



Pengaruh Penggunaan Zeolit Alam sebagai Pengikat Impuritas pada Pembuatan Garam

Septiani Yuni Rahmawati[✉], Jumaeri, dan Agung Tri Prasetya

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima Juli 2019

Disetujui Agustus 2019

Dipublikasikan November
2019

Keywords:

garam
zeolit
impuritas

Abstrak

Kebutuhan garam di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan bertambahnya penduduk dan perkembangan industri. Produksi garam di Indonesia sendiri masih kurang maksimal karena kualitas yang dihasilkan masih belum memenuhi standar yang disebabkan masih banyak pengotor-pengotor yang larut dalam garam. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan garam dengan penambahan zeolit untuk mengetahui pengaruh ukuran butir zeolit, dan dosis zeolit pada pembuatan garam terhadap kadar NaCl yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan pembuatan garam dengan 24^oBe tanpa penambahan zeolit memiliki kadar NaCl sebesar 92,10%, kadar air sebesar 2,96%, kadar ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ masing-masing sebesar 168,8 dan 107,50 ppm. Pembuatan garam dengan penambahan zeolit dengan variasi ukuran zeolit 16, 35, 60 *mesh* diperoleh zeolit dengan ukuran 60 *mesh* menghasilkan garam dengan kualitas lebih baik yaitu memiliki kadar NaCl 96,36%, kadar air 2,29%, kadar ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ masing-masing sebesar 138,80 dan 104,00 ppm. Pembuatan garam dengan penambahan zeolit dengan variasi dosis zeolit 2,5; 3,5; 4,5 *mesh* diperoleh zeolit dengan ukuran 4,5 g menghasilkan garam dengan kualitas lebih baik yaitu memiliki kadar NaCl 98,25%, kadar air 1,75%, kadar ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ masing-masing sebesar 117,60 dan 100,00 ppm.

Abstract

The need for salt in Indonesia from year to year increases with the increase of population and industrial development. Salt production in Indonesia itself is still less than the maximum because the resulting quality is still not meet the standards caused by many pollutants are soluble in salt. In this research, salt preparation was done by adding zeolite to know the effect of zeolite grain size, and dose of zeolite on salt to the resulting NaCl content. The results showed that salt production with 24^oBe without zeolite addition had NaCl content of 92.10%, water content of 2.96%, Ca²⁺ and Mg²⁺ levels of 168.88 dan 107.50 ppm respectively. Preparation of salt with the addition of zeolite with a variety of zeolite size 16, 35, 60 mesh obtained zeolite with the size of 60 mesh to produce salt with better quality that has a content of 96.36% NaCl, 2.29% water content, Ca²⁺ and Mg²⁺ respectively of 138.80 dan 104.00 ppm. Preparation of salt with the addition of zeolite with variation of zeolite dose 2.5, 3.5, 4.5 mesh obtained zeolite with the size of 4.5 g to produce salt with better quality that has the content of NaCl 98.25%, water content 1.75%, Ca²⁺ and Mg²⁺ ion levels were 117.60 dan 100.00 ppm respectively.

© 2019 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

E-mail: septianiyuni28@gmail.com

p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Kebutuhan garam diseluruh dunia cukup banyak. Industri kimia adalah konsumen garam terbesar, yang menggunakan sekitar 60% dari total produksi. Industri ini mengubah garam menjadi klorin, soda kaustik, dan soda *ash*. Pengguna garam terbesar kedua adalah manusia itu sendiri. Manusia membutuhkan sekitar 30% dari total garam yang dihasilkan untuk mendukung fungsi fisiologis dan kebiasaan makan mereka. Konsumsi garam terakhir yaitu sekitar 10% garam diperlukan untuk pembuatan de-icing jalan, pengolahan air, produksi air asin pendingin dan banyak aplikasi lainnya (Sedivy, 2009). Kebutuhan garam diperkirakan meningkat sejalan dengan perkembangan penduduk dan pertumbuhan industri Negara Indonesia masih harus mengimpor. Garam konsumsi memiliki kadar NaCl, yaitu 96% atas dasar bahan kering, kandungan impuritis (sulfat, magnesium dan kalsium), yaitu 2% dan kotoran lainnya (lumpur, pasir yaitu 1% serta kadar air maksimal yaitu 7%). Kelompok kebutuhan garam konsumsi antara lain untuk konsumsi rumah tangga, industri makanan, industri minyak goreng, industri pengasinan dan pengawetan ikan (Burhanuddin, 2001).

