

PEMANFAATAN LIMBAH KACA UNTUK SINTESIS ZEOLIT DENGAN VARIASI WAKTU TINGGAL DALAM REAKTOR HIDROTERMAL

Ericha Indriani Marjuki, Nanda Amelia, Nurul Hidayati Fithriyah.

Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta, Jl. Cempaka Putih No.27 Jakarta Pusat, 10510
emarjuki@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan memanfaatkan limbah kaca sebagai sumber silika pada sintesis zeolit dengan menggunakan metode hidrotermal. Bahan baku yang digunakan dalam sintesis zeolit adalah limbah kaca yang di dapat dari laboratorium atau disebut dengan borosilikat, dan bahan pembantu nya yaitu Natrium Hidroksida (NaOH) dimana bahan tersebut digunakan untuk membentuk Natrium Silikat dengan konsentrasi NaOH 3M. Larutan Natrium Silikat dicampur dengan Natrium Aluminat dengan cara dicampurkan kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dan dimasukkan ke dalam reaktor hidrotermal dengan suhu 100°C dengan variasi waktu tinggal 3 jam; 3,5 jam; 4 jam; 4,5 jam; 5 jam. Hasil rendemen tertinggi diperoleh dari varian waktu tinggal 4 jam namun struktur yang terbentuk belum stabil karena masih mengikat karbonat. Sedangkan tertinggi kedua ialah 4,5 jam dengan struktur zeolit yang stabil dan murni serta kekuatan adsorpsi sebesar 76%. Dari perhitungan *yield* adsorpsi di dapatkan bahwa waktu tinggal optimum ialah 4,5 jam dengan *yield* sebesar 11,61%. Zeolit yang terbentuk memiliki rasio Si:Al sebesar 1:1. Zeolit yang memiliki struktur yang stabil dan murni ialah zeolit dengan struktur $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_2$ dengan panjang gelombang 863-877 cm^{-1} .

Kata kunci: *Adsorben, Hidrotermal, Limbah Kaca, Zeolit*

Abstract

This study aims to use silica in zeolite synthesis using hydrothermal methods. The raw materials are materials that can be obtain from laboratory or can be called borosilicate, and the auxiliary ingredients are sodium hydroxide (NaOH) where we form the sodium silicate with 3M NaOH concentration. Sodium silicate solution was mixed with sodium aluminate by stir it using a magnetic stirrer and put it into a hydrothermal reactor with a temperature of 100°C with a variation of residence time 3 hour; 3.5 hours; 4 hours; 4.5 hours; 5 hours. The highest yield was found in 4 hour residence time variant but the formed structure is not yet stable because it still binds to carbonate. While the second highest is 4.5 hours with stable and pure zeolite structure and adsorption power of 76%. From the yield calculation, the optimal results are the 4.5 hours with a result of 11.61%. The formed zeolite has a Si: Al ratio of 1: 1. The formed zeolite which has a stable and pure zeolite structure is the structure of $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_2$ with a wavelength of 863-877 cm^{-1} .

Keywords : *Adsorbent, Hydrothermal, Glass Waste, Zeolite*

PENDAHULUAN

Limbah kaca yang jarang dimanfaatkan dapat digunakan untuk mensintesa zeolit. Hal tersebut dikarenakan kandungan SiO_2 (silika) yang terdapat pada limbah kaca cukup tinggi. Limbah kaca direaksikan dengan NaOH (natrium hidroksida) di mana akan membentuk natrium silikat. Natrium silikat nantinya akan

direaksikan dengan natrium aluminat sehingga membentuk zeolit dengan rasio Si:Al adalah 1:1. Zeolit merupakan mineral dengan struktur kristal alumino silikat yang berbentuk rangka (*framework*) tiga dimensi, dengan struktur berbentuk tetrahedral unit TO_4 , di mana T adalah ion Si^{4+} atau Al^{3+} dengan atom O berada diantara dua atom T. (Husaini dan Hardjatmo,

1996). Zeolit biasa digunakan sebagai kation penyeimbang, agen pendehidrasi, penukar ion, adsorben, dan katalis (Bailey, dkk, 1999).

