

## PEMBUATAN ZEOLIT SINTETIS BERTEKNOLOGI HIDROTERMAL DARI LIMBAH KACA DENGAN VARIASI NaOH DALAM PEMBUATAN LARUTAN NATRIUM SILIKA

**Nanda Amelia, Ericha Indriani Marjuki, Nurul Hidayati Fithriyah**

Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Jakarta, DKI Jakarta,  
Jalan Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta 10510  
E-mail : nandaamelia171@yahoo.com

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan memanfaatkan limbah kaca sebagai sumber silika pada sintesis zeolit dengan menggunakan hidrotermal. Bahan baku yang digunakan dalam sintesis zeolit adalah limbah kaca, dan bahan pembantu nya yaitu Natrium Hidroksida (NaOH) dan Natrium alumina ( $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ ). Pembuatan Natrium Silikat yaitu dengan melibatkan bahan utama yaitu limbah kaca dan bahan pembantu (NaOH) yang memiliki variasi konsentrasi 2 ; 2,5 ; 3 ; 3,3 ; 4. Larutan natrium silikat dibuat dengan menggunakan metode sol-gel, keadaan optimum pada larutan diperlukan hasil rendemen konsentrasi serta analisa kandungan yang terdapat pada larutan natrium silikat sampel dengan alat FTIR, di mana kandungan yang terbentuk adalah vibrasi ulur Si-O pada silanol yang terdapat di puncak bilangan gelombang  $979,521 \text{ cm}^{-1}$  dan dengan rendemen yang didapat yaitu 72,88 % pada konsentrasi 3 M. Setelah di dapat kondisi optimum pada larutan natrium silikat, kemudian di sintesa dengan natrium aluminat untuk mendapatkan produk zeolit. Zeolit dibuat dengan menggunakan teknologi Hidrotermal. Zeolit tersebut diuji kapasitas adsorpsinya dengan hasil yang didapat adalah 1,31 pada zeolit sampel dan 1,11 pada zeolit komersial (gr / gr zeolit).

**Kata kunci:** Adsorpsi, Limbah kaca, Natrium silikat, optimum, Zeolit Sintetis.

### Abstract

This study aims to utilize glass waste as a source of silica in zeolite synthesis using hydrothermal. The raw material used in synthetic zeolite is glass waste, and its auxiliary materials are sodium hydroxide (NaOH) and sodium alumina ( $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ ). Making Sodium Silicate by involving the main ingredients, namely glass waste and auxiliary materials (NaOH) which have a concentration variation 2; 2.5; 3; 3.3; 4. Sodium silicate solution is made using the sol-gel method, the optimum state of the required solution is the yield of the concentration and analysis of the content contained in the sodium silicate solution sample with FTIR, where the content formed is Si-O stretch vibration in silanol contained at the peak of wave numbers  $979,521 \text{ cm}^{-1}$  and with yield obtained 72.88% at 3 M concentration. After obtaining optimum conditions in sodium silicate solution, then synthesized with sodium aluminate to obtain zeolite products. Zeolite is made using Hydrothermal technology. The zeolite was tested for adsorption capacity with the results obtained were 1.31 in zeolite samples and 1.11 in commercial zeolites (gr / g zeolite).

**Keywords :** *Adsorption, glass waste, sodium silicate, optimum, synthetic zeolite*

### PENDAHULUAN

Berdasarkan data Kementerian Negara Lingkungan Hidup Indonesia (KNLH) di tahun 2017 produksi sampah di Indonesia mencapai 64 juta ton dimana 15% nya berasal dari limbah metal dan kaca yaitu sekitar 9.6 juta ton. Sedangkan untuk sepenuhnya terurai

kembali limbah kaca membutuhkan waktu hingga 1.000.000 tahun. (Abdurrahman, 2014)

Karena limbah kaca jarang di manfaatkan, karena itu limbah kaca tersebut dapat dijadikan untuk mensintesa zeolit dimana zeolit itu dapat difungsikan sebagai kation penyeimbang, agen pendehidras,

menukar ion, adsorben, katalis, dll. Menurut penelitian sebelumnya, limbah yang digunakan sebagai sumber silika untuk mensintesa zeolit adalah abu sekam padi, abu layang batubara, dan pasir. (Saraswati, 2015).