Indonesia merupakan negara tropis, proses pengkristalan air laut dilakukan dengan cara penguapan air laut dengan memanfaatkan sinar matahari dengan cara dialirkan ketambak-tambak selanjutnya untuk menguapkan airnya akan terjadi pemekatan air laut secara bertahap (Rositawati *et al.*, 2013). Penguapan air asin dengan tenaga surya untuk membuat garam merupakan proses yang cukup baik di lingkungan dimana sinar matahari tersedia hingga durasi waktu lama dengan intensitas tinggi dan kelembaban relatif rendah. Teknik ini umum dan komersial di daerah pesisir (Akridge, 2008). Air laut merupakan bahan baku untuk pembuatan garam yang jumlahnya sangat besar. Lebih dari setengah permukaan bumi ditutupi air laut. Secara teoritis, garam yang berasal dari penguapan air laut mempunyai kadar NaCl 97% lebih (maksimum 97,78% *drybasis*), akan tetapi dalam prakteknya umumnya lebih rendah (Wahyuningsih, 1995). Air laut mengandung NaCl dan juga mengandung garam-garam terlarut, seperti MgCl₂, CaCO₃, MgSO₄, dan CaSO₄. Untuk memperoleh garam dari laut dapat dengan cara menguapkan air laut di bawah sinar matahari. Apabila pembuatan garam dapur dilakukan langsung dari penguapan air laut, tanpa memperhatikan tingkat kekentalan air, maka akan diperoleh garam dapur dengan impurities yang tinggi, utamakan kandungan CaSO₄, MgSO₄, dan MgCl₂.

Pemurnian garam dipengaruhi oleh rasio Ca/Mg, bila rasionya terlalu kecil ataupun besar mengakibatkan pengendapan impuritis tidak berlangsung dengan baik (Bahrudin; 2003). Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kemurnian garam dapur adalah menggunakan zeolit alam. Produksi garam dapat ditingkatkan dengan melakukan rekristalisasi garam dengan beberapa metode, seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Mutiara (2014) melakukan reskristalisasi dengan penambahan zeolit sebagai pengikat impuritas dan penukar ion. Pertukaran ion adalah proses dimana ion-ion dari suatu larutan elektrolit diikat pada permukaan bahan padat (Bernasconi, 1995). Natrium dalam zeolit dapat diganti dengan ion logam lain bila terkena larutan garam logam lain. Reaksi pertukaran natrium dengan logam lain menjadi reversibel bila kadar ion natrium dinaikkan. Sehingga bila suatu larutan garam mengandung kalsium dan magnesium dimasukkan ke dalam suatu kolom natrium, maka kalsium dan magnesium akan mengganti natrium di dalam zeolit (Nurhayati, 2011). Zeolit mempunyai kapasitas yang tinggi sebagai penyerap. Hal ini dikarenakan zeolit dapat memisahkan molekul-molekul berdasarkan ukuran dan konfigurasi dari molekul (Andreas, 2004).

Pada penelitian ini akan dipelajari mengenai pembuatan garam dengan metode penguapan air laut yang dilewatkan zeolit alam sebagai pengikat impuritas. Penambahan zeolit alam dilakukan sebelum proses kristalisasi dengan variabel ukuran butir zeolit, dosis zeolit, serta kepekatan kadar air laut dalam *Be* agar didapatkan garam yang berkualitas baik.

Metode

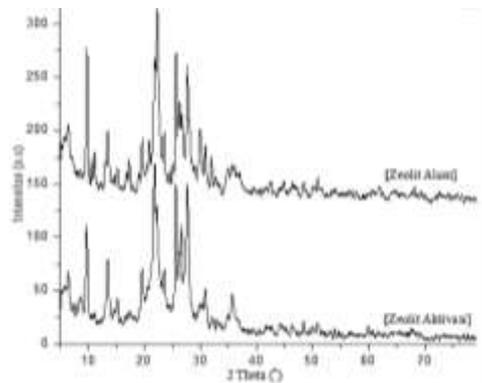
Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *orbital shaker*, *magnetic stirrer*, indikator pH universal, furnace, boume meter, XRD *Phillips Expert* dan AAS *Perkin Elmer Analyst 400*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah HCl, AgNO₃, dan K₂CrO₄ dengan *grade pro analyst* buatan *Merck*, aquademin, air laut yang diambil dari tambak, dan zeolit alam.

