

# INOVASI PEMURNIAN GARAM (NATRIUM KLORIDA) MENGGUNAKAN ZEOLIT ALAM SEBAGAI PENGIKAT IMPURITAS DALAM PROSE KRISTALISASI

---

Jumaeri<sup>1</sup>, Triastuti Sulistrtyaningsih<sup>2</sup>, Wisnu Sunarto<sup>3</sup>

<sup>123</sup>Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Negeri Semarang  
Email: jumaeri.kimia@mail.unnes.ac.id

**Abstrak.** Garam merupakan salah satu komoditas strategis yang diprioritaskan untuk dikembangkan oleh Kementerian Perindustrian. Kebutuhan garam berkualitas tinggi, utamanya garam industri, masih diimpor dari luar negeri. Penelitian inovasi proses pemurnian garam menggunakan filter zeolit alam sebagai bahan pengikat impuritas dalam proses kristalisasi telah dilakukan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui efektifitas dan kondisi optimal proses pemurnian garam (natrium klorida) menggunakan zeolit alam dalam proses kristalisasi dan model proses pembuatan uapan air laut. Penelitian ini dimulai dengan pengambilan sampel garam krosok dan karakterisasinya. Sampel garam krosok selanjutnya dimurnikan dengan menggunakan zeolit alam sebagai pengikat impuritas dalam proses kristalisasi. Efektifitas proses pemurnian ditentukan berdasarkan kualitas garam hasil pemurnian yang diperoleh. Kualitas produk garam hasil pemurnian ditentukan berdasarkan standar kualitas garam baku sesuai SNI Garam 2000, yang meliputi kadar NaCl, air, logam berat, Ca, Mg dan sifat fisik garam (warna, rasa dan bentuk kristal). Kemurnian produk garam juga diuji menggunakan XRD dan hasilnya dibandingkan dengan NaCl standar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa garam krosok dengan kadar NaCl 82,37% setelah proses pemurnian kadar NaCl meningkat menjadi 92,64, 92,49 dan 91,80% masing-masing untuk kepekatan awal larutan garam 17, 15 dan 12° Be. Kadar air garam hasil kristalisasi untuk ketiga larutan garam adalah 1,25, 1,52 dan 1,68%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa zeolit alam dapat digunakan secara efektif dalam pemurnian garam dapur melalui proses kristalisasi. Aktivasi zeolit dengan larutan HCl 0,1 M dapat meningkatkan kualitas garam hasil rekristalisasi. Garam hasil kristalisasi mempunyai kadar NaCl tertinggi (98,73%) diperoleh dengan menggunakan zeolit lolos ayakan 10/20 mesh yang teraktivasi HCl 0,1 M.

**Kata Kunci :** pemurnian garam, impuritas, zeolit alam, kristalisasi

## PENDAHULUAN

Garam merupakan salah satu komoditas strategis yang diprioritaskan untuk dikembangkan oleh Kementerian Perindustrian. Walaupun Indonesia mempunyai garis pantai terpanjang kedua di dunia, namun sumber daya alam ini belum dimanfaatkan secara optimal dalam kesejahteraan

dan kemandirian bangsa. Sampai saat ini kebutuhan garam berkualitas tinggi masih diimpor dari luar negeri, utamanya garam industri. Selain dikonsumsi, natrium klorida (garam) juga banyak digunakan sebagai bahan dasar (*starting material*) untuk berbagai keperluan industri, misalnya pembuatan konistik soda (NaOH), soda kue (NaHCO<sub>3</sub>), Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, gas klor (Cl<sub>2</sub>), industri tekstil, garam farmatesis dan sebagainya (Douglas, 1984).

Dalam paten WO 2007036949 dinyatakan bahwa kira-kira 60% garam produksi dunia digunakan untuk aplikasi industri berbasis klor-alkali dan industri kaustik soda (Mukhopadhyay, dkk., 2007). Garam yang diperlukan dalam industri dipersyaratkan memenuhi kualitas garam super dengan kadar NaCl sekitar 99%. Problem yang sering kali dijumpai pada pembuatan garam dapur melalui metode kristalisasi langsung adalah masih terdapatnya pengotor (*impurities*) yang cukup banyak, sehingga kemurnian garam belum mencapai maksimal. Adanya senyawa MgCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>, dan KBr, KCl dalam air laut yang ikut mengkristal pada proses kristalisasi menyebabkan kualitas produk garam rendah (kadar NaCl 75 – 80%) dan cenderung kurang putih dari yang diharapkan.