Tingginya kandungan  $\text{SiO}_2$  dalam limbah kaca dapat dimanfaatkan dan diolah menjadi silika gel melalui pembentukan natrium silikat yang dihasilkan dari reaksi antara  $\text{SiO}_2$  di dalam limbah kaca dengan natrium hidroksida (Mori, 2003 dalam Saputra dkk, 2014). Pada penelitian sebelumnya oleh Dalilah, dkk 2017 membuat larutan natrium silikat digunakan variasi konsentrasi NaOH 1 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3 M yang dihasilkan dari reaksi antara  $\text{SiO}_2$  di dalam limbah kaca dengan natrium hidroksida disini larutan natrium silikat tersebut direaksikan dengan asam klorida (HCl) hingga membentuk asam silikat yang akan terpolimerisasi menjadi silika gel. Maka pada penelitian ini digunakan variasi konsentrasi NaOH pada pembuatan larutan natrium silikat yaitu 2; 2,5 ; 3 ; 3,5 ; 4 M untuk dijadikan zeolit sintesis, dengan menambahkan larutan natrium aluminat pada natrium silikat.

Zeolit sintetik adalah zeolit yang dikembangkan untuk mengatasi kelemahan dari zeolit alam yang memiliki ukuran pori yang tidak seragam. Penelitian ini ditujukan untuk mempelajari sintesis zeolit dengan menggunakan kaca sebagai sumber silika. Penelitian ini sebelumnya pernah dilakukan oleh Indah Saraswati di tahun 2015 dimana ia mensintesis Zeolit-A menggunakan metode hidrogel dengan menambahkan natrium aluminat ke dalam larutan natrium silikat. Pada penelitian ini digunakannya metode hidrotermal pada sintesis zeolit.

## METODE

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan antara lain : limbah kaca borosilikat, kristal NaOH, serbuk  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , dan aquadest.

Alat yang digunakan antara lain: Beaker Glass, Magnetic stirrer, Pemanas Listrik Ultrasound, Pemanas Listrik Microwave, Kertas Saring Whatman, Gelas Ukur, Stopwatch, Pipet Tetes, Pengaduk, Reaktor Hidrotermal, Cawan Porselin, Ayakan mesh 80-100, Oven, Piknometer, Kaca Arloji, Labu Erlenmeyer, Corong.

### Persiapan Bahan Baku

Limbah bahan kaca dibersihkan dan dikeringkan. lalu didestruksi hingga halus dan diayak dengan ayakan 80 dan 100 mesh. Serbuk kaca yang digunakan adalah serbuk kaca yang lolos dari ayakan 80 mesh dan tertahan pada ayakan 100 mesh.

### Pembuatan Larutan Natrium Silikat

Sebanyak 50 gram serbuk kaca halus ditambahkan dengan 150 ml NaOH dengan variasi konsentrasi 2 M ; 2,5 M ; 3 M ; 3,5 M ; dan 4 M lalu diaduk. Kemudian dimasukkan kedalam *ultrasonic bath* untuk menyempurnakan reaksi selama 15 menit. Lalu dimasukkan ke dalam *microwave* selama 15 menit. Larutan natrium silikat dilarutkan dalam aquadest 100 ml, kemudian di aduk dengan *magnetic stirrer* selama  $\pm 2$  jam pada temperatur  $100^\circ\text{C}$ . Selanjutnya disaring dan diambil filtrat yang merupakan larutan natrium silikat.

### Pembuatan Natrium Aluminat

Sebanyak 20 gram kristal NaOH dilarutkan dalam 100 ml aquadest sambil dipanaskan. Tambahkan 8.5 gram serbuk  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Penambahan disertai dengan pengadukan. Larutan dipanaskan dan diaduk hingga larut sempurna dan homogen.

### Sintesis Zeolit

20 ml Natrium Silikat dicampur dengan Natrium Aluminat dengan cara diaduk. Kemudian dimasukkan ke dalam reaktor hidrotermal dan dipanaskan dengan suhu  $100^\circ\text{C}$  waktu kristalisasi 4,5 jam. Didiamkan hingga reaktor dingin kemudian larutan dikeluarkan dan disaring. Hasil saringan dikeringkan dengan oven pada suhu  $100^\circ\text{C}$  selama 5 jam dan didapatkan padatan zeolit.

