



UNIVERSITAS INDONESIA

PEMANFAATAN AMPAS TEBU DALAM PEMBUATAN SILIKA GEL

SKRIPSI

AHMAD ZAKI ANSHORI

0606043010

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM JURUSAN TEKNIK KIMIA
DEPOK
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Ahmad Zaki Anshori

NPM : 0606043010

Tanda Tangan : 

Tanggal : 24-12-2008

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh
Nama : Ahmad Zaki Anshori
NPM : 06 06 04 30 10
Program Studi : Teknik Kimia Ekstensi
Judul Skripsi : Pemanfaatan Ampas Tebu Dalam Pembuatan Silika Gel

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Ekstensi Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Tilani Hamid Msi.

Tilani Hamid Msi.
30/12-08

Penguji : Ir. Dewi Trisnantini, MT. PhD

Dewi Trisnantini

Penguji : Ir. Bambang Heru Susanto, MT.

Bambang Heru Susanto

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 24- Desember-2008

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahilillahi robbil'alamin segala puji dan syukur selalu penulis panjatkan kepada Allah SWT atas anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam senantiasa teruntuk junjungan Nabi besar Muhammad SAW beserta keluarga, para sahabatnya dan juga kepada umatnya yang beriman sampai akhir zaman.

Penulisan skripsi dengan judul **“Pemanfaatan Ampas Tebu Dalam Pembuatan Silika Gel”** ini disusun dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia di Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya penulisan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof.Dr.Ir.Widodo Wahyu Purwanto DEA selaku Ketua Jurusan Departemen Tehnik Kimia Fakultas Tehnik Universitas Indonesia atas ide, saran dan masukannya.
2. Ibu Ir Tilani Hamid M.si sebagai dosen pembimbing akademik penulis yang telah memberikan sebagian waktunya untuk membimbing penulis menyelesaikan skripsi ini
3. Bapak Ir. Yuliusman, M.Eng. selaku koordinator mata kuliah spesial.
4. Bapak&Ibu tercinta serta kakak dan adik-adik tersayang (Mas Imam, Mbak Ainin, Wildan, Kholis,Izul,Nida,Naufal dan Nabila) atas bantuan doa,semangat dan kasih sayangnya yang telah diberikan.
5. Wahyu Eka Arini untuk semua support motivasi yang terus diberikan selama ini.Doamu serta senyummu adalah semangatku. Terus berjuang ya dek!

6. Seluruh teman-teman ekstensi teknik kimia UI angkatan 2006 dengan bantuan diskusi serta kebersamaan selama ini.

Akhirnya semoga semua bantuan yang diberikan dengan ikhlas itu diterima oleh Allah SWT sebagai amal shaleh. Amien. Penulis berharap bahwa skripsi ini dapat berguna suatu saat kelak bagi setiap orang yang membacanya. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis agar perbaikan demi perbaikan dapat terus dilakukan untuk mencapai hasil yang lebih baik lagi.

Depok, 24 Desember 2008



Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ahmad Zaki Anshori
NPM : 0606043010
Program Studi : Sarjana Ekstensi
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pemanfaatan Ampas Tebu Dalam Pembuatan Silika Gel

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 24 Desember 2008

Yang menyatakan

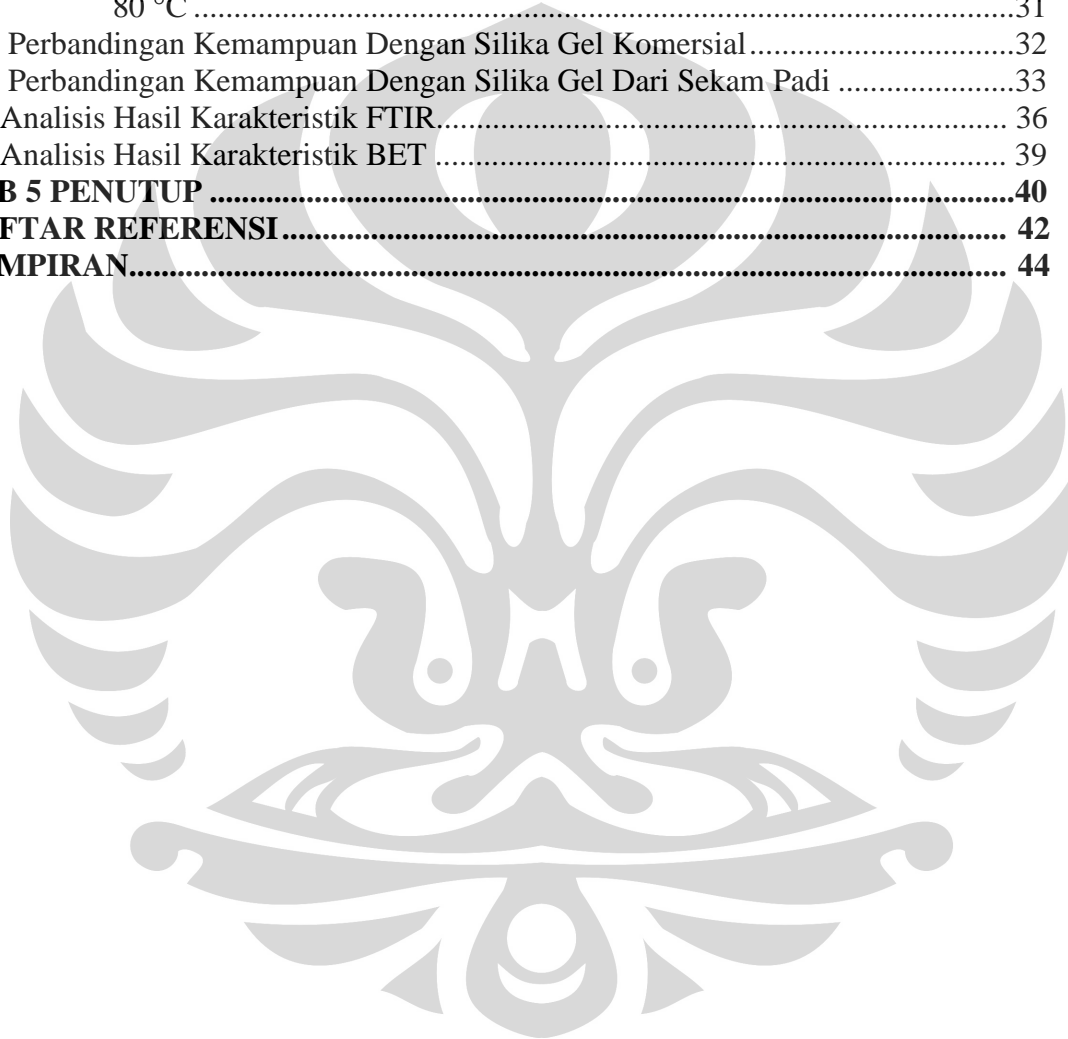


(Ahmad Zaki Anshori)

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1.Latar Belakang Masalah	1
1.2.Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Tebu.....	4
2.1.1 Komposisi Penyusun tebu	4
2.2 Ampas Tebu.....	5
2.1.1.Manafaat Ampas Tebu	5
2.3 Silika	6
2.4 Silika Amorf.....	7
2.4.1 Jenis Silika Amorf.....	8
2.4.2 Kelarutan.....	9
2.5 Silika Gel	11
2.3.1 Manfaat Silika Gel	12
2.6 Karakterisasi BET	13
2.7 Karakterisasi FTIR.....	15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Diagram Alir Penelitian	17
3.2 Alat.....	18
3.3 Bahan	18
3.4 Prosedur Pembuatan Abu Ampas Tebu	18
3.5 Prosedur Pembuatan Larutan Sodium Silikat	18
3.6 Prosedur Pembuatan Silika Gel	18
3.7 Uji Adsorpsi dan Karakterisasi Silika Gel	19
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1. Analisis Percobaan.....	21
4.1.1 Analisis Tahap Pembuatan Abu Ampas Tebu	21

4.1.2 Analisis Tahap Pembuatan Larutan Natrium Silikat	22
4.1.3. Analisis Tahap Pembentukan Silika Gel.....	22
4.2 Hasil Uji Kemampuan Silika Gel	26
4.3 Pengaruh Suhu Pengeringan <i>Hydrogel</i> Terhadap Silika Gel.....	28
4.4 Pengaruh pH Pembentukan Silika Gel Terhadap Kemampuan Silika Gel.....	29
4.4.1 Pengaruh pH terhadap Kemampuan Silika Gel Pada Suhu Pengeringan 60°C	30
4.4.2 Pengaruh pH terhadap Kemampuan Silika Gel Pada Suhu Pengeringan 80 °C	31
4.5 Perbandingan Kemampuan Dengan Silika Gel Komersial.....	32
4.6 Perbandingan Kemampuan Dengan Silika Gel Dari Sekam Padi	33
4.7 Analisis Hasil Karakteristik FTIR.....	36
4.8 Analisis Hasil Karakteristik BET	39
BAB 5 PENUTUP	40
DAFTAR REFERENSI.....	42
LAMPIRAN.....	44



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Penyusun Tebu	4
Tabel 2.2 Komposisi Penyusun Ampas Tebu	5
Tabel 2.3 Komposisi Penyusun Abu Ampas Tebu	5
Tabel 4.1 Volume Titran yang Dibutuhkan untuk Pembentukan <i>Hydrogel</i>	23
Tabel 4.2 Perubahan Massa <i>Hydrogel</i> Menjadi <i>Xerogel</i> Pada Saat $T = 80^{\circ}\text{C}$	24
Tabel 4.3 Perubahan Massa <i>Hydrogel</i> Menjadi <i>Xerogel</i> Pada Saat $T = 60^{\circ}\text{C}$	25
Tabel 4.4 Kemampuan Silika Gel Dari Ampas Tebu Dalam Menyerap Kelembaban.....	27
Tabel 4.5 Selisih Kemampuan Silika Gel Pada Suhu Pengeringan 60°C dan 80°C	28
Tabel 4.6 Selisih Kemampuan Silika Gel Dari Ampas Tebu Dengan Silika Gel Komersial.....	32
Tabel 4.7 Kemampuan Silika Gel Dari Sekam Padi Dalam Menyerap Kelembaban	33
Tabel 4.8 Selisih Kemampuan Silika Gel Ampas Tebu dan Sekam Padi	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Kristal Amorf	7
Gambar 2.2 Struktur Gugus Silanol (a) Terisolasi (b) Vicinal (c) Geminal	8
Gambar 2.3 Jenis Silika Amorf	9
Gambar 2.4 Skema Pengaruh pH Dan Keberadaan Garam Pada Hasil Polimerisasi Silika.....	11
Gambar 2.5 Contoh Gambar <i>Desiccant</i>	13
Gambar 2.6 Contoh Gambar FTIR	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	17
Gambar 4.1 Abu AmpasTebu.....	21
Gambar 4.2 Silika Gel Dari Ampas Tebu Dengan Variasi pH	25
Gambar 4.3 Perubahan Warna Silika Gel	26
Gambar 4.4 Grafik Kemampuan Silika Gel Pada T= 60 °C	30
Gambar 4.5 Grafik Kemampuan Silika Gel Pada T= 80 °C	31
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Kemampuan Silika Gel Ampas Tebu Dan Sekam Padi pada T =60 °C	35
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Kemampuan Silika Gel Ampas Tebu Dan Sekam Padi pada T =80 °C.....	35
Gambar 4.8 Gambar Spektrum FTIR Silika Gel Dari Ampas Tebu	36
Gambar 4.9 Gambar Spektrum FTIR Silika Gel Komersial	37
Gambar 4.10 Grafik Spektrum FTIR Silika Gel Ampas Tebu Dan Komersial	38

ABSTRACT

Name : Ahmad Zaki Anshori
Study Program : Chemical Engineering
Subject : The Usage of Bagasse in Production A Silica Gel

Bagasse is a waste of sugar industry that the useful have not optimal until now. The ash of bagasse is containing about 70 % of silica. Because of that, Ash Bagasse is possible as a basic commodity to produce a silica gel. The principle of making a silica gel is by extraction silica from the ash bagasse with NaOH 1 N solution until become hydrogel, than with polymerization and drying, hydrogel become a silica gel. Especially, this research to learn about the influence of pH and drying temperature a silica gel as an adsorbance. Expectation of this research is become a solution to the making of a silica gel which conserve energy and friendly to the environment.

The result of this research showed the best silica gel to adsorb moisture that made at pH 7 which are 35.21 % (60 °C) and 37.20 % (80°C). this silica gel gives a better performance than silica gel commercial, their difference 8.32 % (60 °C) and 10.31 % (80°C) beside that this silica gel gives a worse performace than silica gel from rice hull, their difference 10.99 % (60 °C) and 8.71 % (80 °C). The result of FTIR and BET test showed that silica gel having peak siloksan (Si-O-Si) spectrum 1074.35 cm^{-1} , silanol (Si-OH) spectrum 1624 and 3622 cm^{-1} and having surface area $147.8\text{ m}^2/\text{g}$.

Key words:
bagasse, silica, silica gel.

ABSTRAK

Nama : Ahmad Zaki Anshori
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pemanfaatan Ampas Tebu Dalam Pembuatan Silika Gel

Ampas tebu merupakan limbah industri gula yang pemanfaatan sampai saat ini belum optimal. Abu ampas tebu memiliki kandungan silika yang cukup besar yakni berkisar 70 % sehingga abu ampas tebu memungkinkan digunakan sebagai bahan baku pembuatan silika gel. Prinsip pembuatan silika gel ini yakni dengan ekstraksi silika dalam abu ampas tebu dengan larutan NaOH 1 N kemudian dengan polimerisasi *hydrogel* dan pengeringan sampai menjadi silika gel. Secara khusus, penelitian ini mempelajari pengaruh pH serta suhu pengeringan terhadap sifat silika gel sebagai adsorban. Dari penelitian ini diharapkan menjadi solusi dalam pembuatan silika gel yang hemat energi dan ramah lingkungan.

Hasil penelitian ini menunjukkan silika gel yang memiliki kemampuan terbaik untuk menyerap uap air adalah silika gel yang terbentuk pada pH 7 yaitu sebesar 35.21 % (60 °C) dan 37.20 % (80°C). Silika gel ini memberikan kemampuan terbaik dibanding silika gel komersial, dengan selisih kemampuannya yaitu sebesar (8.32 % (60 °C) dan 10.31 % (80°C). Selain itu silika gel ini memberikan kemampuan lebih buruk dibanding silika gel dari sekam padi, dengan selisih kemampuannya yaitu sebesar 10.99 % (60 °C) and 8.71 % (80 °C). Dari uji FTIR dan BET didapatkan silika gel memiliki puncak spektrum siloksan (Si-O-Si) 1074.35 cm^{-1} , puncak spektrum silanol (Si-OH) 1624 and 3622 cm^{-1} serta memiliki luas permukaannya sebesar 147.8 m^2/g .

Kata kunci :
ampas tebu, silika, silika gel

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang Masalah

Indonesia merupakan negara agraris, karena sebagian besar penduduk Indonesia bermata pencaharian sebagai petani. Salah satu produk pertanian Indonesia yang melimpah hasilnya ialah tebu. Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis, sehingga tebu cocok untuk ditanam, karena pada dasarnya tebu merupakan tanaman wilayah tropis.

Indonesia tercatat sebagai negara penghasil tebu nomor 9 di dunia dengan total produksinya mencapai 29.5 juta ton per tahun (Fao,2008). Tebu merupakan bahan baku gula untuk pembuatan gula, batang tebu yang sudah dipanen diperas dengan mesin pemeras (mesin *press*) di pabrik gula. Sesudah itu, nira atau air perasan tebu tersebut disaring, dimasak, dan diputihkan sehingga menjadi gula pasir yang kita kenal. Dari proses pembuatan tebu tersebut akan dihasilkan gula 5%, ampas tebu 90% dan sisanya berupa tetes (*molasse*) dan air (Tebu, 2008).

Ampas tebu (*bagasse*) adalah limbah padat industri gula tebu yang mengandung serat selulosa (Zanzi et all, 1995). Potensi *bagasse* di Indonesia cukup besar, menurut data statistik Indonesia tahun 2006, potensi *bagasse* nasional yang tersedia mencapai 39.539.944 ton per tahun (Potensi, 2008). Akan tetapi data dari P3GI (Pusat Penelitian Perkebunan Gula) ampas tebu yang dihasilkan sebanyak 32% dari berat tebu giling. Sebanyak 60 % dari ampas tebu tersebut digunakan untuk bahan bakar pabrik gula itu sendiri, bahan baku pabrik kertas serta untuk industri jamur sehingga masih ada 40% ampas tebu tersebut yang belum dimanfaatkan secara optimal oleh karena itu perlu dipikirkan cara lain untuk memanfaatkan ampas tebu tersebut, salah satunya yaitu pemisahan silika dari ampas tebu untuk digunakan ke industri lainnya.

