

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR AKTIVASI ARANG
AMPAS TEBU TERHADAP HASIL PURIFIKASI BIOGAS**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD SYAUQI LAHTSAL HAQ
NIM. 165060201111031

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG

2021



LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR AKTIVASI ARANG AMPAS TEBU TERHADAP HASIL PURIFIKASI BIOGAS

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD SYAUQI LAHTSAL HAQ

NIM. 165060201111031

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada
tanggal 11 Juni 2021

Dosen Pembimbing

Dr. Slamet Wahyudi., ST., M.T
NIP. 19720903 199702 1 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1

Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 11 Juni 2021

Mahasiswa,



Muhammad Syauqi Lahtsal Haq

NIM. 165060201111031



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : **614/UN10.F07.12.11/PP/2021**

Sertifikat ini diberikan kepada :

MUHAMMAD SYAUQI LAHTSAL HAQ

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR AKTIVASI ARANG AMPAS TEBU TERHADAP
HASIL PURIFIKASI BIOGAS**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. DJAROT B. DARMADI, Ir., MT., Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Malang, 14 Juni 2021

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

MEGA NUR SASONGKO, ST., MT., Dr. Eng
NIP. 19740930 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

Pengaruh Variasi Temperatur Aktivasi Arang Ampas Tebu Terhadap Hasil Purifikasi Biogas

Nama Mahasiswa : Muhammad Syauqi Lahtsal Haq

NIM : 165060201111031

Program Studi : Teknik Mesin

Konsentrasi : Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Dosen Pembimbing : Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Prof. Ir. Pratikto, MMT.

Dosen Penguji 2 : Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc.CSE.

Dosen Penguji 3 : Dr. Femiana Gapsari, ST., MT.

Tanggal Ujian : 8 April 2021

SK Penguji : 592/UN10.F07/SK/2021



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas berkat rahmat dan hidayah-Nya serta sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Temperatur Aktivasi Arang Ampas Tebu Terhadap Hasil Purifikasi Biogas”. Skripsi ini dibuat untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST). Penulis sadar bahwa dalam proses pembuatan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, akan tetapi diharapkan segala usaha yang telah dilakukan dapat menjadi ilmu yang bermanfaat bagi Tuhan, masyarakat, bangsa, negara, dunia dan almamater.

Selama proses pembuatan skripsi ini, penulis banyak memperoleh bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tanpa bantuan dan dukungan yang didapat tidak mungkin skripsi ini dapat terselesaikan. Untuk itu penulis dengan tulus hati ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi ini dengan lancar.
2. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya sekaligus sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan banyak bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Ibu Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT., selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan banyak bimbingan dan bantuan, serta ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat sehingga dapat tersusunnya skripsi ini.
6. Bapak Sulistyanto dan bapak Syamsi, yang telah memberikan banyak bantuan dalam pengadaan biogas peternakannya untuk penelitian ini.
7. Ibu Nunung dan pihak lainnya dari Laboratorium Gas Rumah Kaca Balington Kota Pati yang telah membantu dalam terselesaikannya skripsi ini.

8. Kedua orangtua saya, Bapak Anggoro Soenaryo dan Ibu Nurul Khikmah Turmuzdi, yang tak henti-hentinya memberikan banyak dukungan doa, semangat, dan materi untuk anak tercintanya, terima kasih buat mamah dan ayah.
9. Staf Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah melancarkan proses skripsi ini.
10. Kakak dan adik penulis Ummu lathifah, Naila, Abid, dan Mutia yang selalu memberikan semangat dan inspirasi buat kakak.
11. Teman-teman Mesin angkatan 2016 yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dan bantuannya selama penyelesaian skripsi ini.
12. Teman-teman seperjuangan Tari, Fakhri, Abu, dan Firman yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini.
13. Rekan-rekan asisten Laboratorium Tenaga Surya dan Energi Alternatif FT-UB: Raff'e, Rafly, Bella, Alsun, Andika, Bunan, Saleens yang telah memberikan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
14. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata, semoga amal, bantuan, bimbingan serta doa yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua. Aamin.

Malang, 11 Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	1
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	xi
SUMMARY	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Biogas	6
2.2.1 Definisi dan Manfaat Biogas	6
2.2.2 Proses Pembentukan Biogas	7
2.2.3 Karakteristik Gas Penyusun Biogas	10
2.2.4 Penyimpanan Biogas	11
2.3 Nilai Kalor Pembakaran	12
2.4 <i>Gas Chromatography Mass Spectrometry</i>	13
2.4.1 Definisi	13
2.4.2 Instrumentasi	13
2.4.3 Prinsip Kerja	15
2.5 Purifikasi Biogas	15
2.5.1 Metode Adsorpsi	16
2.5.2 Metode Absorpsi	19
2.5.3 Metode Pemisahan Dengan Membran	21
2.5.4 Metode Kriogenik	24
2.6 Ampas Tebu	23
2.7 Karbon Aktif	24

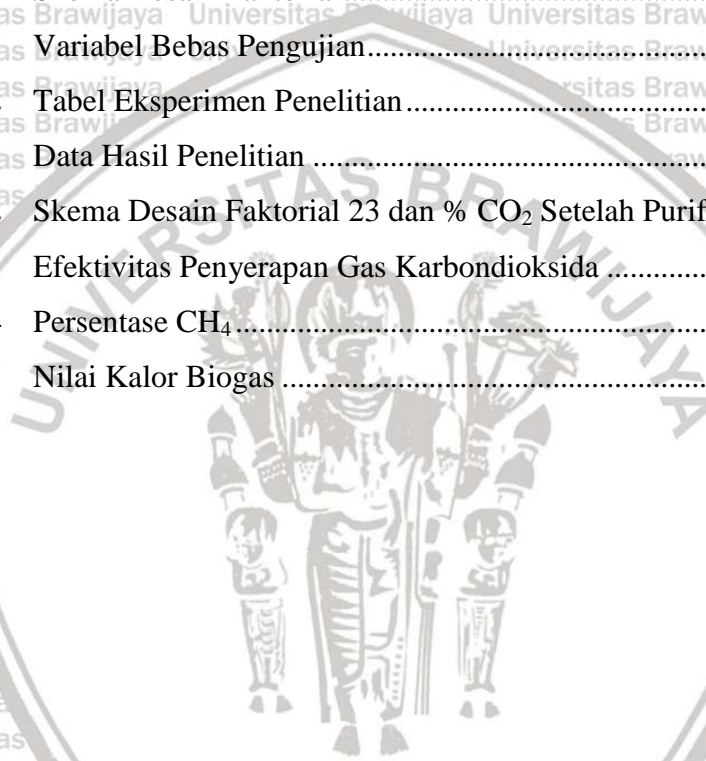




2.7.1 Sumber dan Aplikasi Karbon Aktif	25
2.7.2 Pembuatan Karbon Aktif	26
2.8 Metode Desain Faktorial	38
2.9 Hipotesis	30
BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1 Metode Penelitian	31
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.3 Variabel Penelitian	31
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	32
3.4.1 Bahan yang Digunakan pada Penelitian	32
3.4.2 Alat yang Digunakan pada Penelitian	32
3.5 Skema Instalansi dan Prosedur Penelitian	36
3.5.1 Skema Instalasi	36
3.5.2 Prosedur Penelitian	36
3.6 Diagram Alir Penelitian	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Hasil Penelitian	39
4.1.1 Data Hasil Penelitian	39
4.1.2 Analisis Hasil Penelitian	39
4.1.2.1 Analisis Metode Desain Faktorial	39
4.1.2.2 Efektivitas Penyerapan CO ₂	42
4.1.2.3 Metana	43
4.2 Pembahasan	44
4.2.1 Analisa Kadar CO ₂	44
4.2.2 Efektifitas Penyerapan CO ₂	46
4.2.3 Metana	47
4.2.4 Nilai Kalor Biogas	48
BAB V PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komponen Penyusun Biogas	10
Tabel 2.2	Penyimpanan Biogas	12
Tabel 2.3	Nilai Kalor Pembakaran	12
Tabel 2.4	Zat Pengotor pada Biogas	15
Tabel 2.5	Standar Penghilangan Gas Pengotor Pada Aplikasi Biogas	16
Tabel 2.6	Perbedaan Adsorpsi Fisika Dengan Kimia	17
Tabel 2.7	Komponen Penyusun Serat Ampas Tebu	26
Tabel 2.8	Skema Desain Faktorial	29
Tabel 3.1	Variabel Bebas Pengujian	31
Tabel 3.2	Tabel Eksperimen Penelitian	36
Tabel 4.1	Data Hasil Penelitian	39
Tabel 4.2	Skema Desain Faktorial 23 dan % CO ₂ Setelah Purifikasi Biogas	40
Tabel 4.3	Efektivitas Penyerapan Gas Karbondioksida	42
Tabel 4.4	Persentase CH ₄	43
Tabel 4.5	Nilai Kalor Biogas	44





Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rangkuman Pemanfaatan Biogas.....	7
Gambar 2.2	Urutan Proses Pembentukan Biogas.....	8
Gambar 2.3	Reaksi Kimia Tahap Hidrolisis	8
Gambar 2.4	Reaksi Kimia Tahap Methanogenesis.....	9
Gambar 2.5	Instrumen GCMS.....	13
Gambar 2.6	Proses Pemurnian Secara Umum Dan Aplikasinya.....	15
Gambar 2.7	Mekanisme Proses Adsorpsi	17
Gambar 2.8	Diagram Proses PSA	18
Gambar 2.9	Perbedaan Adsorpsi Dengan Adsorpsi.....	19
Gambar 2.10	Unit Adsorpsi Biogas <i>Water Scrubbing</i>	20
Gambar 2.11	NaOH	21
Gambar 2.12	Pemisahan Dengan Membran	22
Gambar 2.13	Struktur Grafit Dari Arang Aktif	25
Gambar 2.14	Aplikasi Umum Karbon Aktif Dari Tahun 1995 Sampai 2016.....	26
Gambar 2.15	Kombinasi Data Tabel	30
Gambar 3.1	<i>Flowmeter</i>	32
Gambar 3.2	<i>Stopwatch</i>	33
Gambar 3.3	Timbangan Digital	33
Gambar 3.4	<i>Gas Chromatography</i>	34
Gambar 3.5	<i>Urine Bag</i>	34
Gambar 3.6	Selang <i>Polyurethane</i>	35
Gambar 3.7	Kompresor dan Tabung Biogas.....	35
Gambar 3.8	Skema Instalasi	36
Gambar 3.9	Diagram alir penelitian	37
Gambar 4.1	Kombinasi Data Pada Desain Faktorial.....	40
Gambar 4.2	Diagram Persentase CO ₂	45
Gambar 4.3	Diagram Efektivitas Penyerapan CO ₂	46
Gambar 4.4	Diagram Persentase CH ₄	47
Gambar 4.5	Diagram Nilai Kalor Biogas	48



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Uji Menggunakan *Gas Chromatography* oleh Laboratorium Gas Rumah Kaca Balai Penelitian Lingkungan Pertanian Kota Pati 53





Halaman ini sengaja dikosongkan

RINGKASAN

Muhammad Syauqi Lahtsal Haq, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2021, *Pengaruh Variasi Temperatur Aktivasi Arang Ampas Tebu Terhadap Hasil Purifikasi Biogas*, Dosen Pembimbing: Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.

Berkembangnya industri teknologi dan menipisnya energi minyak bumi dengan cepat, kebutuhan akan sumber energi alternatif yang terbarukan menjadi pertimbangan yang sangat penting. Biogas adalah energi terbarukan yang memiliki potensi besar sebagai energi alternatif. Kandungan biogas terdiri dari CH_4 sekitar 50-80% dan CO_2 sebagai pengotor sekitar 27-45%. Dengan adanya gas CO_2 dapat mempengaruhi kemurnian CH_4 dalam biogas. Oleh karena itu, untuk mendapatkan kualitas biogas yang baik diperlukan pemurnian/purifikasi.

Purifikasi biogas merupakan hal yang diperlukan untuk mengurangi kandungan CO_2 dan meningkatkan nilai kalor biogas. Pertimbangan biaya untuk purifikasi biogas merupakan salah satu hal yang perlu dipertimbangkan untuk memilih teknologi yang akan digunakan. Senyawa alam yang banyak terdapat dalam limbah pertanian atau buangan industri merupakan adsorben alternatif. Karbon aktif merupakan bahan kimia yang saat ini banyak digunakan dalam industri yang menggunakan proses absorpsi dan purifikasi. Pemanfaatan limbah ampas tebu selama ini dinilai masih rendah. Ampas tebu yang dihasilkan biasanya digunakan sebagai bahan bakar sekaligus mengurangi volumenya untuk dibuang. Limbah ampas tebu yang digunakan sebagai bahan bakar pada tangki pemanas di pabrik gula dinilai kurang efisien karena rendahnya kalori yang dihasilkan. Ampas tebu terdiri dari selulosa 39-43%, lignin 21-23%, hemiselulosa 25-32%, dan sejumlah kecil material anorganik dan abu. Sehingga ampas tebu dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan karbon aktif karena mengandung lignoselulosa yang memiliki kandungan karbon dengan ketersediaan bahan yang mudah didapat dan tidak mahal.

Dalam penelitian ini, desain faktorial 2^3 digunakan untuk mengoptimalkan beberapa parameter dalam pemurnian biogas dari kotoran sapi dan ayam dalam digester anaerob. Pengaruh parameter dalam pemurnian biogas seperti suhu aktivasi, laju aliran biogas, dan waktu pengambilan biogas diselidiki dan hasilnya menunjukkan bahwa suhu aktivasi (T), waktu pengambilan biogas, dan interaksi (TQ, Ts, Qs, TQs) memiliki efek yang signifikan pada kemurnian biogas. Proses pemurnian bervariasi pada karbon aktif (600°C dan 900°C), laju aliran gas 1 liter / menit dan 2 liter / menit, dan diamati setiap 5 dan 20 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin meningkatnya suhu aktivasi karbon, kadar CO_2 cenderung menurun dengan persentase terendah 10,11% dan kadar CH_4 meningkat dengan persentase tertinggi 73,84%. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya suhu aktivasi, area kontak yang luas antara biogas dengan karbon aktif semakin besar sehingga CO_2 diserap oleh karbon aktif meningkat. Selain peningkatan waktu pemurnian, CO_2 yang diserap dalam struktur karbon aktif semakin banyak.

Kata Kunci: Biogas, Karbon Aktif, Ampas Tebu, Temperatur Aktivasi, Metode Desain Faktorial, Adsorpsi



Halaman ini sengaja dikosongkan

SUMMARY

Muhammad Syauqi Lahtsal Haq, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, June 2021, *The Effects of Activation Temperature Variation Using Sugarcane Charcoal on the Results of Biogas Purification*, Advisor Lecturer: Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.

The continued development of the technology industry and the rapid depletion of petroleum energy the need for alternative sources of renewable energy to be a very important consideration. Biogas is a renewable energy that has great potential as an alternative energy. The content consists of CH₄ biogas as fuel around 50-80% and CO₂ as an impurity around 27-45%. With the CO₂ gas can affect the purity of CH₄ in biogas womb. Therefore, to get the maximum quality of biogas purification necessary. In this research work, 2³ factorial experimental design procedure has been used to optimize some parameters in biogas purification from cow and chicken dung in anaerobic digester. The effect of parameters in biogas purification such as activation temperature, biogas flow rate, and biogas retrieval time have been investigated and results showed that activation temperature (T), biogas retrieval time, and the interaction (TQ, Ts, Qs, TQs) have significant effect on the purity of biogas. Purification processes varying on carbon active (600°C and 900°C), gas flow rate 1 liter/min and 2 liter/min, and observed every 5 and 20 minutes. The result showed that the increasing activation temperature of carbon, the CO₂ levels tend to decline with the lowest percentage of 10,11% and CH₄ levels increase with the highest percentage of 73,84%. This is due to the increasing activation temperature, wide contact area between the biogas by carbon active increasingly large that CO₂ is absorbed by the carbon active increased. In addition to the increasing time of purification, CO₂ absorbed in the carbon active struture more and more.

