SKRIPSI – TK141581

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PROSES REGENERASI MATERIAL HIBRIDA KARBON SILIKA SEBAGAI *SOLID DESICCANT* DALAM *BIOGAS DEHYDRATION UNIT*

Disusun Oleh:

Muhammad Ibrahim Dzakir
NRP. 02211440000031

Ariobimo Rajio
NRP. 02211440000073

Dosen Pembimbing:

Pembimbing I
Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D
NIP. 1981 07 13 2005 01 1001

Pembimbing II
Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T.
NIP. 1976 10 20 2005 01 2001

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018

LEMBAR PENGESAHAN

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PROSES REGENERASI MATERIAL HIBRIDA KARBON SILIA SEBAGAI *SOLID DESICCANT* DALAM *BIOGAS DEHYDRATION UNIT*

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Oleh:

Muhammad Ibrahim Dzakir **NRP. 02211440000031**
Ariobimo Rajio **NRP. 02211440000073**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Fadlilatul Taufany, S.T., Ph. D. (Pembimbing I) .....
2. Dr. Yeni Rahmawati, S.T, M.T (Pembimbing II) .....
3. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S (Penguji I) .....
4. Dr. Ir. Susianto, DEA (Penguji II) .....
5. Dr. Widiyastuti, S.T, M.T (Penguji III) .....

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

Surabaya

Juli, 2018

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PROSES REGENERASI MATERIAL HIBRIDA KARBON SILIKA SEBAGAI SOLID DESICCANT DALAM BIOGAS DEHYDRATION UNIT

Nama /NRP : **Muhammad Ibrahim Dzakir (02211440000031)**
Ariobimo Rajio (02211440000073)
Departemen : **Teknik Kimia**
Dosen Pembimbing : **Fadlilatul Taufany, S.T, Ph.D.**
Dr. Yeni Rahmawati, S.T, M.T.

ABSTRAK

Biogas merupakan salah satu energi alternatif pengganti energi fosil yang ramah lingkungan. Dalam standar pipeline biogas, kandungan air harus kurang dari 65 mg/m3. Untuk mengurangi kandungan air, digunakan metode adsorpsi dengan silica gel yang lebih ekonomis dan lebih efektif. Namun, untuk mendapatkan silica gel dengan kapasitas adsorpsi yang besar, diperlukan pengeringan dengan teknologi superkritis yang sangat mahal. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, telah dikembangkan suatu material hibrida karbon mesopourus berlapis silika yang berpotensi lebih efisien dibandingkan silica gel.

Ketika adsorben sudah jenuh dengan air, maka adsorben tersebut tidak akan bisa menyerap air. Agar adsorben tersebut dapat dipakai kembali untuk dehidrasi gas, maka dilakukan regenerasi adsorben. Namun, belum ada penelitian lebih lanjut mengenai regenerasi material karbon silika ini. Untuk melakukan percobaan ini, terdapat empat tahap, yaitu pretreatment dengan menggunakan udara bertekanan, hidrolifikasi karbon aktif dengan impregnasi silika ke dalam karbon aktif, dehidrasi untuk mengetahui kapasitas adsorbsi karbon silika dan regenerasi menggunakan udara untuk mengetahui pengaruh kondisi operasi (suhu, tekanan, waktu regenerasi dan flowrate udara) terhadap % removal air material karbon silika. Dari hasil penelitian ini, didapatkan bahwa % removal air berbanding lurus dengan suhu, waktu regenerasi dan flowrate udara dan berbanding terbalik dengan tekanan. % removal tertinggi terjadi saat waktu regenerasi 5 jam dengan % removal air 90,55%.

Kata kunci : adsorpsi, dehidrasi biogas, hibrida karbon silika, hidrofilikasi, regenerasi

DEVELOPMENT OF SOLID DESICCANT CARBON SILICA HYBRID MATERIAL REGENERATION PROCESS TECHNOLOGY IN BIOGAS DEHYDRATION UNIT

Name / Student ID : **Muhammad Ibrahim Dzakir (02211440000031)**
Ariobimo Rajio (02211440000073)
Department : **Chemical Engineering**
Advisors : **Fadlilatul Taufany, S.T, Ph.D.**
Dr. Yeni Rahmawati, S.T, M.T.

ABSTRACT

Biogas is one of alternative energy replacement of environmental friendly fossil energy. In biogas pipeline standards, the water content must less than 65 mg / m3. To reduce water content, the adsorption method with silica gel adsorbent is more economical and more effective. However, to get silica gel with a large adsorption capacity, drying with supercritical technology that it is too expensive. To solve this problem, we have developed a silica-coated mesophourus carbon hybrid material as a potentially more efficient solid dessicant than silica gel. When the adsorbent is saturated with water, the adsorbent will not absorb

water. In order for the adsorbent to be reused for dehydration of the gas, the adsorbent regeneration is needed. However, there has been no research on the regeneration of this silica carbon material. To conduct this experiment, there are four stages: pretreatment using pressurized air, hydrophilication of activated carbon by impregnation of silica into activated carbon, dehydration to know adsorption capacity and regeneration using air to know the effect of operating conditions (temperature, pressure, regeneration time and air flowrate) to % water removal of the silica carbon material. From this result, showed that % water removal is parallel with temperature, regeneration time and air flowrate and it is inverse with pressure. The highest % removal is resulted when the operation condition is 5 hours regeneration with % water removal is 90,55%.

Keywords: adsorption, biogas dehydration, hydrophilation, regeneration, silica carbon hybrid

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT karena dengan rahmat dan berkah-Nya kami dapat menyelesaikan Proposal Skripsi yang berjudul :

"PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PROSES REGENERASI MATERIAL HIBRIDA KARBON SILIKA SEBAGAI *SOLID DESICCANT* DALAM *BIOGAS DEHYDRATION UNIT*"

Tugas Laporan Skripsi ini merupakan salah satu syarat kelulusan Program Studi S-1 di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada kesempatan kali ini, kami menyampaikan terimakasih kepada :

1. Orangtua dan keluarga kami atas segala kasih sayang dan perhatian yang telah diberikan.
2. Bapak Juwari, S.T,.M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Ali Altway, MSc selaku Kepala Laboratorium Proses Perpindahan Panas dan Massa.
4. Bapak Fadlilatul Taufany, S.T, Ph.D selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan masukan bagi kami.

5. Ibu Dr. Yeni Rahmawati, S.T, M.T selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan masukan bagi kami.
6. Bapak dan Ibu selaku dosen pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS.
7. Teman-teman Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa, rekan-rekan K-54, serta semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung.

Kami menyadari bahwa penyusunan laporan skripsi ini masih perlu penyempurnaan, oleh karena itu kami mengharap saran dan kritik yang membangun. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya di bidang teknik kimia dan aplikasi industri kimia. Terima kasih.

Surabaya, 10 Juli 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK i
ABSTRACT iii
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xi
BAB I PENDAHULUAN I-1
I.1 Latar Belakang I-1
I.2 Rumusan Masalah I-5
I.3 Batasan Masalah I-5
I.4 Tujuan Penelitian I-5
I.5 Manfaat Penelitian I-6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA II-1
II.1 Biogas II-1
II.2 Dehidrasi Biogas II-3
II.3 Silica Gel II-9
II.4 Karbon Aktif II-11
II.5 Polyethylene Glycol (PEG) II-12
II.6 Impregnasi Silika pada Permukaan Karbon II-13
II.7 Gelombang Serapan Fourier Transform Infra Red (FTIR) II-16
II.8 Penelitian Terkait Sebelumnya II-18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN III-1

III.1 Garis Besar Penelitian III-1
III.2 Bahan yang Digunakan..... III-3
III.3 Alat yang Digunakan..... III-3
III.4 Variabel Penelitian III-5
III.4.1 Variabel Tetap III-5
III.4.2 Variabel Bebas..... III-5
III.4.3 Variabel Terikat..... III-5
III.5 Rangkaian Alat Penelitian III-5
III.6 Prosedur Penelitian..... III-6
III.6.1 Tahap Persiapan Bahan Baku III-7
III.6.2 Tahap Hidrofilikasi Karbon..... III-8
III.6.3 Tahap Uji Dehidrasi..... III-11
III.6.4 Tahap Regenerasi III-11
BAB IV PEMBAHASAN..... IV-1
IV.1 Tahap Pre-treatment IV-2
IV.2 Tahap Hidrofilikasi..... IV-4
IV.3 Tahap Dehidrasi..... IV-10
IV.4 Tahap Regenerasi IV-12
IV.4.1 Pengaruh Suhu Udara IV-13
IV.4.2 Pengaruh Tekanan Udara..... IV-16
IV.4.3 Pengaruh Waktu Regenerasi..... IV-19
IV.4.4 Pengaruh *Flowrate* Udara..... IV-23
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN V-1
V.1 Kesimpulan.....V-1

V.2 Saran.....V-2
DAFTAR PUSTAKA..... xiii

DAFTAR TABEL

Tabel II-1 Spesifikasi Pipeline Biogas (Sun et al, 2015).....II-3
Tabel II-2 Perbandingan Metode Dehidrasi Biogas (Ryckebosch et al, 2011).....II-6
Tabel II-3 Perbandingan Karakteristik Solid Desiccant (Kohl and Nielsen, 1997) II-8
Tabel II-4 Penelitian terkait yang dilakukan sebelumnya II-18
Tabel IV-1 Hasil Uji BET Karbon Aktif Sebelum dan Setelah Pre-Treatment.....IV-4
Tabel IV-2 Komposisi Unsur pada Material Karbon Silika.... IV-8
Tabel IV-3 Tahap Dehidrasi Karbon Silika per Waktu..... IV-11
Tabel IV-4 Kapasitas Adsorbsi Karbon Silika IV-12
Tabel IV-5 Hasil Penelitian Pengaruh Suhu Udara terhadap % Removal (Kondisi Operasi : Tekanan 1 atm, Waktu regenerasi 3 jam, dan flowrate 3 L/menit).....IV-13
Tabel IV-6 Hasil Penelitian Pengaruh Tekanan Udara terhadap % Removal.....IV-17
Tabel IV-7 Hasil Penelitian Pengaruh Waktu Regenerasi terhadap % Removal IV-20
Tabel IV-8 Hasil Penelitian Pengaruh *Flowrate* Udara terhadap % *Removal* (Kondisi Operasi : Suhu 100°C, Waktu regenerasi 3 jam, dan Tekanan 1 atm).....IV-24

DAFTAR GAMBAR

Gambar II-1 Proses Pembuatan Biogas II-2
Gambar II-2 Struktur Silica Gel Hidrofilik (Rao, 1999) II-10
Gambar II-3 Proses Pembentukan Karbon Aktif II-12
Gambar II-4 Struktur *Polyethylene Glycol* (PEG) II-13
Gambar II-5 Proses Hidrofilikasi Karbon Aktif menggunakan Silika II-14
Gambar II-6 Sketsa Permukaan Gugus Hidroksil pada Permukaan Silika Gel II-17
Gambar III-1 Rangkaian alat regenerasi material karbon silika III-6
Gambar III-2 Tahapan Penelitian III-6
Gambar III-3 Skema Tahap Persiapan Bahan Baku III-7
Gambar III-4 Diagram Alir Tahap Hidrofilikasi III-10
Gambar III-5 Diagram Alir Tahap Regenerasi III-12
Gambar IV-1 Hasil Uji Scanning Electronic Microscopy (SEM) 500 x (a) Sebelum pre-treatment (b) Setelah pre-treatment IV-3
Gambar IV-2 Hasil Uji Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS) perbesaran 500 x.. ..... IV-7
Gambar IV-3 Hasil Uji Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) pada Karbon Aktif setelah Hidrofilikasi IV-9
Gambar IV-4 Grafik Tahap Dehidrasi per Waktu IV-11

Gambar IV-5 Grafik Hasil Percobaan Pengaruh Suhu Udara ..... ….IV-14
Gambar IV-6 *Psychrometric Chart* IV-16
Gambar IV-7 Grafik Hasil Percobaan Pengaruh Tekanan Udara IV-18
Gambar IV-8 Grafik Hasil Percobaan Pengaruh Waktu Regenerasi IV-21
Gambar IV-9 Grafik Hubungan antara Kandungan Air dengan Waktu Regenerasi (Geankoplis, 2003) IV-23
Gambar IV-10 Grafik Hasil Percobaan Pengaruh Flowrate Udara IV-25

BAB I
PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan penting bagi manusia. Kebutuhan energi terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah populasi manusia di dunia, khususnya di Indonesia. Selama ini kebutuhan energi masih mengandalkan minyak bumi sebagai penyangga utama kebutuhan energi. Menurut Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, diperkirakan Indonesia tidak akan lagi dapat memproduksi minyak dalam 12 tahun (esdm.go.id). Oleh karena itu diperlukan energi alternatif yang bisa menggantikan dan mengurangi ketergantungan kepada energi fosil.

Biogas adalah energi alternatif pengganti energi fosil yang ramah lingkungan. Biogas adalah gas yang terbentuk dari proses biologi yang disebut proses digestik anaerobik yang merupakan dekomposisi substansi organik dalam kondisi anaerob dan lembab (Bharathiraja et al, 2015). Biogas dapat digunakan pada berbagai aplikasi seperti produksi listrik, produksi panas dan steam pada rumah tangga dan industri dan sebagai bahan bakar (Khan et al, 2017). Biogas mengandung 40-75% CH4, 15-60% CO2, dan komponen-komponen lainnya seperti 5-10% H2O dan 0,005-2% H2S. Kandungan air dalam biogas harus dihilangkan

karena air dapat menurunkan heating value dan juga dapat menyebabkan korosi pada perpipaan ketika biogas ditransportasikan (Ryckebosch et al, 2011).

Biogas yang diaplikasikan untuk bahan bakar dan listrik harus dihilangkan hingga kandungan air pada biogas minimal 65 mg/m3. Untuk menghilangkan kandungan air pada biogas ada beberapa metode yang dapat dilakukan yaitu metode kondensasi, metode absorbsi dengan glikol dan metode adsorbsi dengan menggunakan solid dessicant seperti silica gel, alumina, karbon aktif, dan molecular sieve. Proses dehidrasi dengan silica gel lebih ekonomis dan lebih efektif (Gholami et al, 2010).

Silica gel digunakan jika kandungan air dalam gas sangat besar (>1% mol) dan kandungan air dalam gas outlet yang diinginkan tidak terlalu rendah. (Kidnay, 2006). Silica gel merupakan adsorben dengan kapasitas adsorbsi yang besar. Selain itu, silica gel juga tidak beracun, tidak korosif dan juga banyak tersedia. Adsorbsi air oleh silica gel disebabkan interaksi antara molekul air dengan gugus silanol yang terdapat di pori silika. Akan tetapi, dalam penerapannya dari setiap metode dehidrasi tersebut masih banyak kekurangan yang dimiliki salah satunya dengan silica gel. Untuk mendapatkan silika gel dengan kapasitas adsorpsi yang besar, diperlukan suatu agen yang berguna untuk membentuk atau membesarkan pori yang biasanya kompleks dan membutuhkan banyak prosedur sehingga membutuhkan cost yang

tinggi dan waktu yang lama (Mota et al, 2017). Selain itu, untuk mendapatkan surface area yang besar, diperlukan pengeringan dengan teknologi superkritis dimana teknologi tersebut memerlukan energi yang sangat besar (Rao et al, 2007). Selain itu, regenerasi silika gel ini membutuhkan energi yang cukup besar (Yao, 2011).

Di sisi lain, karbon aktif mempunyai pori yang besar yang bisa meningkatkan kapasitas adsorbsi. (Furtado et al, 2012). Namun, karbon aktif juga bersifat hidrofobik sehingga interaksi dengan molekul air cukup lemah. (Goncalves et al, 2009). Material karbon silika ini mempunyai dua permukaan polar dan non polar, dimana permukaan non polar seperti karbon akan berinteraksi dengan molekul non polar sedangkan permukaan polar akan berinteraksi dengan molekul polar. Sehingga material karbon silika ini akan mempunyai potensi lebih efektif untuk melakukan adsorbsi dibandingkan adsorben biasa seperti silica gel (Furtado et al, 2012). Material karbon silika juga mempunyai surface area yang tinggi (>1500 m2/g), volume pori yang besar (1,9 cm/g), dan mesoporus (4,6- 6,9 nm) (Santa et al, 2013).

Ketika adsorben sudah jenuh dengan air, maka adsorben tersebut tidak akan bisa menyerap air. Agar adsorben tersebut dapat dipakai kembali untuk dehidrasi gas, maka dilakukan regenerasi adsorben (Zhang et al, 2010). Namun, belum ada penelitian lebih lanjut mengenai regenerasi material karbon silika

sehingga belum diketahui apakah adsorben ini mudah diregenerasi atau tidak. Oleh karena itu, kami termotivasi untuk melakukan penelitian mengenai regenerasi material karbon silika untuk mengetahui pengaruh kondisi operasi terhadap performa regenerasi.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

Bagaimana pengaruh kondisi operasi suhu, tekanan, waktu regenerasi dan flowrate udara terhadap performa regenerasi material karbon silika ini?

I.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Jenis karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini adalah karbon aktif jenis mesopourus
2. Untuk tahapan pra treatment, digunakan gas oksidan (udara) terkompresi dengan kondisi terkontrol
3. Untuk tahapan hidrofilikasi, digunakan larutan sodium silicate dan surfaktan polyethylene glycol 6000 (PEG)
4. Untuk tahapan dehidrasi, digunakan biogas dari kotoran sapi
5. Untuk tahapan regenerasi, digunakan udara yang sebelumnya dipanaskan terlebih dahulu sebagai regeneration gas.