Komposisi silika atau silikon dioksida (SiO_2) didalam abu ampas tebu cukup tinggi yaitu mencapai sekitar 70% (ITS,1999). selain itu menurut Setyawan dkk (2008) silika gel yang dihasilkannya memiliki luas permukaan yang dihasilkannya

tinggi serta kemurnian yang tinggi pula dengan kandungan SiO_2 mencapai 99% Hal ini memungkinkan ampas tebu dimanfaatkan sebagai bahan baku alternatif pembuatan silika gel. Saat ini pembuatan silika gel menggunakan bahan baku tanah diatomae dan pasir kuarsa. Jika dilakukan secara terus menerus sebagai sumber bahan baku silika gel maka tanah diatomae dan pasir kuarsa akan habis karena keduanya tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itulah ampas tebu perlu dimanfaatkan untuk dicoba sebagai bahan baku alternatif pembuatan silika gel

Silika gel merupakan salah satu bentuk silika amorf yang paling luas penggunaannya karena silika gel memiliki kemampuan menyerap air. Hal ini disebabkan silika gel sangat berpori dan memiliki Gugus Si-OH dipermukaannya sehingga mudah menyerap air. Pemanfaatan silika gel saat ini banyak digunakan sebagai *desiccant* (penyerap air), material penahan panas pada dinding refrigerator kulkas, bahan campuran untuk membuat tinta dan cat, serta industri karet digunakan sebagai umpan untuk proses sintetiknya (Clack, 1989).

Pada saat ini sudah dikembangkan silika gel yang berasal dari sekam padi, karena Menurut Harsono (2002) pada dasarnya sekam padi memiliki kandungan silika yang cukup tinggi, kandungan silika dalam abu sekam padi mencapai 90 % . Selain itu jumlah sekam padi juga sangat melimpah di Indonesia.

Metoda pengolahan ampas tebu dan sekam padi menjadi silika gel prinsipnya sama yakni dilakukan dengan prinsip pengabuan sampel dan ekstraksi basa. Caranya yaitu sampel tersebut dimasukkan ke dalam *furnace* untuk dipanaskan sampai menjadi abu. Setelah itu abu tersebut itu ditambahkan dengan larutan sodium hidroksida (NaOH) dan dipanaskan sambil diaduk sehingga membentuk larutan sodium silikat (Na_2SiO_3). Kemudian larutan ini disaring. Setelah itu larutan sodium silikat ini ditambahkan larutan asam klorida sampai pH tertentu. Larutan ini didiamkan sampai terbentuk silika gel. Akan tetapi silika gel yang terbentuk ini belum murni sehingga perlu dicuci dengan aquades untuk menghilangkan garam yang terlarut dalam air, setelah itu dikeringkan dalam oven sampai menjadi silika gel. Selanjutnya akan dipelajari pemanfaatannya, apakah pembuatan silika gel dari ampas tebu akan lebih baik kondisi silika gel yang dihasilkannya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah ini dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh pH terhadap silika gel yang dihasilkan.
2. Bagaimana pengaruh suhu pengeringan terhadap silika gel yang dihasilkan.

1.3 Tujuan

1. Mempelajari pengaruh pH larutan sodium silikat pada saat proses titrasi untuk menghasilkan silika gel.
2. Mempelajari pengaruh suhu pengeringan terhadap kemampuan silika gel sebagai adsorban.
3. Mempelajari pembuatan silika gel yang memenuhi standar sebagai adsorban.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Sumber bahan baku silika gel yang digunakan berasal dari ampas tebu dari daerah Klaten Jawa Tengah.
2. Metode yang digunakan yaitu ekstraksi basa
3. Objek yang diamati yaitu produk silika gel dari ampas tebu.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan makalah skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan yang digunakan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisi penjelasan mengenai informasi tentang penjelasan tentang tanaman tebu, definisi silika, silika gel dan karakteristiknya.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang diagram alir penelitian, alat-alat dan bahan yang akan digunakan serta prosedur penelitian yang digunakan dalam penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil penelitian dan pembahasan terhadap hasil penelitian tersebut.

BAB 5 PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran yang diambil dari hasil penelitian ini.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tebu

Tebu (*Saccharum officinarum*) adalah tanaman yang ditanam untuk bahan baku gula. Tanaman ini hanya dapat tumbuh di daerah beriklim tropis yakni pada daerah yang mempunyai ketinggian tanah 1 sampai 1300 meter di atas permukaan laut. Tanaman ini termasuk jenis rumput-rumputan dan merupakan tanaman berserat. Umur tanaman sejak ditanam sampai bisa dipanen mencapai kurang lebih 1 tahun. Di Indonesia tebu banyak dibudidayakan di pulau Jawa dan Sumatra (Tebu, 2008). Setiap jenis tebu memiliki ukuran batang serta warna yang berlainan. Tebu termasuk tumbuhan berbiji tunggal. Tinggi tumbuhan tebu berkisar 2-4 meter. Batang pohon tebu terdiri dari banyak ruas yang setiap ruasnya dibatasi oleh buku-buku sebagai tempat duduknya daun. Bentuk daun tebu berwujud belaian dengan pelepah. Panjang daun dapat mencapai panjang 1-2 meter dan lebar 4-8 centimeter dengan permukaan kasar dan berbulu.

2.1.1 Komposisi Penyusun Tebu

Tanaman tebu yang sering kita lihat tidak hanya berisi air yang digunakan sebagai bahan pembuat gula, tetapi memiliki komposisi yang lebih kompleks dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Komposisi penyusun tebu

No	Kandungan	Jumlah (%)
1	Gula	8
2	Tetes	3.5
3	Blotong	5
4	Ampas tebu	83.5

Sumber : (CIC,1990)

Diperkirakan kandungan polisakarida pada tebu mencapai lebih dari 70 % yang terbagi dari selulosa 50-55% dan hemiselulosa 15-20 %. Kandungan lignin diperkirakan hanya sekitar 20-23% diluar itu adalah senyawa lain yang lebih sering disebut senyawa abu.

2.2 Ampas Tebu

Ampas tebu adalah hasil samping dari proses penghancuran dan ekstraksi (pemerahan) cairan tebu. Dari satu pabrik dihasilkan ampas tebu sekitar 35 – 40% dari berat tebu yang digiling. Menurut Husin dkk (2007) ampas tebu sebagian besar mengandung *ligno-cellulose*. Panjang seratnya antara 1,7 sampai 2 mm dengan diameter sekitar 20 mikro, sehingga ampas tebu ini dapat memenuhi persyaratan untuk diolah menjadi papan-papan buatan. *Bagasse* mengandung air 48 - 52%, gula rata-rata 3,3% dan serat rata-rata 47,7%.

Serat rata-rata ini tidak dapat larut dalam air, kandungan serat rata-rata ini dalam ampas tebu tersusun dari beberapa komponen penyusun yakni : selulosa, pentosan, lignin, abu dan lain-lain seperti dalam tabel berikut ini :

Tabel 2.2 Komposisi penyusun ampas tebu

No	Nama Bahan	Jumlah (%)
1	Selulosa	45
2	Pentosan	32
3	Lignin	18
4	Lain-lain	5

Sumber : (Callister, 1991)

Ampas tebu yang dibakar akan menghasilkan abu ampas tebu. Proses untuk menghasilkan abu ampas tebu ini melalui 4 tahap yakni proses pengeringan, proses pembentukan karbon, proses pembakaran dan yang terakhir akan menjadi abu ampas tebu. Komposisi penyusun dari abu ampas tebu yaitu :

Tabel 2.3 Komposisi penyusun abu ampas tebu

Senyawa	Jumlah (%)
SiO ₂	70.97
Al ₂ O ₃	0.33
Fe ₂ O ₃	0.36
K ₂ O	4.82

Na ₂ O	0.43
MgO	0.82
C ₅ H ₁₀ O ₅	22.27
C ₇ H ₁₀ O ₃	
C ₅ H ₈ O ₄	

Sumber : (ITS,1999)

2.2.1 Manfaat Ampas Tebu

Pada proses pengolahan tebu menjadi gula, tidak semua tebu terkonversi menjadi gula, masih ada residu padat yang diyakini masih memiliki kandungan karbohidrat khususnya kandungan selulosa yang cukup tinggi serta hemiselulosa yang masih belum dimanfaatkan secara optimal.

Pada umumnya, pabrik gula memanfaatkan ampas tebu sebagai bahan bakar bagi pabrik yang bersangkutan, ampas tebu tersebut digunakan setelah dilakukan pengeringan. Disamping untuk bahan bakar, ampas tebu juga banyak digunakan sebagai bahan baku pada industri kertas, papan partikel, makanan ternak dan lain-lain (Shin Juang et all, 2002). Terobosan baru telah dilakukan oleh PT. Rajawali Nusantara Indonesia dengan memanfaatkan ampas tebu sebagai kanvas rem yang saat ini dalam taraf pengujian akhir dan siap diluncurkan ke pasar (Budiono,2008).

Berdasarkan beberapa penelitian tentang komposisi abu ampas tebu, bahwa senyawa kimia yang paling dominan ialah SiO₂ yakni sebesar 70 % (ITS,1999). Komposisi ini akan menguntungkan abu ampas tebu jika digunakan bahan campuran untuk bahan bangunan seperti keramik,semen, aspal,beton dll selain itu kandungan silikanya yang tinggi itu dapat dioptimalkan penggunaannya sebagai bahan baku alternatif pembuatan silika gel. Saat ini pembuatan silika gel dilakukan dengan menggunakan bahan baku tanah diatomae dan pasir kuarsa yang jika pengambilannya dilakukan secara terus menerus dan dapat merusak alam.

2.3 Silika

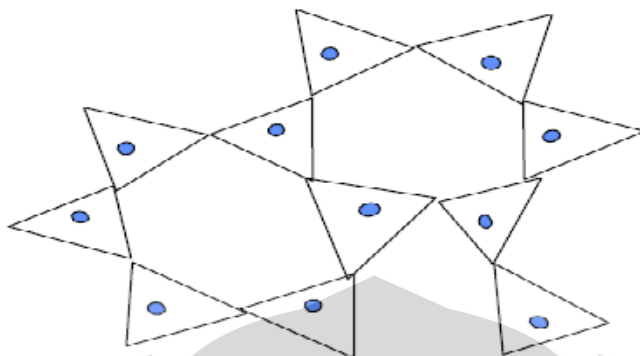
Silika ialah suatu mineral yang penyusun utamanya yakni silikon dioksida (SiO_2). Silika tersusun dari 2 unsur yang terdiri atas silikon (Si) dan oksigen (O_2) dimana keduanya merupakan unsur yang paling banyak di alam. Diperkirakan 60% dari kerak bumi ini tersusun dari silika. Silika yang ada di bumi ini biasanya diketemukan dalam keadaan mandiri atau berupa silikat (Lujan, 2007) Dalam bentuk murninya silika berwarna putih atau hampir tidak berwarna.

Silika terdiri atas berbagai bentuk yaitu : silika kristalin, silika mikrokristalin, silika *vitreous (supercooled liquid glasses)*, silika amorf. Berdasarkan struktur molekulnya silika di bagi 2 bagian saja yaitu : silika kristalin dan silika amorf. Silika kristalin adalah silika yang susunan molekulnya membentuk pola tertentu (kristal) sedangkan silika amorf adalah silika yang susunan molekulnya tidak teratur.

Menurut Lujan, (2007) silika kristal memiliki dasar struktur utama berupa tetrahedron SiO_4 dimana Si diikat 4 atom O_2 , gaya mengikat tetrahedral berasal dari ikatan ionik dan kovalen. Akan tetapi walaupun struktur utamanya sama, setiap kristal silika akan memiliki konfigurasi kristal yang berbeda-beda. Pada kristal silika yang tidak stabil pada tekanan atmosfer, silika tidak lagi berkaki empat akan tetapi berkaki enam.

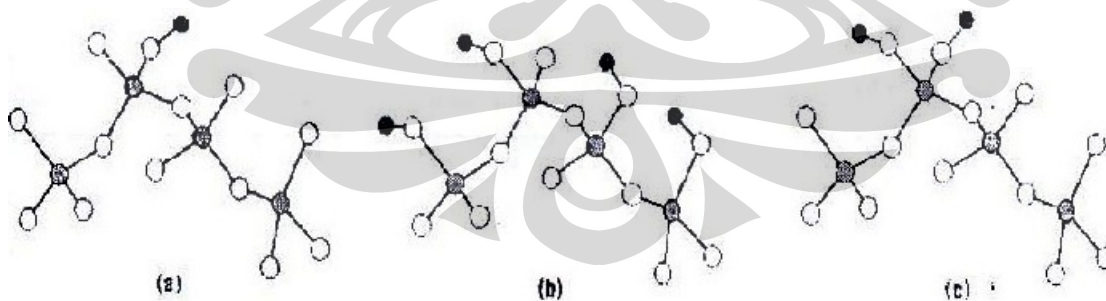
2.4 Silika Amorf

Silika amorf merupakan polimer anorganik dengan rumus $(\text{SiO}_2)_n$. Atom silikon membentuk ikatan kovalen dengan empat atom oksigen dimana membentuk struktur tetrahedral. Setiap atom oksigen tersebut setidaknya membentuk ikatan kovalen dengan satu atom silikon untuk membentuk gugus siloksan ($-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$) dan gugus silanol ($-\text{Si}-\text{O}-\text{H}$). Jarak ikatan Si-O sekitar 0.16 nm dan sudut ikatan $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ sekitar 148° .



Gambar 2.1. Struktur silika amorf
 Sumber : (Hodgson, 2006)

Dalam polimer silika gugus siloksan biasanya terdapat pada bagian dalam (tubuh) silika sedangkan gugus silanol merupakan gugus dipermukaan. Gugus silanol dapat membentuk ikatan hidrogen karena memiliki gugus $-OH$. Berdasarkan ada tidaknya ikatan hidrogen dengan gugus silanol lain, gugus silanol terbagi menjadi gugus silanol terisolasi, vicinal, geminal. Silanol terisolasi jika ikatan hidrogen tidak terbentuk karena tidak terdapat gugus silanol lain. Gugus silanol vecinal ialah jika terbentuk ikatan hidrogen antara gugus $-OH$ yang berasal dari atom Si berbeda. Sedangkan silanol geminal adalah jika ikatan hidrogen terbentuk antara gugus $-OH$ yang berasal dari atom Si yang sama.



Gambar 2. 2 Struktur gugus silanol (a) terisolasi (b) vecinal (c) geminal.
 Sumber : (Waddel et al.,1997)

2.4.1 Jenis Silika Amorf

Berdasarkan bentuk ukuran partikel serta atas metode pembuatannya, silika amorf terdiri atas silika sol, silika endapan, silika pirogenik dan silika gel. Berikut penjelasan tiga jenis silika amorf, sedangkan untuk pembahasan silika gel akan dibahas pada bagian lain bab ini.

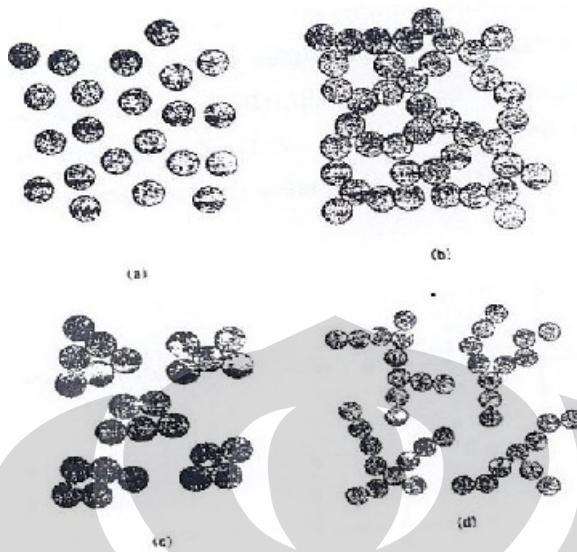
Silika Sol. Disebut silika koloidal, karena memiliki sifat-sifat koloid seperti Gerak Brown. Silika sol merupakan partikel silika amorf yang terdispersi dalam cairan, terutama air, memiliki ukuran diameter partikel 3 – 100 nm, luas permukaan spesifik 50 – 270 m²/g. produk silika sol komersil biasanya mengandung 15 – 50 % berat silika serta kurang dari 1 % berat stabilizer, silika koloidal berguna untuk mencegah pengendapan. Pembuatan silika sol ini dengan mengalirkan sodium silikat ke dalam resin penukar ion hidrogen untuk menghilangkan sodium sehingga polimerisasi akan terbentuk.

