



**SINTESIS SILIKA GEL TERMODIFIKASI ETANOLAMINA  
DENGAN OPTIMASI KOMPOSISI DAN KONSENTRASI  
KATALIS ASAM**

**SKRIPSI**

Oleh

**Khumairah  
NIM 141810301007**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**



**SINTESIS SILIKA GEL TERMODIFIKASI ETANOLAMINA  
DENGAN OPTIMASI KOMPOSISI DAN KONSENTRASI  
KATALIS ASAM**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Kimia (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

**Khumairah**  
**NIM 141810301007**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**

## PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang maha pengasih lagi maha penyayang, yang telah meridhoi setiap tahap dalam menyelesaikan skripsi ini. Saya persembahkan skripsi ini dengan penuh ketulusan kepada:

1. Ayahanda Elvisar Habasyi dan Ibunda Wahidah Bilfegih atas doa, cinta dan kasih sayang yang telah diberikan selama ini;
2. Segenap keluarga besar dan saudara-saudara, Kakek Agil Bilfegih (Alm) dan Abdul Khaliq Habasyi (Alm), Nenek Khadijah Maziun dan Muzenah Habasyi, Tante Reihana Bilfegih dan Syafirah Bin Thalib, Om Muhammad dan Mustofa Ramadhan Bilfegih, serta kakakku Radifa Fajrin Habasyi atas doa, dukungan, dan motivasi yang tiada henti;
3. Bapak/Ibu guru TK dan SD Al Irsyad Al-Islamiyyah, SMPN 1 Situbondo, SMAN 2 Situbondo, bapak/ibu dosen kimia, teknisi jurusan Kimia, dan segenap karyawan FMIPA Universitas Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu, serta pengalamannya;
4. kawan seperjuangan Kimia 2014 (MAJESTY), keluarga besar Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, almamater Universitas Jember, teman-teman kontrakan Karimata, serta teman-teman KKN 11, terima kasih atas semangat, bantuan, saran, perhatian dan kenangan yang telah diberikan;
5. sahabat seperjuangan Eka Safitri L.A, Moh. Hisyam N.A.G, Siti Mariya Ulfa, Nikmatus Soleha, Wenny Farida, Vidya Wahyu P, Nanda Ain An'nisa Adityan Andrianto, Eldiani Aulia, Hendra Budi, Richard Erbachan, Evan Agus M, Alfriyani Feby, Ainul Avida, terima kasih atas doa, dukungan, semangat dan perhatian yang diberikan selama ini;
6. semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

## MOTO

Barang siapa bersungguh-sungguh, sesungguhnya kesungguhannya itu adalah untuk dirinya sendiri.

(terjemahan Surat *Al-Ankabut* ayat 6) \*)

Keberhasilan adalah sebuah proses. Niatmu adalah awal keberhasilan. Peluh keringatmu adalah pendedapnya. Tetesan air matamu adalah pewarnanya. Doamu dan doa orang-orang disekitarmu adalah bara api yang mematangkannya. Kegagalan di setiap langkahmu adalah pengawetnya. Maka dari itu, bersabarlah! Allah selalu menyertai orang-orang yang penuh kesabaran dalam proses menuju keberhasilan. \*\*)

Jenius adalah 1% inspirasi dan 99% keringat. Tidak ada yang dapat menggantikan kerja keras. Keberuntungan adalah sesuatu yang terjadi ketika kesempatan bertemu dengan kesiapan. \*\*\*)

---

\*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2010. *Al-Quran dan Terjemahannya*. Bandung: CV. Pustaka Agung Harapan

\*\*\*) Rais, H.S dan Almahendra, R. 2013. *99 Cahaya di Langit Eropa: Perjalanan Menapak Jejak Islam di Eropa*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka.

\*\*\*\*) Albion, Michele Wehrwein. 2008. *The Florida Life of Thomas Edison*. Gainesville: University Press of Florida.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Khumairah

NIM : 141810301007

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Sintesis Silika Gel Termodifikasi Etanolamina dengan Optimasi Komposisi dan Konsentrasi Katalis Asam” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 9 Juli 2018

Yang menyatakan,



Khumairah

NIM 141810301007

**SKRIPSI**

**SINTESIS SILIKA GEL TERMODIFIKASI ETANOLAMINA  
DENGAN OPTIMASI KOMPOSISI DAN KONSENTRASI  
KATALIS ASAM**

Oleh

**Khumairah**  
**NIM 141810301007**

**Pembimbing**

Dosen Pembimbing Utama : Yudi Aris Sulistiyo, S.Si., M.Si

Dosen Pembimbing Anggota : Suwardiyanto, S.Si., M.Si., Ph.D

PENGESAHAN

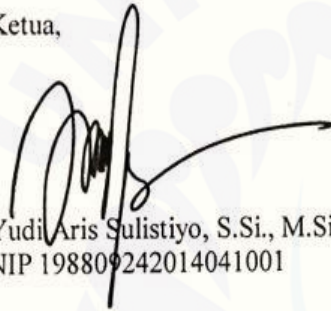
Skripsi berjudul “Sintesis Silika Gel Termodifikasi Etanolamina dengan Optimasi Komposisi dan Konsentrasi Katalis Asam” karya Khumairah telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : **SENIN 16 JUL 2018**

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

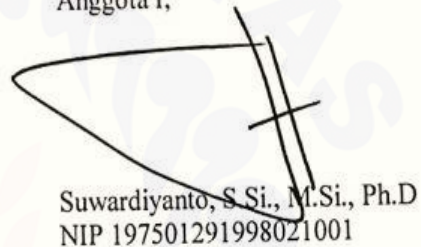
Tim Penguji;

Ketua,



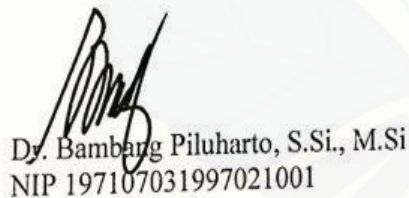
Yudi Aris Sulistiyo, S.Si., M.Si  
NIP 198809242014041001

Anggota I,



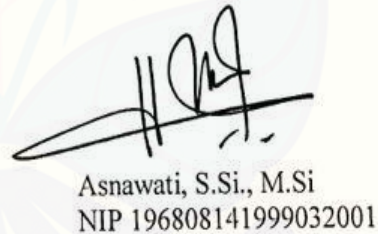
Suwardiyanto, S.Si., M.Si., Ph.D  
NIP 197501291998021001

Anggota II,




Dy. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si  
NIP 197107031997021001

Anggota III,



Asnawati, S.Si., M.Si  
NIP 196808141999032001

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember,



Drs. Sujito, Ph.D  
NIP 196102041987111001

## RINGKASAN

**Sintesis Silika Gel Termodifikasi Etanolamina dengan Optimasi Komposisi dan Konsentrasi Katalis Asam;** Khumairah, 141810301007; 2018: 49 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Silika gel merupakan padatan pendukung yang banyak digunakan dalam proses adsorpsi karena memiliki karakteristik pertukaran massa yang tinggi. Silika gel dapat disintesis dari abu terbang sebagai solusi penyelesaian permasalahan limbah dengan memanfaatkan limbah yang mengandung  $\text{SiO}_2$  sebesar 64,97%. Silika gel banyak dipilih sebagai adsorben karena memiliki sisi aktif permukaan berupa gugus silanol ( $-\text{Si}-\text{OH}$ ) dan siloksan ( $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ ). Namun, kapasitas adsorpsi silika kurang optimal akibat lemahnya interaksi atom oksigen sebagai pendonor pasangan elektron bebas. Upaya untuk meningkatkan daya adsorpsi silika gel adalah memodifikasi gugus aktif permukaan silika dengan penambahan gugus amina ( $\text{NH}_2$ ). Pemodifikator berupa gugus amina yang banyak digunakan oleh para peneliti berupa 3-aminopropiltrimetoksisilan (3-APTMS). Namun, 3 sisi aktif silanol diikat oleh satu modifikator dan menyebabkan terjadinya penurunan sisi aktif permukaan silika. Upaya untuk mengatasi masalah tersebut, maka digunakan etanolamina sebagai modifikator yang dimungkinkan dapat membentuk ikatan antara satu modifikator dengan satu gugus aktif silika. Penelitian ini mempelajari pengaruh komposisi pemodifikator dan konsentrasi katalis  $\text{H}_2\text{SO}_4$  terhadap perubahan gugus fungsi silika oleh adanya etanolamina melalui spektra FTIR.

Proses modifikasi menggunakan silika gel sebanyak 1 gram ditambah etanolamina dengan perbandingan 1:1, 1:2 dan 1:3 (m/v) dalam pelarut  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2M. Reaksi dikondisikan pada temperatur 100 °C selama 18 jam sambil diaduk dengan *stirrer magnetic* dalam labu leher tiga secara refluks. Campuran disaring dengan kertas saring *whatman* no. 41 dan dicuci akuades. Residu yang diperoleh dikeringkan dalam oven pada temperatur 70 °C selama 3 jam dan dianalisis menggunakan FTIR. Komposisi silika gel dan etanolamina optimum yang didapat kemudian digunakan sebagai komposisi silika dan etanolamina untuk variasi konsentrasi katalis  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .



Hasil yang diperoleh menyatakan bahwa komposisi (SG : EA) optimum berada pada komposisi 1:3. Pada komposisi etanolamina yang semakin besar, rendemen silika amina yang diperoleh semakin kecil. Sifat kelarutan dari silika gel mempengaruhi rendemen yang dihasilkan, dimana kelarutan silika sangat rendah pada  $\text{pH} < 10$  tetapi sangat tinggi pada  $\text{pH} > 10$  (Kalapathy *et al.*, 2000). Perubahan spektra silika dengan silika amina diketahui dari munculnya puncak baru pada 2924,18 dan 2854,74  $\text{cm}^{-1}$  yaitu gugus C-H  $\text{sp}^3$  dan diperkuat dengan munculnya vibrasi tekuk C-H  $\text{sp}^3$  pada 1384,94  $\text{cm}^{-1}$ . Puncak baru juga terdapat pada bilangan gelombang 1030-1230  $\text{cm}^{-1}$  berupa gugus C-O yang bertumpang tindih dengan vibrasi Si-O pada Si-O-Si pada 1072,46  $\text{cm}^{-1}$ . Hasil yang diperoleh menunjukkan pada ketiga variasi komposisi terjadi pengurangan gugus -OH dari Si-OH dengan jumlah yang sama yaitu tersisa sebesar 68,89%. Namun, puncak kecil yang menjadi ciri khusus serapan amina (-NH<sub>2</sub>) pada bilangan gelombang 3600-3200  $\text{cm}^{-1}$  yang diperkuat dengan vibrasi tekuk N-H pada 1529,60  $\text{cm}^{-1}$  hanya muncul pada variasi komposisi 1:3. Komposisi optimum dalam modifikasi silika oleh etanolamina dengan katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> terjadi pada komposisi 1:3 dengan munculnya serapan amina primer pada bilangan gelombang 3466,20  $\text{cm}^{-1}$  dan jumlah gugus -OH dari Si-OH tersisa sebesar 68,89%.

Selain komposisi (SG : EA), optimasi modifikasi silika dengan etanolamina juga dipengaruhi oleh konsentrasi katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Variasi konsentrasi katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang digunakan pada penelitian ini adalah 2 M, 4 M dan 6 M. Ketiga variasi konsentrasi yang digunakan juga menunjukkan terjadinya pengurangan gugus -OH dari Si-OH, dimana pada H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2 M tersisa sebesar 68,89% dan konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4 M dengan gugus -OH dari Si-OH tersisa sebesar 55,55%. Konsentrasi yang lebih besar kembali terjadi kenaikan jumlah gugus -OH yaitu pada H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 6 M sebesar 82,22%. Selain itu, puncak kecil sebagai ciri khusus serapan amina (-NH<sub>2</sub>) muncul pada ketiga variasi konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang digunakan. Konsentrasi katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> optimum terjadi pada konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4 M dengan jumlah gugus -OH dari Si-OH tersisa sebesar 55,55 %.

## PRAKATA

Puji syukur atas segala rahmat dan karunia yang dilimpahkan Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sintesis Silika Gel Termodifikasi Etanolamina dengan Optimasi Komposisi dan Konsentrasi Katalis Asam”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si., selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
3. Yudi Aris Sulistiyo, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Suwardiyanto, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
4. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji I, dan Asnawati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya guna menguji, serta memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Asnawati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang memberi masukan dan pengalaman dalam dunia perkuliahan;
6. segenap dosen pengajar Fakultas MIPA, terutama dosen-dosen Jurusan Kimia Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan;

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

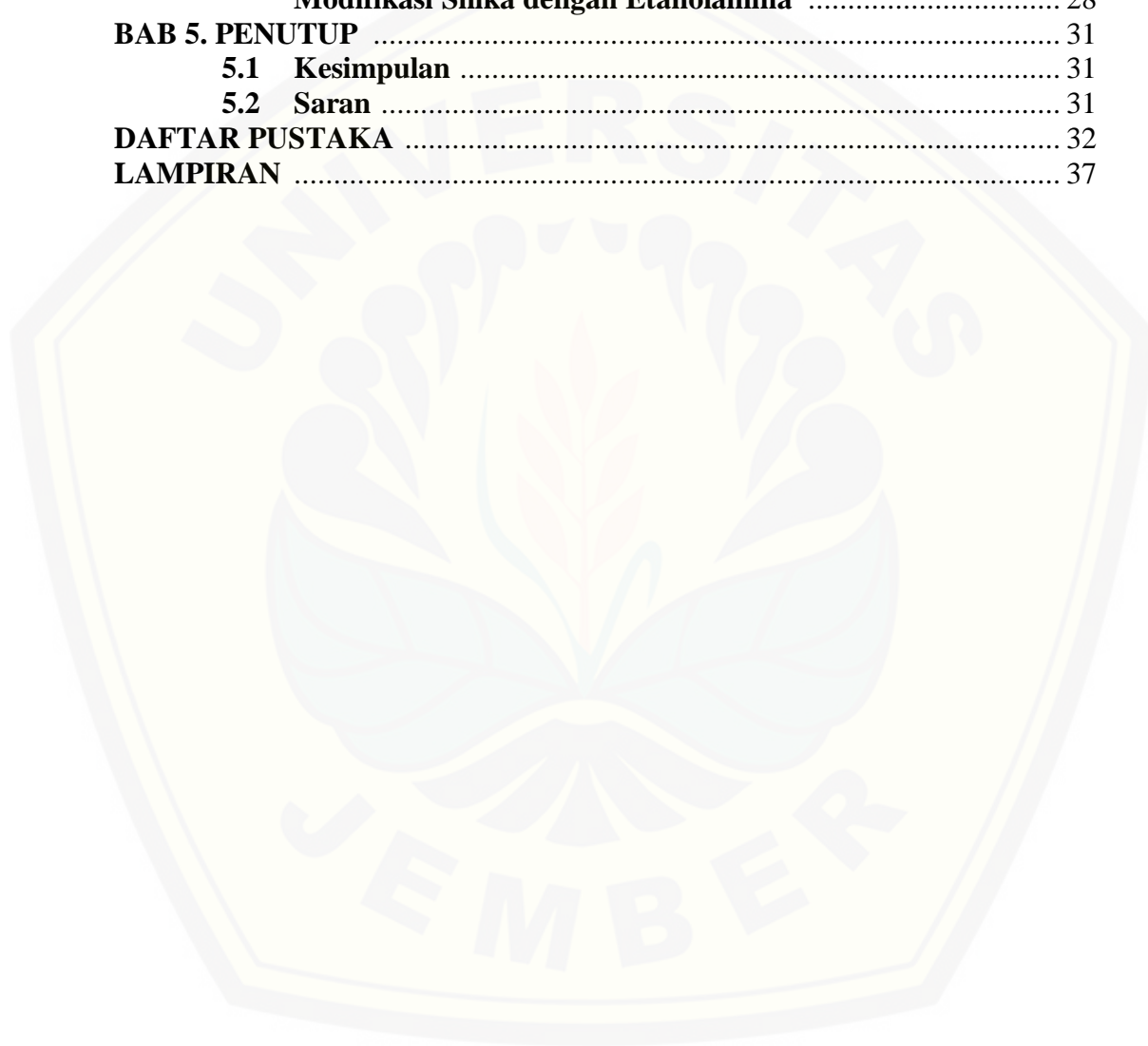
Jember, 9 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	4
<b>1.4 Batasan Masalah</b> .....	4
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Silika Gel</b> .....	5
<b>2.2 Sintesis Silika Gel</b> .....	7
<b>2.3 Modifikasi Silika Gel</b> .....	9
<b>2.4 Teknik Modifikasi Silika Gel</b> .....	10
<b>2.5 Etanolamina sebagai Modifikator Silika</b> .....	12
<b>2.6 Jalur Katalisis oleh Asam</b> .....	13
<b>2.7 FTIR</b> .....	14
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	17
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian</b> .....	17
<b>3.2 Alat dan Bahan</b> .....	17
3.2.1 Alat .....	17
3.2.2 Bahan .....	17
<b>3.3 Diagram Alir Penelitian</b> .....	18
<b>3.4 Prosedur Penelitian</b> .....	18
3.4.1 Pembuatan Larutan Pereaksi .....	18
a. Pembuatan Larutan NaOH 3 M .....	18
b. Pembuatan Larutan HCl 1 M .....	19
c. Pembuatan Larutan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2 M .....	19
d. Pembuatan Larutan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 4 M .....	19
e. Pembuatan Larutan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 6 M .....	19
3.4.2 Preparasi Sampel .....	19
3.4.3 Pembuatan Silika Gel .....	20