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari pengaruh kondisi suhu operasi terhadap performa regenerasi material karbon silika

2. Mempelajari pengaruh kondisi tekanan operasi terhadap performa regenerasi material karbon silika
3. Mempelajari pengaruh waktu regenerasi terhadap performa regenerasi material karbon silika
4. Mempelajari pengaruh flowrate udara terhadap performa regenerasi material karbon silika

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu :

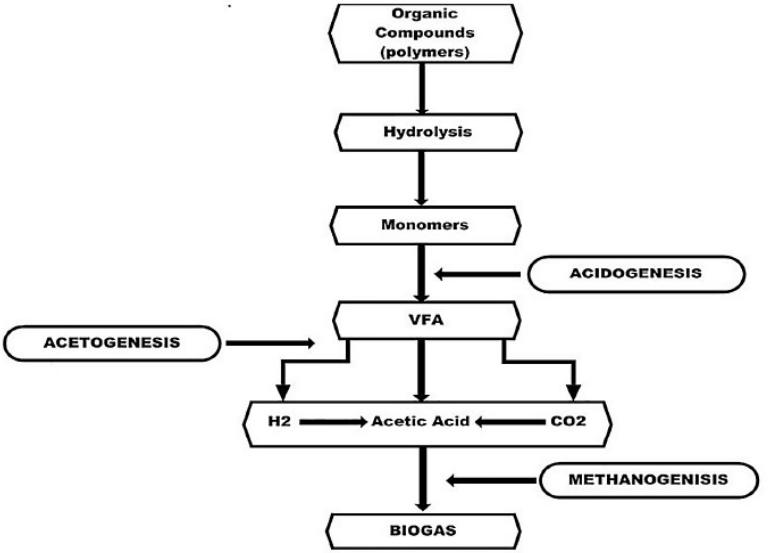
1. Dapat dijadikan sebagai referensi atau rujukan dalam pengembangan regenerasi material karbon silika sebagai alternatif solid dessicant
2. Keberhasilan penelitian ini bermanfaat dalam mencari alternatif solid dessicant yang memiliki kapasitas adsorpsi yang besar serta ekonomis.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Biogas

Biogas adalah salah satu energi alternatif pengganti bahan bakar fosil yang mencemari lingkungan. Selain menjadi pengganti bahan bakar fosil, biogas juga dapat mengurangi limbah dan dapat meningkatkan produktivitas pertanian.

Biogas adalah gas campuran yang mudah terbakar yang terbentuk dari proses digestik anaerob. Proses digestik anaerob adalah proses dimana terjadi dekomposisi bahan organik yang terjadi dalam kondisi anaerob atau tanpa oksigen dan kondisi lembab. Biomassa yang dapat dijadikan bahan baku biogas antara lain sampah dapur, kotoran sapi, sampah pertanian, limbah industri dan sampah kota. Produk utama dari proses digestik anaerob adalah biogas dan slurry. (Bharathiraja et al, 2016)



Gambar II-1 Proses Pembuatan Biogas

(Bharathiraja et al, 2016)

Raw biogas memiliki kandungan utama metana (40-75%) dan karbon dioksida (15-60%). Selain itu, biogas juga memiliki komponen-komponen yang trace seperti air (5-10%), hidrogen sulfida (0,005-2 %), siloksan (0-0,02%), hidrokarbon halogen (<0,6%), amonia (<1%), oksigen (0-1%), karbon monoksida (<0,6%), dan nitrogen (0-2%). (Ryckebosch et al, 2011)

Biogas dapat diaplikasikan sebagai bahan bakar dan listrik. Untuk bisa diaplikasikan sebagai bahan bakar dan listrik, biogas harus memiliki spesifikasi pipeline gas sebagai berikut :

Tabel II-1 Spesifikasi Pipeline Biogas (Sun et al, 2015)

Komposisi	Kandungan
H_2S	5 mg/m^3
CO_2	<4 %vol
H_2O	65 mg/m^3

II.2 Dehidrasi Biogas

Untuk menjadi *pipeline* biogas, proses dehidrasi ini sangat penting. Kandungan air dalam biogas yang tinggi dapat menyebabkan beberapa masalah antara lain korosi pada kompresor, *gas storage*, dan mesin ketika bereaksi dengan H_2S, NH_3 dan CO_2 sehingga membentuk asam. Pada tekanan tinggi, air dapat terkondensasi atau membeku sehingga dapat menghambat pipa dan juga merusak kompresor. (Ryckebosch et al, 2011)

Metode dehidrasi biogas ada beberapa macam seperti metode kondensasi, metode adsorbsi dan absorbsi.

1. Metode Kondensasi

   Metode kondensasi adalah metode yang paling sederhana dalam dehidrasi. Metode ini hanya dapat mencapai *dew point* 0,5 ^oC. Untuk mencapai *dew point*

yang lebih rendah, gas di kompresi terlebih dahulu sebelum didinginkan dan kemudian di ekspansi kembali. Metode kondensasi ini bisa mencegah air berkontak dengan kompresor, pipa, dan alat proses lainnya sehingga korosi dapat dicegah.

Metode ini diperlukan beberapa alat antara lain :

a. *Demister* dimana partikel *liquid* akan dipisahkan dengan *mesh* yang berukuran mikropori (0,5 -2 nm). *Dew point* (pada tekanan atomesfer) yang dapat dicapai adalah 2-20 ^{o}C
b. *Cyclone Separator* dimana air akan dipisahkan menggunakan gaya sentrifugal
c. *Moisture Trap* dimana terjadi ekspansi yang menyebabkan suhu gas menjadi rendah. Dikarenakan suhu gas yang rendah, maka air dapat terkondensasi
d. *Water Tap* dimana air yang terkondensasi dapat dihilangkan

2. Metode Absorbsi

Dalam metode absorbsi, kandungan air dalam gas dapat diturunkan hingga *dew point* (tekanan atmosfer) -5 hingga -15^{o}C. Solven yang digunakan dalam absorbsi air ini biasanya menggunakan larutan glikol, terutama

menggunakan *triethylene glicol* (TEG). (Ryckebosch et al, 2011)

Larutan TEG akan mengabsorb air dari biogas. Kemudian larutan TEG yang sudah digunakan kemudian diregenerasi dengan cara dipanaskan terlebih dahulu hingga suhu sekitar 180ºC (360ºF). Kemudian setelah dipanaskan, kemudian dipisahkan antara uap air dan larutan TEG pada kolom distilasi. Kemudian setelah didistilasi, larutan TEG dikembalikan ke kolom absorbsi. (Kidnay, 2006)

3. Metode Adsorbsi

Metode adsorpsi merupakan metode yang paling efektif dalam dehidrasi karena air lebih kuat diadsorb dibandingkan dengan alkana, karbon dioksida atau hidrogen sulfida. (Kidnay, 2006). Selain itu, metode adsorbsi juga lebih ekonomis jika dibutuhkan gas *output* yang mengandung *dew point* yang rendah (Gholami et al, 2010).

Metode adsorbsi dilakukan dengan sistem minimal dua kolom yang berisi adsorben. Kolom pertama digunakan untuk adsorbsi dan kolom kedua digunakan untuk regenerasi. Metode adsorbsi dapat menurunkan kandungan air dalam biogas hingga *dew point* (tekanan atmosfer) -10ºC hingga -20ºC.

Adsorben yang biasa digunakan untuk dehidrasi ini adalah :

a. *Silica gel*, yang terbuat dari SiO_2 murni
b. *Activated alumina*, yang terbuat dari Al_2O_3
c. *Molecular sieve*, yang terbuat dari alkali aluminosilikat

Dari ketiga metode diatas, masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Berikut adalah perbandingan dari ketiga metode adsorbsi.

Tabel II-2 Perbandingan Metode Dehidrasi Biogas

(Ryckebosch et al, 2011)

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Kondensasi	- Metode Sederhana - *Dust* dan *oil* dapat dihilangkan - Biasa digunakan sebagai *pretreatment* sebelum	- Pada tekanan atmosferik *: dew point* hanya dapat dicapai minimal 1ºC - Dapat terjadi pembekuan jika tekanan terlalu tinggi

	proses selanjutnya	
Adsorbsi	- *Dew point* dapat mencapai -10 hingga -20^{o}C - Biaya operasional rendah - Dapat diregenerasi	- Tekanan operasi antara 6-10 bar - *Dust* dan *oil* harus dihilangkan terlebih dahulu
Absorbsi	- *Dew point* dapat mencapai -5 hingga -15^{o}C - *Dust* dan *Oil* dapat dihilangkan lebih banyak - Tidak beracun dan berbahaya	- Beroperasi pada tekanan tinggi dan suhu 200^{o}C untuk regenerasi - Membutuhkan *flowrate* gas (>500 m^3/jam) agar ekonomis

Dari perbandingan ketiga metode di atas, maka metode adsorbsi yang paling efektif dan ekonomis untuk dehidrasi biogas ini.

Seperti yang sudah dijelaskan pada uraian sebelumnya, metode adsorbsi ini menggunakan *solid desiccant* sebagai adsorbennya. *Solid desiccant* yang sering di pakai dalam industri adalah *silica gel, activated alumina* dan *molecular sieve*. Masing-masing adsorben ini memiliki karakteristik yang sesuai dengan tujuan dehidrasi. Berikut adalah perbandingan masing-masing *solid desiccant*.

Tabel II-3 Perbandingan Karakteristik Solid Desiccant

(Kohl and Nielsen, 1997)

Sifat Fisik	***Silica Gel***	***Activated Alumina***	***Molecular Sieve***
Spesific Gravity	2,1-2,2	3,3	-
Bulk Density, lb/ft^3	45	52-55	40-45
Average Porosity, %	50-65	51	-
Spesific Heat, Btu/lb ^oF	0,22	0,24	0,2
Konduktivitas Termal, Btu(in)/(ft^2)(hr)(^{o}F)	1	1 (100^{o}F) 1,45 (200^{o}F)	-
Konten Air (*regenerated*), %	4,5-7	6,5	Bermacam-macam

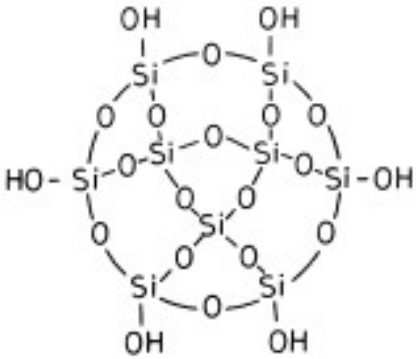
Suhu Regenerasi, ^oF	250-450	350-600	300-600
Bentuk Partikel	Granular	Granular	Silinder *Pellets*
Surface Area, m^2/g	720-760	210	-

Untuk mencapai spesifikasi *pipeline* biogas dimana kandungan air maksimal 65 mg/m^3, maka *solid desiccant* yang tepat digunakan adalah *silica gel*. Selain karena pengurangan kadar air yang mencapai 4,5-7%, *silica gel* juga dapat dipakai jika kandungan air dalam *raw biogas* tinggi (>1% mol) dan kandungan air pada gas *outlet* yang diinginkan tidak terlalu rendah. (Kidnay, 2006)

II.3 Silica Gel

Silica gel secara biasanya berbentuk bubuk, granul, dan bola-bola kecil dengan variasi ukuran. Partikel *silica gel* mempunyai sifat keras dan bening seperti kaca. *Silica gel* mempunyai rumus kimia $SiO_2.nH_2O$. *Silica gel* ini diproduksi dengan mereaksikan sodium silikat dengan asam sulfat, kemudian campuran dikoagulasikan menjadi *hydrogel*, kemudian dicuci untuk menghilangkan sodium sulfat, dan *hydrogel* dikeringkan untuk menjadi adsorben. Silica gel ini mempunyai ukuran pori yang besar dengan rata-rata diameter pori 4×10^{-7} cm (Kohl and Nielsen, 1997).

Sifat hidrofilik silika berkaitan dengan adanya gugus silanol (Si-OH) pada permukaannya. Hal ini diketahui bahwa air dapat teradsorpsi pada silika melalui ikatan hidrogen antar molekul air dan silanol (hidroskil) gugus silika (Mota et al, 2017).



Gambar II-2 Struktur Silica Gel Hidrofilik (Rao, 1999)

Permukaan silika membawa rata-rata 4-6 silanol terhidrolisis (Si-OH) per nm^2, sehingga permukaan terlihat sangat hidrofilik. Gugus ini berperan dalam ikatan hidrogen dengan H_2O, mempromosikan adsorpsi air pada permukaan silika (Hegde, 2007).

Silica aerogel adalah material yang sangat *porous* (>95%) yang secara normal di*pretreatment* dengan pengeringan *silica alcogel* secara superkritis. *Silica gel* memiliki porositas dengan kisaran 80 – 98% dan memiliki densitas yang rendah sekitar 5 kg/m^3 (Rao, 1999). Selain itu, *silica aerogel* memiliki *surface*

area yang sangat besar (~10^6 m^2/kg) dan juga memiliki konduktivitas termal yang rendah (~0,05 W/mK) (Rao, 2007).

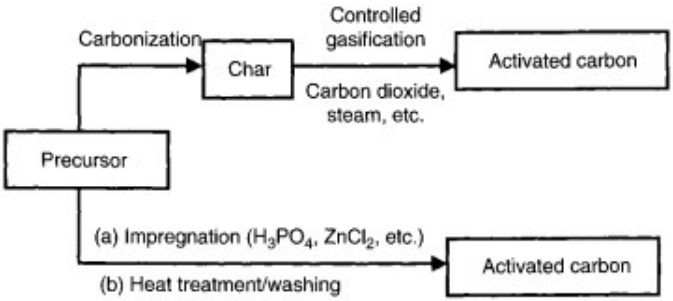
Ketika silica gel sudah jenuh sehingga tidak dapat menyerap air, *silica gel* di dehidrasi atau diregenerasi menggunakan udara yang bersuhu tinggi (di atas 100^{o}C). (Zhang et al, 2009).

II.4 Karbon Aktif

Karbon aktif atau juga dapat disebut arang aktif adalah material karbon yang *porous*. Karbon aktif memiliki kapasitas adsorpsi yang besar, terutama untuk adsorpsi molekul kecil dan biasanya karbon aktif digunakan untuk purifikasi liquid atau gas. Karbon aktif memiliki spesific *surface area* yang sangat besar, yaitu sekitar 1000-2000 m^2/g (Rodriguez-Reinoso, 2006). Permukaan karbon aktif biasanya bersifat hidrofobik yang berarti interaksi antara permukaan karbon aktif dengan molekul air lemah. Namun, karbon aktif selalu mengandung sejumlah kecil oksigen yang dapat meningkatkan afinitas terhadap air (Goncalves et al, 2010).

Proses manufaktur sendiri terdiri dari dua tahap, yaitu karbonisasi dan aktivasi. Proses karbonasi meliputi pengeringan dan pemanasan untuk menghilangkan kandungan yang tidak diinginkan seperti tar dan hidrokarbon lainnya. Bahan karbon kemudian di pirolisis dan berkarbonisasi dalam rentang 400-600

^{o}C dalam kondisi anaerob. Hal ini menghilangkan fraksi molekul rendah-berat mudah menguap dan menyebabkan bahan untuk menjalani proses aktivasi. Aktivasi dapat dicapai secara termal oleh penggunaan gas oksidasi seperti uap diatas 800 ^{o}C atau karbon dioksida di suhu yang lebih tinggi. (Rodriguez-Reinoso, 2006).



Gambar II-3 Proses Pembentukan Karbon Aktif

II.5 Polyethylene Glycol (PEG)

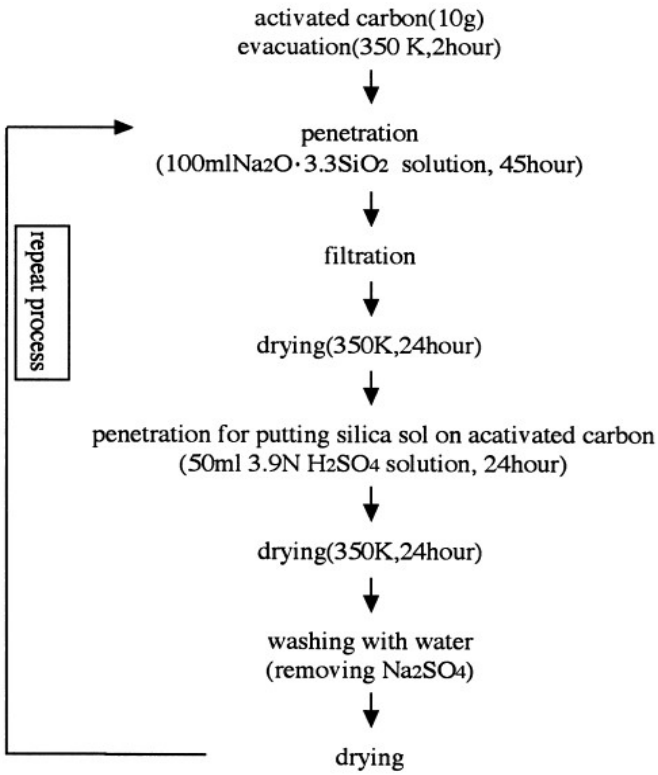
Polyethylene Glycol (PEG) adalah polieter yang *non-degredable* dari monomer etilen glikol. PEG dapat larut dalam air dan larutan dengan berat molekul yang lebih tinggi sehingga bisa membentuk *hydrogel*. (Hacker and Mikos, 2011)

Gambar II-4 Struktur *Polyethylene Glycol* (PEG)

PEG memiliki solubilitas yang tinggi pada solven yang organik dan hidrofilik. PEG memiliki sifat relatif hidrofilik dan dapat bergabung dengan polimer lainnya untuk membuat mengubah sifat polimer lainnya menjadi kurang hidrofobik. (Billey and Marra, 2015)

II.6 Impregnasi Silika pada Permukaan Karbon

Untuk membuat karbon mesopourus berlapis silika dengan menggunakan prekusor sodium silicate, dibagi menjadi 3 tahap, yaitu impregnasi karbon aktif dengan sodium silikat dan dikeringkan, lalu penambahan asam sulfat, dan pemurnian. Berikut adalah skema proses hidrofilikasi karbon aktif :



Gambar II-5 Proses Hidrofilikasi Karbon Aktif menggunakan Silika

Pada tahap awal, karbon aktif dievakuasi selama 2 jam sebelum dilakukan impregnasi silika ke dalam pori-pori karbon. Proses impregnasi dilakukan selama 45 jam dan dilanjutkan dengan penyaringan dan pengeringan selama 24 jam. Tahap kedua meliputi penambahan larutan H_2SO_4 untuk mengambil *impurities* natrium (Na) yang dapat mendeformasi kembali

struktur silika pada karbon, dilanjutkan dengan pencucian menggunakan aquades. *Treatment* dengan asam sulfat memerlukan waktu 24 jam untuk menunggu konsentrasi merata. Proses pembentukan monomer silika dari prekusor natrium silikat dan asam sulfat mengikuti reaksi :

$$Na_2O\text{-}3.3SiO_2 + H_2SO_4 + 5{,}6\ H_2O \rightarrow 3.3Si(OH)_4 + Na_2SO_4 \quad \text{(II.1)}$$

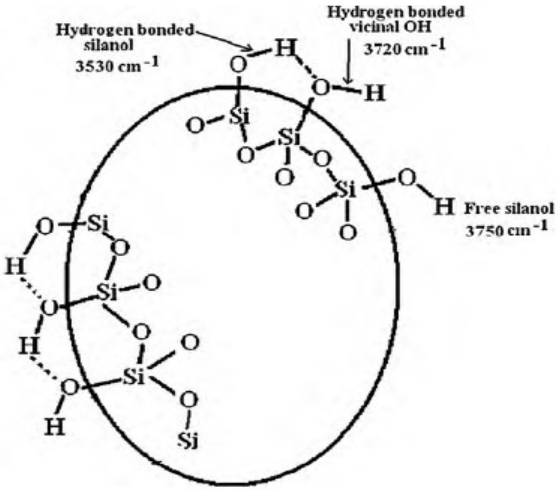
Pada proses ini digunakan suhu yang tidak tinggi karena kenaikan suhu akan mengurangi waktu *aging* yang menyebabkan pembentukan silika tidak optimum. Selain itu, suhu operasi yang terlalu tinggi dapat memicu runtuhnya stuktur silika. Setelah proses pemanasan dan aging, terjadi reaksi kondesasi dehidrat yang menghasilkan lapisan silika pada permukaan pori-pori karbon :

$$2Si(OH)_4 \rightarrow (OH)_3Si\text{-}O\text{-}Si(OH)_3 + H_2O \quad \text{(II.2)}$$

Tahap terakhir pada proses hidrofilikasi yaitu pengeringan, meliputi penyaringan dan evakuasi (pemanasan) material karbon mesopourus berlapis silika pada suhu 383 K selama 24 jam. Sebelum pelapisan, tidak terbentuk gugus hidrofilik (Si-OH) pada permukaan karbon. Setelah pelapisan, terdapat gugus hidrofilik yang nantinya akan berfungsi menyerap H_2O pada permukaan dengan ikatan hidrogen (Yamamoto, 2003).