Di sisi lain pemanfaatan sumber daya alam nonhayati, misalnya zeolit alam masih terbatas. Secara geologi Indonesia berpotensi besar menghasilkan zeolit seperti yang terdapat di Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara Timur, dan Sulawesi dengan sumberdaya 447.490.160 ton (Kusdarto, 2008). Zeolit alam merupakan senyawa alumino silikat terhidrasi, dengan unsur utama yang terdiri dari kation alkali dan alkali tanah. Senyawa ini berstruktur tiga dimensi dan mempunyai pori yang dapat diisi oleh molekul air. Mineral zeolit yang paling umum dijumpai adalah klinoptirotit, yang mempunyai rumus kimia (Na<sub>3</sub>K<sub>3</sub>) (Al<sub>6</sub>Si<sub>30</sub>O<sub>72</sub>).24H<sub>2</sub>O. Ion Na<sup>+</sup> dan K<sup>+</sup> merupakan kation yang dapat dipertukarkan, sedangkan atom Al dan Si merupakan struktur kation dan oksigen yang akan membentuk struktur tetrahedron pada zeolit. Molekul-molekul air yang terdapat dalam zeolit merupakan molekul-molekul yang mudah lepas. Zeolit alam terbentuk dari reaksi antara batuan tufa asam berbutir halus dengan air pori atau air meteorik. Penggunaan zeolit antara lain sebagai bahan baku dalam pengolahan air, pengolahan limbah cair, limbah rumah tangga, industri pertanian, peternakan, perikanan, industri kosmetik, farmasi dan lain lain.

Zeolit antara lain mempunyai sifat sebagai “molecular-sieves” yang dapat digunakan dalam proses pemurnian bahan, termasuk penghilangan impuritas yang ada dalam produk garam dapur. Peluang pemanfaatan bahan galian zeolit ini sangat terbuka karena baru sedikit yang diproduksi dari cadangan yang ada (Data Produksi dan Konsumsi Zeolit, 2002 “Badan Pusat Statistik” Kajian data Pertambangan “2003” Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral).

Berdasarkan kenyataan tersebut dipandang perlu adanya usaha untuk meningkatkan kualitas produk dalam memperoleh garam (natrium klorida) yang memenuhi standar bahan

baku garam sesuai dengan SNI (kadar NaCl  $\geq 94,7\%$  ). Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah melakukan pemurnian produk garam menggunakan zeolit alam sebagai pengikat impuritas dalam proses rekristalisasi. Metode ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas maupun kuantitas produk garam.

## **METODE**

### **Alat dan Bahan**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: Spektrofotometer inframerah (IR), Difraktometer Sinar-X (XRD) Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) merk Perkin Elmer 3110, seperangkat ayakan elektrik, neraca digital merk Ohaus Explorer, oven, Boumometer, seperangkat alat titrasi, kertas saring, kertas saring whatman 42, indikator universal, boumometer, desikator, dan seperangkat alat gelas. Adapun bahan-bahan yang digunakan meliputi: garam dapur dari berbagai produk petani garam, zeolit alam, AgNO<sub>3</sub> (p.a. Merck), NaCl (p.a. Merck), K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> (p.a. Merck), HCl pekat 37 %, HNO<sub>3</sub> pekat 65%, aquadest, NaHCO<sub>3</sub> (p.a. Merck).

### **Cara Penelitian**

#### **1) Preparasi sampel zeolit**

Sampel zeolit sebelum digunakan untuk pemurnian garam melalui rekristalisasi dilakukan serangkaian perlakuan awal. Pada tahap awal, sampel zeolit sebanyak 500 gram dicuci dalam akuades sehingga bersih dari kotoran. Zeolit yang sudah dibersihkan selanjutnya digerus menggunakan penggerus mekanik untuk memperoleh ukuran butir zeolit yang diharapkan. Zeolit yang telah digerus selanjutnya diayak menggunakan ayakan dengan ukuran mesh tertentu. Selanjutnya sebagian zeolit yang telah diayak, diaktivasi menggunakan larutan HCl 0,1M dengan perbandingan 10 gram zeolit dalam

100 ml HCl. Campuran zeolit dan larutan HCl ini selanjutnya diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 3 jam. Selanjutnya disaring sehingga komponen padat (zeolit) terpisah dari larutannya. Zeolit ini selanjutnya dicuci dengan akuades hingga netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 2 jam. Zeolit teraktivasi HCl yang diperoleh selanjutnya dipanaskan lebih lanjut dalam oven pada 170°C selama 4 jam. Zeolit yang telah dipersiapkan ini selanjutnya disimpan dalam botol polietilen.