3.4.4	Sintesis Silika-Amina (Variasi Komposisi Silika : Etanolamina) .....	20
3.4.5	Sintesis Silika-Amina (Variasi Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) .....	21
3.4.6	Karakterisasi FTIR Silika Gel dan Silika-Amina .....	21
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>22</b>
4.1	<b>Pengaruh Variasi Komposisi dalam Sintesis Silika Termodifikasi Etanolamina</b> .....	<b>22</b>
4.2	<b>Pengaruh Variasi Konsentrasi Katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dalam Modifikasi Silika dengan Etanolamina</b> .....	<b>28</b>
<b>BAB 5.</b>	<b>PENUTUP</b> .....	<b>31</b>
5.1	<b>Kesimpulan</b> .....	<b>31</b>
5.2	<b>Saran</b> .....	<b>31</b>
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>32</b>
	<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>37</b>



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
4.1 Rendemen silika amina pada variasi komposisi .....	23
4.2 Perbandingan spektrum FTIR silika gel kiesel 60 dengan silika gel abu terbang batubara .....	25
4.3 Perubahan jumlah gugus fungsi –OH dari Si-OH pada silika gel .....	26
4.4 Rendemen silika amina pada variasi konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	28
4.5 Perubahan jumlah gugus fungsi –OH dari Si-OH pada silika gel .....	30



**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Struktur bangun kristal dan amorf dari silika .....	5
2.2 Susunan tetrahedral SiO <sub>4</sub> pada silika gel .....	7
2.3 Reaksi modifikasi silika gel oleh aminopropil trietoksisilan .....	11
2.4 Struktur silika amina hasil modifikasi .....	12
2.5 Struktur Etanolamina .....	12
2.6 Jalur reaksi pembentukan silika amina oleh katalis asam .....	13
2.7 Spektra inframerah silika gel hasil sintesis .....	15
2.8 Spektra inframerah silika termodifikasi etanolamina .....	16
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	18
4.1 Spektra FTIR modifikasi silika variasi komposisi silika dan etanolamina, A: (a) Silika hasil sintesis abu terbang batubara, (b) Komposisi (1:1), (c) Komposisi (1:2), (d) Komposisi (1:3); B: Daerah bilangan gelombang yang mengalami pergeseran .....	24
4.2 Model hipotesis jalur reaksi pembentukan silika amina .....	27
4.3 Spektra FTIR modifikasi silika variasi konsentrasi katalis H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , A: (a) Silika hasil sintesis abu terbang batubara, (b) Konsentrasi 2M, (c) Konsentrasi 4M, (d) Konsentrasi 6M; B: Daerah bilangan gelombang yang mengalami pergeseran .....	29

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
Lampiran 4.1 Perhitungan preparasi bahan .....	37
Lampiran 4.1.1 Pembuatan larutan .....	37
Lampiran 4.1.2 Perhitungan mol 1 gram silika .....	39
Lampiran 4.1.3 Perhitungan volume 0,017 mol etanolamina....	39
Lampiran 4.2 Perhitungan rendemen variasi komposisi .....	39
Lampiran 4.3 Perhitungan rendemen variasi konsentrasi .....	41
Lampiran 4.4 Spektra FTIR silika gel dari abu terbang batubara .....	43
Lampiran 4.5 Spektra FTIR silika amina variasi komposisi .....	44
Lampiran 4.5.1 Variasi komposisi (1:1) .....	44
Lampiran 4.5.2 Variasi komposisi (1:2) .....	44
Lampiran 4.5.3 Variasi komposisi (1:3) .....	45
Lampiran 4.6 Perhitungan % gugus –OH dari Si-OH pada variasi komposisi .....	45
Lampiran 4.7 Spektra FTIR silika amina variasi konsentrasi .....	47
Lampiran 4.7.1 Variasi konsentrasi 2M .....	47
Lampiran 4.7.2 Variasi konsentrasi 4M .....	47
Lampiran 4.7.3 Variasi konsentrasi 6M .....	47
Lampiran 4.8 Perhitungan % gugus –OH dari Si-OH pada variasi konsentrasi .....	48

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Silika gel merupakan padatan pendukung yang banyak digunakan dalam proses adsorpsi karena stabil dalam kondisi asam, memiliki karakteristik pertukaran massa yang tinggi, porositas dan luas permukaan spesifik serta memiliki daya tahan tinggi terhadap panas (Buhani dan Suharso, 2010). Silika gel dapat disintesis dari limbah abu terbang hasil pembakaran batu bara yang memiliki kandungan kimia berupa  $\text{SiO}_2$  sebesar 64,97% (Adak *et al.*, 2013). Kalapathy *et al.* (2000), melaporkan telah berhasil mensintesis silika xerogel dari limbah sekam padi yang mengandung 90%  $\text{SiO}_2$  menghasilkan silika dengan kemurniaan 93%. Affandi *et al.* (2009), juga melakukan sintesis silika gel yang diketahui memiliki kemurniaan 99% dari ampas tebu. Keuntungan pemanfaatan abu terbang hasil pembakaran batu bara sebagai material adalah menyelesaikan permasalahan limbah dengan memanfaatkan limbah. Oleh sebab itu, abu terbang batubara memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai material adsorben.

Silika gel banyak dipilih sebagai adsorben karena memiliki sisi aktif permukaan seperti gugus silanol ( $-\text{Si}-\text{OH}$ ) dan siloksan ( $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ ) yang dapat berikatan secara kimia dengan logam-logam berat serta memiliki luas permukaan yang besar (Ahalya dan Ramachandra, 2003). Penelitian yang dilakukan oleh Affandi *et al.* (2009), menghasilkan silika gel yang diekstrak dari ampas tebu dengan luas permukaan 69-152  $\text{m}^2/\text{g}$  diketahui dapat mengadsorpsi 0,18  $\text{g}-\text{H}_2\text{O}/\text{g}-\text{SiO}_2$  pada pH 7 dengan waktu adsorpsi optimal selama 8 jam. Selain itu, berdasarkan penelitian Tzvetkova *et al.* (2012), silika gel yang memiliki luas permukaan 803  $\text{m}^2/\text{g}$  mempunyai kapasitas adsorpsi terhadap  $\text{Cu}(\text{II})$  sebesar 0,07  $\text{mg}/\text{g}$ ,  $\text{Hg}(\text{II})$  sebesar 2,67  $\text{mg}/\text{g}$ ,  $\text{Ni}(\text{II})$  sebesar 0,34  $\text{mg}/\text{g}$ ,  $\text{Pb}(\text{II})$  sebesar 0,72  $\text{mg}/\text{g}$  dan  $\text{Co}(\text{II})$  sebesar 0,64  $\text{mg}/\text{g}$  pada pH 5.

Kemampuan adsorpsi silika gel bergantung pada distribusi gugus  $-\text{OH}$  per satuan luas permukaan adsorben (Jal *et al.*, 2004). Menurut Tzvetkova *et al.* (2012), kurang optimalnya kemampuan adsorpsi silika gel akibat lemahnya interaksi ion logam dengan atom oksigen pada gugus silanol ( $-\text{Si}-\text{OH}$ ) dan



siloksan (Si-O-Si) sebagai pendonor pasangan elektron bebas. Upaya untuk meningkatkan daya adsorpsi silika gel adalah memodifikasi gugus aktif pada permukaannya dengan penambahan gugus amina ( $\text{NH}_2$ ). Penelitian yang dilakukan oleh Radi *et al.* (2013), menunjukkan kapasitas adsorpsi silika termodifikasi amina dan tanpa modifikasi pada Cu(II) sebesar 24,5 mg/g dan 1 mg/g atau meningkat 96%. Selain itu, silika termodifikasi 2-aminotiazol dapat meningkatkan adsorpsi logam Cu(II) sebesar 99%, logam Ni(II) sebesar 65% dibandingkan silika tanpa modifikasi (Tzvetkova *et al.*, 2012). Czaun *et al.* (2013) dan Gil *et al.* (2011) melakukan penelitian tentang modifikasi silika menggunakan pemodifikator yang sama berupa Aminopropil trietoksisilan (APTES) untuk adsorpsi gas  $\text{CO}_2$ . Hasil yang diperoleh menunjukkan kapasitas adsorpsi mengalami peningkatan sebesar 87% (Czaun *et al.*, 2013) dan sebesar 120% (Gil *et al.*, 2011). Djatmiko dan Amira (2012), melakukan modifikasi silika gel dengan 8-hidroksikuinolin menghasilkan adsorpsi maksimum logam Ni(II) pada pH 7 sebesar 36,4 mg/g. Javadian *et al.* (2014) mensintesis silika dengan N-(2-aminoetil-3-aminopropilmetildimetoksisilan) menghasilkan kapasitas adsorpsi logam Pb(II) pada pH 5 sebesar 49,41 mg/g. Modifikasi silika gel juga dilakukan oleh Zhu *et al.* (2009) dengan 3-aminopropiltrimetoksisilan untuk adsorpsi logam Pb(II) pada pH 4 sebesar 19,66 mg/g.

Penelitian yang dilakukan oleh Czaun *et al.* (2013), menunjukkan peningkatan kemampuan adsorpsi oleh silika gel yang dimodifikasi dengan Aminopropil trietoksisilan (APTES). Buhani dan Suharso (2010), juga melakukan penelitian berupa modifikasi silika gel dengan menggunakan 3-aminopropiltrimetoksisilan (3-APTMS) dengan prekursor tetraetilortosilikat (TEOS). Hasil yang diperoleh menunjukkan perubahan berupa adanya 3 sisi aktif silanol yang diikat oleh satu modifikator. Perubahan ini menyebabkan terjadinya penurunan sisi aktif permukaan silika yang menyebabkan material tersebut kurang efektif untuk digunakan. Upaya untuk mengatasi masalah tersebut, maka digunakan etanolamina sebagai modifikator yang dimungkinkan dapat membentuk ikatan antara satu modifikator dengan satu gugus aktif silika.

Efektifitas dalam modifikasi silika dengan etanolamina dapat diupayakan dengan optimasi kondisi modifikasi. Buhani dan Suharso (2010), melakukan penelitian berupa modifikasi silika gel dengan 3-aminopropiltrimetoksisilan (3-APTMS) pada variasi komposisi modifikator dan prekursor tetraetilortosilikat (TEOS). Hasil yang diperoleh yaitu dengan variasi silika dan modifikator antara 1:0,1; 1:0,2 dan 1:0,4 menunjukkan daya adsorpsi silika-amina optimum pada komposisi silika dan modifikator (1:0,2). Mujiyanti *et al.* (2010) juga melakukan modifikasi silika gel dengan 3-(trimetoksisilil)-1-propantiol (TMSP) pada variasi konsentrasi katalis asam berupa HCl 4 M, 6 M dan 8 M, yang menunjukkan daya adsorpsi optimal pada konsentrasi asam 4 M. Selain itu, Sriyanti *et al.* (2005) mensintesis silika termodifikasi Aminopropil trietoksisilan (APTES) dengan optimasi pH gelasi dan menghasilkan daya adsorpsi optimum pada katalis HCl 4 M.