II.7 Gelombang Serapan Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Silika yang terikat pada dua ikatan ditengah memiliki panjang gelombang pada range 450-480 serta 1090-1120 cm-1. Panjang gelombang 1000-1100 cm-1 berhubungan dengan getaran gugus Si-O-Si yang tidak simetris yang menjembatani oksigen bergerak berlawanan dengan Si dan sejajar dengan garis Si-Si. Panjang gelombang 700-800 cm-1 diidentifikasi sebagai ikatan dimana atom oksigen bergetar pada bidang segitiga yang terbentuk dengan atom Si. Geraknya menjadi tegak lurus ke garis Si-Si. Panjang gelombang 400-450 cm-1 berhubungan dengan ikatan oksigen yang tegak lurus tergadap Si-O-Si. Peregangan Si-O-Si yang tidak simetris dapat dilihat pada panjang gelombang 1096 cm-1 (Guintin,1990).



Gambar II-6 Sketsa Permukaan Gugus Hidroksil pada Permukaan Silika Gel

Peregangan OH pada gugus silanol dapat dilihat pada panjang gelombang 3550-3700 cm^{-1}. Peregangan OH pada atom hidrogen yang terikat pada gugus silanol dapat dilihat pada panjang gelombang 3400-3500 cm^{-1}.

Pita frekuensi 1101,3 cm-1 menunjukkan vibrasi ulur asimetri Si-O dari Si-O-Si dengan adanya bahu pada 1200 cm-1 yang menyatakan karakter vibrasi SiO4 dan menunjukkan berlangsungnya polimerisasi. Pita serapan Si-O juga muncul pada daerah frekuensi 800,4 cm-1 yang menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetri Si-O pada ikatan Si-O-Si. Pita serapan 970,1 cm-1 merupakan vibrasi ulur Si-O pada Si-OH. Pita lebar pada

frekuensi 3448,5 merupakan vibrasi gugus OH (hidroksil) yang dapat berasal dari Si-OH atau air yang terhidrasi (Nuryono,2008).

II.8 Penelitian Terkait Sebelumnya

Berikut ini adalah daftar penelitian-penelitian yang terkait dengan penelitian ini yang pernah dilakukan sebelumnya.

Tabel II-4 Penelitian terkait yang dilakukan sebelumnya

No	Peneliti	Judul Penelitian	Keterangan
1	Eri Yamamoto, Jun Kobayashi, Keiko Kanamaru, Toshinaki Miura, Fujio Watanabe (2003)	*Hydrophilication of Activated Carbon by Impregnating Silica Into Pores*	Meneliti hidrofilikasi karbon aktif dengan impregnasi silika ke dalam pori untuk jenis karbon aktif *Coconut-Shell-Based Powder* dan *Phenol-Resin-Based*, dan membandingkan kemampuannya mengadsorb uap air

2	Amanda M.B. Furtado, Yu Wang, M. Douglas LeVan (2013)	*Carbon silica composites for sulfur dioxide and ammonia adsorption*	Meneliti pembuatan komposit karbon silika dari MCM-41 dan dua sumber karbon, sukrosa dan alkohol furfuril, dan membandingkan kemampuan material *biphasic* dalam mengadsorb sulfur dioksida dan amonia
3	Cristiam F.Santa, Maguy Jaber, Jean L.Guth, Ligia Sierra (2013)	*Synthesis of texturally biphasic mesoporous carbon-silica composites and carbons*	Penelitian mengenai sintesis material *biphasic* mesopourus karbon silika menggunakan $PEO_{140}PPO_{39}PEO_{140}$ sebagai tempat pori. TEOS, fenol dan formaldehid digunakan sebagai sumber karbon dan silika

4	Ye Yao, Weijiang Zhang, Beixing He (2011)	*Investigation on the kinetic models for the regeneration of silica gel by hot air combined with power ultrasonic*	Penelitian mengenai regenerasi *silica gel* dengan menggunakan udara panas yang dikombinasikan dengan suara ultrasonik
5	Weijiang Zhang, Ye Yao, Rongshun Wang (2010)	*Influence of ultrasonic frequency on the regeneration of silica gel by applying high-intensity ultrasound*	Penelitian mengenai pengaruh frekuensi terhadap regenerasi *silica gel* dengan menggunakan udara panas yang dikombinasikan dengan suara ultrasonik

6	Nurhamidah dan Fahmi (2015)	Pengembangan Material Hibrida Karbon Mesoporous Berlapis Silika Dengan Metode Hidrofilikasi Sebagai Solid *Desiccant* Pada Proses Dehidrasi Gas Alam	Pengembangan karbon mesoporous berlapis silika, dengan karakteristik luas permukaan yang tinggi dan bersifat hidrofilik. Dari penelitian ini diketahui pretreatment dengan gas oksidan dapat meningkatkan luas permukaan karbon, Hidrofilikasi terbaik dilakukan dengan prekusor sodium silikat 0,1% wt, suhu 50°C, kecepatan pengadukan 500rpm, serta penambahan surfaktan menunjukan peningkatan gugus

			siloksan pada material.
7	Dian Rahmawati dan Ghea Stellarosari (2016)	Pengembangan Material Hibrida Karbon Mesoporous Berlapis Silika Sebagai Solid Dessicant Pada Proses Dehidrasi Biogas	Pengembangan karbon mesoporous berlapis silika, dengan karakteristik luas permukaan yang tinggi dan bersifat hidrofilik. Hidrofilikasi terbaik dilakukan dengan surfaktan PEG ester 0,5% ditambah waktu pengadukan 9 jam dengan luas area gugus siloksan dan silanol hasil analisa FTIR sebesar 124,37 dan kapasitas adsorbsi sebesar 22,25%.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Garis Besar Penelitian

Garis besar pelaksanaan penelitian ini akan dilakukan secara eksperimen. Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa, Teknik Kimia, ITS. Penelitian mengenai regenerasi material hibrida karbon silika ini bertujuan antara lain untuk mempelajari pengaruh suhu, tekanan, waktu regenerasi, dan *flowrate* udara dalam melakukan regenerasi material hibrida karbon silika.

Penelitian ini akan terbagi menjadi empat tahapan proses, yaitu *pretreatment* (persiapan bahan baku), hidrofilikasi, uji dehidrasi dan uji regenerasi. Pada tahap pretreatment dilakukan dengan mengalirkan gas oksidan (udara) terkompresi yang bertujuan untuk mengaktivasi karbon aktif secara fisik sehingga pori-pori dari karbon aktif terbuka dan memiliki luas permukaan yang lebih luas agar memudahkan proses selanjutnya, yaitu penetrasi material silika ke dalamnya

Tahapan berikutnya adalah hidrofilikasi yang bertujuan untuk membuat lapisan silika pada permukaan karbon, sehingga selain memiliki permukaan yang luas, material ini juga memiliki sifat sangat hidrofilik dengan selektivitas yang tinggi terhadap air.

Proses hidrolifikasi dilakukan dengan pengontakan karbon mesoporous dengan larutan sodium silikat. Proses hidrofilikasi ini akan memakai larutan surfaktan *polyethylene glicol* (PEG) sebagai *external chemical force* agar anion silikat dapat memenetrasi pori-pori karbon. Sedangkan untuk membersihkan impuritis kation sodium yang dapat mendeformasi struktur monomer silika yang telah terbentuk, maka karbon terhidrofilikasi tersebut dikontakkan dengan asam sulfat (H_2SO_4).

Setelah material hibrida dibuat, dilakukan beberapa analisa seperti Uji Scanning Electron Microscopy (SEM) yang bertujuan untuk mengetahui struktur fisik karbon silika sebelum dan sesudah *pretreatment*, Uji Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) untuk mengetahui komposisi unsur yang terdapat pada karbon silika setelah tahap hidrofilikasi, Uji Fourier Transform Infrared Spectorscopy (FTIR) untuk mengetahui gugus yang terdapat pada karbon silika setelah tahap hidrofilikasi dan Uji Brunauer–Emmett–Teller (BET) untuk mengetahui luas permukaan dan volume pori karbon aktif sebelum dan sesudah *pretreatment.*

Tahapan berikutnya adalah uji dehidrasi yang bertujuan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi material apabila diaplikasikan pada proses dehidrasi biogas. Uji dehidrasi dilakukan dengan eksperimen adsoprsi air pada biogas secara

isotermal dengan menggunakan material hibrida karbon silika sebagai *solid desiccant*/adsorbannya.

Tahapan terakhir adalah uji regenerasi material karbon silika dimana pada tahap ini, material karbon silika yang sudah jenuh dan tidak bisa menyerap air kembali akan diregenerasi kembali menggunakan udara pada berbagai kondisi operasi suhu, tekanan dan *flowrate* udara dengan berbagai waktu regenerasi.

III.2 Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Karbon Mesopourus
2. Natrium Silikat (Na_2SiO_3) 0,1%
3. Larutan Asam Sulfat (H_2SO_4) 4 N
4. Aquades
5. Biogas
6. Surfaktan *Polyethylene Glicol* 6000 (PEG) 0,5%

III.3 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Rangkaian Adsorpsi dan Regenerasi
   a. Rotameter
   b. *Packed column* yang berisi material karbon silika
   c. Valve
   d. Thermostat

e. Manometer

f. Check Valve

g. Blower

h. Heater

2. Rangkaian *Pretreatment*

   a. Rotameter

   b. Thermocouple

   c. Reaktor disertai *heater*

   d. Isolator

   e. Thermostat

3. Neraca Analitis

4. Orbital Shaker

5. Oven

6. Labu Erlenmeyer

7. Labu Takar

8. Kertas Saring

9. Corong *Glass*

10. Pipet Ukur

11. Pengaduk Kaca

12. Gelas Ukur

13. Karet Penghisap

14. *Hot Plate* dan *Stirrer*

15. Alumunium Foil

16. Beaker Glass

17. Cawan *Petridish*
18. Termometer

III.4 Variabel Penelitian

III.4.1 Variabel Tetap

1. Massa Karbon Silika = 20 gram
2. Surfaktan = *Polyethylene Glicol* 6000

III.4.2 Variabel Bebas

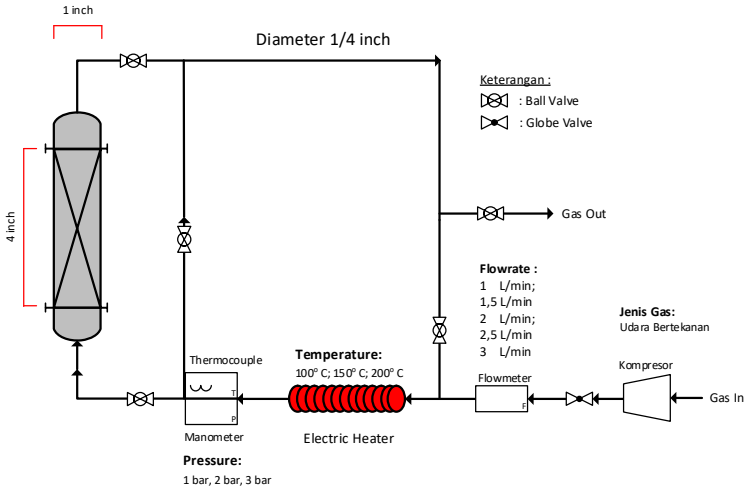
1. Suhu Operasi = 100, 125, 150, 175 (°C)
2. Tekanan Operasi = 1, 2, 3 (Bar)
3. Waktu Regenerasi = 1, 2, 3, 4, 5 (Jam)
4. *Flowrate* Gas = 1, 1.5, 2, 2.5, 3 (Liter/menit)

III.4.3 Variabel Terikat

1. Kapasitas Adsorbsi
2. *% Removal*
3. Struktur Fisis Karbon (SEM)
4. Komposisi Material (EDX)
5. Luas Permukaan (BET)
6. Gugus Silanol (FTIR)

III.5 Rangkaian Alat Penelitian

Pada penelitian ini, proses regenerasi akan dibuat sesuai dengan konsep pada Gambar III.1.

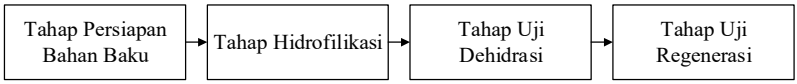


Gambar III-1 Rangkaian alat regenerasi material karbon silika

III.6 Prosedur Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan proses regenerasi material hibida karbon silika sebagai alternatif *solid desiccant* pada dehidrasi biogas. Penelitian ini terdiri dari empat tahapan proses, yaitu *pretreatment* (persiapan bahan baku), hidrofilikasi, dehidrasi dan regenerasi.

Secara garis besar, tahapan-tahapan percobaan adalah sebagai berikut :

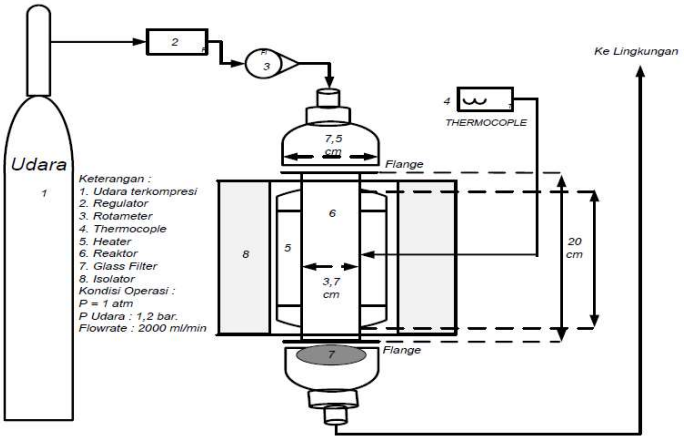


Gambar III-2 Tahapan Penelitian

III.6.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Tahap persiapan bahan baku ini bertujuan untuk memperbesar luas permukaan karbon mesoporous. Hal ini dilakukan dengan mengalirkan udara kepada karbon mesoporous yang akan digunakan. Langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

a. Menimbang karbon mesoporus sebanyak 20 gram untuk masing masing variabel
b. Mempersiapkan dan melakukan pegecekan rangkaian alat oksidasi
c. Mengalirkan gas oksidan (udara) kepada karbon dengan laju alir 2000 cc/menit dan pemanasan 300˚C selama 1 jam



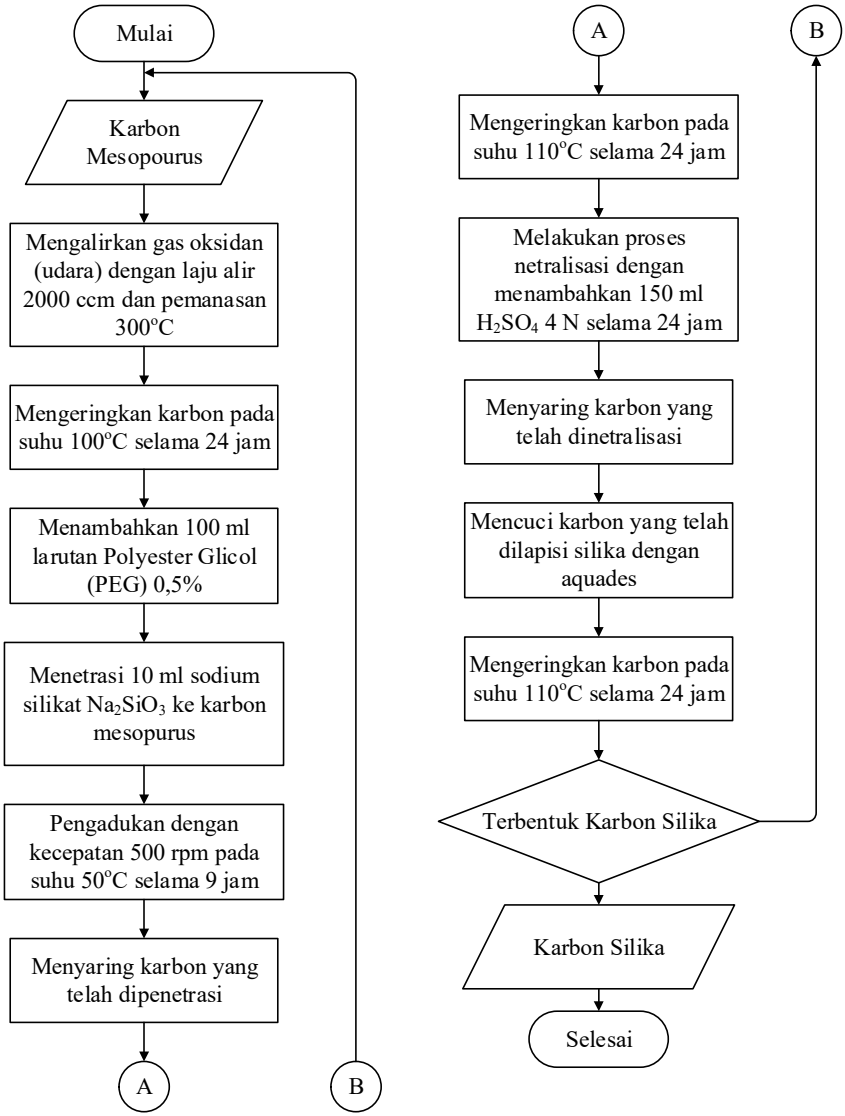
Gambar III-3 Skema Tahap Persiapan Bahan Baku