Keywords: Biogas, Activated Carbon, Sugarcane Bagasse, Activation Temperature, Factorial Design Method, Adsorption



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Biogas adalah energi alternatif yang bersumber dari kotoran ternak. Proses fermentasi anaerob kurang lebih 7 hari pada pembuatan biogas menghasilkan gas bahan bakar yang mengandung gas metana (CH_4) sebesar 50-75%, karbondioksida (CO_2) sebesar 25-45%, nitrogen (N_2) sebesar 0-2%, hidrogen sulfida (H_2S) sebesar 0-2%, ammonia (NH_3) sebesar 0-1%, dan hidrogen (H_2) sebesar 0-1% (Picanco et al, 2001). Semakin banyak kadar metana akan menunjukkan tingkat kemurnian biogas itu efeknya nilai kalor biogas meningkat namun ada unsur pengotor yaitu karbondioksida keberadaannya menghambat reaksi tumbukan antara molekul hidrokarbon dan molekul udara (Uwar Dkk, 2012). Oleh karena itu diperlukan solusi purifikasi biogas untuk mengurangi kandungan karbondioksida sehingga didapat biogas dengan kualitas bagus dengan nilai kalor bagus pula.

Purifikasi biogas merupakan hal yang diperlukan untuk mengurangi kandungan CO_2 dan meningkatkan nilai kalor biogas. Pertimbangan biaya untuk purifikasi biogas merupakan salah satu hal yang perlu dipertimbangkan untuk memilih teknologi yang akan digunakan. Senyawa alam yang banyak terdapat dalam limbah pertanian atau buangan industri merupakan adsorben alternatif. Biaya pengolahan adalah salah satu parameter yang penting dalam memilih adsorben dan biaya masing-masing adsorben bervariasi, tergantung pada proses yang diperlukan dan ketersediaan adsorben tersebut. Secara umum adsorben dapat dikatakan ekonomis apabila tidak memerlukan atau memerlukan sedikit proses, bahannya mudah didapat, dan merupakan hasil samping atau limbah industri (Arifin, 2003).

Karbon aktif merupakan bahan kimia yang saat ini banyak digunakan dalam industri yang menggunakan proses absorpsi dan purifikasi (Soetomo, 2012). Ampas tebu dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif karena merupakan material yang mengandung lignoselulosa. Lignoselulosa merupakan unsur yang mengandung karbon (Kalderis dkk, 2008).

Di Indonesia, perkebunan tebu untuk gula pasir dapat ditemui di 9 provinsi yaitu Sumatera Utara, Gorontalo, Lampung, Sumatera Selatan, Jawa Barat, DI Yogyakarta, Jawa

Tengah, Jawa Timur, dan Sulawesi Selatan. Di antara 9 provinsi tersebut, pada tahun 2012-2017, Jawa Timur adalah penghasil tebu terbesar di Indonesia. Produksi di provinsi yang beribukota di Surabaya ini mencapai 48,26% dari produksi tebu Indonesia. Kabupaten utama penghasil tebu di Jawa Timur terutama terletak di bagian selatan Jawa Timur yaitu kabupaten Blitar, Kediri, Malang, dan Lumajang. Dari data luas tanaman perkebunan yang ada di Jawa Timur tahun 2018, luas areal perkebunan tebu 194.903 ha dengan produksi sebesar 1.066.628 ton (BPS Jawa Timur, 2020). Tebu-tebu dari perkebunan tersebut diolah menjadi gula di pabrik-pabrik gula. Selama proses produksi, ampas tebu yang dihasilkan sebesar 90% dari setiap tebu yang diproses, sedangkan sisanya berupa tetes tebu (molase) dan air. Nilai rata-rata limbah ampas tebu yang dapat dihasilkan di seluruh dunia pertahunnya mencapai 54 juta ton (Ju et al., 2011). Berdasarkan data dari Pusat Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) limbah ampas tebu yang dihasilkan oleh pabrik gula diperkirakan adalah 45% dari ampas tebu tersebut dan belum dimanfaatkan, sehingga dapat mengganggu lingkungan.

Pemanfaatan limbah ampas tebu selama ini dinilai masih rendah. Ampas tebu yang dihasilkan biasanya digunakan sebagai bahan bakar sekaligus mengurangi volumenya untuk dibuang (Chum et al., 2014). Limbah ampas tebu yang digunakan sebagai bahan bakar pada tangki pemanas di pabrik gula dinilai kurang efisien karena rendahnya kalori yang dihasilkan (Verma et al., 2012). Limbah ini biasanya dibuang ke dalam lubang dan juga diaplikasikan pada tanah sebagai amandemen tanah di beberapa daerah (Clauser et al., 2016). Ampas tebu terdiri dari selulosa 39-43%, lignin 21-23%, hemiselulosa 25-32%, dan sejumlah kecil material anorganik dan abu (Oliveira et al., 2013; Clauser et al., 2016). Sehingga ampas tebu dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan karbon aktif karena mengandung lignoselulosa yang memiliki kandungan karbon dengan ketersediaan bahan yang mudah didapat dan tidak mahal (Shofa, 2012).

Berdasarkan uraian penelitian diatas maka untuk meningkatkan kualitas biogas diperlukan proses purifikasi. Proses adsorpsi menggunakan karbon aktif ampas tebu bisa terjadi karena memiliki lignoselulosa yang memiliki kandungan karbon. Pada penelitian ini akan dikaji lebih lanjut penggunaan adsorben arang ampas tebu dengan tujuan mendapatkan temperatur aktivasi paling optimum dalam proses aktivasi karbon aktif dari ampas tebu agar didapat biogas dengan kemurnian tinggi. Metode yang digunakan adalah membagi adsorben arang ampas tebu menjadi beberapa variasi temperatur aktivasi. Dalam penelitian ini diharapkan arang ampas tebu mampu menjadi bahan adsorben alternatif sehingga penggunaan biogas bisa dikelola masyarakat dengan murah dan mudah agar

ketergantungan penggunaan bahan bakar fosil bisa diminimalisir. Manfaat besar dari segi ekonomi juga diharapkan dirasakan masyarakat karena banyak ampas tebu yang melimpah dan terbuang sia-sia dimana hal tersebut bisa meminimalisir pengeluaran masyarakat dalam proses pengelolaan biogas.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh temperatur aktivasi adsorben arang ampas tebu terhadap hasil purifikasi biogas dalam hal penyerapan gas CO₂?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditentukan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Laju aliran biogas 1 dan 2 L/menit.
2. Biogas adalah hasil dari fermentase anaerob kotoran ayam dan sapi.
3. Temperatur di sekitar area pengujian pada suhu kamar (25°C).
4. Massa arang aktif ampas tebu 200 gram per tabung dengan total 2 tabung.
5. Adsorben yang digunakan adalah arang aktif ampas tebu.
6. Gas yang diserap adalah CO₂.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur aktivasi arang ampas tebu terhadap penyerapan gas CO₂ pada pemurnian biogas.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memanfaatkan limbah ampas tebu untuk dijadikan karbon aktif sebagai upaya perlindungan lingkungan serta menambah nilai tambah pada limbah.
2. Menyumbang pengembangan teknologi yang ramah lingkungan untuk masyarakat di bidang energi alternatif.
3. Menambah wawasan pengetahuan tentang sistem purifikasi biogas dalam rangka pemasyarakatan energi baru terbarukan yang ramah lingkungan.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengurangi zat pengotor pada biogas guna meningkatkan kemurnian dan kualitas biogas, proses untuk mengurangi pengotor disebut purifikasi. Purifikasi pada biogas yang umum adalah secara adsorpsi dan absorpsi karena dua hal ini termasuk tidak mahal dan tidak terlalu kompleks dalam pelaksanaan penelitiannya. Untuk penggunaan adsorben berupa arang ampas tebu masih sangat sedikit dilakukan sehingga perlu digali lagi potensi adsorben arang ampas tebu tersebut.

Purwinda dkk (2014) melaksanakan penelitian tentang pemurnian biogas menggunakan adsorben karbon aktif untuk melihat efektivitas karbon aktif dalam menyerap CO_2 . Variabel bebas berupa laju alir biogas 0,015 L/s, 0,02 L/s, dan 0,025 L/s dengan waktu kontak biogas dengan adsorber adalah 120 detik. Penelitian ini memberikan hasil berupa penyerapan CO_2 paling tinggi ada pada parameter laju alir 0,025 L/s.

