



**PENYISIHAN GAS H₂S DARI BIOGAS DENGAN METODE ADSORPSI
MENGUNAKAN ADSORBEN KARBON AKTIF
TEMPURUNG KELAPA**

SKRIPSI

Oleh:
Muhammad Ilham Fahruzi
NIM 141810301025

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**PENYISIHAN GAS H₂S DARI BIOGAS DENGAN METODE ADSORPSI
MENGUNAKAN ADSORBEN KARBON AKTIF
TEMPURUNG KELAPA**

SKRIPSI

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

Oleh
Muhammad Ilham Fahruzi
NIM 141810301025

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Ibu Faqih Shuviyati dan Bapak Drs. Junaidi yang senantiasa memberikan doa, cinta, kasih sayang, pengorbanan, kesabaran, keikhlasan, bimbingan, didikan, nasehat, teladan, perjuangan dan atas segala yang telah diberikan dengan tulus ikhlas kepada saya hingga saya bisa meraih semua ini.
2. Adik tersayang Siti Alvia Hafsyoh yang telah memberikan dukungannya.
3. Bapak dan Ibu guru di SDN 1 Asembagus, SMPN 1 Asembagus, dan SMAN 1 Asembagus, serta dosen-dosen di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, mendidik, dan membimbing dengan penuh kesabaran.
4. Sahabat Lanang Cupu Majesty 2014 Adit, Ricard, Hisyam, Nuke, Hendra, Jamal, dan Evan yang telah memberikan suatu pengalaman, lelucon, bantuan, saran, kenangan yang indah dan banyak lagi lainnya.
5. Adit, Mbak Diah, Mbak Alifa, Mbak Lilis, Vida yang telah banyak membantu dalam penelitian saya.
6. Teman Seperjuangan Majesty Kimia 2014 terimakasih atas semua bantuan, semangat dan Do'a kalian semua.
7. Semua pihak yang telah berkontribusi namun tidak dapat disebutkan satu persatu.

MOTO

والآخرين لأنفسهم مفيد العلم جعل

“Jadikanlah ilmu berguna bagi diri sendiri dan orang lain”*)

لَا تُؤَخِّرْ عَمَلَكَ إِلَى الْغَدِ مَا تَقْدِرُ أَنْ تَعْمَلَهُ الْيَوْمَ

“Janganlah mengakhirkan pekerjaanmu hingga esok hari, kalau kamu dapat mengejarkannya hari ini“(Abdul Basith*)



*) *Kitab Al-Muntakhabat fi Rabit al-Qalbiyyah wa Silat al-Ruhiyyah* Karya Hadrat al-Shaikh KH. Ahmad Asrari Al Ishaqi R.A.

**) Basith, Abdul. 2002. *Mahfudzot Edisi ke 2*. HM. Muslih Umar.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Ilham Fahruzi

NIM : 141810301025

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Penyisihan Gas H₂S dari Biogas dengan Metode Adsorpsi menggunakan Adsorben Karbon Aktif Tempurung Kelapa” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 Januari 2019

Yang menyatakan,

Muhammad Ilham Fahruzi
NIM 141810301025

SKRIPSI

**PENYISIHAN GAS H₂S DARI BIOGAS DENGAN METODE ADSORPSI
MENGUNAKAN ADSORBEN KARBON AKTIF TEMPURUNG
KELAPA**



Oleh
Muhammad Ilham Fahuza
NIM 141810301025

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Asnawati, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Dwi Indarti, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Penyisihan Gas H₂S dari Biogas dengan Metode Adsorpsi menggunakan Adsorben Karbon Aktif Tempurung Kelapa” karya Muhammad Ilham Fahrudi; Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas
Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

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

Dwi Indarti, S.Si.,M.Si.
NIP.197409012000032004

Anggota II,

Anggota III,

Tanti Haryati, S.Si., M.Si.
NIP. 198010292005012002

Suwardiyanto, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197501191998021001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Drs. Sujito, Ph.D.
NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

Penyisihan Gas H₂S dari Biogas dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Adsorben Karbon Aktif Tempurung Kelapa Muhammad Ilham Fahruzi; 2019; 65 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Biogas adalah salah satu sumber energi terbarukan yang berasal dari bahan organik yang didegradasi secara anaerobik oleh bakteri dalam lingkungan bebas oksigen. Komponen utama dari biogas yaitu metana (CH₄) dan karbondioksida (CO₂). Selain itu terdapat gas lain yang jumlahnya relatif kecil, yaitu nitrogen (N₂), hidrogen sulfida (H₂S) dan hidrogen (H₂). Pemanfaatan biogas selain untuk keperluan rumah tangga seperti masak, biogas juga digunakan untuk lampu penerangan dan bahan bakar mesin gas (*gas engine*) untuk pembangkit listrik. Kualitas biogas yang masih belum optimal tersebut dapat ditingkatkan dengan menghilangkan atau menyisihkan gas-gas *impurities*, salah satunya hidrogen sulfida (H₂S). Hidrogen sulfida (H₂S) merupakan gas beracun dan berbau serta menyebabkan korosi, sehingga perlu dikurangi keberadaannya dalam biogas. Biogas dapat dikurangi atau disisihkan dengan metode adsorpsi menggunakan karbon aktif. Karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini adalah karbon aktif tempurung kelapa.

Penyisihan gas H₂S dari biogas menggunakan kolom adsorpsi berisi karbon aktif. Larutan penangkap gas H₂S yang digunakan yaitu larutan SAOB. Larutan SAOB ini mencegah spesi S²⁻ berubah menjadi HS⁻ ataupun terbentuk kembali menjadi gas H₂S. Massa S²⁻ awal dari biogas ditentukan pertama kali tanpa melewati kolom adsorpsi dan telah ditentukan laju alirnya, kemudian akan ditangkap oleh larutan SAOB dan direaksikan dengan reagen FeCl₃ dan larutan N,N-Dimethyl-1,4-Phenylene Diamine sehingga terbentuk kompleks metilen biru. Deteksi kompleks metilen biru tersebut dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis.

Penyisihan gas H₂S dilakukan dengan variasi ukuran partikel karbon aktif, variasi laju alir biogas. Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada variasi ukuran partikel karbon aktif, diperoleh ukuran maksimal untuk partikel sebesar 50-60 mesh dengan massa S²⁻ sisa sebesar $0,61 \times 10^{-2}$ mg. Penyisihan gas H₂S untuk variasi laju alir biogas terletak pada kecepatan maksimal 0,75 L/menit pada ukuran partikel 50-60 mesh dengan massa S²⁻ sisa sebesar $0,32 \times 10^{-2}$ mg. Semakin kecil kecepatan laju alir, maka semakin kecil juga nilai massa S²⁻ sisa yang didapatkan. Variasi ukuran partikel karbon aktif dan laju alir biogas maksimal digunakan untuk menentukan pengaruh modifikasi karbon aktif oleh larutan K₂CO₃ dan menentukan kemampuan adsorpsi massa adsorben terhadap waktu adsorpsi. Pengaruh modifikasi karbon aktif memiliki daya serap yang lebih tinggi 6 kali dari karbon aktif yang tidak dimodifikasi. Kemampuan adsorpsi pada variasi massa adalah semakin besar massa adsorben yang digunakan maka waktu adsorpsi menyerap gas H₂S juga semakin lama.

PRAKATA

Alhamdulillah atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Penyisihan Gas H₂S dari Biogas dengan Metode Adsorpsi menggunakan Adsorben Karbon Aktif Tempurung Kelapa”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

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

1. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Dr. Bambang Piluharto, S.Si.,M.Si., selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
3. Kepala Laboratorium Kimia Analitik, Kepala Laboratorium Kimia Fisik dan Kepala Laboratorium Kimia Organik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
4. Kepala Direktur Yayasan Prakarsa Swadaya Masyarakat (YPSM) dan Seluruh Jajarannya yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini;
5. Asnawati, S.Si.,M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dwi Indarti, S.Si.,M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membimbing, meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam penulisan skripsi ini serta Tanti Haryati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji I dan Suwardiyanto, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu untuk menguji serta memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
6. Dr. Donatus Setyawan P.H., S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik;
7. Tri Mulyono S.Si., M.Si., yang telah meluangkan waktunya guna membimbing dalam penelitian ini;
8. Segenap dosen pengajar jurusan kimi FMIPA Universitas Jember;

Penulis berharap, semoga setiap kalimat yang ada dalam skripsi ini dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan bagi pembaca.

Jember, Januari 2019

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
HALAMAN PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Biogas	5
2.2 Karbon Aktif	7
2.3 Adsorpsi	10
2.2.1 Jenis-jenis adsorpsi	11
2.2.2 Faktor-faktor adsorpsi	12
2.4 Adsorpsi Biogas Dengan Karbon Aktif	14
2.5 Sulfide Anhidride Oxidant Buffer (SAOB)	15
2.6 Spektrofotometer UV –Vis	16
BAB 3. METODELOGI PENELITIAN	19
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.2.1 Alat	19
3.2.2 Bahan	19
3.3 Diagram Alir Penelitian	20
3.4 Prosedur Penelitian	21
3.4.1 Desain alat penyisihan gas H ₂ S	21
3.4.2 Penampungan Biogas	22
3.4.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	22
3.4.4 Pembuatan larutan larutan	23
3.4.5 Standarisasi larutan standart S ²⁻ 1000 ppm	25
3.4.6 Pembuatan kurva kalibrasi	25
3.4.7 Optimasi ukuran partikel karbon aktif tempurung kelapa	26

3.4.8	Proses optimasi laju alir dengan optimasi ukuran partikel karbon aktif	26
3.4.9	Proses analisis gas H ₂ S	26
3.4.10	Penentuan konsentrasi awal gas H ₂ S	27
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1	Pengaruh Ukuran Partikel Karbon Aktif Terhadap Gas H₂S dalam Biogas.....	29
4.2	Pengaruh Laju Alir Biogas Terhadap Kemampuan Adsorpsi Gas H₂S	30
4.3	Perbandingan Modifikasi Karbon Aktif dan tidak Termodifikasi	32
4.4	Kemampuan Adsorpsi Massa Adsorben Karbon Aktif Terhadap Waktu Asorpsi.....	34
BAB 5.	PENUTUP	37
5.1	Kesimpulan	37
5.2	Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	46

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Morfologi permukaan karbon aktif pada pembesaran 4000x	7
2.2 Struktur kimia karbon aktif	8
2.3 Struktur fisika karbon aktif	9
2.4 Rangkaian proses penyisihan biogas	11
2.5 Reaksi pembentukan metiten biru dari sulfida dengan reagen <i>N,N-dimethyl-p-phenylenediamine dan Fe(III)</i>	16
3.1 Desain alat penyisihan biogas	22
3.2 Skema alat penyisihan biogas	28
4.1 Kuva optimasi ukuran karbon aktif dalam laju alir 2,5 L/menit	30
4.2 Kurva optimasi laju alir gas H ₂ S pada ukuran partikel karbon aktif 50-60 mesh	32
4.3 Hasil gas H ₂ S yang ditangkap oleh SAOB pada mesh 50-60	33
4.4 Perubahan warna larutan SAOB yang menangkap gas H ₂ S	33
4.5 Hubungan antara massa S ²⁻ terserap terhadap waktu untuk perbedaan massa karbon aktif tempurung kelapa pada laju alir optimal 0,75 L/menit	35

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 3.1 Pembuatan larutan-larutan	46
Lampiran 3.2 Penentuan panjang gelombang maksimum.....	48
Lampiran 3.3 Penentuan kurva kalibrasi larutan standart S^{2-} 1000 ppm	49
Lampiran 4.1 Massa S^{2-} awal sisa tanpa melewati kolom adsorpsi	50
Lampiran 4.2 Variasi ukuran partikel karbon aktif dalam laju alir 2.5 L/menit	51
Lampiran 4.3 Variasi Laju Alir pada ukuran partikel 50-60 mesh	53
Lampiran 4.4 Perbandingan karbon aktif termodifikasi dan tidak dimodifikasi.....	54
Lampiran 4.5 Kemampuan Adsorben Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan variasi massa	57

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Biogas dapat menghasilkan 30-40% energi yang bisa dikonversi menjadi energi listrik (Jørgensen, 2009) dan mampu menggantikan gas LPG yang digunakan dalam skala rumah tangga dan industri. Biogas dapat diperoleh dari berbagai limbah dapur (Ojolo, 2007), limbah peternakan atau kotoran sapi (Abdulkareem, 2005) dan limbah sampah sayuran (Felix dkk, 2008). Komponen biogas terdiri dari metana, (CH_4 , 55-75%), karbondioksida (CO_2 , 25-45%), oksigen (O_2 , 0,1-0,5%), nitrogen (N_2 , 0-0,3%), hidrogen sulfida (H_2S , 0-3%), dan hidrogen (H_2 , 0-3%) (Suyitno dkk, 2010). Menurut Elisabeth M. (2010) kandungan H_2S yang tinggi dalam biogas yaitu 10-40 ppm atau 0,001-0,004% dapat menyebabkan korosi terutama pada instalasi peralatan biogas seperti pada pipa-pipa penyalur gas dan pada tabung biogas (Vincent, 2001). Gas H_2S jika ikut terbakar dan terbebas dengan udara dapat teroksidasi menjadi SO_2 dan SO_3 yang bersifat korosif, yang dapat menyebabkan korosi (Suyitno dan Dharmanto, 2010). Oleh sebab itu keberadaan gas H_2S perlu dihilangkan.

Metode-metode penyisihan gas H_2S dalam biogas telah banyak dilakukan dalam penelitian-penelitian sebelumnya, diantaranya yaitu dengan biofiltrasi menggunakan spesies bakteri *acidithiobacillus* (mikroorganisme) yang dapat mengurai suatu gas. Namun teknologi ini memerlukan biaya yang tinggi (Oyarzu'n *et al.*, (2003). Metode lain yang digunakan dalam penyisihan biogas dengan menggunakan membran. Namun penyisihan ini dapat menghasilkan *secondary waste* yang menyebabkan pencemaran lingkungan (Harihastuti N. dkk, 2014). Penyisihan biogas yang lain juga dapat menggunakan metode absorpsi dengan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan karakterisasi 2 pengujian yaitu kromatografi gas dan uji difraksi sinar-X (XRD) (Nadliriyah dan Triwikantoro, 2014). Kelemahan dari metode ini diantaranya membutuhkan energi yang cukup tinggi, menggunakan reagen yang cukup mahal, dan menggunakan katalis yang

membutuhkan perlakuan khusus, sehingga metode ini dinilai kurang efektif terhadap waktu.

Salah satu metode yang diharapkan dapat mengatasi kelemahan tersebut adalah metode adsorpsi dengan karbon aktif. Alwathan dkk. (2013) telah melakukan pengurangan kadar H_2S dari biogas dengan metode adsorpsi. Ukuran partikel adsorben optimal sebesar 14 mesh pada kecepatan biogas 0,5 liter/menit dengan waktu jenuh 90 menit. H_2S yang berhasil teradsorpsi 386,68 mg dengan konsentrasi sebesar 8,59 ppm. Struktur pori-pori internal yang menyebabkan karbon aktif mempunyai sifat sebagai adsorben. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif bergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin luas permukaan pori, maka semakin tinggi daya serapnya (Allport, 1997). Iriani P., dan A. Heryadi (2014) melakukan penelitian tentang pemurnian biogas melalui kolom beradsorben karbon aktif dengan variasi laju alir biogas 0,015; 0,02; 0,025 L/s dan didapatkan laju alir optimal 0,025 L/s. Hasil penelitian menunjukkan efektifitas kolom adsorben paling tinggi adalah 96,03% dengan penggunaan berat adsorben 730 gram.