#### **2) Pemurnian garam melalui rekristalisasi**

Untuk meningkatkan kualitas produk garam dilakukan pemurnian dengan menggunakan zeolit alam sebagai bahan pengikat impuritas sebelum proses kristalisasi. Pada tahap awal dilakukan pelarutan garam dapur sehingga diperoleh larutan jenuh dengan kekentalan

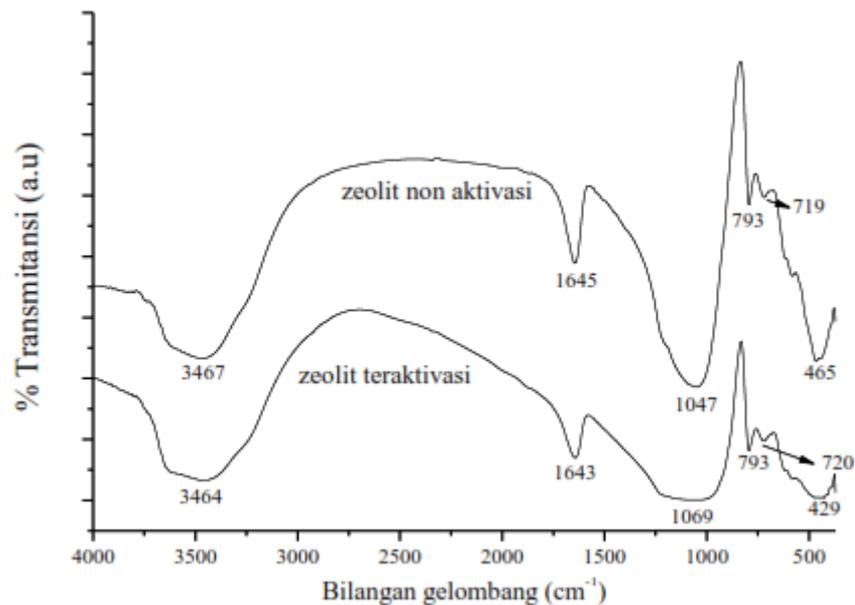
( $^{\circ}\text{Be}$ ) tertentu. Selanjutnya ke dalam larutan garam jenuh tersebut ditambahkan zeolit dengan perbandingan berat zeolit/volume larutan 1:10 g/mL. Selanjutnya campuran tersebut diguncang menggunakan orbital shaker selama 3 jam.

Campuran disaring menggunakan kertas saring sehingga fase padat terpisah dari filtrat. Filtrat yang diperoleh selanjutnya diuapkan menggunakan cawan porselin untuk proses kristalisasi. Produk kristal NaCl yang diperoleh selanjutnya dikeringkan dalam oven selama 2 jam pada temperatur  $110^{\circ}\text{C}$ . Produk NaCl selanjutnya dianalisis komposisinya yang meliputi kadar NaCl, kadar air,  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  sesuai prosedur SNI 2000. Proses analisis dilakukan masing-masing tiga kali pengulangan untuk setiap perlakuan pemurnian garam. Dalam penelitian dipelajari pengaruh konsentrasi atau kekentalan larutan garam, ukuran partikel zeolit dan perlakuan awal zeolit

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Spektra zeolit alam sebelum dan sesudah aktivasi

Hasil karakterisasi spektra inframerah (IR) zeolit alam nonaktivasi dan teraktivasi yang digunakan dalam proses pemurnian garam dapur sebelum rekristalisasi disajikan pada Gambar .1