Putra dkk (2011) melakukan penelitian tentang pemurnian biogas menggunakan karbon aktif. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah kombinasi adsorben dari arang aktif 100%, arang aktif 75% dan 25% zeolit alam, arang aktif 50% dan zeolit alam 50%, arang aktif 25% dan 75% zeolit alam, serta 100% zeolit alam. lapisan absorber zeolit mulai 1 lapis hingga 5 lapis dan variasi waktu selama 15, 30, 45, dan 60 menit sedangkan tekanan biogas masuk purifier dibuat konstan 15 cmH_2O dan massa zeolit tetap 150 gr. Hasil yang didapatkan adalah pada adsorbent 100% arang aktif menunjukkan mampu menyerap kandungan karbon dioksida paling maksimal dibanding kombinasi lainnya.

Widyastuti dkk (2013) melakukan pemurnian biogas dari unsur pengotor CO_2 dengan memakai karbon aktif yang berasal dari cangkang kelapa sawit, kemudian dibandingkan dengan karbon aktif komersial. Persentase peningkatan kadar CH_4 sebesar 7% dan persentase penurunan kadar CO_2 sebesar 6,1% dengan menggunakan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit, sedangkan karbon aktif komersial meningkatkan kadar CH_4 sebesar 11,5% dan menurunkan kadar CO_2 sebesar 12,9%.

Suprianti (2016) melakukan penelitian pemurnian biogas dengan media karbon aktif dari batok kelapa. Pengujian ini dilakukan dengan memvariasikan 5 (lima) laju alir biogas,

yaitu 1,8 L/menit, 2,1 L/menit, 2,4 L/menit, 2,7 L/menit, dan 3 L/menit. Penelitian ini memberikan hasil berupa penyerapan CO₂ paling tinggi ada pada parameter laju alir 2,4 L/menit dan waktu adsorpsi 10 menit, mampu memurnikan biogas hingga mengandung CH₄ 91,60%.

Widhiyanuriyawan dkk (2011) melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur pemanasan zeolite alam terhadap persentase gas CH₄ pada proses purifikasi biogas. Variasi temperaturnya yaitu 300°C, 600°C, dan 900°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kandungan CO₂ dan H₂S yang optimal (0%) terjadi pada temperatur perlakuan panas 900°C pada waktu 120 menit.

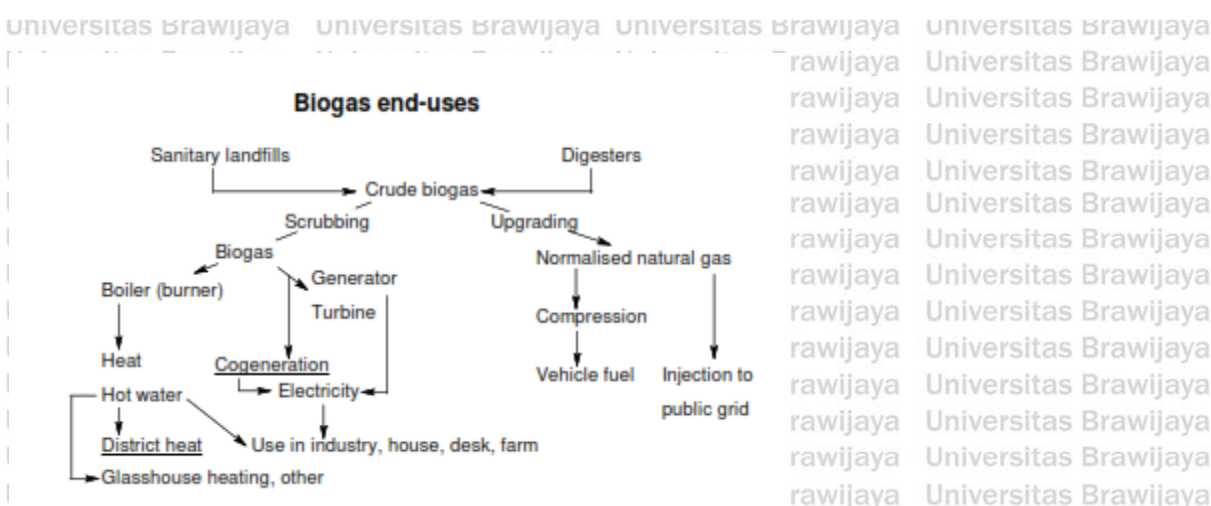
2.2 Biogas

2.2.1 Definisi dan Manfaat Biogas

Biogas adalah gas yang diproduksi selama proses digesti anerobik dari substrat organik seperti kotoran ternak, residu organik limbah rumah tangga atau industri. Gas ini diproduksi pada digester bisa diproduksi dalam skala besar biasanya pada negara – negara industrialis dan skala rumah tangga ditemui di di banyak region. Biogas juga diproduksi selama proses anaerob pada pembusukan organik di daerah TPA. Komposisi utama biogas terdiri dari metana dan karbondioksida dan gas ini bisa dimanfaatkan sebagai energi terbarukan dengan mengkombinasikan dengan panas pada pembangkit listrik.

Beberapa keuntungan dari produksi dan pemanfaatan antara lain sebagai sumber energi terbarukan, mengurangi emisi yang dilepaskan ke atmosfer oleh TPA, mensubstitusi bahan bakar fosil untuk menghasilkan panas, untuk pembangkit listrik, dan bisa dihasilkan produk sampingan berupa pupuk. Pemanfaatan biogas dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Konten energi dari biogas yang berasal dari kotoran hewan secara kimia disusun oleh metana. Persentase kandungan pada biogas tergantung pada tipe bahan dasar, sistem digesti, temperatur. Kandungan biogas dapat dilihat pada Tabel 2.1.



Gambar 2.1 Rangkuman pemanfaatan biogas

Sumber: Al Seadi (2008)

2.2.2 Proses Pembentukan Biogas

Pada dasarnya teknologi biogas adalah memanfaatkan proses pembusukan dari sampah organik secara anaerob oleh bakteri metan sehingga dihasilkan gas metan. Proses pencernaan *anaerobik* merupakan dasar dari reaktor biogas yaitu proses pemecahan bahan organik oleh aktivitas bakteri *asidogenik* dan bakteri *metanogenik* pada kondisi tanpa udara. bakteri ini ditemukan pada bahan organik, seperti kotoran mamalia dan sampah organik rumah tangga.

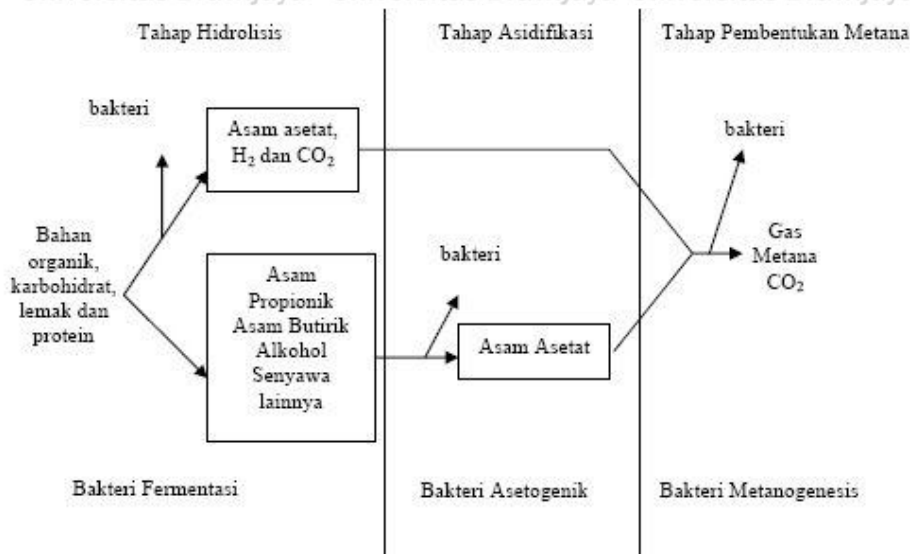
Bahan organik kemudian diolah dengan cara memasukkan bahan organik yang terdiri dari kotoran dan potongan-potongan kecil sisa-sisa tanaman, seperti jerami dan sebagainya kemudian diberi air yang cukup banyak dimana air berguna untuk melarutkan bahan organik dalam perbandingan 4 (bahan organik) : 5 (air).