Untuk mendapatkan nilai optimum pada variasi konsentrasi NaOH Natrium Silikat dapat diuji dengan FTIR dari karakteristik nya.

### Analisa Kapasitas Adsorpsi Zeolit

Timbang sebanyak 0,5 g sampel zeolit yang telah dikeringkan dengan neraca. Masukkan sampel kedalam air yang telah dicampur dengan pewarna *flavirin*, kontakkan selama 30 menit. Filtrasi larutan campuran pewarna dan zeolit. Timbang bobot zeolit setelah di kontakkan hingga konstan dengan neraca. Panaskan di oven pada temperatur  $100^\circ\text{C}$  selama 30 menit. Dinginkan hingga mencapai temperatur ruang, lalu timbang sampel setelah dikeringkan hingga konstan

dengan neraca. Lakukan hal serupa pada zeolit komersial, untuk mengetahui kapasitas adsorpsinya.

#### Analisa Karakteristik Zeolit

Untuk mengetahui karakteristik zeolit yang dihasilkan, sampel diuji dengan alat FTIR

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah kaca yang digunakan merupakan limbah kaca dari pecahan alat laboratorium dimana limbah tersebut memiliki komponen utama yaitu silika dan aluminat. Oleh karena itu, dalam penelitian ini silika dan aluminat yang ada di dalam limbah kemudian disintesa

dengan NaOH menjadi natrium silikat, kemudian natrium silikat dicampur dengan larutan natrium aluminat dengan metode hidrotermal dan menjadi zeolit sintetis. Setelah itu diuji rendemen (%) NaOH terhadap Natrium Silikat, kemudian kemampuan adsorpsi pada zeolit sintetis yang telah jadi dan uji karakterisasi NaOH terhadap Natrium Silikat dengan alat yaitu FTIR serta diuji kandungan yang ada pada zeolit sintetis dengan alat yaitu FTIR.

Hasil dari Pengaruh Konsentrasi NaOH dalam Pembuatan Natrium Silikat.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Rendemen Natrium Silikat dengan Variasi NaOH

No	Konsentrasi NaOH (M)	Limbah Kaca (gram)	Natrium Silikat (gram)	Rendemen (%)
1	2	50,00	13,15	26,3
2	2,5	50,00	23,64	47,28
3	3	50,00	36,44	72,88
4	3,5	50,00	27,73	55,46
5	4	50,00	32,77	65,54

Dari data diatas dapat dilihat bahwa rendemen tertinggi diperoleh pada variasi konsentrasi 3 M. Hal ini dapat dikatakan bahwa dalam pembentukan larutan natrium silikat dengan konsentrasi tinggi terdapat di 3M lebih menghasilkan banyak natrium silikatnya dibandingkan dengan variasi konsentrasi lainnya.



Gambar 1 grafik yang dihasilkan dari hubungan rendemen natrium silikat dengan konsentrasi NaOH

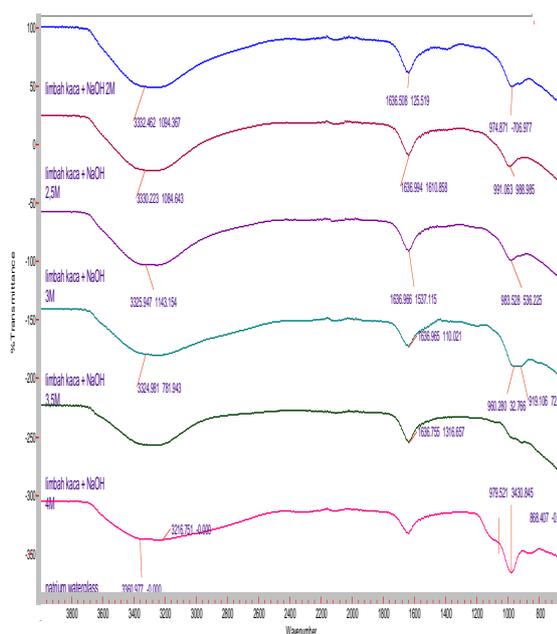
Persamaan yang didapat dari hubungan rendemen natrium silikat dengan konsentrasi NaOH adalah dengan  $y = 18,52 x^2 + 128,45 x$

