarbon, CH_4

4. Modifikasi zeolit alam

Penggunaan zeolit dalam bidang industri, akan memerlukan modifikasi struktur untuk endapatkan zeolit dengan kualitas yang baik. Impuritis mineral (kalsit, felspar) yang terdapat dalam zeolit alam harus dipisahkan terutama dengan perlakuan kimia. Beberapa tahapan perlakuan kimia dapat dilakukan antara lain:

a) pencucian dengan air bebas mineral secara reflux untuk melarutkan impuritis garam anorganik dan kalsit
b) perlakukan dengan HCl, NaCl, KCl dan sebagainya untuk membentuk unikation zeolit, misalnya H-zeolit, Na-zeolit atau K-zeolit.

Dengan penambahan asam HCl (1-10 N) pada zeolit, biasanya terjadi dealuminasi dan bahkan dapat membentuk gel SiO_2 pada keasaman yang lebih tinggi. Oleh sebab itu sebaiknya zeolit dipreparasi dengan perlakuan kimia NH_4Cl kemudian dikalsinasi pada suhu 450-500°C. Perlakuan kimia zeolit dengan NaOH tidaklah lazim, karena alkali akan melarutkan sebagian atom silika dari struktur zeolit, kecuali bila konsentrasi alkali tak lebih dari 0,5 M.

Zeolit dapat pula dimodifikasi dengan penambahan ADHP (ammonium dihidrogen fosfat) membentuk alumino-siliko fosfat (ASP). Atom Si dalam struktur kristal zeolit dapat mengalami "*isomorphous replacement*" dengan atom P dalam bentuk tertrahedra sehingga atom P akan bermuatan positif. ASP dapat berfungsi sebagai penukar kation (oleh Al) disamping sebagai penukar anion (oleh P). ASP disamping menyerap ion logam berat antara lain Cs-137 dan Sr-90, NH^{4-}, Cd^{2-}, Cu^{2-}, Mn^{2-}, Ni^{2-}, Pb^{2-}, Mn^{2-} dan Fe^{2-}, juga mempunyai kemampuan menyerap anion sperti Cl^-, F^-, PO_4^{3-} dan SO_4^{2-}.[11] Zeolit dimodifikasi dengan penambahan 4-vinil piridin (4VP), divinil benzen (DVB) dan azo-bis – isobutironitril (AIBN).telah dapat meningkatkan penyerapan $Cr_2O_7^{2-}$, MnO^{4-} dan $Fe(CN)^{4-}$. Zeolit yang dalam bentuk powder dapat dibuat dalam bentuk pelet atau granula dengan penambahan polimer PAN (poli-akrilo-nitril) atau PVA (poli-vinil–alkohol).[13,14]

PENGGUNAAN KLINOPTILOLIT DAN MORDERNIT

1. Bahan pengering (*Drying agent*)

Setiap zeolit mengandung air, bila klinoptilolit dan mordernit dipanaskan 250-300°C akan mempunyai kemampuan dalam menyerap uap air. Sebagai bahan pengering klinoptilolit dan mordernit dapat digunakan untuk pemurnian produk industri petrokimia seperti pada pemurnian fraksi alkohol, metanol, benzen, xylene, pemurnian gas alam LPG/LNG, pemurnian metil khlorida dalam industri karet, dan menurunkan humiditas ruangan. Molekul uap air dapat diserap sebanyak 8-10 g dengan 100 g klinoptilolit yang sudah diaktifkan pada suhu 300-350°C selama 2-3 jam, dibandingkan 3 g oleh Al_2O_3 dan 1,2 g oleh silika gel dengan berat yang sama pada kondisi 1,33 atm dan 25°C. [8,12]