Silika Endapan. Adalah bubuk yang diperoleh dari pengendapan partikel silika dalam larutan medium (biasanya larutan sodium silikat), dengan konsentrasi garam yang tinggi. Prinsip metode pembuatannya berlawanan dengan silika sol.

Jalur pembuatan lainnya yaitu dari silikon tetraflorida yang merupakan produk samping dari industri pupuk. Reaksinya :



Silika Pirogenik. Selain itu disebut juga *fumed silika*, sedangkan nama produk komersilnya Aerosil (Degussa), Cab-O-Sil (Cabot). Dibuat dengan menghidrolisis uap SiCl₄ pada temperatur 1000 °C. Walaupun dibentuk pada suhu ketika silika kristal stabil, tetapi hasil analisa X-Ray menunjukkan kalau silika pirogenik adalah amorf.

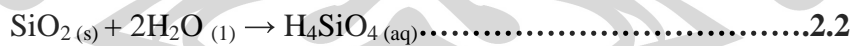


Gambar 2.3.Jenis silika amorf
Sumber : (Steven ,n.d)

Gambar diatas jenis-jenis silika amorf. Gambar 2.3(a) menunjukkan silika sol. Gambar 2.3(b) menunjukkan silika gel. Gambar 2.3(c) menunjukkan silika endapan. Gambar 2.3(d) menunjukkan silika pirogenik.

2.4.2 Kelarutan

Karena bersifat *amfoter* dalam air, silika juga dapat melarut dengan membentuk $\text{Si}(\text{OH})_4$. Dalam air silika amorf melarut dengan reaksi :



Kelarutan silika amorf dalam air sekitar 70 – 150 ppm SiO_2 (1.2 – 2.2 mmol/kg) pada suhu 25 °C. Kelarutan silika dipengaruhi oleh ukuran partikel, suhu, tekanan, derajat hidrasi dan jumlah pengotor. Partikel dengan diameter 5 nm akan lebih mudah melarut. Partikel < 3 nm sangat larut dalam air. Bentuk partikel juga berpengaruh, partikel dengan permukaan cembung akan lebih cepat larut daripada partikel cekung. Kelarutan silika amorf bertambah seiring dengan kenaikan suhu dan tekanan. Silika amorf hidrat lebih mudah larut daripada anhidratnya. Keberadaan pengotor seperti logam terutama aluminium dan besi akan mengurangi kelarutan.

Ketika konsentrasi silika sudah melebihi batas jenuhnya maka silika terlarut ($\text{Si}(\text{OH})_4$) mulai membentuk dimer dan seterusnya membentuk molekul yang lebih berat. Polimerisasi ini memutuskan gugus hidroksil dan menghasilkan air. Kecenderungan polimerisasi ini adalah memperbanyak gugus siloksan ($-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$). Partikel yang terbentuk akan memiliki jaringan siloksan pada bagian internal (tubuh) sedangkan gugus silanol ($\text{Si}-\text{OH}$) akan berada di permukaan. Adapun reaksinya adalah :

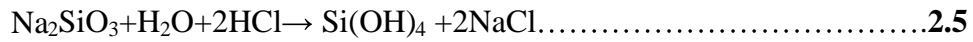


Reaksi 2.3 adalah tahap inisiasi polimerisasi. reaksi ini berjalan relatif cepat. Reaksi 2.4 merupakan tahap propagasi polimerisasi dimana reaksi ini berjalan lebih lambat sehingga penentu laju reaksi secara keseluruhan. Reaksi polimerisasi berhenti ketika tidak ada lagi gugus $\text{Si}-\text{OH}$ yang dapat diserang. Tahap utama dalam polimerisasi adalah pembentukan partikel monomer. Kemudian pertumbuhan ukuran partikel serta ikatan partikel untuk membentuk rantai kemudian membentuk jaringan. Laju polimerisasi sebanding dengan konsentrasi ion OH^- pada pH diatas 2 dan jika $\text{pH} < 2$ maka lajunya sebanding dengan konsentrasi ion H^+ .

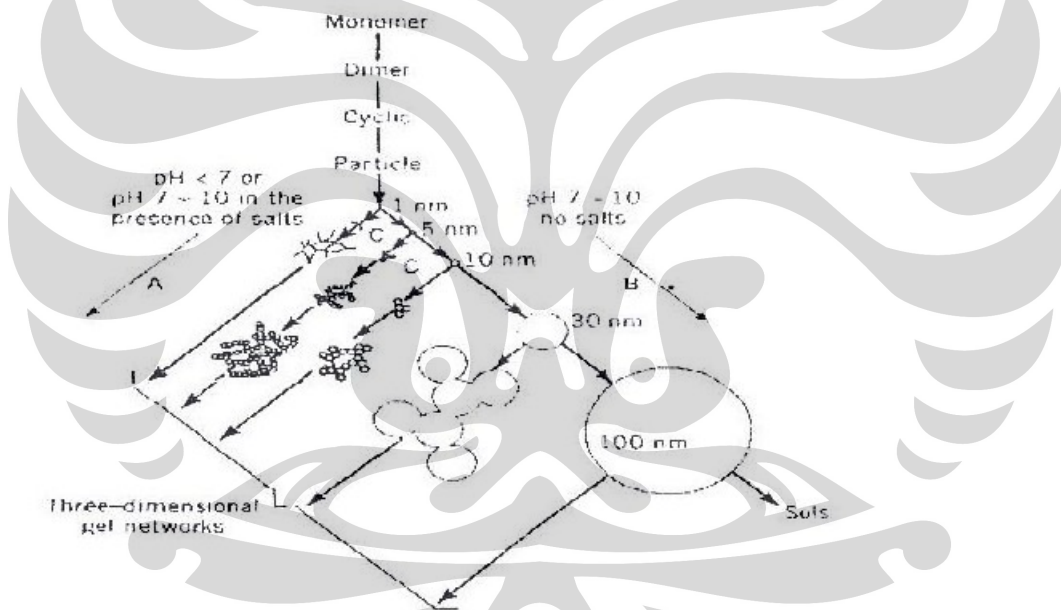
Nilai pH dan keberadaan garam terlarut akan mempengaruhi hasil polimerisasi, akan menghasilkan gel atau sol. Pada kondisi netral sampai basa dan tanpa garam akan menghasilkan partikel berukuran besar berupa sol. Sedangkan pada kondisi asam atau pada pH 7 – 10 dengan keberadaan garam akan memberikan jaringan partikel berukuran kecil berupa gel. Selain dapat mempengaruhi produk hasil polimerisasi, pH dan keberadaan garam juga mempengaruhi laju reaksi. Laju reaksi ini ditunjukkan dengan laju pertumbuhan partikel.

Untuk mempermudah reaksi pembentukan gel biasanya polimerisasi tidak dimulai dengan melarutkan silika (SiO_2) langsung tetapi dengan mereaksikan sodium silikat dengan asam. Reaksi ini langsung menghasilkan garam sehingga bentuk gel terjaga dari awal reaksi sampai akhir.

Berikut reaksi yang terjadi :



Keberadaan garam akan menghasilkan kation dan anion. Kation dan anion ini nantinya akan menjaga netralitas muatan permukaan partikel koloid silika. Hal ini mencegah pertumbuhan molekul yang semakin besar karena muatan negatif partikel silika oleh gugus hidroksil pada silanol akan dinetralkan oleh kation garam. Oleh karena itu polimerisasi terhambat disebabkan gugus hidroksil tidak lagi dapat diputus untuk melanjutkan polimerisasi.



Gambar 2.4. Skema pengaruh pH dan keberadaan garam pada hasil polimerisasi silika

Sumber : (Waddel et al.,1997)

2.5 Silika Gel

Silika gel merupakan granular berpori-pori halus berwarna putih yang memiliki kemampuan menyerap air dari gas, mempunyai rumus molekul $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Silika gel terbuat dari reaksi antara abu sisa pembakaran tebu,padi, dll dengan soda

kaustik sehingga membentuk sodium silikat, kemudian sodium silikat tersebut direaksikan dengan asam-asam kuat seperti asam sulfat dan asam klorida menjadi silika gel. Meskipun mempunyai nama gel akan tetapi silika gel ini adalah padatan.

Silika gel adalah salah satu bentuk koloid silika yang memiliki jaringan partikel tiga dimensi yang berkaitan erat. Dalam struktur silika gel terdapat dua gugus ikatan utama yaitu gugus siloksan (-Si-O-Si-) dan gugus silanol (-Si-O-H). Adanya gugus -OH ini menyebabkan silika gel mudah menyerap molekul polar terutama air. Hal ini disebabkan karena gugus -OH tersebut membentuk ikatan hidrogen dengan air.

Walaupun namanya gel tetapi silika gel merupakan benda padat yang rigid. Silika gel sangat berpori, dengan jaringan pori-pori mikro berukuran 2 – 22 nm. Berdasarkan medium yang mengisi pori-pori tersebut silika gel dibagi menjadi tiga yaitu : *hydrogel*, *xerogel* dan *aerogel*. *Hydrogel* adalah gel yang pori-porinya terisi air. *Xerogel* adalah gel dimana medium cair dalam porinya sudah dikeluarkan sehingga terjadi pengerutan. Sedangkan *aerogel* adalah gel yang pori-porinya terisi oleh gas.

2.5.2 Manfaat Silika Gel

Silika gel dipatenkan oleh profesor kimia dari John Hopkins University Baltimore Maryland yakni Walter A Patrick. Pada tahun 1919. sebelum dipatenkan pada perang dunia I silika gel digunakan sebagai material pengisi di kantung gas *mask* untuk menyerap uap air dari udara. Kemudian pada perang dunia II silika gel digunakan di medan perang untuk menjaga *penicilin* agar tetap kering serta melindungi peralatan militer dari kerusakan yang disebabkan oleh embun selain itu silika gel digunakan sebagai katalis dalam pembuatan butadiena dari ethanol, cracking katalis dalam produksi bensin berkadar oktan tinggi, dan dalam industri karet digunakan sebagai umpan untuk proses sintetikanya (Silica gel, n.d).

Silika gel akan berubah dari tidak jenuh menjadi jenuh akan ditandai dengan perubahan warna dari silika gel tersebut, indikator petunjuk kandungan air dalam silika gel menggunakan indikator warna, terdapat 2 jenis silika gel yang dibedakan dengan warna.

Kedua jenis silika gel tersebut yaitu

a. Silika gel biru

Silika akan berwarna biru apabila silika gel dapat menyerap uap air yang ada dan akan memberikan perubahan warna apabila silika gel telah menyerap uap air (sudah jenuh). Silika gel akan berubah warna dari warna biru ke merah muda.

b. Silika gel putih

Silika jenis ini pada saat belum menyerap air akan tetap berwarna putih dan pada saat telah menyerap uap air (sudah jenuh) silika gel akan berubah warna menjadi merah muda.



Gambar 2.5 Contoh-contoh gambar *Desiccant*
Sumber : Silica Gel, n.d)

2.6 Karakterisasi BET

Teori dasar BET adalah adsorpsi fisik suatu gas pada suatu permukaan padatan, dan sampai saat ini peranannya penting karena sangat berguna sebagai cara menentukan luas permukaan suatu padatan. Teori BET dikembangkan pertama kali pada tahun 1938 oleh Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett, dan Edward Teller yang mempublikasikan karya mereka dalam sebuah jurnal ilmiah, oleh sebab itulah nama teori ini berasal dari nama-nama mereka.

Cara mengukurnya yaitu dengan menentukan jumlah atom/molekul gas (W) yang dibutuhkan untuk menutup permukaan padatan dengan satu lapisan (*monolayer*) zat adsorbat. Jika ukuran penampang atom atau molekul gas tadi diketahui (A), maka

luas permukaan padatan yang tertutupi satu lapisan zat tadi dapat diketahui dengan menghitung jumlah zat yang teradsorpsi. (Brunauer et al, 1938).

Teori BET mengembangkan model Langmuir menjadi adsorpsi *multilayer*. Dengan dasar persamaan Langmuir, diperoleh persamaan empiris :

$$\frac{1}{W \left(\left(\frac{P_0}{P} \right) - 1 \right)} = \frac{1}{W_m C} + \frac{C-1}{W_m C} \left(\frac{P}{P_0} \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan $C =$ konstanta sebagai fungsi eksponensial dari panas adsorpsi dan panas pencairan, $C = \exp \left(\frac{(Q_a - Q_p)}{RT} \right)$

Q_a = panas adsorpsi pada *layer* pertama

Q_p = panas pencairan pada *layer* yang lainnya

P = tekanan gas saat adsorpsi

P_0 = tekanan jenuh adsorbat gas pada temperatur percobaan

W = berat gas yang diadsorpsi pada tekanan P

W_m = berat gas yang diadsorpsi untuk *monolayer*

Untuk penentuan luas permukaan, digunakan plot titik-titik $\left[\frac{P}{V(P_0 - P)} \right]$ terhadap $\left[\frac{P}{P_0} \right]$ pada interval $0,05 \leq \left[\frac{P}{P_0} \right] \leq 0,35$ karena pada interval tersebut plotnya berupa garis lurus. Sehingga dari plot titik-titik tadi dengan regresi linier diperoleh persamaan garis dengan gradien s dan ordinat titik potong I. Persamaan untuk gradien adalah sebagai berikut:

$$s = \frac{C-1}{W_m C} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dengan demikian berat adsorbat yang dibutuhkan untuk membentuk satu lapisan menutupi permukaan adalah :

$$W_m = \frac{1}{(s+1)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Kemudian luas permukaan yang tertutupi adsorbat dapat dihitung dengan persamaan :

$$S_t = \frac{W_m NA_{CS}}{M} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan N adalah bilangan Avogadro (6.022×10^{23}) dan M adalah berat molekul dari adsorbat.

2.7 Karakterisasi FTIR

Spektroskopi infra merah adalah studi mengenai interaksi antara energi cahaya infra merah dan materi, yang menjadi perhatian adalah fakta bahwa suatu panjang gelombang tertentu vibrasi suatu senyawa menyerap energi cahaya. Bila suatu molekul menyerap energi, maka molekul tersebut akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Hanya ada frekuensi-frekuensi tertentu dari radiasi infra merah yang akan diserap oleh molekul, dimana radiasi infra merah tersebut diserap oleh ikatan-ikatan yang ada di molekul (Gozan, 1994).

Pada dasarnya Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) adalah sama dengan Spektrofotometer IR dispersi, yang membedakannya adalah pengembangan pada sistim optiknya sebelum berkas sinar infra merah melewati contoh. Dasar pemikiran dari Spektrofotometer FTIR adalah dari persamaan gelombang yang dirumuskan oleh Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) seorang ahli matematika dari Perancis.(FTIR,n.d).



Gambar 2.6. Contoh Gambar FTIR

Sumber : (Shimadzu, 2008)

Energi infra merah diemisikan dari sumber dan berjalan melalui bagian optik dari spektrometer. Gelombang sinar kemudian melewati interferometer dimana sinar

tersebut dipisahkan dan digabungkan kembali untuk menghasilkan suatu pola interferensi. Setelah gelombang ditransmisikan kemudian diukur oleh detektor. Hasil dari detektor adalah suatu daerah waktu yang menggambarkan pola interferensi. Hasil pengukuran ini kemudian oleh *Analog Digital Converter (ADC)* menjadi suatu format digital yang dapat digunakan oleh komputer.

Detektor yang digunakan dalam Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red adalah *Tetra Glycerine Sulphate (disingkat TGS)* atau *Mercury Cadmium Telluride (disingkat MCT)*. Detektor MCT lebih banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan detektor *TGS*, yaitu memberikan respon yang lebih baik pada frekwensi modulasi tinggi, lebih sensitif, lebih cepat, tidak dipengaruhi oleh temperatur, sangat selektif terhadap energi vibrasi yang diterima dari radiasi infra merah (Giwangkara, 2006).

Informasi yang dapat diperoleh dengan menggunakan FTIR adalah informasi dasar struktur sampel, yang dapat diberikan dari vibrasi-vibrasi molekul yang berhubungan dengan:

- a. Keadaan kisi kerangka sampel seperti jenis/tipe, rasio Si/Al, lokasi dan jenis kation.
- b. Keadaan struktur permukaan gugus yang sering merupakan pusat-pusat adsorpsi.

Secara keseluruhan, analisis menggunakan FTIR ini memiliki dua kelebihan utama dibandingkan metoda-metoda lainnya, yaitu :

- a. Dapat digunakan pada semua frekwensi dari sumber cahaya secara simultan sehingga analisis dapat dilakukan lebih cepat daripada menggunakan cara sekuensial atau pemindaian.
- b. Sensitifitas dari metoda FTIR lebih besar daripada cara dispersi, sebab radiasi yang masuk ke sistim detektor lebih banyak karena tanpa harus melalui celah (Giwangkara, 2006).

