

Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Limbah Kaca untuk Menurunkan Kesadahan Air

Kurnia Ramadani

UIN Alauddin Makassar

e-mail: kurnia.ramadani@uin-alauddin.ac.id

Abstrak

Limbah gelas adalah sampah anorganik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Kandungan SiO₂ yang tinggi dalam limbah gelas memiliki potensi sebagai bahan dasar dalam sintesis silika gel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan kemampuan silika gel dalam mengurangi kesadahan air sumur. Tahapan dalam penelitian ini dimulai dari ekstraksi silika dari limbah gelas, sintesis silika gel, aktivasi dengan HCl dan pengujian untuk mengurangi kesadahan air sumur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik silika gel dengan variasi konsentrasi 0,5 M HCl, 0,75 M dan 1 M menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) memiliki struktur amorf dengan kandungan SiO₂ sebesar 96,1%, 92,1%, dan 89,1%, dan diameter kristal (D) 3,803 nm, 2,653 nm dan 2,204 nm serta hasil uji kesadahan menurun pada sumur I, II dan III sebesar 38,09%, 9,31% dan 12,5%

Kata kunci : Silika Gel. Limbah Kaca, kesadahan air

1. PENDAHULUAN

Silika gel merupakan suatu molekul berbasis silika dengan rumus umum SiO₂.xH₂O. Struktur satuan mineral silika pada dasarnya mengandung kation Si⁴⁺ yang terkoordinasi secara tetrahedral dengan anion O²⁻. Silika gel dapat disintesis dari reaksi antara SiO₂ dengan natrium silikat dalam Oscik (1982). SiO₂ dapat diperoleh dari berbagai sumber salah satunya dari limbah kaca.

Limbah kaca merupakan salah satu limbah anorganik yang terdapat melimpah dengan jumlah mencapai 0,7 juta ton di Indonesia per tahun dan sebagian besar berasal dari botol, alat gelas dapur dan bahan bangunan dalam Ministry of Environment (2008). Senyawa utama yang terkandung dalam limbah kaca adalah silikon dioksida (SiO₂) dengan kadar lebih dari 70% dari total campuran senyawanya menurut Coleman *et al.* (2013) dalam Zhu *et al.* (2009). Tingginya kandungan SiO₂ dalam limbah kaca sehingga berpotensi untuk diolah menjadi silika gel.

Penelitian tentang sintesis silika gel dari limbah kaca sudah banyak dilakukan, namun hanya beberapa peneliti yang melakukan aktivasi untuk meningkatkan daya adsorpsinya. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Susanti mensintesis silika gel teraktivasi dari pasir kuarsa dan Maulana Yusuf mensintesis silika gel dari abu ampas tebu dengan variasi konsentrasi HCl yang menunjukkan bahwa variasi konsentrasi HCl mempengaruhi daya adsorpsi dari silika gel.

Silika gel yang memiliki sifat dapat mengadsorpsi logam diharapkan dapat diaplikasikan untuk menurunkan kesadahan air sumur di kelurahan Kapasa Raya kota Makassar memiliki kualitas yang rendah, ini ditunjukkan dari rasa asin dan jika dikontakkan dengan sabun atau deterjen menghasilkan sedikit busa.

Air sadah adalah istilah yang digunakan pada air yang mengandung kation penyebab kesadahan. Umumnya kesadahan disebabkan oleh adanya logam-logam atau kation yang bervalensi 2 seperti logam Fe, Sr, Mn, Ca dan Mg. Logam kalsium dan magnesium dalam air akan bersenyawa dengan bikarbonat, sulfat dan klorida yang akan membentuk flot-flot dalam air dikutip dari Marsidi (2001).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perlu dilakukan penelitian tentang sintesis dan

karakterisasi silika gel teraktivasi dengan variasi HCl dari limbah kaca bening yang mana akan diaplikasikan untuk menurunkan kesadahan pada air sumur.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu *X-ray diffraction* (XRD) maxima 7000 Shimadzu, *X-Ray Fluorescence* (XRF), *Spektrofotometer Serapan Atom* (SSA) Varian AA240FS, Shaker MAXQ 2000, Heraeus *furnace* M110, *pH meter*, *buret asam*, *statif dan klem*, *magnetic stirrer*, oven E018 merk Sharp, neraca analitik, *hot plate*, gelas ukur, labu ukur, erlenmeyer, gelas kimia, cawan porselin, ayakan 100 *mesh*, lumpang, alu, tabung reaksi, corong, pipet tetes batang pengaduk dan spatula.