III.6.2 Tahap Hidrofilikasi Karbon

Tahap hidrofilikasi ini bertujuan untuk membuat lapisan silika pada permukaan karbon, sehingga selain memiliki permukaan yang luas material ini juga memiliki sifat hidrofilik dan selektif terhadap air Tahapan hidrofilikasi adalah sebagai berikut :

a. Menambahkan 100 ml larutan *Polyethylene Glicol* (PEG) 0,5 % wt dan melakukan penetrasi 10 gram karbon mesoporus dengan 10 ml larutan prekusor sodium silikat dengan konsentrasi 0,1 % wt tanpa *stirrer* selama 19 jam kemudian dilanjutkan dengan pengadukan berkecepatan 500 rpm selama 7 jam (suhu operasi 50˚C)
b. Menyaring karbon yang telah di penetrasi dengan precusor Natrium silikat menggunakan gelas corong dilapisi kertas saring
c. Mengeringkan karbon berlapis silika menggunakan oven pada suhu 110^{o}C selama 24 jam
d. Melakukan proses netralisasi dengan penetrasi tanpa *shaker* menggunakan 100 ml Asam Sulfat 4 N selama 24 jam
e. Menyaring karbon yang telah dipenetrasi dengan asam sulfat menggunakan gelas corong yang dilapisi kertas saring

f. Mencuci karbon yang telah dilapisi silika dengan aquades untuk membuang Na_2SO_4 yang terbentuk selama proses netralisasi
g. Mengeringkan karbon kembali menggunakan oven pada suhu 110^oC selama 24 jam



Gambar III-4 Diagram Alir Tahap Hidrofilikasi

III.6.3 Tahap Uji Dehidrasi

Tahap uji dehidrasi ini dilakukan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi material hibrida karbon silika. Tahap uji dehidrasi ini dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

a. Menimbang 20 gram karbon yang telah dihidrofilikasi
b. Memasukkan karbon ke dalam reaktor
c. Memasukkan kembali karbon ke dalam reaktor
d. Mengalirkan biogas dengan *flowrate* 2L/ menit hingga *solid dessicant* mengalami kejenuhan.
e. Menimbang karbon yang sudah melakukan dehidrasi. Jika masih belum jenuh, melakukan kembali uji dehidrasi.
f. Menghitung kapasitas adsorpsi

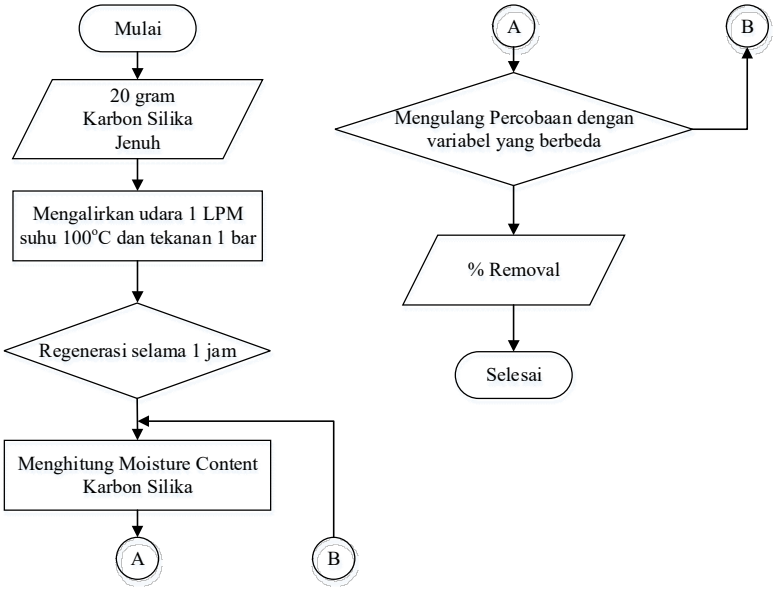
III.6.4 Tahap Regenerasi

Tahap regenerasi ini bertujuan untuk mengetahui kondisi operasi yang optimal pada proses regenerasi apabila diaplikasikan pada proses dehidrasi biogas. Tahap uji regenerasi ini dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

a. Menimbang karbon setelah tahap uji dehidrasi
b. Mengalirkan *regeneration gas* (udara) ke *packed column* yang berisi material karbon silika yang sudah jenuh dengan *flowrate* 1 L/menit
b. Memanaskan *regeneration gas* pada *heater* hingga suhu 100^{o}C

d. Melakukan regenerasi pada karbon silika hingga waktu tertentu

e. Menghitung *%Removal* pada material sebelum dan sesudah regenerasi



Gambar III-5 Diagram Alir Tahap Regenerasi

BAB IV
PEMBAHASAN

Penelitian mengenai regenerasi material hibrida karbon silika ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh suhu, tekanan, waktu regenerasi, dan *flowrate* udara dalam melakukan regenerasi material hibrida karbon silika.

Penelitian ini akan terbagi menjadi empat tahapan proses, yaitu *pretreatment* (persiapan bahan baku), hidrofilikasi, uji dehidrasi dan uji regenerasi. Pada tahap *pretreatment* dilakukan dengan mengalirkan gas oksidan (udara) terkompresi yang bertujuan untuk mengaktivasi karbon aktif secara fisik sehingga pori-pori dari karbon aktif terbuka dan memiliki luas permukaan yang lebih luas agar memudahkan proses selanjutnya, yaitu penetrasi material silika ke dalamnya.

Tahapan berikutnya adalah hidrofilikasi yang bertujuan untuk membuat lapisan silika pada permukaan karbon, sehingga selain memiliki permukaan yang luas, material ini juga memiliki sifat sangat hidrofilik dengan selektivitas yang tinggi terhadap air. Proses hidrolifikasi dilakukan dengan pengontakan karbon mesoporous dengan larutan sodium silikat. Proses hidrofilikasi ini akan memakai larutan surfaktan *polyethylene glicol* 6000 (PEG 6000) sebagai *external chemical force* agar anion silikat dapat

memenetrasi pori-pori karbon. Sedangkan untuk membersihkan impuritis kation sodium yang dapat mendeformasi struktur monomer silika yang telah terbentuk, maka karbon terhidrofilikasi tersebut dikontakkan dengan asam sulfat (H_2SO_4).

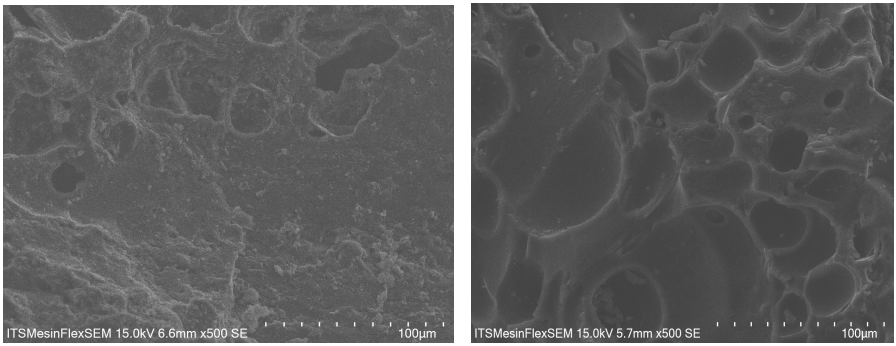
Tahapan berikutnya adalah uji dehidrasi yang bertujuan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi material apabila diaplikasikan pada proses dehidrasi biogas. Uji dehidrasi dilakukan dengan eksperimen adsoprsi air pada biogas secara isotermal dengan menggunakan material hibrida karbon silika sebagai *solid desiccant*/adsorbannya.

Tahapan terakhir adalah uji regenerasi material karbon silika dimana pada tahap ini, material karbon silika yang sudah jenuh dan tidak bisa menyerap air kembali akan diregenerasi kembali menggunakan udara pada berbagai kondisi operasi suhu, tekanan dan *flowrate* udara dengan berbagai waktu regenerasi.

IV.1 Tahap Pre-treatment

Pre-treatment ini bertujuan untuk mengaktivasi karbon aktif secara fisik sehingga pori-pori dari karbon aktif terbuka dan memiliki luas permukaan yang lebih luas agar memudahkan proses selanjutnya, yaitu penetrasi material silika ke dalamnya. Proses *pre-treatment* material karbon ini dilakukan dengan mengalirkan gas oksidan (udara) pada karbon dalam reaktor dengan *flowrate* 2 L/menit dan suhu 300°C selama 1 jam.

Hasil analisa material karbon sebelum dan setelah *pre-treatment* dapat dilihat pada hasil uji *Scanning Electronic Microscope* (SEM) pada Gambar IV.1.



(a) **(b)**

Gambar IV-1 Hasil Uji Scanning Electronic Microscopy (SEM) 500 x

(a) Sebelum pre-treatment (b) Setelah pre-treatment

Dari hasil uji SEM dengan perbesaran 500 x di atas, didapatkan kesimpulan bahwa *pre-treatment* dengan menggunakan gas oksidan (udara) bersuhu 300ºC dapat membuka pori menjadi lebih banyak sehingga luas permukaan menjadi lebih besar.

Untuk memastikan bahwa luas permukaan pada karbon aktif sudah lebih besar setelah pre-treatment, maka dilakukan uji Brunauer-Emmett-Teller (BET) untuk mengetahui luas permukaan dan diameter pori karbon aktif pada sebelum dan

sesudah *pre-treatment*. Dari hasil uji BET, didapatkan hasil yang sesuai tabel IV.1 di bawah ini.

Tabel IV-1 Hasil Uji BET Karbon Aktif Sebelum dan Setelah Pre-Treatment

No	Parameter	Sebelum *Pre-Treatment*	Setelah *Pre-Treatment*
1	Luas Permukaan (m^2/gr)	50,232	570,581
2	Diameter Pori Rata-rata (nm)	2,47	2,56

Dari tabel IV.1 dapat disimpulkan bahwa tahap *pre-treatment* dapat memperbesar luas permukaan dari sebelum pre-treatment sebesar 50,232 m2/gr menjadi 570,581 m2/gr.

Dari uji BET, didapatkan diameter pori rata-rata sebelum dan setelah pre-treatment meningkat dari 2,47 nm menjadi 2,56 nm. Hal itu membuktikan bahwa karbon aktif yang kami pakai merupakan ukuran mesopourus yang mempunyai rentang 2-50 nm.

IV.2 Tahap Hidrofilikasi

Tahap hidrofilikasi ini bertujuan untuk membuat lapisan silika pada permukaan karbon, sehingga selain memiliki permukaan

yang luas, material ini juga memiliki sifat sangat hidrofilik dengan selektivitas yang tinggi terhadap air. Proses ini dilakukan dengan mencampurkan 10 gram karbon, 100 ml prekusor natrium silikat (Na_2SiO_3) 0,1%, serta 100 ml surfaktan *Polyethylene Glicol* 6000 (PEG 6000) ke dalam *beaker glass*. Kemudian memanaskan campuran dalam *beaker glass* ini selama 19 jam pada suhu 50°C tanpa pengadukan. Pada proses ini dilakukan pada suhu yang tidak terlalu tinggi, karena suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan runtuhnya struktur silika. Setelah itu, dilanjutkan dengan pemanasan 50°C disertai dengan pengadukan selama 7 jam. Pengadukan ini merupakan *external physical force* yang bertujuan untuk mempermudah silika memenetrasi pori karbon sehingga lebih banyak silika yang terdistribusi di permukaan karbon. Selanjutnya material dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 110°C. Kemudian material direndam dalam larutan H_2SO_4 selama 24 jam. Selanjutnya dicuci dengan aquades dan material dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 110°C.

Proses pembentukan monomer silika dari prekusor natrium silikat dan asam sulfat mengikuti reaksi :

$$Na_2O\text{-}3.3SiO_2 + H_2SO_4 + 5{,}6\ H_2O \rightarrow 3.3Si(OH)_4 + Na_2SO_4 \quad \textbf{(IV.1)}$$

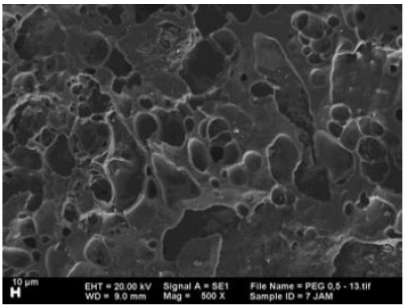
Setelah proses pemanasan dan *aging*, terjadi reaksi kondesasi dehidrat yang menghasilkan lapisan silika pada permukaan pori-pori karbon :

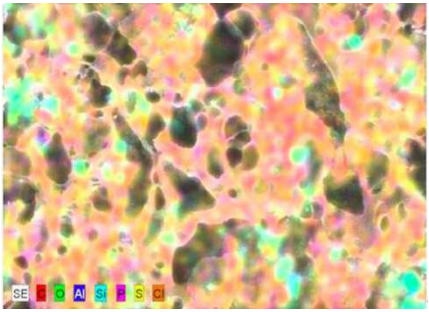
$2\ Si(OH)_4 \rightarrow (OH)_3Si\text{-}O\text{-}Si(OH)_3 + H_2O$……..... **(IV.2)**

Sodium silikat yang terlarut dalam air akan terionisasi menjadi ion Na^+ dan SiO_3^{2-}. Penambahan surfaktan *Polyethylene Glicol* 6000 (PEG 6000) sebagai *external chemical force* akan mempermudah ion silika untuk memenetrasi pori pori karbon.

Adanya ion Na^+ dalam larutan dapat menyebabkan ketidakstabilan pada material karena dapat bereaksi kembali dengan SiO_3^{2-}, oleh karena itu material direaksikan menggunakan H_2SO_4 . Dengan pencucian menggunakan H_2SO_4 ini, ion Na+ akan beraksi dengan SO_4^{2-} membentuk Na_2SO_4 yang larut dalam air. Selanjutnya dilakukan pencucian menggunakan aquades untuk melarutkan garam Na_2SO_4.

Untuk mengetahui persebaran serta komposisi unsur yang terdapat di pori karbon silika, dilakukan uji *Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM/EDS). Dari hasil uji SEM/EDS, didapatkan hasil sebagai berikut.





(a) **(b)**

Gambar IV-2 Hasil Uji Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS) perbesaran 500 x

Dari hasil uji SEM, didapatkan bahwa diameter pori berkurang dibandingkan sebelum hidrofilikasi pada gambar IV.1 (b). Hal ini dikarenakan pori sudah diprekusor oleh natrium silikat (Na_2SiO_3) sehingga pori mengandung unsur Silika (Si), Oksigen (O) dan Sulfur (S).

Dari Gambar IV.2 (b) warna hijau toska mewakili unsur Silika (Si) dan warna kuning mewakili unsur Oksigen (O), terlihat bahwa unsur Si dan unsur O berkumpul pada titik tertentu. Hal ini membuktikan bahwa unsur Si dan unsur O tidak tersebar secara merata. Sedangkan sisanya terdapat unsur C yang diwakili oleh warna merah yang tersebar merata pada seluruh permukaan karbon silika.

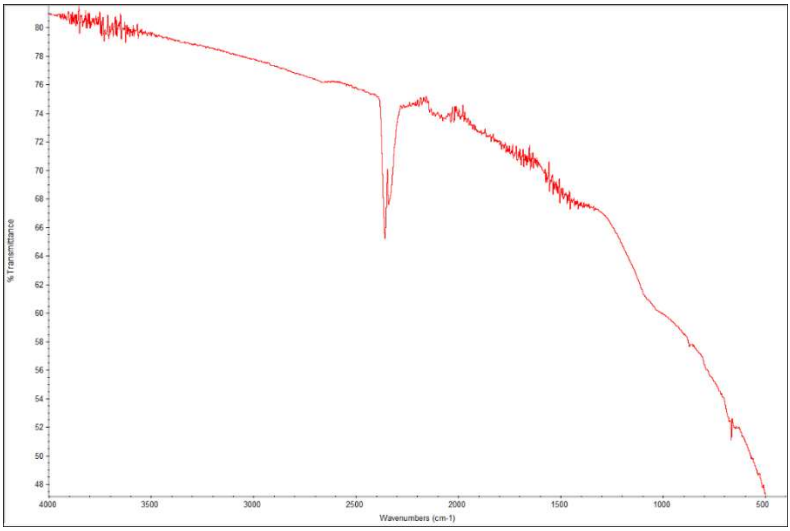
Untuk menganalisis lebih lanjut, perlu dilakukan secara kuantitatif dari komponen unsur pada material. Komposisi unsur pada material dapat dilihat pada Tabel IV.2.

Tabel IV-2 Komposisi Unsur pada Material Karbon Silika

No	Unsur	%Berat
1	C	63,51
2	Si	0,63
3	O	31,59

Dari tabel di atas, didapatkan bahwa dalam material karbon silika terdapat kandungan unsur Si dan unsur O yang merupakan pembentuk dari gugus silanol Si-OH yang membuat material bersifat hidrofilik. (Mota et al, 2017).

Untuk mengetahui gugus yang terdapat pada karbon silika, maka dilakukan uji *Fourier Transform Infrared Transform* (FTIR). Hasil uji FTIR karbon silika dapat dilihat pada gambar IV.3.



Gambar IV-3 Hasil Uji Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) pada Karbon Aktif setelah Hidrofilikasi

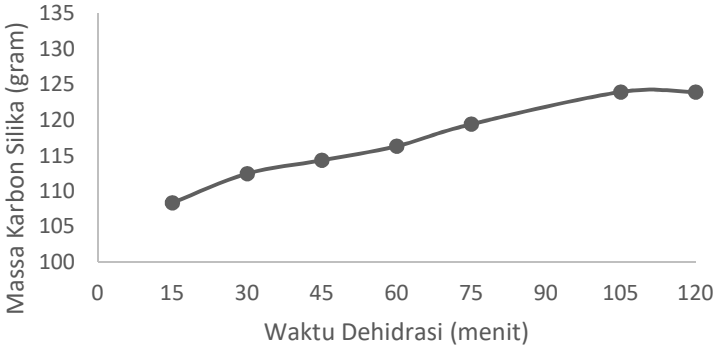
Dari hasil uji FTIR pada gambar IV.3, didapatkan bahwa terdapat *peak* pada *wavenumber* 3550 – 3800 cm^{-1} yang menunjukkan adanya ikatan OH pada gugus silanol (Chrysty, 2010). Selain itu terdapat *peak* pada *wavenumber* 700 cm^{-1} yang menunjukkan adanya atom oksigen yang terbentuk dengan Si, dengan gerak arah tegak lurus ke garis Si-Si. Terdapat juga *peak* pada *wavenumber* 1000 cm^{-1} yang menunjukkan adanya getaran gugus asimetris Si-O-Si (Nuryono,2008). Kandungan gugus Si-OH dan gugus Si-O-Si pada material karbon silika menunjukkan bahwa karbon silika bersifat hidrofil sehingga material tersebut dapat menyerap air (Mota et al, 2017).