(Menurut Choo H.S., *et al.*, (2013) adsorpsi gas H_2S dapat menggunakan karbon aktif tempurung kelapa yang membandingkan modifikasi dengan larutan basa, meliputi NaOH, KOH, dan K_2CO_3 . Hasil penelitian menunjukkan karbon aktif tempurung kelapa yang termodifikasi dengan larutan K_2CO_3 dapat mengadsorpsi gas H_2S dengan kemampuan adsorpsi lebih tinggi dari karbon aktif yang tidak dimodifikasi, karena pada permukaan dasar karbon meningkat disosiasi hidrogen sulfida dari HS^- dan H^+ yang kemudian bereaksi dengan basa (K^+ atau Na^+) pada permukaan karbon aktif untuk menghasilkan sulfida, sehingga lebih efektif berikatan oleh molekul basa pada karbon yang telah termodifikasi. Selain itu, Choo H.S., *et al.*, (2013) juga memvariasikan kapasitas adsorpsi dengan membandingkan beberapa massa adsorben karbon aktif dan diperoleh massa optimal sebesar 7,5 gram. Kemampuan adsorpsi meningkat pada banyaknya jumlah karbon aktif yang digunakan (Choo H.S., *et al.*, 2013)

Berdasarkan uraian di atas menunjukkan pentingnya dilakukan penelitian tentang pengaplikasian karbon aktif tempurung kelapa sebagai adsorben dalam proses penyisihan gas H_2S pada biogas. Pengaruh ukuran partikel adsorben karbon aktif tempurung kelapa, laju alir biogas, modifikasi karbon aktif terhadap penyisihan gas H_2S , serta kemampuan adsorpsi massa adsorben terhadap waktu adsorpsi akan diteliti.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan diatas, diperoleh rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh ukuran partikel karbon aktif tempurung kelapa terhadap penyisihan gas H_2S dalam biogas?
2. Bagaimana pengaruh laju alir biogas terhadap penyisihan gas H_2S oleh adsorben karbon aktif tempurung kelapa?
3. Bagaimana perbandingan karbon aktif termodifikasi larutan K_2CO_3 dengan yang tidak termodifikasi terhadap penyerapan gas H_2S dalam biogas?
4. Bagaimana kemampuan adsorpsi massa adsorben terhadap waktu adsorpsi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, didapatkan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari pengaruh ukuran partikel karbon aktif tempurung kelapa terhadap penyisihan gas H_2S dalam biogas.
2. Mengetahui pengaruh laju alir biogas terhadap penyisihan gas H_2S oleh adsorben karbon aktif tempurung kelapa.
3. Mengetahui perbandingan karbon aktif termodifikasi larutan K_2CO_3 dengan yang tidak termodifikasi terhadap sisa penyerapan H_2S dalam biogas.
4. Mengetahui kemampuan adsorpsi massa adsorben terhadap waktu adsorpsi

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Biogas yang digunakan berasal dari limbah kotoran sapi
2. Larutan penangkap H_2S yang digunakan adalah larutan SAOB (*Sulfide Anhydride Oxidant Buffer*).
3. Analisis sulfida dilakukan pada temperatur ruang.
4. Adsorben yang digunakan adalah karbon aktif dengan spesifikasi adalah tempurung kelapa, *granular*, *iodine number* 1062 mg/g, kelembaban 5% (max).
5. Ukuran partikel karbon aktif 8 sampai 60 mesh.
6. Ukuran PVC 0.5 inchi.
7. K_2CO_3 yang dipakai mempunyai konsentrasi larutan [0,3].
8. Kemampuan adsorpsi dilihat dari variasi massa adsorben dengan massa gas H_2S yang terserap terhadap waktu adsorpsi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah menyisahkan gas H_2S dalam biogas yang berguna untuk mencegah terjadinya korosi pipa industri pada skala besar.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biogas

Biogas adalah salah satu bahan bakar non fosil yang bersifat *renewable* yang dapat dijadikan bioenergi alternatif. Biogas diperoleh dari proses fermentasi biomassa yang mengandung karbohidrat dengan bantuan mikroorganismenya. Biogas sangat potensial sebagai bahan bakar karena kandungan metana yang tinggi yaitu sekitar 55-65% (Kismurtono, 2009).

Komposisi biogas yang dihasilkan sangat tergantung pada jenis bahan baku yang digunakan (Wellinger dan Lindenberg, 2000), tetapi komposisi utama dalam biogas adalah CH₄, CO₂, H₂S. Komponen lainnya ditemukan dalam kisaran konsentrasi kecil. Komposisi utama biogas ditunjukkan dalam tabel 2.1

Tabel 2.1 Komponen Utama Biogas

No	Komponen	%
1	Metana (CH ₄)	55-75
2	Karbondioksida (CO ₂)	25-45
3	Nitrogen (N ₂)	0-0.3
4	Hidrogen (H ₂)	1-5
5	Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	0-3
6	Oksigen (O ₂)	0,1-0,5

Sumber: Fadli dkk, 2013.

Proses pembuatan biogas dilakukan secara fermentasi dalam kondisi anaerob dengan bantuan bakteri anaerob dalam suatu digester. Biogas dihasilkan dalam jumlah kualitas baik dengan menjaga pengaturan suhu, kelembaban, dan tingkat keasaman agar bakteri dapat berkembang dengan baik dalam suatu digester (Suyitno dkk, 2010). Semua jenis bahan organik pada umumnya dapat diolah menjadi biogas. Pembuatan biogas yang banyak digunakan di Indonesia adalah bahan organik dari kotoran dan *urine* hewan ternak seperti sapi, beberapa bahan lain yang digunakan adalah dari sampah bio (organik), dan sisa proses pembuatan tahu (Suyitno dkk, 2010).

Proses pembentukan biogas dalam penguraian senyawa organik berlangsung secara bertahap dalam fermentasi anaerob. Dimana setiap tahapannya

akan melibatkan kelompok bakteri yang berbeda yang akan bekerja secara bersinergi antara satu kelompok dengan kelompok lainnya yang akan membentuk konsorsium bakteri (Raskin dkk., 1997). Tahapan-tahapan yang terjadi dalam proses pembentukan biogas adalah sebagai berikut :

a. Proses Hidrolisis

Proses ini adalah tahap awal dari proses fermentasi. Bahan organik kompleks (polimer) di tahap hidrolisis diurai menjadi unit yang lebih kecil (monomer). Penguraian bahan organik dengan senyawa kompleks yang memiliki sifat yang mudah larut seperti lemak, protein, dan karbohidrat menjadi senyawa yang lebih sederhana (Wahyuni, 2013).

b. Proses Asidogenesis

Senyawa-senyawa yang dihasilkan pada tahap hidrolisis akan dikonversi oleh Acidogenic (fermentatif) bakteri ke dalam substrat metanogen. Pada tahap ini bakteri akan menghasilkan senyawa-senyawa asam organik seperti asam butirat, asam asetat, asam laktat dan asam propionat beserta produk sampingan berupa CO₂, zat amonia, hydrogen dan alkohol (Wahyuni, 2013).

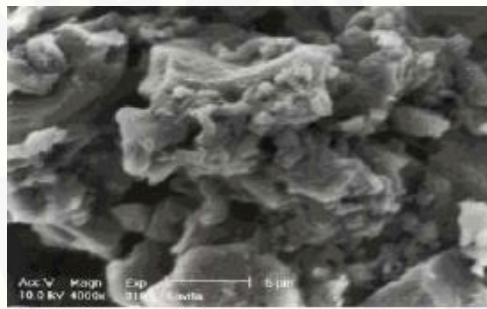
c. Proses Metanogenesis

Proses metanogenesis ini bakteri metanogenik akan mengkonversi asam organik volatil menjadi gas metana dan karbondioksida. 70% dari metana yang terbentuk berasal dari asetat dan 30% sisanya dihasilkan dari konversi hidrogen dan karbondioksida. Bakteri metanogen seperti *methanobacterium*, *methanosarcina*, dan *methanococcus*.

Biogas dapat digunakan sebagai keperluan seperti memasak, penerangan, boiler, pompa air, bahan bakar alternatif dan sebagainya. Biogas mempunyai keunggulan sifatnya yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui dibandingkan energi baku dari fosil. Biogas agar dapat dimanfaatkan dan digunakan untuk bahan bakar kendaraan, perlu proses untuk menghilangkan kandungan karbondioksida, hidrogen sulfida dan air sehingga didapatkan biogas dengan kandungan metan yang lebih tinggi (Wahyuni, 2013).

2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Kvech *et al.* (1998), mengatakan karbon aktif adalah suatu bahan padat yang berpori dan merupakan hasil pembakaran dari bahan karbon melalui proses pirolisis, dari sebagian pori-porinya masih tertutup hidrokarbon, tar dan senyawa organik lain. Komponenya terdiri dari karbon terikat (*fixed carbon*), abu, air, nitrogen, dan sulfur.



Gambar 2.1. Morfologi permukaan karbon aktif pada pembesaran 4000x (Kvech *et al.*, 1998).

Gambar 2.1 adalah morfologi permukaan karbon aktif yang diaktivasi pada suhu 700 °C dengan dikarakterisasi menggunakan SEM. Diameter pori, jumlah pori dan luas permukaan pori pada suhu aktivasi 700 °C sangat besar. Hal ini diakibatkan tumbukan partikel terpecah menjadi lebih besar sehingga menghasilkan pori yang besar yang memiliki daya adsorpsi yang baik (Kvech *et al.*, 1998).

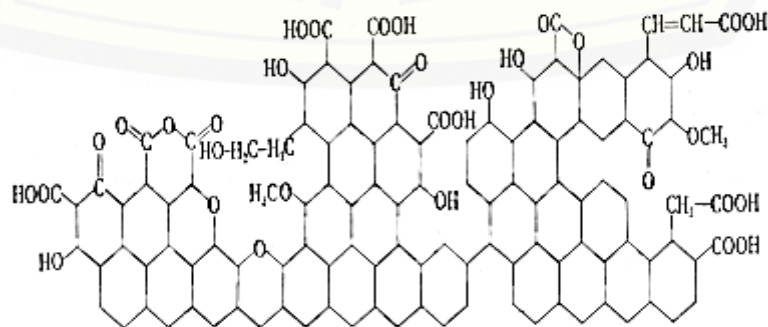
Karbon aktif bersifat hidrobik, molekul pada karbon aktif tidak bisa berinteraksi dengan molekul air. Karbon aktif diperoleh dengan proses aktivasi. Proses aktivasi adalah proses untuk menghilangkan zat-zat pengotor yang melapisi permukaan arang sehingga dapat meningkatkan porositas karbon aktif. Luas permukaan (*surface area*) yaitu salah satu sifat fisik dari karbon aktif. Karbon aktif mempunyai luas permukaan yang besar $1,95 \times 10^6 \text{ m}^2\text{kg}^{-1}$, dengan total volume pori-porinya sebesar $10,28 \times 10^{-4} \text{ m}^3\text{mg}^{-1}$ dan diameter pori rata-rata 21,6 Å, sehingga sangat memungkinkan untuk dapat menyerap adsorbat dalam jumlah yang banyak. Hal ini dikarenakan semakin luas permukaan pori-porinya, maka daya serap semakin tinggi (Allport, 1997). Karbon aktif adalah karbon

amorf dari pelat-pelat datar tersusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya (Hartanto dan Ratnawati, 2010).

Karbon aktif terdiri dari 2 tipe, yaitu karbon aktif sebagai pemucat dan sebagai penyerap uap. Karbon aktif sebagai pemucat, biasanya berbentuk *powder* yang sangat halus berdiameter pori mencapai 1000 Å, digunakan dalam fase gas cair yang berfungsi untuk menghilangkan atau memindahkan zat-zat pengganggu yang menyebabkan warna dan bau yang tidak diharapkan. Karbon aktif sebagai penyerap uap, biasanya berbentuk pellet (granular) yang sangat keras diameter pori berkisar antara 10-200 Å, tipe pori halus, digunakan dalam fase gas yang berfungsi sebagai pemisahan dan pemurnian gas. Karbon aktif sebagai penyerap ini diperoleh dari tempurung kelapa, batu bata, tulang atau bahan baku yang mempunyai struktur keras (Kvech *et al.*, 1998).

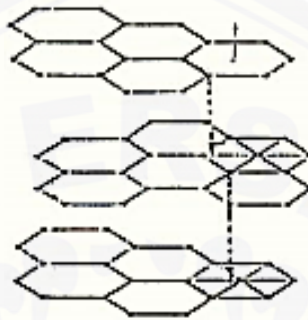
Karbon aktif tidak hanya mengandung karbon, tetapi juga mengandung hidrogen dan oksigen yang secara kimiawi terikat dalam berbagai gugus fungsi seperti gugus-gugus eter, karboksil, karbonil, fenol, lakton dan quinon. Oksida - oksida permukaan tersebut biasanya berasal dari bahan baku atau biasanya terbentuk akibat reaksi dengan uap air dan udara. Oksida-oksida tersebut biasanya bersifat asam sehingga menurun ke karbon aktifnya.

Proses aktivasi oleh interaksi radikal bebas oleh permukaan karbon dengan atom-atom seperti nitrogen dan oksigen dapat membentuk gugus fungsional. Gugus fungsional dapat membuat permukaan karbon aktif reaktif secara kimia dan mempengaruhi sifat adsorbsinya. Struktur kimia karbon aktif dengan gugus fungsionalnya dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Struktur kimia karbon aktif (Sudibandriyo, 2003).

Karbon aktif mempunyai bentuk amorf yang terdiri dari pelat-pelat datar, dimana atom-atom karbonnya tersusun dan terikat secara kovalen dalam kisi heksagonal. Hal tersebut dibuktikan dengan penelitian menggunakan sinar-X yang menunjukkan adanya bentuk-bentuk kristalin yang sangat kecil. Struktur fisik karbon aktif ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur Fisik karbon aktif (Sudibandriyo, 2003).

Tempurung kelapa adalah salah satu bahan dasar yang biasanya digunakan sebagai karbon aktif. Tempurung kelapa yang memiliki kualitas baik yaitu tempurung kelapa yang tua dan kering dengan warna gelap kecoklatan. Tempurung kelapa mempunyai kadar lignin dan kadar selulosa lebih rendah dengan kadar air sekitar 6-9%. Komposisi kimia tempurung kelapa terdiri dari lignin 36,51 %, hemiselulosa 19,27%, dan selulosa 33,61% (Maryono dkk, 2013).

Tempurung kelapa dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif dimana karbon aktif dari tempurung kelapa mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Arang aktif tempurung kelapa adalah arang yang menghasilkan karbon dengan pori-pori lebih terbuka. Arang tempurung kelapa mempunyai permukaan yang luas dan berongga dengan struktur yang berlapis. Hal ini menyebabkan arang tempurung kelapa dapat menyerap gas atau zat lain dalam larutan dan udara (Basuki, dkk 2008). Menurut Cheremisinof (1998), Arang tempurung kelapa dapat menyebabkan molekul gas yang sangat kecil mampu melewatinya. Arang tempurung kelapa adalah penyerap gas dibuat dari tempurung kelapa yang berukuran pori 20 Å.

Arang tempurung kelapa digunakan sebagai adsorben karena (Basuki dkk, 2008) :

1. Mempunyai daya adsorpsi selektif

2. Berpori, sehingga luas permukaan persatuan massa besar
3. Mempunyai daya ikat yang kuat terhadap zat yang dipisahkan secara fisik atau kimiawi

Pori-pori arang tempurung kelapa mempunyai bentuk dan ukuran yang bervariasi dan tidak teratur, berikisr antara 10-10000 Å. Pori-pori ini dapat menangkap dan menjerap partikel-partikel sangat halus (molekul). Zat-zat yang diadsorpsi semakin banyak maka pori-pori akan jenuh sehingga tempurung kelapa tidak akan berfungsi lagi. Arang tempurung kelapa yang telah jenuh dapat direaktifasi kembali meskipun demikian tidak jarang yang disarankan untuk sekali pakai (Basuki dkk, 2008).