Prosedur kerja pada penelitian ini meliputi aktivasi zeolit dan pembuatan garam dengan metode penguapan. Zeolit alam dengan ukuran 16, 35, dan 60 *mesh* diaktivasi dengan HCl 0,5 M dengan perbandingan 10 g zeolit dalam 100 mL HCl selama 2 jam selanjutnya zeolit hasil aktivasi dicuci dengan aquademin sampai diperoleh pH netral (6-7) dan tidak terdapat ion Cl⁻ pada zeolit. Diteksi ion Cl⁻ dengan AgNO₃ hingga tidak terjadi endapan putih (AgCl). Zeolit yang telah bebas ion Cl⁻ dikeringkan dengan oven suhu 120°C selama 2 jam dan dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu 400°C selama 4 jam. Pembuatan garam dilakukan dengan variasi penambahan zeolit dan tanpa penambahan zeolit. Pembuatan

garam tanpa penambahan zeolit dilakukan dengan mengambil sampel air laut yang telah dipisahkan dengan variasi kadar $^{\circ}\text{Be}$ dari 18, 21, dan 24. Air laut dengan kadar $^{\circ}\text{Be}$ tertentu disaring untuk menghilangkan pengotor-pengotornya yang berupa padatan. Sampel air laut yang telah disaring diuapkan dengan bantuan lampu spiritus dan cawan penguap sampai terbentuk kristal garam. Kristal garam yang telah terbentuk dioven 100°C selama 2 jam untuk mengeringkan kristal garam. Pembuatan garam dengan penambahan zeolit diambil sampel air laut dengan kadar kepekatan $^{\circ}\text{Be}$ terbaik ditambahkan zeolit yang telah diaktivasi dengan ukuran *mesh* tertentu dan dosis zeolit tertentu, larutan diaduk selama 3 jam dengan kecepatan 200 rpm. Larutan tersebut disaring dengan kertas saring halus untuk memisahkan zeolit dengan air laut. Air laut yang telah disaring diuapkan menggunakan cawan penguap dengan bantuan lampu spiritus sampai terbentuk kristal garam. Kristal garam yang telah terbentuk dioven 100°C selama 2 jam untuk mengeringkan kristal garam. Metode yang sama juga dilakukan untuk variasi ukuran *mesh* zeolit dan variasi dosis zeolit yang ditambahkan kedalam air laut. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: variasi ukuran butir zeolit yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 16, 35, 60 *mesh* dengan dosis zeolit 2,5 g. Variasi dosis zeolit alam Malang yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 2,5; 3,5; 4,5 g.

Hasil dan Pembahasan

Zeolit alam merupakan mineral yang jumlahnya banyak tetapi distribusinya tidak merata, seperti klinoptilolit, mordenit, phillipsit, chabazit dan laumontit. Pada penelitian ini dilakukan aktivasi pada zeolit yang selanjutnya diuji kristalinitasnya dengan difraksi sinar-X. Hasil uji kristalinitas zeolit teraktivasi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Difaktogram zeolit alam teraktivasi HCl

Difaktogram zeolit dan zeolit tersulfatasi yang diperoleh dianalisa dengan JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard*) yang diinterpretasikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisa difaktogram zeolit berdasarkan JCPDS

Komponen	JCPDS	2θ Zeolit	Intensitas [%]	2θ Zeolit aktivasi	Intensitas [%]
<i>Mordenit</i>	JCPDS	22,25	100,00	22,21	75,96
		25,61	94,81	25,60	100,00
	6-239	26,33	60,14	26,58	71,13
<i>Klinoptilolit</i>	JCPDS	27,79	74,12	27,70	88,67
		23,84	36,08	23,62	34,18
	17-0143	28,03	33,62		
<i>Quartz</i>	JCPDS	31,93	25,64		
		26,68	48,90	26,58	71,13
	5-0490				