IV.3 Tahap Dehidrasi

Tahap dehidrasi ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi material apabila diaplikasikan pada proses dehidrasi biogas. Uji dehidrasi dilakukan dengan eksperimen adsoprsi air pada biogas secara isotermal dengan menggunakan material hibrida karbon silika sebagai *solid desiccant*/adsorbannya. Tahap dehidrasi ini dilakukan dengan mengalirkan biogas 2 L/menit selama 120 menit. Setelah dialirkan biogas, karbon silika ditimbang dan kemudian dihitung kapasitas adsorbsinya. Hasil penelitian pada tahap dehidrasi dapat dilihat pada Tabel IV.3.

Tabel IV-3 Tahap Dehidrasi Karbon Silika per Waktu

No	Waktu Dehidrasi (menit)	Massa *Desiccant* (gr)
1	0	99,945
2	15	108,3525
3	30	112,46
4	45	114,345
5	60	116,33
6	75	119,43
7	105	123,9725
8	120	123,9725



Gambar IV-4 Grafik Tahap Dehidrasi per Waktu

Tabel IV-4 Kapasitas Adsorbsi Karbon Silika

Sampel	Kapasitas Adsorbsi (%)
1	31,8
2	24,22
3	20,01
4	20,06
Rata-Rata	24,02

Dari tabel IV.4, didapatkan bahwa kapasitas adsorbsi karbon silika mencapai 24,02%. Kapasitas adsorbsi karbon silika sudah lebih tinggi dibandingkan *solid desiccant* lainnya seperti *silica gel* (6,5 – 7%) dan *activated alumina* (6,5%). (Kohl and Nielsen, 1997)

IV.4 Tahap Regenerasi

Ketika *solid desiccant* karbon silika sudah mengalami kejenuhan, maka karbon silika sudah tidak dapat dipakai kembali untuk mengadsorbsi air. Agar karbon silika bisa dipakai kembali, maka dilakukan regenerasi sehingga lebih ekonomis. Tahap regenerasi dilakukan dengan mengalirkan udara yang dipanaskan. Tujuan pemanasan udara ini adalah untuk mengurangi *relative humidity* sehingga udara dapat menyerap air. Pada penelitian ini,

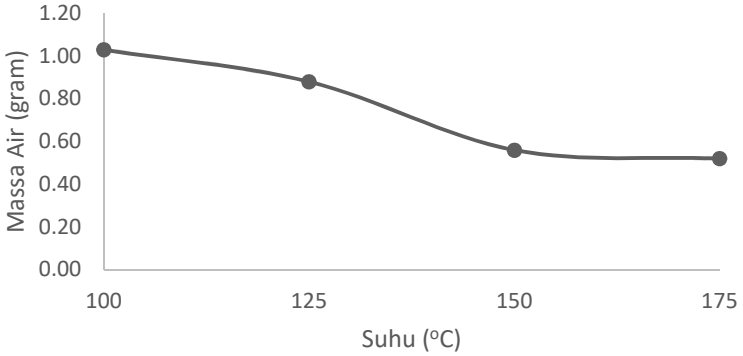
penulis memfokuskan penelitian ini pada tahap regenerasi untuk mengetahui pengaruh suhu udara, tekanan udara, *flowrate* udara dan waktu regenerasi terhadap % *removal* air.

IV.4.1 Pengaruh Suhu Udara

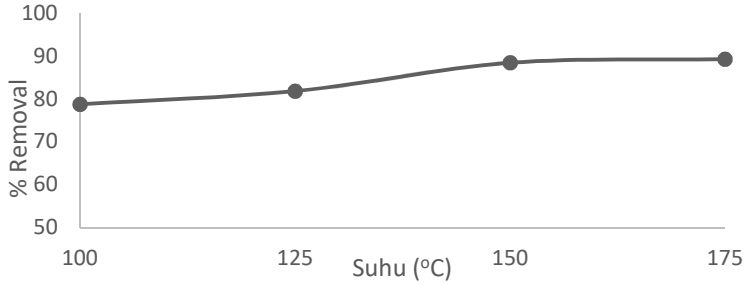
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur udara terhadap % *removal* air. Penelitian ini menggunakan variabel 100^{o}C, 125^{o}C, 150^{o}C, dan 175^{o}C. Kondisi operasi yang dipakai pada penelitian ini adalah *flowrate* udara 3 L/menit, tekanan udara 1 bar dan waktu regenerasi 3 jam. Data yang didapatkan adalah sebagai berikut.

Tabel IV-5 Hasil Penelitian Pengaruh Suhu Udara terhadap % Removal (Kondisi Operasi : Tekanan 1 atm, Waktu regenerasi 3 jam, dan flowrate 3 L/menit)

No	Suhu Udara (^{o}C)	Kandungan Air Setelah Regenerasi (g)	% *Removal*
1	100	1,03	78,74
2	125	0,88	81,83
3	150	0,56	88,44
4	175	0,52	89,27



(a)



(b)

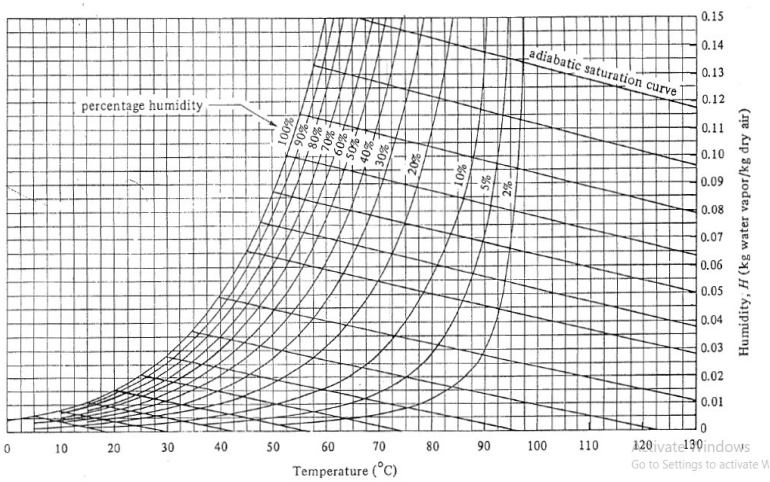
Gambar IV-5 Grafik Hasil Percobaan Pengaruh Suhu Udara

(a) Terhadap Kandungan Air Setelah Regenerasi

(b) Terhadap % *Removal*

Dari gambar IV.5, dapat terlihat bahwa kandungan air dalam karbon silika menurun pada gambar (a) dan % *removal* air meningkat pada gambar (b). Dari gambar IV.5, % *removal* air terbesar terjadi pada suhu 175ºC. Pada suhu 175ºC, % *removal* air yang dicapai adalah 89,27%. Jadi, dapat disimpulkan bahwa semakin besar suhu udara, maka semakin banyak air yang dapat diregenerasi yang dibuktikan dengan meningkatnya % *removal* air. Peningkatan suhu udara menyebabkan tekanan uap udara berkurang sehingga dapat terjadi perbedaan tekanan antara permukaan *desiccant* karbon silika dan tekanan uap udara. Karena perbedaan tekanan antara permukaan *desiccant* karbon silika dan tekanan uap udara, maka terjadi proses perpindahan massa uap air dari *desiccant* karbon silika ke udara. (Goodarzia et al, 2016).

Selain itu, peningkatan suhu udara juga dapat menurunkan *relative humidity*, Semakin rendah *relative humidity* udara, maka makin cepat pula proses pengeringan yang terjadi, karena mampu menyerap uap air lebih banyak dari pada udara dengan *relative humidity* yang tinggi. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada *psychrometric chart* sebagai berikut.



Gambar IV-6 *Psychrometric Chart*

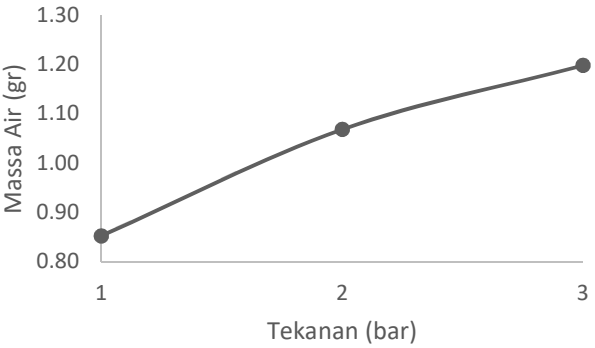
Dari *psychrometric chart* pada gambar IV.6, peningkatan temperatur udara dapat meningkatkan *relative humidity* pada *humidity* yang sama seperti yang ditunjukkan pada garis panah berwarna merah. (Geankoplis, 2003).

IV.4.2 Pengaruh Tekanan Udara

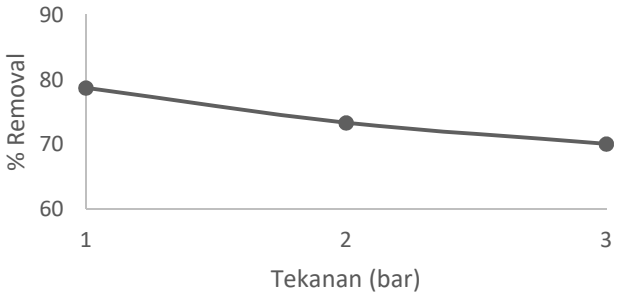
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan udara terhadap % *removal* air. Penelitian ini menggunakan variabel 1 bar, 2 bar dan 3 bar. Kondisi operasi yang dipakai pada penelitian ini adalah *flowrate* udara 3 L/menit, temperatur udara 100 ^{o}C dan waktu regenerasi 3 jam. Data yang didapatkan adalah sebagai berikut.

Tabel IV-6 Hasil Penelitian Pengaruh Tekanan Udara terhadap % Removal

No	Tekanan (atm)	Kandungan Air Setelah Regenerasi (g)	% *Removal*
1	1	0,85	78,74
2	2	1,068	73,53
3	3	1,198	70,11



(a)



(b)

Gambar IV-7 Grafik Hasil Percobaan Pengaruh Tekanan Udara

(a) Terhadap Kandungan Air Setelah Regenerasi

(b) Terhadap % *Removal*

Dari gambar IV.7, dapat terlihat bahwa kandungan air dalam karbon silika meningkat pada gambar (a) dan % *removal* air menurun pada gambar (b). Dari gambar IV.7, % *removal* air

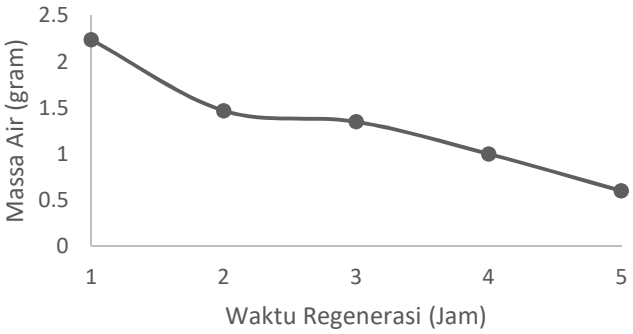
terbesar terjadi pada tekanan 1 bar. Pada tekanan 1 bar, % *removal* air yang dicapai adalah 78,74%. Jadi, dapat disimpulkan bahwa peningkatan tekanan dapat meningkatkan tekanan uap air sehingga *relative humidity* akan meningkat. Karena *relative humidity* meningkat, maka kemampuan udara dalam menyerap air akan berkurang. (Geankoplis, 2003).

IV.4.3 Pengaruh Waktu Regenerasi

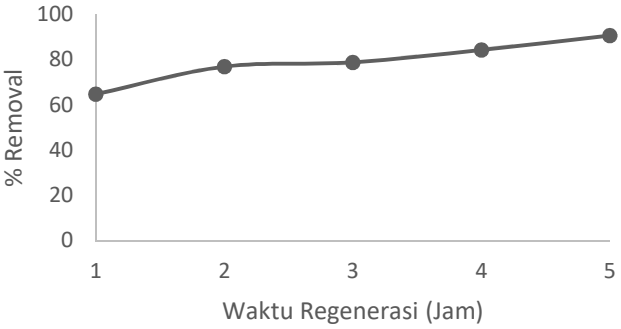
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu regenerasi terhadap % *removal* air. Penelitian ini menggunakan variabel 1 jam operasi, 2 jam operasi, 3 jam operasi, 4 jam operasi dan 5 jam operasi. Kondisi operasi yang dipakai pada penelitian ini adalah temperatur udara 100^{o}C, tekanan udara 1 bar dan *flowrate* udara 3 L/menit. Data yang didapatkan adalah sebagai berikut.

Tabel IV-7 Hasil Penelitian Pengaruh Waktu Regenerasi terhadap % Removal

No	Waktu Regenerasi (jam)	Kandungan Air Setelah Regenerasi (g)	% *Removal*
1	1	2,24	64,72
2	2	1,47	76,85
3	3	1,35	78,74
4	4	1	84,25
5	5	0,6	90,55



(a)



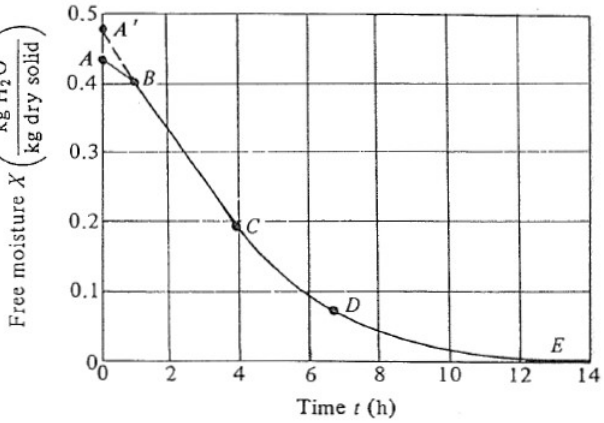
(b)

Gambar IV-8 Grafik Hasil Percobaan Pengaruh Waktu Regenerasi

(a) Terhadap Kandungan Air Setelah Regenerasi

(b) Terhadap % *Removal*

Dari gambar IV.8, dapat terlihat bahwa kandungan air dalam karbon silika menurun pada gambar (a) dan % *removal* air meningkat pada gambar (b). Dari gambar IV.8, %*removal* air terbesar terjadi pada waktu regenerasi 5 jam. Pada waktu regenerasi 5 jam, %*removal* air yang dicapai adalah 90,55%. Jadi, dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu regenerasi, maka semakin banyak air yang dapat diregenerasi yang dibuktikan dengan meningkatnya % *removal*. Lamanya waktu regenerasi akan menyebabkan kandungan air menurun karena udara yang dialirkan semakin banyak sehingga air yang terserap akan semakin banyak dan kandungan air dalam karbon silika akan berkurang sesuai dengan grafik pada gambar IV.9.



Gambar IV-9 Grafik Hubungan antara Kandungan Air dengan Waktu Regenerasi (Geankoplis, 2003)

Namun, pada kenyataannya pada waktu 5 jam, %*removal* yang dicapai tidak sampai 100% karena pengeringan juga dipengaruhi oleh *equilibrium water content* pada karbon silika sehingga tidak semua air terserap oleh udara (Geankoplis, 2003).

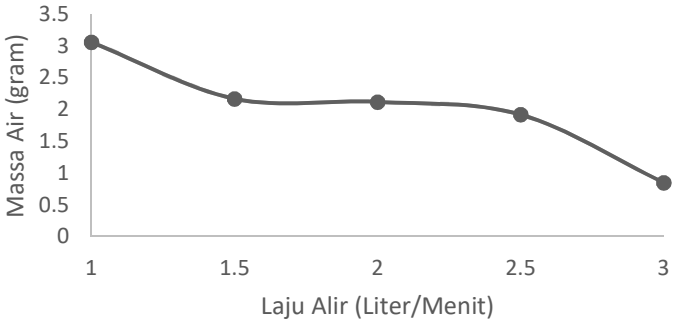
IV.4.4 Pengaruh *Flowrate* Udara

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *flowrate* udara terhadap % *removal* air. Penelitian ini menggunakan variabel 1 L/menit, 1,5 L/menit, 2 L/menit, 2,5 L/menit dan 3 L/menit. Kondisi operasi yang dipakai pada penelitian ini adalah temperatur udara 100^{o}C, tekanan udara 1 bar

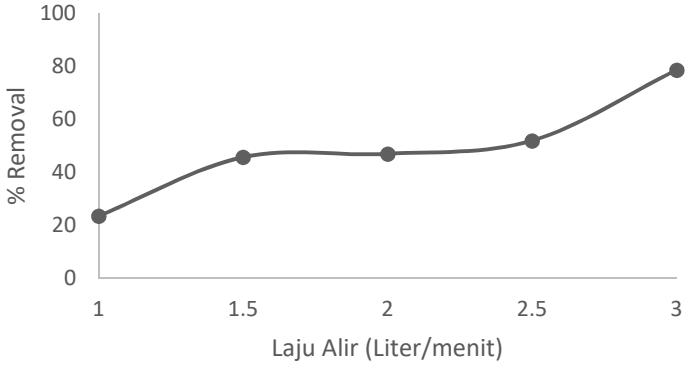
dan waktu regenerasi 3 jam. Data yang didapatkan adalah sebagai berikut.

Tabel IV-8 Hasil Penelitian Pengaruh *Flowrate* Udara terhadap % *Removal* (Kondisi Operasi : Suhu 100°C, Waktu regenerasi 3 jam, dan Tekanan 1 atm)

No	Flowrate Udara (L/menit)	Kandungan Air Setelah Regenerasi (g)	% *Removal*
1	1	3,06	23,5
2	1,5	2,17	45,75
3	2	2,12	47
4	2,5	1,92	52
5	3	0,85	78,74



(a)



(b)

Gambar IV-10 Grafik Hasil Percobaan Pengaruh Flowrate Udara

(a) Terhadap Kandungan Air Setelah Regenerasi

(b) Terhadap % *Removal*

Dari Gambar IV.10, dapat terlihat bahwa kandungan air dalam karbon silika menurun pada gambar (a) dan % *removal* air meningkat pada gambar (b). Dari gambar IV.10, % *removal* air terbesar terjadi pada *flowrate* 3 L/menit. Pada *flowrate* 3 L/menit, % *removal* air yang dicapai adalah 64,16%. Jadi, dapat disimpulkan bahwa semakin besar *flowrate* udara, maka semakin banyak air yang dapat diregenerasi yang dibuktikan dengan meningkatnya % *removal*. Peningkatan *flowrate* udara dapat meningkatkan kecepatan difusi panas dari udara ke dalam material karbon silika yang menyebabkan meningkatnya temperatur molekul di dalam material. Peningkatan temperatur di dalam molekul air menyebabkan tekanan uap air dalam molekul bertambah, sedangkan tekanan uap pada permukaan berkurang sehingga air yang berada di dalam karbon silika akan keluar dari karbon silika. (Goodarzia et al, 2016).