Berdasarkan tingginya potensi dari hasil modifikasi silika-amina dengan optimasi kondisi reaksi, maka akan dilakukan sintesis silika gel dengan modifikasi menggunakan etanolamina. Silika-amina hasil modifikasi yang diperoleh dilakukan optimasi dengan penggunaan komposisi modifikator dan konsentrasi katalis asam yang bervariasi. Hasil optimasi pada modifikasi silika dengan gugus amina, diharapkan dapat berfungsi sebagai media adsorpsi berbagai jenis logam berat yang menjadi penyebab permasalahan lingkungan. Pembuktian keberhasilan modifikasi silika gel dengan etanolamina dilakukan dengan analisis gugus fungsi menggunakan FTIR.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah yang dapat dikemukakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perbandingan jumlah mol silika gel dan modifikator terhadap perubahan konsentrasi gugus fungsi etanolamina pada modifikasi silika?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi katalis asam sulfat terhadap perubahan konsentrasi gugus fungsi etanolamina pada modifikasi silika?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari pengaruh perbandingan jumlah mol silika gel dan modifikator terhadap perubahan konsentrasi gugus fungsi etanolamina pada modifikasi silika.
2. Mempelajari pengaruh konsentrasi katalis asam sulfat terhadap perubahan konsentrasi gugus fungsi etanolamina pada modifikasi silika.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini diberikan untuk memberikan kesamaan persepsi pada penelitian yang dilakukan. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Abu terbang yang digunakan berasal dari PT. IPMOMI PLTU Paiton-Probolinggo.
2. Kondisi pada temperatur reaksi yang digunakan adalah 100 °C.
3. Waktu reaksi dengan proses refluks yang digunakan yaitu selama 18 jam.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk:

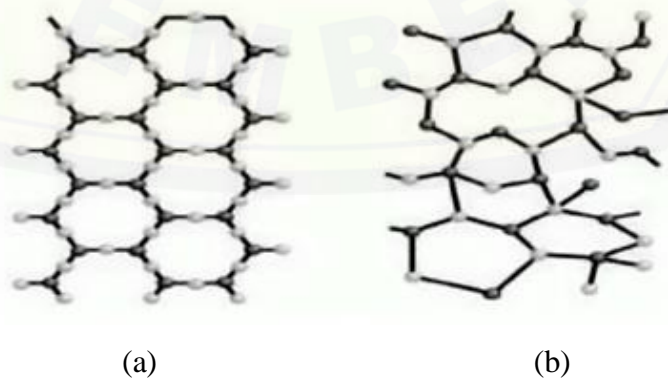
1. Memanfaatkan material bahan dasar silika gel dengan menggunakan limbah hasil pembakaran batubara berupa abu terbang.
2. Memberi informasi tentang optimasi penggunaan silika gel dengan modifikasi muatan pada permukaan.
3. Memberikan informasi tentang optimasi komposisi modifikator dan konsentrasi katalis asam terhadap hasil modifikasi silika gel dengan etanolamina sebagai media adsorpsi.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Silika Gel

Silika dengan bentuk umum  $\text{SiO}_2$  sering ditemukan berupa padatan yang meleleh kira-kira pada temperatur  $1600^\circ\text{C}$  dan mendidih pada  $2230^\circ\text{C}$ . Kristalin silika berupa senyawa polimerik tiga dimensi dengan jaringan ikatan kovalen Si-O membentuk suatu molekul raksasa. Jaringan ini mengandung penghubung tetrahedral  $\text{SiO}_4$  dengan tiap atom Si diikat oleh empat atom O dan tiap atom O diikat oleh dua atom Si (Rapierna *et al.*, 2012). Silika yang banyak dikenal terdapat dalam dua bentuk, yaitu amorf dan kristal. Silika amorf bervariasi dalam derajat hidrasinya, sedangkan silika kristal terdiri dari bermacam jenis kwarsa, tridmit dan kristobalit yang merupakan akibat dari modifikasi temperatur rendah ke tinggi yang merubah simetri kristal dan kerapatannya (Handoyo *et al.*, 1996).

Silika amorf memiliki unit bangun yang sama dengan kristalin seperti pada gambar 2.(a) dan 2.(b), tetapi silika amorf memiliki susunan unit yang acak, sedangkan silika kristalin memiliki keteraturan yang sempurna. Silika pada umumnya adalah dalam bentuk amorf terhidrat, namun bila pembakaran terus-menerus pada temperatur di atas  $650^\circ\text{C}$  maka tingkat kristalinitasnya akan cenderung naik (Suchithra *et al.*, 2012). Kristal yang diperoleh berupa fasa *quartz*, *crystalobalite* dan *tridymite* yang memiliki stabilitas dan kerapatan yang berbeda. Temperatur tinggi dan waktu yang lama akan membuat silika amorf dengan sendirinya menjadi padatan kristalin.



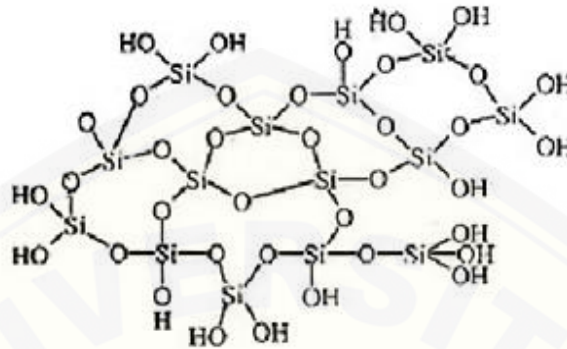
Gambar 2.1 Struktur bangun kristal dan amorf dari silika  
(Sumber : Brindley and Brown, 1980)

Silika mempunyai kelebihan tersendiri dibanding bahan yang lain, karena secara kimia bersifat inert hidrofobik dan transparan. Selain itu, silika juga menunjukkan kekuatan mekanik dan stabilitas termal yang tinggi dan tidak mengembang dalam pelarut organik (Bhatia *et al.*, 2000). Silika juga memiliki beberapa sifat kimia yang membuatnya memiliki beberapa kelebihan, yaitu bersifat stabil terhadap hidrogen kecuali fluorin dan juga inert terhadap semua asam kecuali HF. Reaksi dengan HF akan menghasilkan asam silikon heksafluorid. Kelebihan silika lainnya yaitu, adanya basa kuat seperti NaOH dalam kondisi panas secara perlahan dapat mengubah silika menjadi silikat yang larut dalam air (Handoyo *et al.*, 1996).

Silika merupakan senyawa hasil polimerisasi asam silikat, yang tersusun dari rantai satuan  $\text{SiO}_4$  tetrahedral dengan formula umum  $\text{SiO}_2$ . Silika gel dapat digolongkan ke dalam tiga bentuk yaitu, hidrogel yang berupa silika gel yang pori-porinya terisi oleh air. *Xerogel* yaitu silika gel kering yang dihasilkan dengan mengeringkan air dalam pori-pori melalui proses evaporasi. *Aerogel* yaitu silika gel yang dihasilkan dengan mengeringkan fase air dalam pori-pori silika melalui ekstraksi superkritikal (Suchithra *et al.*, 2012). Silika dengan ketiga bentuk tersebut merupakan suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat ( $\text{NaSiO}_2$ ). Larutan silikat yang direaksikan dengan asam akan menghasilkan asam silikat. Sistem asam silikat terdapat pembentukan gel sebagai reaksi kondensasi dari  $\text{Si}(\text{OH})_4$  menjadi rantai siloksan yang kemudian bercabang dan selanjutnya berikatan silang membentuk kerangka tiga dimensi (Sukalyan *et al.*, 2008).

Permukaan silika gel memiliki dua jenis gugus, yaitu gugus silanol dan gugus siloksan. Gugus siloksan ada dua macam, yaitu Si-O-Si rantai lurus dan gugus siloksan yang membentuk struktur lingkaran dengan empat ikatan. Jenis yang pertama tidak reaktif dengan pereaksi pada umumnya, tetapi sangat reaktif terhadap senyawa logam alkali (Handayani *et al.*, 2015). Jenis gugus siloksan yang membentuk struktur lingkaran dengan empat anggota mempunyai reaktivitas yang tinggi, dapat mengadakan kemisorpsi air, amonia dan etanol. Reaksi dengan air akan menghasilkan dua gugus Si-OH, reaksi dengan amonia akan menghasilkan

gugus Si-NH<sub>2</sub> dan silanol, sedangkan reaksi dengan metanol akan menghasilkan gugus silanol dan Si-O-CH<sub>3</sub> (Saputra *et al.*, 2014). Struktur silika ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.2 Susunan tetrahedral SiO<sub>4</sub> pada Silika Gel.  
(Sumber: Morrow dan Gay, 2000)

Senyawa silika di alam banyak ditemukan dalam beberapa bahan alam, seperti pasir, kuarsa, gelas dan sebagainya. Silika gel banyak dimanfaatkan sebagai adsorben. Kualitas yang berkaitan dengan pemanfaatannya ditentukan oleh berbagai faktor, yaitu struktur internal, ukuran partikel, porositas, luas permukaan, ketahanan dan polaritasnya. Sifat silika sebagai senyawa pengadsorpsi disebabkan karena adanya situs aktif pada permukaannya. Silika gel tersebut walaupun mempunyai berbagai kelebihan, ternyata juga mempunyai beberapa kelemahan. Kelemahan tersebut adalah karena pada silika gel jenis situs aktif hanya berupa siloksan dan silanol. Gugus silanol ini mempunyai sifat keasaman yang rendah, disamping mempunyai mempunyai atom donor yang sifatnya lemah. Namun, adanya gugus siloksan dan silanol juga menguntungkan karena memungkinkan terjadinya modifikasi (Sukalyan *et al.*, 2008).

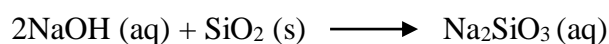
## 2.2 Sintesis Silika Gel

Silika gel merupakan suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silika. Pembuatan silika gel dapat dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu dengan pembentukan natrium silikat dari reaksi SiO<sub>2</sub> dengan NaOH. Reaksi pembentukan silika hidrosol dari reaksi antara Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>

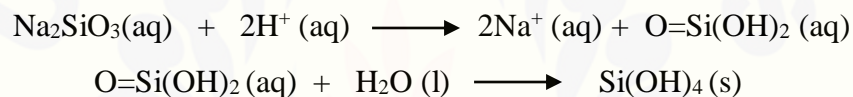
dengan asam. Reaksi pembentukan silika hidrogel, yaitu polimerisasi asam silikat dengan pemanasan silika hidrogel menghasilkan silika gel (Ngatijo *et al.*, 2013).

Metode sintesis pada silika yang sering digunakan berupa metode sol gel. Metode sol gel telah banyak dikembangkan karena memiliki beberapa kelebihan, diantaranya prosesnya yang mudah, membutuhkan biaya yang relatif murah dan menghasilkan tingkat kemurniaan dan kehomogenan silika yang tinggi (Welveni, 2010). Proses sol gel didasarkan pada prekursor molekular yang dapat mengalami hidrolisis, kebanyakan merupakan alkoksida logam. Proses sol gel merupakan suatu suspensi koloid karena adanya perubahan fase dari suspensi koloid (sol) membentuk fase cair kontinyu (gel). Proses sol gel dapat digambarkan sebagai pembentukan suatu jaringan oksida melalui reaksi polikondensasi yang progresif dari molekul prekursor dalam medium cair. Metode sol gel dianggap sebagai proses untuk membentuk material melalui suatu sol, *gelation* dari sol dan akhirnya membentuk gel (Nuryono *et al.*, 2005).

Silika disusun oleh agregat dari partikel-partikel ukuran koloid yang tidak dapat digabungkan ke dalam jaringan gel selama proses persiapan. Silika presipitasi salah satunya dibentuk dari fasa uap atau dapat juga dibentuk melalui presipitasi dari larutan. Silika presipitasi berbentuk bubuk yang mempunyai struktur lebih terbuka dengan volume pori yang lebih tinggi. Ekstraksi silika dari abu terbang batubara dilakukan dengan menggunakan pelarut natrium hidroksida (NaOH) untuk mendapatkan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Temperatur tinggi pada saat pembentukan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  akan membuat NaOH meleleh dan terdisosiasi sempurna membentuk  $\text{Na}^+$  dan  $\text{OH}^-$ . Atom O pada  $\text{SiO}_2$  memiliki keelektronegatifan yang lebih tinggi sehingga Si lebih elektropositif dan terbentuk *intermediet*  $[\text{SiO}_2\text{OH}]^-$  yang tidak stabil. Proses dehidrasi akan terjadi pada kondisi ini dan  $\text{OH}^-$  yang kedua akan berikatan dengan hidrogen membentuk air. Dua ion  $\text{Na}^+$  akan menyeimbangkan muatan negatif yang terbentuk dan berinteraksi dengan ion  $\text{SiO}_3^{2-}$  sehingga terbentuk  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (Mujiyanti *et al.*, 2010). Reaksi pembuatan natrium silikat yaitu:



Natrium silika hasil ekstraksi kemudian direaksikan dengan katalis asam berupa HCl atau H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Silika secara komersial dibuat dengan mencampur larutan natrium silikat dengan suatu asam mineral. Hasil reaksi natrium silika dengan asam akan menghasilkan alkogel yang bila didiamkan akan menjadi hidrogel. Hidrogel yang dicuci dan dipanaskan akhirnya akan membentuk xerogel berupa padatan putih. Penambahan HCl menyebabkan terjadinya protonasi gugus Si-O<sup>-</sup> menjadi Si-OH. Gugus silanol diserang oleh gugus siloksi dengan bantuan katalis asam untuk membentuk ikatan siloksan (Si-O-Si). Proses ini terjadi cepat dan terus menerus membentuk jaringan silika amorf. Reaksi ini menghasilkan suatu dispersi pekat yang akhirnya memisahkan partikel dari silika terhidrat yang dikenal sebagai silika hidrosol atau asam silikat agar terbentuk silika gel dengan reaksi sebagai berikut:



(Schubert and Husing, 2000)

### 2.3 Modifikasi Silika Gel

Silika adalah material yang menarik tetapi tidak baik jika langsung diaplikasikan, walaupun memiliki kekuatan mekanik dan stabilitas termal yang tinggi. Silika gel mengandung silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) yang sangat responsif terhadap proses adsorpsi (Ngatijo *et al.*, 2013). Silika gel telah banyak digunakan sebagai adsorben, umumnya digunakan sebagai adsorben untuk senyawa-senyawa polar. Silika gel dapat juga digunakan untuk menyerap ion-ion logam dengan prinsip pertukaran ion, namun kemampuannya untuk menyerap logam terbatas. Atom O sebagai situs aktif permukaan silika gel, dalam hal ini sebagai donor pasangan elektron, merupakan spesies yang mempunyai ukuran relatif kecil dan mempunyai polarisabilitas rendah atau bersifat basa keras. Sifatnya tersebut membuat silika gel cenderung untuk berinteraksi dengan logam berat yang pada umumnya memiliki ukuran yang besar dan mempunyai polarisabilitas tinggi atau asam lunak (Vejayakumaran *et al.*, 2008).



Kelemahan silika akibat ikatan langsung oksigen pada silika, dapat diperbaiki dengan memodifikasi permukaan silika dengan senyawa organik mengandung ligan yang secara khusus diharapkan berinteraksi dengan ion logam (Saputra *et al.*, 2014). Modifikasi permukaan silika gel berhubungan dengan keseluruhan proses yang bertujuan untuk mengubah komposisi kimia pada permukaan silika. Proses modifikasi adalah dengan mengubah gugus  $-Si-OH$  menjadi  $-Si-OM$ . Atom M adalah beberapa spesies baik sederhana ataupun kompleks selain H. Modifikasi akan mempengaruhi secara signifikan terhadap proses adsorpsi (Slavov *et al.*, 1996). Modifikasi silika gel dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu organofungsionalisasi jika zat pemodifikasinya adalah gugus organik dan anorganofungsionalisasi jika gugus yang terikat pada permukaan adalah senyawa organologam atau oksida logam (Jal *et al.*, 2004).

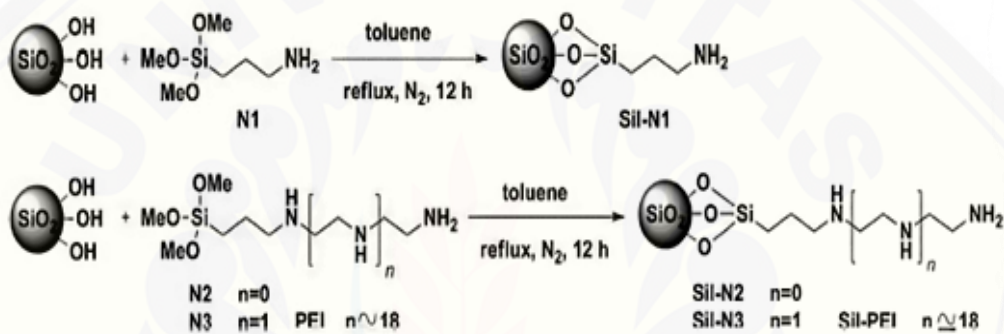
#### 2.4 Teknik Modifikasi Silika Gel

Permukaan silika dapat dimodifikasi dengan perlakuan fisik (*physical treatment*) ataupun perlakuan kimia (*chemical treatment*). Perlakuan fisik dapat berupa proses termal atau hidrotermal yang bertujuan untuk mengubah perbandingan konsentrasi gugus silanol dan siloksan. Modifikasi silika secara kimia atau organofungsionalisasi dapat dilakukan melalui dua jalur, yaitu jalur heterogen dan jalur homogen. Jalur heterogen (tidak langsung) terjadi melalui pengikatan langsung agen silan dengan gugus silanol pada silika gel kemudian diikuti dengan immobilisasi gugus aktif (Alcantara *et al.*, 2007).