Pereaksian natrium silikat dan natrium aluminat menggunakan metode hidrotermal untuk mengikuti proses pembentukan zeolit alam di bawah permukaan bumi. Dengan menggunakan metode hidrotermal zeolit yang terbentuk akan memiliki pori – pori yang semakin besar sehingga terqualifikasi untuk menjadi adsorben.

Penelitian sebelumnya oleh Saraswati tahun 2015 meneliti bahwa zeolit A dapat disintesa menggunakan limbah kaca, namun metode yang ia gunakan ialah sol gel. Hasil yang ia dapatkan ialah bahwa zeolit dari limbah kaca memiliki struktur yang hampir sama dengan Zeolit A dengan ratio Si:Al adalah 1:1,05

Dari penelitian yang dilakukan oleh Wittayakan dkk tahun 2008 dalam mensintesa zeolit perubahan waktu tinggal dalam reaktor hidrotermal memberikan hasil transformasi yang signifikan. Karena penelitian zeolit ini ditujukan agar zeolit dapat difungsikan sebagai adsorben, maka pembesaran pori pada zeolit adalah hal yang diutamakan.

METODE

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan : Beaker glass, magnetic stirrer, pemanas listrik ultrasound, pemanas listrik microwave, kertas saring Whatman, gelas ukur, stopwatch, pipet tetes, pengaduk, reaktor hidrotermal, cawan porselen, ayakan mesh 80-100, oven, kaca arloji, labu erlenmeyer, dan corong

Bahan yang digunakan : Limbah kaca borosilikat, kristal natrium hidroksida, serbuk alumunium hidroksida, dan aquadest.

Metode Penelitian

Persiapan Bahan Baku

Limbah kaca dibersihkan dan dikeringkan kemudian didestruksi hingga halus dan diayak dengan ayakan 80 dan 100 mesh.

Pembuatan Larutan Natrium Silikat

50 gram serbuk kaca halus ditambahkan dengan 150 ml NaOH dengan konsentrasi 3M 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 akuades 100 ml, kemudian diaduk dengan magnetic stirrer selama ± 2 jam pada temperatur 100°C. Selanjutnya disaring dan diambil filtrat yang merupakan larutan natrium silikat.

Pembuatan Larutan Natrium Aluminat

20 gram serbuk Natrium Hidroksida dilarutkan dengan 100 ml Aquadest sambil dipanaskan. Kemudian ditambahkan 8.5 gram serbuk Alumunium Hidroksida dan aduk hingga larutan homogen.

Sintesis Zeolit

20 l Natrium Silikat dan 20 ml Natrium Aluminat dicampur kemudian diaduk dengan magnetic stirrer selama 2 jam. Kemudian dimasukkan ke dalam reaktor hidrotermal dan dipanaskan di dalam oven dengan variasi waktu 5 ; 4.5 ; 4 ; 3.5 ; 3 jam dengan suhu 100°C. Didiamkan hingga reaktor dingin kemudian larutan dikeluarkan dan disaring. Hasil saringan dikeringkan dengan oven pada suhu 100°C selama 15 jam dan didapatkan padatan zeolit.

Metoda Analisa

Analisa Kapasitas Adsorpsi

Timbang sebanyak 0,5 g sampel zeolit yang telah dikeringkan dengan neraca. Kemudian sampel dimasukkan kedalam air yang telah dicampur dengan pewarna *Flavorin*, kontakkan selama 30 menit. Larutan di filtrasi, kemudian timbang bobot kembali. Dipanaskan di oven pada temperatur 100°C selama 30 menit. Dinginkan hingga mencapai temperatur ruang, lalu timbang sampel setelah dikeringkan hingga konstan dengan neraca. Lakukan hal serupa pada zeolit standar, untuk mengetahui kapasitas adsorpsinya.

Analisa Karakteristik Zeolit

Untuk mengetahui karakteristik zeolit yang dihasilkan, sampel diuji dengan alat XRD (*X – Ray Diffraction*) dan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*).