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Semakin tinggi temperatur udara pada kondisi operasi tekanan 1 bar, *flowrate* 3 L/menit dan waktu regenerasi 3 jam, maka semakin tinggi % *removal* air yang didapat. % *removal* air terbesar terjadi pada suhu 175^{o}C dengan % *removal* sebesar 89,27%.
2. Semakin tinggi tekanan udara pada kondisi operasi suhu 100^{o}C, *flowrate* 3 L/menit dan waktu regenerasi 3 jam, maka semakin rendah % *removal* air yang didapat. % *removal* air terbesar terjadi pada tekanan 1 bar dengan % removal sebesar 78,74%
3. Semakin lama waktu regenerasi pada kondisi operasi suhu 100^{o}C, *flowrate* 3 L/menit dan tekanan 1 bar, maka semakin tinggi % *removal* air yang didapat. % *removal* air terbesar terjadi pada waktu regenerasi 5 jam dengan % *removal* sebesar 90,55%
4. Semakin tinggi *flowrate* udara pada kondisi operasi suhu 100^{o}C, waktu regenerasi 3 jam dan tekanan 1 bar, maka semakin tinggi % *removal* air yang didapat. % *removal*

air terbesar terjadi pada *flowrate* udara 3 L/menit dengan % *removal* air sebesar 78,74%

V.2 Saran

Perlu dilakukan lebih lanjut untuk melakukan regenerasi material hibrida karbon silika diantaranya :

1. Perlu menambahkan *cooler* dan *water tap* pada alat jika gas memakai gas metana sehingga sistem menjadi tertutup
2. Sistem dibuat *close* agar gas untuk regenerasi tidak dibuang ke lingkungan sehingga lebih hemat
3. Menambah pengukur *relative humidity* udara masuk dan keluar sistem regenerasi material hibrida karbon silika.

DAFTAR PUSTAKA

. Bharathiraja, B., Sudharsanaa, T., Bhargavi, A., Jayamuthunagai, J., Praveenkumar, K. (2016). *Biohydrogen and Biogas – An overview on feedstocks and enhancement process*. Fuel ,185, 810–828.

Billey, Jacqueline M dan Kacey G. Marra,. 2015. *Stem Cell Biology and Tissue Engineering in Dental Sciences.* Academic Press : Massachusetts.

Chrysty, Alfred A. (2010). *New insights into the surface functionalities and adsorption evolution of water molecules on silica gel surface: A study by second derivative near infrared spectroscopy*. Vibrational Spectroscopy, 54, 42-49

Furtado, Amanda M.B., Wang, Yu., LeVan, M. Douglas. (2013). *Carbon silica composites for sulfur dioxide and ammonia adsorption*. Microporous and Mesoporous Materials, 165, 48–54.

Geankoplis, Christie John. (2003). *Transport Processes and Separation Process Principles*. Pearson-Pretince Hall : New Jersey.

Gholami, M., Talaie, M.R., Roodpeyma, S. (2010). *Mathematical modeling of gas dehydration using adsorption process*. Chemical Engineering Science, 65, 5942–5949.

Goncalves, M., Molina-Sabio, M., Rodriguez-Reinoso, F. (2010). *Modification of activated carbon hydrophobicity by pyrolysis of propene*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 89, 17–21.

Goodarzia, Gholamreza., Thirukonda, Neelesh., Heidari, Shahin., Akbarzadeh, Aliakbar., Date, Abhijit. (2017). *Performance Evaluation of Solid Desiccant Wheel Regenerated by Waste Heat or Renewable Energy*. Energy Procedia, 110, 434-439.

Guiton, T.A dan C.G Pantano. (1990). *Infrared reflectance spectroscopy of porous silicas*. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 14, 33-46.

Hacker, M.C dan A.G Mikos. 2011. *Principles of Regenerative Medicine 2nd edition.* Academic Press : Massachusetts.

Hegde, Nagaraja D., Hirashima, Hiroshi., Rao, A. Venkateswara. (2007). *Two step sol-gel processing of TEOS based hydrophobic silica aerogels using trimethylethoxysilane as a co-precursor.* Journal of Porous Mater, 14, 165-171.

Jiang, Yangyang., Ling, Jianghua., Xiao, Penny., He, Yingdian., Zhao, Qinghu., Chu, Zheng., Liu, Yingshu., Li, Ziyi.,

Weblety., Paul A. (2018). *Simultaneous biogas purification and CO2 capture by vacuum swing adsorption using zeolite NaUSY*. Chemical Engineering Journal, 334, 2593–2602.

Khan, Imran Ullah., Othman, Mohd Hafiz Dzarfan., Hashim, Haslenda., Takeshi, Matsuura., Ismaill, A.F., Rezaei-DashtArzhandi, M., Azelee, I. Wan. (2017). *Biogas as a renewable energy fuel – A review of biogas upgrading, utilisation and storage*. Energy Conversion and Management, 150, 277–294.

Kidnay, Arthur J. 2006. *Fundamentals of Natural Gas Processing*. Taylor & Francis : New York.

Kohl, Arthur L dan Richard B. Nielsen. 1997. *Gas Purification 5th Edition*. Gulf Publisihing Company : Houston.

Marsh, Harry and Fransisco Rodriguez-Reinoso. 2006. Activated Carbon. Elsevier : Amsterdam.

Mota, Thays Lorrane Rodrigues., Oliveira, Ana Paula Marques de., Nunes, Eduardo Henrique Martins Nunes., Houmard, Manuel. (2017). *Simple process for preparing mesoporous sol-gel silica adsorbents with high water adsorption capacities*. Microporous and Mesoporous Materials, 253, 177-182

Nuryono,Narsito. (2004). *Pengaruh Konsentrasi Asam Terhadap Karakter Silica Gel Hasil Sintesis dari Natrium Silikat*. Indo.J.Chem., 5(1), 23-30

Rao, A. Venkateswara., Hegde, Nagaraja D., Hirashima, Hiroshi. (2007). *Absorption and desorption of organic liquids in elastic superhydrophobic silica aerogels*. Journal of Colloid and Interface Science, 305, 124–132.

Rao, A. Venkateswara and D. Haranath. (1999). *Effect of methyltrimethoxysilane as a synthesis component on the hydrophobicity and some physical properties of silica aerogels.* Microporous and Mesoporous Materials, 30, 267–273.

Ryckebosch, E., Drouillon, M., Vervaren, H. (2011). *Techniques for transformation of biogas to biomethane*. Biomass and Bioenergy, 35, 1633-1645.

Santa, Christian F., Jaber, Maguy., Guth, Jean L., Sierra, Ligia. (2013). *Synthesis of texturally biphasic mesoporous carbon-silica composites and carbons*. Microporous and Mesoporous Materials, 173, 53–63.

Sun, Qie., Li, Hailong., Yan, Jinying., Liu, Longcheng., Yu, Zhixin., Yu, Xinhai. (2015). *Selection of appropriate biogas upgrading technology – a review of biogas cleaning, upgrading and utilisation.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51, 521–532.

Yamamoto, Eri., Kobayashi, Jun., Kanamaru, Keiko., Miura, Toshiaki., Watanabe, Fujio., Kobayashi, Noriyuki., Hasatani, Masanobu. (2003). *Hydrophilication of Activated Carbon by Impregnating Silica into Pores.* Journal of Chemical Engineering of Japan, 36(3), 348-352.

Yao, Ye., Zhang, Weijiang., He, Beixing. (2011). *Investigation on the kinetic models for the regeneration of silica gel by hot air combined with power ultrasonic*. Energy Conversion and Management, 52, 3319–3326

APPENDIKS A
HASIL PERHITUNGAN

1. Pembuatan Natrium Silikat 0,1 %wt

Diketahui :

%massa Na_2SiO_3 = 0,1% = 0,001

Massa Larutan = 100 gram

Dicari :

Jumlah Na_2SiO_3 yang dibutuhkan (gram)

Perhitungan dilakukan berdasarkan :

$$\%massa\ Na_2SiO_3 = \frac{m_{Na_2SiO_3}}{m_{Na_2Si\ _3} + mH_2O}$$

Maka massa Na_2SiO_3 yang dibutuhkan

= 0,001 x massa larutan

= 0,001 x 100 gram

= 0,1 gram

ρ Natrium Silikat = 2,4 g/m^3

Jadi, volume natrium silikat yang dibutuhkan untuk membuat 100 gram Natrium Silikat adalah

$$Volume\ Na_2SiO_3 = \frac{m}{\rho}$$

$$Volume\ Na_2SiO_3 = \frac{0{,}1}{2{,}4}$$

$$Volume\ Na_2SiO_3 = 0{,}042\ ml$$

2. Pembuatan asam sulfat 4 N

Diketahui :

%berat = 97%

Densitas Asam Sulfat = 1,84 kg/L

= 1,84 g/ml

Berat Molekul = 98,08 g/mol

Kadar yang diinginkan = 4 N

Volume = 100 ml

Bilangan Ekivalen H_2SO_4 = 2

Dicari :

Jumlah H_2SO_4 yang dibutuhkan (ml)?

Perhitungan dilakukan berdasarkan :

$$Molaritas = \frac{\%wt\ x\ massa}{BM\ x\ V}$$

Massa asam sulfat dalam 10 ml adalah 18,4 gram H_2SO_4,

$$Molaritas = \frac{0{,}97\ x\ 18{,}4\ g}{98{,}08\ g\ x\ 0{,}01\ L}$$

$$Molaritas = 18{,}2\ M$$

Asam sulfat yang dibutuhkan :

$$M_1\ x\ BE\ x\ V_1 = N_2\ x\ V_2$$

$$18{,}19\ x\ 2\ x\ V_1 = 4\ x\ 100$$

$$V_2 = 10{,}99\ ml \approx 11\ ml$$

3. Pembuatan *Polyetyhlene Glycol* 0,5%

Diketahui :

%massa PEG = 0,5% = 0,005

Massa larutan = 100 gram

Dicari :

Massa PEG ester yang dibutuhkan (gram) ?

Perhitungan dilakukan berdasarkan :

$$\%massa\ PEG = \frac{m_{PEG}}{m_{PEG} + mH_2O}$$

Maka massa PEG ester yang dibutuhkan

= 0,005 x massa larutan

= 0,005 x 100 gram

= 0,5 gram

ρ PEG ester = 1,128 g/m^3

Jadi, volume natrium silikat yang dibutuhkan untuk membuat 100 gram PEG Ester adalah

$$Volume\ PEG\ Ester = \frac{m}{\rho}$$

$$Volume\ PEG\ Ester = \frac{0{,}5}{1{,}128}$$

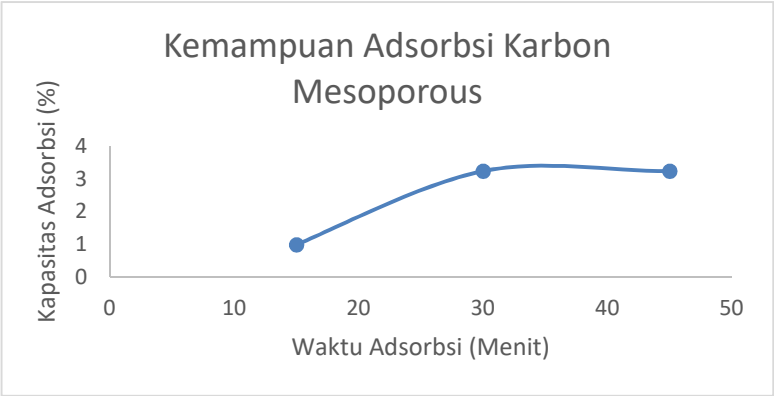
$$Volume\ PEG\ Ester = \ 0{,}443\ ml$$

4. Perhitungan Kapasitas Adsorbsi

$$kemampuan\ adsorbsi = \frac{total\ massa\ air\ teradsorb}{massa\ desiccant\ mula - mula}\ x\ 100\%$$

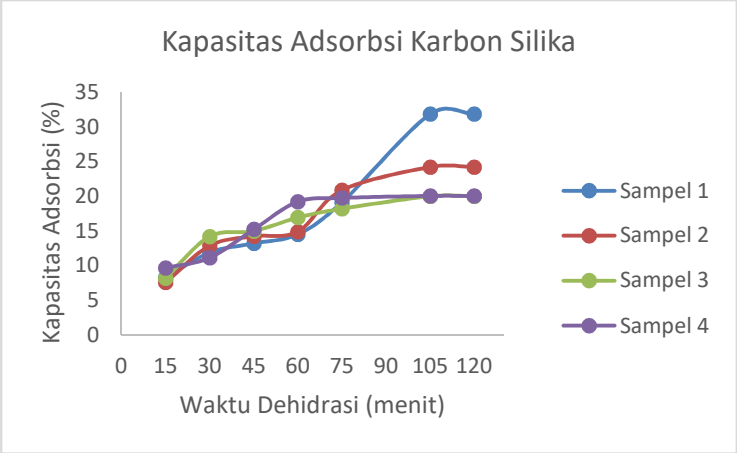
Kemampuan adsorbsi karbon mesoporous

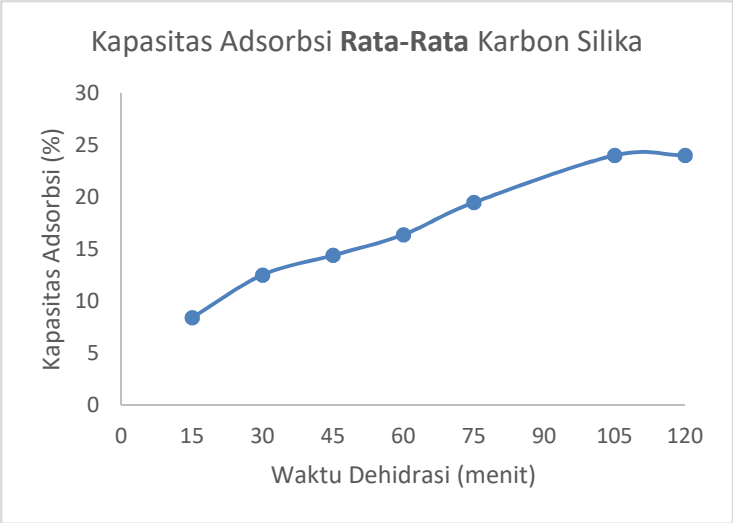
No	Waktu (menit)	Massa Dessicant (gram)	Massa Air Teradsorb (gram)	Kapasitas Adsorbsi (%)
1	0	100		
2	15	100,99	0,99	0,99
3	30	102,25	2,25	3,24
4	45	102,25	0	3,24
Total			3,24	3,24



Kemampuan adsorbsi karbon silika

Percobaan		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4
Massa Desiccant Sebelum Adsorbsi (gr)		99.92	100	99.95	99.91
Waktu Dehidrasi (menit)	15	108.16	107.56	108.14	109.55
	30	111.79	112.88	114.14	111.03
	45	113.11	114.22	114.92	115.13
	60	114.42	114.9	116.88	119.12
	75	119.04	120.88	118.15	119.65
	105	99.92	124.22	119.95	119.95
	120	99.92	124.22	119.95	119.95
Massa Desiccant Setelah Adsorbsi (gr)		131.77	124.22	119.95	119.95
Massa Air yang teradsorb (gr)		31.85	24.22	20	20.04
Kapasitas Adsorbsi (%)		31.8755	24.22	20.01001	20.058052


Kapasitas Adsorbsi Karbon Silika
Kapasitas Adsorbsi (%)
35
30
25
20
15
10
5
0
0 15 30 45 60 75 90 105 120
Waktu Dehidrasi (menit)
Sampel 1
Sampel 2
Sampel 3
Sampel 4

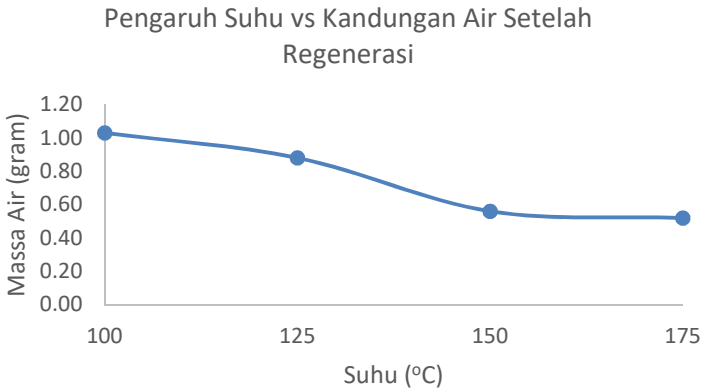

Kapasitas Adsorbsi **Rata-Rata** Karbon Silika
Kapasitas Adsorbsi (%)
30
25
20
15
10
5
0
0 15 30 45 60 75 90 105 120
Waktu Dehidrasi (menit)

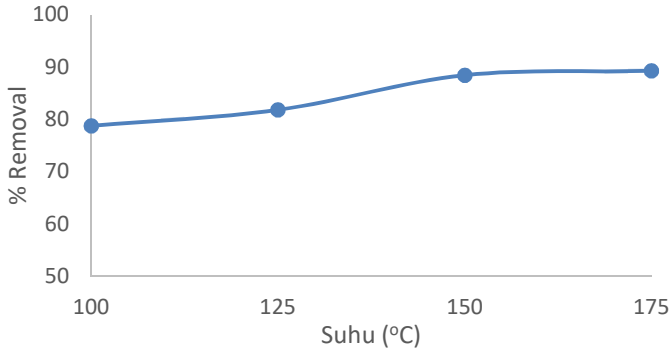
5. Perhitungan *% Removal*

$$\%\, Removal = \frac{massa\ air\ yang\ diregenerasi}{massa\ air\ sebelum\ diregenerasi}\ x\ 100\%$$