Modifikasi silika dengan pemasukan gugus amina pada permukaan silika gel terdiri dari dua macam yang didasarkan pada cara menginteraksikan antara gugus amina dengan silika gel. Teknik modifikasi permukaan silika gel secara langsung dengan mengembangkan reaksi antara gugus silanol dengan reagen silan yang berfungsi sebagai prekursor untuk immobilisasi molekul organik dan bersama-sama dengan gugus aktif lain yang diimmobilisasi disebut sebagai jalur homogen (Yusmaniar *et al.*, 2014). Reagen silan pada umumnya bereaksi dengan permukaan gugus silanol dalam satu langkah sehingga memungkinkan peningkatan gugus fungsional terminal yang diinginkan pada permukaan. Jalur

heterogen apabila dibandingkan dengan immobilisasi melalui jalur homogen, maka jalur homogen lebih sederhana dan cepat karena reaksi pengikatan berlangsung bersamaan dengan proses terbentuknya padatan (Jal *et al.*, 2004).

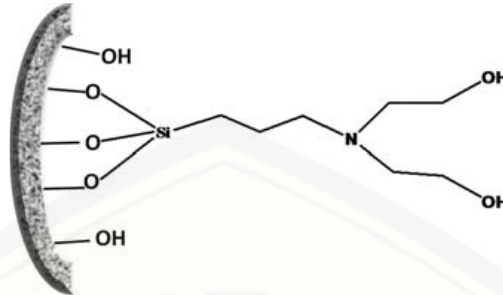
Modifikasi juga dapat dilakukan melalui pembentukan ikatan kovalen. Tekniknya dapat dilakukan dengan berbagai proses, antara lain proses immobilisasi pereaksi silan dan proses sol-gel. Molekul-molekul organik yang akan membentuk khelat dengan ion biasanya terikat pada permukaan silika melalui proses silanasi yang melibatkan pembentukan ikatan kovalen (Vejayakumaran *et al.*, 2008). Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.3 Reaksi modifikasi silika gel oleh aminopropil trietoksisilan  
(Sumber: Czaun *et al.*, 2013)

Metode modifikasi yang lain adalah dengan proses sol-gel. Pada Reaksi yang dilakukan pada proses ini bukan dengan silika gel tetapi dilakukan terhadap bahan dasar pembentuk silika gel yang lazim disebut prekursor (Slavov *et al.*, 1996). Silika prekursor yang dapat dipakai berupa senyawa silikat anorganik maupun organosilan. Proses modifikasi dilakukan pada saat pembentukan gel. Modifier atau pereaksi yang akan mensubstitusi gugus silanol ditambahkan pada silika prekursor pada saat proses pembentukan gel, bukan setelah terjadi silika gel (Yusmaniar *et al.*, 2014). Pada proses ini dihasilkan senyawa yang mengandung gugus siloksan, silanol serta gugus silika termodifikasi yang diberi notasi –Si-OM. Zat modifikator yang baik untuk metode impregnasi, silanasi maupun proses sol gel, dapat berupa merkaptopropiltrimetoksisilan (MPTS), aminopropil trimetoksisilan (APTS), kloropropiltrimetoksisilan (CPTS) serta modifikator yang

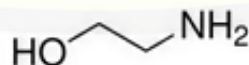
bukan pereaksi silan seperti asam 1-amino-2-hidroksi-4-naftalenadisulfonat (Czaun *et al.*, 2013). Struktur silika termodifikasi amina sebagai berikut:



Gambar 2.4 Struktur silika amina hasil modifikasi  
(Sumber : Zarabadi *et al.*, 2011)

## 2.5 Etanolamina sebagai Modifikator Silika

Modifikasi silika gel umumnya dapat dilakukan dengan mensintesis permukaan silika gel dengan senyawa organik tertentu yang memiliki atom karbon C<sub>8</sub>-C<sub>18</sub>. Tributylfosfat, fenol dan amina merupakan senyawa organik yang dapat digunakan sebagai agen modifikasi silika gel untuk merubah sifat silika gel menjadi pemisah senyawa non polar hingga semi polar (Czaun *et al.*, 2013). Etanolamina termasuk salah satu agen modifikasi silika yang disebut juga 2-aminoetanol merupakan senyawa organik yang tersusun atas sebuah amina primer dan alkohol primer. Senyawa ini memiliki rumus molekul NH<sub>2</sub>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>OH. Etanolamina termasuk dalam basa lemah yang bersifat beracun, mudah terbakar, korosif, berwarna dan merupakan cairan kental dengan bau seperti amonia. Monoetanolamin adalah senyawa hasil reaksi dari etilen oksida dengan amonia. Etnaolamina adalah senyawa kedua terbanyak yang melimpah untuk kelompok tospolipit, zat yang ditemukan pada membran biological. Struktur molekul etanolamina ditunjukkan pada gambar berikut :



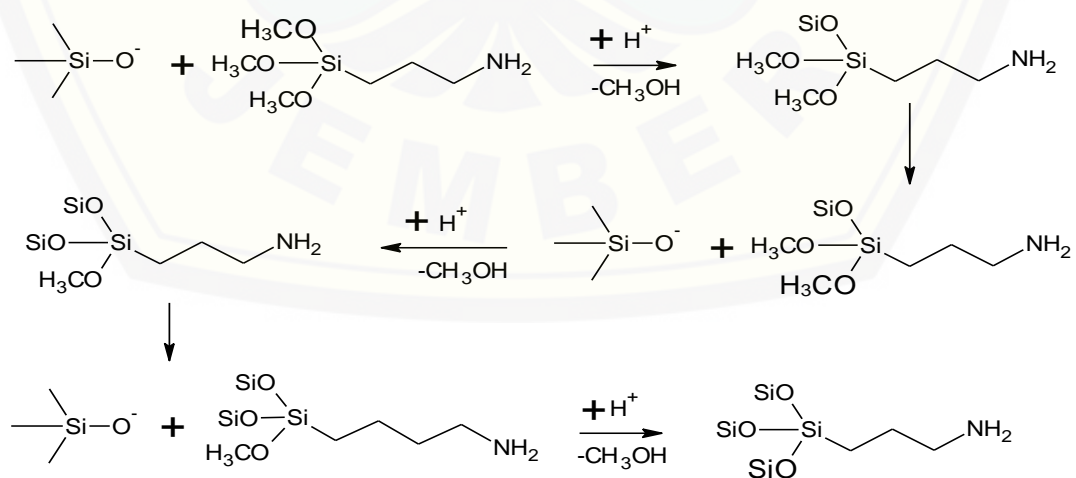
Gambar 2.5 Struktur Etanolamina  
(Sumber: Scheiman, 1962)

Etanolamina atau 2-aminoetanol termasuk salah satu senyawa yang mengandung gugus amina dan dapat mengalami proses impregnasi pada

permukaan silika gel. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan melakukan modifikasi silika oleh gugus amina, dilakukan oleh Safitri, *et al* (2012), melaporkan bahwa senyawa organik yang dapat digunakan untuk memodifikasi permukaan silika gel agar menjadi semi-polar yaitu dengan menggunakan senyawa organik tributilamina. Tributilamina memiliki gugus alkil (C<sub>4</sub>) dan gugus amina (NH<sub>4</sub>). Senyawa ini pada prosesnya akan diimobilisasi pada permukaan silika gel sehingga dapat memisahkan senyawa organik yang bersifat semi-polar dan non polar (Safitri *et al.*, 2012).

## 2.6 Mekanisme Katalisis oleh Asam

Atom oksigen dari gugus Si-OH atau Si-OR pada kondisi asam akan terprotonasi pada tahap pertama dengan cepat. Gugus pergi yang baik terbentuk melalui protonasi tersebut. Kerapatan elektron dari atom pusat Si akan berkurang sehingga bersifat lebih elektrofilik dan lebih mudah untuk diserah oleh air (reaksi hidrolisis) atau gugus silanol (reaksi kondensasi). Reaksi hidrolisis berlangsung lebih cepat dari pada reaksi kondensasi pada kondisi ini. Proses gelasi yang dilakukan pada kondisi asam dan basa akan berbeda, hal tersebut disebabkan karena pada kondisi basa reaksi kondensasi berlangsung lebih cepat daripada reaksi hidrolisis. Jalur reaksi pembentukan silika termodifikasi amina mengikuti Jalur reaksi SN<sub>2</sub> sesuai gambar berikut :



Gambar 2.6 Jalur reaksi pembentukan silika amina oleh katalis asam

(Sumber: Sriyanti *et al.*, 2005).

Pembentukan silika-amina diawali dengan protonasi atom O gugus metoksi (-OCH<sub>3</sub>) pada senyawa organik 3-aminopropiltrimetoksisilan (APTES) akibat penambahan asam. Spesies anion silikat yang berperan sebagai nukleofil akan menyerang atom Si pada APTES di mana atom O pada gugus metoksi telah terprotonasi. Spesies anion silikat yang masuk akan menggantikan gugus metoksi -OCH<sub>3</sub> dengan atom O yang telah terprotonasi sehingga terbentuk ikatan siloksan. Gugus metoksi dengan atom O yang telah terprotonasi akan dilepaskan dalam bentuk metanol. Penambahan asam yang terus berlanjut mengakibatkan reaksi dapat terus berlanjut mengakibatkan reaksi dapat terus berlanjut sampai semua gugus metoksi dalam senyawa organik APTES mengalami reaksi kondensasi dengan spesies anion silikat dengan melepas metanol (Sriyanti *et al.*, 2005).

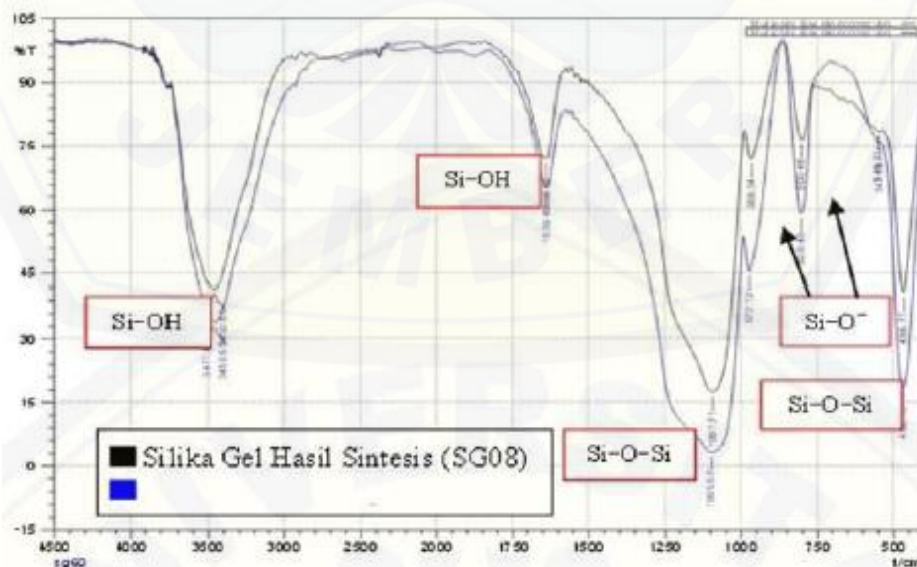
## 2.7 Spektrofotometri *Fourier Transform-Infra Red* (FT-IR)

Keberhasilan pada proses modifikasi silika dapat diketahui dengan melakukan analisis menggunakan berbagai macam metode, misalnya spektrofotometri FTIR yang dapat menunjukkan jenis gugus fungsi pada suatu senyawa pada spektranya. *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) merupakan alat yang dipergunakan untuk menganalisis secara kuantitatif maupun kualitatif. Analisis secara kuantitatif adalah berdasarkan gugus fungsi yang ada dengan menggunakan standar. Sampel yang dianalisis pada umumnya dapat berupa padatan, cairan maupun gas (Silverstein *et al.*, 1986).

Prinsip dasar pada pengukuran dengan spektrofotometri FTIR yaitu adanya atom-atom dalam suatu molekul yang tidak diam melainkan bervibrasi (bergerak). Analisa menggunakan spektroskopi inframerah adalah vibrasi ikatan yang mempunyai frekuensi yang spesifik. Jalur serapan spektrum inframerah daerah radiasi IR terbagi dalam daerah IR dekat (12800-4000 cm<sup>-1</sup>), daerah IR tengah (4000-200 cm<sup>-1</sup>) dan daerah IR jauh (200-10 cm<sup>-1</sup>). Radiasi inframerah jika dilewatkan melalui suatu cuplikan, maka molekul-molekulnya dapat menyerap (mengabsorpsi) energi. Transisi elektron akan terjadi di antara tingkat vibrasi dasar (*ground state*) dan tingkat vibrasi tereksitasi (*excited state*) (Khopkar, 2008). Vibrasi molekul dapat dianggap dan dihubungkan dengan energi

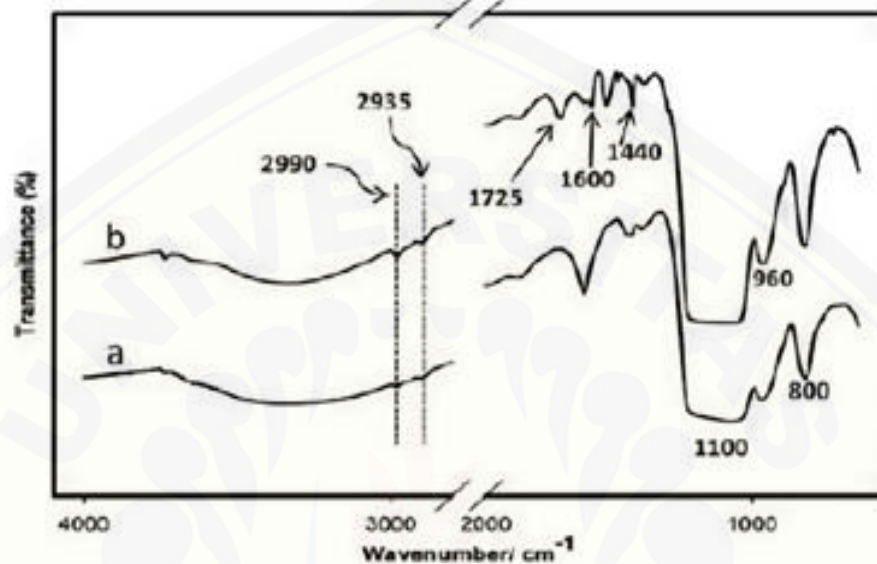
absorpsi yang umumnya diklasifikasikan sebagai vibrasi ulur dan vibrasi tekuk. Vibrasi ulur menyangkut konstanta vibrasi antara dua atom sepanjang sumbu ikatan. Vibrasi tekuk disebabkan karena berubahnya sudut antara dua ikatan. Tingkat vibrasi pengabsorbsian energi pada berbagai frekuensi dapat dideteksi oleh spektrofotometer inframerah, yang memplot jumlah radiasi inframerah yang diteruskan melalui cuplikan sebagai fungsi frekuensi atau panjang gelombang radiasi (Hendayana *et al.*, 1994).