Analisa Korelasi

Analisa dilakukan untuk mengetahui korelasi antar Variabel dengan asumsi dengan persamaan linear sebagai berikut :

$$Y = a + bx \quad (1.1)$$

Dimana : Y = Rendemen (Suhu)
X = Variabel waktu

$$\text{Nilai } a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (1.2)$$

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (1.3)$$

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui keterkaitan antara variabel x dan y, dimana koefisien mempunyai nilai antara $-1 < r < 1$ dan nilai r dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$R = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \cdot \sqrt{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}} \quad (1.4)$$

Nilai R^2 semakin mendekati 1 menunjukkan korelasi/ hubungan yang erat antar variable x dan y.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah kaca yang digunakan ialah limbah kaca yang berasal dari alat laboratorium dimana komponen utamanya ialah silika. Dalam penelitian ini, silika dalam limbah kaca disintesa dengan metode hidrotermal menjadi zeolit. Kemudian zeolit di uji adsorpsi serta uji karakteristik dengan alat XRD dan FTIR. Adapun variasi waktu tinggal dalam reaktor dalam sintesa zeolit yang dilakukan sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Perhitungan Rendemen Zeolit dengan Variasi Waktu

No.	Variasi waktu (jam)	Berat Limbah Kaca (gram)	Hasil Zeolit (gram)	Rendemen (%)
1.	3	50	3,2	6,4
2.	3,5	50	6,33	12,66
3.	4	50	9,16	18,32
4.	4,5	50	7,64	15,28
5.	5	50	4,73	9,46

Dari data hasil percobaan dapat dilihat bahwa rendemen tertinggi diperoleh pada varian waktu 3,5 jam (12,66%) ; 4 jam (18,32%) dan ; 4,5 jam (15,28%). Selanjutnya zeolit di uji daya adsorpsinya dan didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Analisa Kapasitas Adsorpsi Zeolit Menggunakan Larutan Flavorin Sebagai Indikator Warna

No.	Variasi Waktu Tinggal (jam)	Berat Zeolit (gram)	Kapasitas Adsorpsi (gram)	Kekuatan Adsorpsi (%)
2.	3,5	0,5	0,27	54
3.	4	0,5	0,31	62
4.	4,5	0,5	0,38	76
6.	Komersial	0,5	0,45	90

Dapat dilihat bahwa zeolit dengan waktu tinggal 4,5 jam memiliki kekuatan adsorpsi terbesar yaitu 76% dan hampir mendekati zeolit komersial dimana zeolit komersial memiliki kekuatan adsorpsi sebesar 90%. Hal ini menyatakan bahwa jika diteliti lebih lanjut zeolit dari limbah kaca akan mampu bersaing dengan zeolit komersial lainnya.

Untuk mendapatkan waktu tinggal dalam reaktor optimum maka dilakukan perhitungan *yield* dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Yield Adsorpsi} = \frac{\text{massa teradsorpsi}}{\text{massa bahan baku}} = \text{kapasitas adsorpsi} \times \% \text{rendemen}$$

Dan didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

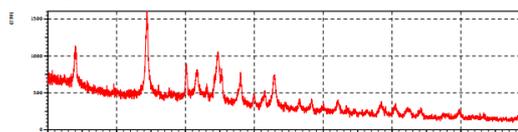
$$Y_4 = 62\% \times 18,32\% = 11,35\%$$

$$Y_{4,5} = 76\% \times 15,28\% = 11,61\%$$

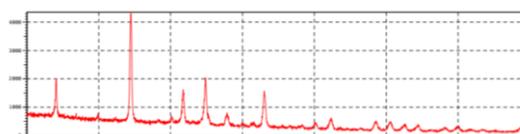
Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa waktu tinggal dalam reaktor hidrotermal yang optimum untuk sintesa zeolit ialah 4,5 jam.

Selanjutnya zeolit diidentifikasi karakteristiknya menggunakan alat XRD dan FTIR.