Berdasarkan Tabel 1. dapat diketahui difaktogram antara zeolit alam dengan zeolit teraktivasi hampir tidak menunjukkan sedikit perubahan yang berarti, kedua zeolit ini memiliki puncak khas mineral *mordenit* yang mendominasi keduanya. Berdasarkan analisa JCPDS zeolit alam memiliki komposisi

mineral jenis *clinoptiolit*, *mordenit* dan *quartz* (kuwarsa). Sedangkan setelah diaktivasi puncak mineral jenis *clinoptiolit*, kuwarsa berkurang dan didominasi dengan jenis *mordenit*. Pada proses aktivasi zeolit dengan larutan asam (HCl) akan terjadi proses dealuminasi zeolit. Proses dealuminasi akan mengakibatkan berkurangnya komposisi Al-O pada penyusun mineral zeolit alam, sehingga dapat mengakibatkan perubahan struktur zeolit dari *clinoptiolit* menjadi *mordenit* disebabkan proses dealuminasi (Wahidatun *et al.*, 2015). Jenis pori yang terdapat dalam zeolit *mordenit* bertindak sebagai bahan adsorban dan kandungan kation Na^+ , K^+ dan Ca^{2+} yang dapat ditukargantikan oleh kation lain menjadikannya zeolit sebagai penukar ion yang baik (Rianto *et al.*, 2012).

Kadar NaCl kristal garam dihitung menggunakan titrasi argentometri, sedangkan penentuan kadar air dilakukan dengan metode termogravimetri. Pada penelitian ini telah dibuat sampel garam dengan beberapa perlakuan yaitu pembuatan garam tanpa penambahan zeolit dan pembuatan garam dengan penambahan zeolit. Kadar NaCl dan kadar air kristal garam tanpa penambahan zeolit dan kristal garam dengan penambahan zeolit disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Kadar NaCl dan kadar air kristal garam tanpa penambahan zeolit dan dengan penambahan zeolit

Variasi pembuatan garam	Kadar	
	NaCl [%]	Air [%]
<u>Tanpa penambahan Zeolit</u>		
Variasi Kepekatan		
18 °Be	90,22	3,70
21 °Be	91,63	3,23
24 °Be	92,10	2,96
<u>Dengan penambahan zeolit</u>		
Variasi ukuran zeolit		
16 mesh 2,5 g	94,94	2,71
35 mesh 2,5 g	95,41	2,45
60 mesh 2,5 g	96,36	2,29
Variasi dosis zeolit		
60 mesh 2,5 g	95,88	2,38
60 mesh 3,5 g	97,77	1,96
60 mesh 4,5 g	98,25	1,75

Berdasarkan Tabel 2. dapat diketahui kadar NaCl terbaik dan kadar air paling rendah pada pembuatan garam tanpa penambahan zeolit dengan variasi kepekatan air laut yaitu pada 24 Be. Kepekatan air laut pada 24°Be memiliki kadar NaCl sebesar 92,10% dan kadar air sebesar 2,96%. Standar mutu garam, kadar NaCl minimal menurut SNI 3556:2010 adalah 94,7%. Hal ini menunjukkan bahwa kadar NaCl dari pembuatan garam tanpa penambahan zeolit masih mengandung pengotor dan belum memenuhi standar. Pada pengujian larutan garam dengan variasi kadar kepekatan °Be diperoleh kadar kepekatan 24°Be memiliki kadar NaCl lebih tinggi dibandingkan lainnya, sehingga pada pembuatan garam dengan penambahan zeolit kadar kepekatan °Be yang digunakan yaitu 24°Be.