Pengaruh Suhu

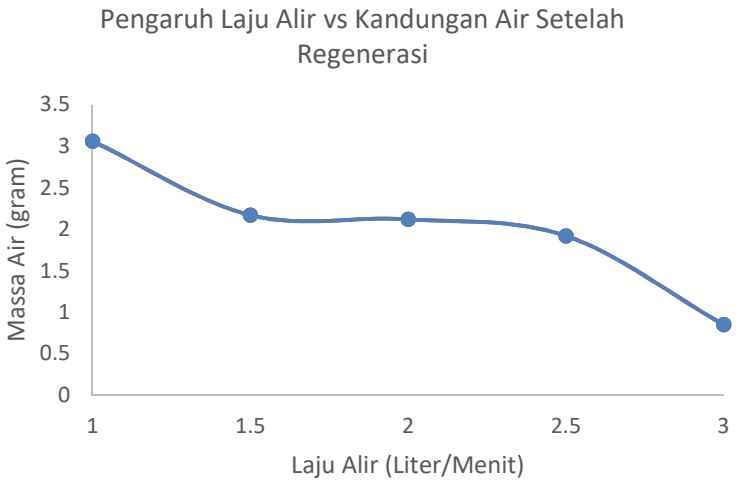
No	Suhu (°C)	Massa Desiccant Sebelum Regenerasi (gr)	Massa Desiccant Setelah Regenerasi (gr)	Massa Air Sebelum Regenerasi (gr)	Massa Air yang Diregenerasi (gr)	Kandungan Air setelah Diregenerasi	% Removal
1	100	24.844	21.02982677	4.844	3.814173228	1.029826772	78.74016
2	125		20.88		3.964	0.88	81.8332
3	150		20.56		4.284	0.56	88.43931
4	175		20.52		4.324	0.52	89.26507

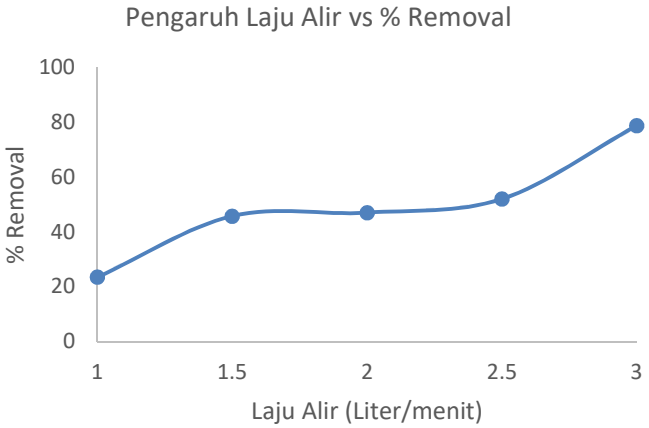




Pengaruh *Flowrate*

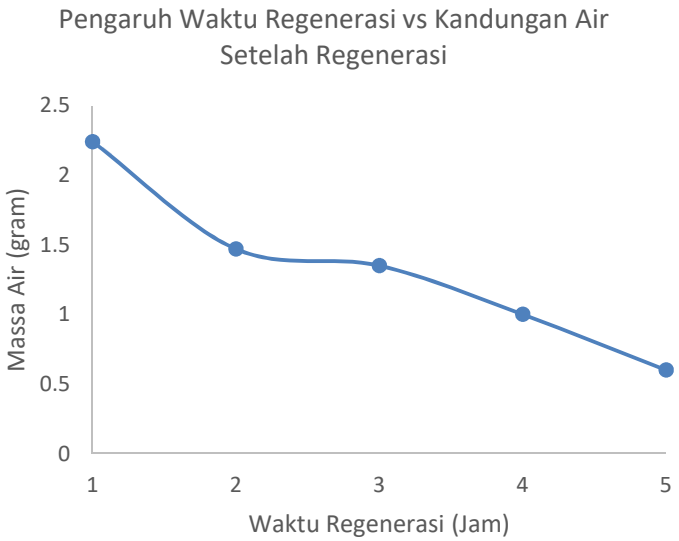
No	Flowrate Gas (L/min)	Massa Desiccant Sebelum Regenerasi (gr)	Massa Desiccant Setelah Regenerasi (gr)	Massa Air Sebelum Regenerasi (gr)	Massa Air yang Diregenerasi (gr)	Kandungan Air setelah Diregenerasi	% Removal
1	1	23.99	23.05	4	0.94	3.06	23.5
2	1.5		22.16		1.83	2.17	45.75
3	2		22.11		1.88	2.12	47
4	2.5		21.91		2.08	1.92	52
5	3		20.84		3.15	0.85	78.74016

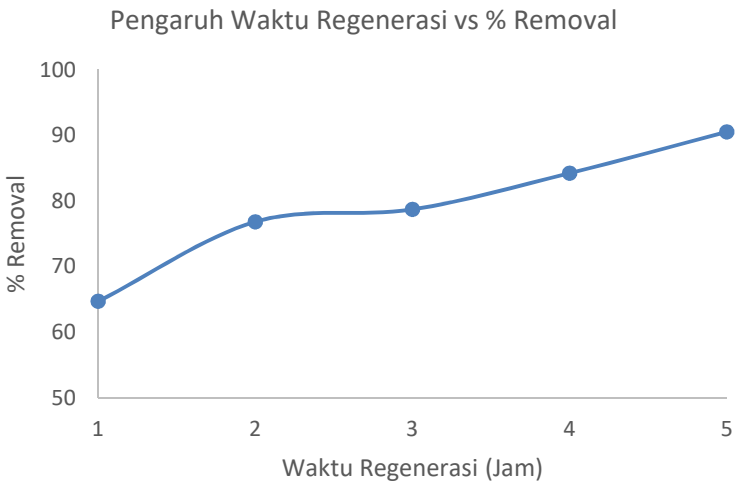



Pengaruh Laju Alir vs % Removal
100
80
60
40
20
0
% Removal
1
1.5
2
2.5
3
Laju Alir (Liter/menit)

Pengaruh Waktu Regenerasi

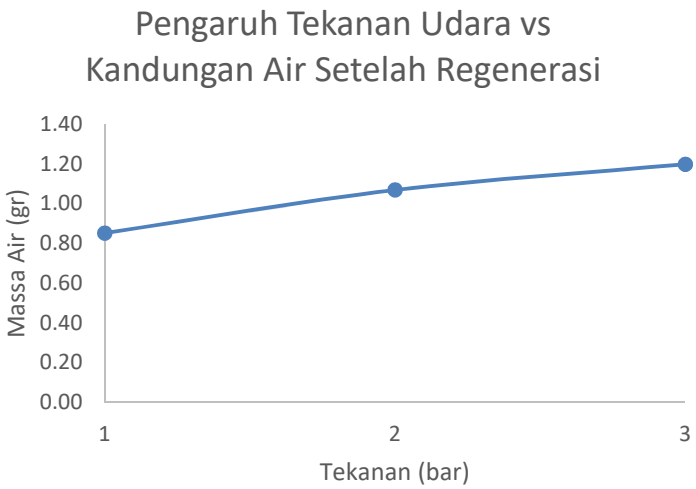
No	Waktu Regenerasi (jam)	Massa Desiccant Sebelum Regenerasi (gr)	Massa Desiccant Setelah Regenerasi (gr)	Massa Air Sebelum Regenerasi (gr)	Massa Air yang Diregenerasi (gr)	Kandungan Air setelah Diregenerasi	% Removal
1	1	26.33	22.22	6.35	4.11	2.24	64.72441
2	2		21.45		4.88	1.47	76.85039
3	3		21.33		5	1.35	78.74016
4	4		20.98		5.35	1	84.25197
5	5		20.58		5.75	0.6	90.55118

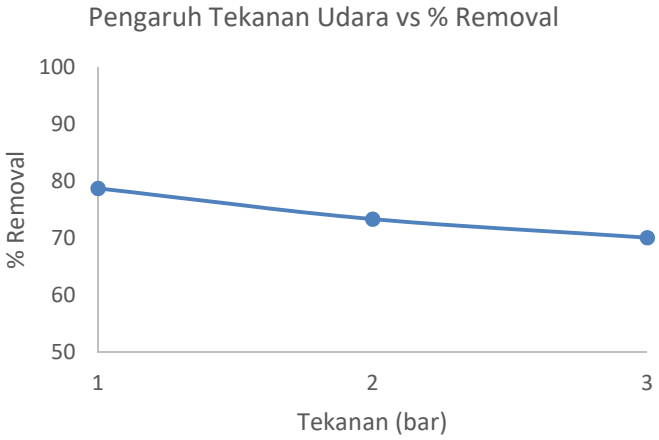



Pengaruh Waktu Regenerasi vs % Removal
100
90
80
70
60
50
% Removal
1
2
3
4
5
Waktu Regenerasi (Jam)

Pengaruh Tekanan

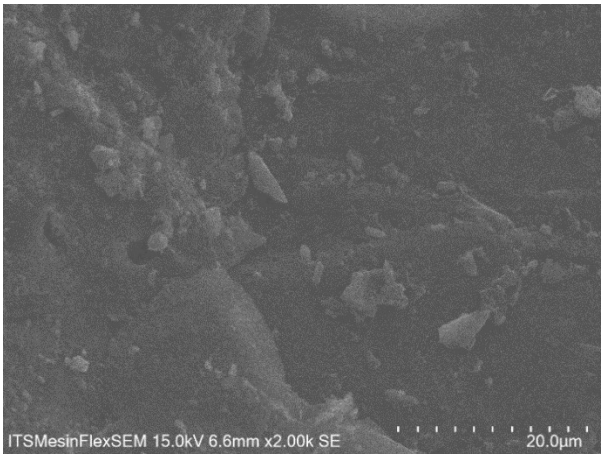
No	Tekanan (bar)	Massa Desiccant Sebelum Regenerasi (gr)	Massa Desiccant Setelah Regenerasi (gr)	Massa Air Sebelum Regenerasi (gr)	Massa Air yang Diregenerasi (gr)	Kandungan Air setelah Diregenerasi	% Removal
1	1	23.99	20.83409449	4.008	3.155905512	0.852094488	78.74016
2	2		21.05		2.94	1.068	73.35329
3	3		21.18		2.81	1.198	70.10978



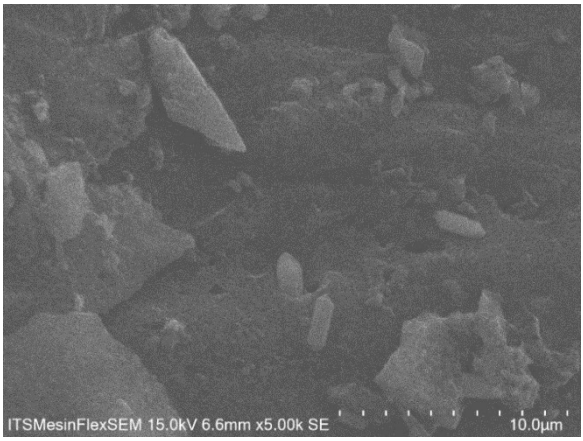

Pengaruh Tekanan Udara vs % Removal
100
90
80
70
60
50
% Removal
1
2
3
Tekanan (bar)

APPENDIKS B
Hasil Analisis
Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS)

1. Sebelum *Pre Treatment*

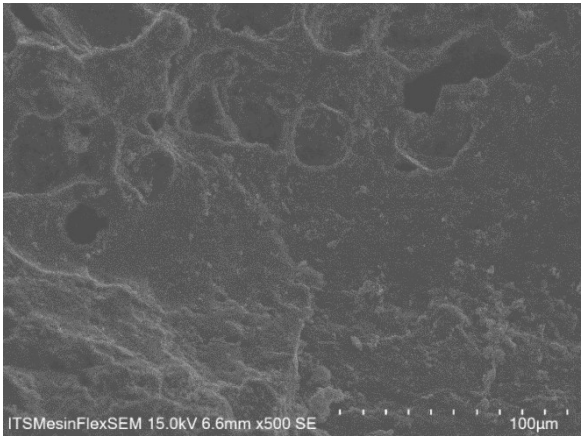


Gambar 1 Hasil SEM Sebelum Pre-Treatment
Perbesaran 2000 x



Gambar 2 Hasil SEM Sebelum Pre-Treatment

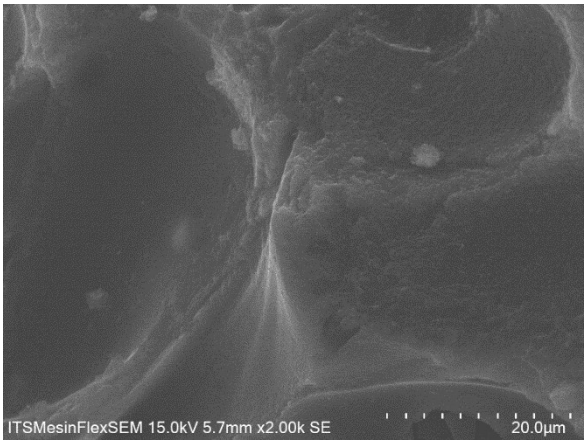
Perbesaran 5000 x



Gambar 3 Hasil SEM Sebelum Pre-Treatment

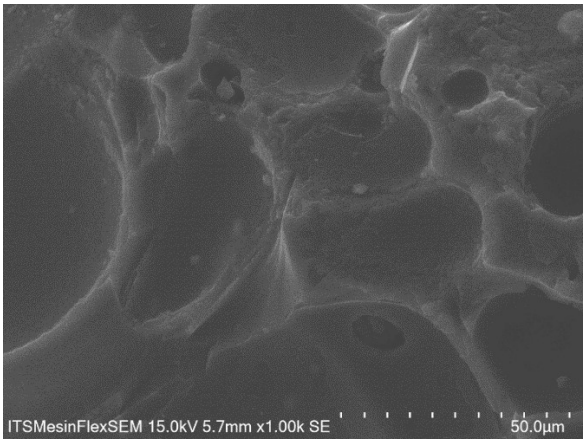
Perbesaran 500 x

2. Setelah *Pre-Treatment*



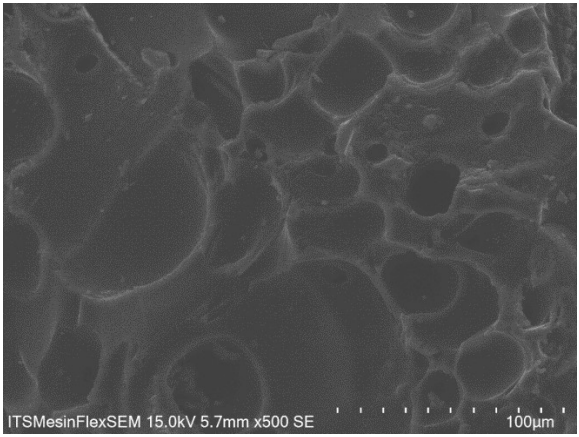
Gambar 4 Hasil SEM Setelah Pre-Treatment

Perbesaran 2000 x



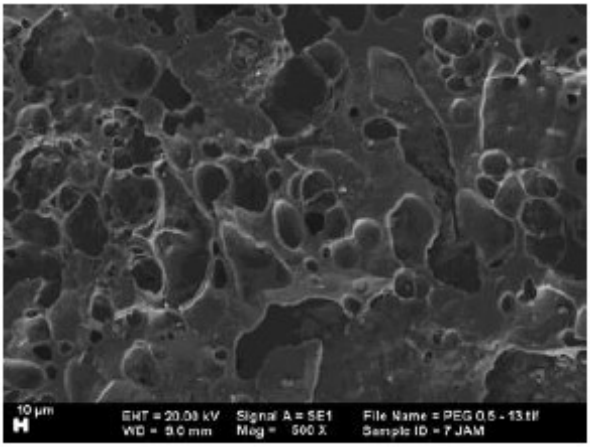
Gambar 5 Hasil SEM Setelah Pre-Treatment

Perbesaran 1000 x



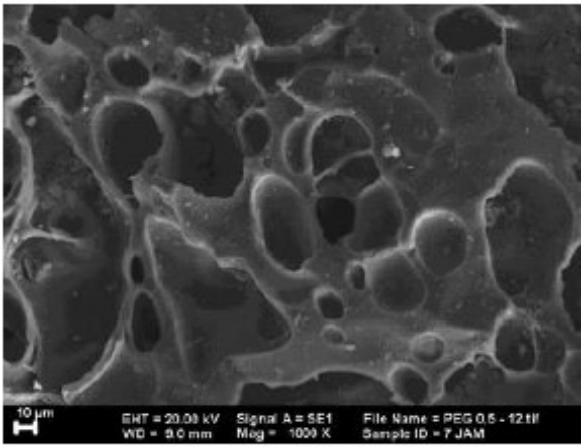
Gambar 6 Hasil SEM Setelah Pre-Treatment
Perbesaran 500 x

3. Setelah Tahap Hidrofilikasi



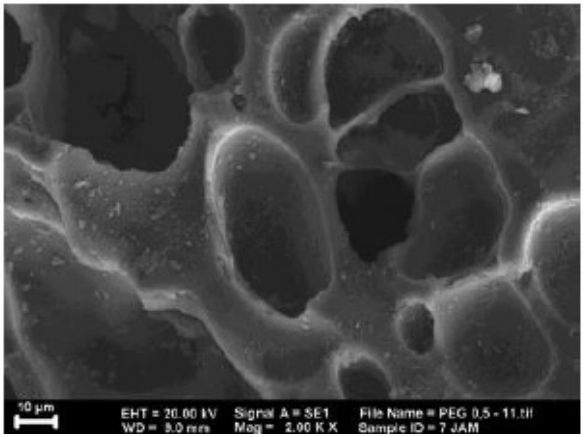
Gambar 7 Hasil SEM Setelah Hidrofilikasi

Perbesaran 500 x

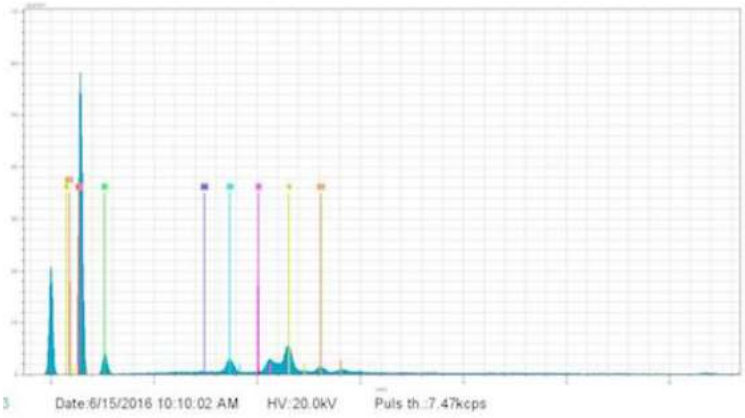


Gambar 8 Hasil SEM Setelah Hidrofilikasi

Perbesaran 1000 x



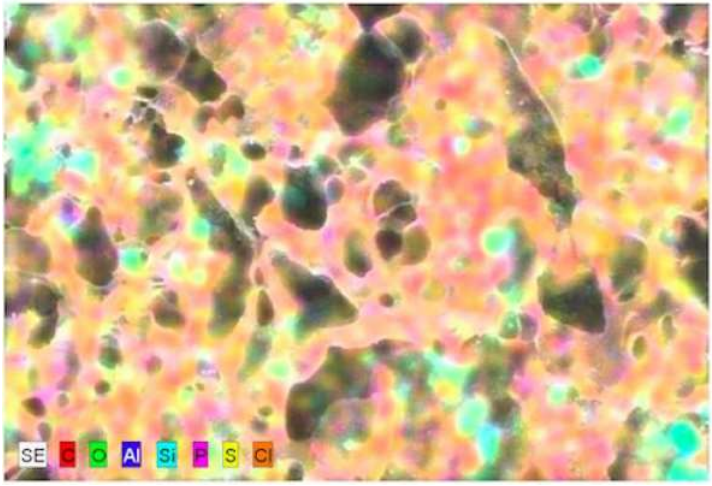
Gambar 9 Hasil SEM Setelah Hidrofilikasi Perbesaran 2000 x