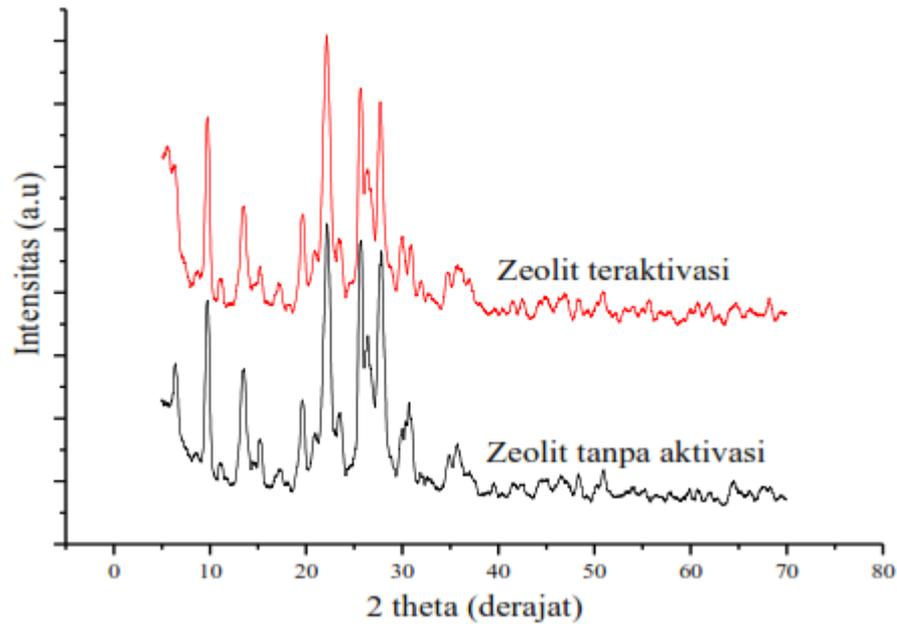


Gambar 1 Spektra inframerah zeolit alam non aktivasi dan teraktivasi

Berdasarkan Gambar .1 terlihat bahwa puncak-puncak serapan utama muncul pada 3467, 1645, 1047, 793, 719 dan 465  $\text{cm}^{-1}$  untuk zeolit non aktivasi. Zeolit aktivasi memiliki puncak serapan utama yang hampir sama dengan zeolit non aktivasi (3464, 1643, 1069, 793, 720 dan 429  $\text{cm}^{-1}$ ). Munculnya serapan pada bilangan gelombang yang hampir sama ini menunjukkan bahwa proses aktivasi menggunakan asam encer tidak menghasilkan perubahan yang signifikan pada zeolit hasil aktivasi. Munculnya spektra pada daerah bilangan gelombang sekitar 3400 dan 1600  $\text{cm}^{-1}$ , yang menunjukkan vibrasi rentang dan vibrasi tekuk molekul air dalam zeolit (Vucinic, dkk., 2003). Puncak 1069  $\text{cm}^{-1}$  adalah serapan yang menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetris Si-O atau Al-O pada TO4. Hasil yang hampir sama dengan karakter zeolit alam Malang pada kisaran 1055  $\text{cm}^{-1}$  (Tony Suroto, 2004). Pita serapan karakteristik yang menunjukkan adanya zeolit ditandai dengan linkage internal dan eksternal tetrahedral yang teramati pada daerah 400 - 1200  $\text{cm}^{-1}$  (Mimura, dkk 2001). Secara umum spektra IR dapat dibagi menjadi dua kelompok vibrasi, yaitu (i) vibrasi internal framework TO4, yang intense terhadap vibrasi struktural dan (ii) vibrasi yang berhubungan dengan linkage eksternal unit TO4. Untuk material zeolit, pita yang paling intensif terjadi pada daerah 860 – 1230  $\text{cm}^{-1}$  dan 420 – 500  $\text{cm}^{-1}$  (Keka dkk., 2004). Pita serapan antara bilangan gelombang 980 – 1320  $\text{cm}^{-1}$ , menyatakan adanya atom Al tersubstitusi dalam bentuk tetrahedral dari *framework* silika. Pada 429 atau 465  $\text{cm}^{-1}$  merupakan mode *bending* Si(Al)-O (Mimura, 2001).

### **Pola difraksi zeolit alam sebelum dan sesudah aktivasi**

Hasil karakterisasi difraksi sinar-X (XRD) zeolit alam nonaktivasi dan teraktivasi yang digunakan dalam proses pemurnian garam dapur sebelum rekristalisasi disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan pola difraksi sinar X dalam Gambar 5.2, zeolit alam yang digunakan ini dapat diidentifikasi sebagian besar sebagai *clinoptilolite* dan mordenit, karena mempunyai tiga puncak yang karakteristik pada  $2\theta = 9,89; 22,45$  and  $30$  (Achanai, 2008). Aktivasi zeolit menggunakan larutan HCl 0,1M bertujuan untuk mengeluarkan oksida bebas dari logam-logam Fe, Mg, Ca dan zat lain yang terikat di sekitar kristal zeolit. Puncak yang muncul pada  $2\theta$  20,90640 ; 26,68000 ; 36,57000 , merupakan puncak untuk kuarsa (Quartz), JCPDS no 5-0490. Puncak pada  $2\theta$  6,48000 ; 14,44000 ; 19,17200 ; 22,34180 ; 25,32000 dan 27,79890 merupakan puncak untuk mineral mordenit (kristal zeolit), JCPDS no 6-239.