BAB 3

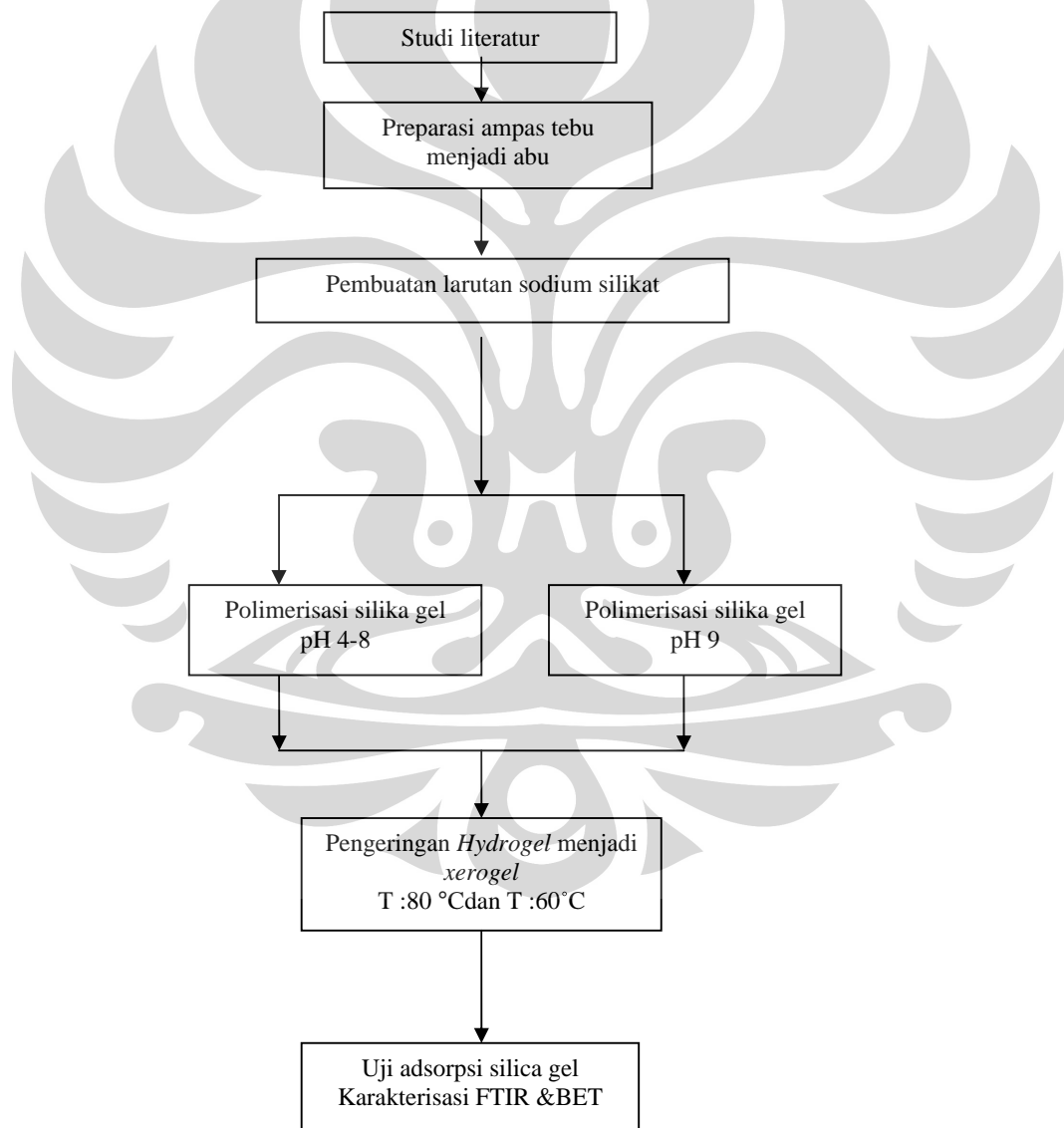
METODOLOGI PENELITIAN

3.1

Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu tahap pembuatan abu ampas tebu, tahap pembuatan larutan sodium silikat, tahap pembentukan *hydrogel* dan tahap uji kemampuan dan karakterisasi silika gel

Diagram alir penelitian dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Alat

- | | |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1. Furnace. | 8. Biuret 50 MI |
| 2. Oven. | 9. Penjepit dan klem |
| 3. Labu erlenmeyer 1 L. | 10. Gelas Beaker 500 MI |
| 4. pH meter | 11. Timbangan |
| 5. Pompa vakum. | 12. Cawan |
| 6. Saringan. | 13. Pengaduk Magnetik |
| 7. Kertas saring Whatmann No 41. | 14. Batang Pengaduk |

3.3 Bahan

- | | |
|---------------|------------|
| 1. Ampas tebu | 4. HCl 2 M |
| 2. NaOH 1M. | 5. Aquades |
| 3. NaOH 0.5 M | |

3.4 Prosedur Pembuatan Abu Ampas Tebu

1. Pencucian
Ampas tebu dicuci dengan air. Bertujuan untuk membersihkan ampas dari kotoran-kotoran kemudian dijemur selama 1 hari.
2. Penimbangan
Menimbang ampas tebu yang diperlukan yakni sebanyak 10 g per pengabuan
3. Pengabuan.
Ampas tebu dalam *furnace* pada suhu 600 °C selama 1 jam sampai yang tersisa hanya endapan silika (SiO₂) berwarna putih bukan berwarna hitam.

3.5

Prosedur Pembuatan Larutan Sodium Silikat

1. 10 gram abu ampas tebu ditambahkan ke dalam gelas piala 500 ml yang telah berisi 300 ml NaOH 1 M.
2. Setelah itu larutan dididihkan selama 1 jam sambil diaduk yang bertujuan agar silika melarut dan menghasilkan larutan sodium silikat.
3. Kemudian larutan ini disaring dengan kertas saring Whatman no. 41.
4. Larutan sodium silikat yang dihasilkan didinginkan sampai suhu ruang.

3.6 Prosedur Pembuatan Silika Gel

1. Proses pembentukan *hydrogel* dilakukan dengan cara mentitrasi larutan sodium silikat yang telah dihasilkan.

Metode titrasi yang digunakan ada 2 macam yaitu :

- a) Titrasi pH 4 sampai dengan pH 8
 - a. Membuat larutan NaOH 0.5 M sebanyak 300 ml
 - b. Membuat larutan HCl 2 M sebanyak 600 ml
 - c. Menambahkan 60 ml HCl 2 M kedalam erlenmeyer yang telah berisi 100 ml larutan sodium silikat
 - d. Titrasi NaOH 0.5 M yang ditambahkan ke dalam erlenmeyer tersebut dan diatur sampai pH yang diinginkan (pH 4 s/d 8).
 - b) Titrasi pH 9
 - a. Membuat larutan HCl 2 M sebanyak 100 ml
 - b. Titrasi HCl 2 M yang ditambahkan ke dalam erlenmeyer yang berisi 100 ml larutan sodium silikat, dan diatur sampai pH 9.
2. Mendinginkan larutan yang terbentuk dalam keadaan tertutup sampai membentuk *hydrogel*.
 3. Mencuci dan menyaring *hydrogel*
 - a. Menambahkan aquades sebanyak 100 ml pada *hydrogel* yang telah dihasilkan.
 - b. Setelah itu *hydrogel* tersebut dihancurkan dengan cara diaduk-aduk sampai menjadi seperti bubuk
 - c. Kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman no 41 dengan bantuan *vacuum pump*.
 - d. Pencucian diulangi 2-3 kali dengan aquades
 4. Mengeringkan *hydrogel* dalam oven pada suhu 60 °C dan 80°C selama 11-13 jam. *Hydrogel* yang telah dikeringkan disebut dengan *xerogel* yang merupakan silika gel yang diinginkan.

3.7 Uji Adsorpsi dan Karakterisasi Silika Gel

1. Menghitung kemampuan adsorpsi silika gel
 - a. Memanaskan silika gel dalam oven pada suhu 130 °C selama 1 jam, kemudian menimbang massa silika gel
 - b. Menyimpan silika gel dalam desikator yang didalamnya telah berisi 100 ml aquades dalam gelas piala 100 ml.

- c. Menimbang massa silika gel selama berada dalam desikator dengan selang waktu 1 hari sampai massa silika gel tidak berubah (sudah jenuh)
- d. Menghitung perubahan massa sebelum dan sesudah penyimpanan di desikator.

Kemampuan adsorpsi silika gel dihitung dengan cara membandingkan massa air yang mampu diserap tiap gram silika gel.

Kemampuan silika gel (%) = (massa air teradsorpsi/ massa silika gel) x 100 %

2. Karakterisasi luas permukaan silika gel dengan menggunakan instrumen BET (*Brunauer, Emmet, Teller*).

Prosedur kerja analisa luas permukaan dengan metode *Autosorb 6* yaitu :

- a. Menimbang sampel silika gel dan mencatat beratnya (maximum 0.5 gram) kemudian dimasukkan kedalam tabung *cell*.
- b. Tabung *cell* yang telah berisi sampel dimasukkan kedalam *degasser* untuk dibersihkan dari uap air yang masih terkandung didalam silika gel.
- c. Setelah bersih, tabung tersebut dimasukkan kedalam alat *autosorb 6* untuk dianalisa luas permukaannya, data yang didapat langsung terhubung dengan komputer secara *online*.

2. Karakterisasi kandungan senyawa yang terdapat di dalam silika gel menggunakan FTIR (*Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red*).

Prosedur kerja analisa menggunakan FTIR yaitu :

- a. Menimbang sampel silika gel sebanyak 50 mg
- b. Menimbang Kalium Bromida (KBr) sebanyak 50 mg
- c. Homogenisasi silika gel dan KBr dalam suatu wadah *stainless steel*.
- d. Setelah homogen, wadah tersebut dimasukkan kedalam instrument FTIR untuk di *scan* dengan sinar infra merah dan dianalisa. Spektrum yang dihasilkannya akan terhubung ke computer secara *online*.

BAB 4

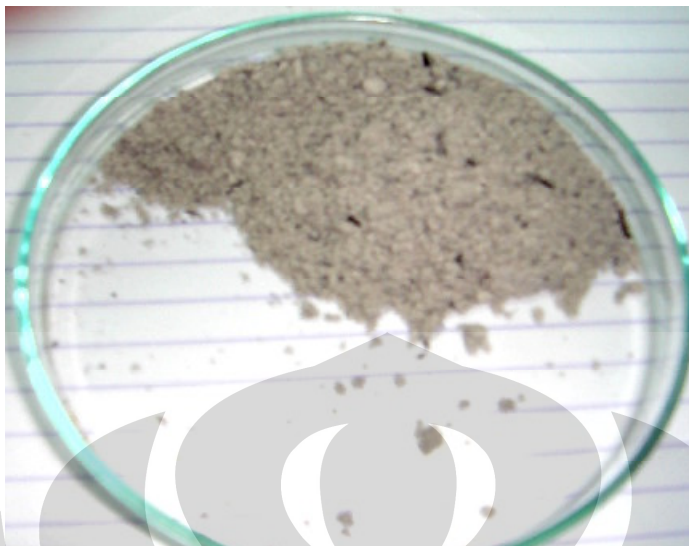
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Percobaan

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu tahap pembuatan abu ampas tebu, tahap pembuatan larutan sodium silikat, tahap polimerisasi silika gel dan tahap uji kemampuan dan karakterisasi silika gel. Faktor yang perlu diperhatikan yaitu kemampuan silika gel dalam menyerap uap air serta luas permukaan yang dihasilkannya.

4.1.1 Analisis Tahap Pembuatan Abu Ampas Tebu

Ampas tebu didapatkan dari limbah industri gula, dimana ampas tebu tersebut berasal dari batang-batang tebu yang diperas tetes tebunya, setelah batang tebu diperas kemudian dilakukan pencucian dengan air untuk menghilangkan pengotor-pengotor seperti debu-debu yang menempel. Kemudian dikeringkan dengan cara dijemur selama 1 hari. Ampas tebu yang sudah dikeringkan kemudian dipanaskan dalam *furnace* selama 1 jam pada suhu 600°C sampai didapatkan abu berwarna putih yang menunjukkan berasal dari abu silika bukan abu karbon yang berwarna hitam. Total abu ampas tebu yang dihasilkan sebanyak 105.35 gram sedang total ampas tebu yang dibakar di *furnace* yaitu 1038.3 gram.



Gambar 4.1 Abu ampas tebu

4.1.2 Analisis Tahap Pembuatan Larutan Sodium Silikat

Larutan sodium silikat merupakan bahan dasar pembuatan silika gel. Pada tahap ini bertujuan untuk mendapatkan sodium silikat dengan cara mereaksikan silika yang ada pada abu ampas tebu dengan sodium hidroksida.



Larutan sodium silikat dibuat dengan cara melarutkan 10 gram abu ampas tebu dengan 300 ml NaOH dalam gelas piala 500 ml kemudian dipanaskan dalam keadaan tertutup selama 1 jam, yang bertujuan untuk melarutkan silika yang terkandung dalam abu ampas tebu. Pada saat pemanasan harus dihindari pemanasan dengan suhu yang terlalu tinggi dikarenakan untuk menghindari penguapan larutan yang berlebihan. Setelah itu larutan didinginkan sampai suhu ruang. Kemudian disaring dengan kertas saring Whatmann no 41 untuk memisahkan larutan dan endapannya. Larutan sodium silikat yang didapatkan berwarna putih kekuning-kuningan.

4.1.2 Analisis Tahap Pembentukan Silika Gel

Tahap pembentukan silika gel yaitu melalui titrasi larutan sodium silikat, kemudian pencucian *hydrogel* dan pengeringan *hydrogel* tersebut di oven menjadi *xerogel* yang diinginkan. Titrasi larutan sodium silikat bertujuan untuk membentuk *hydrogel*. Pencucian *hydrogel* bertujuan untuk memurnikan dari pengotor dan kontaminan-kontaminan seperti garam dan mineral lainnya.

Sedangkan pengeringan *hydrogel* bertujuan untuk mengeluarkan kandungan air menjadi *xerogel*.

Titration yang dilakukan ada dua macam, disebabkan karena terbatasnya pH titration akibat larutan sodium silikat sudah terlebih dahulu menjadi gel sebelum mencapai pH yang diinginkan. *Hydrogel* yang terbentuk yang terlalu cepat ini terjadi pada pH 8 dan 9. Sehingga pembacaan pH menjadi tidak valid karena pH yang terbaca cenderung tidak stabil.

Sebelum melakukan titration pH 4 sampai dengan 8, larutan sodium silikat harus diturunkan dari pH awalnya yakni 13. Penurunan pH larutan sodium silikat ini dari pH 12 menjadi pH 1 harus dilakukan dikarenakan tidak memungkinkannya mendapatkan larutan sodium silikat pH 4 sampai 8 dengan memulai titration pada pH 13 menuju pH yang diinginkan karena pada pH 9 larutan sodium silikat sudah berubah menjadi *hydrogel*. Untuk menurunkan pH larutan tersebut larutan sodium silikat ditambahkan HCl 2 M. sedang untuk pH 9 tidak perlu dilakukan penambahan HCl 2 M, karena larutan sodium silikat bisa langsung dititrasi dengan larutan HCl 2 M.

Tabel 4.1 Volume titran yang dibutuhkan untuk pembentukan *hydrogel*

No	pH	Titran	pH larutan awal	Volume titran (ml)
1	4	NaOH 0.5 M	1.3	26.15
2	5	NaOH 0.5 M	1.3	29.4
3	6	NaOH 0.5 M	1.3	31.74
4	7	NaOH 0.5 M	1.3	32.3
5	8	NaOH 0.5 M	1.3	33
6	9	HCl 2 M	12.6	51.6

Dari tabel diatas dapat dilihat volume NaOH 0.5 M yang dibutuhkan menetralkan HCl 2 M dalam larutan pada pH 4 sampai pH 8 akan semakin banyak sampai terbentuknya *hydrogel*. Sedangkan volume HCl 2 M yang dibutuhkan untuk membentuk *hydrogel* pada saat pH 9 volumenya dua kali lipat lebih kecil dibandingkan volume larutan yang dititrasi, disebabkan karena konsentrasi larutan sodium silikat tersebut lebih kecil yakni 1 M.

Hydrogel yang dihasilkan setiap pH pembentukan akan menghasilkan bentuk dan sifat yang berbeda-beda meskipun dari segi wujud fisiknya tidak mengalami perbedaan. Adapun hal yang membedakannya lamanya waktu yang diperlukan untuk pembentukan dari sodium silikat menjadi *hydrogel*. Pada saat pH 4 proses pembentukan larutan sodium silikat membentuk *hydrogel* membutuhkan waktu sekitar 1 hari. Larutan sodium silikat pH 5 waktu yang diperlukan 20-25 menit. Larutan sodium silikat pH 6 dan 7 sekitar 2 – 3 menit. Sedangkan larutan sodium silikat pH 8 dan 9 hanya memerlukan waktu beberapa detik saja.