– 155,92 dengan  $R^2 = 0,8067$  dimana y tersebut sebagai rendemen natrium silikat, sedangkan untuk x sebagai konsentrasi NaOH terhadap larutan Natrium Silikat. Dari data di atas didapat korelasi antara konsentrasi dengan rendemen natrium silikat di mana semakin tinggi konsentrasi NaOH semakin tinggi nilai rendemen nya tetapi pada saat mencapai konsentrasi NaOH 3,5 M nilai rendemen menurun dan meningkat lagi di konsentrasi NaOH 4 M dapat disimpulkan bahwa nilai optimum berada di konsentrasi NaOH 3 M.

Penelitian dilakukan dengan mendestruktif limbah kaca kemudian dilarutkan dengan NaOH dengan konsentrasi yang berbeda – beda yaitu 2 ; 2,5 ; 3 ; 3,5 ; 4 Kemudian dimasukkan kedalam *ultrasonic bath* untuk menyempurnakan reaksi, Lalu dimasukkan ke dalam *microwave* hingga air menguap. Selanjutnya dikalsinasi pada temperatur 400°C selama 4 jam. Padatan serbuk natrium silikat dilarutkan dalam akuades 250 ml, kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama ± 2 jam pada temperatur 100<sup>0</sup> C. Selanjutnya disaring dan diambil filtrat yang merupakan larutan natrium silikat. Larutan tersebut yang

merupakan natrium silikat dianalisa dengan alat FTIR untuk mendapatkan hasil optimum dari variasi konsentrasi NaOH.

*Fourier Transform InfraRed* atau disebut FTIR merupakan suatu alat yang mempunyai banyak manfaat dalam pengaplikasiannya. Pada penelitian ini, analisa FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung pada natrium silikat dengan membandingkan nya pada natrium *waterglass*. Hasil FTIR pada Natrium Silikat, dapat dilihat di gambar 2 :



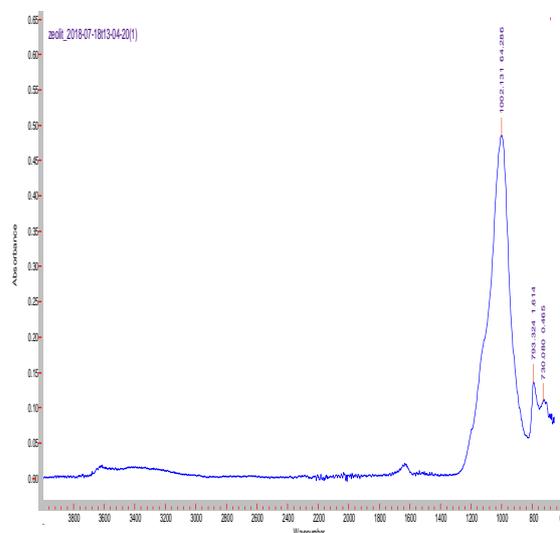
Gambar 2 Hasil FTIR dengan natrium silikat sampel dan natrium *waterglass*

Kandungan natrium silikat teridentifikasi pada bilangan gelombang  $979,521\text{ cm}^{-1}$  yaitu dengan vibrasi ulur Si-O pada silanol. Dari hasil analisa FTIR di ketahui kondisi optimum variasi konsentrasi NaOH 2 ; 2,5 ; 3 ; 3,5 ; 4 pada pembuatan natrium silikat sampel dengan natrium *waterglass* komersial yang diperoleh. Hal ini berarti pada konsentrasi NaOH 3 M didapat Natrium Silikat sampel dengan kekuatan ikatan Si-O pada gugus silanol ( $\equiv\text{Si-OH}$ ) yang paling mendekati Natrium Silikat komersial. Dengan demikian, diharapkan zeolit sampel yang terbentuk memiliki komposisi mendekati zeolit komersial.