**Gambar 2 Difraktogram XRD zeolit alam tanpa aktivasi dan teraktivasi**

Merujuk pada hasil XRD (Gambar 2) proses aktivasi menggunakan larutan kimia HCl pada konsentrasi 0,1 tidak menghasilkan perubahan struktur kristal yang signifikan. Hal ini ditunjukkan tidak adanya perubahan difraktogram dari zeolit sebelum dan sesudah aktivasi dengan HCl. Dengan berkurangnya oksida bebas dari Fe, Mg, Ca, zeolit yang diaktivasi diharapkan mempunyai kemampuan adsorpsi yang lebih tinggi daripada tanpa aktivasi. Adanya peningkatan kapasitas adsorpsi ini, zeolit teraktivasi akan lebih efektif ketika digunakan untuk pemurnian garam melalui rekristalisasi. Aktivasi asam menyebabkan terjadinya dekationisasi yang menyebabkan bertambahnya luas permukaan zeolit karena berkurangnya pengotor yang menutupi pori-pori zeolit. Luas permukaan yang bertambah diharapkan meningkatkan kemampuan zeolit dalam proses adsorpsi (Weitkamp, 1999)

### **Hasil Pemurnian Garam melalui Rekristalisasi Menggunakan Zeolit Alam**

Dalam tahap ini dilakukan pemurnian garam krosok menggunakan zeolit sebelum proses kristalisasi. Proses pemurnian dilakukan dengan variasi konsentrasi (kekentalan) larutan garam krosok, ukuran zeolit dan perlakuan awal zeolit. Sebanyak 200 ml dari ketiga larutan garam tersebut masing-masing dimasukkan zeolit alam sebanyak 20 gram. Campuran diaduk 10 menit dan dibiarkan selama 4 jam. Selanjutnya larutan tersebut disaring dan ditampung pada

cawan penguapan. Cawan beserta isinya selanjutnya diuapkan sehingga diperoleh kristal garam dapur. Waktu yang diperlukan untuk proses penguapan dari ketiga larutan tersebut masing-masing adalah: 30, 35 dan 42 menit. Kristal garam yang diperoleh selanjutnya ditimbang dan dianalisis kadar NaCl dan H<sub>2</sub>O. Jumlah garam hasil kristalisasi garam dan karakteristiknya disajikan pada uraian sebagai berikut.

**a. Pengaruh Tingkat Kekentalan Terhadap Hasil Kristalisasi**

Kuantitas dan kualitas garam yang dihasilkan dalam proses rekristalisasi untuk ketiga larutan garam dengan kekentalan (°Be) yang berbeda tercantum pada Tabel 1. Analisis produk garam hasil rekristalisasi (Tabel 1), menunjukkan bahwa larutan garam dengan tingkat kekentalan (konsentrasi) 15 °Be menghasilkan garam dengan kadar NaCl yang paling tinggi (92,64%) dan kadar air paling rendah (1,25%). Kualitas garam hasil rekristalisasi semakin bertambah dengan bertambahnya tingkat kekentalan larutan garam yang digunakan. Larutan garam dengan kekentalan 8°Be menghasilkan garam dengan kualitas yang paling rendah. Berdasarkan hasil tersebut maka untuk meningkatkan hasil rekristalisasi pada tahap berikutnya, digunakan larutan garam pada tingkat kekentalan yang paling tinggi.