2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu limbah kaca bening, asam klorida (HCl) p.a, akuades (H₂O), natrium hidroksida (NaOH) p.a, larutan induk timbal (Pb) 1000 ppm, pH Universal, kertas saring whatman no. 42, kertas saring biasa, aluminium foil, asam nitrat (HNO₃) pa, buffer pH 10, indikator Eriocrom Black T (EBT), indikator mureksid, natrium etylenediamintetraacid (Na-EDTA).

2.3 Prosedur Kerja

2.3.1 Preparasi Limbah Kaca

Limbah kaca dibersihkan dari pengotor-pengotornya dan dihaluskan kemudian diayak dengan ayakan 100 mesh. Selanjutnya dilakukan uji XRF.

2.3.2 Ekstraksi Silika dan Pembentukan Natrium Silikat

Sebanyak 100 gram serbuk kaca halus ditambahkan dengan 300 mL NaOH 3 M dan diaduk, kemudian dipanaskan dengan pemanas listrik hingga menguap. Selanjutnya, dikalsinasi pada temperatur 400°C selama 4 jam. Hasil reaksi ini berupa padatan serbuk silikat yang bersifat higroskopis. Padatan serbuk silikat dilarutkan dalam akuades 500 mL, kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 2 jam pada suhu 100°C. selanjutnya disaring dengan kertas whatman no. 42 sebanyak 2 kali penyaringan dalam Saputra, dkk (2014).

2.3.3 Sintesis Silika Gel

Asam klorida (HCl) dengan variasi konsentrasi 0,5; 0,75 dan 1 M ditambahkan ke dalam larutan natrium silikat tetes per tetes hingga pH netral. Larutan diaduk perlahan hingga membentuk gel. kemudian didiamkan selama 18 jam pada suhu ruang dan dicuci dengan aquades (H₂O) hingga pH netral. Setelah itu, dioven kembali pada suhu 100°C selama 6 jam kemudian digerus kembali dan dikarakterisasi dengan XRD dalam Saputra, dkk (2014).

2.3.4 Aktivasi silika gel

Sebanyak 4 gram silika gel dimasukkan dalam larutan 20 mL asam klorida (HCl) 1 M kemudian dipanaskan sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 60 menit. Setelah itu, dicuci dengan aquades hingga pH netral. Menyaring Residu (silika gel) selanjutnya dioven pada suhu 120°C selama 3 jam dalam Susanti (2015).

2.3.5 Aplikasi silika gel untuk menurunkan kesadahan air sumur

a. Preparasi sampel air

Sampel air diambil dari tiga titik di kelurahan Kapasa Raya kota Makassar masing-masing pada pagi, siang dan malam hari, kemudian dimasukkan ke dalam botol steril dan dipipet sebanyak 100 ml ke dalam gelas kimia 250 ml, ditambahkan 5 ml asam nitrat

(HNO₃) pa, didestruksi dan disaring, selajutnya dianalisis dengan menggunakan spektrofotometri serapan atom (SSA) dalam Kristianingrum (2012)

b. Pengujian pH

pH yang akan diuji dimasukkan ke dalam gelas kimia. Elektroda dibilas dengan akuades, selanjutnya dicelupkan pada sampel uji dan diamati. Dilakukan kembali setelah proses adsorpsi (SNI 01-3554-2016: 2).

c. Penetapan Kesadahan Total

25 mL air sumur dipipet ke dalam erlenmeyer 250 mL, kemudian ditambahkan 5 mL *buffer* pH 10 dan indikator *Eriocrom Black T* (EBT), selanjutnya dititrasi dengan menggunakan *Etilen Diamine Tetra Acid* (EDTA) 0,1 M hingga terjadi perubahan warna dari merah ungu menjadi biru. Dilakukan kembali setelah proses adsorpsi dalam Astuti, dkk, (2015).

d. Penentuan Kadar Kalsium (Ca)