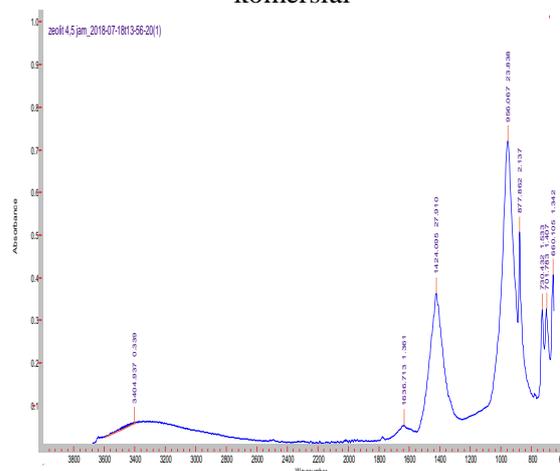
Setelah didapat nilai optimum konsentrasi NaOH untuk membuat natrium silikat yaitu 3 M, maka di lanjutkan dengan sintesa zeolit dengan metode hidrotermal.

Zeolit tersebut, di uji kemampuan adsorpsinya dengan cara menimbang sebanyak 0,5 g sampel zeolit yang telah dikeringkan pada temperatur  $110^{\circ}\text{C}$  dengan neraca dan di gunakan larutan pewarna *flavorin*. Kapasitas adsorpsi antara zeolit sampel lebih besar dari pada zeolit komersial yaitu 1,31 gr/gr zeolit dari berat zeolit sampel 0,38 dan 1,11 gr/gr zeolit dari berat zeolit komersial 0,45. Hal ini dikarenakan zeolit sampel memiliki ukuran pori lebih besar dibandingkan dengan zeolit komersial, dengan pori yang besar maka kemampuan dalam mengadsorpsi pun semakin besar.

Untuk melihat kandungan apa saja yang terdapat pada zeolit sampel, menganalisa nya dengan alat FTIR dan membandingkannya dengan zeolit komersial. Berikut hasil analisa FTIR yang di dapat:



Gambar 3 Hasil analisa FTIR pada zeolit komersial



Gambar 4 Hasil analisa FTIR pada zeolit sampel

Hasil analisa FTIR pada zeolit standar menunjukkan adanya tiga puncak bilangan gelombang (*peak*) dengan rentang bilangan gelombang antara  $600\text{ cm}^{-1}$  hingga  $3800\text{ cm}^{-1}$ . Pada Gambar 3, menunjukkan gugus-gugus fungsional yang dapat diidentifikasi dari zeolit standar. Pada *peak* 1 bilangan gelombang  $730,080\text{ cm}^{-1}$  memiliki Vibrasi Ulur simetris dari Si-O pada siloksan ( $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$ ) dengan absorbansi 0,10, *peak* 2 bilangan gelombang  $793,32\text{ cm}^{-1}$  memiliki gugus fungsi (H)O-Si-O(H) dengan absorbansi 0,13, *peak* 3 bilangan gelombang  $1002,131\text{ cm}^{-1}$  memiliki gugus fungsi C-O dengan absorbansi 0,50.

Hasil analisa FTIR pada zeolit standar menunjukkan adanya delapan puncak bilangan gelombang (*peak*) dengan rentang bilangan gelombang antara  $600\text{ cm}^{-1}$  hingga  $3800\text{ cm}^{-1}$ . Pada Gambar 4, menunjukkan gugus-gugus fungsional yang dapat diidentifikasi dari zeolit standar. Pada *peak* 1 bilangan gelombang  $660,105\text{ cm}^{-1}$  memiliki gugus fungsi Si-O-Si, *peak* 2 bilangan gelombang  $701,783\text{ cm}^{-1}$  terdapat vibrasi Ulur simetris dari Si-O pada siloksan ( $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$ ), *peak* 3 bilangan gelombang  $730,432\text{ cm}^{-1}$  memiliki vibrasi Ulur simetris dari Si-O pada siloksan ( $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$ ), *peak* 4 bilangan gelombang  $877,862\text{ cm}^{-1}$  adanya gugus Si-O dari ikatan Si-O-Si, *peak* 5 bilangan gelombang  $956,067\text{ cm}^{-1}$  adanya vibrasi Ulur Si-O pada Silanol ( $\equiv\text{Si-OH}$ ), *peak* 6 bilangan gelombang  $1424,096\text{ cm}^{-1}$  dengan gugus C-O, *peak* 7 bilangan gelombang  $1636,713\text{ cm}^{-1}$  adanya gugus C-O *bending*, *peak* 8 bilangan gelombang  $3404,937\text{ cm}^{-1}$  memiliki gugus O-H.