Gambar 10 Grafik Jumlah Komponen pada Karbon Silika

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	63.51	63.51	71.29	19.9
O	8	K-series	31.59	31.59	26.62	10.3
Al	13	K-series	0.00	0.00	0.00	0.0
Si	14	K-series	0.63	0.63	0.30	0.1
P	15	K-series	1.06	1.06	0.46	0.1
S	16	K-series	2.49	2.49	1.05	0.1
Cl	17	K-series	0.71	0.71	0.27	0.1
		Total:	100.00	100.00	100.00	

Gambar 11 Presentase Jumlah Komponen Pada Karbon Silika



Gambar 12 Persebaran Komponen Pada Karbon Silika

APPENDIKS C

Hasil Analisa

Uji Brunauer–Emmett–Teller (BET)

1. Sebelum *Pre-Treatment*

adsorption - Notepad

File Edit Format View Help

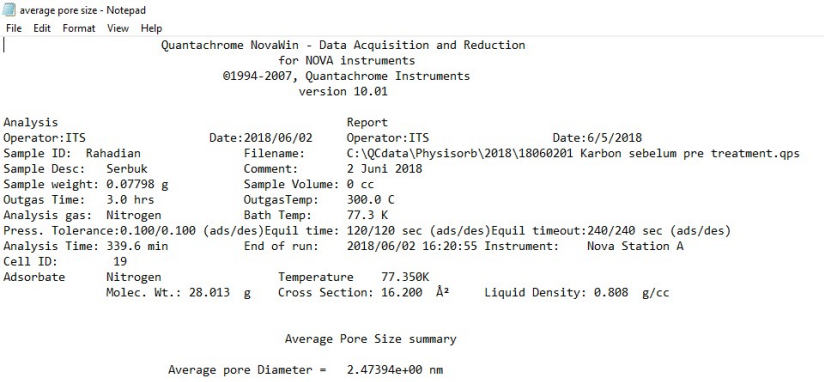
BJH/DH method Moving pt. avg.: off Ignoring P-tags below 0.35 P/Po
Adsorbate Nitrogen Temperature 77.350K
Molec. Wt.: 28.013 g Cross Section: 16.200 Å² Liquid Density: 0.808 g/cc
Contact Angle: 0.0 degreesSurf. Tension: 8.850 erg/cm²

Diameter nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf Area m²/g	dV(d) cc/nm/g	dS(d) m²/nm/g	dV(logd) cc/g	dS(logd) cc/g
3.4074	8.6710e-03	1.0179e+01	2.1971e-02	2.5792e+01	1.7218e-01	2.0213e+02
3.8118	1.5462e-02	1.7305e+01	1.6394e-02	1.7203e+01	1.4375e-01	1.5084e+02
4.1374	1.9083e-02	2.0806e+01	1.5282e-02	1.4775e+01	1.4555e-01	1.4072e+02
4.3898	2.2402e-02	2.3831e+01	1.2394e-02	1.1294e+01	1.2524e-01	1.1412e+02
4.6702	2.6386e-02	2.7243e+01	1.3597e-02	1.1645e+01	1.4617e-01	1.2519e+02
4.9901	3.0260e-02	3.0348e+01	1.1173e-02	8.9558e+00	1.2832e-01	1.0286e+02
5.3582	3.4269e-02	3.3341e+01	1.0291e-02	7.6824e+00	1.2691e-01	9.4742e+01
5.7594	3.7769e-02	3.5771e+01	8.4772e-03	5.8875e+00	1.1237e-01	7.8045e+01
6.2123	4.1286e-02	3.8036e+01	7.1348e-03	4.5940e+00	1.0201e-01	6.5679e+01
6.7299	4.3631e-02	3.9430e+01	4.3261e-03	2.5713e+00	6.7002e-02	3.9823e+01
7.3507	4.7334e-02	4.1445e+01	5.2935e-03	2.8805e+00	8.9527e-02	4.8718e+01
8.0972	5.0932e-02	4.3222e+01	4.5343e-03	2.2399e+00	8.4472e-02	4.1729e+01
8.8949	5.4105e-02	4.4649e+01	3.9564e-03	1.7792e+00	8.0978e-02	3.6415e+01
9.9626	5.7420e-02	4.5980e+01	2.4862e-03	9.9820e-01	5.6947e-02	2.2864e+01
11.2815	6.0253e-02	4.6985e+01	2.1723e-03	7.7020e-01	5.6365e-02	1.9985e+01
12.7934	6.1974e-02	4.7523e+01	1.0006e-03	3.1285e-01	2.9431e-02	9.2020e+00
15.0629	6.4788e-02	4.8270e+01	9.9808e-04	2.6504e-01	3.4516e-02	9.1657e+00
18.3584	6.7419e-02	4.8843e+01	6.9757e-04	1.5199e-01	2.9384e-02	6.4022e+00
23.1635	7.0589e-02	4.9391e+01	5.4305e-04	9.3776e-02	2.8810e-02	4.9750e+00
32.9027	7.3857e-02	4.9788e+01	2.3960e-04	2.9128e-02	1.7889e-02	2.1748e+00
54.6266	7.7388e-02	5.0046e+01	1.1844e-04	8.6723e-03	1.4520e-02	1.0632e+00
140.9366	8.3933e-02	5.0232e+01	4.5831e-05	1.3007e-03	1.3499e-02	3.8312e-01

BJH adsorption summary

Surface Area = 50.232 m²/g
Pore Volume = 0.084 cc/g
Pore Diameter Dv(d) = 3.407 nm

Gambar 1 *Surface Area* karbon sebelum *pre-treatment*



average pore size - Notepad

File Edit Format View Help

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction
for NOVA instruments
©1994-2007, Quantachrome Instruments
version 10.01

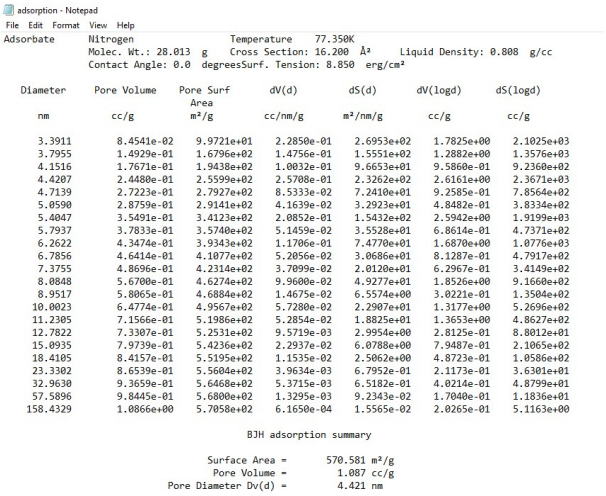
Analysis		Report	
Operator:ITS	Date:2018/06/02	Operator:ITS	Date:6/5/2018
Sample ID: Rahadian	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\2018\18060201 Karbon sebelum pre treatment.qps	
Sample Desc: Serbuk	Comment:	2 Juni 2018	
Sample weight: 0.07798 g	Sample Volume:	0 cc	
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp:	300.0 C	
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp:	77.3 K	
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)	Equil time:	120/120 sec (ads/des)	Equil timeout:240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 339.6 min	End of run:	2018/06/02 16:20:55	Instrument: Nova Station A
Cell ID: 19			
Adsorbate Nitrogen		Temperature 77.350K	
Molec. Wt.: 28.013 g		Cross Section: 16.200 Å²	Liquid Density: 0.808 g/cc

Average Pore Size summary

Average pore Diameter = 2.47394e+00 nm

Gambar 2 Rata-rata diameter pori karbon sebelum *pre-treatment*

2. Setelah *Pre-treatment*



adsorption - Notepad

File Edit Format View Help

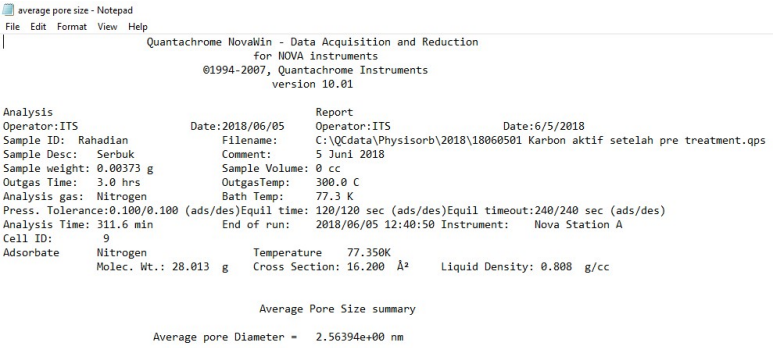
Adsorbate Nitrogen Temperature 77.350K
Molec. Wt.: 28.013 g Cross Section: 16.200 Å² Liquid Density: 0.808 g/cc
Contact Angle: 0.0 degrees Surf. Tension: 8.850 erg/cm²

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m²/g	cc/nm/g	m²/nm/g	cc/g	cc/g
3.3911	8.4541e-02	9.9721e+01	2.2850e-01	2.6953e+02	1.7825e+00	2.1025e+03
3.7955	1.4929e-01	1.6796e+02	1.4756e-01	1.5551e+02	1.2882e+00	1.3576e+03
4.1516	1.7671e-01	1.9438e+02	1.0032e-01	9.6653e+01	9.5860e-01	9.2360e+02
4.4207	2.4480e-01	2.5599e+02	2.5708e-01	2.3262e+02	2.6161e+00	2.3671e+03
4.7139	2.7223e-01	2.7927e+02	8.5333e-02	7.2410e+01	9.2585e-01	7.8564e+02
5.0590	2.8759e-01	2.9141e+02	4.1639e-02	3.2923e+01	4.8482e-01	3.8334e+02
5.4047	3.5491e-01	3.4123e+02	2.0852e-01	1.5432e+02	2.5942e+00	1.9199e+03
5.7937	3.7833e-01	3.5740e+02	5.1459e-02	3.5528e+01	6.8614e-01	4.7371e+02
6.2622	4.3474e-01	3.9343e+02	1.1706e-01	7.4770e+01	1.6870e+00	1.0776e+03
6.7856	4.6414e-01	4.1077e+02	5.2056e-02	3.0686e+01	8.1287e-01	4.7917e+02
7.3755	4.8696e-01	4.2314e+02	3.7099e-02	2.0120e+01	6.2967e-01	3.4149e+02
8.0848	5.6700e-01	4.6274e+02	9.9600e-02	4.9277e+01	1.8526e+00	9.1660e+02
8.9517	5.8065e-01	4.6884e+02	1.4675e-02	6.5574e+00	3.0221e-01	1.3504e+02
10.0023	6.4774e-01	4.9567e+02	5.7280e-02	2.2907e+01	1.3177e+00	5.2696e+02
11.2305	7.1566e-01	5.1986e+02	5.2854e-02	1.8825e+01	1.3653e+00	4.8627e+02
12.7822	7.3307e-01	5.2531e+02	9.5719e-03	2.9954e+00	2.8125e-01	8.8012e+01
15.0935	7.9739e-01	5.4236e+02	2.2937e-02	6.0788e+00	7.9487e-01	2.1065e+02
18.4105	8.4157e-01	5.5195e+02	1.1535e-02	2.5062e+00	4.8723e-01	1.0586e+02
23.3302	8.6539e-01	5.5604e+02	3.9634e-03	6.7952e-01	2.1173e-01	3.6301e+01
32.9630	9.3659e-01	5.6468e+02	5.3715e-03	6.5182e-01	4.0214e-01	4.8799e+01
57.5896	9.8445e-01	5.6800e+02	1.3295e-03	9.2343e-02	1.7040e-01	1.1836e+01
158.4329	1.0866e+00	5.7058e+02	6.1650e-04	1.5565e-02	2.0265e-01	5.1163e+00

BJH adsorption summary

Surface Area =	570.581 m²/g
Pore Volume =	1.087 cc/g
Pore Diameter Dv(d) =	4.421 nm

Gambar 3 *Surface area* karbon setelah *pre-treatment*



average pore size - Notepad

File Edit Format View Help

```
                    Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction
                                    for NOVA instruments
                            ©1994-2007, Quantachrome Instruments
                                      version 10.01

Analysis                                        Report
Operator:ITS                Date:2018/06/05     Operator:ITS                Date:6/5/2018
Sample ID:  Rahadian            Filename:       C:\QCdata\Physisorb\2018\18060501 Karbon aktif setelah pre treatment.qps
Sample Desc:   Serbuk           Comment:        5 Juni 2018
Sample weight: 0.00373 g        Sample Volume: 0 cc
Outgas Time:   3.0 hrs          OutgasTemp:     300.0 C
Analysis gas:  Nitrogen         Bath Temp:      77.3 K
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)Equil time: 120/120 sec (ads/des)Equil timeout:240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 311.6 min        End of run:     2018/06/05 12:40:50 Instrument:    Nova Station A
Cell ID:        9
Adsorbate       Nitrogen            Temperature    77.350K
                Molec. Wt.: 28.013  g   Cross Section: 16.200  Å²     Liquid Density: 0.808  g/cc


                                    Average Pore Size summary

                Average pore Diameter =   2.56394e+00 nm
```

Gambar 4 Rata-rata diameter pori karbon setelah *pre-treatment*

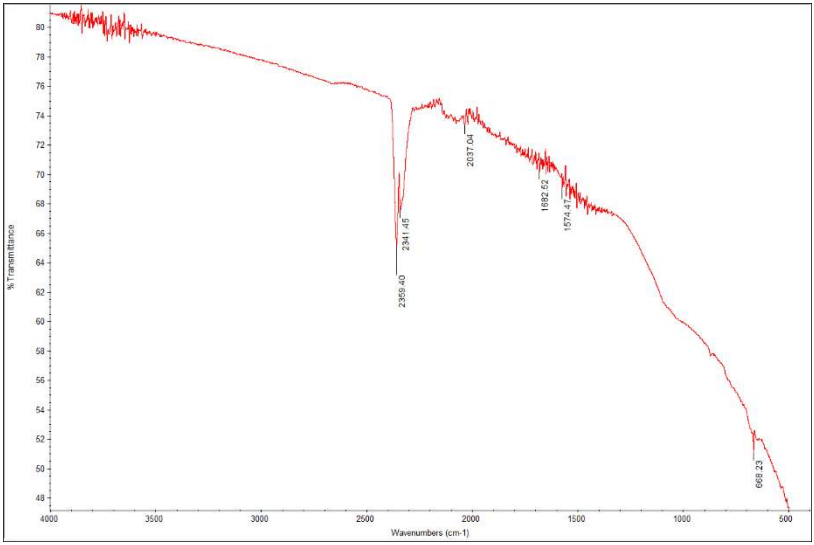
APPENDIKS D

Hasil Analisis

Fourier Transform Infrared Spectorscopy

(FTIR)

1. Setelah Hidrofilikasi



RIWAYAT HIDUP PENULIS I

Muhammad Ibrahim Dzakir, penulis kelahiran Surabaya, 2 April 1996. Kini berdomisili di Kab. Bogor, Jawa Barat. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya SD Islam Terpadu Al-Marjan, SMP Islam Al-Azhar 8 dan SMA Negeri 81 Jakarta. Selama menempuh pendidikan S-1 di Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Penulis aktif di beberapa organisasi di Departemen Teknik Kimia ITS, diantaranya sebagai Head of Chemical Engineering English Club, Kepala Biro Rumah Tangga Kajian Islam Nurul Ilmi (KINI) Teknik Kimia ITS dan Staff Education and Student Prosperity Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia ITS (HIMATEKK ITS). Penulis berpengalaman kerja praktik di PT Pupuk Kalimantan Timur pada tahun Juli – September 2017. Pada akhir studi, penulis memilih Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa tugas akhir Pra Desain Pabrik dengan judul, **"Pabrik Ethylene dari Gas Alam"** dan skripsi dengan judul, **"Pengembangan Proses Regenerasi Material Hibrida Karbon Silika sebagai Solid Desiccant dalam Biogas Dehydration Unit".**

Biodata Penulis I

Nama : Muhammad Ibrahim Dzakir
TTL : Surabaya, 2 April 1996
Alamat : Vila Nusa Indah U 10/21, Gunung Putri, Kab. Bogor
No. HP : 0813 8462 6140
Email : ibrahim.dzakir@gmail.com

RIWAYAT HIDUP PENULIS 2

Ariobimo Rajio, penulis kelahiran Jakarta, 2 Januari 1996. Kini berdomisili di Jakarta. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya SDI Al-Chasanah, SMP Negeri 75 Jakarta dan SMA Negeri 78 Jakarta. Selama menempuh pendidikan S-1 di Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Penulis aktif di beberapa organisasi di Departemen Teknik Kimia ITS, diantaranya sebagai Staff of Competency Development HIMATEKK FTI-ITS, Head of Competition Training Division SPE ITS SC dan Staff Grand Seminar AIChE ITS SC. Penulis berpengalaman kerja praktik di PT Semen Tonasa pada tahun Juli – Agustus 2017. Pada akhir studi, penulis memilih Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa tugas akhir Pra Desain Pabrik dengan judul, **"Pabrik Ethylene dari Gas Alam"** dan skripsi dengan judul, **"Pengembangan Proses Regenerasi Material Hibrida Karbon Silika sebagai Solid Desiccant dalam Biogas Dehydration Unit".**

Biodata Penulis 2

Nama : Ariobimo Rajio
TTL : Jakarta, 2 Januari 1996
Alamat : Pademangan III GG. 7 No. 18
No. HP : 0821 3903 9875
Email : ariobimorajio@gmail.com