25 mL air sumur dimasukkan ke dalam erlenmyer 250 mL, kemudian ditambahkan 2 mL *buffer* pH 12 dan indikator mureksid, selanjutnya dititrasi dengan menggunakan *Etilen Diamine Tetra Acid* (EDTA) 0,1 M hingga terjadi perubahan warna dari merah muda menjadi ungu. Dilakukan kembali setelah proses adsorpsi dalam Astuti, dkk., (2015).

e. Variasi Sampel Air Sumur

50 mL sampel air sumur dicampurkan dengan 0,1 gram silika gel pada variasi sampel air sumur I, air sumur II dan air sumur III dan waktu kontak 60 menit. Selanjutnya diaduk dengan *shaker*, disaring dan diuji kesadahannya dalam Mar'atus (2012).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kandungan silika pada limbah

Pada penelitian ini sampel yang digunakan yaitu limbah kaca yang diperoleh dari tempat pembuatan lemari dan perabotan rumah tangga yang bertempat di Borong Raukang, Samata-Gowa, Sulawesi Selatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan silika pada limbah kaca cukup besar yaitu 84,20%.

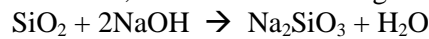
Tabel 1 Hasil Analisis Komposisi Serbuk Kaca dengan *X-Ray Flourescence* (XRF)

Komposisi	Konsentrasi (%)
SiO ₂	84,20
CaO	12,37
Al ₂ O ₃	2,60
K ₂ O	0,442
TiO ₂	0,122
Fe ₂ O ₃	0,115
ZnO	0,0596
ZrO ₂	0,0421
SnO ₂	0,0141
Nb ₂ O ₅	0,0125
MoO ₃	0,0074
Rb ₂ O	0,0066

3.2 Pembentukan natrium silikat

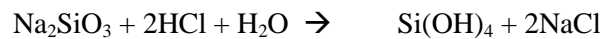
Natrium silikat dapat diperoleh dengan mereaksikan serbuk kaca hasil destruksi dengan natrium hidroksida. Pelarutan serbuk kaca dilakukan dengan menggunakan pelarut alkali, karena diketahui silika memiliki kelarutan yang rendah pada pH 2-9 yaitu 100-140 mg/L dan

kelarutan yang lebih tinggi diatas pH 9 dalam Ishizaki (1998). Dengan demikia, sangat memungkinkan untuk memperoleh silika yang optimal jika pelarutnya adalah pelarut alkali. Proses kalsinasi dilakukan pada temperatur 400°C, karena berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Imami (2008) pada temperatur ini efektif untuk reaksi antara silika dalam kaca dengan NaOH. Jadi pada temperatur ini dimungkinkan silika yang terkandung dalam kaca dapat terekstrak secara optimal. Hasil yang diperoleh berupa padatan serbuk silikat yang bersifat higroskopis. Selanjutnya untuk mengoptimalkan pelarutan natrium silikat dilakukan pelarutan kembali dengan aquades agar natrium silika yng belum larut dapat larut dengan optimal. Sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Scott (1993), apabila NaOH direaksikan dengan SiO₂ akan menghasilkan natrium silikat, menurut reaksi sebagai berikut



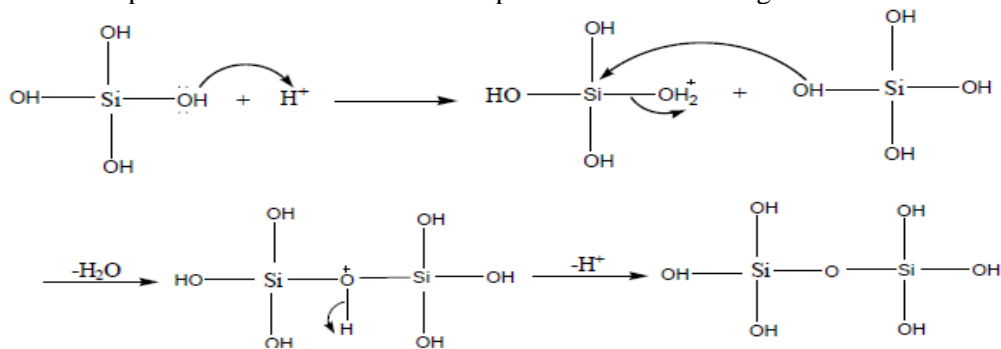
3.3 Sintesis silika gel

Natrium silikat yang terbentuk memiliki pH basa sehingga dengan penambahan HCl akan membentuk monomer-monomer asam silikat. Reaksi pembentukan asam silikat yaitu sebagai berikut.