Beberapa penelitian yang menggunakan FTIR telah dilakukan. Pola absorpsi dari silika gel menunjukkan pita lebar dengan puncak pada panjang gelombang  $3427,3 \text{ cm}^{-1}$  yang merupakan pita absorpsi vibrasi gugus  $\text{-OH}$  pada silanol. Absorpsi pada  $1083,9 \text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur simetri dari  $\text{-Si-O}$  pada siloksan. Absorpsi pada  $968,2 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur  $\text{-Si-O}$  pada silanol (Silverstein *et al.*, 1986). Vibrasi tekuk gugus  $\text{-OH}$  pada silanol ditunjukkan pada panjang gelombang  $1622 \text{ cm}^{-1}$  dan vibrasi tekuk dari gugus siloksan ( $\text{Si-O-Si}$ ) ditunjukkan pada  $418,5 \text{ cm}^{-1}$ . Pita absorpsi yang muncul pada silika gel secara umum menunjukkan bahwa gugus-gugus fungsi pada silika gel tersebut adalah silanol atau  $\text{Si-OH}$  dan siloksan atau  $\text{Si-O-Si}$ . Setelah proses modifikasi berhasil, maka pola spektra akan mengalami beberapa perubahan (Mar'atus dan Saputro, 2012) Berikut hasil karakterisasi silika gel dengan FTIR :



Gambar 2.7 Spektra inframerah silika gel hasil sintesis  
(Sumber: Yusuf *et al.*, 2014)

Hasil karakterisasi FTIR ketika silika gel termodifikasi dengan amina akan mengalami pola absorpsi yang berbeda. Adanya gugus amina yang terikat dengan gugus silanol akan menyebabkan munculnya pelebaran puncak yaitu ditunjukkan pada  $3500\text{ cm}^{-1}$ . Berikut hasil karakterisasi silika-amina dengan FTIR :



Gambar 2.8 Spektra inframerah silika termodifikasi etanolamina  
(Sumber : Zarabadi *et al.*, 2011)

### BAB 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2017 hingga April 2018 di Laboratorium Kimia Anorganik, Laboratorium Kimia Dasar, Laboratorium Kimia Organik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, serta Laboratorium Tanah Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Karakterisasi FTIR dilakukan di Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.

#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.1 Alat

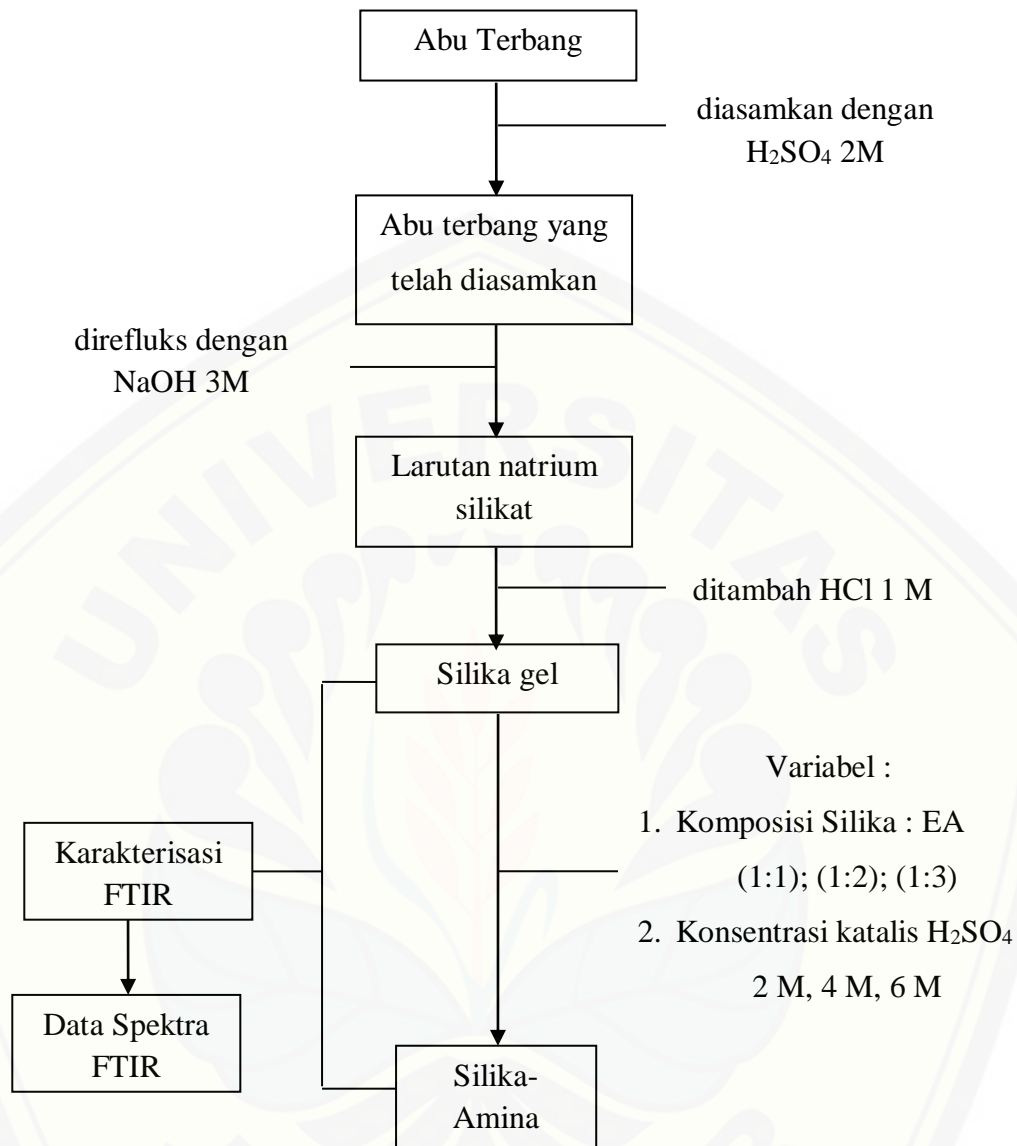
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas laboratorium, *stirrer* magnetik dan anakan *stirrer* magnetik, termometer dan pemanas listrik (Lab. Companion HP-3000), oven (Memmert), neraca analitik (*Ohaus Analytical Plus*), ayakan ukuran 200 mesh, *furnace* (Barnstead Thermolyne 1400), set alat refluks, set alat FTIR (*Fourier Transform Infra Red*).

##### 3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu terbang dari PLTU Paiton-Probolinggo, etanolamina (Merck, 99%), akuades, NaOH (Merck, 99%), HCl (Merck, 37%), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Merck, 97%), kertas saring biasa, kertas saring *whatman* no. 41.



### 3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Pembuatan Larutan Pereaksi

##### a. Pembuatan Larutan NaOH 3 M

Larutan NaOH 3 M dibuat dengan cara menimbang terlebih dahulu NaOH sebanyak 30 gram, kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia 250 mL yang berisi sedikit akuades. NaOH yang telah dilarutkan kemudian dimasukkan ke

dalam labu ukur 250 mL dan ditambah akuades hingga tanda batas. Labu ukur dikocok perlahan supaya larutan menjadi homogen.

b. Pembuatan Larutan HCl 1 M

Larutan HCl 1 M dibuat dengan mengambil 41,5 mL HCl 37% (12 M), kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL yang telah berisi sedikit akuades, kemudian ditambah akuades hingga tanda batas. Labu ukur dikocok perlahan supaya larutan menjadi homogen.

c. Pembuatan Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2 M

Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2 M dibuat dengan mengambil 10,9 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 97% (18,2 M), kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL yang telah berisi akuades. Larutan kemudian ditambah akuades hingga tanda batas. Labu ukur dikocok perlahan supaya larutan menjadi homogen.

d. Pembuatan Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4 M

Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4 M dibuat dengan mengambil 21,9 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 97% (18,2 M), kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL yang telah berisi akuades. Larutan kemudian ditambah akuades hingga tanda batas. Labu ukur dikocok perlahan supaya larutan menjadi homogen.

e. Pembuatan Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 6 M

Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 6 M dibuat dengan mengambil 32,9 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 97% (18,2 M), kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL yang telah berisi akuades. Larutan kemudian ditambah akuades hingga tanda batas. Labu ukur dikocok perlahan supaya larutan menjadi homogen.

### 3.4.2 Preparasi Sampel

Sampel abu terbang dari PLTU Paiton-Probolinggo ditimbang sebanyak 70 gram dan direndam dalam air panas 400 mL selama 2 jam sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* untuk mengekstrak pengotor yang larut dalam air. Campuran abu terbang dan air didekantasi, diambil residunya, dioven pada temperatur 60°C selama 24 jam, kemudian dihaluskan dengan alu dan mortar. Abu terbang diambil sebanyak 40 gram kemudian diasamkan dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2 M sebanyak 200 mL untuk menghilangkan pengotor dan oksida-oksida logam yang tidak larut dalam air. Larutan sampel kemudian diaduk menggunakan stirer

magnetik selama 1 jam kemudian disaring dengan corong *Buchner* menggunakan kertas saring *whatman* No. 41. Residu dinetralkan dengan cara dibilas menggunakan akuades berulang kali sampai diperoleh filtrat netral (pH diukur menggunakan pH meter). Residu dikeringkan di dalam oven pada temperatur 70°C selama 24 jam. Endapan kemudian ditimbang massanya (Andriana, 2016).

#### 3.4.3 Pembuatan Silika Gel

Pembuatan silika gel diadopsi dari berbagai metode yang dikembangkan oleh Andriana (2016), dengan cara sampel yang telah dipreparasi ditimbang sebanyak 10 gram dan dicampur dengan 3M NaOH 120 mL. Campuran kemudian direfluks selama 1 jam pada temperatur 90°C. Campuran kemudian disaring dengan corong *Buchner* dan kertas saring *whatman* no. 41 yang telah dioven selama 15 menit, ditimbang, dan dicatat massanya terlebih dahulu. Filtrat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) yang diperoleh ditampung dalam gelas beker. Silika diendapkan dengan cara menambahkan larutan HCl 1M ke dalam filtrat secara bertahap sambil diaduk dengan *stirrer magnetic* hingga pembentukan endapan silika berhenti (rentang pH 6,5-7) (pH diukur menggunakan pH meter), kemudian didiamkan selama 18 jam dalam temperatur ruang. Endapan disaring dan dibilas menggunakan akuades untuk menghilangkan kelebihan asam. Silika yang diperoleh selanjutnya dikeringkan dalam oven pada temperatur 70°C selama 24 jam. Silika gel ditimbang massanya kemudian digerus menggunakan alu dan mortar, lalu diayak menggunakan ayakan 200 mesh. Silika kemudian dikalsinasi pada 550°C selama 4 jam dalam *furnace* dan disimpan dalam desikator.

#### 3.4.4 Sintesis Silika-Amina (Variasi Komposisi Silika : Etanolamina)

Silika gel yang telah berhasil disintesis dari abu terbang batubara, dilakukan modifikasi pada strukturnya dengan gugus Amina mengikuti metode yang dikembangkan oleh (Czuan et al., 2013). Silika gel ditambah dengan etanolamina dengan perbandingan massa/volume 1:1 dalam pelarut  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2 M 10% v/v etanolamina, 1:2 dalam pelarut  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2 M 10% v/v etanolamina serta 1:3 dalam pelarut  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2 M 10% v/v etanolamina. Reaksi dikondisikan pada temperatur 100°C selama 18 jam sambil diaduk dengan *stirrer magnetic* dalam

labu leher tiga secara refluks. Campuran disaring dengan kertas saring *whatman* no. 41 dan dicuci akuades dengan 3 kali pencucian. Hasil yang diperoleh dikeringkan dalam oven pada temperatur 70°C selama 3 jam. Sintesis silika amina pada setiap variasi komposisi tersebut dilakukan dengan 3 kali pengulangan.

#### 3.4.5 Sintesis Silika-Amina (Variasi Konsentrasi Katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

Silika gel yang telah berhasil disintesis dari abu terbang batubara, dilakukan modifikasi pada struktur permukaannya dengan gugus Amina mengikuti metode yang dikembangkan oleh (Czaun *et al.*, 2013). Silika gel ditambah dengan etanolamina perbandingan massa/volume yang optimum pada pengukuran sebelumnya dalam pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10% v/v etanolamina. Katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang digunakan dengan variasi 2 M, 4 M dan 6 M secara bergantian. Reaksi dikondisikan pada temperatur 100 °C selama 18 jam diaduk dengan *stirrer magnetic* dalam labu leher tiga secara refluks. Campuran disaring dengan kertas saring *whatman* no. 41 dan dicuci etanol dengan 3 kali pencucian. Hasil yang diperoleh dipanaskan pada temperatur 70°C selama 3 jam. Sintesis silika amina pada setiap variasi konsentrasi katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tersebut dilakukan dengan 3 kali pengulangan.

#### 3.4.6 Karakterisasi Silika Gel dan Silika Amina dengan FTIR

Ditimbang sampel silika amina sebanyak 0,001 gram. Sampel ditambahkan KBr dengan perbandingan 1:9 gram kedalam *mortar* dan diaduk hingga rata. Disiapkan cetakan *pellet* dan dicuci bagian sampel, *base*, dan *table frame* menggunakan kloroform. Sampel KBr yang telah dicampur dimasukkan kedalam set cetakan *pellet*, diletakkan cetakan pada pompa hidrolik dan diberi tekanan sebesar 8 *gauge*. *Pellet* KBr yang telah terbentuk dilepaskan dan ditempatkan pada *table holder*. Sampel dianalisis dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsinya pada bilangan gelombang 400 cm<sup>-1</sup> – 4000 cm<sup>-1</sup>.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

1. Komposisi optimum dalam modifikasi silika oleh etanolamina dengan katalis  $\text{H}_2\text{SO}_4$  terjadi pada komposisi 1:3 dengan munculnya serapan amina primer pada bilangan gelombang  $3466,20 \text{ cm}^{-1}$  dan jumlah gugus  $-\text{OH}$  dari Si-OH tersisa sebesar 68,89%.
2. Konsentrasi katalis  $\text{H}_2\text{SO}_4$  optimum dalam modifikasi silika oleh etanolamina dengan katalis  $\text{H}_2\text{SO}_4$  terjadi pada konsentrasi 4 M dengan jumlah gugus  $-\text{OH}$  dari Si-OH tersisa sebesar 55,55 %.

### 5.2 Saran

Perlu dilakukan pengukuran pH pada variasi penambahan etanolamina untuk mengetahui batas silika dapat larut ataupun mengendap dalam pemodifikator etanolamina. Selain itu, perlu dilakukan analisis lebih lanjut berupa karakterisasi  $^1\text{H}$  NMR dan  $^{13}\text{C}$  NMR untuk mengetahui ikatan yang terbentuk antara silika dan etanolamina.