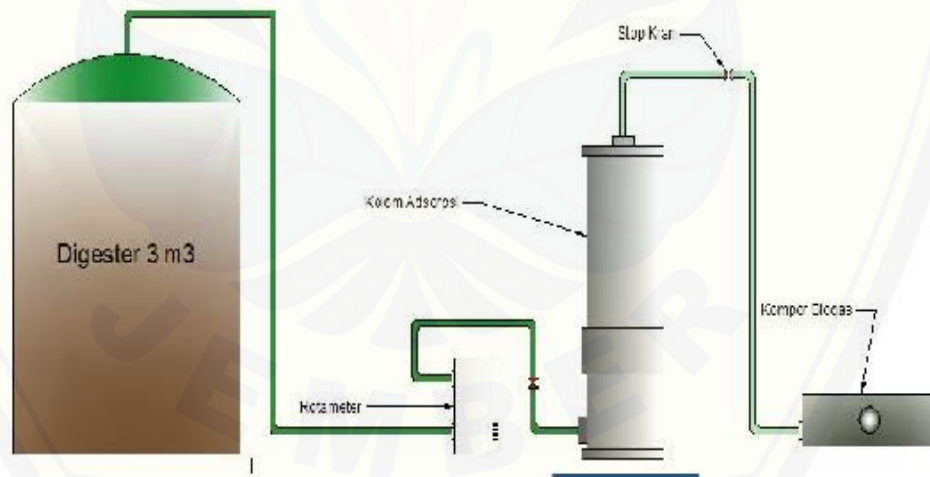
2.3 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses molekul-molekul fluida yang menyentuh dan melekat pada permukaan padatan (Nasruddin, 2005). Adsorpsi merupakan fenomena fisik yang terjadi saat molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan dan sebagian dari molekul-molekulnya mengembun pada permukaan padatan tersebut (Suryawan, 2004). Adsorpsi biasa diartikan sebagai proses yang terjadi ketika gas atau cairan terlarut terakumulasi pada permukaan suatu padatan atau cairan (adsorben) dan membentuk lapisan molekul atau atom (adsorbat).

Proses adsorpsi pada suatu adsorben terutama terjadi pada pori-pori kecilnya (*micropore*). Sementara itu, *macropore* hanya berperan sebagai tempat transfer adsorbat dari permukaan luar *micropore* (Ding dan Bhatia, 2003). Daya serap zat atau adsorben terhadap gas bergantung pada tekanan, karakteristik adsorben, temperatur. Karakteristik adsorben sangat bergantung pada daya serap gas dimana semakin besar permukaan pori suatu adsorben maka semakin baik daya adsorpsi suatu penyerapan. Diameter pori, permukaan pori, dan jumlah pori tergantung pada suhu aktivasi, suhu aktivasi yang besar mengakibatkan tumbukan partikel terpecah menjadi lebih besar sehingga menghasilkan pori yang besar yang memiliki daya adsorpsi yang baik Adsorpsi gas pada permukaan zat padat

menyebabkan terjadinya kesetimbangan antara gas yang terserap dengan gas sisa. Daya serap adsorben dipengaruhi oleh besarnya tekanan dan temperatur. Semakin besar tekanan, semakin banyak pula zat yang diserap, semakin tinggi temperatur untuk adsorpsi fisika, semakin sedikit jumlah zat yang terserap (Ding dan Bhatia, 2003).

Kolom adsorpsi digunakan untuk menempatkan adsorben dan melewati biogas yang akan disisihkan. Kolom adsorpsi pada penyisihan biogas biasanya digunakan pipa PVC atau berupa kolom akrilik. Volume kolom adsorpsi sangat mempengaruhi daya serap gas H_2S . Kolom adsorpsi yang disambungkan pada rotameter atau flowmeter sebagai pengukur kecepatan suatu fluida. Laju alir gas juga sangat berpengaruh terhadap daya serap gas H_2S . Laju alir gas berbanding lurus dengan tekanan gas. Kenaikan tekanan akan memudahkan molekul gas untuk memasuki pori-pori di permukaan. (Iriani P., dan A. Heryadi, 2014). Rangkaian proses penyisihan gas pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rangkaian proses penyisihan biogas (Iriani dan Ari, 2014).

2.3.1 Jenis-jenis Adsorpsi

Berdasarkan interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dibagi menjadi dua jenis, yaitu (Murti, 2008):

- a. Adsorpsi Fisika (*Physisorption*)

Adsorpsi fisika merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya *Van der waals*. Gaya tarik menarik pada adsorpsi fisika antara molekul fluida dengan molekul pada permukaan padatan (intermolekular) lebih kecil dari pada gaya tarik-menarik antar molekul fluida tersebut sehingga gaya tarik-menarik antara adsorbat dengan permukaan adsorben relatif lemah. Pada adsorbat fisika, adsorbat tidak terikat kuat dengan permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lainnya dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat yang satu dapat digantikan oleh adsorbat lainnya (*multilayer*) (Murti, 2008).

Proses adsorpsi disertai dengan pengeluaran panas dengan prinsip *Le Chatelier*. Panas yang terjadi atau dikeluarkan pada peristiwa adsorpsi disebut panas adsorpsi. Panas adsorpsi fisik umumnya rendah yaitu (5-10 kkal/ gr mol gas) dan terjadi pada temperatur rendah yaitu dibawah temperatur didih adsorbat. Hal ini menyebabkan kesetimbangan dari proses adsorpsi fisik reversibel dan berlangsung sangat cepat. Proses adsorpsi fisik terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah, yaitu dengan cara pemanasan pada temperatur 150-200 °C selama 2-3 jam (Murti, 2008).

b. Adsorpsi Kimia (*Chemisorption*)

Adsorpsi kimia adalah adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kovalen dan ion antara molekul-molekul adsorben dan adsorbat. Adsorpsi kimia melibatkan ikatan koordinasi sebagai hasil penggunaan bersama pasangan elektron oleh padatan (adsorben) dan adsorbat (Rahmawati, 2012). Adsorpsi kimia diawali dengan adsorpsi fisik dimana adsorbat mendekati ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau ikatan hidrogen kemudian diikuti oleh adsorpsi kimia. Pada adsorpsi kimia, adsorbat melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan yang biasanya adalah ikatan kovalen (Murti, 2008).

2.3.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi

Sifat yang mempengaruhi daya serap sifat adsorpsi dari karbon aktif.

Menurut Bahl *et al.* (1997). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi karbon aktif yaitu (Suryawan, 2004) :

1. Tekanan

Tekanan yang dimaksud adalah tekanan adsorbat. Kenaikan tekanan adsorbat dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi.

2. Laju alir gas

Laju alir suatu gas sangat mempengaruhi daya serap suatu adsorpsi karbon aktif. Laju alir gas yang besar sangat memudahkan molekul gas untuk memasuki pori-pori di permukaan. Hal ini membantu pemurnian gas H₂S pada pori-pori sehingga adsorpsi akan semakin besar.

3. Temperatur absolut

Temperatur yang dimaksud adalah temperatur adsorbat. Pada saat molekul-molekul gas atau adsorbat melekat pada permukaan adsorben, akan terjadi pembebasan sejumlah energi yang dinamakan peristiwa eksotermis. Temperatur yang turun akan menambah jumlah adsorbat yang teradsorpsi demikian juga untuk peristiwa sebaliknya.

4. Interaksi Potensial

Interaksi potensial antara adsorbat dengan dinding adsorben sangat bervariasi, tergantung dari sifat adsorbat-adsorben.

5. Jenis Adsorbat

a. Ukuran molekul adsorbat

Distribusi ukuran molekul adsorbat yang masuk dalam partikel adsorben akan dipengaruhi oleh distribusi ukuran pori.

b. Kepolaran zat

Adsorpsi lebih kuat terjadi pada molekul polar dibandingkan non polar. Molekul polar lebih teradsorpsi terlebih dahulu dibandingkan molekul non polar pada kondisi diameter yang sama.

6. Karakteristik adsorben

a. Kemurnian adsorben

Sebagai zat untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan karena kemampuan adsorpsi lebih baik.

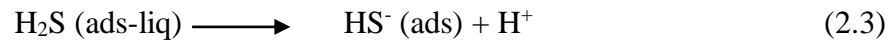
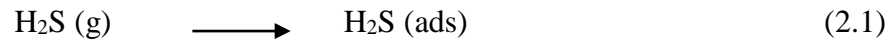
b. Luas permukaan dan volume pori adsorben

Luas permukaan berhubungan dengan struktur pori. Semakin kecil pori-pori arang aktif, mengakibatkan luas permukaan semakin besar dan semakin banyak adsorbat yang diserap, sehingga proses adsorpsi dapat semakin efektif. Kapasitas adsorpsi total dari suatu adsorbat tergantung pada luas permukaan total adsorbennya. Jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben. Jadi semakin halus suatu adsorben, maka adsorpsinya semakin besar (Suryawan, 2004).

2.4 Adsorpsi Biogas Dengan Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang dapat mengadsorpsi gas H_2S . Prinsip penyerapan atau adsorpsi gas H_2S menggunakan karbon aktif didasarkan pada interaksi fisik antara pori-pori karbon ikatan rangkap dan gugus-gugus fungsi yang mempunyai momen dipol parsial positif dan negatif dengan molekul gas H_2S . Alwathan (2013), menyatakan bahwa molekul dan atom dapat menempel pada permukaan dengan dua cara yaitu secara adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisik gaya yang menyebabkan adsorpsi fisik adalah gaya *van der waals* antara adsorben dengan zat yang teradsorpsi, selain itu adsorpsi terjadi pada permukaan padatan karena adanya gaya elektrostatik (Taufan, 2008). Karbon aktif merupakan molekul yang berifat polar (Kvech *et al.*, 1998) dan H_2S merupakan molekul yang bersifat polar, sehingga keduanya dapat berinteraksi secara *van der waals* yaitu dipol permanen antar satu sama lain. Gaya *van der waals* dapat terjadi dari interaksi antara molekul polar dan polar (Taufan, 2008).

Modifikasi karbon aktif menggunakan K_2CO_3 menyebabkan terbentuknya interaksi fisik antara karbon dan K_2CO_3 . Hal ini menyebabkan delokalisasi elektron sehingga karbon aktif bersifat basa. Karbon aktif mengadsorpsi gas H_2S dapat dengan adsorpsi kimia sebagai reaksi utama dan adsorpsi fisik. Gas H_2S ditransfer pada permukaan atau pori-pori karbon aktif, sehingga H_2S teradsorpsi pada permukaan karbon aktif. Persamaan reaksinya adalah:



Adsorpsi kimia gas H_2S bereaksi dengan alkali pada permukaan karbon. Salah satu contoh mekanisme reaksi H_2S dengan basa K_2CO_3 pada reaksi dibawah ini :



Ket : $\text{K}_2\text{CO}_3 \text{ (aq)-C}$ adalah K_2CO_3 modifikasi pada karbon aktif.

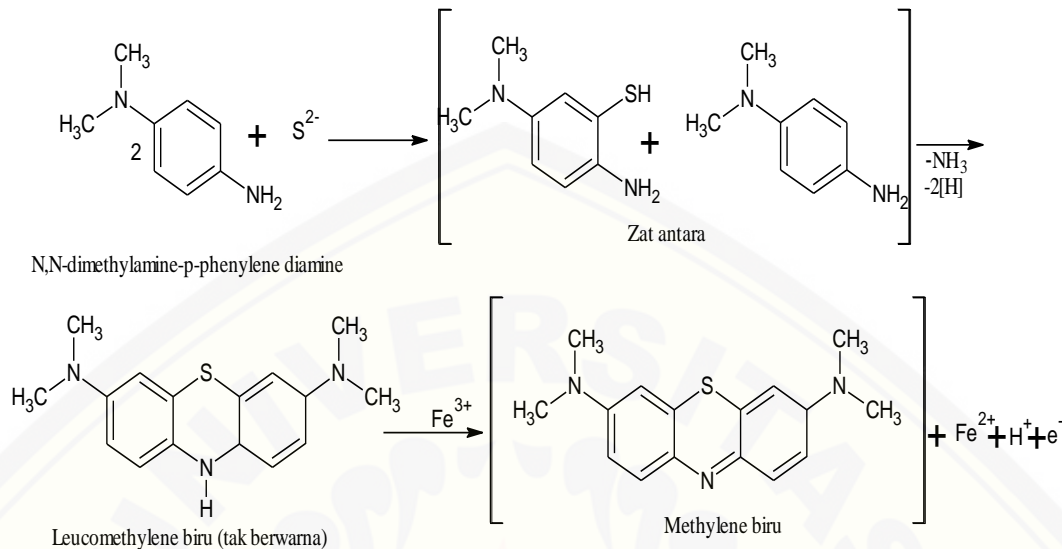
Karbon aktif yang dimodifikasi dengan K_2CO_3 mampu bereaksi dengan molekul H_2S lebih dari satu (Choo H.S., *et al.*, 2013).

2.5 Larutan SAOB (*Sulfide Anhydride Oxidant Buffer*)

Larutan SAOB (*Sulfide Anhydride Oxidant Buffer*) adalah larutan buffer untuk mencegah oksidasi sulfida. Larutan SAOB memiliki pH sekitar 13,57 agar dapat mengubah H_2S ataupun HS^- terlarut menjadi S^{2-} . Larutan ini dapat digunakan sebagai *carrier* dan penyesuaian ion pada penelitian *monitoring* hidrogen sulfida dan sulfida dalam sistem alir terotomatisasi (Redondo *et al.*, 2008). Larutan SAOB merupakan larutan golongan antioksidan yang terbuat dari, Na_2EDTA (67 gram/L) yang berfungsi mengikat sisi S^{2-} agar tidak bereaksi kembali dengan H^+ . Sodium Hidroksida (NaOH) (80 gram/L) berfungsi sebagai mempertahankan pH dalam kondisi basa, dan asam askorbat (35 gram/L) sebagai pengikat H^+ agar tidak bereaksi lagi dengan S^{2-} . Larutan-larutan tersebut ditambahkan pada sampel dengan perbandingan volume 1:1. Antioksidan adalah suatu molekul yang dapat mencegah atau memperlambat proses oksidasi molekul lain (ASTM, 1987).

Pembentukan metilen biru yang diperoleh dari sulfida dengan SAOB yang bereaksi dengan *N,N*-dimethyl-*p*-phenylenediamine dan FeCl_3 . FeCl_3 akan mengoksidasi reagen DMPD (*N,N*-dimethyl-*p*-phenylenediamine) terlebih dulu untuk membentuk senyawa intermediet, kemudian membentuk zat warna

phenothiazinium metilen biru karena direduksi oleh sulfida (Boltz dan Howell, 1978). Reaksi pembentukan metilen biru dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Reaksi pembentukan metilen biru dari sulfida dengan DMPD dan Fe(III) (Yuan and Kuriyana, 2000).

Kubáň *et al.* (1992) meneliti reaksi tersebut dan membuktikan bahwa kinetika dan produk yang dihasilkan bergantung pada konsentrasi reagen, perbandingan Fe(III) dengan DMPD dan waktu reaksi. Kompleks metilen biru berwarna biru dapat dideteksi dengan spektrofotometri visibel (Silva, 2001).