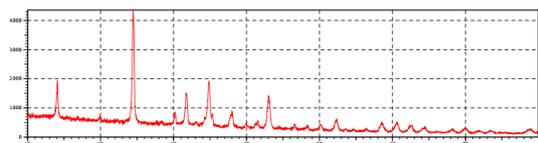
Analisa XRD dilakukan agar dapat mengetahui struktur kristal yang terbentuk serta mengetahui komponen – komponen lain yang terdapat pada zeolit.



Gambar 1. Hasil Uji Karakterisasi XRD Pada Waktu Tinggal 3,5 jam



Gambar 2. Hasil Uji Karakterisasi XRD Pada Waktu Tinggal 4 jam



Gambar 3. Hasil Uji Karakterisasi XRD Pada Waktu Tenggat 4,5 jam

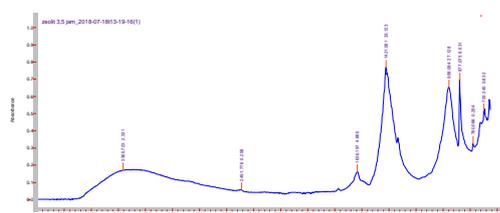
Berdasarkan hasil analisa didapatkan 3 senyawa dengan kadar tertinggi yaitu :

Tabel 3. Hasil Analisa XRD Terhadap Sampel Dengan Variasi Waktu Tenggat

No.	Variasi Waktu Tenggat (jam)	3 Senyawa Dengan Kadar Tertinggi					
		$\text{Na}_6[\text{AlSiO}_4]_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Na_2CO_3	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1,68\text{SiO}_2 \cdot 1,73\text{H}_2\text{O}$ $\text{O}_2 \cdot 1,73\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{CO}_3)_0,5(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	$\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_2$
2.	3,5	√	√	√			
3.	4		√		√	√	
4.	4,5		√		√		√

Berdasarkan data hasil analisa XRD ditemukan bahwa zeolit dari limbah kaca ini masih mengandung dolomit dan juga karbonat yang merupakan bawaan dari limbah kaca. Hasil analisa XRD menunjukkan bahwa terbentuk struktur yang memiliki kemiripan dengan struktur zeolit-A. Struktur tersebut terbentuk pada waktu tinggal 4,5 jam dengan struktur $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_2$. Namun ada pula struktur yang mendominasi yaitu struktur $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{CO}_3)_0,5(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

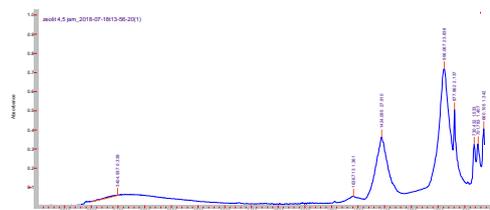
Analisa FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung di dalam zeolit sintetis. Karena zeolit memiliki struktur yang hampir sama dengan gel silika dapat dipastikan ia juga memiliki gugus fungsi silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si).



Gambar 4. Hasil Analisa FTIR Zeolit Dengan Waktu Tenggat 3,5 Jam



Gambar 5. Hasil Analisa FTIR Zeolit Dengan Waktu Tenggat 4 Jam



Gambar 6. Hasil Analisa FTIR Zeolit Dengan Waktu Tenggat 4,5 Jam

Tabel 4. Hasil Perbandingan Analisa FTIR

Wave Number (cm^{-1})	Perkiraan Struktur Kimia	Luas daerah di bawah puncak			Rasio Si:Al
		Waktu Tenggat (Jam)			
		3,5	4	4,5	
1421-1436	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1,68\text{SiO}_2 \cdot 1,73\text{H}_2\text{O}$	33,123	19,010	27,910	1:1,68
951-958	$\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{CO}_3)_0,5(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	27,128	33,024	23,838	1:1
863-877	$\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_2$	6,531	-	2,137	1:1
1002	Zeolit Komersial		64,286		1:1

syarat zeolit (Si:Al = 1:1) adalah yang di wakili oleh rentang nomor gelombang 951-958 cm^{-1} dan 863-877 cm^{-1} dengan struktur $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_2$. Dari kedua struktur tersebut, kadar tertinggi ditunjukkan oleh $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{CO}_3)_0,5(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Diperkirakan partikel zeolit dengan struktur inilah yang paling banyak terlibat dalam proses adsorpsi.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