Dari data diatas dapat diketahui bahwa zeolit sampel memiliki karakteristik atau kandungan di dalamnya adalah terdapat Vibrasi Ulur simetris dari Si-O pada siloksan ( $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$ ), gugus fungsi (H)O-Si-O(H), gugus fungsi C-O adanya ikatan karbon ini merupakan pengotor dari zeolit sampel tersebut.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### KESIMPULAN

Pembuatan zeolit sintetis berbahan dasar limbah kaca dapat dilakukan dengan metode hidrotermal dan modifikasi metode yakni menggunakan *ultrasound bath* dan *microwave* untuk mengoptimalkan reaksi dan

mempercepat proses. Konsentrasi optimal NaOH adalah 3M dengan rendemen sebesar 72,88 %. Hasil analisa menunjukkan bahwa dengan konsentrasi NaOH 3 M terbentuk natrium silikat sampel pada bilangan gelombang  $983.528\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur Si-O pada silanol ( $\equiv\text{Si-OH}$ ) dengan bilangan gelombang mendekati natrium *waterglass* komersial. Zeolit yang terbentuk dari natrium silikat sampel memiliki rumus kimia dan daya adsorpsi mendekati zeolit komersial

### SARAN

Pembuatan zeolit sintetis dengan metode hidrotermal merupakan penelitian baru yang masih terbatas referensinya. Untuk itu kami menyarankan adanya penelitian lebih lanjut mengenai analisa terhadap produk zeolit sintetis seperti BET, SEM, dan TEM.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, Shidiq. dan Dwinita Larasatai. 2014. *Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai Bahan Baku Pengembangan Produk*, Jurnal Tingkat Sarjana Senirupa dan Desain ITB, Bandung.
- Akimkhan, A.M. 2012. *Structural and Ion-Exchange Properties of Natural Zeolite*. Lisence in tech.
- Ali, E.E. and Al-Tersawy, S.H., 2012, *Recycled Glass as a Partial Replacement for Fine Aggregate in Self Compacting Concrete*.
- Arabani, M., 2011, *Effect of Glass Cullet on the Improvement of the Dynamic Behaviour of Asphalt Concrete*, *Construction and Building Materials*, 25:1181-1185.
- Ayuningtyas, Deswita. <http://kimia.upi.edu/staf/nurul/Web%202011/0807596/author.html> pukul 23:14.
- Aziz Fitria. 2013. *Modul Manajemen Laboratorium*. Makassar: UIN Alauddin.
- Bailey, G.W. and J.L. White. 1970. *Factors influencing the adsorption, desorption, and movement of pesticides in soil in Single Pesticide Volume : The Triazine Herbicides*. F.A. Gunther et al. (eds.). Springer-Verlag New York Inc