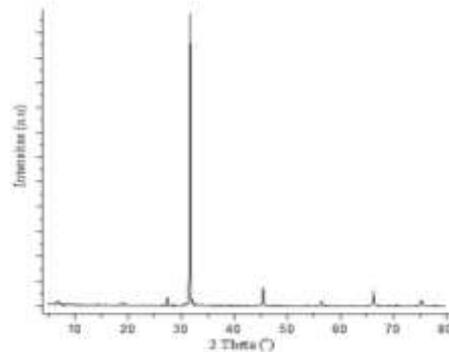
Pembuatan garam dengan penambahan zeolit ini dilakukan dengan variasi ukuran butir *mesh* zeolit dan dosis penambahan zeolit. Berdasarkan variasi ukuran butir *mesh* zeolit kadar NaCl dan kadar air paling baik yaitu 96,36% dan 2,29% dengan ukuran butir zeolit 60 *mesh*. Ukuran butir zeolit yang semakin kecil dalam penukar ion akan meningkat seiring bertambahnya dengan bertambahnya luas permukaan yang dimiliki oleh zeolite. Dari hal tersebut dapat dipahami bahwa pada jumlah zeolit yang sama, semakin kecil ukuran butirnya akan menambah jumlah pori penyerapan sehingga pengotor Ca dan Mg yang terserap juga akan semakin besar atau nilai efisiensi penyerapan akan semakin besar. Hasil pembuatan garam dengan variasi dosis zeolit, diperoleh kadar NaCl dan kadar air paling baik yaitu 98,25 dan 1,75% dengan ukuran butir 60 *mesh* dan dosis sebesar 4,5 g. Hal ini karena semakin banyak jumlah zeolit yang ditambahkan, maka kadar NaCl yang dihasilkan semakin besar, karena dengan banyaknya zeolit yang ditambahkan maka pori-pori yang dihasilkan juga akan semakin banyak sehingga semakin banyak pula ion-ion Ca dan Mg yang dapat dipertukarkan dengan Na di dalam zeolit sehingga meningkatkan kadar NaCl garam. Kadar NaCl garam dengan penambahan zeolit ini memenuhi standar SNI 3556:2010 karena memiliki kadar diatas 94,7% dan kadar air pada kristal garam telah memenuhi syarat SNI 3556:2010 yakni maksimal 7%. Kadar ion Ca dan Mg ditentukan dengan menggunakan AAS. Hasil analisis dengan AAS sampel garam disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis kandungan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} pada sampel garam

No	Jenis sampel garam	Kandungan (ppm)	
		Ion Ca^{2+}	Ion Mg^{2+}
1	Tanpa penambahan zeolit	168,88	107,50
2	Penambahan zeolit 60 <i>mesh</i> dosis 2,5 g	138,80	104,00
3	Penambahan zeolit 60 <i>mesh</i> dosis 4,5 g	117,60	100,00

Berdasarkan Tabel 3. dapat diketahui kadar ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang diperoleh pada pembuatan garam tanpa zeolit cukup besar yaitu 168,88 dan 107,50 ppm. Penambahan zeolit pada proses pembuatan garam menjadikan kandungan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} pada garam mengalami penurunan yaitu pada penambahan zeolit 60 *mesh* kandungan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} sebesar 138,80 dan 104,00 ppm, sedangkan penambahan zeolit 60 *mesh* dengan dosis 4,5 g kandungan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} menjadi 117,60 dan 100,00 ppm. Penurunan kandungan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} pada penambahan zeolit menunjukkan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} telah terserap oleh zeolit dan dipertukarkan dengan ion Na yang terdapat pada Zeolit. Hal ini sesuai dengan penelitian Nurhayati, (2011) bahwa bila suatu larutan garam yang mengandung ion kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dimasukkan ke dalam suatu kolom natrium, maka kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) akan mengganti natrium di dalam zeolit. Semakin besar penurunan Ca dan Mg maka semakin besar pula Ca dan Mg yang diserap zeolit, sehingga proses pertukaran ion semakin besar.

Penentuan struktur kristal garam dengan menggunakan XRD dilakukan menggunakan garam yang memiliki kadar NaCl terbaik. Analisa kualitatif menggunakan XRD dilakukan dengan panjang gelombang λ . Difaktogram garam setelah penambahan zeolite disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Difaktogram garam dengan penambahan zeolit

Data difaktogram yang diperoleh berupa intensitas dan besar sudut (2θ) yang kemudian dianalisis dengan data standar kristalogafi NaCl PDF No. 72-1668 dan data standar COD (*Crystallography Open Database*) XRD yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisis difaktogram garam dengan difaktogram standar NaCl PDF No. 72-1668 dan data COD (*Crystallography Open database*) XRD

No.	Puncak 2θ	Intensitas [%]	Mineral	No referensi standar
1	27,3644	2,47	NaCl	PDF No. 72-1668
2	31,6865	100,00	NaCl	PDF No. 72-1668
3	32,1680	1,89	CaO	Crystallography Open Database No 96-900-6695
4	45,4232	6,15	NaCl	PDF No. 72-1668
5	56,4452	1,63	NaCl	PDF No. 72-1668
6	66,2099	5,27	NaCl	PDF No. 72-1668
7	73,1426	0,13	MgO	Crystallography Open Database No 96-900-2350
8	75,2866	2,12	NaCl	Crystallography Open Database No 96-900-3309