1. Proses sintesa zeolit dengan bahan dasar limbah kaca alat gelas laboratorium (borosilikat) berhasil dilaksanakan dilakukan dengan metode hidrotermal.
2. Waktu tinggal dalam reaktor hidrotermal yang optimal adalah 4,5 jam dengan rendemen sebesar 15,28% dan kekuatan adsorpsi sebesar 76% atau 0.38 gram / gram serbuk, dan *yield* adsorpsi 11,61%.
3. Hasil analisa FTIR menunjukkan bahwa komponen terbanyak dalam zeolit sampel adalah senyawa yang mengandung karbonat yang diwakili oleh puncak dengan nomor gelombang 951-958 cm^{-1} .
4. Hasil analisa XRD menunjukkan bahwa zeolit dengan waktu tinggal 4 dan 4,5 jam hampir memiliki kesamaan struktur dengan zeolit A namun analisa XRD juga menunjukkan karbonat yang berasal dari limbah kaca.

5. Masih terdapat pengotor dari limbah kaca yang terikat pada zeolit antara lain : H_2O , Na_2CO_3 , dan $CaMg(CO_3)$.

Saran

1. Perlu penelitian lebih lanjut untuk mengetahui waktu yang optimum pada proses sonifikasi, pemanasan di *microwave* serta kecepatan pengadukan yang optimum.
2. Perlu adanya pemurnian limbah kaca sehingga tidak banyak pengotor yang terikat, khususnya senyawa karbonat.
3. Perlu analisa luas permukaan dan porositas (BET) zeolit untuk memastikan potensi adsorpsinya serta analisa struktur zeolit yang memadai (SEM dan TEM).

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Ibu Nurul Hidayati Fithriyah yang telah membiayai penelitian kami hingga dapat dipublikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, S., & Larasatai, D. 2013. *Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai Bahan Baku Pengembangan Produk*. Jurnal Tingkat Sarjana Senirupa dan Desain.
- Akimkhan, A. 2012. *Structural and Ion Exchange Properties of Natural Zeolite*.
- Ali, E., & Al-Tersawy, S. 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*. In *Construction and Building Materials* (pp. 1181-1185).
- Asip, F., Mardiah, R., & Husna. 2008. *Uji Efektifitas Cangkang Telur Dalam Mengadsorpsi*. Jurnal Teknik Kimia Vol. 15 No. 2.
- Bailey, S., Trudy, J., Olin, T., Bricka, M., & Adrian, D. 1999. *A Review of Potentially Low-Cost Sorbents for Heavy Metals*. In *Water Res.* 33 (pp. 2469-2479).
- Bogdanov, B., Georgie, D., K, A., & Y, H. 2009. *Synthetic Zeolites and Their Industrial and Environmental Applications Review*. International Science Convergence. Natural Mathematical Science.
- Coelfen, H., & Antonietti, M. 2008. *Mesocrystals and Nonclassical Crystallization*. United Kingdom (UK): John Wiley and Sons. Ltd.
- Coleman, N., Li, Q., & Raza, A. 2013. *Synthesis, Structure, and Performance of Calcium Silicate Ion Exchangers from Recycled Container Glass*. In *Physicochemical Problems of Mineral Processing* (pp. 5-16).
- Erdem, M., Altundogan, H., & Tumen, F. 2004. *Removal of Hexavalent Chromium by Using Heat-Activated Bauxite*. In *Mineral Engineering* (pp. 1045-1052).
- Fachry, A. R., Tumanggor, J., & L, N. P. 2008. *Pengaruh Waktu Kristalisasi Dengan Proses Pendinginan Terhadap Pertumbuhan Kristal Amonium Sulfat Dari Larutannya*. Jurnal Teknik Kimia No. 2.
- Georgiev, D., B.Bogdanov, K.Angelova, I.Markovska, & Y.Hristov. 2009. *Synthetic Zeolites-Structure, Classification, Current Trends in Zeolite*. International Science Conference. Bulgaria: Stara Zagora.
- Ginting, F. D. 2008. *Pengujian Alat Pendingin Sistem Adsorpsi Dua Adsorber Dengan Menggunakan Metanol 1000 ml Sebagai Refrigeran*. Depok: Universitas Indonesia.
- Hidup, K. L. 2017, June 7. *Indonesia - Finlandia Bahas Kerjasama Pengelolaan Sampah Menjadi Energi*. Retrieved from [www.menlhk.go.id](http://www.menlhk.go.id: http://www.menlhk.go.id/berita-189-indonesia-finlandia-bahas-kerjasama-pengelolaan-sampah-menjadi-energi.html)
- Hindrayawati, & Mujiyanti. 2010. *Jenis - Jenis dan Sifat - Sifat Bambu, Silika, Ekstraksi Silika, Keramik Silika, dan Karakterisasinya*. Lampung: Universitas Lampung .
- Husaini, & Hardjatmo. 1996. *Natural Zeolite Occurences in Indonesia*. Novel Uses of Inorganic Natural Resources Seminar. Yogyakarta.
- Imam, T., Arneli, & Suseno, A. 2013. *Pengaruh Konsentrasi NaOH Pada Pengambilan Silika Dari Abu Sekam Padi Untuk Sintesis Zeolit Dan Aplikasi Sebagai*