Faktor yang mempengaruhi perbedaan waktu pembentukan *hydrogel* tersebut yaitu adanya perbedaan muatan permukaan partikel SiO₂ yang terbentuk. Partikel SiO₂ yang terbentuk akan ditutupi oleh ion-ion. Dimana ion-ion ini akan mencegah berdekatnya partikel SiO₂ satu sama lainnya yang diakibatkan ada gaya tolak menolak akibat memiliki muatan partikel yang sama. Karena saling menjauhi akibat gaya tolak-menolak tersebut maka untuk membentuk gel peluangnya semakin kecil. Partikel SiO₂ menjadi stabil jika semakin banyak ion dalam larutan sodium silikat.

Hydrogel yang terbentuk dari proses titrasi kemudian dicuci dengan 100 ml aquades, dengan cara diaduk-aduk sampai gel hancur, proses selanjutnya yaitu penyaringan dengan kertas saring Whatmann no 41 dengan bantuan *vacuum pump* yang bertujuan untuk menghilangkan garam dan mineral lain yang terlarut dalam air. Pencucian diulang 3 kali dengan aquades agar hasilnya optimal. *Hydrogel* hasil proses pencucian berwarna putih susu.

Tahap selanjutnya *hydrogel* dikeringkan dengan menggunakan oven selama 13 jam pada suhu 60°C dan 80°C. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air dalam *hydrogel* menjadi *xerogel* yang bersifat higroskopis. Pada proses ini juga terjadi pengerucutan volume sebelum dan sesudah pengeringan. Hal ini terjadi karena ketika air keluar dari *hydrogel* akan terjadi keruntuhan silika gel akibat kekosongan ruangan pori yang semula diisi air. Tabel perubahan massa dari *hydrogel* menjadi *xerogel* yaitu :

Tabel 4.2 Perubahan massa *hydrogel* menjadi *xerogel* pada saat T = 80°C

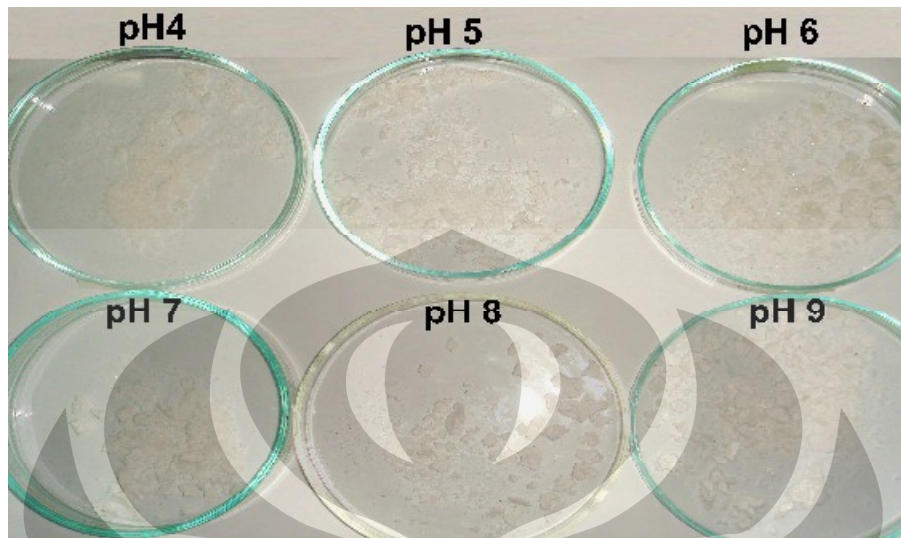
pH	Bobot Hydrogel (gram)	Bobot Xerogel (gram)	Massa yang hilang (gram)	Perubahan massa (%)
4	20.62	0.83	19.79	4.05
5	21.43	0.89	20.54	4.15
6	22.51	1.12	21.39	4.97
7	26.09	1.28	24.81	4.90
8	24.58	1.1	23.48	4.47
9	21.75	1.09	20.48	5.01
10	Rata-rata		21.74	4.59

Tabel 4.3 Perubahan massa *hydrogel* menjadi *xerogel* pada saat T = 60°C

pH	Bobot Hydrogel (gram)	Bobot Xerogel (gram)	Massa yang hilang (gram)	Perubahan massa (%)
4	19.79	0.82	18.97	4.14
5	22.80	0.95	21.85	4.16
6	22.19	1.02	21.17	4.59
7	24.30	1.25	23.05	5.14
8	21.17	0.98	20.19	4.62
9	22.13	0.95	21.18	4.29
10	Rata-rata		21.06	4.49

Dari data tabel 4.2 dan 4.3 diatas dapat dilihat persentase perubahan massa *hydrogel* menjadi *xerogel* dihitung dengan rumus = $(\text{massa } xerogel / \text{massa } hydrogel) \times 100 \%$, dari kedua tabel diatas ternyata rata-rata nilai perubahan massa pada suhu pengeringan 80°C yaitu 4.59 % lebih besar dibandingkan pada nilai rata-rata suhu pengeringan 60°C yaitu 4.49%. Hal ini disebabkan laju penguapan air di *hydrogel* pada suhu 60°C lebih lambat dibandingkan pada suhu 80 °C, oleh karena itulah massa yang hilang pada suhu 60 °C lebih sedikit dibandingkan massa yang hilang pada suhu 80 °C, sehingga nilai perubahan

massanya pada suhu 80 °C lebih besar dibandingkan pada suhu 60 °C. Berikut adalah gambar – gambar silika gel yang dihasilkan dari penelitian ini :



Gambar 4.2 Silika gel dari ampas tebu

4.2 Hasil Uji Kemampuan Silika gel

Silika gel yang dihasilkan diuji kemampuannya dalam menyerap kelembaban udara. Silika gel diuji kemampuannya sehingga mencapai kondisi jenuhnya. Kondisi jenuh tersebut ditandai dengan tidak adanya pertambahan massa silika gel. Hal ini disebabkan karena massa air yang diserap tidak lagi bertambah. Sebelum diuji, silika gel dikeringkan dahulu dalam oven pada suhu 130°C selama 1 jam, Setelah dikeringkan silika gel akan berwarna putih susu, setelah jenuh dengan uap air wujud silika gel akan berwarna putih kecoklatan. Pengujian dilakukan dengan cara meletakkan silika gel yang telah ditimbang massanya pada desikator yang didalamnya terdapat gelas piala 100 ml berisi air, hal ini dimaksudkan agar kondisi didalam desikator pada saat pengujian ini menjadi lembab sehingga silika gel dapat menyerap kelembaban yang ada. Setelah tidak ada lagi pertambahan massa, maka silika gel tersebut sudah jenuh. Adapun lamanya waktu perubahan silika gel menjadi jenuh rata-rata 1 hari. Gambar perubahan warna silika gel sebelum jenuh menjadi jenuh dapat dilihat dalam gambar berikut :



Gambar 4.3 Perubahan warna silika gel

Pengujian kemampuan silika gel dalam menyerap kelembababan udara diukur dari banyaknya massa air yang diserap per gram silika gel. Dinyatakan dalam bentuk persentase yang dihitung melalui rumus :

Persentase kemampuan silika gel (%) = (gram air yang diserap/gram silika gel) x 100 %, adapun tabel yang diperoleh sebagai berikut :

Tabel 4.4 Kemampuan silika gel dari ampas tebu (gram air per gram silika gel)

pH	T	% Adsorpsi
4	60 °C	21.22%
	80 °C	23.45%
5	60 °C	27.54%
	80 °C	31.51%
6	60 °C	30.35%
	80 °C	32.77%
7	60 °C	35.21%
	80 °C	37.20%
8	60 °C	15.95%
	80 °C	17.20%
9	60 °C	13.50 %
	80 °C	15.27%

Dari tabel 4.4 kemampuan silika gel paling baik dalam menyerap uap air yaitu silika gel pH 7 pada suhu pengeringan 80 °C yaitu mampu menyerap uap air sebanyak 0.3720 gram air per gram silika gel, hal ini disebabkan pada pH 7 dan suhu pengeringan 80 °C, silika gel yang terbentuk memiliki ukuran partikel yang lebih besar. Ukuran partikel yang besar ini akan memberikan diameter pori yang lebih besar, dan akan berpengaruh kemudahan untuk air untuk melakukan masuknya air yang lebih jauh kedalam pori-pori silika gel. Karena masuknya air yang lebih dalam itulah maka akan lebih banyak air yang akan teradsorpsi pada permukaan silika gel. Sedangkan silika gel dengan kemampuan yang paling rendah adalah pH 9 dan suhu pengeringan 60 °C karena hanya mampu menyerap uap air sebanyak 0.135 gram air per gram silika gel, hal ini disebabkan ukuran partikel yang dihasilkannya lebih kecil sehingga diameter porinya lebih kecil sehingga air akan sulit masuk kedalam pori-pori silika gel.

4.3 Pengaruh Suhu Pengeringan *Hydrogel* Terhadap Silika Gel

Air merupakan komponen yang mengisi pori-pori *hydrogel*. Untuk menghilangkan kandungan air pada *hydrogel*, maka pengeringan harus dilakukan. Ketika air menguap maka akan ada pori-pori kosong yang mengakibatkan keruntuhan struktur struktur pori, hal ini ditunjukkan mengerutnya silika gel setelah dikeringkan. Berubahnya struktur pori akan menyebabkan penurunan jumlah pori, diameter pori dan volume pori selain juga akan menyebabkan luas area permukaan (*surface area*) berkurang. Kemampuan silika gel dalam menyerap kelembaban akan semakin berkurang jika luas area permukaan semakin kecil.

Variasi suhu pengeringan bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan penguapan terhadap struktur pori dari silika gel yang dihasilkan. Perbedaan struktur pori silika gel akan mempengaruhi kemampuan silika gel dalam menyerap kelembaban udara. Pada penelitian ini digunakan dua variasi suhu yaitu suhu 60 °C dan 80 °C, pemilihan ke dua suhu ini dikarenakan ke dua suhu

tersebut masih dibawah titik didih air pada tekanan atmosfer yaitu 100 °C. Data yang diperoleh dari penelitian ini yaitu :

Tabel 4.5 Selisih kemampuan silika gel pada suhu pengeringan 60 °C dan 80 °C

pH	Kemampuan Penyerapan		Beda Kemampuan
	T = 60 °C	T = 80° C	
4	21.22%	23.45%	-2.23%
5	27.54%	31.51%	-3.97%
6	30.35%	32.77%	-2.42%
7	35.21%	37.20%	-1.99%
8	15.95%	17.20%	-1.25%
9	13.50%	15.27%	-1.77%

Dari tabel 4.5 dapat dijelaskan bahwa perbedaan suhu pengeringan 60 °C dan 80 °C pada silika gel hasil penelitian ini tidak memberikan perbedaan yang terlalu signifikan perbedaan kemampuan terbesar terjadi pada pH 5 yang memiliki selisih sebesar 0.3970 gram air per gram silika gel. Meskipun secara umum kemampuan silika gel pada suhu 80 °C lebih besar daripada suhu 60 °C akan tetapi perbedaannya tidak lebih dari 5 % sehingga dapat dikatakan seimbang kemampuannya. Salah satu faktor yang mempengaruhinya yaitu pemilihan kedua suhu yang rentangnya tidak terlalu jauh (20 °C) sehingga laju penguapan air pada *hydrogel* kurang lebih sama, sehingga laju keruntuhan struktur silika gel juga sama.

Meskipun begitu laju penguapan pada suhu 60 °C dan 80 °C pada prinsipnya tetap berbeda namun perbedaan laju penguapan silika gel, tidak dapat diimbangi oleh laju keruntuhan struktur silika gel sehingga silika gel didapat pada penelitian ini mempunyai struktur yang sama dan kemampuan yang tidak berbeda pula. Selain itu lamanya waktu pengeringan juga sangat mempengaruhi, pada penelitian ini waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan silika gel rata-rata 13 jam, sebaiknya untuk waktu pengeringan untuk suhu 60°C waktunya lebih lama dibandingkan suhu 80 °C.

4.4. Pengaruh pH Pembentukan Silika Gel Terhadap Kemampuan Silika Gel

Variasi pH pembentukan silika gel dilakukan untuk mengetahui pengaruh pH terhadap struktur pori dari silika gel. Perbedaan struktur pori silika gel akan mempengaruhi kemampuan silika gel dalam menyerap kelembaban udara. Larutan sodium silikat merupakan satu kesatuan sistem koloid, dimana sistem koloid tersebut adalah sol cair dimana partikel padat SiO_2 terdispersi dalam zat cair. Pada partikel SiO_2 masing-masing atom O memiliki dua pasangan electron bebas sehingga totalnya satu molekul SiO_2 memiliki empat pasangan elektron bebas.

Kemampuan silika gel yang paling baik adalah gel yang berasal yang terbentuk dalam suasana netral yakni pada pH 6 dan pH 7. hal ini disebabkan gaya tolak-menolak antar molekul SiO_2 kecil sehingga akan mengakibatkan polimerisasi yang timbul cenderung menghasilkan ukuran partikel yang lebih besar. Ukuran partikel yang besar ini akan memberikan diameter pori yang lebih besar, dan akan berpengaruh kemudahan untuk air untuk melakukan masuk air yang lebih jauh kedalam pori-pori silika gel. Karena masuk yang lebih dalam itulah maka akan lebih banyak air yang akan teradsorpsi pada permukaan silika gel. Faktor inilah yang menyebabkan kemampuan silika gel pH 7 lebih baik daripada kemampuan silika gel pada pH yang lain.

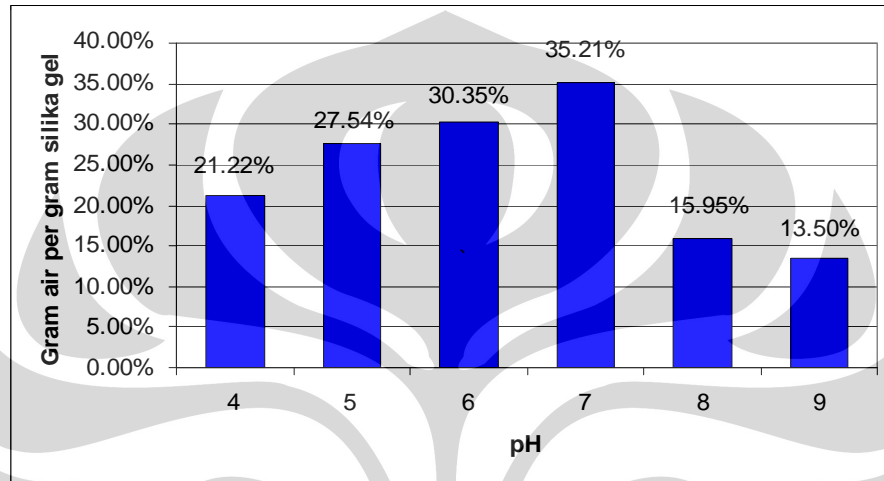
Pada suasana asam atau basa, yakni pada variasi pH (4,5,8,9) akan terdapat lebih anion dan kation. Adanya ion-ion ini akan membentuk semacam lapisan ion yang saling bergantian antara kation dan anion pada permukaan molekul silika gel. Karena SiO_2 cenderung memiliki muatan negatif maka pertama kali, SiO_2 akan dilapisi oleh ion positif selanjutnya ion positif ini akan ditutupi oleh ion negatif yang selanjutnya akan dilapisi kembali ion positif begitu seterusnya.

Muatan pada molekul SiO_2 hanya diberikan oleh pasangan electron bebas sedangkan pada ion, muatan diberikan oleh kekurangan-kelebihan beberapa elektron. Oleh karena itu muatan yang diberikan ion-ion ini lebih besar daripada muatan yang dimiliki oleh molekul SiO_2 . Faktor ini yang menyebabkan gaya tolak-menolak antar molekul SiO_2 yang telah dilapisi ion menjadi lebih besar.

Oleh karena gaya tolak-menolak yang besar ini maka dapat menyebabkan kecenderungan menghasilkan partikel yang lebih kecil. Ukuran partikel yang kecil

ini akan memberikan diameter pori yang lebih sempit. Sehingga akan menyulitkan air untuk melakukan masuk kedalam jaringan silika gel. Oleh karena itulah air yang akan teradsorpsi menjadi lebih sedikit. Sehingga pada pH 4,5,8,9 air yang teradsorb pada silika gel lebih sedikit dibandingkan pada pH 6 dan 7.