Berdasarkan Tabel 4. diketahui bahwa kristal garam dengan penambahan zeolit memiliki puncak utama kristal NaCl pada 2θ : 31,6865 dengan intensitas 100%. Kristal NaCl juga terlihat pada 2θ : 27,3644,

45,4232, 56,4452, 66,2099 dan 75,2866. Pada difaktogram terlihat mineral CaO dan MgO pada 2 θ : 32,1680 dan 73,1426 dengan intensitas 1,89% dan 0,13%. Hal ini menunjukkan bahwa masih *impurities* ion Ca dan Mg pada kristal garam, karena berdasarkan uji kandungan ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ pada sampel garam masih terdapat ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ sebesar 117,60 dan 100,00 mg/Kg.

Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa kepekatan kadar air laut memiliki pengaruh terhadap pembuatan garam. Air laut dengan kadar 24 $^{\circ}$ Be menghasilkan garam dengan kadar NaCl lebih baik yaitu 92,10% dibandingkan kadar $^{\circ}$ Be 18 dan 21 sebesar 90,22 dan 91,63%. Pembuatan garam dengan penambahan zeolit dengan ukuran tertentu memiliki pengaruh dalam pembuatan garam. Garam dengan penambahan zeolit ukuran 60 *mesh* menghasilkan garam dengan kadar NaCl lebih baik yaitu 96,36% dibandingkan zeolit ukuran 16 dan 35 sebesar 94,94 dan 95,41%. Penambahan dosis atau konsentrasi zeolit juga memiliki pengaruh terhadap pembuatan garam dan kadar NaCl. Garam dengan penambahan zeolit 4,5 g memiliki kadar NaCl lebih tinggi yaitu 98,25% dibandingkan zeolit dosis 2,5 dan 3,5 g sebesar 95,88 dan 97,77%.

Daftar Pustaka

- Andreas, D.P., Ali, M. 2004. Penurunan Kadar Besi oleh Media Zeolit Alam Ponorogo Secara Kontinyu. *Jurnal Purifikasi*, 5: 169 – 174
- Burhanudin, S. 2001. *Proseeding Forum Pasar Garam Indonesia*. Jakarta: Departemen Kelautan dan Perikanan Jakarta
- Bernasconi, G.H. Gerster, H. Hauseer, H. Stauble, E. Scheiter. 1995. *Teknologi Kimia*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Lad H., Joshi V., & Makavana R. 2015. Natural Evaporation Type Salt Manufacturing Process Resource Management using Distributed Embedded System. *International Journal of Computer Applications*, 117 (23): 33-37
- Mutiara, D.R., Jamaeri. 2015. Pemurnian Garam dengan Metode Rekrystalisasi dengan Zeolit Alam sebagai Bahan Pengikat Indonesian. *Journal of Chemical. Science*, 4 (2): 144-147
- Nurhayati, I. 2011. Filtrasi dengan Media Zeolit Teraktivasi untuk Menurunkan Kesadahan. *Wahana*, 57: 2-3
- Rianto, L.B., Suci A., & Susi N.K. 2012. Pengaruh Impregnasi Logam Titanium pada Zeolit Alam Malang terhadap Luas Permukaan Zeolit. *Alchemy*, 2 (1): 58-67
- Rositawati, A.L., Citra M.T., & Danny S. 2013. Rekrystalisasi Garam Rakyat dari Daerah Demak untuk Mencapai SNI Garam Industri. *Jurnal Teknologi Kimia Industri*, 2 (4): 217-225
- Sedivy M.V. 2009. Processing of Salt for Chemical and Human Consumption. *International Symposium on Salt*, 2: 1385-1402
- Wahidatun K.W., Didik K., Khamidinal., & Irwan N. 2015. Kesetimbangan, Kinetika dan Termodinamika Adsorpsi Logam Cr(VI) pada Zeolit Alam dari Klaten yang Teraktivasi Asam Sulfat. *Sains dan Terapan Kimia*, 9 (1): 1–11
- Wahyuningsih W.D. 1995. Peningkatan Teknologi Proses Pengolahan Garam Rakyat menjadi Garam Industri dengan Tenaga Surya. *Laporan penelitian BPPI*