Asam silikat dalam air membentuk dispersi asam silikat yang disebut dengan hydrosol. Selanjutnya monomer-monomer asam silikat akan mengalami polimerisasi kondensasi sampai akhirnya membentuk polimer asam silikat

Reaksi pembentukan silika hidrosol dapat diilustrasikan sebagai berikut.



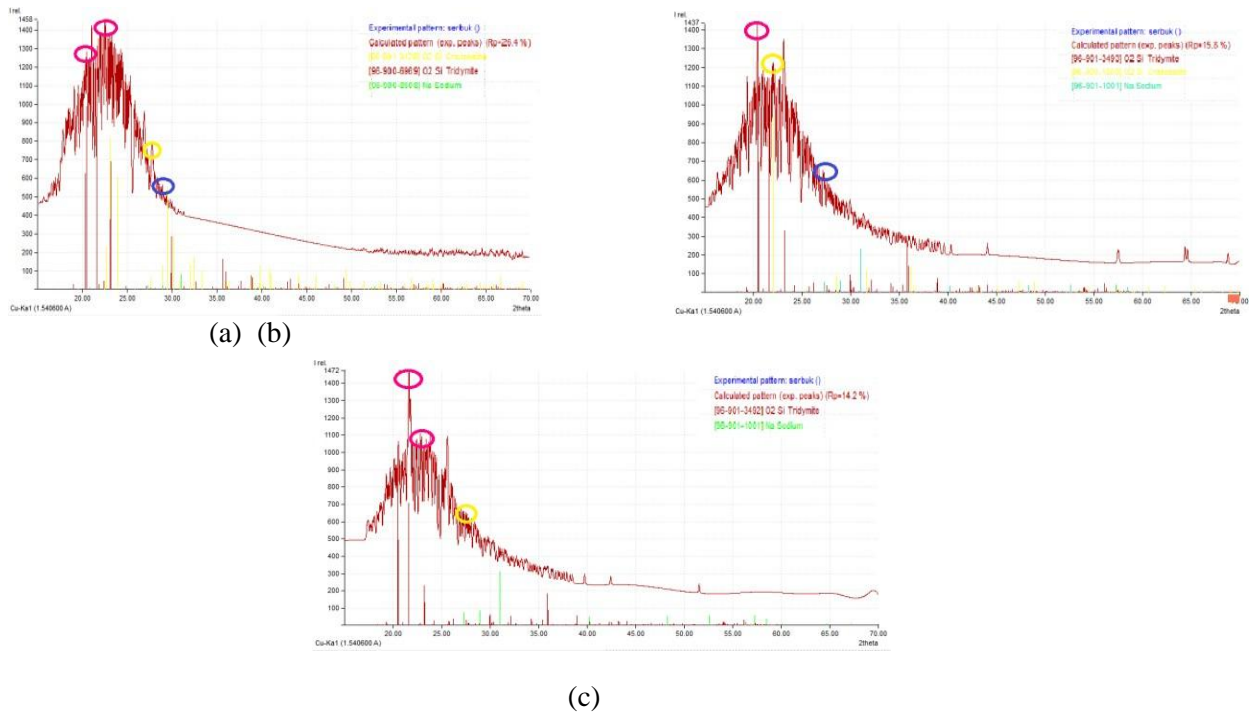
Gambar 1 Mekanisme Pembentukan Silika Gel

Sumber: Prastiyanto, dkk. (2012)

Penambahan asam klorida (HCl) pada sintesis silika gel mengakibatkan asam silikat (Si(OH)₄) yang merupakan monomer silika gel mengalami pembentukan gugus siloksan (Si-O-Si), sehingga menghasilkan silika gel yang kaku. Pembentukan gugus siloksan (Si-O-Si) terjadi karena gugus OH dari Si(OH)₄ mengalami hidrasi dan membentuk OH⁺ yang merupakan gugus pergi (*leaving group*) yang baik. Hal ini memudahkan gugus -OH yang lain untuk mensubstitusi OH⁺ yang pergi sehingga terbentuk gugus atau ikatan siloksan (Si-O²Si) yang merupakan penghubung antara gugus silanol (Si-OH) yang satu dengan yang lainnya.