DAFTAR PUSTAKA

- Adak, D., Sarkar, M., and Mandal, S. 2013. Effect of nano-silica on strength and durability of fly ash based geopolymer mortar. *Construction and Building Materials*, 70, 453–459.
- Affandi, S., Setyawan, H., Winardi, S., Purwanto, A., and Balgis, R. 2009. A facile method for production of high-purity silica xerogels from bagasse ash. *Advanced Powder Technology*, 20, 468–472.
- Alcantara, E.F.C., Faria, E.A., Rodrigues, D.V., Evangelista, S.M., DeOliveira, E., Rabelo, D., and Prado, A.G.S., 2007. Modification of clinoptilolite nanoparticles by a cationic surfactant and dithizone for removal of Pb(II) from aqueous solution. *Journal Colloid Interface Sci.*, 311, 1-7.
- Andriana, N. 2016. Pemanfaatan Silika Gel berbasis Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara PLTU Paiton Probolinggo sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru. *Skripsi*. Jember: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Bhatia, R.B and Jeffrey, B. 2000. Aqueous sol-gel process for protein encapsulation. *Chem. Mater* 12 (8): 2434-2441.
- Buhani dan Suharso. 2010. Modifikasi Silika dengan 3-Aminopropiltrimetoksisilan melalui proses sol gel untuk adsorpsi ion Cd(II) dari larutan. *Journal Sains MIPA*, Vol. 16, No. 3, Hal.: 177-183.
- Czaun, M., Goepfert, A., May, R. B., Peltier, D., Zhang, H., Prakash, G. K. S., and Olah, G. A. 2013. Organoamines-grafted on nano-sized silica for carbon dioxide capture. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, 1, 1–7.
- Djarmiko R, dan Amaria. 2012. Modifikasi silika gel dari sekam padi dengan 8-hidroksiquinolin sebagai adsorben Ni(II) dalam medium air. *UNESA Journal of Chem.* 1(2): 58-65.
- Gil, M., Tiscornia, I., Iglesia, Ó. d. I., Mallada, R., and Santamaría, J. 2011. Monoamine-grafted MCM-48: An Efficient Material for CO<sub>2</sub> Removal at Low Partial Pressures. *Chemical Engineering Journal*, 175, 291–297.

- Handoyo, Kristian. 1996. *Kimia Anorganik*. Yogyakarta:Gadjah Mada University.
- Handayani, P.A., Nurjanah, E., dan Rengga, W.D.P. 2015. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 21 Desember 2015. Prodi Teknik Kimia, Jurusan Teknik, Universitas Negeri Semarang. *JBAT* 4 (2), 55-59.
- Jal, P.K, Patel, S., and Mishra, B.K. 2004. Chemical modification of silica surface by immobilization of functional groups for extractive concentration of metal ions, *Talanta*, 62, 1005-1028.
- Javadian, H., Koutenaiei, BB., Khatti, R., dan Toosi, M. 2014. Application of functionalized nano HMS type mesoporous silica with N-(2-aminoethyl)-3-aminopropyl methyltrimethoxysilane as a suitable adsorbent for removal of Pb(II) from aqueous media and industrial wastewater. *Journal Saud Chem. Soc*, 10, 1016-1029.
- Kalpathy, U., Proctor, A., dan Shultz, J. 2000. A simple method for production of puresilica from rice hull ash. *Bioresource Technology*, 73, 257–262.
- Khopkar, S.M.2008. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: Universitas Indonesia
- Mar'atus, I.S. dan A.N.C. Saputro. 2012. Preparasi Silika Gel Dari Abu Sekam Padi Sebagai Adsorben Logam Nikel (Ni) dalam Limbah Elektroplating. *Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia IV*. 31 Maret 2012. Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan *PMIPA FKIP UNS*: 163-171.
- Morrow, B. A. And Gay, I. D. 2000. Infrared and NMR characterization of the silica surface. *Surfactant Science Series*, 90 (Adsorption on Silica Surfaces), 9, 2000.
- Mujiyanti DR, Nuryono, dan Kuranti ES. 2010. Sintesis dan karakterisasi silika gel dari abu sekam padi yang diimmobilisasi dengan 3-(trimetoksisilil)-1-propanthiol. *Sains dan Terapan Kimia*. 4(2): 150-167.
- Najafi, M., Yousefi, Y., dan Rafati, A.A. 2012. Synthesis, characterization and adsorption studies of several heavy metal ions on amino-functionalized silica nano hollow sphere and silica gel. *Separation and Purification Technology*, 85, 193-205.

- Ngatijo, R., Novia, L., dan Munasir, S. 2013. *Sintesis silika termodifikasi amina dan aplikasinya sebagai adsorben ion tembaga (II)*. Prosiding Semirata. Lampung: Universitas Lampung.
- Nuryono, S.A., Narsito dan Astuti. 2005. *Sintesis silika gel terenkapsi enzim dari abu sekam padi dan aplikasinya untuk biosensor*. Laporan Penelitian. Yogyakarta : Lembaga Penelitian Universitas Gadjah Mada.
- Radi, S., Basbas, N., Tighadouini, S., Bacquet, M., Degoutin, S., and Cazier, F. 2013. New amina-modified silicas: Synthesis, Characterization and its use in the Cu(II)-removal from aqueous solutions. *Progress in nanotechnology and nanomaterials*. Vol.2 Iss.4, PP. 108-116.
- Rahman, I.A., Jafarzadeh, M., and Sipaut, C.S. 2009. Synthesis of organo-functionalized nanosilica via a co-condensation modification using  $\gamma$ -aminopropyltriethoxysilane (APTES). *Ceramics International*, 35, 1883-1888.
- Rapierna, A., Rowe, R.C., dan Fathinathan, S. 2012. *Sintesis dan pemanfaatan membran kitosan-silika sebagai membran pemisan ion logam  $Zn^{2+}$  dan  $Fe^{2+}$* . Tugas Akhir II. Semarang: Jurusan Kimia, FMIPA. UNNES.
- Rehman, F., Volpe, P.L.O., and Airoidi, C. 2014. Free amino and imino-bridged centres attached to organic chains bonded to structurally ordered silica for dye removal from aqueous solution. *Journal of Environmental Management*, 133, 135-143.
- Safitri, M.N., Maiti, K.N., dan Prasad, C.S. 2012. *Sintesis silika gel termodifikasi tributilamina dari limbah kaca untuk kromatografi kolom*. Pontianak : Universitas Tnajungpura, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Pontianak.
- Saputra, I.P., Zahara, T.A., dan Wahyuni, N. 2014. Optimasi waktu dan suhu pengeringan modifikasi silika gel berbahan dasar abu sekam pada dengan tributilamina. No. Artikel: JKK. Vol. 4(2), Hal. 1-7. Pontianak: Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura.
- Scheiman, M.A. 1962. *A review of monoethanolamine chemistry: surface chemistry branch and chemistry division*. Washington D.C: U.S Naval Research Laboratory.



- Schubert, U., and Husing, N. 2000. *Synthesis of ionorganic materials*. Weinheim : Wiley-VCH.
- Sharma, R.K., Puri, A., Kumar, A., and Adholeya, A. 2013. Chemically modified silica gel with 1-{4-[(2-hydroxy-benzylideneamino)phenyl]ethanone: Synthesis, characterization and application as an efficient and reusable solid phase extractant for selective removal of Zn(II) from mycorrhizal treated fly-ash samples. *Journal of Environmental Sciences*, 25(6), 1252-1261.
- Silverstein, R.M., Bassler, G.C., and Moriil, T.C. 1986. *Spectrometric identification of organic compounds, second edition*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Slavov, S.V., Chuang, K.T., and Sanger, A.R. 1996. Modification of the surfaces of silica, silica-alumina, and aluminium silicate with chloro-trimethylsilane. *Journal Phys. Chem*, 100, 16285-16292.
- Sriyanti, Taslimah, Nuryono dan Narsito. 2005. *Sintesis bahan hibrida amino-silika dari abu sekam padi melalui proses sol gel*. No. Artikel: JKSA. Vol.VIII No.1. Semarang: Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Diponegoro.
- Suchithra, P.S., Vazhayal, L., Mohamed, A.P., and Ananthakumar, S. 2012. Mesoporous organic-inorganic hybrid aerogels through ultrasonic assisted sol-gel intercalation of silica-PEG in bentonite for effective removal of dyes, volatile organic pollutants and petroleum products from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, 200-202, 589-600.
- Sukalyan, D., Soumyashri, M., Sabita, P., Bijay, and K.Mishra. 2008. Organically modified silica: synthesis and application due to its surface interaction with organic molecules. *Advance in Colloid and Science*. 7(2): 80-85.
- Sun, Y., Zhang, Z., and Wong, C.P. 2005. Study on mono-dispersed nano-size silica by surface modification for underfill applications. *Journal of Colloid and Interface Science*, 292, 436-444.
- Tzvetkova, P., dan Nickolov, R. 2012. Modified and unmodified silica gel used for heavy metal ions removal from aqueous solutions. *Journal of the university of chemical technology and metallurgy*, 47, 5, 498-504.

- Vejayakumaran, P., Rahman, I.A., Sipaut, C.S., Ismail, J., and Chee, C.K. 2008. Structural and thermal characterizations of silica nanoparticles grafted with pendant maleimide and epoxide groups. *Journal of Colloid and Interface Science*, 328, 81-91.
- Yusmaniar, M.P., Jofita, N., dan Wahyuni, N. 2014. Sintesis dan uji adsorpsi silika termodifikasi 3-aminopropiltrioksisilan (APTS) pada logam Cu (II) dalam larutan. *Jurnal Riset Sains dan Kimia Terapan*, 4(2), 2302-8467.
- Yusuf, M., Suhendar, D., dan Hadisantoso, E.P. 2014. Studi Karakteristik Silika Gel dari Ampas Tebu dengan Variasi Konsentrasi Asam Klorida. *ISSN*. 8 (1): 16-28.
- Zarabadi, Pezhman P., Badiei, A., Fahlman, B.D., Pezhman, A., and Ziarani, G.M. 2011. One-pot synthesis of ethanolamine-modified mesoporous silica. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50, 10036-10040.
- Zhu, X., Cui, Y., Chang, X., Zou, X., and Li, Z. 2009. Selective solid phase extraction of lead(II) from biological and natural water samples using surface grafted lead(II)-imprinted polymers. *Microchim Acta*. 164: 125-132.

LAMPIRAN

Lampiran 4.1. Perhitungan Preparasi Bahan

4.1.1 Pembuatan Larutan

a. Pembuatan Larutan NaOH 3M dalam 250 mL

$$M = \frac{n(\text{mol})}{V(\text{L})}$$

$$M = \frac{\left(\frac{m}{Mr}\right)}{V}$$

$$3 \text{ M} = \frac{\left(\frac{m}{40 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}\right)}{0,25 \text{ L}}$$

$$\begin{aligned} m &= 3 \text{ mol/L} \times 0,25 \text{ L} \times 40 \text{ g/mol} \\ &= 30 \text{ gram} \end{aligned}$$

b. Pembuatan Larutan HCl 1 M dari HCl 37%

$$M = \frac{n(\text{mol})}{V(\text{L})}$$

$$M = \frac{\text{Massa}}{Mr} \times \frac{1}{V}$$

$$M = \frac{\text{Massa}}{Mr} \times \frac{\rho}{m}$$

$$M = \frac{37 \text{ g}}{36,50 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \times \frac{1,19 \frac{\text{g}}{\text{mL}}}{100 \text{ g}}$$

$$M = \frac{44,03 \text{ mol}}{3650 \text{ mL}} = 12,06 \text{ mol/L}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$12,06 \text{ mol/L} \times V_1 = 1 \text{ mol/L} \times 500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{1 \text{ mol/L} \times 500 \text{ mL}}{12,06 \text{ mol/L}}$$

$$V_1 = 41,5 \text{ mL}$$

c. Pembuatan Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2M dari H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 97%

$$M = \frac{n(\text{mol})}{V(\text{L})}$$

$$M = \frac{\text{Massa}}{M_r} \times \frac{1}{V}$$

$$M = \frac{\text{Massa}}{M_r} \times \frac{1}{\frac{m}{\rho}}$$

$$M = \frac{\text{Massa}}{M_r} \times \frac{\rho}{m}$$

$$M = \frac{97 \text{ g}}{98 \text{ g/mol}} \times \frac{1,84 \text{ g/mL}}{100 \text{ g}}$$

$$M = \frac{178,48 \text{ mol}}{9800 \text{ mL}}$$

$$M = 18,2 \text{ mol/L}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$18,2 \text{ mol/L} \times V_1 = 2 \text{ mol/L} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{2 \text{ mol/L} \times 100 \text{ mL}}{18,2 \text{ mol/L}}$$

$$V_1 = 10,9 \text{ mL}$$

- d. Pembuatan Larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  4M dari  $\text{H}_2\text{SO}_4$  97%

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$18,2 \text{ mol/L} \times V_1 = 4 \text{ mol/L} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{4 \text{ mol/L} \times 100 \text{ mL}}{18,2 \text{ mol/L}}$$

$$V_1 = 21,9 \text{ mL}$$

- e. Pembuatan Larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  6M dari  $\text{H}_2\text{SO}_4$  97%

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$18,2 \text{ mol/L} \times V_1 = 6 \text{ mol/L} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{6 \text{ mol/L} \times 100 \text{ mL}}{18,2 \text{ mol/L}}$$

$$V_1 = 32,9 \text{ mL}$$

## 4.1.2 Perhitungan Mol 1 gram Silika

$$n = \frac{m}{Mr}$$

$$n = \frac{1 \text{ g}}{60,09 \text{ g/mol}}$$

$$n = 0,017 \text{ mol}$$

## 4.1.3 Perhitungan Volume 0,017 mol Etanolamina

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{n \times Mr}{\rho}$$

$$= \frac{0,017 \text{ mol} \times 61 \text{ g/mol}}{1,02 \text{ g/mL}}$$

$$= 1,017 \text{ mL}$$

**Lampiran 4.2.** Perhitungan Rendemen Variasi Komposisi

Variasi Komposisi	Pengulangan Ke-	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Massa rata-rata (g)
SG1EA1	1	1,0007	0,6464	0,6411
	2	1,0009	0,6483	
	3	1,0002	0,6286	
SG1EA2	1	1,0009	0,6155	0,6178
	2	1,0003	0,6199	
	3	1,0001	0,6179	
SG1EA3	1	1,0005	0,5986	0,5955
	2	1,0003	0,5937	
	3	1,0001	0,5942	

## a. Variasi komposisi (1:1)

## ➤ Pengulangan 1

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\% \\ &= \frac{0,6464 \text{ g}}{1,0007 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 31,72 \% \end{aligned}$$

## ➤ Pengulangan 2

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\% \\ &= \frac{0,6489 \text{ g}}{1,0009 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 31,82 \% \end{aligned}$$

## ➤ Pengulangan 3

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\% \\ &= \frac{0,6286 \text{ g}}{1,0002 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 30,86 \% \end{aligned}$$

## b. Variasi komposisi (1:2)

## ➤ Pengulangan 1

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\% \\ &= \frac{0,6155 \text{ g}}{1,0009 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 30,20 \% \end{aligned}$$