**Tabel 1 Jumlah garam hasil kristalisasi pada berbagai °Be**

No	Konsentrasi (°Be)	Jumlah (g)	Kadar	
			NaCl (%)	H <sub>2</sub> O (%)
1	15	17,83	92,64	1,25
2	12	14,8	92,49	1,52
3	8	8,12	91,80	1,68

**b. Pengaruh ukuran partikel zeolit terhadap hasil rekristalisasi**

Pengaruh ukuran partikel zeolit pada rekristalisasi, dipelajari dengan menggunakan zeolit dengan ukuran butir yang divariasikan, yaitu : 4/8; 10/20; 30/50; 50/100, dan menggunakan larutan garam 24°Be. Karakteristik garam hasil rekristalisasi menggunakan zeolit tanpa aktivasi dengan variasi ukuran butir tercantum pada Tabel 2. Berdasarkan data Tabel 5,2, ukuran butir zeolit alam yang digunakan, lolos ayakan 50 tertahan di 100 mesh (50/100) menghasilkan kadar NaCl yang paling besar. Adapun rekristalisasi yang tidak menggunakan zeolit menghasilkan garam dengan kandungan NaCl yang paling rendah.

**Tabel 2 Pengaruh ukuran butir zeolit nonaktivasi terhadap hasil rekristalisasi**

No	Ukuran butir (mesh)	Kadar			
		NaCl (%)	H <sub>2</sub> O (%)	Ca (%)	Mg (%)
1	4/8	96,18	1,29	0,45	0,40
2	10/20	96,14	0,28	0,49	0,73
3	30/50	94,88	0,62	0,49	0,72
4	50/100	97,09	0,60	0,45	0,46
5	Tanpa zeolit	95,08	1,23	0,42	0,40

Hasil ini menunjukkan rekristalisasi dapat digunakan secara efektif dalam pemurnian garam. Kadar NaCl dalam garam hasil rekristalisasi lebih besar dibandingkan garam asal (tanpa pemurnian). Kadar NaCl garam hasil rekristalisasi ada dalam kisaran ~95-97%, sedangkan garam asal ada dalam kisaran 83-94%, tergantung jenis sampel garam yang digunakan.

**c. Pengaruh aktivasi zeolit terhadap hasil rekristalisasi**

Hasil rekristalisasi garam yang menggunakan zeolit teraktivasi HCl 0,1M sebagai pengikat impuritas sebelum tahap kristalisasi pada berbagai ukuran butir, tercantum pada Tabel 3. Kristalisasi dilakukan dengan menggunakan larutan garam 24°Be dan perbandingan zeolit/larutan garam : 5 g/50 mL larutan.

**Tabel 3 Pengaruh ukuran butir zeolit teraktivasi terhadap hasil rekristalisasi**

No	Ukuran butir (mesh)	Kadar			
		NaCl (%)	H <sub>2</sub> O (%)	Ca (ppm)	Mg (%)
1	10/20	98,73	1,09	<1	1,19
2	30/50	97,74	1,5	<1	0,76
3	50/100	97,55	2,5	<1	0,67

Berdasarkan hasil tersebut (Tabel 3) tampak bahwa hasil rekristalisasi garam yang menggunakan zeolit teraktivasi lebih besar dari pada tanpa aktivasi. Kadar NaCl garam hasil rekristalisasi menggunakan zeolit teraktivasi berkisar ~98 - 99%, sedangkan hasil rekristalisasi menggunakan zeolit tanpa aktivasi berkisar 96 - 97%. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi

menggunakan HCl 0,1M dapat meningkatkan kualitas hasil kristalisasi. Peningkatan ini terjadi karena pada aktivasi terjadi penghilangan kation logam seperti Fe, Mg, Ca, yang tidak terikat pada kerangka struktur zeolit, karena pengaruh asam (HCl). Ketiga kation yang ada dalam zeolit tersebut akan larut dalam HCl dan keluar dari kerangka zeolit. Aktivasi menggunakan asam, HCl, menyebabkan dekationisasi logam bebas, sehingga meningkatkan luas permukaan zeolit karena berkurangnya pengotor yang menutupi pori-pori zeolit. Luas permukaan yang bertambah akan meningkatkan kemampuan zeolit dalam proses adsorpsi impuritas dalam larutan garam, terutama  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  yang akan dikristalkan kembali.

Dari Tabel 3 juga tampak bahwa kadar NaCl yang tertinggi terjadi pada penggunaan zeolit dengan ukuran yang paling besar (10/20 mesh), yaitu mencapai mendekati 99%. Hal ini terjadi karena semakin kecil ukuran partikel zeolit yang digunakan, semakin besar memungkinkan untuk lolos dalam proses penyaringan, sehingga terbawa dalam filtrat yang diperoleh dan menurunkan kualitas garam yang dihasilkan. Dengan demikian zeolit teraktivasi HCl dengan ukuran butir lolos ayakan 10/20 mesh adalah yang paling efektif digunakan dalam proses pemurnian garam dapur.