3.4 Karakterisasi silika gel dengan X-Ray Diffraction (XRD)

Silika gel yang dihasilkan dilakukan uji *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur, sistem kristal dan fasa suatu material. Hasil dari analisis ini berupa pola-pola difraksi yang akan disesuaikan dengan pola difraksi dari *database Joint Committee on Powder Diffraction Standard* (JCPDS). Hasil yang diperoleh dari ketiga variasi silika gel menghasilkan difraktogram dengan puncak yang melebar pada sudut $2\theta = 20-23^\circ$. Gambar 2 yang menunjukkan bahwa silika gel yang dihasilkan mempunyai struktur amorf.



Gambar 2 difraktogram silika gel (a) 0,5 M HCl (b) 0,75 M HCl (c) 1 M HCl

Tabel 2 Hasil Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

Sampel	Jenis mineral	Sistem kristal	struktur	Kadar (%)
SG 0,5	Tridimit	Ortorombik	SiO ₂	96,1
	Kristobalt	Monoklinik		
SG 0,75	Tridimit	Monoklinik		92,1
	Kristobalt	Tetrahedral		
SG 1	Tridimit	Monoklinik		89,1

Hasil karakterisasi dengan XRD dapat menentukan diameter kristal (D) dengan menggunakan persamaan Scerrer yang mengacu pada hukum Bragg berdasarkan sudut dan setengah dari nilai peak yang tertinggi (FWHM).

Tabel 3 Diameter kristal silika gel

No	Sampel	FWHM	D (nm)
1	SG 0,5 M	0,0482	3,803
2	SG 0,75 M	0,05792	2,653
3	SG 1 M	0,06978	2,204

Pada Tabel 3, Silika gel dengan konsentrasi HCl 1 M memiliki diameter kristal yang lebih kecil dibandingkan dengan silika gel dengan konsentrasi HCl 0,75 M dan 0,5 M. Terlihat bahwa nilai FWHM mempengaruhi ukuran diameter kristal, hal tersebut dipengaruhi oleh struktur silika gel yang amorf.

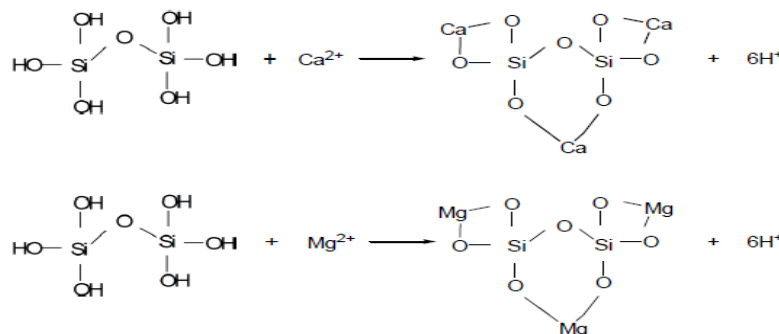
3.5 Penurunan kesadahan air sumur dengan silika gel

Silika gel hasil sintesis selanjutnya di aplikasikan untuk menurunkan kesadahaan air sumur. Silika gel yang mengandung gugus siloksan dan silanol dapat menyerap logam alkali dan alkali tanah yang mana yang kita ketahui bahwa penyebab kesadahan air adalah karena adanya logam-logam yang bereaksi membentuk flot. Sampel air sumur diambil pada tiga titik di keluran kapasa raya Makassar. Hasil analisisnya dapat dilihat pada table 4

Tabel 4 Tingkat kesadahan, kekeruhan dan pH air sumur sebelum adsorpsi

Sampel Air Sumur	Sebelum		Setelah		Penurunan Kesadahan Total (%)
	Kesadahan (mg/L)	pH	Kesadahan (mg/L)	pH	
I	672	7,3	416	7,1	38,0952
II	816	7,5	740	7,4	9,3137
III	448	7,7	392	7,6	12,5