Biogas sudah terbentuk sekitar 10 hari di dalam digester kurang lebih sebesar 0,1-0,2 m³/kg dari berat bahan kering. Peningkatan penambahan waktu fermentasi dari 10 hingga 30 hari meningkatkan produksi biogas sebesar 50%. Biogas yang dihasilkan oleh biodigester sebagian besar terdiri dari 50-70% metana (CH₄), 30-40% karbondioksida (CO₂), dan gas lainnya dalam jumlah kecil (Hadi, 1981 dalam Harsono, 2013).

Ada tiga kelompok bakteri yang berperan dalam proses pembentukan biogas, yaitu:

1. Kelompok bakteri *fermentative*: *Streptococci*, *Bacteriodes*, dan beberapa jenis *Enterobacteriaceae*.
2. Kelompok bakteri *asetogenik*: *Desulfovibrio*.
3. Kelompok bakteri *metanogenik*: *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanosarcina*, dan *Methanococcus*.

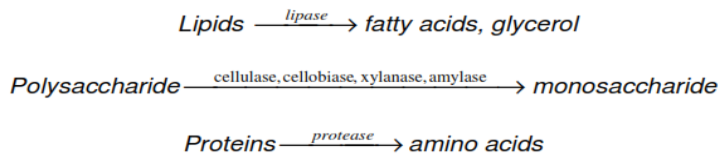
Secara garis besar proses pembentukan biogas dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan dibagi dalam tiga tahap yaitu: hidrolisis, asidifikasi (pengasaman) dan metanogenesis (pembentukan gas metana).



Gambar 2.2 Urutan proses pembentukan biogas
Sumber: Murjito (2013)

1. Tahap Hidrolisis

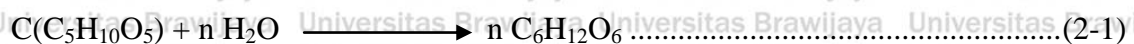
Seperti di Gambar 2.3 bahan organik dienzimatik secara eksternal oleh enzim ekstraselular (selulose, amilase, protease, dan lipase) mikroorganismenya. Bakteri memutuskan rantai panjang karbohidrat kompleks, protein dan lipida menjadi senyawa rantai pendek, seperti pada gambar berikut ini;



Gambar 2.3 Reaksi kimia tahap hidrolisis

Sumber: Al Seadi (2008)

Contoh reaksi pada polisakarida

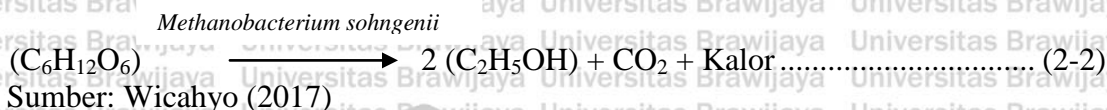


Sumber: Wicahyo (2017)

2. Tahap Asidifikasi (Pengasaman)

Bakteri menghasilkan asam pada tahap ini, mengubah senyawa rantai pendek hasil proses pada tahap hidrolisis menjadi asam asetat, hidrogen (H₂) dan karbondioksida.

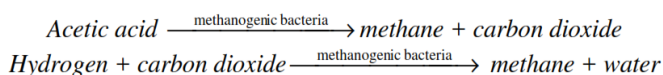
Bakteri tersebut merupakan bakteri anaerobik yang dapat tumbuh dan berkembang pada keadaan asam. Untuk menghasilkan asam *asetat*, bakteri tersebut memerlukan oksigen dan karbon yang diperoleh dari oksigen yang terlarut dalam larutan. Pembentukan asam pada kondisi *anaerobik* tersebut penting untuk pembentuk gas metana oleh mikroorganisme pada proses selanjutnya. Selain itu bakteri tersebut juga mengubah senyawa yang bermolekul rendah menjadi alkohol, asam organik, asam amino, karbondioksida, H₂S, dan sedikit gas metana.



Sumber: Wicahyo (2017)

3. Tahap Pembuatan Gas Metana

Seperti pada Gambar 2.4 pada tahap setelah tahap asidogenak bakteri metanogenik mendekomposisi senyawa dengan berat molekul rendah menjadi senyawa dengan berat molekul tinggi. Sebagai contoh bakteri ini menggunakan H₂, CO₂ dan asam asetat untuk membentuk metana dan CO₂. Bakteri penghasil asam dan gas metana bekerja sama secara simbiosis. Bakteri penghasil asam membentuk keadaan atmosfer yang ideal untuk bakteri penghasil metana. Sedangkan bakteri pembentuk gas metana menggunakan asam yang dihasilkan bakteri penghasil asam. Tanpa adanya proses simbiotik tersebut, akan menciptakan kondisi *toksik* bagi mikroorganisme penghasil asam (Amaru, 2004).



Gambar 2.4 Reaksi Kimia tahap methanogenesis

Sumber: Al Seadi (2008)

Contoh dalam bentuk rumus kimia;



Sumber: Wicahyo (2017)

Tabel 2.1

Komponen Penyusun Biogas

Senyawa	Kandungan (% Vol)
Metana (CH ₄)	50-75
Karbondoksida (CO ₂)	25-45
Uap Air (H ₂ O)	2 (20°C) – 7 (40°C)
Oksigen O ₂)	<2
Nitrogen (N ₂)	<2
Amonia (NH ₃)	<1
Hidrogen (H ₂)	<1
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	<1

Sumber: Al Seadi (2008)

2.2.3 Karakteristik Gas Penyusun Biogas

1. Gas Metana

Sifat fisika gas metana adalah:

Berat molekul : 16,04 gr/mol

Titik leleh : -182,6°C

Titik didih : -161,4°C

Densitas : 7,2 x 10⁻⁴ gr/ml (1 atm dan 0°C)

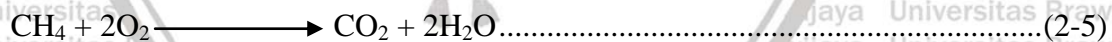
LHV : 50141 kJ/kg

HHV : 55641 kJ/kg

C_p : 2,2587 kJ/kg . K

C_v : 1,7354 kJ/kg . K

Sifat kimia metana berdasarkan Fessenden, 1989 adalah reaksi pembakaran sempurna gas metana menghasilkan gas karbondioksida dan uap air.



Sumber: Fessenden (1989)

2. Karbondioksida (CO₂)

Sifat fisika karbondioksida adalah:

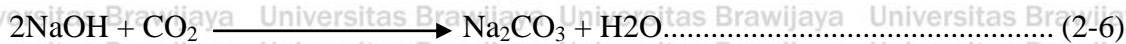
Berat Molekul : 44,01 gr/mol

Densitas : 1,98 x 10⁻³ gr/mol (1 atam dan 0°C)

Titik lebur : -57°C (216 K) (di bawah tekanan)

Titik didih : -78°C (195 K) (menyublim)

Sifat kimia karbon dioksida adalah karbondioksida bereaksi dengan natrium hidroksida membentuk natrium karbonat (Svehla, 1985).



Sumber: Svehla (1985)

3. Hidrogen Sulfida (H_2S)

hidrogen sulfida memiliki sifat kimia sebagai berikut

Berat Molekul : 34,08 gram/mol

Titik didih Un: $-59,6^\circ\text{C}$

Titik leleh : $-82,9^\circ\text{C}$

Sifat kimia hydrogen sulfida adalah

- Merupakan reduktor dalam reaksi redoks

- Reaksi antara H_2S dengan HNO_3 membentuk endapan belerang dan gas NO serta H_2O



Sumber: Hotma (2015)

2.2.4 Penyimpanan Biogas

Dalam sistem penyimpanan gas perlu diperhatikan beberapa faktor. Faktor tersebut antara lain adalah sifat dan karakteristik gas yang akan disimpan, tekanan penyimpanan, material penyimpanan dan jangka waktu. Biogas dapat disimpan dan digunakan untuk kegiatan konvensional. Kebanyakan biogas digunakan ketika biogas diproduksi saat itu atau dalam artian langsung digunakan. Penyimpanan biogas biasanya dalam waktu yang sementara hanya ketika jumlah produksi melebihi jumlah konsumsi. Pemilihan tempat penyimpanan disesuaikan dengan tekanan yang terdapat dalam biogas.