4.4.1 Pengaruh pH terhadap Kemampuan silika gel pada suhu pengeringan 60°C

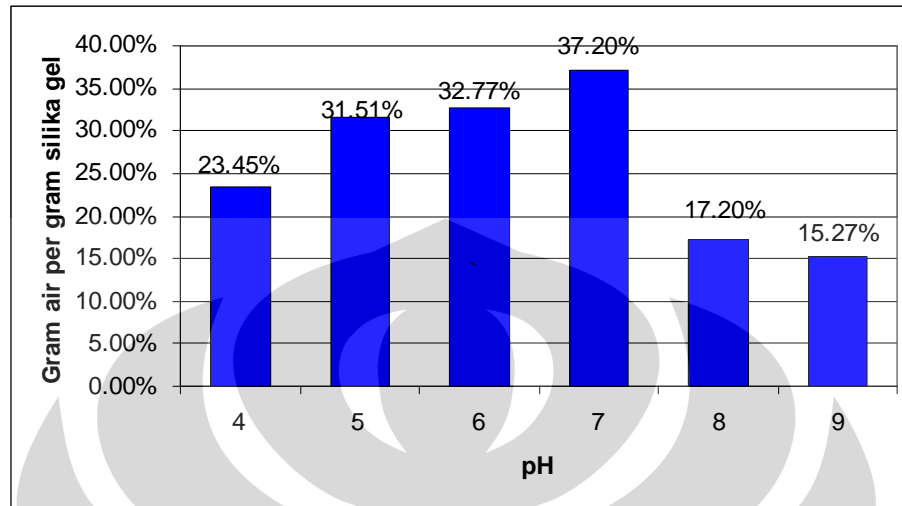


Gambar 4.4 Grafik kemampuan silika gel pada T = 60 °C

Dari gambar 4.4 terlihat bahwa kemampuan silika gel akan meningkat dari pH 4 sampai pH 7 dengan rentang kemampuannya mulai 0.2122 sampai 0.3521 gram air per gram silika gel. Kemampuannya akan menurun pada pH 8 dan pH 9 yang memiliki kemampuannya 0.1595 dan 0.1350 gram air per gram silika gel. Hal ini disebabkan pada mulai dari pH 4 sampai pH 7 silika gel yang dihasilkan memiliki ukuran partikel yang makin besar, sehingga memudahkan air untuk melakukan penetrasi kedalam silika gel. Sedangkan pada pH 8 dan pH 9 ukuran partikel yang dihasilkannya semakin kecil sehingga diameter porinya juga semakin kecil yang akan berakibat sulitnya air untuk masuk kedalam pori silika gel.

Silika gel yang memiliki kemampuan tertinggi dalam menyerap kelembaban udara yaitu silika gel yang terbentuk pada pH 7 yakni sebesar 0.3521 gram air per gram silika gel, Sedangkan yang memiliki kemampuan terburuk yaitu silika gel yang terbentuk pada pH 9 karena hanya mampu menyerap 0.1350 gram air per gram silika gel.

4.4.2 Pengaruh pH terhadap Kemampuan silika gel pada suhu pengeringan 80°C



Gambar 4.5 Grafik kemampuan silika gel pada $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$

Pada silika gel dengan suhu pengeringan $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ grafik yang dihasilkan memiliki pola yang sama dengan grafik pada suhu pengeringan $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ yaitu kemampuan silika gel akan meningkat dari pH 4 sampai pH 7 dengan rentang kemampuannya 0.2345 sampai 0.3720 gram air per gram silika gel. Kemampuannya akan menurun pada pH 8 dan pH 9 yang hanya memiliki kemampuannya 0.1720 dan 0.1527 gram air per gram silika gel. Hal ini disebabkan pada mulai dari pH 4 sampai pH 7 silika gel yang dihasilkan memiliki ukuran partikel yang makin besar, sehingga memudahkan air untuk melakukan penetrasi kedalam silika gel. Sedangkan pada pH 8 dan pH 9 ukuran partikel yang dihasilkannya semakin kecil sehingga diameter porinya juga semakin kecil yang akan berakibat sulitnya air untuk masuk kedalam pori silika gel.

Silika gel yang memiliki kemampuan tertinggi dalam menyerap kelembaban udara yaitu silika gel yang terbentuk pada pH 7 yakni sebesar 0.3720 gram air per gram silika gel, Sedangkan yang memiliki kemampuan terburuk yaitu silika gel yang terbentuk pada pH 9 karena hanya mampu menyerap 0.1527 gram air per gram silika gel.

4.5 Perbandingan Kemampuan Dengan Silika Gel Komersial.

Silika gel dari ampas tebu dibandingkan silika gel komersial dengan maksud untuk membandingkan kualitas hasil silika gel yang didapatkan dari

penelitian ini dengan silika gel komersial. Membandingkannya dengan cara menguji silika gel komersial dengan perlakuan sama dan pengujian yang sama dengan silika gel dari ampas tebu. Parameternya yaitu kemampuan ke dua silika gel dalam menyerap kelembaban udara.

Setelah dilakukan pengujian ternyata silika gel komersial memiliki kemampuan menyerap uap air sebanyak 0.2689 gram air per gram silika gel. Untuk membandingkannya dilakukan perhitungan selisih persentase kemampuan silika gel menyerap kelembaban di udara. Adapun hasil yang diperolehnya yaitu :

Tabel 4.6 Selisih kemampuan silika gel dari ampas tebu dengan silika gel komersial

Suhu	pH					
	4	5	6	7	8	9
60 °C	-5.67 %	0.65 %	3.46 %	8.32 %	-10.94 %	-13.9 %
80 °C	-3.44 %	4.62 %	5.88 %	10.31 %	-9.69 %	-11.62 %

Dari tabel 4.6 kemampuan silika gel yang dihasilkan dari penelitian ini memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan silika gel komersial yakni pada saat pH 5,6,dan 7. Kemampuan yang paling baik yakni pada saat pH 7 karena mempunyai nilai selisih kinerja yang paling besar yakni 0.8320 dan 0.1031 gram air per gram silika gel. Sedangkan kemampuan yang paling buruk yakni pada saat pH 9 dimana kemampuannya lebih kecil 0.1390 dan 0.1162 gram air per gram silika gel daripada silika gel komersial.

4.6 Perbandingan Kemampuan Dengan Silika Gel Dari Sekam Padi

Sekam padi merupakan salah satu alternatif bahan baku pembuatan silika gel dikarenakan kandungan silika didalam sekam padi cukup tinggi mencapai 90 %. Priambodo (2008) melakukan penelitian tentang silika gel dari sekam padi sekam padi yang mengambil kesimpulan bahwa silika gel yang didapat dari sekam padi memiliki kemampuan yang cukup baik dalam menyerap kelembaban udara. Oleh karena silika gel hasil penelitian ini perlu dibandingkan untuk mengetahui alternatif bahan baku silika gel yang paling baik kemampuannya dalam menyerap kelembaban udara. Untuk membandingkan ke dua silika gel tersebut dengan cara

menghitung selisih persentase kemampuan silika gel dari ampas tebu dan sekam padi dalam hal menyerap kelembaban di udara. Adapun data yang didapatkan tentang kemampuan silika gel dari sekam padi dalam menyerap kelembaban udara yaitu :

Tabel 4.7 Kemampuan silika gel dari sekam padi dalam menyerap kelembaban

Suhu	pH					
	4	5	6	7	8	9
60°C	30.14%	43.84%	47.48%	46.20%	19.21%	15.33%
80°C	25.17%	40.82%	48.28%	45.91%	18.55%	17.20%

Sumber : (Priambodo,2008)

Dari tabel 4.7 dapat dilihat bahwa silika gel sekam padi yang memiliki kemampuan terbaik yaitu pada pH 6 masing-masing sebesar-sebesar 0.4748 dan 0.4828 gram air per gram silika gel pada suhu pengeringan 60° C dan 80°C. Hal ini berbeda dengan silika gel hasil penelitian ini dimana kinerja terbaik dihasilkan pada pH 7. meskipun ada perbedaan akan tetapi secara prinsip ada kesamaannya bahwa pH terbaik untuk membuat silika gel yaitu pada saat pH netral.

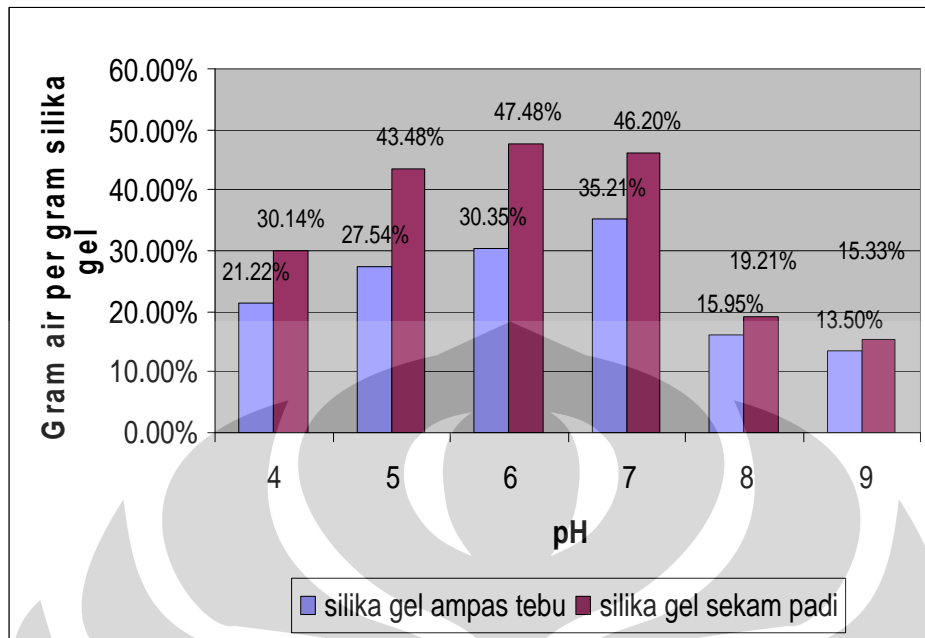
Setelah dihitung selisihnya dengan kemampuan silika gel hasil penelitian maka hasil yang diperoleh yaitu :

Tabel 4.8 Selisih kemampuan silika gel ampas tebu dan sekam padi

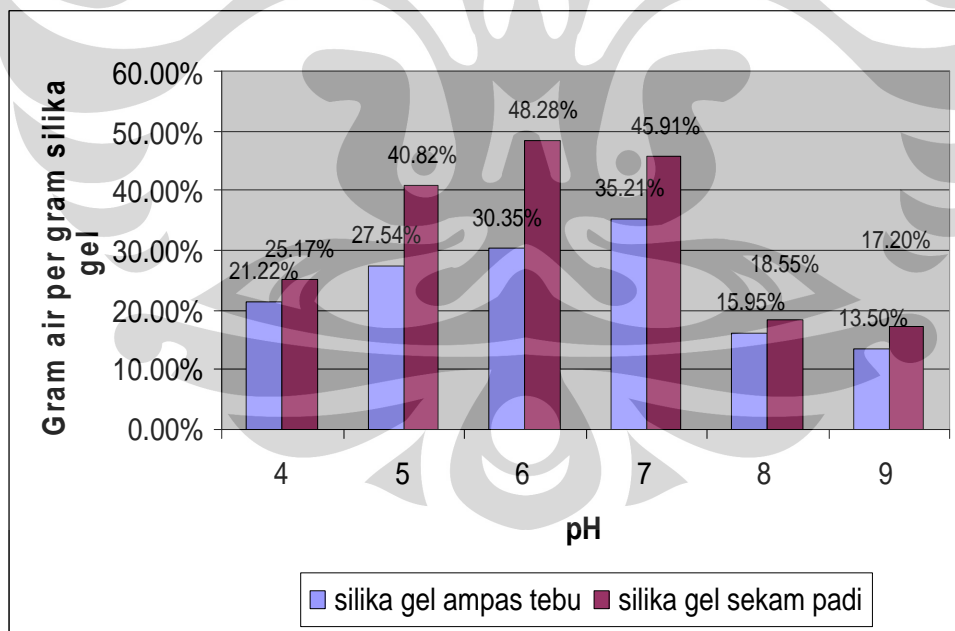
pH	Suhu	Persentase Adsorpsi Silika Gel Ampas Tebu	Persentase Adsorpsi Silika Gel sekam Padi	Selisih
4	60°C	21.22 %	30.17%	-8.95%
	80°C	23.45 %	25.17%	-1.72%

5	60°C	27.54 %	43.84%	-16.30%
	80°C	31.51 %	40.82%	-9.31%
6	60°C	30.35 %	47.48%	-17.13%
	80°C	32.77 %	48.28%	-15.51%
7	60°C	35.21 %	46.20%	-10.99%
	80°C	37.20 %	45.91%	-8.71%
8	60°C	15.95 %	19.21%	-3.26%
	80°C	17.20 %	18.55%	-1.35%
9	60°C	13.50 %	15.33%	-1.83%
	80°C	15.27 %	17.20%	-1.93%

Dari tabel 4.8 dapat dilihat silika gel dari sekam padi memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan silika gel dari ampas tebu dalam menyerap kelembaban di udara, hal ini dibuktikan dengan rata-rata nilai persentase kemampuan silika gel dari sekam padi yang lebih besar daripada silika gel dari ampas tebu. Selisih kinerjanya yaitu berada pada rentang 0.0135 sampai 0.1713 gram air per gram silika gel. Bahkan pada pH 7 dimana pada pH tersebut silika gel ampas tebu memiliki kemampuan yang paling baik, kinerjanya pada suhu 60°C dan 80°C masih lebih kecil 0.1099 dan 0.0871 gram air per gram silika gel dibandingkan kinerja silika gel sekam padi. Faktor yang mempengaruhinya yaitu luas permukaan silika gel sekam padi memiliki lebih besar dibanding luas permukaan silika gel ampas tebu hasil penelitian ini. Selain itu rata-rata kandungan silika dalam abu sekam padi yang lebih besar (90 %) dibandingkan kandungan silika dalam abu ampas tebu (70 %), Sehingga jumlah gugus Si-OH yang dihasilkan silika gel sekam padi lebih banyak daripada silika gel hasil penelitian ini, gugus Si-OH yang ada di permukaan silika gel berfungsi untuk menyerap uap air yang ada di udara. Jika diilustrasikan dalam bentuk grafik yaitu :



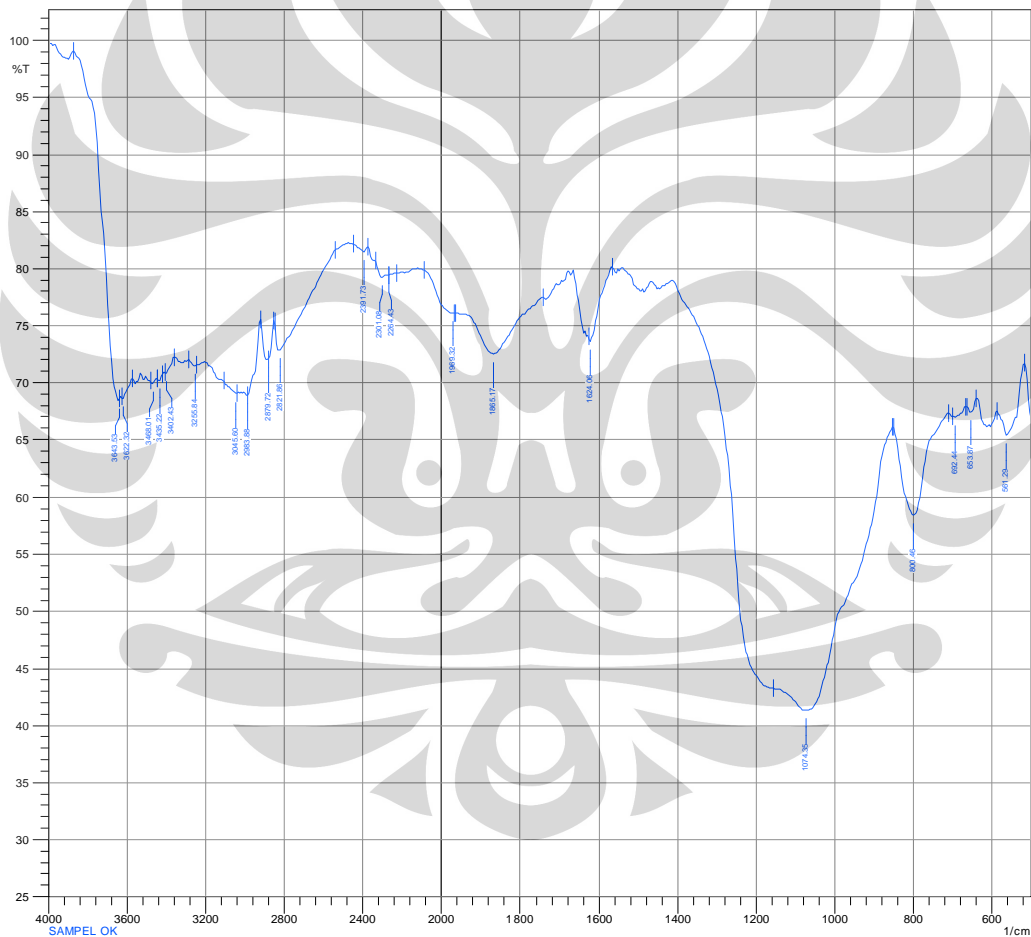
Gambar 4.6 Grafik perbandingan kemampuan silika gel ampas tebu dan sekam padi T = 60 °C