2. Penyerap gas

Struktur zeolit dengan sangkar 3 dimensi menyebabkan zeolit mempunyai sifat sorpsi terhadap gas. Klinoptilolit mempunyai dua saluran ukuran 0,4 x 0,55 nm (8-ring) dan 0,44 x 0,72 nm (10 ring) dengan demikian klinoptilolit ideal menyerap O_2, CO_2, SO_2. He, NH_3, H_2, N_2, O_2, CO_2, Ar, etilen, metanol, etanol, benzen, isopren, untuk penyerap klorin, bromin dan fluorin. Zeolit mordenite dapat menyerap gas NH_3, Cl_2 HCl, CS_2, CH_4, CH_3CN, CH_3OH, SO_2, SO_3 dan No_x. Zeolit digunakan dalam proses penyerapan gas mulia antara lain Ar, Kr dan gas He, gas rumah kaca (NH_3, CO_2, SO_2, SO_3 dan NO_x), gas organik CS_2, CH_4, CH_3CN, CH_3OH, termasuk pirogas dan fraksi etana/ etilen, pada pemurnian udara bersih mengandung O_2, penyerapan gas N_2 dari udara sehingga meningkatkan kemurnian O_2 di udara, campuran filter pada rokok, penyerapan gas dan penghilangan warna dari cairan gula pada pabrik gula klinoptilolit dan mordernit juga digunakan sebagai katalis untuk menggantikan penggunaan Al_2O_3 pada katalisasi reaksi NO menjadi NO_2. Makki, menunjukkan kemampuan klinoptilolit sebagai katalis untuk hidrokarbon aromatik melalui proses dehydrogenation dan dealkilasion, untuk cracking parafin, disportion toluen/benzen dan xylen.[1,8,12]

3. Pengolahan limbah industri

Limbah industri adalah salah satu diantara tiga pencemar air sungai yang memberikan kontribusi cukup besar disamping limbah domestik rumah tangga dan pertanian. Dari pengalaman penulis dan beberapa lieratur, klinoptilolit dan mordernit dapat menyerap logam berat dengan selektivitas sebagai berikut :[13,14,15]

Cs>Rb>K>NH4>Pb>Ag>Ba>na>Sr>Ca>Li>Cd>Cu>Zn
Cs>Ag>Rb>K>NH4>Pb>Na>Ba>Sr>Li>Ca>Cd>Cu>Zn

Penggunaan zeolit dalam pengolahan limbah industri sangat ideal karena mencakup proses pengolahan limbah cair, proses immobilisasi limbah dan sebagai bahan pengisi (backfill material) pada sistim penyimpanan limbah. Dalam industri nuklir, klinoptilolit telah digunakan pada tahun 1979 untuk dekontaminasi air pendingin reaktor Three Mile Island Unit II. Tahun 1987, pada kecelakaan reaktor Chernobyl, pada pemisahan radionuklida hasil fisi dalam air kolam penyimpanan bahan bakar nuklir di SIXEP (Site Ion-Exchange Plant) British Nuclear Fuel Limited, Sellafield, Inggris.[15,16]

Balek menggunakan klinoptilolit untuk penyerapan Cs dan Sr, Co dan Ru dan gas RuO_4 pada suhu 50°C dan suhu kamar. Kekhawatiran terhadap pencemaran lingkungan oleh natrium polifosfat yang digunakan sebagai "*builder*" pada produk deterjen, klinoptilolit telah digunakan sebagai pengganti polifosfat. Penelitian menunjukkan klinoptilolit dalam deterjen tidak akan menyebabkan akumulasi pada sistim air buangan dan tidak bersifat toksik terhadap hehidupan di air.[17]

Di Jepang klinoptilolit digunakan untuk "filler" kertas, karet dan polimer yang memperoleh material dengan densitas rendah Tchernev menggunakan zeolit yang klinoptilolit dalam "*solar heating/cooling*" pada panel energi cahaya matahari berdasarkan adsorpsi/desorpsi molekul air diwaktu siang dan malam hari. [1,5,8,9] Sekitar 1 ton klinoptilolit yang ditempatkan di atap dengan dimernsi 19,6 m^2 (*roof area*) dapat mendinginkan 1 ton udara.[12,18]

4. Slow release ammonium dan pestisida/herbisida

Penggunaan pupuk yang berlebihan akan menyebabkan pencemaran air, udara dan

tanah pertanian. Sekitar 50% urea akan terdegradasi menjadi ammoniak/ammonium, nitrat atau nitrit sebelum diserap oleh akar tanaman. Hal yang sama terjadi pada penggunaan pestisida dan herbisida. Klinoptilolit dan mordernit dapat digunakan dalam bidang pertanian sebagai "*soil conditioning*" atau "*slow release*" ammonium dan pestisida/herbisida. Pada pertengahan tahun 1999, klinoptilolit telah direkomendasikan oleh Departemen Pertanian sebagai campuran pupuk urea. [5,18,19,20]

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari kegiatan penelitian dan pengembangan yang telah dilakukan diberbagai litbang baik di dalam dan di luar negeri, sudah sewajarnya zeolit yang mempunyai struktur kristal unik dikatakan sebagai mineral serbaguna. Untuk itu beberapa kesimpulan dan saran dapat disampaikan sebagai berikut:

1. Mengingat sebagaian besar zeolit Indonesia masih berkualitas rendah sebagai mineral galian, maka perlu penelitian yang terpadu untuk meningkatkan kualitas zeolit menjadi mineral industri.
2. Penggunaan zeolit dalam bidang industri dan lingkungan memerlukan pemahaman struktur zeolit, mekanisme difusi ion, termodinamika dan kinetika reaksi pertukakaran ion.
3. Peranan peralatan analisis sangat diperlukan untuk mengembangkan material sorben dan katalis, serta standarisasi pengukuran yang baku untuk dapat memperbandingkan mineral satu sama lain.
4. Mengingat zeolit Indonesia sangat berpeluang untuk ditingkatkan menjadi mineral industri, maka disarankan perlunya kemitraan dengan pengusaha zeolit dalam negeri untuk mengembangkan produk baru untuk berbagai keperluan.
5. Pengetahuan zeolit telah dapat mempertemukan berbagai bidang ilmu pengetahuan, mineralogi, geologi, kristalografi, kimia, pertanian dan lingkungan. Seyogianya suatu organiasi profesi keahlian zeolit dapat dibina sebagai fungsi kontrol kualitas serta standarisasi zeolit dimasa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

1. **Mumpton, F.A And Sand, L.B**., in *Natural Zeolite, occurence, properties and uses* , Sand, L.B and Mumpton, F.A. (Eds), Pergamon Press, London, (1979).
2. **Smitt, J.V.,** *Zeolite*, 4, (October 1984), 309.
3. **Mumpton,.A.,** *Natural zeolite* , Review in Mineralogy, Miineralogycal Society of America,Washington,DC, Vol 4 (1986) 1-15.
4. **Hardjatmo., Husaini**, *Study the Properties of some Indonesian Natural Zeolites* , on One Day Seminar on Mineral Property and Utilization of Natural Zeolite, JSPS-BPPT, Jakarta, (1996).
5. **Sutakarya H, Las. T, Sutoto**, *Prospek Zeolit Bayah* , Proceeding Seminar Zeo-Agro, IPB Bogor (1992) 223-237.
6. **Breck, D.W**., *Zeolite Molecular Sieves*, John Willey Interscience, New York, (1974).
7. **Dyer, A,** *Introduction to Zeolite Molecular Sieves* , John Willey and Sons, Chichester, (1988).
8. **Tsitsishvili, G.V.,** et. al., *Natural Zeolites* , Ellis Harwood, New York, (1992)
9. **Supandi, et. al**., *Refinement Structur Kristal Klinoptilolit dan Mordernit Alam* , Jurnal Ilmu dan Rekayasa Material, Vol 1, No 1, 25-32, Jakarta, (1999)
10. **Las. T,** *Use of Natural Zeolite for Nuclear Waste Treatment* , PhD Thesis, Dept. Applied Chemistry, University of Salford, England (1989)
11. **Townsend. R, P.,** *Ion Exchange In Zeolites Basic Principles* , Chemistry And Industry, Vol 2, (April 1984) 246.
12. **Dyer., A**., *Chemistry And Industry* , Vol 2, (1984) 241.
13. **Las, T, Yatim, S, Budiman, P**, *Potensi Zeolit Untuk Pengolahan Limbah Industri* Unand Limau Manis Padang (1996)
14. **Blanchard, G. et al**., *Water Res*., Vol 18, (1985) 1501.
15. **Voilleque, P.G.,** In *The Three Mile Island Accident* , Acs Series 293, Washington D.C, (1986) 45.
16. **Las T.,** *Use of zeolite for radioactive Waste treatmen and Disposal* , on One Day Seminar on Mineral Property and Utilization of Natural Zeolite JSPS-BPPT, Jakarta, 19 Februari (1996)

17. **Las, T.,** et.al, *Imobilisation Of ^{137}cs On Cement-Zeolite Composites*, IAEA Tecdoc-947, IAEA, Viena, (1997) 153-163.
18. **Karge, H.G.,** et. al., *Zeolite As Catalists, Sorbents And Detergen Builders Applications And Innovation* , Elsevier Science Publishers, Amsterdam, (1989)
19. **Sofnie M.C., et al**., *Pembuatan Formulasi Penglepasan Terkendali Herbisida 2,4-D-C-14 Dengan Matriks Zeolit Dan Penerapannya* , PAIR, Batan, Jakarta, Desember (1994)
20. **Sofnie M.C., et al.,** *Penglepasan Terkendali Insektisida Asefat Pada Tanaman Kedelai* , Seminar Nasional Biologi XV, PBI, Bandar Lampung, Juli (1997).