Tabel 2.2 menunjukkan kesesuaian penyimpanan biogas sesuai dengan tekanan yang diinginkan. Semakin tinggi tekanan penyimpanan, dibutuhkan material yang semakin kuat. Untuk penyimpanan dengan tekanan tinggi menggunakan material logam sebagai bahan penyimpanan. Selain itu dari segi tujuan penyimpanan terbagi menjadi dua jenis yaitu penyimpanan dalam jangka waktu pendek serta menengah dan jangka waktu panjang. Tabel 2.2 memaparkan beberapa jenis penyimpanan biogas.

Tabel 2.2

Penyimpanan Biogas

Tujuan Penyimpanan	Tekanan (Psi)	Alat Penyimpanan	Material	Ukuran (ft ³)
Penyimpanan jangka waktu pendek dan menengah (konvensional)	<0,1	<i>Floating Cover</i>	Karet atau plastik yang diperkuat atau tanpa penguat.	Volume yang bisa berubah, biasanya produksi kurang dari satu hari.
	<2	Kantong Gas	Karet atau plastik yang diperkuat atau tanpa penguat.	150-11.000
	2-6	<i>Water Sealed Gas Holder</i>	Baja	3.500
		Kantong Gas Berat	Karet atau plastik yang diperkuat atau tanpa penguat.	880-28.000
		<i>Floating roof</i>	Plastik atau plastik yang diperkuat.	Volume yang bisa berubah, biasanya produksi kurang dari satu hari.
Penyimpanan jangka waktu lama (non-konvensional)	10-2.900	Tangki propana atau Butana	Baja	2000
	>2.900	Tabung gas komersial	Baja Paduan	350

Sumber: Walsh (1996)

2.3 Nilai Kalor Pembakaran

Reaksi pembakaran Hidrokarbon selalu menghasilkan CO₂ dan H₂O. Air atau H₂O dalam produk dapat muncul dalam berbagai fase dan akan mempengaruhi terhadap nilai pemanasannya. LHV (*lower heating value*) adalah panas pembakaran pada kondisi dimana air atau H₂O dalam produk berbentuk uap (gas) sedangkan HHV (*higher heating value*) adalah panas pembakaran yang dihasilkan oleh reaksi pembakaran jika semua air didalam produk terkondensasi menjadi cair. Tabel 2.3 menunjukkan beberapa nilai kalor pembakaran.

Tabel 2.3

Nilai Kalor Pembakaran

Senyawa Berbentuk Gas	H ₂ O dalam Produk Berbentuk Uap (LHV) "kj/kg"	H ₂ O dalam Produk Berbentuk cair (HHV) "kj/kg"
Etan, C ₂ H ₆	47595	51993
Metane, CH ₄	50141	55641
Oktan, C ₈ H ₁₈	44786	48254
Hexan, C ₆ H ₁₄	45100	48679
Acentylene, C ₂ H ₂	57577	60960
Hidrogen, H ₂	119954	141788

Sumber: ING Wardana (2008)

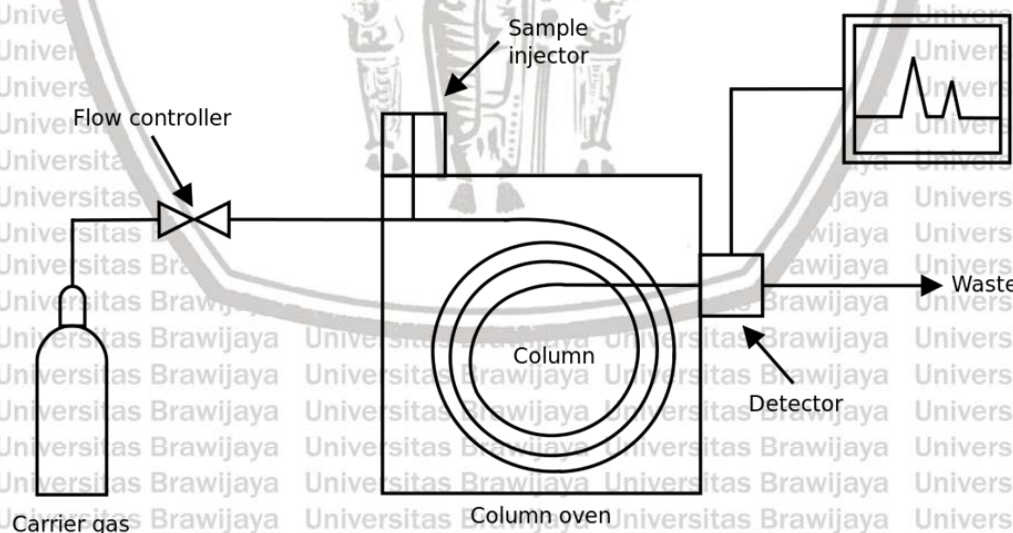
2.4 Gas Chromatography Mass Spectrometry

2.4.1 Definisi

Gas *chromatography mass spectrometry* atau biasa disingkat GCMS adalah suatu metode pemisahan senyawa kimia dengan dua metode yaitu metode analisis senyawa atau kromatografi gas untuk analisis jumlah senyawa secara kuantitatif dan spektrometri massa untuk menganalisis struktur molekul senyawa. Kedua metode tersebut digabungkan pada GCMS untuk mengidentifikasi senyawa yang berbagai macam dalam sampel. Penggabungan dua metode ini diharapkan bisa meningkatkan daya analisis dalam menganalisis sampel dengan menggabungkan kelebihan keduanya dan meminimalisir kekurangannya sehingga dihasilkan data yang lebih akurat. Keunggulan metode ini adalah efisien, resolusi tinggi sehingga bisa menganalisis partikel kecil, analisis tidak merusak sampel, sensitivitas tinggi sehingga bisa memisahkan berbagai senyawa yang saling bercampur, dan analisisnya cepat. Kerugian metode ini antara lain teknik kromatografi yang terbatas untuk zat yang mudah menguap dan tidak bisa untuk memisahkan campuran senyawa dalam jumlah besar. (Pavia, 2006)

2.4.2 Instrumentasi

Berdasarkan definisinya instrumen pada alat GCMS adalah gabungan dari instrumen kromatografi gas dan spektrometri masa. berikut penjelasannya pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Instrumen GCMS

Sumber: Hites (2015)

1. Instrumen Kromatografi Gas
 - a. *Carrier Gas Supply*; penampung gas yang akan diuji.
 - b. *Control System*; mengontrol tekanan dan laju fase gerak yang masuk kolom dan oven.
 - c. *Injection Port*; berguna sebagai penyuntik sampel gas ke mesin.
 - d. Oven; instrumen pemanas kolom dengan jangkauan temperatur 30°C-320°C.
 - e. Kolom; pokok dari kromatografi gas bagian yang memproses kandungan senyawa
2. Instrumentasi Spektrometri Masa
 - a. Sumber Ion; sebagai unit pemecah ion sampel menjadi ion positif.
 - b. Filter; berupa rangkaian elektromagnetik yang menyaring ion berdasarkan perbedaan masa untuk menentukan mana yang boleh lewat mana yang tidak.
 - c. Detektor; mendeteksi kehadiran ion dan electron akibat pemanasan senyawa organik.
 - d. *Recorder*; merekam hasil dan mencetaknya pada bentk grafik dengan rekaman urutan puncak-puncak, tiap puncak mewakili satu senyawa dalam campuran.
3. Komputer
Data GCMS dikirm ke instrumen ini untuk diolah menjadi data numerik.

2.4.3 Prinsip Kerja

GC-MS adalah terdiri dari dua blok bangunan utama: kromatografi gas dan spektrometer massa. Kromatografi gas menggunakan kolom kapiler yang tergantung pada dimensi kolom itu (panjang, diameter, ketebalan film) serta sifat fase (misalnya 5% fenil polisiloksan). Perbedaan sifat kimia antara molekul-molekul yang berbeda dalam suatu campuran dipisahkan dari molekul dengan melewati sampel sepanjang kolom. Molekul-molekul memerlukan jumlah waktu yang berbeda (disebut waktu retensi) untuk keluar dari kromatografi gas, dan ini memungkinkan spektrometer massa untuk menangkap, ionisasi, mempercepat, membelokkan, dan mendeteksi molekul terionisasi secara terpisah. Spektrometer massa melakukan hal ini dengan memecah masing-masing molekul menjadi terionisasi mendeteksi fragmen menggunakan massa untuk mengisi rasio.