Gambar 4.7 Grafik perbandingan kemampuan silika gel ampas tebu dan sekam padi T = 80 °C

4.7 Analisis Hasil Karakteristik FTIR

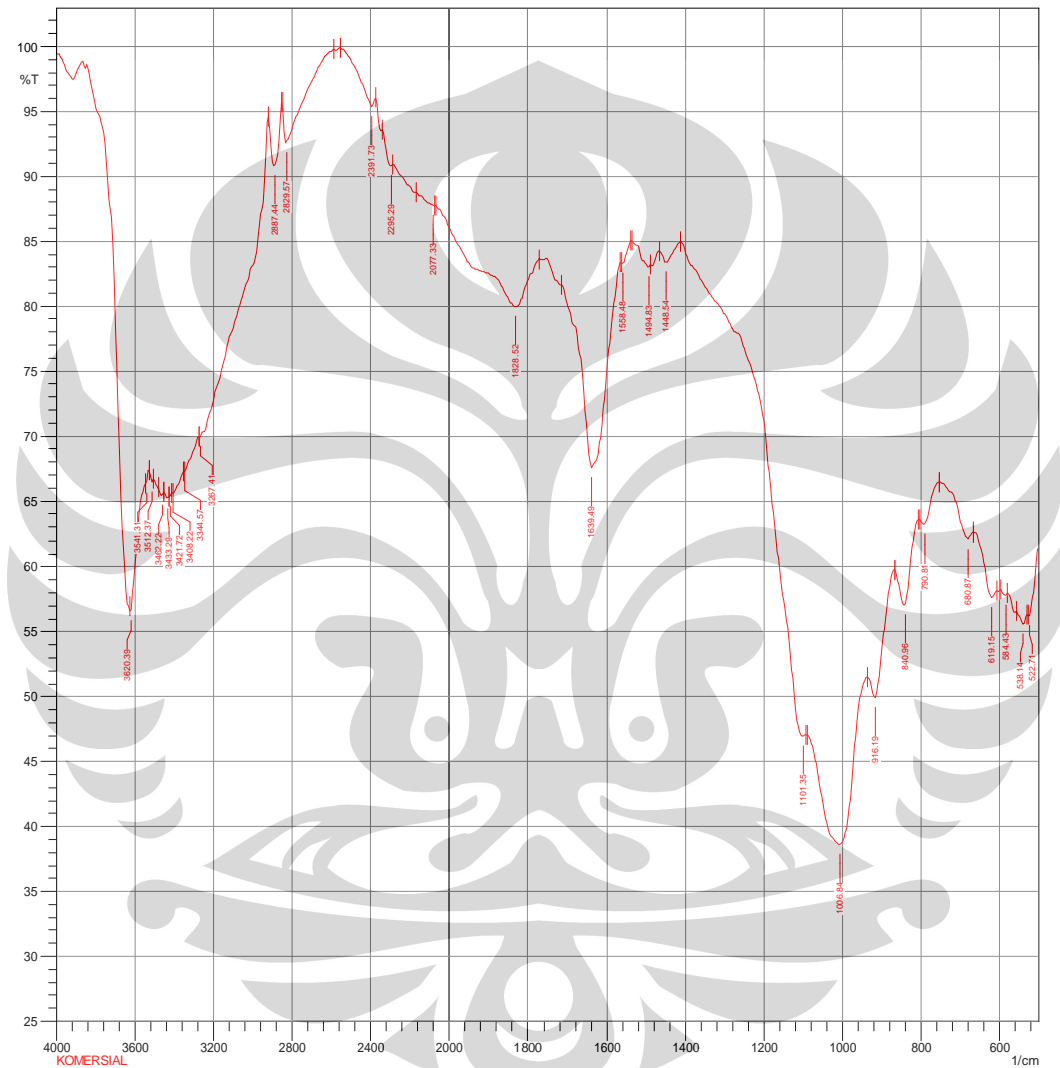
Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui spektrum yang dihasilkan silika gel, spektrum tersebut dapat digunakan untuk melihat gugus fungsional dari silika gel. Pada percobaan ini FTIR yang digunakan yaitu model Prestige IR dari Shimadzu, yang tersedia di PUSPITEK LIPI Serpong Tangerang. Cara kerja FTIR secara umum dapat digambarkan sebagai berikut: sampel silika gel dihomogenkan ketika di-scan, yang berarti sinar infra-merah akan ditembakkan ke silika gel. Gelombang yang diteruskan oleh sampel akan ditangkap oleh detektor yang terhubung ke komputer dan akan memberikan gambaran spektrum silika gel yang diuji. Adapun hasil spektrum untuk silika gel ampas tebu yaitu :



Gambar 4.8 Spektrum FTIR silika gel dari ampas tebu

Berdasarkan spektrum FTIR yang dihasilkan serapan panjang gelombang 1074 cm^{-1} adalah ikatan Si-O-Si yang menunjukkan adanya gugus siloksan, panjang gelombang 1624 dan 3643 cm^{-1} adalah ikatan antara Si dan OH

menunjukkan gugus silanol, panjang gelombang 800.46 cm^{-1} adalah ikatan antara Si-O (Sunardi, 2004). Pada pengujian ini silika gel komersial juga diuji sebagai pembandingan spectrum yang dihasilkan oleh silika gel hasil penelitian ini, dengan asumsi bahwa spectrum silika gel komersial sebagai standarnya. Adapun gambar spectrum untuk silika komersial yaitu

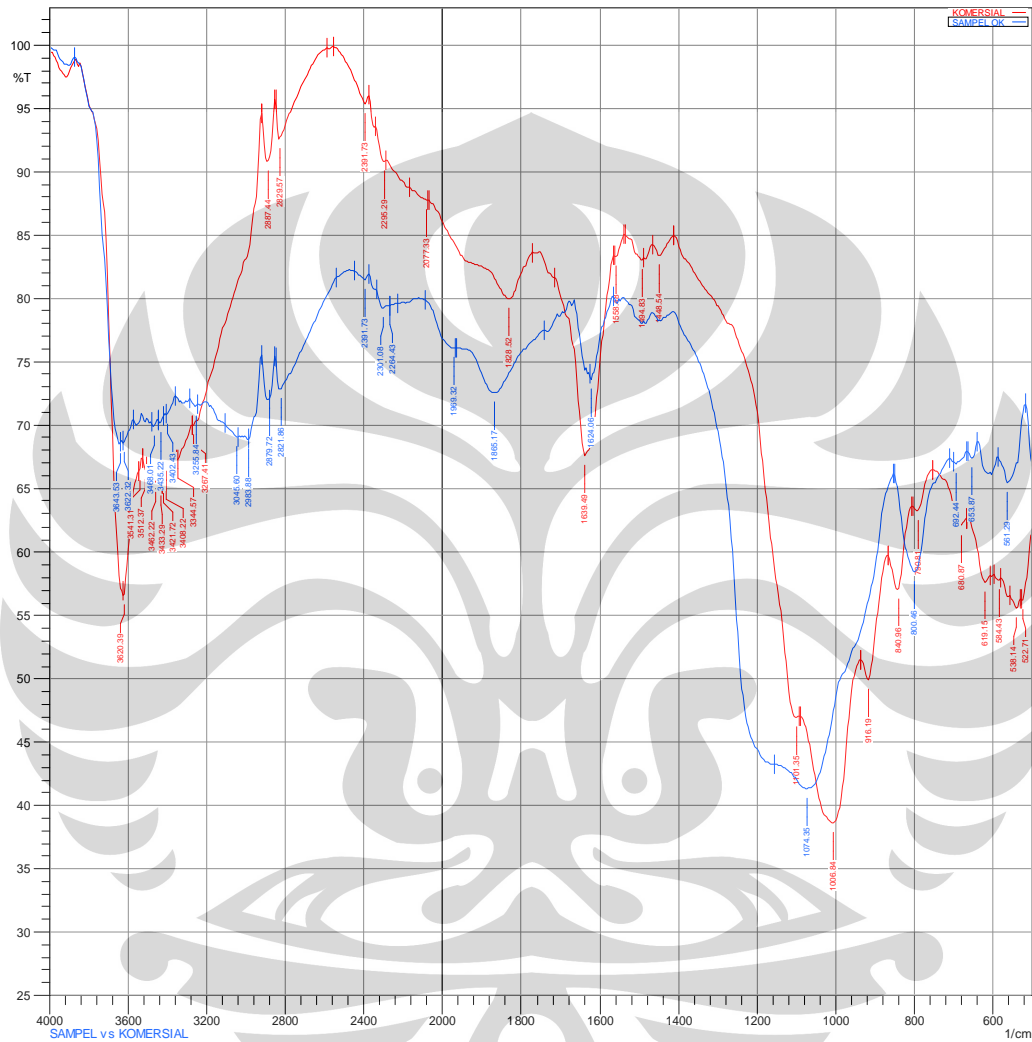


Gambar 4.9 Spektrum FTIR silika gel komersial

Pada spektrum FTIR silika gel komersial didapatkan hasil pada serapan panjang gelombang 1008.77 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus siloksan Si-O-Si serta panjang gelombang 1635 dan 3630 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus silanol Si-OH, serapan panjang gelombang 840.96 cm^{-1} adalah ikatan antara Si-O (Sunardi, 2004). kemudian untuk membandingkannya dengan cara menjadikan satu

kedua spectrum yang dihasilkan dari masing-masing silika gel dalam satu tabel, sehingga dapat dilihat ada atau tidaknya perbedaan,

Adapun hasil gabungan spektrum silika gel ampas tebu dan komersial yaitu :



Gambar 4.10 Gabungan spektrum FTIR silika gel ampas tebu dan komersial

Dari ke 2 spektrum diatas dapat diambil kesimpulan pengujian FTIR memberikan hasil yang positif artinya silika gel hasil penelitian ini memiliki sktruktur kimia, rumus molekuler dan gugus fungsional yang identik dengan silika gel komersial.

4.8 Analisis Hasil Karakteristik BET

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui luas permukaan dari silika gel. Prinsipnya yaitu berdasarkan adsorpsi fisik gas dalam hal ini N_2 , pada kondisi vakum dan temperature kriogenik 77 K. Alat yang digunakan untuk karakterisasi ini yaitu *autosorb 6* dari *quantachrome*.

Sampel yang dilakukan uji BET pada penelitian ini adalah sampel silika gel yang memiliki kemampuan terbaik dalam menyerap kelembaban udara pada penelitian ini yaitu yaitu sampel silika gel yang terbentuk pada pH 7 pada suhu pengeringan $80^\circ C$. Hasil analisa menunjukkan bahwa luas permukaannya yaitu $147.8 \text{ m}^2/\text{g}$ dan ukuran pori sebesar 104.9 \AA . Sedangkan hasil penelitian untuk silika gel sekam padi dengan kemampuan terbaik memiliki luas permukaan sebesar $361.4 \text{ m}^2/\text{g}$ dan ukuran porinya sebesar 108.9 \AA (Priambodo,2008) Oleh karena itulah dengan luas permukaan yang lebih besar dan ukuran pori yang lebih besar sehingga lebih banyak molekul air yang teradsorpsi di permukaan silika gel sekam padi dibandingkan silika gel ampas tebu. Hal ini tentunya yang menyebabkan keunggulan kemampuan penyerapan air yang dimiliki silika gel sekam padi. Silika gel ampas tebu dan sekam padi memiliki ukuran pori jenis mesopori dikarenakan berada pada rentang ukuran $20 \text{ \AA} - 500 \text{ \AA}$ yang merupakan syarat ukuran pori jenis mesopori.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan yang telah dijelaskan, maka kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu :

1. Silika gel hasil penelitian ini yang mempunyai kemampuan paling baik dalam menyerap kelembaban udara yaitu, silika gel yang terbentuk pada pH 7, baik itu yang dikeringkan pada suhu pengeringan 60 °C ataupun pada suhu 80 °C. Adapun kemampuannya pada suhu 60 °C dan 80 °C masing-masing sebesar 35.21 % dan 37.20 %.
2. Dibandingkan variasi pH (4,6,8,9), silika gel yang dibentuk pada pH 7 memiliki kemampuan yang paling baik dibandingkan silika gel komersial, hal ini dibuktikan dengan selisih kemampuannya yang paling besar dibanding pH-pH lainnya pada suhu pengeringan 60 °C dan 80 °C masing-masing sebesar 8.32 % dan 10.31%.
3. Silika gel sekam padi memiliki kemampuan yang lebih baik dibanding dengan silika gel hasil penelitian ini. Selisihnya yang paling besar yaitu pada saat pH 6, dimana selisihnya mencapai 17.13 % dan 15.51 %, pada suhu pengeringan 60 °C dan 80 °C.
4. Karakterisasi menggunakan FTIR menunjukkan positif adanya gugus SiO₂ pada silika gel hasil penelitian ini. Hal ini juga dibuktikan dengan spektrum yang dihasilkannya identik dengan silika gel komersial.
5. Silika gel hasil penelitian ini yang memiliki kemampuan terbaik memiliki luas permukaan sebesar 147.8 m²/g dan ukuran porinya sebesar 104.9 Å sehingga ukuran pori silika gel hasil penelitian ini yaitu jenis mesopori.

5.2 Saran

1. Sebaiknya untuk analisa karakterisasi BET dan FTIR dilakukan untuk semua silika gel dari variasi pH, hal ini penting agar dapat dipelajari

perubahan-perubahan luas permukaan dan serapan spektrum panjang gelombang yang terjadi pada setiap variasi pH

2. Variasi suhu pengeringan dilakukan dengan variasi yang lebih banyak lagi untuk mempelajari perubahan-perubahan yang terjadi pada pori-pori dan tingkat pengerutan silika gel.



DAFTAR REFERENSI

Anonim, CIC 1990.

Budiono, C. (2008) *Strategi Pengembangan Industri Berbasis Tebu Jatim* Disperindag Jawa Timur.

Callister, W. (1991) *Materials Handbook Thirteenth Edition*. New York ; Mcgraw Hill.

Dutch, S. *Silica polymorph* <http://www.uwgb.edu/dutchs/petrology/silica%20Poly.HTM>. (5 Maret 2008)

FTIR Prestige (n.d) <http://www.shimadzu.com> (15 November 2008)

Food agricultural of organization united nation. Social and economic The stastical decision (n.d). <http://www.faostat.fao.org/site> (20 Februari 2008)

Giwangkara S,EG. (2006) *Aplikasi Logika Syaraf Fuzzy Pada Analisis Sidik Jari Minyak Bumi Menggunakan Spetrofotometer Infra Merah - Transformasi Fourier (FT-IR)*, Sekolah Tinggi Energi dan Mineral, Cepu Jawa Tengah.

Harsono, H. (2002). *Pembuatan Silika Amorf dari Limbah Sekam Padi*. Jurnal Ilmu Dasar, Vol. 3 No 2 :98-103. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya.

Husin dkk (2007) *Pemanfaatan Ampas Tebu*. Laboratorium BioIndustri TIP-FTP-UNIBRAW.

Hodgson, M. *Ceramics Material*. School of Engineering University of Auckland. [http://www.google.com/Amorphous structure.htm](http://www.google.com/Amorphous%20structure.htm). (15 April 2008)

Lujan, M. *Cristaline Silica Primer Staff,Branch of Industrial Mineral*. <http://www.libraryofcongresspublicationdata.org>. (15 April 2008)

Gozan, M. (1994). *Fast Fourier Transform Infra Red*. Research grant program. Depok.

Priambodo,A.(2008) *Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Dalam Pembuatan Sekam Padi Skripsi*. Depok:Fakultas Teknik Kimia Universitas Indonesia.

Shin, J. Chin, W. & Ling, T. (2002) *Characterization and use of activated carbons prepared from bagasses for liquid-phase adsorption* Department of Chemical Engineering, Yuan Ze University, Chung-Li 320, Taiwan.