- Builder Deterjen*. Chem Info Vol 1 No 1, 275-282.
- Korkosz, A., Ptaszynska, A., Hanel, A., Niewiadomski, M., & Hupka, J. 2012. *Cullet as Filter Medium for Swimming Pool Water Treatment*. In *Physicochemical Problems of Mineral Processing* (pp. 295 - 301).
- Lestari, D. Y. 2010. *Kajian Modifikasi Dan Karakterisasi Zeolit Alam Dari Berbagai Negara*. Prosiding Seminar Nasional Kimia UNY. Yogyakarta: UNY.
- Mc.Cabe, W. L. 1985. *Unit Operations of Chemical Engineering*. Singapore: Mc Graw-Hill Book Co.
- Nugraha, Y. 2016. *Pengenalan Spektroskopi FTIR*. Bandung : Universitas Pendidikan Indonesia .
- eyes, C. R., & Yolanda, L. 2011. *Application of Illite and Kaolinite Rich Clays in The Synthesis of Zeolites for Wastewater Treatment*. Earth and Environmental Science. Croatia: InTech
- Saraswati, I. 2015. *Zeolite-A Synthesis from Glass*. Jurnal Sains dan Matematika .
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Mudzakir, A. (2012). *Karakterisasi Material;Prinsip dan Aplikasinya Dalam Penelitian Kimia*. Bandung: UPI PRESS.
- Setyoprato, P., Siswanto, W., & Ilham, H. S. 2003. *Studi Eksperimental Permurnian Garam NaCl Dengan Cara Rekrystalisasi*. Unitas Vol 11 No. 2.
- Sihombing, M. 2013. *Penetapan Kadar Alumunium Hidroksida Dalam Sediaan Tablet Antasida Yang Beredar Di Kota Medan Dengan Metode Kompleksometri*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Sutarti, M., & Rachmawati, M. 1994. *Zeolit : Tinjauan Literatur*. Jakarta: Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Tai, C., Chien, W., & Chen, C. 1999. *Crystal Growth Kinetics of Calcite in A Dense Fluidized Bed Crystallization*. Journal of Chemical Engineering Vol 45.
- Thermo, N. (2001). *Introduction to FTIR Spectrometry*. Retrieved from Thermo Nicolet Inc: www.thermonicolet.com,
- Trivana, L., Sugiarti, S., & Rohaeti, E. 2015. *Sintesis dan Karakterisasi Natrium Silikat dari Sekam Padi*. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan Vol. 7 No. 2, 66-75.