2.6 Spektrofotometri UV-Visibel

Spektrofotometri UV-Vis adalah salah satu teknik analisis spektroskopi yang memakai sumber radiasi elektromagnetik *ultraviolet* (UV) (190-380 nm) dan sinar tampak atau visibel (vis) (380-780) dengan memakai instrumen spektrofotometer. Spektrofotometer UV-Vis melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometri UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif daripada kualitatif (Mulja dan Suharman, 1995). Spektrofotometri terdiri atas spektrometer dan fotometer. Spektrometer dapat menghasilkan sumber sinar dari spektrum dengan panjang gelombang yang spesifik dan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi. Spektrofotometer tersusun atas sumber

spektrum yang kontinyu, monokromator, sel pengabsorpsi untuk larutan sampel atau blanko dan suatu alat untuk mengukur perbedaan absorpsi antara blanko dan sampel ataupun pembanding (Khopkar, 1984).

Tabel 2.2 Spektrum Cahaya Tampak dan Warna Komplementer

Panjang Gelombang (nm)	Warna yang diserap	Warna Komplementer
400-435	Violet	Kuning-Hijau
435-480	Biru	Kuning
480-490	Hijau-Biru	Orange
490-500	Biru-Hijau	Merah
500-560	Hijau	Ungu
560-580	Kuning-Hijau	Violet
580-595	Kuning	Biru
595-610	Orange	Hijau-Biru
610-750	Merah	Biru-hijau

Sumber : Day dan Underwood, 2002.

Prinsip metode spektrofotometri didasarkan adanya interaksi antara gelombang cahaya (foton) dengan atom atau molekul. Energi cahaya diserap oleh molekul atau atom dan digunakan oleh elektron di dalam molekul atau atom tersebut untuk bertransisi ke tingkat energi sesuai dengan energi cahaya (foton) atau $\Delta E = E_1 - E_2$ (Skoog *et al.*, 2012). Metode spektrofotometri ini spesifik untuk warna komplementer dan warna yang diserap menurut kisaran panjang gelombangnya. Warna-warna yang diserap dengan warna komplementernya menunjukkan selektivitasnya terhadap panjang gelombang tertentu yang dapat ditunjukkan dalam tabel 2.2.

Prinsip kerja dari alat ini adalah cahaya yang berasal dari lampu wolfram yang bersifat polikromatis diteruskan melalui lensa menuju ke monokromator pada spektrofotometer dan filter cahaya pada fotometer. Monokromator kemudian akan mengubah cahaya polikromatis menjadi cahaya monokromatis (tunggal). Berkas-berkas cahaya dengan panjang tertentu akan dilewatkan pada sampel yang mengandung suatu zat dalam konsentrasi tertentu. Oleh sebab itu, terdapat yang diserap (diadsorpsi) dan ada juga yang dilewatkan. Cahaya yang dilewatkan ini kemudian diterima oleh detektor. Dektor akan menghitung cahaya yang diterima dan mengetahui cahaya yang diserap oleh sampel. Cahaya yang diserap sebanding dengan konsentrasi zat yang terkandung dalam sampel sehingga akan diketahui

konsentrasi zat dalam sampel secara kuantitatif.

Hukum Lambert-Beer adalah hukum yang menyatakan jumlah radiasi dan sinar tampak ultraviolet dan cahaya lain yang ditransmisikan oleh suatu larutan. Berdasarkan Hukum Lambert-Beer, absorbansi berbanding lurus dengan ketebalan sel yang disinari dan serapan berbanding lurus dengan konsentrasi ketebalan sel. Persamaan Hukum Lambert-Beer dapat dinyatakan dalam persamaan 2.6:

$$A = a \cdot b \cdot C \text{ atau } A = \epsilon \cdot b \cdot C \quad (2.6)$$

Keterangan :

A = absorbansi (serapan)

a = absorptivitas ($\text{g}^{-1} \text{cm}^{-1}$)

b = tebal larutan (tebal kuvet diperhitungkan juga umumnya 1 cm)

C = konsentrasi larutan (g L^{-1})

ϵ = absorptivitas molar ($\text{M}^{-1} \text{cm}^{-1}$)

(Khopkar, 2010).

Berdasarkan hukum Lambert-Beer, persamaan yang digunakan untuk menghitung banyaknya cahaya yang hamburkan yaitu :

$$T = \frac{I_t}{I_0} \text{ atau } \%T = \frac{I_t}{I_0} \times 100 \% \quad (2.7)$$

dan absorbansi dinyatakan dengan persamaan:

$$A = -\log T = -\log \frac{I_t}{I_0} \quad (2.8)$$

Keterangan :

I_0 = intensitas cahaya masuk

I_t = intensitas sinar diteruskan

(Skoog *et al.*, 2012).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analitik dan Laboratorium Biokimia Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Pelaksanaan penelitian pada bulan Mei sampai Oktober 2018.

3.2 Alat dan Bahan

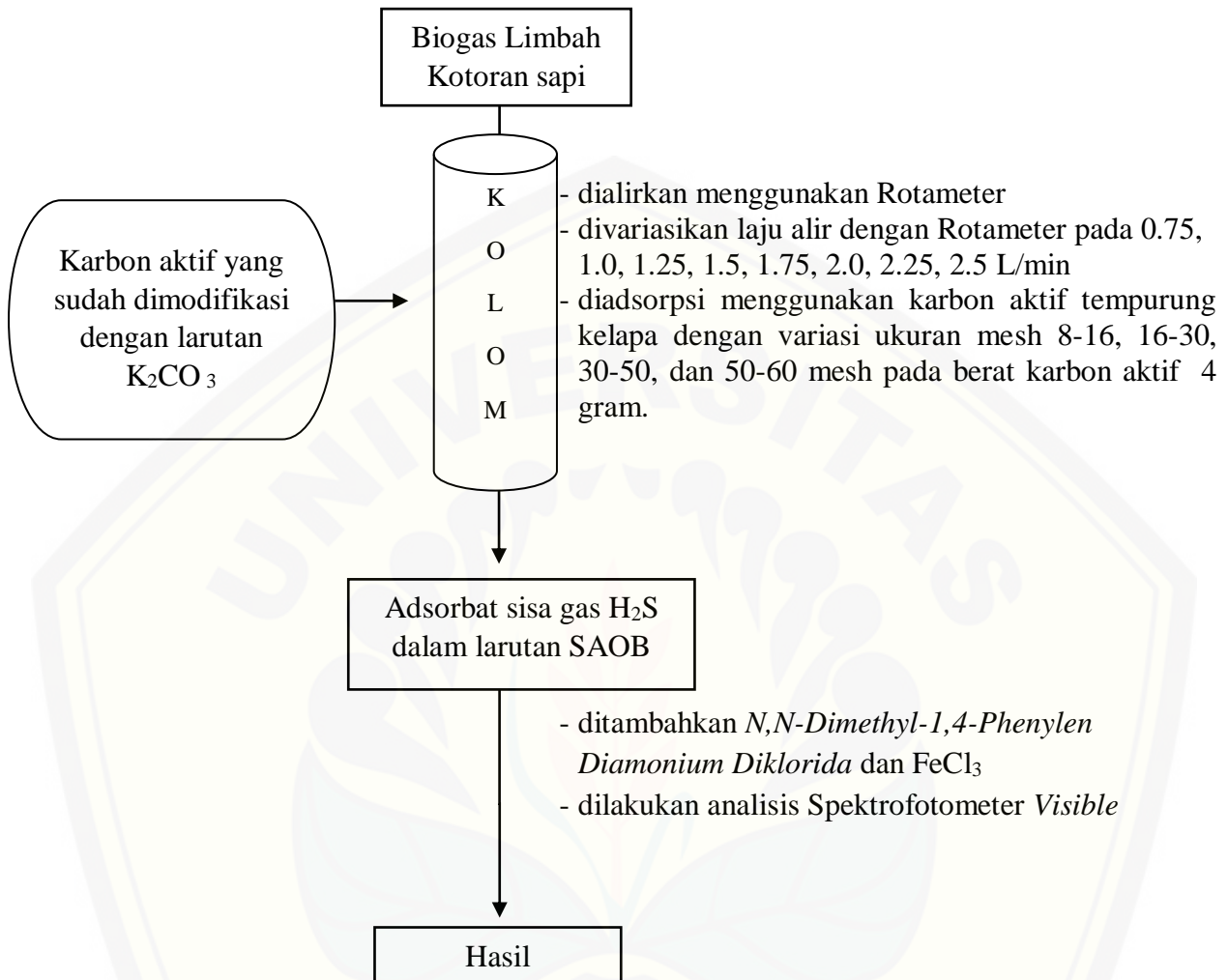
3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas beaker 50 mL, labu ukur 10 mL; 50 mL; 100 mL, gelas ukur 10 mL; 50 mL, pipet tetes, pipet *mohr* 1 mL; 10 mL, corong gelas, spatula, ball pipet, gelas arloji, erlenmeyer 25 mL, batang pengaduk, botol semprot, spektrofotometer UV-VIS (model 752), kuvet (GB-T2671), ban dalam mobil, selang (pipa), Rotameter flowmeter udara panel + control (0,5-3 L/menit), gergaji pipa, pipa PVC 0.5 inchi, penutup pipa Napple drat, botol vial, dan *shaker*

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah biogas dari limbah kotoran sapi, karbon aktif tempurung kelapa (*iodine number* 1062 mg/g), akuades, kristal NaOH 95% (E Merck; 99%), asam askorbat 99% (E Merck), Na₂S.9H₂O (E Merck; 99%), larutan *N,N-Dimethyl-1,4-Phenylene Diamonium Diklorida* 99% (E Merck), FeCl₃.6H₂O 99% (E Merck), H₂SO₄ (E Merck; 98%), kristal KI (E Merck; 99.9%), kristal KIO₃ (E Merck), indikator amilum (tepung kanji), K₂CO₃, *Glasswool* dan Na₂-EDTA (E merck).

3.3 Diagram Alir Penelitian



3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1 Desain Alat Penyisihan Gas H₂S



Gambar 3.1 Desain alat penyisihan gas H₂S dari Biogas

Keterangan:

- | | |
|-------------------------------------|----------------------|
| 1. Pipa U (Mengatur tekanan biogas) | 4. Selang penghubung |
| 2. Ban dalam mobil | 5. Kolom Adsorpsi |
| 3. Rotameter | |

Gambar 3.1 merupakan gambar rangkaian alat yang digunakan dalam proses penyisihan gas H₂S. Sumber gas H₂S berasal dari biogas limbah kotoran sapi di Yayasan Swadaya Prakarsa Swadaya Masyarakat (YPSM) Sukorambi Jember. Penyisihan biogas dengan cara adsorpsi ini memiliki keuntungan diantaranya lebih aman, mudah dan murah (Basuki ddk., 2008). Proses penyisihan biogas adalah gas yang didapatkan dari ruang penampung gas (bagian atas kubah reaktor) yang dialirkan pada pipa saluran gas. Tekanan manometer pada biogas diatur menggunakan pipa U. Manometer tersebut digunakan untuk mengetahui besarnya tekanan biogas yang didapat berdasarkan perbedaan ketinggian fluida pada pipa U. Gas aliran dari reaktor dilewatkan dalam ban dalam mobil, penggunaan ban ini agar gas tetap stabil pada tekanan yang ditentukan. Biogas

dalam ban dalam mobil dialirkan pada rotameter sebagai pengatur laju alir penyisihan biogas. Rotameter laju alir ini dialirkan pada kolom adsorpsi. Kolom adsorpsi yang digunakan sebagai penyisihan adalah pipa PVC berdiameter 0,5 inchi berisi karbon aktif yang telah dimampatkan atau dilapisi dengan *glaswool* pada bagian dasar dan atas kolom adsoben ditunjukkan pada gambar no 5. Karbon aktif yang ada di dalam kolom selanjutnya akan menyerap gas pengotor terutama gas H_2S , gas H_2S yang melewati akan terikat dan mengalami gaya tarik menarik dengan pori-pori karbon aktif. Gas sisa yang lolos dari kolom adsorpsi akan ditampung pada botol vial berisi 8 mL larutan SAOB sebagai larutan penangkap gas H_2S (Mustafidah, 2018).

3.4.2 Penampungan Biogas

Bahan baku berupa biogas diambil dari digester biogas di Yayasan Prakarsa Swadaya Masyarakat (YPSM) di Desa Sukorambi-Jember. Bahan baku biogas pembuatan biogas berasal dari kotoran sapi yang didekomposisi di dalam biodigester fiber bervolume 6 m³. Penampungan biogas ditampung dalam ban dalam mobil bekas agar tekanan gas tetap stabil lalu dialirkan pada kolom adsorpsi.

3.4.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian (*pretreatment*)

Ada beberapa penelitian yang dilakukan dalam pengujian penyisihan biogas menggunakan karbon tempurung kelapa, yakni penumbukan karbon aktif tempurung kelapa, pengayakan, impregnasi karbon aktif, preparasi kolom dan proses penyisihan biogas.

a. Penumbukan dan Pengayakan Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Proses penumbukan karbon aktif tempurung kelapa ini dilakukan untuk menghaluskan atau menghancurkan arang agar menghasilkan arang dengan ukuran kelolosan 8 sampai 60 mesh. Penumbukan ini dilakukan secara manual menggunakan mortal dan alu. Proses pengayakan karbon aktif tempurung kelapa

untuk memperoleh ukuran kelolosan 8-16, 16-30, 30-50, dan 50-60 mesh. Proses ini dilakukan dengan menggunakan alat pengayakan. Pengayakan ini dilakukan di laboratorium struktur Teknik Sipil Universitas Jember yang terdapat di Patrang Jember.

b. Modifikasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa (Choo H.S., *et al* 2013).

Karbon aktif tempurung kelapa dimodifikasi dengan larutan K_2CO_3 . K_2CO_3 sebanyak 5 gram dilarutkan ke dalam 120 mL akuades, 20 gram karbon aktif ditambahkan dalam larutan tersebut. Kemudian di letakkan di dalam *shaker* selama 60 menit pada suhu ruang. Larutan selanjutnya disaring dan karbon aktif terimpregnasi diperoleh dikeringkan pada suhu $100\text{ }^\circ\text{C}$ sampai benar-benar kering.

c. Preparasi Kolom

Pembuatan kolom dibuat dari pipa PVC berdiameter $r = 0,5$ inch dan panjang pipa kolom 7,9, dan 12 cm. Karbon aktif dengan berat yang sudah ditetapkan sebesar 4 gram yang sudah dimodifikasi selanjutnya dimasukkan ke dalam kolom yang ditempatkan dan dimampatkan dengan *glasswool*. Drat kemudian ditutup menggunakan penutup pipa kran.