Analisis awal air pada sumur I dan II mengalami kesadahan dimana kadar kesadahan totalnya melampaui ambang batas standar nasional Indonesia (SNI) untuk air bersih, sedangkan air pada sumur III masih berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan. Ambang batas kesadahan air total menurut standar nasional Indonesia (SNI) yaitu sebesar 500 ppm. Penyerapan oleh silika gel hasil sintesis menunjukkan penurunan yang cukup tinggi dan yang paling tinggi terjadi pada sumur I sebesar 38,0952% sehingga menyebabkan kesadahan pada air sumur sumur tersebut sudah di bawah ambang batas begitupun pada air sumur II mengalami penurunan sebesar 9,3137%. Penurunan kesadahan pada sumur II lebih rendah ini disebabkan tingkat kesadahan pada sumur II cukup tinggi sehingga tidak sebanding dengan jumlah adsorbat (silika gel) sehingga menyebabkan tumbukan yang terjadi saat adsorpsi tidak berlangsung dengan efektif dan memungkinkan adanya adsorbat yang telah diserap akan dilepaskan kembali oleh adsorben kemudian menyebabkan ion logam Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang terserap oleh silika gel menjadi menurun. Sedangkan pada sumur III penurunan kesadahannya sebesar 12,5%. Proses penyerapan silika gel terhadap logam-logam alkali tanah penyebab kesadahan dapat dilih pada gambar 4



Gambar 3 Pengikatan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} penyebab kesadahan oleh silika gel

Pada gambar 3 terlihat bahwa gugus silanol (Si-OH) pada silika gel yang kehilangan ion H^+ nya memiliki situs aktif O^- yang mampu mengikat logam alkali tanah. Sehingga kesadahan air sumur dapat menurun akibat teradsorpsinya kalsium dan magnesium oleh silika gel.

4. KESIMPULAN

1. Hasil karakteristik silika gel dari limbah kaca menggunakan X-ray Diffraction (XRD) dengan variasi konsentrasi asam klorida 0,5 M, 0,75 M dan 1 M, memiliki struktur amorf dengan kadar silika (SiO₂) sebesar 96,1 %, 92,1 % dan 89,1 % serta memiliki diameter kristal (D) sebesar 3,803 nm, 2,653 nm dan 2,204 nm.
2. Penurun kesadahan total pada air sumur I, II, dan III sebesar 38,0952 %, 9,3137 % dan 12,5 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, Dian Wuri, dkk., 2005, Penetapan Kesadahan Total (CaCO₃) Air Sumur di Dusun Cekelan Kemusu Boyolali dengan Metode Kompleksometri, *Kemas* (online). Vol 9, No.2
- 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*(online). 50:5-16.
- Imami, W,N, 2008, Sintesis Silika Gel dari Kaca dengan Menggunakan NaOH dan HCl, *Skripsi*, Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Diponegoro, Semarang.
- Ishizaki, K, Komareni, S, Nanko, M, 1998, *Porous Material: Process technology and Applications*, Kluwer Acaademic Publisher, London.
- Mar'atus S. Ihda dan Agung Nugroho Catur Saputro, 2012, Preparasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi Sebagai Adsorben Logam Nikel (Ni) dalam Limbah Elektroplating, *Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia IV*, h. 163-176.
- Marsidi, Ruliasi, 2001, Zeolit untuk Mengurangi Kesadahan Air, *Teknologi Lingkunga*, Vol 2 No.1.
- Ministry of Environment, 2008, *Indonesian Domestic Solid Waste Statistic Year 2008*, State Ministry of Environment The Republic of Indonesia, Jakarta.
- Oscik, 1982, *Adsorption*, Ellis Horwood Limited, England.
- Prastiyanto, Agus., dkk, 2012, Pengaruh Penambahan Merkaptobenzotiazol (MBT) terhadap Kemampuan Adsorpsi Gel Silika dari Kaca pada Ion Logam Kadmium, 1-12.
- Saputra, Robi Maulana; dkk, 2014, Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Limbah Kaca Termodifikasi Asam Sterarat, *JKK*, Vol 3, no. 3.
- Scott, R. P. W. 1993. *Silica Gel and Bonded Phases*, John Wiley and Son's Ltd, Chicester.