2.5 Purifikasi Biogas

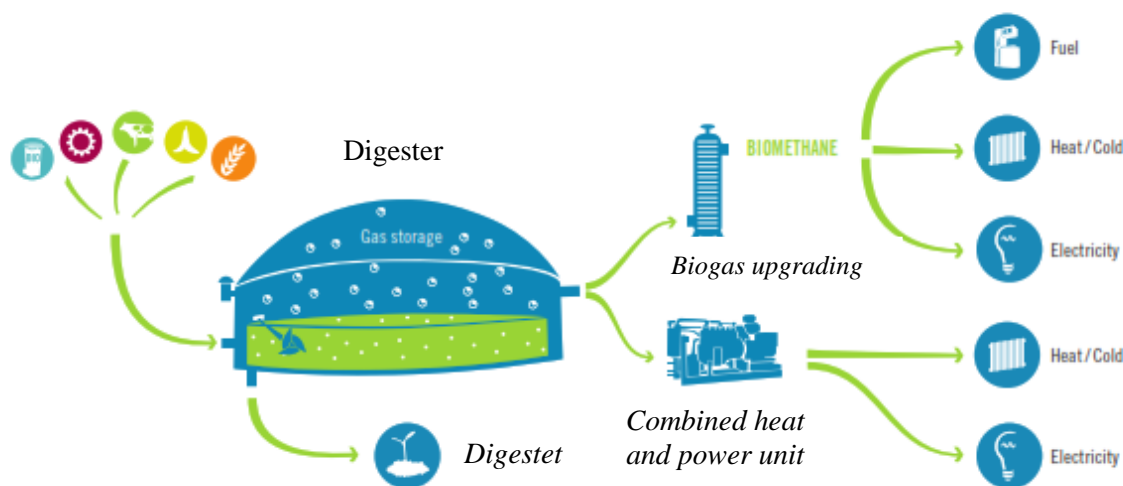
Dalam KBBI purifikasi diartikan sebagai pembersihan, sehingga dapat disimpulkan bahwa purifikasi biogas adalah proses menghilangkan atau membersihkan senyawa – senyawa yang dapat menurunkan kualitas dari pada biogas instalasinya seperti pada

Gambar 2.6. Karbondioksida (CO_2) merupakan gas yang dapat menyebabkan kualitas pembakaran biogas berkurang, hal ini dikarenakan senyawa CO_2 mengganggu dalam proses pembakaran. Selain karbondioksida beberapa kandungan pengotor yang harus dihilangkan adalah air dan hidrogen sulfide seperti pada Tabel 2.4 dibawah. Zat pengotor selain menurunkan kualitas biogas juga dapat membuat alat berkarat dan menambah beban mekanik alat.

Tabel 2.4
Zat Pengotor pada Biogas

Zat Pengotor	Efek yang Ditimbulkan
Air	- Korosi dalam kompresor, tangki penyimpanan gas dan mesin karena reaksi dengan H_2S , NH_3 dan CO_2 untuk membentuk asam. - Kondensasi atau pembekuan karena tekanan tinggi.
Debu	Menyumbat karena menimbulkan endapan dalam kompresor, dan gas tangki penyimpanan.
H_2S	- Korosi dalam kompresor, tangki penyimpanan gas dan mesin. - Beracun bila konsentrasi H_2S ($> 5\text{cm}^3/\text{m}^3$). - SO_2 dan SO_3 yang terbentuk akibat pembakaran, lebih beracun dari H_2S dan menyebabkan korosi dengan air.
CO_2	Nilai kalor rendah.
NH_3	Korosi bila larut dalam air.
O_2 / udara	Mudah meledak jika kandungan O_2 dalam biogas tinggi.

Sumber : Ryckebosch, E *et. al.* (2011)



Gambar 2.6 Proses pemurnian secara umum dan aplikasinya

Sumber: Wilken (2017)

Dalam pemanfaatan biogas yang beragam terdapat masing – masing standar gas pengotor yang harus dihilangkan atau diminimalisir. Tabel 2.5 menyajikan perbedaan standar bagi pemanfaatn yang berbeda.

Tabel 2.5
Standar Penghilangan Gas Pengotor pada Aplikasi Biogas

Aplikasi	H ₂ S	CO ₂	H ₂ O
Boiler (PLTU)	< 1000 ppm	Tidak	Tidak
Komporsi <i>Stationary engine</i>	Ya	Tidak	Tidak
<i>Vehicle fuel</i>	< 1000 ppm	Tidak	Tidak terkondensasi
Natural gas grid	Ya	Direkomendasikan	Ya
	Ya	Ya	Ya

Sumber: Wellinger (2012)

Terdapat beberapa cara untuk dapat membersihkan gas pengotor tersebut baik secara proses kimia ataupun fisika. Adsorpsi, adsorbsi, pemisahan dengan membran, pemisahan kriogenik dan konversi kimia merupakan metode untuk dapat menangkap CO₂.

2.5.1 Metode Adsorbsi

Adsorbsi adalah fenomena fisik yang terjadi saat aliran gas atau cair berkontak langsung dengan permukaan dan sebagian dari molekul- molekul tadi mengembun pada permukaan padatan. Adsorbsi adalah proses dimana molekul-molekul fluida menyentuh dan melekat pada permukaan padatan (Ginting, 2008). Dimana fluida yang terkonsentrasi pada permukaan dinamakan adsorbat dan material dimana adsorbat terakumulasi dinamakan sebagai adsorben. Sehingga dapat disimpulkan bahwa adsorbsi adalah suatu proses yang terjadi ketika fluida terikat pada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu film (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut. Berbeda dengan absorpsi dimana fluida terserap oleh fluida lainnya dengan membentuk suatu larutan.

Proses adsorbsi dapat berlangsung jika suatu permukaan padatan dan fluida berkontak secara fisik maka didalamnya terdapat gaya kohesif termasuk gaya hidrostatis dan gaya ikatan hydrogen yang bekerja diantara molekul seluruh material. Gaya yang tidak seimbang menyebabkan perubahan konsentrasi molekul pada *interface solid*. Adsorbsi sendiri juga dibagi menjadi dua jenis yaitu adsorbsi fisika dan adsorbsi kimia. perbedaan lebih jelas ada di Tabel 2.6.

1. Adsorbsi fisika adalah yaitu fenomena adsorbsi disebabkan terutama oleh gaya Van der Waals dan gaya Hidrostatis antara molekul adsorbat, maka atom yang membentuk permukaan adsorben tanpa adanya ikatan kimia.
2. Adsorbsi Kimia terjadi dalam bentuk reaksi kimia dan membutuhkan energi aktivasi. Kalor penyerapan tinggi karena reaksi-reaksi yang membentuk reaksi kimia. Waktu penyerapan lebih lama dari adsorbsi fisika.

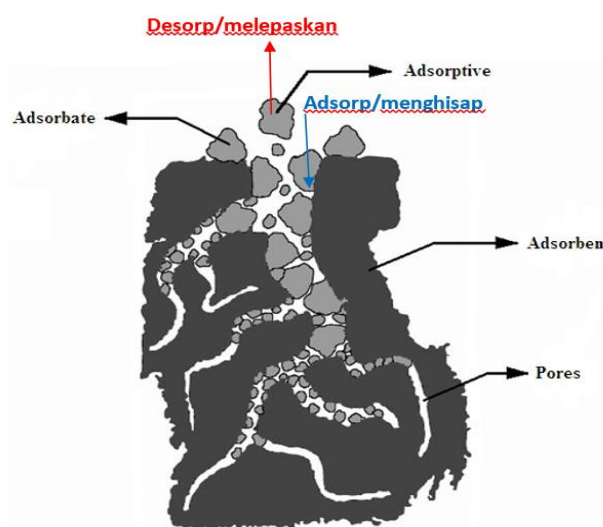
Tabel 2.6
Perbedaan Adsorpsi Fisika dengan Adsorpsi Kimia

Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Mempunyai entalpi reaksi 4 sampai 40 kJ/mol	Mempunyai entalpi reaksi 40 sampai 800 kJ/mol
Membentuk lapisan multilayer	Membentuk lapisan monolayer
Molekul terikat pada adsorben oleh gaya Van Der Waals	Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia
Bersifat tidak spesifik	Bersifat sangat spesifik
Tidak melibatkan energi aktivasi	Melibatkan energi aktivasi
Adsorpsi hanya terjadi pada suhu di bawah titik didih adsorbat	Adsorpsi dapat terjadi pada suhu tinggi
Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan fungsi adsorbat	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan karakteristik adsorben dan adsorbat

Sumber: Amalia (2008)

Mekanisme adsorpsi dapat digambarkan sebagai proses dimana molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan adsorben akibat kimia dan fisika (Reynolds, 1982) seperti pada Gambar 2.7. Proses adsorpsi tergantung pada sifat zat padat yang mengadsorpsi, sifat atom/molekul yang diserap, konsentrasi, dan temperatur. Proses adsorpsi terbagi dalam 4 langkah:

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film
3. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui pori adsorben
4. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori atau permukaan adsorben.