3.4.4 Pembuatan Larutan-larutan

a. Pembuatan larutan standart

Larutan standar S^{2-} 1000 ppm dibuat dari melarutkan $Na_2S \cdot 9H_2O$ sebanyak 0,75 gram ke dalam labu ukur 100 mL kemudian ditambahkan akuades sampai tanda batas.

b. Pembuatan larutan KIO_3 0,01 M

Larutan KIO_3 0.01 N dibuat dengan melarutkan 0,214 gram kristal KIO_3 menggunakan akuades dalam labu ukur 100 mL kemudian diencerkan sampai tanda batas.

c. Pembuatan larutan KI 5%

Larutan KI 5% dibuat dengan cara melarutkan 5 gram kristal KI menggunakan akuades dalam labu ukur 100 mL kemudian diencerkan sampai tanda batas.

d. Pembuatan larutan amilum 1%

Larutan amilum 1 % dibuat dengan cara melarutkan 1 gram tepung kanji menggunakan akuades dalam labu ukur 100 mL. Larutan amilum dipanaskan hingga mendidih kemudian didinginkan dan disaring. Larutan amilum 1% akan digunakan sebagai indikator titrasi saat melakukan standarisasi larutan sulfida.

e. Pembuatan Larutan pereaksi asam sulfat-amina

Larutan induk pereaksi asam sulfat-amina dibuat dengan cara mencampurkan 5 mL H₂SO₄ pa menggunakan pipet volume 5 mL dengan 2 mL akuades menggunakan pipet mohr 5 mL, kemudian ditambahkan dengan 2,7 gram *N,N-Dimethyl-1,4-Phenylen Diamonium Diklorida* diaduk hingga larut dan setelah itu diencerkan dalam labu ukur 10 mL, larutan induk pereaksi asam sulfat-amina disimpan dalam botol gelap (Badan Standart Nasional, 2009).

f. Pembuatan larutan H₂SO₄ (1+1)

Larutan H₂SO₄ (1+1) dibuat dengan cara mencampurkan 5 mL akuades dengan 5 ml H₂SO₄ pa, pencampuran dilakukan dalam gelas beaker 50 mL (Badan Standart Nasional, 2009).

g. Pembuatan larutan pereaksi asam sulfat-amina

Larutan pereaksi asam sulfat-amina dibuat dengan cara melarutkan 0,2 mL larutan induk asam sulfat-amina ke dalam 7,8 mL H₂SO₄ (1+1) yang dilakukan dalam gelas beaker 50 mL (Badan Standart Nasional, 2009).

h. Pembuatan larutan FeCl₃ 25 M

Larutan FeCl₃ dibuat dengan cara melarutkan padatan FeCl₃.6H₂O sebanyak 20 gram dalam 8 mL akuades (Badan Standart Nasional, 2009).

i. Pembuatan Larutan SAOB (*Sulfide Anhydride Oxidant Buffer*)

Larutan SAOB (*Sulfide Anhydride Oxidant Buffer*) dibuat dengan cara menimbang asam askorbat 3,5 gram dan 6,7 gram Na₂EDTA dan dilarutkan dalam 60 mL akuades. Ditimbang 8 gram NaOH 10 M dan dilarutkan dalam 20 mL akuades, diaduk sampai larut. Campuran asam askorbat dan Na₂EDTA dicampur dan dimasukkan dalam labu ukur 100 mL. Larutan diencerkan hingga tanda batas. Larutan SAOB digunakan untuk membuktikan bahwa sulfida benar-benar dalam bentuk ion S²⁻ bukan sebagai HS⁻ atau H₂S (Redondo *et al*, 2017).

3.4.5 Standarisasi Larutan Sulfida S^{2-} 1000 ppm

Standarisasi larutan standart S^{2-} dilakukan dengan mengambil 5 mL KI 5% dan 5 mL H_2SO_4 1M dan ditambahkan 10 mL larutan KIO_3 ke dalam erlenmeyer. Larutan KIO_3 kemudian dititrasi dengan larutan standart S^{2-} sampai terbentuk warna kuning dan ditambahkan dengan indikator amilum 1% sebanyak 10 tetes sehingga terbentuk warna biru dan titrasi dilanjutkan kembali hingga titik akhir titrasi yang ditunjukkan dengan hilangnya warna biru.

3.4.6 Pembuatan kurva kalibrasi

Larutan standart S^{2-} 100 ppm dibuat variasi konsentrasi sebesar 0,04; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 dan 0,9 ppm dengan mengambil larutan standar masing-masing sebanyak 0,02; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4 dan 0,45 mL menggunakan pipet mohr 1 mL yang dimasukkan dan diencerkan menggunakan labu ukur 50 mL hingga tanda batas. Penggunaan konsentrasi tersebut dipilih karena pada range konsentrasi tersebut sampel gas H_2S masuk ke dalam range kurva kalibrasi. Larutan tersebut kemudian ditambahkan 0,5 mL larutan pereaksi asam amina dan 3 tetes $FeCl_3$ kemudian dihomogenkan dan didiamkan selama 5 menit. *Scanning* terlebih dahulu menggunakan larutan kompleks S^{2-} 0,4 ppm pada range panjang gelombang 600 sampai 800 nm dengan interval 10 nm. *Scanning* dilakukan untuk penentuan panjang gelombang maksimum. Panjang gelombang maksimum digunakan untuk penentuan absorbansi setiap konsentrasi. Kurva kalibrasinya dibuat dengan sumbu x yang menyatakan konsentrasi larutan kompleks S^{2-} dan sumbu y menyatakan absorbansi. Berdasarkan kurva kalibrasi yang dihasilkan akan diperoleh persamaan regresi linear dengan persamaan $y=mx +c$ (Badan Standart Nasional, 2009).

3.4.7 Optimasi ukuran partikel karbon aktif tempurung kelapa

Biogas dialirkan ke dalam kolom adsorpsi dengan menggunakan selang yang dikontrol dengan rotameter pada laju alir biogas yang dibuat konstan yaitu sebesar 2,5 L/menit dengan variasi ukuran partikel karbon aktif 8-16, 16-30, 30-50, 50-60 mesh dalam kolom adsorpsi. Masing-masing variasi ukuran partikel karbon aktif dialirkan selama 10 menit ke dalam 8 mL larutan SAOB dalam botol fial 10 mL. Larutan SAOB yang sudah menangkap sisa gas H₂S kemudian diencerkan 20 kali dengan cara mengambil sebanyak 0,5 mL dan dimasukkan dalam labu ukur 10 mL kemudian diencerkan sampai tanda batas, dan ditambahkan larutan pereaksi asam sulfat-amina dan 3 tetes FeCl₃ sebagai reagen yang akan membentuk kompleks metilen ketika bereaksi dengan senyawa sulfida. Hasil optimasi ukuran partikel akan digunakan dalam variasi optimasi laju alir biogas.

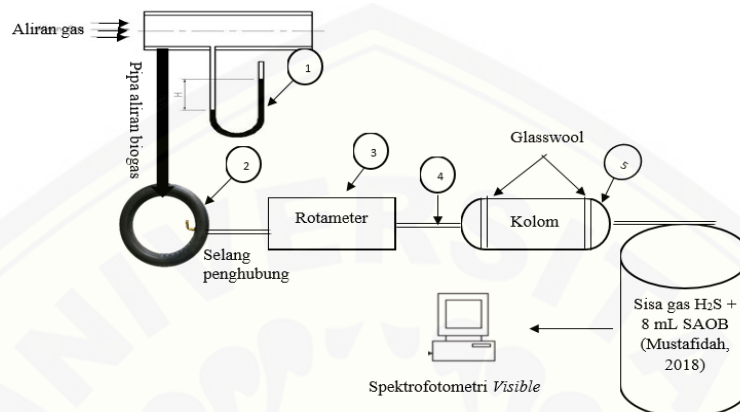
3.4.8 Proses Optimasi Laju Alir dengan Optimasi Ukuran Partikel Karbon Aktif

Proses umpan sampel biogas dilakukan dengan menggunakan selang untuk mengalirkan sampel biogas ke dalam kolom adsorben. Selang yang akan digunakan dilakukan *pretreatment* terlebih dahulu dengan mengalirkan gas N₂ ke dalam selang untuk mengusir adanya gas-gas lain di dalam selang. Biogas dari tabung dialirkan dengan menggunakan selang yang dikontrol dengan Rotameter dengan variasi laju alir biogas sebesar 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 1.75 2.0, 2.25, 2.5 L/min (Iriani dan Ari, 2014) pada kolom adsorpsi dengan ukuran partikel karbon aktif optimum. Percobaan dilakukan dengan tiga kali pengulangan. Proses tersebut ditunjukkan pada gambar 3.1

3.4.9 Proses Analisis Gas H₂S

Biogas dialirkan menggunakan rotameter dengan laju alir yang sudah ditentukan melewati kolom pipa adsorpsi. Sisa pemurnian biogas yang melewati pipa adsorpsi kemudian ditampung dalam tabung yang sudah berisi 8 mL larutan

SAOB sebagai larutan penangkap gas H_2S . Pengambilan 0,5 ml larutan yang terserap dan diencerkan dalam labu ukur 10 mL dan direaksikan dengan 0,5 mL reagen *N,N*,dimetil-*p*-venilendiamin dan 3 tetes $FeCl_3$ (SNI, 2009). Deteksi analisis menggunakan metode spektrofotometri *visibel*



Gambar 3.2 Rangkaian alat penyisihan Biogas

Skema alat penyisihan ditunjukkan pada gambar 3.2. Komponen alat terdiri dari pipa U sebagai pengatur tekanan biogas (1). Tabung biogas (2) dihubungkan ke Rotameter (mengatur laju alir gas) (3) dengan pipa aliran distribusi (4). Gas akan mengalir ke adsorben (5) kolom penyisihan atau pipa tempat *granular* karbon aktif tempurung kelapa berfungsi untuk adsorpsi penyisihan biogas. Detektor yang digunakan adalah spektrofotometer *visible*. Konsentrasi gas H_2S pada larutan penangkap SAOB (*Sulfide Anhidride Oxidant Buffer*) dapat ditentukan dari perhitungan persamaan linier yang diperoleh kurva kalibrasi (SNI, 2009).

3.4.10 Penentuan konsentrasi awal Gas H_2S

Penentuan konsentrasi awal gas H_2S ini dilakukan dengan cara mengalirkan biogas menggunakan selang yang dikontrol menggunakan rotameter pada laju alir optimum ke dalam 8 mL larutan SAOB dalam botol vial 10 mL tanpa melewati kolom adsorpsi karbon aktif. Larutan SAOB yang sudah menangkap gas H_2S diencerkan 400 kali dengan cara mengambil sebanyak 0,5 mL dan dimasukkan dalam labu ukur 10 mL kemudian diencerkan sampai tanda batas.

Ditambahkan dengan 3 tetes FeCl_3 dan 0,5 mL larutan N,N-Dimethyl-1,4-Phenylen Diamonium Diklorida sebagai reagen yang akan membentuk senyawa berwarna biru ketika bereaksi dengan senyawa sulfida. Larutan kompleks metilen biru tersebut kemudian diencerkan kembali dengan cara mengambil larutan mengambil kompleks metilen biru sebanyak 0,5 mL dan dimasukkan dalam labu ukur 10 mL kemudian diencerkan sampai tanda batas. Larutan blanko dibuat dengan mencampurkan 10 mL larutan SAOB murni dengan 0,5 mL pereaksi asam sulfat amina dan 3 tetes FeCl_3 . Larutan diambil sebanyak 5 mL yang kemudian dimasukkan dalam kuvet dan dianalisis menggunakan spektrofotometer visible pada panjang gelombang maksimum. Absorbansi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung konsentrasi gas yang tertangkap oleh larutan SAOB. Konsentrasi yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi massa gas H_2S awal yang tertangkap oleh larutan SAOB.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian pemurnian gas H₂S dari biogas dengan metode adsorpsi menggunakan adsorben karbon aktif tempurung kelapa adalah sebagai berikut :

1. Semakin kecil ukuran partikel, maka luas permukaannya semakin besar sehingga memiliki daya serap adsorpsi yang tinggi dengan ukuran partikel karbon aktif sebesar 50-60 mesh.
2. Semakin kecil kecepatan alir biogas maka semakin banyak gas H₂S yang diserap dalam kolom adsorpsi disebabkan waktu kontak yang lebih lama antara adsorben dan biogas dengan massa S²⁻ sisa sebesar 0,32 x 10⁻² mg pada laju alir 0,75 L/menit dengan ukuran partikel 50-60 mesh.
3. Karbon aktif termodifikasi larutan K₂CO₃ memiliki daya serap lebih tinggi dari karbon aktif yang tidak dimodifikasi yaitu 6 kali lebih tinggi yaitu karbon aktif yang termodifikasi memiliki massa S²⁻ sisa 0,22 x 10⁻² mg dan yang tidak dimodifikasi sebesar 1,31 x 10⁻² mg.
4. Semakin besar suatu massa adsorben mempunyai waktu yang lebih lama untuk menyerap gas H₂S yaitu pada massa 4 gram memiliki waktu maksimal menyerap gas S²⁻ sebesar 240 menit dengan massa yang terserap 0,366 mg, massa 6 gram memiliki waktu maksimal menyerap gas S²⁻ sebesar 450 menit dengan massa yang terserap 0,363 mg, dan massa 8 gram memiliki waktu maksimal menyerap gas S²⁻ sebesar 510 menit dengan massa yang terserap 0,362 mg.

5.2 Saran

Hal terpenting yang perlu diperhatikan dalam proses pemurnian gas H₂S adalah sumber gas harus dipastikan tidak habis dan tekanannya harus stabil.

Biogas diusahakan dalam keadaan terisi penuh pada reaktor saat hendak dilakukan penelitian ini.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkareem, A.S. 2005. Refining Biogas Produced from Biomass: An Alternative to Cooking Gas. Chemical Engineering Department. *Loenardo Journal of Sciences*.7(1). 1-8.
- Allport, H. B. 1997. *Activated Carbon*. Encyclopedia of Science and Technology. Mc Graw Hill Book Company. New York.
- Alwathan, M., R. Thahir. 2013. Pengurangan Kadar H₂S dari Biogas Limbah Cair Rumah Sakit dengan metode Adsorpsi. *Konversi*. 2(1): 1-6.
- ASTM. 1987. *Standard Test Method for Water Vapor Transmission Rate of Material (E96)*. Annual Book of ASTM Standards: Philadelphia. American Society for Testing and Material.
- Bahl, B.S, G.D Tuli , and A. Bahl. 1997. *Essential of Pysical Chemistry*. Chand and Company , Ltd, New Delhi.
- Badan Standart Nasional. 2009. *Cara Uji Sulfida Dengan Biru Metilen Secara Spektrofotometri*. Jakarta: Badan Standart Nasional.
- Basuki, K. T., Budi Setiawan., Nurimaniwathy. 2008. Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ Pada Emisi Gas Buang Menggunakan Media Penyisipan TiO₂ Lokal Pada Karbon Aktif. *JFN*. 1(1): 45-62.
- Chaiprapat, S., Mardthing, R., Kantachote, D., &Karnchanawong, S. 2011. Removal of hydrogen sulfide by complete aerobic oxidation in acidic biofiltration. *Process Biochemistry*. 46(1), 344-352.
- Cheremisinof. 1998. *Carbon Adsorption Hand Book*. Ann Arbor: Science: New Jersey.

- Choo, H.S., L.C Lau, A.R., Mohamed, K.T., Lee. 2013. Hydrogen Sulfide Adsorption By Alkaline Impregnated Coconut Shell Activated Carbon. *Journal of Engineering Science and Technology*. 8(6): 741-753.
- Culliane, J.T., and Rochelle, G.T. 2005. Thermodynamics and Kinetics Of Aqueous Piperrazine with Potassium Carbonate for Carbon Dioxide Absorption. *Disertation*. Austin : University of Texas.
- Day, R.A. dan A. L Underwood. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Edisi Keenam. Jakarta: Erlangga.
- Ding, L.P., and S.K. Bhatia. 2003. *Analysis of Multicomponent Adsorption Kinetics on Activated Carbon*. Dept. of Chemical Enggineering, The University of Queensland, Brisbane, Qld. 4072, Australia.
- Elisabeth, M. 2010. Biogas Purification : H₂S Removal using Biofiltration. *Thesis*. Canada : University of waterloo.
- Fadli, D., M. Irsyad, M.D. Susila. 2013. Kaji Eksperimental Sisetm Penyimpanan Biogas Dengan Metode Pengkompresian Dan Pendinginan Pada Tabung Gas Sebagai Bahan Bakar Pengganti Gas LPG. *Jurnal FEMA*. 1(4):42-48
- Felix S.A., S.B.U. Paramitha, I. Diyono. 2012. Pembuatan Biogas Dari Sampah Sayuran. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 1(1): 103-108.
- Harihastuti, N., Purwanto, dan Istadi. 2014. Kajian Penggunaan Karbon Aktif dan Zeolit Secara Terintegrasi dalam Pembuatan Biomethane Berbasis Biogas. *Jurnal Riset Industri*. 8 (1): 65-72.
- Harmanto dan A. Susanty. 2016. Pengaruh Konsentrasi NaoH. Dan Laju Alir Gas pada Proses Pemurnian Biogas. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 10(1): 88-93.
- Hartanto, S. dan Ratnawati. 2010. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 12(1): 12-16.