- Bogdanov, B., D. Georgiev., K. Angelova., and Y. Hristov. 2009. *Synthetic Zeolites and Their Industrial and Environmental Applications* Review. International Science conference. Volume IV Natural Mathematicalscience
- Coleman, N.J.; Li, Q. and Raza, A., 2013, *Synthesis, Structure and Performance of Calcium Silicate Ion Exchangers from Recycled Container Glass, Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 50:5-16.
- Ditjen. POM. 1995. "Farmakope Indonesia Edisi IV". Departemen Kesehatan RI : Jakarta.
- Erdem, E, N. Karapinar, R. Donat, 2004, The removal of heavy metal cations by natural zeolites, *Journal of Colloid and Interface Science* 280 (2004) Elsevier, hal 309–314.
- Fatimah, MiftakhulRiska. <http://miftakhulriska.blogspot.com/p/kristalisasi.html> 25/11/13 pukul 23:25.
- Fauzan, A., Adziimaa, Doty, Dewi Risanti, dan Lizda Johar Mawarni. 2013. *Sintesis Natrium Silikat dari Lumpur Lapindo sebagai Inhibitor Korosi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- Febriyanti Rizki dkk, 2014. *Optimasi Waktu Kontak Modifikasi Silika Gel Dari Limbah Kaca Menggunakan Tributylamina*. Jurnal Jurusan Kimia FMIPA Universitas Tanjungpura, Pontianak
- Georgiev D, Bogdanov B, Krasimira A, Irena M, Hristov Y. 2009. *Synthetic zeolites structure, classification, current trends in zeolite synthetic review. International Science Conference*. 4-5.
- Giwangkara S, EG., 2006, "Aplikasi Logika Syaraf Fuzzy Pada Analisis Sidik Jari Minyak Bumi Menggunakan Spektrofotometer Infra Merah – Transformasi Fourier (FT-IR)", Sekolah Tinggi Energi dan Mineral, Cepu – Jawa Tengah
- Hardjatmo, Husaini. 1996. *Study the Properties of some Indonesian Natural Zeolites*, on One Day Seminar on Mineral Property and Utilization of Natural Zeolite. JSPS-BPPT. Jakarta.
- Hindrayawati, N. dan Alimuddin. 2010. *Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi Dengan menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH)*. Jurnal Kimia Mulawarman, No. 2, Vol. 7, pp 75-77.
- Hindrayawati, Mujiyanti. 2010. *Jenis-Jenis dan Sifat-Sifat Bambu, Silika, Ekstraksi Silika, Keramik Silika, dan Karakterisasinya, Skripsi*. Universitas Lampung, Lampung.
- Kahar, N. A., Susanto. A., Prihatiningsih, dan Maria C. 2007. *Adsorpsi Fe dan Mn dalam Limbah Cair dengan Zeolit Alam*. Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir.
- Korkosz, A.; Ptaszynska, A.; Hanel, A.; Niewiadomski, M. and Hupka, J., 2012, Cullet as Filter Medium for Swimming Pool Water Treatment, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 48:295-301.
- Lestari, Dewi Yuanita, 2010, *Kajian modifikasi dan karakterisasi zeolit alam dari berbagai negara*, Prosiding Seminar Nasional Kimia UNY, Yogyakarta.
- Marwati, siti. 2011. *Pemanfaatan Zeolit Sebagai Bahan Pembuat Formula Pakan dan Pengelolaan Kotoran Ternak Domba*. FMIPA UNY, Yogyakarta.
- Niwa, Anggita 2013. <http://kimiacorner.blogspot.com/2013/04/kristalisasi.html> diakses pada 25/11/13 pukul 23:21.
- Reyes, Carlos AR, Luz Yolanda. 2011. *Application of Illite and Kaolinite rich clays in the synthesis of zeolites for wastewater treatment*. Earth and Environmental Science. In Tech. Croatia.
- Saadah, Dalilah .F.A., Ericha I.M., Nurul Hidayati, 2017. *Pembuatan Gal Silika Dari Limbah Kaca Dengan Bantuan Ultrasound Bath dan Microwave*. Prosiding SEMNASTEK 2017 hlm 2,

Fakultas Teknik Universitas  
Muhammadiyah Jakarta, DKI Jakarta.

- Saraswati, Indah, 2015, *Zeolite-A Synthesis from Glass* , Jurnal Sains dan Matematika di Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sugiarti, Sri., Charlena, dan Nurul Afiati Aflakhah. 2017. *Zeolit Sintetis Terfungsionalisasi 3-(Trimetoksisilil)-1-Propantiol sebagai Adsorben Kation Cu(II) dan Biru Metilena* , Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia, 3(1), Mei 2017, 11-19 , Bogor.
- Sutarti, M., dan Rachmawati, M. 1994. *Zeolit Tinjauan Literatur*. Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah LIPI, Jakarta. 57pp.
- Svehla, 1979, *Buku Ajar Vogel: Analisis Anorganik Kuantitatif Makro dan Semimikro*, PT Kalman Media Pusaka, Jakarta.
- Thermo Nicolet. (2001). *Introduction to FTIR Spectrometry*. Thermo Nicolet Inc: Madison,USA.
- Trivana, L, Sri Sgiarti, dan Eti Rohaeti. 2015. *Sintesis Dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) Dari Sekam Padi*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Yuliusman, Widodo W.P., Yulianto.S.N. 2013. *Pemilihan Adsorben untuk Penyerapan Karbon Monoksida Menggunakan Model Adsorpsi Isotermis Langmuir*. Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia Kampus UI Depok, Depok.
- <http://www.menlhk.go.id/berita-189-indonesia--finlandiabahas-kerjasampengelolaan-sampah-menjadi-energi.html>.