Sunardi. (2004) *Pengaruh Penambahan Polyoxyethylene (20) Sorbitan Monooleate (Tween 80) Sebagai Pencetak Pori Pada Sintesis Material SiO₂-TiO₂*. UPT Perpustakaan pusat Universitas Negeri Sebelas Maret.

Setyawan H, dkk. *Pengembangan Proses Pembuatan Silica Gel Dari Abu Ketel Pabrik Gula* Fakultas Teknik Kimia Institut Teknologi Surabaya..

Setyawan H, dkk. (2007) *A Simple Method To Produce Silica Gel With High Surface Area From Bagasse Ash*. Departement of Chemical Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya.

Zanzi R, Sjostrom K, & Bjornbom E. (1995) *Rapid Pyrolysis of Bagasse at High Temperature*. Departement of Chemical Engineering. Royal Institute Technology Stockholm, Swedia.

Brunauer, S. Emmett, P. & Teller, E. (1938). *Journal American Chem. Soc.* 60, 309.

Team Affiliansi dan Konsultasi Industri. ITS Surabaya *Hasil Analisa Abu Ampas Tebu* [http://www.google.com/Silika dari bagasse](http://www.google.com/Silika%20dari%20bagasse) (15 April 2008)

Potensi Limbah Ampas Tebu Sebagai Bahan Baku Pembuatan Pulp Untuk Industri Kertas. [http://www.google.com/potensi ampas tebu](http://www.google.com/potensi%20ampas%20tebu). (5 Februari 2008)

Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu Untuk Campuran Semen Beton [http://www.google.com/Silika dari bagasse](http://www.google.com/Silika%20dari%20bagasse).(17 Februari 2008)

Van Clank, L.H. *Element of Materials Science & Engineering*. sixt edition. Addison Wesley Publishing Company.1989.

Waddel, W. Evans, H. & Larry, R. *Silica(Amorphouss)*. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, vol 21, pp 1005-1032.New York: Wiley-Interscience Publication.1997.

<http://id.wikipedia.org/wiki/FTIR.htm> (16 November 2008).

<http://id.wikipedia.org/wiki/Sugarcane.htm> (17 Maret 2008).

<http://id.wikipedia.org/wiki/Tebu> (7 Juni 2008).

<http://www.google.com/wikipedia/silica.htm> (17 Februari 2008)

Lampiran 1. Data perhitungan hasil penelitian

Konversi pengabuan

Massa ampas tebu yang dibakar : 105.35 gram

Massa abu ampas tebu yang dihasilkan ; 1038.3 ggram

$$\begin{aligned} \text{Konversi abu} &= \frac{\text{Massa abu ampas tebu yang dihasilkan}}{\text{Massa ampas tebu yang dibakar}} \times 100\% \\ &= \frac{105.35 \text{ gram}}{1038.3 \text{ gram}} \times 100\% = 10.14\% \end{aligned}$$

Data proses uii adsorpsi silika gel

$$\text{Persentase adsorpsi} = \frac{\text{Bobot sebelum adsorpsi} - \text{Bobot setelah adsorpsi}}{\text{Bobot silika gel}} \times 100 \%$$

Pada T = 60 °C

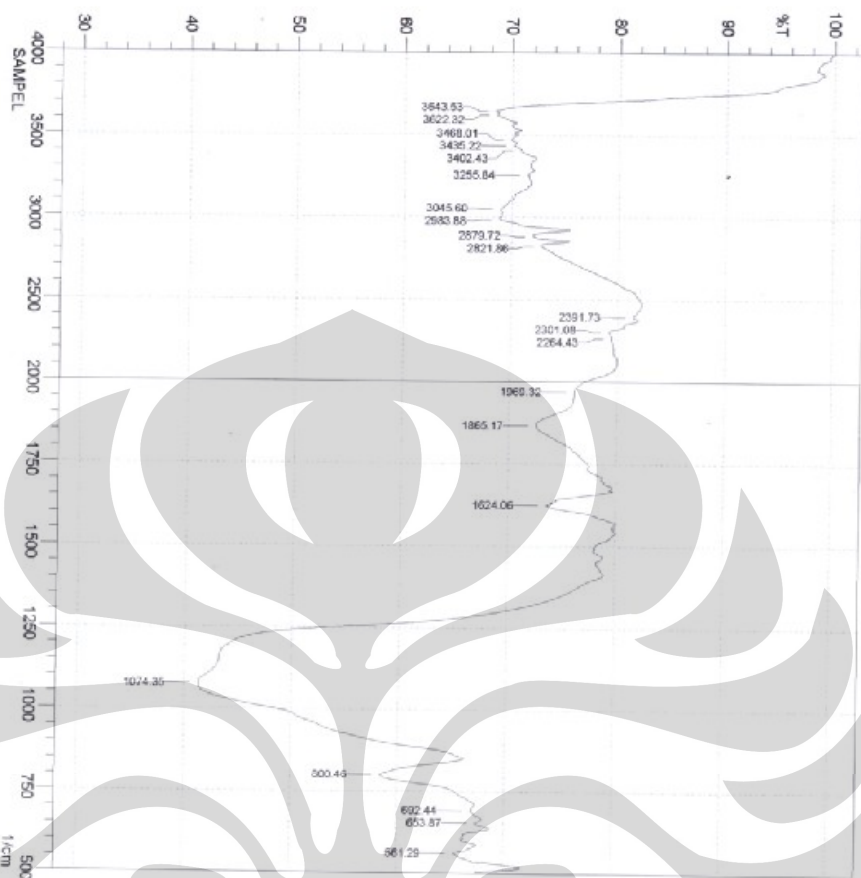
pH	Bobot Cawan petri (gram)	Bobot silika gel (gram)	Bobot sebelum adsorpsi (gram)	Bobot setelah adsorpsi (gram)	Persentase adsorpsi (%)
4	43.7901	1.3514	45.1415	45.4283	21.22
5	53.7479	1.2524	55.0003	55.3452	27.54
6	36.1967	1.4315	37.6282	38.0627	30.35
7	43.8297	1.5629	45.3926	45.9429	35.21
8	46.0212	1.354	47.3752	47.5912	15.95
9	59.1901	1.2677	60.4578	60.6289	13.5

Pada T = 80 °C

pH	Bobot cawan petri (gram)	Bobot silika gel (gram)	Bobot sebelum adsorpsi (gram)	Bobot setelah adsorpsi (gram)	Persentase adsorpsi (%)
4	36.1581	1.2123	37.3704	37.6547	23.45
5	46.0162	1.3536	47.3698	47.7963	31.51
6	43.8729	1.6254	45.4983	46.0309	32.77
7	35.8296	1.814	37.6436	38.3184	37.2
8	36.5542	1.3261	37.8803	38.1084	17.2
9	38.1846	1.8235	40.0081	40.2865	15.27

Lampiran 2. Spektrum FTIR silika gel hasil penelitian



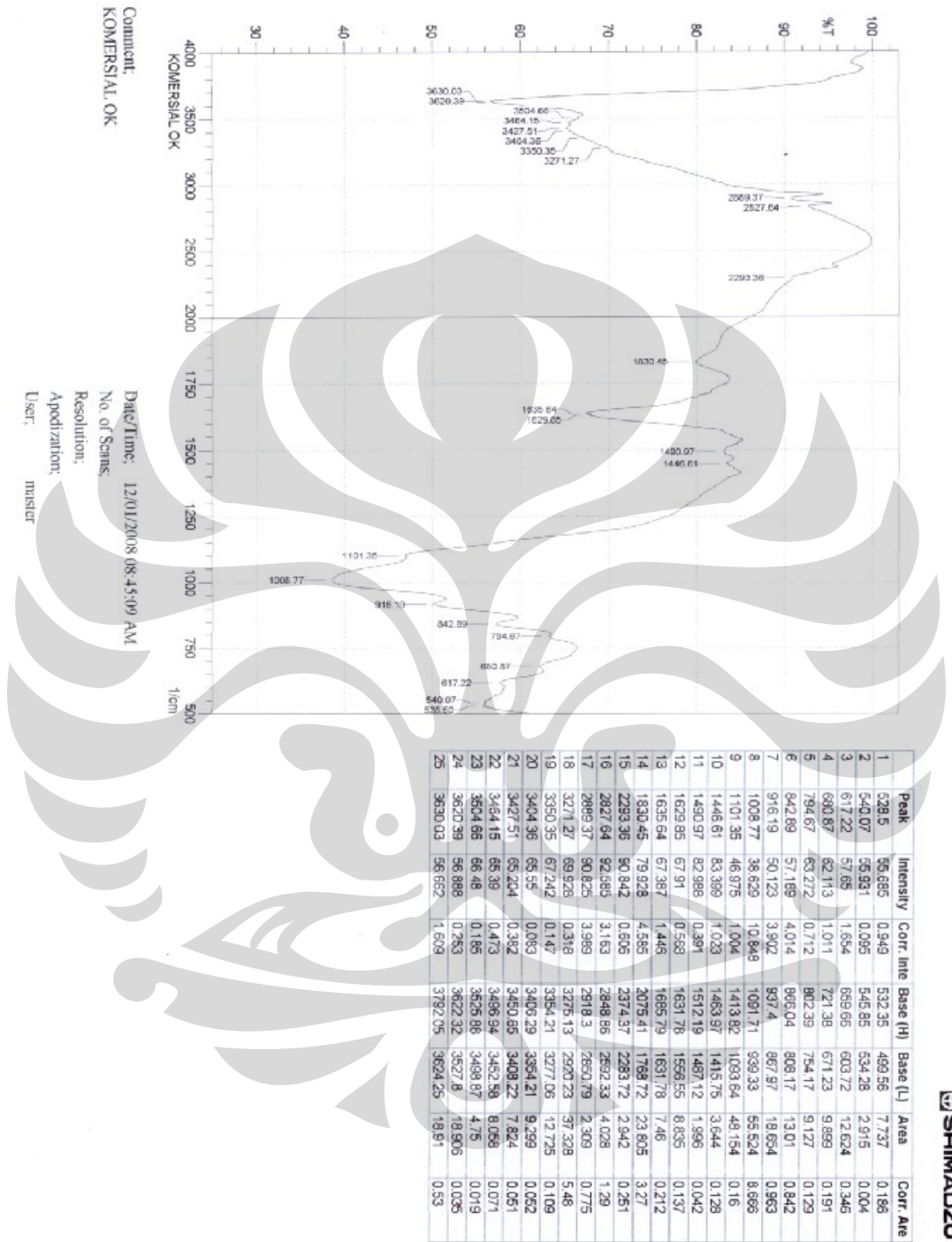


Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	561.29	65.397	3.624	596.36	516.92	11.941
2	653.87	67.377	0.802	663.51	638.44	4.232
3	692.44	66.915	0.293	698.23	666.44	5.638
4	900.45	59.467	8.105	850.61	709.8	28.26
5	1074.35	41.333	8.044	1155.36	852.54	93.676
6	1624.06	73.615	0.835	1627.92	1568.13	6.8
7	1865.17	72.539	4.184	1963.53	1743.69	27.513
8	1969.32	76.098	0.141	2085.05	1965.46	12.925
9	2264.43	79.442	0.009	2266.36	2223.92	4.22
10	2301.08	79.247	0.84	2335.8	2266.36	5.879
11	2391.73	81.469	0.539	2447.67	2372.44	6.568
12	2821.86	72.834	3.081	2848.86	2538.32	35.604
13	2879.72	72.031	0.212	2981.59	2860.79	4.147
14	2983.88	68.892	0.202	2985.81	2920.23	9.624
15	3045.6	69.026	0.079	3107.32	3041.74	10.365
16	3255.84	71.467	0.267	3284.77	3244.27	5.86
17	3402.43	70.801	0.243	3408.22	3360	7.059
18	3436.22	70.176	0.317	3446.79	3417.86	4.417
19	3468.01	68.898	0.419	3483.44	3448.72	5.36
20	3622.32	69.577	0.376	3628.1	3575.02	8.286
21	3643.83	68.452	0.959	3871.13	3637.75	15.171

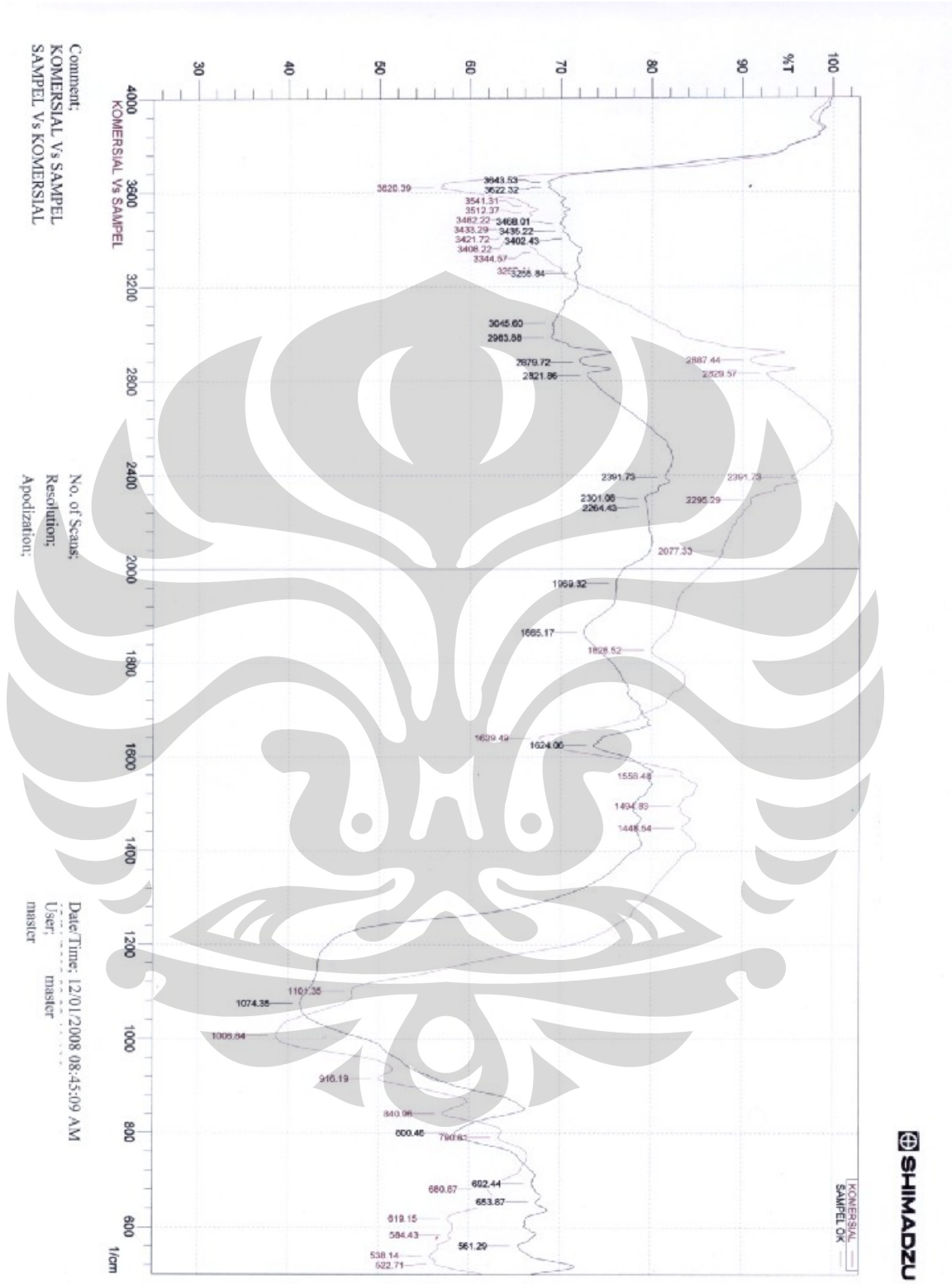
Comment:
SAMP/EL

Date/Time: 12/01/2008 08:38:44 AM
 No. of Scans:
 Resolution:
 Apodization:
 User: master

Lampiran 3. Spektrum FTIR silika gel hasil komersial



Lampiran 4. Spektrum FTIR silika gel hasil penelitian dan komersial



Lampiran 4. Hasil Uji BET

Quantachrome Corporation
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	Silica gel PH7 D80				
Description	zaky				
Comments					
Sample Weight	0.3180 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jaajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	55.5 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Pc Toler	3	End of Run	12/10/2008 19:51
Nonideality	6.5802E-05	Equil Time	2	File Name	A8C10C14.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	4				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	1.478E+02	m ² /g
Single Point BET.....	1.446E+02	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	2.328E+02	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	1.458E+02	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	2.009E+00	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	1.945E+02	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	-1.155E-04	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	6.914E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	5.868E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	6.013E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	1.049E+02	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.800E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.392E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.602E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
 Last P₀ Acquired 784.02 mm Hg
 Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DR Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ × kJ/mol