- Iriani, P., dan A. Heryadi. 2014. Pemurnian Biogas Melalui Kolom Beradsorben Karbon Aktif. *Sigma-Mu*. 6(2): 36-42.
- Jørgensen, P.J. 2009. *PlanEnergi and Researcher for a Day "BIOGAS-Green Energy*. Aarhus University. Digisource Danmark A/S.
- Khopkar, S. 2010. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Kismurtono M., K.W. Roni, N. Khoirun, D.P. Crescentiana. 2009. *Pengembangan Bahan Bakar Metana Kadar Tinggi dari Biogas*. BPPTK-LIPI : Yogyakarta.
- Kosaric, N., Velikonja. 1995. Liquid and Gaseous Fuels from Biotechnology. Challenge and Opportunities. *FEMS. Microbiology Reviews*. 16: 111-142.
- Kubáň V, Dasgupta PK, Marx J (1992) Nitroprusside and methylene blue methods for silicone membrane differentiated flow injection determination of sulfide in water and wastewater. *Journal of analytical chemistry* 64(1): 36-43.
- Kvech, S., and T. Erika. 1998. *Activated Carbon*. Departement of Civil and Environmental Engineering. Virginia Tech University. United States of America.
- M. Cal, B. Strickler, A. Lizzio, S. Gangwal. 2000. High Temperature Hydrogen Sulfide Adsorption on Activated carbon: II. Effects of Gas Temperature, Gas Pressure and Sorbent regeneration. *Carbon*. 38(13): 1767-1774.
- Maryono, S., dan Rahmawati. 2013. Pembuatan dan Analisis Mutu Briket Arang Tempurung Kelapa Ditinjau dari Kadar Kanji. *Jurnal Chemical*. 14(1): 74-83
- Mulja, M., dan Suharman. 1995. *Analisis Instrumental*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Murti, S. 2008. Pembuatan Karbon Aktif dari Tongkol Jagung untuk Adsorpsi Molekul Amonia dan Ion Krom. *Skripsi*. Depok : Universitas Indonesia.

- Mustafidah, Alifa. 2018. Permeasi Gas H₂S Menggunakan Membran PTFE (*Politetrafluoroethylene*). *Skripsi*. Jember : Universitas Jember.
- Nadriliyah, N., dan Triwikantoro. 2014. Pemurnian Produk Biogas dengan Metode Absorpsi Menggunakan Larutan Ca(OH)₂. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*. 3(2): 23-35.
- Nagl G. 1997. Controlling H₂S emissions. *Chemical Engineerin*. 104(3): 125-31.
- Nasruddin, 2005. Dynamic Modeling and Simulation of a Two-Bed Silicagel-Water Adsorption Chiller. *Disertation*. Rwth Aachen, Germany.
- Ningrum, S.S., A. Mindaryani., dan M. Hidayati. 2017. Absorpsi CO₂ pada Biogas dengan Larutan *Methyldiethanolamine* (MDEA) Menggunakan Kolom Bahan Isian. Departemen Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada. ISSN 2085-4218.
- Nury. 2015. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan pH Optimum dalam Pembuatn Tes Kit Sianida Berdasarkan Pembentukan Hidrantin. *Kimia Student Journal*. 1(1):711-717.
- Ojolo, S.J., Oke, S.A., Animasahun, K., and Adesuyi, B.K. 2007. Utilization of Poultry, Cow and Kitchen Waste for Biogas Production: A Comparative Analysis. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng*. 4(4): 223-228.
- Oyarázún, P., Arabica, F., Canales, C., Aroca, G.E. 2003. Biofiltration of high concentration of hydrogen sulphide using *Thiobacillus thioiparus*. *Process Biochem*. 39(6): 165-170.
- Rahmawati A., S. J. Santoso 2012. Studi Adsorpsi Logam Pb(II) dan Cd(II) pada Asam Humat dalam Medium Air. *Alchemy*. 1(2):46-57.
- Raskin, L., Mackie R.I., Mc Mahon K.D., Griffin M.E. 1997. Methanogenic Population Dynamics During Start-Up of Anaerobic Digesters Treating Municipal Solid Waste and Biosolid Matt. *Biotechnology and Bioengineering Journal*. 57(3): 342-355.

- Redondo, R., Vinicius, CM., Mireia, B., Javier, L., dan David, G. 2017. On-line Monitoring of Gas-Phase Bioreactors for Biogas Treatment: Hydrogen Sulfide and Sulfide Analysis by Automated Flow Systems. *Anal Bioanal Chem.* 391(1): 789-798.
- Rintoko, A. 2012. Kajian Filtrasi Air Limbah Sungai Ciliwung Menggunakan Membran Selulosa Asetat dan Teflon. *Skripsi.* Bogor: Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor.
- Ruzicka, J and Marshall, G.D. 1990. Sequential Injection: A Concept for Chemical Sensors, Proses Analysis and Laboratory Assays. *Analytica Chimica Acta.* Acta 237(2): 329-343.
- Sembiring, M.T dan Sinaga, T.S. 2003. Arang Aktif (Pengenalan dan Proses). *USU Digital Libing.* Sumatra Utara.
- Shen, F., J. Liu., Z. Zhang., Y. Dong., C. Gu. 2018. Density Functinal Study Of Hydrogen Sulfide Adsorption Mechanism on Activated Carbon. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China. *Fuel Processing Technology.* 171: 258-264.
- Silva, M. S. P., Silva, I. S., Abate, G., and Masini, J. C. 2001. *Spectrophotometric determination of acid volatile sulfide in river sediments by sequential injection analysis exploiting the methylene blue reaction.* 53(4): 843-850.
- Sitthikhankaew, R., S. Predapitakkun., Ratanawan (Wibulswas), Kiattikomol., S. Pumhiran., Suttichai, Assabumrungrat., and N. Laosiripojana. 2011. Comparative Study of Hydrogen Sulfide Adsorption by using Alkaline Impregnated Activated Carbons for Hot Fue Gas Purification. *Energy Procedia.* 9: 15-24.
- Skoog, W., Hotler., dan Crouch. 2012. *Fundamentals of Analytical Chemistry Ninth Edition.* USA: Brooks.
- Sudibandriyanto, M. 2003. A Generalized Ono-Kondo Latice Model For High Pressure Adsorption on Carbon Adsorbents. *Faculty of the Graduate College of the Oklahoma State Universty.*

- Suryawan, B. 2004. Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air. *Disertasi*. Depok-Jakarta : FTUI.
- Suyitno, N. M., dan Dharmanto. 2010. *Teknologi Biogas Pembuatan Operasional dan Pemanfaatan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Svehla, G. 1985. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro, Bagian I*. Jakarta: Kalman Media Pustaka.
- Taufan, A. 2008. Pengujian Alat Pendingin Adsorpsi Dua Adsorber dengan Menggunakan Ethanol 250 mL sebagai Refrigeran. *Skripsi*. Depok : Universitas Indonesia.
- Vicent AJ. 2001. In: Stuetz R, Frechen FB (eds) *Odors in wastewater treatment: measuring modelling and control*. Int. Water Assoc. Publishing, London, UK.
- W. Feng, S. Kwon, E. Borguet, R. Vidic. 2005. Adsorption of Hydrogen Sulfide onto Activated Carbon Fibers : Effect of Pore Structure and Surface Chemistry. *Environ. Sci. Technol.* 39: 9744-9749.
- Wahyuni, S. 2013. *BIOGAS Energi Alternatif Pengganti BBM, Gas dan Listrik*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Wellinger, A, and A. Lindeberg. 2000. *Biogas Upgrading and Utilization*. IEA Bioenergy. Task 24. International Energy Association France
- Wijayanti, E dan Andrianto, G. 2008. Pembuatan Biogas dari Limbah Cair Industri Tahu dan Limbah Kotoran Sapi. *Skripsi*. Surakarta : Teknik Kimia Universitas Sebelas Maret.
- Yuan, Y.J., and Kuriyama, H. 2000. Determination of hydrogen sulfide in a yeast culture solution by flow analysis utilising methylene blue spectrophotometric detection. *Journal Of Biotechnology*. 22(9): 795-799.

Zicari, M.S 2003. Removal of Hydrogen Sulfide from Biogas Using Cow-Manure Compost. *Thesis*. Cornell University.



LAMPIRAN

Lampiran 3.1 Pembuatan larutan-larutan3.1.1 Pembuatan larutan induk S^{2-} 1000 ppm

$$1000 \text{ ppm} = 1000 \text{ mg/L}$$

$$1000 \text{ mg/L} = \frac{1,000 \text{ gram}}{L}$$

$$\text{massa } S^{2-} = 1,000 \text{ gram}$$

$$\text{mol} = \frac{\text{massa}}{Mr S} = \frac{1,000 \text{ gram}}{32 \text{ g/mol}} = 0.0313 \text{ mol}$$

	$Na_2S \cdot 9H_2O$	\rightarrow	$2Na^+$	$+$	S^{2-}	$+$	H_2O
m	0.0313 mol		-		-		
r	0.0313 mol		0.0626 mol		0.0313 mol		0.0313 mol
s	-		0.0626 mol		0.0313 mol		0.0313 mol

$$\begin{aligned} \text{massa } Na_2S \cdot 9H_2O &= \text{mol } Na_2S \cdot 9H_2O \times Mr \text{ } Na_2S \cdot 9H_2O \\ &= 0.0313 \text{ mol} \times 240.1 \text{ g/mol} \\ &= 7.515 \text{ gram} \end{aligned}$$

3.1.2 Pembuatan larutan KIO_3 2140 ppm

$$\text{ppm} = \frac{0.2142 \text{ gram}}{0.1 \text{ L}} = \frac{214,2 \text{ mg}}{0.1 \text{ L}} = 2142 \text{ ppm}$$

3.1.3 Standarisasi larutan standart S^{2-} 1000 ppm dengan KIO_3 2140 ppm

Ulangan	V KIO_3	V larutan standart S^{2-}	Konsentrasi larutan standart S^{2-} (ppm)
1	10	21.7	987.1
2	10	21.6	991.7
3	10	21.7	987.1
Rata-rata			988.6

- Perhitungan pada ulangan 1:

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

$$2142 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL} = M_2 \times 21.7 \text{ mL}$$

$$M_2 = \frac{2142 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}}{21.7 \text{ mL}}$$

$$M_2 = \frac{21420 \text{ ppm}}{21.7 \text{ mL}}$$

$$M_2 = 987.1 \text{ ppm}$$

3.1.4 Pembuatan larutan standart S^{2-} 100 ppm dari larutan larutan standart S^{2-} 1000 ppm yang telah di standarisasi

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

$$988,6 \text{ ppm} \times V_1 = 100 \text{ ppm} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ ppm} \times 50 \text{ mL}}{988,6 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = \frac{5000 \text{ mL}}{988.6}$$

$$V_1 = 5,05 \text{ mL}$$

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

3.1.5 Pembuatan larutan standart S^{2-} untuk pembuatan kurva kalibrasi

Konsentrasi larutan standart S^{2-} (ppm)	Volume larutan standart S^{2-} 100 ppm (mL)
0,04	0,02
0,10	0,05
0,20	0,10
0,30	0,15
0,40	0,20
0,50	0,25
0,60	0,30
0,70	0,35
0,80	0,40
0,90	0,45

Perhitungan pada konsentrasi larutan standart S^{2-} 0.70 ppm:

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

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 0,70 \text{ ppm} \times 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{0,70 \text{ ppm} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = \frac{35 \text{ mL}}{100}$$

$$V_1 = 0,35 \text{ mL}$$

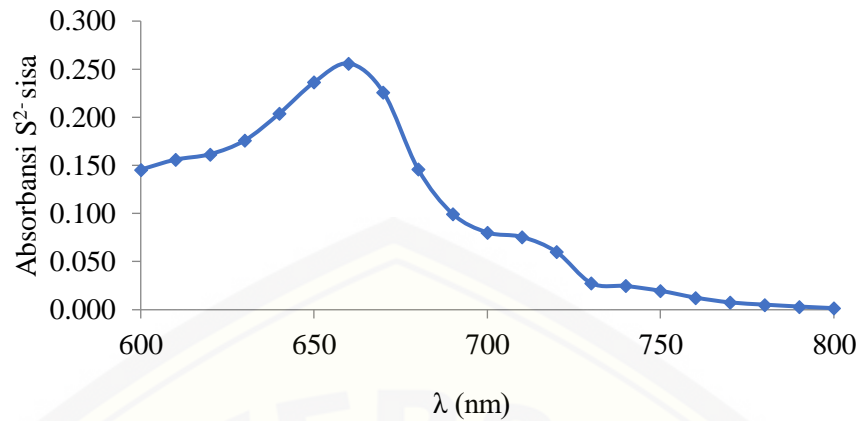
Lampiran 3.2 Penentuan panjang gelombang maksimum3.2.1 *Scanning* panjang gelombang maksimum

- a. *Scanning* panjang gelombang maksimum interval 10 pada konsentrasi 0,4 ppm

λ (nm)	Absorbansi larutan standar S^{2-}				SD
	1	2	3	Rata-rata	
600	0,146	0,145	0,146	0,146	0,00058
610	0,156	0,156	0,156	0,156	0,00000
620	0,162	0,161	0,162	0,162	0,00058
630	0,176	0,176	0,176	0,176	0,00000
640	0,204	0,204	0,204	0,204	0,00000
650	0,236	0,237	0,236	0,236	0,00058
660	0,256	0,256	0,256	0,256	0,00000
670	0,226	0,226	0,226	0,226	0,00000
680	0,146	0,147	0,146	0,146	0,00058
690	0,100	0,100	0,099	0,100	0,00058
700	0,081	0,08	0,08	0,08	0,00058
710	0,076	0,076	0,075	0,076	0,00058
720	0,060	0,060	0,060	0,060	0,00000
730	0,028	0,027	0,028	0,028	0,00058
740	0,025	0,024	0,025	0,025	0,00058
750	0,020	0,019	0,020	0,020	0,00058
760	0,013	0,012	0,013	0,013	0,00058
770	0,008	0,007	0,008	0,008	0,00058
780	0,005	0,006	0,005	0,005	0,00058
790	0,003	0,004	0,003	0,003	0,00058
800	0,002	0,002	0,001	0,002	0,00058

- b. *Scanning* panjang gelombang maksimum interval 2

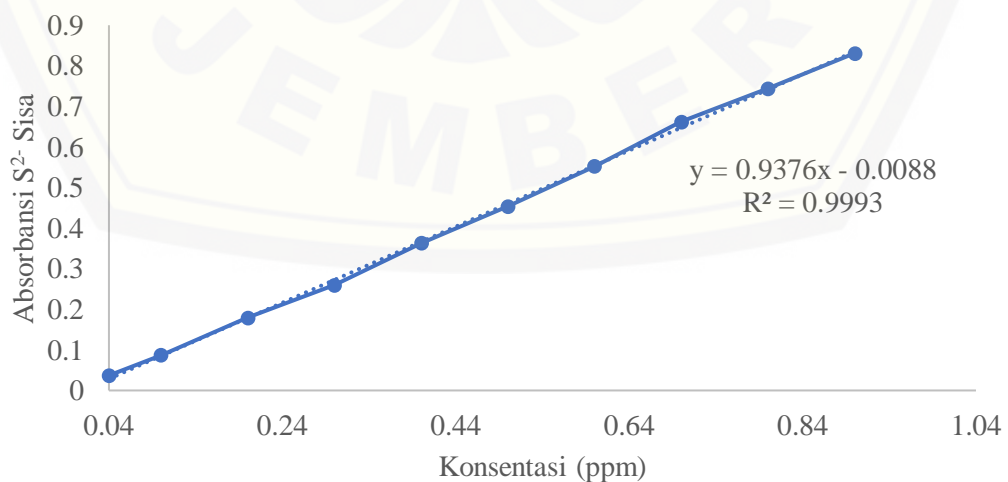
λ (nm)	Absorbansi larutan standar S^{2-}				SD
	1	2	3	Rata-rata	
660	0,256	0,257	0,256	0,256	0,00058
662	0,258	0,258	0,257	0,258	0,00058
664	0,260	0,260	0,261	0,260	0,00058
666	0,244	0,244	0,244	0,244	0,00000
668	0,240	0,239	0,239	0,239	0,00058
670	0,224	0,223	0,224	0,224	0,00058
672	0,204	0,204	0,205	0,204	0,00058