## ➤ Pengulangan 2

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\% \\ &= \frac{0,6199 \text{ g}}{1,0003 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 30,43 \% \end{aligned}$$

## ➤ Pengulangan 3

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\% \\ &= \frac{0,6179 \text{ g}}{1,0001 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 30,33 \% \end{aligned}$$

## c. Variasi komposisi (1:3)

## ➤ Pengulangan 1

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,5986 \text{ g}}{1,0005 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 29,38 \%$$

➤ Pengulangan 2

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,5937 \text{ g}}{1,0003 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 29,14 \%$$

➤ Pengulangan 3

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,5942 \text{ g}}{1,0001 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 29,17 \%$$

**Lampiran 4.3.** Perhitungan Rendemen Variasi Konsentrasi

Variasi Konsentrasi	Pengulangan Ke-	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Massa rata-rata (g)
2 M	1	1,0005	0,5996	0,5985
	2	1,0004	0,5983	
	3	1,0006	0,5977	
4 M	1	1,0003	0,6171	0,6172
	2	1,0004	0,6188	
	3	1,0007	0,6156	
6 M	1	1,0005	0,6555	0,6578
	2	1,0009	0,6579	
	3	1,0003	0,6599	

a. Variasi konsentrasi 2 M

➤ Pengulangan 1

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,5996 \text{ g}}{1,0005 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 29,43 \%$$

➤ Pengulangan 2

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,5983 \text{ g}}{1,0004 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 29,37 \%$$

➤ Pengulangan 3

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,5977 \text{ g}}{1,0006 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 29,33 \%$$

b. Variasi konsentrasi 4 M

➤ Pengulangan 1

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,6171 \text{ g}}{1,0003 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 30,29 \%$$

➤ Pengulangan 2

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,6188 \text{ g}}{1,0004 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 30,37 \%$$

➤ Pengulangan 3

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,6156 \text{ g}}{1,0007 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 30,21 \%$$

c. Variasi konsentrasi 6 M

➤ Pengulangan 1

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,6555 \text{ g}}{1,0005 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 32,17 \%$$



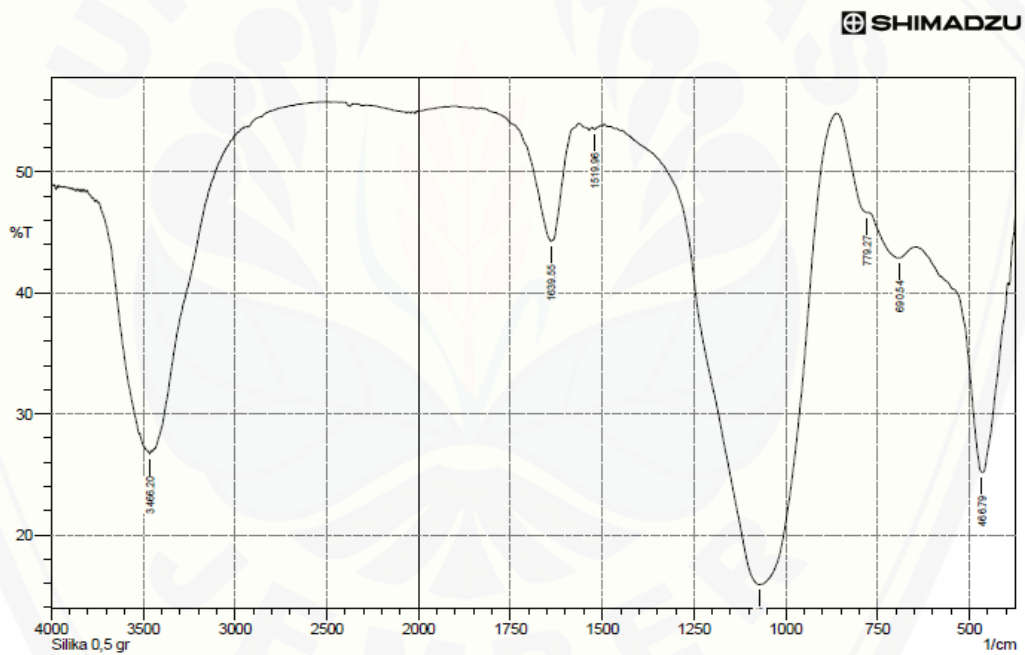
## ➤ Pengulangan 2

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\% \\ &= \frac{0,6579 \text{ g}}{1,0009 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 32,28 \% \end{aligned}$$

## ➤ Pengulangan 3

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{\text{Massa akhir}}{\text{Massa awal} + \text{Massa etanolamina}} \times 100\% \\ &= \frac{0,6599 \text{ g}}{1,0003 \text{ g} + 1,037 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 32,39 \% \end{aligned}$$

Lampiran 4.4. Spektra FTIR Silika Gel dari Abu Terbang Batubara

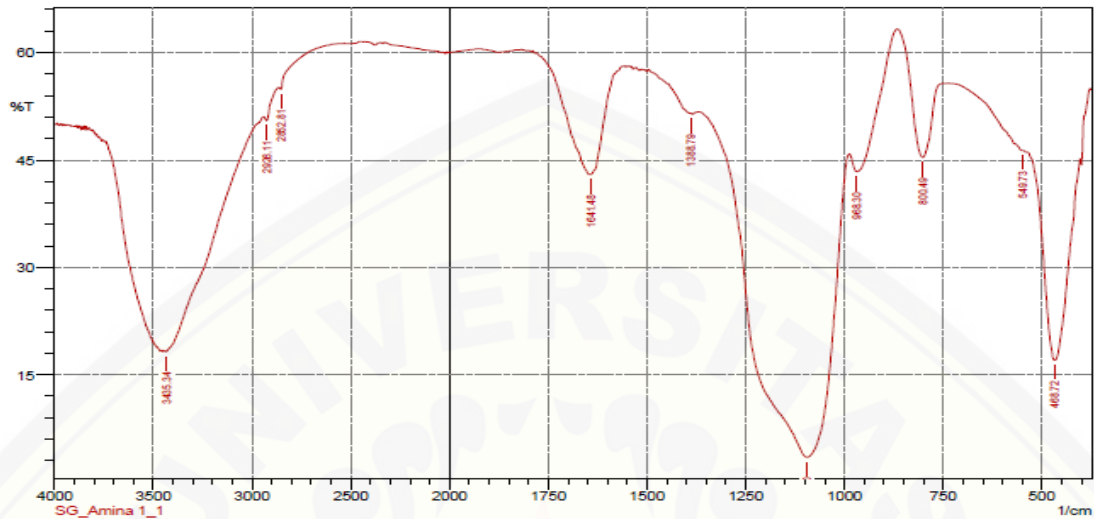


	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	466.79	25.185	16.504	644.25	395.42	110.098	17.074
2	690.54	42.903	1.883	773.48	646.17	45.377	1.466
3	779.27	46.623	0.56	860.28	773.48	26.041	0.341
4	1072.46	15.892	38.434	1444.73	862.21	276.257	120.963
5	1519.96	53.504	0.226	1527.67	1504.53	6.26	0.019
6	1639.55	44.262	10.043	1790	1564.32	66.539	6.97
7	3466.2	26.713	0.251	3475.84	3452.7	13.22	0.046

Lampiran 4.5. Spektra FTIR Silika Amina Variasi Komposisi

4.5.1 Variasi Komposisi (1:1)

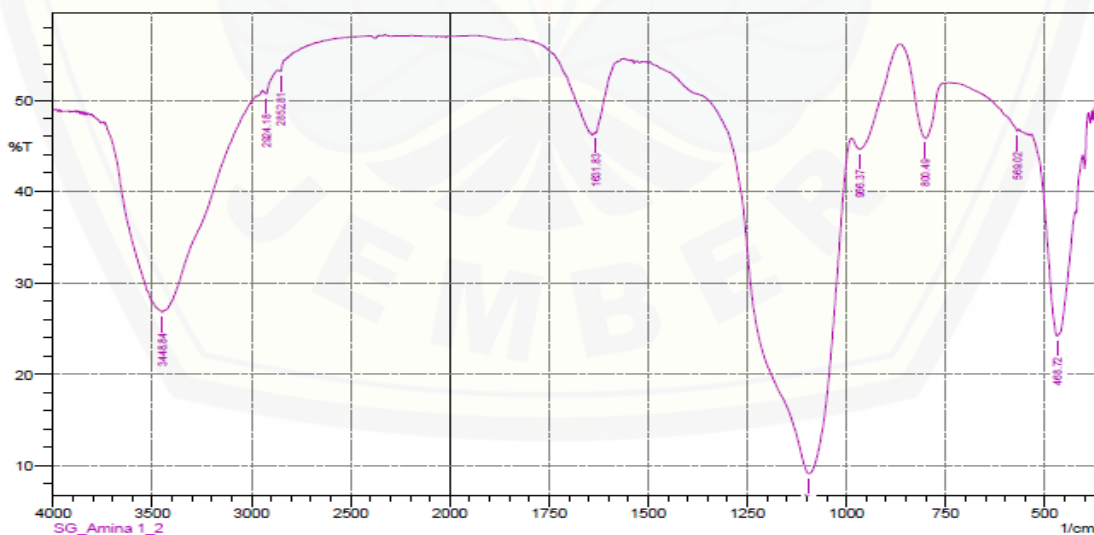
SHIMADZU



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	468.72	17.034	28.322	536.23	405.06	69.281	24.25
2	549.73	46.305	0.128	727.19	547.8	51.335	-1.427
3	800.49	45.365	13.628	866.07	750.33	31.87	5.67
4	968.3	43.35	5.285	987.59	866.07	35.714	3.076
5	1095.6	3.487	43.98	1367.58	989.52	292.128	173.864
6	1388.79	51.467	0.169	1446.66	1388.86	16.37	0.145
7	1641.48	42.999	0.794	1645.33	1573.97	21.605	-0.057
8	2852.81	54.863	0.566	2864.39	2619.42	58.012	-1.908
9	2926.11	50.506	1.344	2941.54	2864.39	21.386	0.122
10	3435.34	18.244	0.52	3441.12	2941.54	240.071	0.702

4.5.2 Variasi Komposisi (1:2)

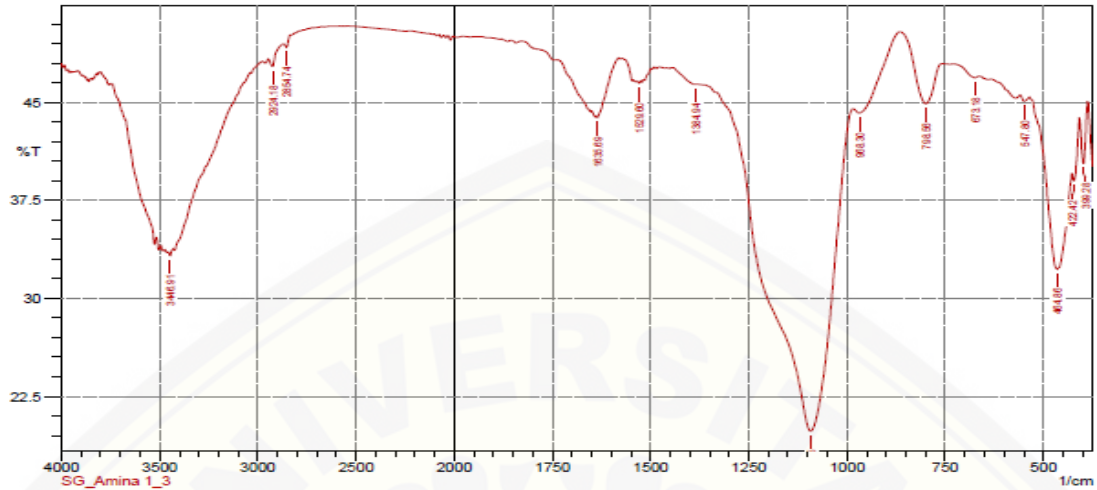
SHIMADZU



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	468.72	24.168	16.973	532.37	424.35	52.109	10.982
2	569.02	46.638	0.305	727.19	665.16	48.896	-0.881
3	800.49	45.85	7.768	864.14	756.12	32.261	3.319
4	968.37	44.643	2.975	987.59	864.14	38.101	1.724
5	1093.67	9.117	38.057	1379.15	987.59	232.666	108.635
6	1631.83	46.4	0.333	1633.76	1575.89	17.049	-0.26
7	2852.81	53.133	0.441	2864.39	2787.23	20.447	-0.052
8	2924.18	50.697	0.893	2943.47	2864.39	22.455	0.096
9	3448.84	26.784	0.649	3458.48	2972.4	204.306	1.143

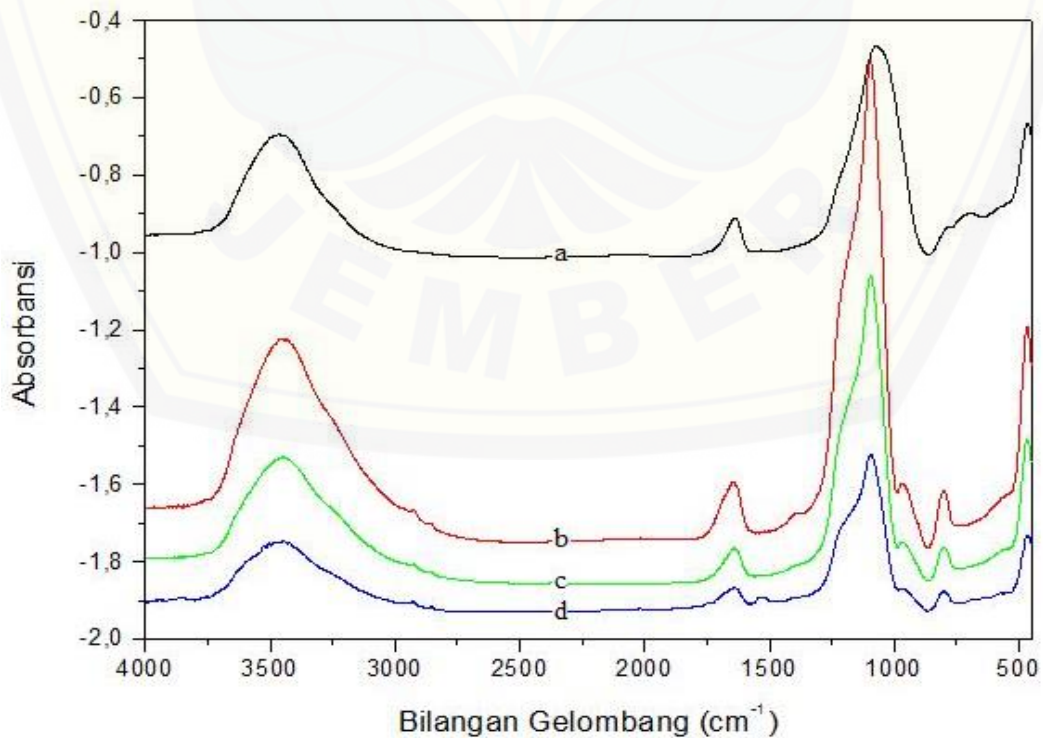
4.5.3 Variasi Komposisi (1:3)