## **SIMPULAN**

### **Simpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Proses rekristalisasi menggunakan zeolit alam sebagai pengikat impuritas dapat digunakan secara efektif dalam pemurnian garam dapur.
2. Konsentrasi (kepekatan awal) larutan garam mempengaruhi akhir proses pemurnian. Semakin besar kekentalan larutan garam semakin banyak jumlah garam yang dihasilkan, pada rentang kepekatan 8, 12 dan 15<sup>o</sup>Be.
3. Aktivasi zeolit dengan larutan HCl 0,1 M dapat meningkatkan kualitas garam hasil rekristalisasi. Garam hasil kristalisasi mempunyai kadar NaCl tertinggi (98,73%) diperoleh dengan menggunakan zeolit lolos ayakan 10/20 mesh yang teraktivasi HCl 0,1 M.

### **Saran**

Berdasarkan hasil yang telah diuraikan di atas maka penelitian ini perlu ditindaklanjuti dalam skala industri (produksi garam) di tambak garam. Proses produksi garam yang selama ini telah dikembangkan sebelumnya, menggunakan HDPE, dapat disempurnakan dengan metode ini, sehingga ketersediaan garam berkualitas dapat terpenuhi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achanai, B., 2008, Use of natural clinoptilolite for the removal of lead(II) from wastewater in batch experiment, *Chiang Mai J. Sci.* 35 ,3 447 – 456
- Anonim. 2000. *Mutu dan Cara Uji Garam Konsumsi* : SNI.01 : 3556. Semarang : Departemen Perindustrian.
- Anonim, 2003, *Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral*, Badan Pusat Statistik Kajian data Pertambangan
- Day, R. A. dan Underwood, A. L. 1989. *Analisis Kimia Kuantitatif*: Alih Bahasa Hadyana P. Jakarta: Erlangga
- Douglas E.B, 1984, *Concepts and Models of Inorganic Chemistry*, third eddition, John Wiley and Sons, New York.
- Jumaeri, 2003. *Pemurnian Garam Dapur Menuju Kualitas Industri Melalui Metode Rekrystalisasi dengan Menggunakan Bahan Pengikat Impurities*. Laporan Pernelitian LP2M UNNES.
- Keka, O., Narayan C.P. and Amar, N.S., 2004, Zeolite from Fly Ash : Synthesis and Characterization, *Bull. Mater. Sci.*, 27, 6, 555 - 564.
- Kusdarto, 2008, Potensi Zeolit di Indonesia, *Jurnal Zeolit Indonesia* Vol. 7 No. 2. Ikatan Zeolit Indonesia
- Mimura, H., Yokota, K., Akiba, K. and Onodera, Y., 2001, Alkali Hydrothermal Synthesis of Zeolites from Coal Fly Ash and Their Uptake Properties of Cesium Ion. *J. Nucl. Sci. Technol.*, 38, 9, 766-772.
- Mukhopadhyay, Indrajit et.al, 2007, Effective Process for the Preparation of Solar Salt Having High Purity and Whiteness, No Pub. WO/2007/036949
- Partono. 2001. *Proses Penguapan Air Laut dan Prinsip Dasar Pembuatan Garam dari Air Laut*. Dinas Perindustrian Jawa Tengah.
- Tony, S. 2004. *Kajian Pengaruh Konsentrasi Asam Klorida Terhadap Distribusi Ukuran Pori zeolit Alam dan Uji Kemampuan Sebagai Adsorben Untuk Kemurnian Minyak Daun Cengkeh*. Skripsi. Yogyakarta; Universitas Gadjah Mada
- Triastuti, S., 2007, *Optimasi Penambahan Bahan Pengikat Pengotor pada Pembuatan Garam Meja dari Garam Krosok*, Penelitian DIPA UNNES, 2007
- Vucinic, D., Miljavonic, I., Rosic, A., and Lazic, P., 2002, Effect of Na<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> Mole Ratio on the Crystal Type of Zeolite Synthesized from Coal Fly Ash, *J. Serb. Chem. Soc.*, 68, 6, 471-478.
- Weitkamp, L. and Puppe, L. 1999. *Catalysis and Zeolite*. Springer, New York.