Gambar 3.1 Hasil *scanning* panjang gelombang maksimum larutan standart S²⁻ 1000 ppm pada konsentrasi 0.40 ppm

Lampiran 3.3 Penentuan kurva kalibrasi larutan standart S²⁻ 1000 ppm

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi larutan standart S ²⁻				SD
	1	2	3	Rata-rata	
0,04	0,037	0,037	0,036	0,037	0,00058
0,1	0,088	0,087	0,087	0,087	0,00058
0,2	0,178	0,179	0,179	0,179	0,00058
0,3	0,26	0,26	0,26	0,26	0,00000
0,4	0,362	0,362	0,363	0,363	0,00058
0,5	0,453	0,454	0,454	0,454	0,00058
0,6	0,553	0,552	0,552	0,552	0,00058
0,7	0,661	0,661	0,662	0,662	0,00058
0,8	0,744	0,744	0,744	0,744	0,00000
0,9	0,832	0,831	0,832	0,831	0,00058



Gambar 3.2 Kurva kalibrasi larutan standart S²⁻ 1000 ppm

Lampiran 4.1 Massa S^{2-} awal sisa tanpa melewati kolom adsorpsi

Tekanan Biogas	Laju Alir	FP	$A_{S^{2-}\text{-sisa}}$				[S^{2-}] Sisa (ppm)	Massa S^{2-} (mg)
			1	2	3	Rata-rata		
2,89 KPa	0,75 L/menit	20 400	1,338 0,105	1,339 0,104	1,339 0,105	0,105	48,54	0,38
4,79 KPa	2,5 L/menit	20 400	1,842 0,424	1,844 0,428	1,841 0,425	0,425	185,06	1,48

Contoh Perhitungan Massa S^{2-} awal pada laju alir biogas 2,5 L/menit

$$y = 0.9376x - 0.0088$$

$$0,425 = 0.9376x - 0.0088$$

$$x = \frac{0,425 + 0.0088}{0.9376}$$

$$x = \frac{0.4338}{0.9376}$$

$$x = 0.4626$$

$$x = 0.4626 \times fp$$

$$x = 0.4626 \times 400$$

$$x = 185,06 \text{ ppm}$$

$$[S^{2-}] = 185,06 \text{ ppm}$$

Massa gas H_2S awal

$$185,06 \text{ ppm} = \frac{185,06 \text{ mg}}{L} \times 0.008 \text{ L}$$

$$\text{Massa } S^{2-} = 1,48 \text{ mg}$$

Lampiran 4.2 Variasi ukuran partikel karbon aktif (mesh) dalam laju alir 2.5 L/menit

Ukuran Partikel	Tekanan Biogas	Tekanan Ban	Laju Alir (L/menit)	$A_{S^{2-} \text{ sisa}}$				SD	[S^{2-}] Sisa (ppm)	Massa S^{2-} Sisa (mg)	Massa S^{2-} Awal (mg)	Massa S^{2-} Terserap (mg)
				1	2	3	Rata-rata					
8-16 mesh	4,74- 4,06 kPa	2,4 kPa	2,5	0,542	0,542	0,541	0,542	0,00058	-	$9,4 \times 10^{-2}$	1,48	1,38
				0,542	0,542	0,542	0,542	0,00000	-			
				0,541	0,542	0,542	0,542	0,00058	-			
				0,542	0,542	0,542	0,542	0,00058	11,75			
16-30 mesh	3,99- 3,22 kPa	2,4 kPa	2,5	0,153	0,152	0,153	0,153	0,0005	-	$2,7 \times 10^{-2}$	1,48	1,45
				0,153	0,153	0,153	0,153	0,0000	-			
				0,153	0,153	0,153	0,153	0,0000	-			
				0,153	0,153	0,153	0,153	0,0000	3,451			
30-50 mesh	3,22- 2,54 kPa	2,4 kPa	2,5	0,03	0,03	0,03	0,03	0,0000	-	$0,66 \times 10^{-2}$	1,48	1,47
				0,03	0,03	0,03	0,03	0,0000	-			
				0,031	0,03	0,03	0,03	0,0005	-			
				0,03	0,03	0,03	0,03	0,0000	0,827			
50-60 mesh	2,54- 1,66 kPa	2,4 kPa	2,5	0,026	0,027	0,027	0,027	0,0005	-	$0,61 \times 10^{-2}$	1,48	1,47
				0,027	0,027	0,027	0,027	0,0000	-			
				0,027	0,027	0,027	0,027	0,0000	-			
				0,027	0,027	0,027	0,027	0,0000	0,763			

Contoh Perhitungan [S^{2-}]_{Sisa} dan Massa S^{2-} sisa pada rata-rata absorbansi ukuran partikel 50-60 mesh

$$y = 0.9376 \times - 0.0088$$

$$0,027 = 0.9376 \times - 0.0088$$

$$x = \frac{0.027 + 0.0088}{0.9376}$$

$$x = \frac{0.0358}{0.9631}$$

$$x = 0.038$$

$$x = 0.038 \times fp$$

$$x = 0.038 \times 20$$

$$x = 0,763 \text{ ppm}$$

$$[S^{2-}] = 0,763 \text{ ppm}$$

Massa gas H₂S sisa

$$0,763 \text{ ppm} = \frac{0,763 \text{ mg}}{\text{L}} \times 0.008 \text{ L}$$

$$\text{Massa } S^{2-} = 0,61 \times 10^{-2} \text{ mg}$$

Contoh Perhitungan Massa S²⁻ terserap pada rata-rata absorbansi ukuran partikel 50-60 mesh

$$\text{Massa terserap} = \text{massa } S^{2-} \text{ awal} - \text{massa } S^{2-} \text{ sisa}$$

$$= 1,48 \text{ mg} - 0,61 \times 10^{-2} \text{ mg}$$

$$= 1,47 \text{ mg.}$$

Lampiran 4.3 Variasi Laju Alir pada ukuran partikel **50-60 mesh** (Tekanan biogas 2,89-0,861 kPa dan pada manometer ban dalam 2,4 kPa)

Kecepatan (liter/ menit)	$A_{S^{2-} \text{ sisa}}$			Rata-rata	SD	[S^{2-}] Sisa (ppm)	Massa S^{2-} Sisa (mg)
	1	2	3				
0,75	0,01	0,011	0,01	0,01	0,00058	0,401	$0,32 \times 10^{-2}$
1	0,013	0,013	0,014	0,013	0,00058	0,465	$3,72 \times 10^{-2}$
1,25	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00000	1,681	$13,4 \times 10^{-2}$
1,5	0,079	0,079	0,079	0,079	0,00000	1,873	$14,9 \times 10^{-2}$
1,75	0,093	0,093	0,093	0,093	0,00000	2,172	$17,4 \times 10^{-2}$
2	0,121	0,122	0,122	0,122	0,00058	2,790	$22,3 \times 10^{-2}$
2,25	0,18	0,18	0,18	0,18	0,00000	4,027	$32,2 \times 10^{-2}$
2,5	0,307	0,307	0,307	0,307	0,00000	6,736	$53,9 \times 10^{-2}$

Contoh Perhitungan [S^{2-}] Sisa dan Massa S^{2-} sisa pada rata-rata absorbansi kecepatan 0,75 L/menit

$$y = 0.9376x - 0.0088$$

$$0,010 = 0.9376x - 0.0088$$

$$x = \frac{0,010 + 0.0088}{0.9376}$$

$$x = \frac{0.0188}{0.9376}$$

$$x = 0.020 \times fp$$

$$x = 0.020 \times 20$$

$$x = 0,401 \text{ ppm}$$

$$[S^{2-}] = 0,401 \text{ ppm}$$

Massa gas H₂S sisa

$$0,401 \text{ ppm} = \frac{0,401 \text{ mg}}{\text{L}} \times 0.008 \text{ L}$$

$$\text{Massa } S^{2-} = 0.32 \times 10^{-2} \text{ mg}$$

Lampiran 4.4 Perbandingan Karbon Aktif Termodifikasi dan Tidak dimodifikasi

Tekanan Biogas 4,79 - 4,06 kPa (Manometer Ban mobil stabil pada tekanan 2.4 kPa) pada 50-60 mesh

Jenis Adsorben	Kecepatan (L/menit)	$A_{S^{2-}\text{-sisa}}$				SD	$[S^{2-}]_{\text{Sisa}}$ (ppm)	Massa S^{2-} sisa (mg)
		1	2	3	Rata-rata			
Termodifikasi	2,5	0,005	0,005	0,005	0,005	0,00000	-	-
Larutan	2,5	0,006	0,006	0,005	0,006	0,00058	-	-
K ₂ CO ₃	2,5	0,006	0,005	0,005	0,005	0,00058	-	-
Rata-rata		0,006	0,005	0,005	0,005	0,00000	0,276	0,22 × 10⁻²
	2,5	0,068	0,068	0,068	0,068	0,00000	-	-
Tidak	2,5	0,069	0,069	0,069	0,069	0,00000	-	-
Dimodifikasi	2,5	0,068	0,068	0,068	0,068	0,00000	-	-
Rata-rata		0,068	0,068	0,068	0,068	0,00000	1,638	1,31 × 10⁻²

Contoh Perhitungan $[S^{2-}]_{\text{Sisa}}$ dan Massa S^{2-} sisa pada karbon aktif termodifikasi

$$y = 0.9376x - 0.0088$$

$$0,005 = 0.9376x - 0.0088$$

$$x = \frac{0,005 + 0.0088}{0.9376}$$

$$x = \frac{0.0138}{0.9376}$$

$$x = 0.0138$$

$$x = 0.0138 \times \text{fp}$$

$$x = 0.0138 \times 20$$

$$x = 0,276 \text{ ppm}$$

$$[S^{2-}] = 0,276 \text{ ppm}$$

Massa gas H_2S sisa

$$0,276 \text{ ppm} = \frac{0,276 \text{ mg}}{L} \times 0.008 \text{ L}$$

$$\text{Massa } S^{2-} = 0,22 \times 10^{-2} \text{ mg}$$

Contoh Perhitungan $[S^{2-}]_{\text{Sisa}}$ dan Massa S^{2-} sisa pada karbon aktif tidak dimodifikasi

$$y = 0.9376x - 0.0088$$

$$0,068 = 0.9376x - 0.0088$$

$$x = \frac{0,068 + 0.0088}{0.9376}$$

$$x = \frac{0.0768}{0.9376}$$

$$x = 0.0819$$

$$x = 0.0819 \times \text{fp}$$

$$x = 0.0819 \times 20$$

$$x = 1,638 \text{ ppm}$$

$$[S^{2-}] = 1,638 \text{ ppm}$$

Massa gas H_2S sisa

$$1,638 \text{ ppm} = \frac{1,638 \text{ mg}}{L} \times 0.008 \text{ L}$$

$$= 0.0131 \text{ mg}$$

$$\text{Massa } S^{2-} = 1,31 \times 10^{-2} \text{ mg}$$



Lampiran 4.5 Kapasitas Adsorben Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan variasi massa

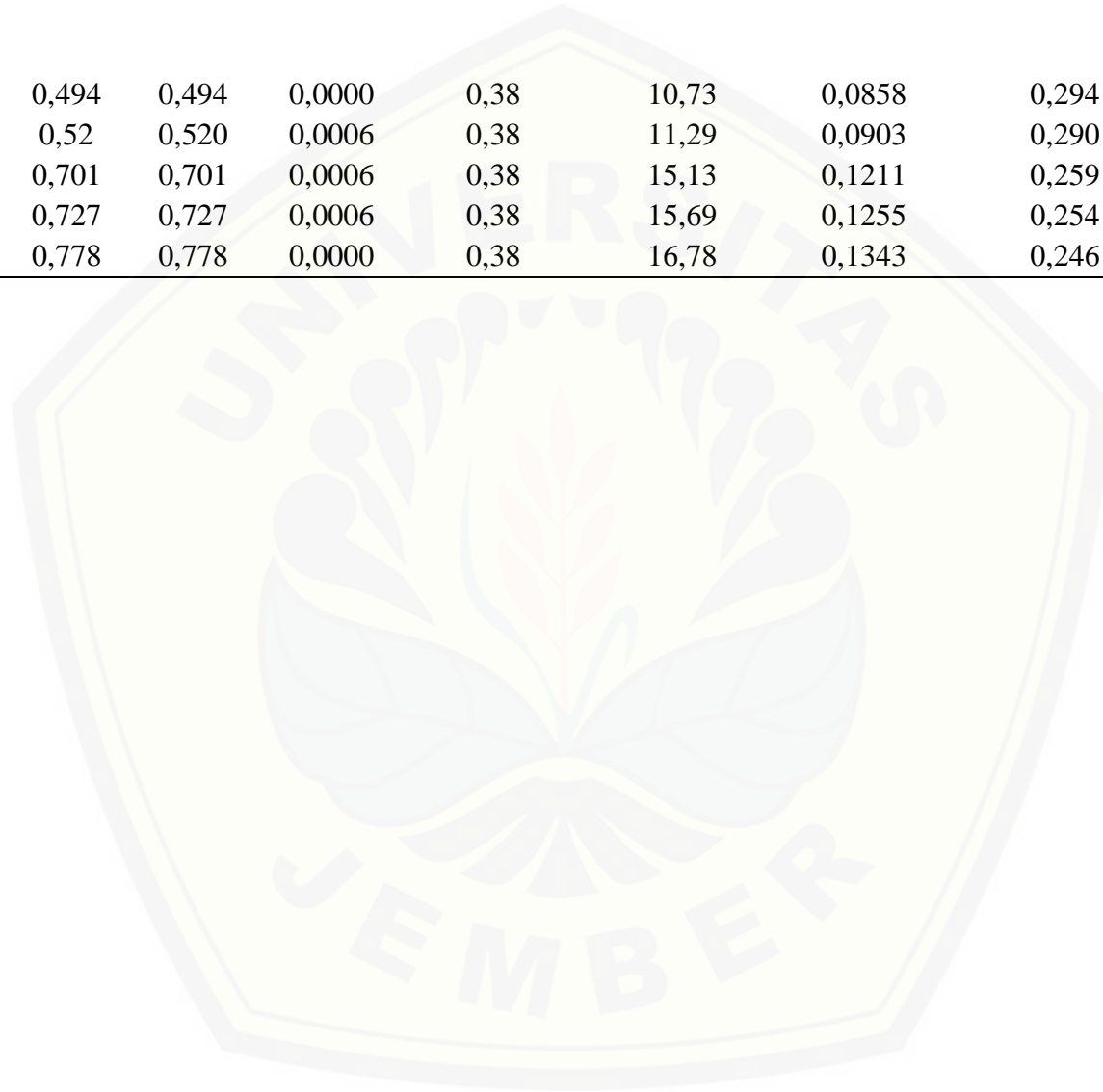
a. Panjang kolom 7 cm dan massa 4 gram

t (menit)	$A_{S^{2-}-sisa}$				SD	Massa S^{2-} awal (mg)	[S^{2-}] _{Sisa} (ppm)	Massa S^{2-} Sisa(mg)	Massa S^{2-} terserap (mg)	%Massa terserap
	1	2	3	Rata-rata						
30	0,001	0,002	0,001	0,001	0,00058	0,38	0,22	0,0017	0,378	99,54
30	0,004	0,004	0,004	0,004	0,00000	0,38	0,27	0,0022	0,378	99,43
30	0,004	0,004	0,004	0,004	0,00000	0,38	0,27	0,0022	0,378	99,43
30	0,006	0,006	0,006	0,006	0,00000	0,38	0,32	0,0025	0,377	99,34
30	0,006	0,007	0,006	0,006	0,00058	0,38	0,32	0,0026	0,377	99,32
30	0,014	0,014	0,015	0,014	0,00058	0,38	0,49	0,0039	0,376	98,96
30	0,016	0,015	0,016	0,016	0,00058	0,38	0,52	0,0042	0,376	98,90
30	0,07	0,071	0,071	0,071	0,00058	0,38	1,70	0,0136	0,366	96,43
30	0,167	0,166	0,167	0,167	0,00058	0,38	3,74	0,0299	0,350	92,12
30	0,27	0,27	0,271	0,270	0,00058	0,38	5,95	0,0476	0,332	87,46
30	0,304	0,305	0,305	0,305	0,00058	0,38	6,69	0,0535	0,327	85,92
30	0,402	0,401	0,401	0,401	0,00058	0,38	8,75	0,0700	0,310	81,58
30	0,637	0,637	0,636	0,637	0,00058	0,38	13,77	0,1101	0,270	71,01
30	0,694	0,694	0,695	0,694	0,00058	0,38	15,00	0,1200	0,260	68,42
30	0,702	0,702	0,702	0,702	0,00000	0,38	15,16	0,1213	0,259	68,08
30	0,816	0,816	0,816	0,816	0,00000	0,38	17,59	0,1408	0,239	62,96