SHIMADZU



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	399.28	40.338	4.077	408.92	387.7	7.944	0.476
2	422.42	38.976	1.894	428.21	408.92	7.604	0.271
3	464.86	32.243	9.315	536.23	428.21	46.498	5.238
4	547.8	45.09	0.393	559.38	536.23	7.97	0.05
5	673.18	46.884	0.266	729.12	661.61	21.905	0.052
6	798.56	44.886	3.981	866.07	758.05	35.11	1.796
7	968.3	44.181	1.185	985.66	866.07	39.579	0.763
8	1091.75	19.862	25.031	1330.93	985.66	174.227	54.905
9	1384.94	46.383	0.115	1444.73	1379.15	21.573	0.077
10	1529.6	46.466	0.175	1537.32	1525.74	3.843	0.009
11	1635.69	43.838	0.417	1639.55	1581.68	19.473	0.023
12	2854.74	49.208	0.536	2870.17	2831.6	11.749	0.073
13	2924.18	47.75	0.88	2945.4	2870.17	23.535	0.15
14	3446.91	33.264	0.403	3456.55	3431.48	11.911	0.063

Lampiran 4.6. Perhitungan % Gugus -OH dari Si-OH pada Variasi Komposisi



Sampel	Tinggi Puncak (cm)	% (Gugus -OH dari Si-OH)
*Silika tanpa modifikasi	4,5	100
SG1EA1	3,1	68,89
SG1EA2	3,1	68,89
SG1EA3	3,1	68,89

a. Komposisi 1:1

$$\begin{aligned}\text{Gugus -OH} &= \frac{\text{Tinggi puncak -OH SG1EA1}}{\text{Tinggi puncak-OH SG}} \times 100\% \\ &= \frac{3,1 \text{ cm}}{4,5 \text{ cm}} \times 100\% \\ &= 68,89 \%\end{aligned}$$

b. Komposisi 1:2

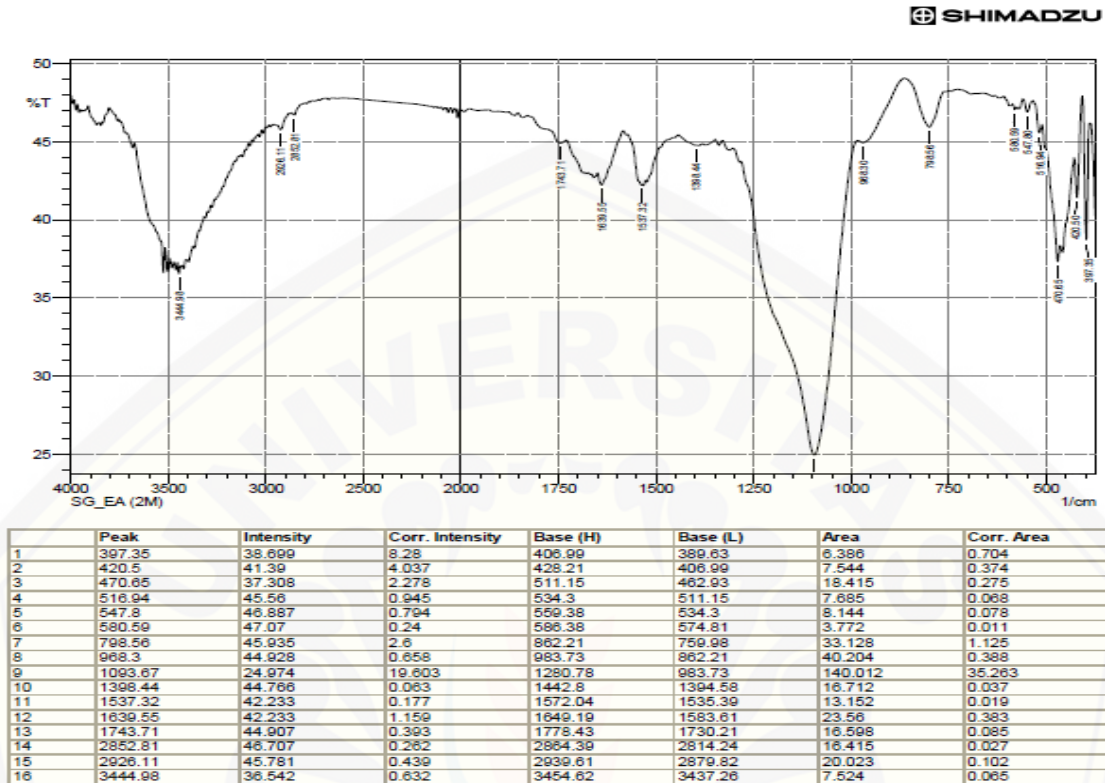
$$\begin{aligned}\text{Gugus -OH} &= \frac{\text{Tinggi puncak -OH SG1EA2}}{\text{Tinggi puncak-OH SG}} \times 100\% \\ &= \frac{3,1 \text{ cm}}{4,5 \text{ cm}} \times 100\% \\ &= 68,89 \%\end{aligned}$$

c. Komposisi 1:3

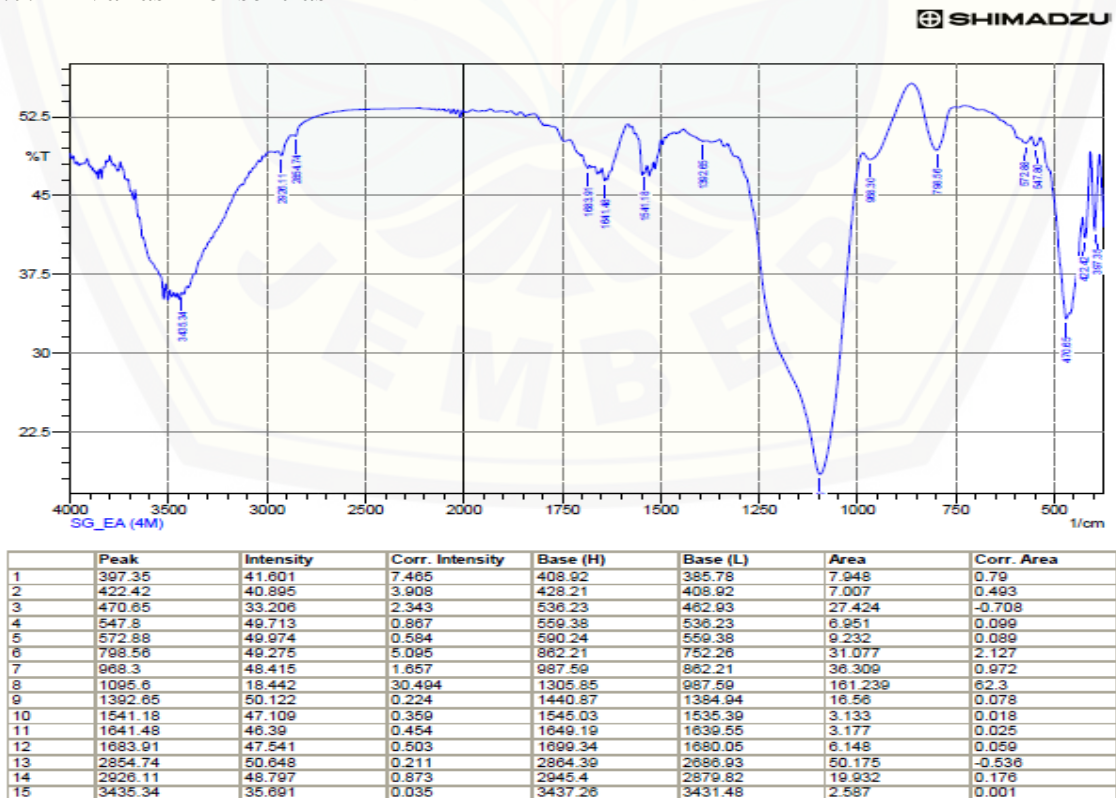
$$\begin{aligned}\text{Gugus -OH} &= \frac{\text{Tinggi puncak -OH SG1EA3}}{\text{Tinggi puncak-OH SG}} \times 100\% \\ &= \frac{3,1 \text{ cm}}{4,5 \text{ cm}} \times 100\% \\ &= 68,89 \%\end{aligned}$$

Lampiran 4.7. Spektra FTIR Silika Amina Variasi Konsentrasi

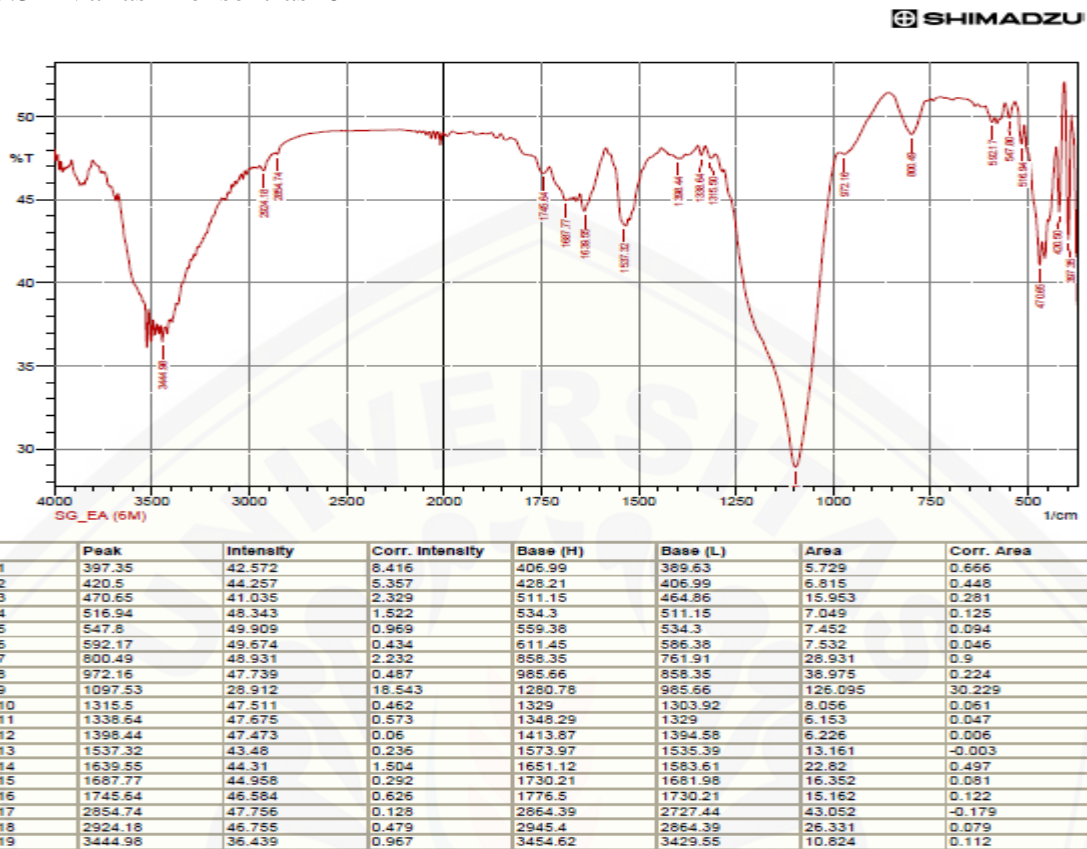
4.7.1 Variasi Konsentrasi 2 M



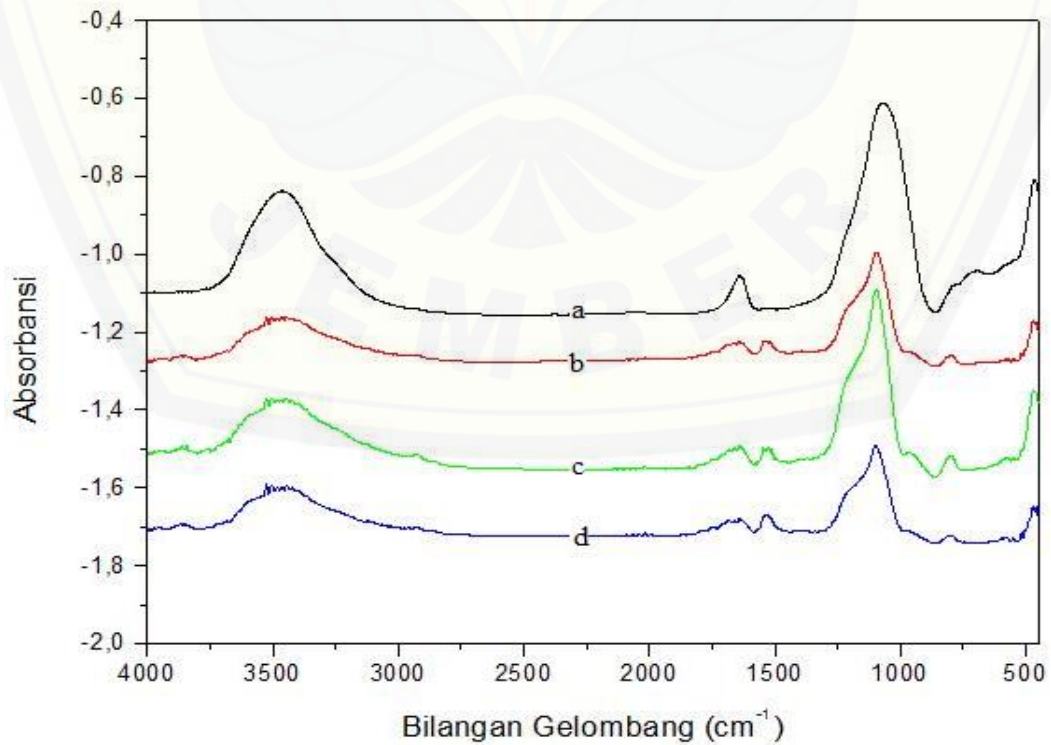
4.7.2 Variasi Konsentrasi 4 M



4.7.3 Variasi Konsentrasi 6 M



Lampiran 4.8. Perhitungan % Gugus -OH dari Si-OH pada Variasi Konsentrasi



Sampel	Tinggi Puncak (cm)	% (Gugus -OH dari Si-OH)
*Silika tanpa modifikasi	4,5	100
2 M	3,1	86,89
4 M	2,5	55,55
6 M	3,7	82,22

a. Konsentrasi 2 M

$$\begin{aligned}\text{Gugus -OH} &= \frac{\text{Tinggi puncak -OH SGEA 2M}}{\text{Tinggi puncak-OH SG}} \times 100\% \\ &= \frac{3,1 \text{ cm}}{4,5 \text{ cm}} \times 100\% \\ &= 68,89 \%\end{aligned}$$

b. Konsentrasi 4 M

$$\begin{aligned}\text{Gugus -OH} &= \frac{\text{Tinggi puncak -OH SGEA 4M}}{\text{Tinggi puncak-OH SG}} \times 100\% \\ &= \frac{2,5 \text{ cm}}{4,5 \text{ cm}} \times 100\% \\ &= 55,55 \%\end{aligned}$$

c. Konsentrasi 6 M

$$\begin{aligned}\text{Gugus -OH} &= \frac{\text{Tinggi puncak -OH SGEA 6M}}{\text{Tinggi puncak-OH SG}} \times 100\% \\ &= \frac{3,7 \text{ cm}}{4,5 \text{ cm}} \times 100\% \\ &= 82,22 \%\end{aligned}$$