b. Panjang kolom 9 cm dan massa 6 gram

t (menit)	$A_{S^{2-} \text{ sisa}}$				SD	Massa S^{2-} awal (mg)	[S^{2-}] Sisa (ppm)	Massa S^{2-} sisa (mg)	Massa S^{2-} terserap (mg)	% Massa terserap
	1	2	3	Rata-rata						
30	0,001	0,001	0,001		0,0000	0,38	0,21	0,0017	0,378	99,56
30	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0000	0,38	0,21	0,0017	0,378	99,56
30	0,001	0,001	0,002	0,001	0,0006	0,38	0,22	0,0017	0,378	99,54
30	0,003	0,003	0,003	0,003	0,0000	0,38	0,25	0,0020	0,378	99,47
30	0,004	0,005	0,005	0,005	0,0006	0,38	0,29	0,0023	0,378	99,40
30	0,006	0,006	0,005	0,006	0,0006	0,38	0,31	0,0025	0,378	99,35
30	0,006	0,007	0,006	0,006	0,0006	0,38	0,32	0,0026	0,377	99,32
30	0,009	0,008	0,009	0,009	0,0006	0,38	0,37	0,0030	0,377	99,22
30	0,01	0,009	0,01	0,010	0,0006	0,38	0,39	0,0032	0,377	99,17
30	0,022	0,022	0,023	0,022	0,0006	0,38	0,66	0,0053	0,375	98,60
30	0,044	0,045	0,045	0,045	0,0006	0,38	1,14	0,0091	0,371	97,60
30	0,065	0,064	0,065	0,065	0,0006	0,38	1,57	0,0125	0,367	96,70
30	0,072	0,072	0,072	0,072	0,0000	0,38	1,72	0,0138	0,366	96,37
30	0,08	0,079	0,079	0,079	0,0006	0,38	1,88	0,0150	0,365	96,04
30	0,092	0,091	0,091	0,091	0,0006	0,38	2,14	0,0171	0,363	95,50
30	0,111	0,11	0,11	0,110	0,0006	0,38	2,54	0,0203	0,360	94,65
30	0,273	0,272	0,272	0,272	0,0006	0,38	6,00	0,0480	0,332	87,38
30	0,346	0,347	0,346	0,346	0,0006	0,38	7,58	0,0606	0,319	84,05
30	0,382	0,382	0,383	0,382	0,0006	0,38	8,34	0,0667	0,313	82,44
30	0,447	0,447	0,447	0,447	0,0000	0,38	9,72	0,0778	0,302	79,53

30	0,494	0,494	0,494	0,494	0,0000	0,38	10,73	0,0858	0,294	77,42
30	0,521	0,52	0,52	0,520	0,0006	0,38	11,29	0,0903	0,290	76,24
30	0,7	0,701	0,701	0,701	0,0006	0,38	15,13	0,1211	0,259	68,14
30	0,726	0,727	0,727	0,727	0,0006	0,38	15,69	0,1255	0,254	66,97
30	0,778	0,778	0,778	0,778	0,0000	0,38	16,78	0,1343	0,246	64,67



c. Panjang kolom 11 cm massa 8 gram

t (menit)	$A_{S^{2-} \text{ sisa}}$				SD	Massa S^{2-} awal (mg)	[S^{2-}] Sisa (ppm)	Massa S^{2-} sisa (mg)	Massa S^{2-} terserap (mg)	%Massa terserap
	1	2	3	Rata-rata						
30	0,001	0,001	0,001		0,0000	0,38	0,21	0,0017	0,378	99,56
30	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0000	0,38	0,21	0,0017	0,378	99,56
30	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0000	0,38	0,21	0,0017	0,378	99,56
30	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0000	0,38	0,21	0,0017	0,378	99,56
30	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0000	0,38	0,23	0,0018	0,378	99,51
30	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0000	0,38	0,23	0,0018	0,378	99,51
30	0,003	0,003	0,003	0,003	0,0000	0,38	0,25	0,0020	0,378	99,47
30	0,005	0,005	0,005	0,005	0,0000	0,38	0,29	0,0024	0,378	99,38
30	0,005	0,005	0,006	0,005	0,0006	0,38	0,30	0,0024	0,378	99,37
30	0,006	0,007	0,007	0,007	0,0006	0,38	0,33	0,0026	0,377	99,31
30	0,008	0,008	0,009	0,008	0,0006	0,38	0,37	0,0029	0,377	99,23
30	0,015	0,014	0,014	0,014	0,0006	0,38	0,49	0,0039	0,376	98,96
30	0,017	0,016	0,016	0,016	0,0006	0,38	0,54	0,0043	0,376	98,87
30	0,02	0,021	0,021	0,021	0,0006	0,38	0,63	0,0050	0,375	98,68
30	0,041	0,041	0,04	0,041	0,0006	0,38	1,06	0,0084	0,372	97,78
30	0,062	0,062	0,062	0,062	0,0000	0,38	1,51	0,0121	0,368	96,82
30	0,094	0,095	0,095	0,095	0,0006	0,38	2,21	0,0177	0,362	95,35
30	0,111	0,112	0,112	0,112	0,0006	0,38	2,57	0,0206	0,359	94,59
30	0,237	0,237	0,236	0,237	0,0006	0,38	5,24	0,0419	0,338	88,98
30	0,24	0,241	0,24	0,240	0,0006	0,38	5,31	0,0425	0,337	88,81

30	0,242	0,243	0,243	0,243	0,0006	0,38	5,36	0,0429	0,337	88,71
30	0,262	0,262	0,261	0,262	0,0006	0,38	5,77	0,0462	0,334	87,85
30	0,324	0,324	0,323	0,324	0,0006	0,38	7,09	0,0567	0,323	85,07
30	0,381	0,381	0,381	0,381	0,0000	0,38	8,31	0,0665	0,313	82,50
30	0,397	0,398	0,397	0,397	0,0006	0,38	8,66	0,0693	0,311	81,76
30	0,421	0,42	0,421	0,421	0,0006	0,38	9,16	0,0733	0,307	80,71
30	0,444	0,445	0,445	0,445	0,0006	0,38	9,67	0,0774	0,303	79,64
30	0,492	0,492	0,493	0,492	0,0006	0,38	10,69	0,0855	0,294	77,50
30	0,527	0,527	0,526	0,527	0,0006	0,38	11,42	0,0914	0,289	75,95
30	0,571	0,57	0,57	0,570	0,0006	0,38	12,35	0,0988	0,281	73,99
30	0,579	0,578	0,578	0,578	0,0006	0,38	12,52	0,1002	0,280	73,63
30	0,606	0,606	0,606	0,606	0,0000	0,38	13,11	0,1049	0,275	72,39
30	0,621	0,622	0,622	0,622	0,0006	0,38	13,45	0,1076	0,272	71,69
30	0,738	0,738	0,738	0,738	0,0000	0,38	15,93	0,1274	0,253	66,46
30	0,894	0,895	0,895	0,895	0,0006	0,38	19,27	0,1542	0,226	59,43

Contoh perhitungan pada panjang kolom 11 cm dengan massa 8 gram

Konsentrasi sisa :

$$y = 0.9376x - 0.0088$$

$$0,895 = 0.9376x - 0.0088$$

$$x = \frac{0,895 + 0.0088}{0.9376}$$

$$x = \frac{0.9038}{0.9376}$$

$$x = 0.9639$$

$$x = 0.9639 \times fp$$

$$x = 0.9639 \times 20$$

$$x = 19,27 \text{ ppm}$$

$$[S^{2-}] = 19,27 \text{ ppm}$$

Massa gas H₂S sisa

$$19,27 \text{ ppm} = \frac{19,27 \text{ mg}}{L} \times 0.008 \text{ L}$$

$$\text{Massa } S^{2-} = 0,1542 \text{ mg}$$

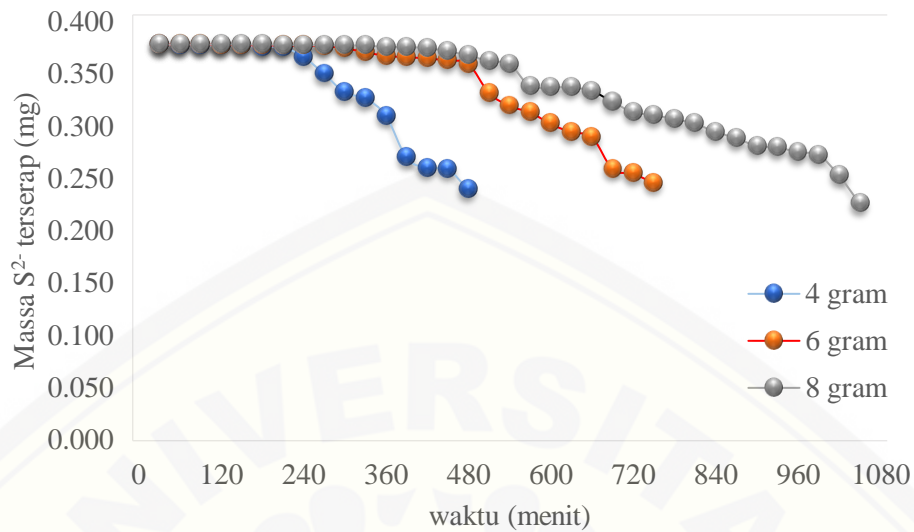
$$\% \text{terserap} = \frac{\text{Massa gas H}_2\text{S awal} - \text{Massa gas H}_2\text{S sisa}}{\text{Massa gas H}_2\text{S awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,00038 - 0,000154}{0,00038} \times 100\%$$

$$= 59,43 \%$$

d. Rata-rata perbedaan massa S^{2-} terserap terhadap berat massa adsorben pada kecepatan optimal 0,75 liter/menit

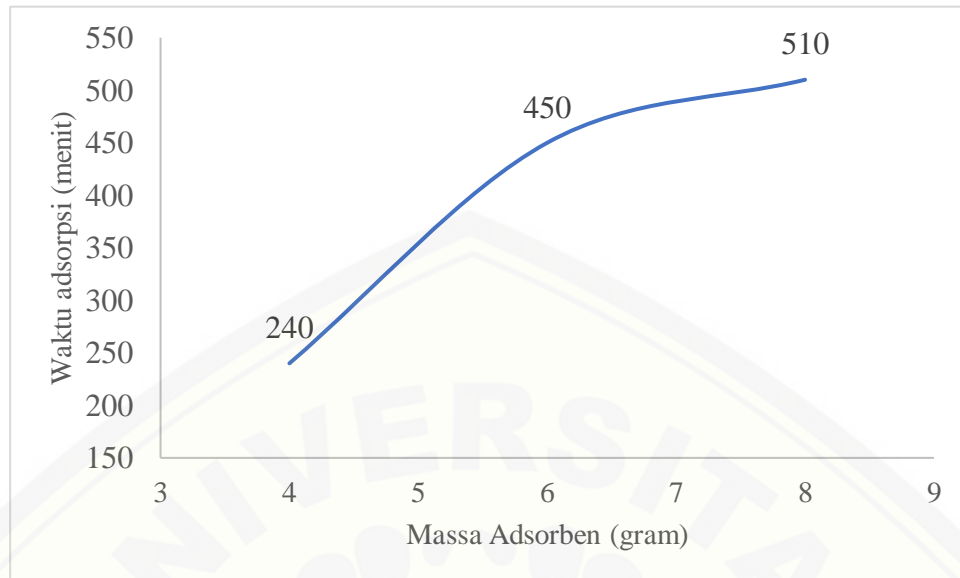
Kecepatan (L/menit)	Waktu (menit)	Massa S^{2-} terserap (mg) pada massa adsorben		
		4 gram	6 gram	8 gram
0,75	30	0,378	0,378	0,378
0,75	60	0,378	0,378	0,378
0,75	90	0,378	0,378	0,378
0,75	120	0,378	0,378	0,378
0,75	150	0,377	0,378	0,378
0,75	180	0,376	0,378	0,378
0,75	210	0,376	0,377	0,378
0,75	240	0,366	0,377	0,378
0,75	270	0,350	0,377	0,378
0,75	300	0,332	0,375	0,377
0,75	330	0,327	0,371	0,377
0,75	360	0,310	0,368	0,376
0,75	390	0,270	0,366	0,376
0,75	420	0,260	0,365	0,375
0,75	450	0,259	0,363	0,372
0,75	480	0,239	0,360	0,368
0,75	510		0,332	0,362
0,75	540		0,319	0,359
0,75	570		0,313	0,338
0,75	600		0,302	0,338
0,75	630		0,294	0,337
0,75	660		0,290	0,334
0,75	690		0,259	0,323
0,75	720		0,255	0,314
0,75	750		0,246	0,311
0,75	780			0,307
0,75	810			0,303
0,75	840			0,295
0,75	870			0,289
0,75	900			0,281
0,75	930			0,280
0,75	960			0,275
0,75	990			0,272
0,75	1020			0,253
0,75	1050			0,226



Gambar 4.1 Hubungan antara massa S^{2-} terserap terhadap waktu untuk perbedaan massa karbon aktif tempurung kelapa pada laju air optimal di 0,75 L/menit

- e. Hasil perbandingan kemampuan adsorpsi karbon aktif dilihat dari penyimpangan% massa S^{2-} terserap untuk masing-masing ukuran massa

Panjang Kolom (cm)	Massa Adsorben (gram)	Waktu Adsorpsi	Massa S^{2-} terserap (mg)
7	4	240 menit	0,376
9	6	450 menit	0,363
11	8	510 menit	0,362



Gambar 4.2 Hubungan antara waktu tinggal adsorpsi terhadap variasi massa adsorben karbon aktif