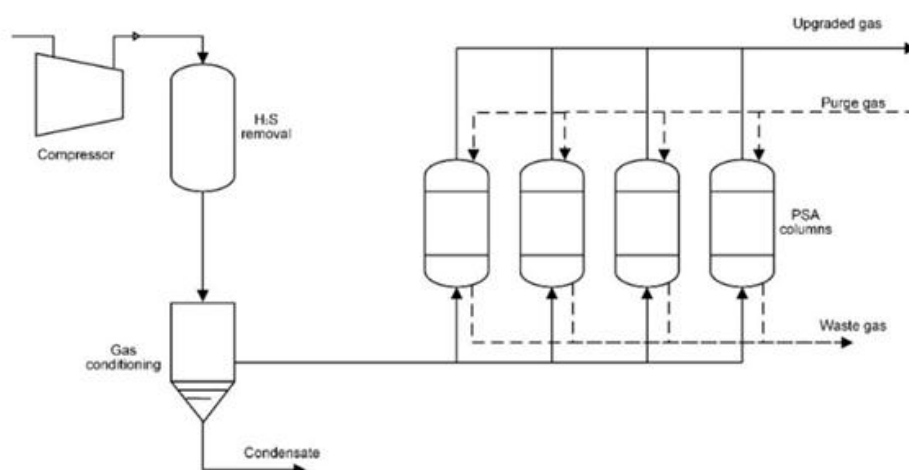
Gambar 2.7 Mekanisme proses adsorpsi

Sumber: Braddy (1994)

Proses adsorpsi dipengaruhi beberapa faktor antara lain:

1. Ukuran partikel, tingkat adsorbansi naik seiring penurunan ukuran partikel.
2. Luas permukaan, atau bisa dihubungkan dengan luas bidang kontak semakin luas permukaan bidang kontak maka tingkat adsorbansi meningkat.
3. Waktu kontak, semakin lama zat adsorbat yang menempel pada adsorben semakin banyak.
4. Temperatur, tingkat adsorpsi naik diikuti kenaikan temperatur dan turun diikuti dengan penurunan temperatur. (Benefield, 1982)

Terdapat metode adsorpsi yang cukup umum digunakan di kalangan industri besar karena kapasitasnya yang cukup besar dan hasil yang cukup baik yaitu pressure swing adsorption (PSA). Prinsip dasarnya adalah biogas dari digester dikompresi hingga cukup tinggi tekanannya lalu dialirkan memasuki kolom adsorpsi yang akan menahan CO_2 tapi tidak pada metana. Dengan kata lain memisahkan berbagai macam gas yang terdapat dalam biogas berdasarkan karakteristik dan afinitas terhadap material adsorben dalam kolom adsorpsi. Proses dilakukan mendekati suhu lingkungan dengan adsorben khusus yang digunakan seperti zeolit digunakan sebagai saringan molekuler pada tekanan tinggi. Proses selanjutnya diturunkan ke tekanan rendah untuk menarik adsorben sehingga karbondioksida terdesorpsi dan diarahkan ke aliran *off-gas* lebih jelas ada di Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Diagram proses PSA

Sumber: Hoyer (2016)

Keuntungan menggunakan metode ini antara lain:

1. Kadar CH_4 yang dihasilkan sekitar 97%
2. Mampu menghilangkan Nitrogen dan Oksigen

Kerugiannya antara lain;

1. Relatif lebih mahal
2. Gas yang dihasilkan dari gas buang perlu dilakukan perlakuan agar tidak berbahaya

Terdapat beberapa syarat adsorben untuk proses adsorpsi antara lain;

1. Luas permukaannya besar, sehingga kualitas adsorpsinya tinggi
2. Memiliki aktifitas terhadap komponen yang diadsorpsi
3. Memiliki daya tahan guncang yang baik
4. Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi dan desorpsi

Cukup banyak adsorben yang bisa kita temui di lapangan untuk memperjelas maka pada dasarnya adsorben dibagi menjadi tiga yaitu:

1. Adsorben yang mengadsorpsi secara fisik (karbon aktif, silika gel dan zeolit)
2. Adsorben yang mengadsorpsi secara kimia (*Calcium chloride, metal hydride dan complex salts*)
3. *Composite adsorbent* dimana mengadsorpsi secara kimia dan fisika. (Ginting, 2008)

2.5.2 Metode Absorpsi

Absorpsi merupakan salah satu metode peningkatan kualitas biogas yang mana biogas mentah (dari digester) di kontakkan dengan suatu cairan penyerap yang sesuai, sehingga satu atau lebih komponen dalam campuran gas larut dalam cairan penyerap. Prinsipnya adalah pada perbedaan kelarutan dari bermacam gas dalam suatu larutan scrub cair.

Perbedaan mendasar dengan adsorpsi adalah apabila absorpsi zat absorbat akan tertarik ke absorben dan terlarut di dalam absorben sementara dalam adsorpsi absorbat menempel dipermukaan adsorben seperti di Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Perbedaan absorpsi dengan adsorpsi
Sumber: Syahida (2010)

Proses absorpsi berlangsung dalam dua macam proses, yaitu absorpsi kimia dan fisik. Absorpsi fisik adalah absorpsi yang mana proses gas terlarut dalam cairan penyerap tanpa disertai dengan reaksi kimia dan penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik.

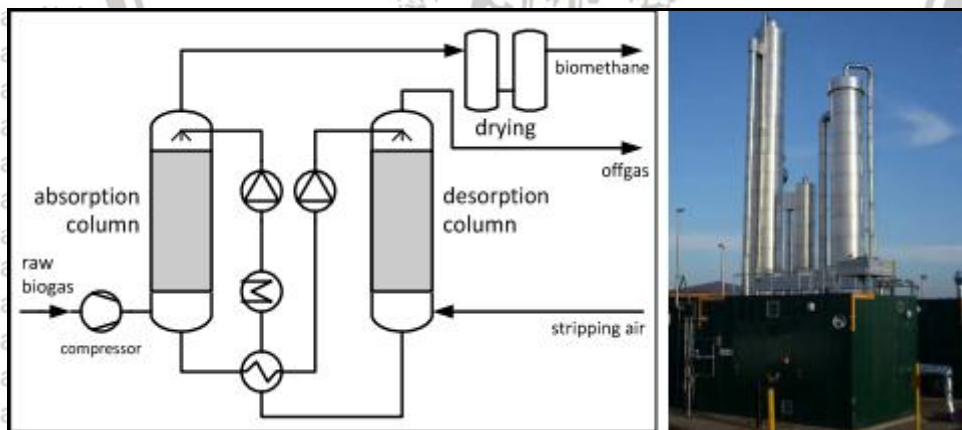
Contohnya metode *water scrubbing* dalam metode ini gas yang diserap dikandung oleh cairan *scrubbing*. Karbondioksida memiliki kelarutan di air lebih tinggi daripada metana terutama pada kondisi temperatur lebih rendah dan tekanan lebih tinggi sehingga akhir dari proses ini diperoleh biogas dengan kemurnian tinggi. Karbondioksida terlarut kemudian dialirkan ke *flash tank* dimana tekanannya diturunkan dan sebagian besar gas terlarut dilepaskan. Proses ini perlu meregenerasi air karena air akan dipompakan kembali ke kolom adsorber, instalasi lebih jelas di Gambar 2.10.

Keuntungan:

1. Proses yang sudah terbukti di banyak plant lebih dari beberapa tahun
2. Penggunaan air yang murah dan tidak berbahaya
3. Metode yang sederhana

Kerugian:

1. Kehilangan metana antara 0,5 dan 2 % vol
2. Kebutuhan daya antara 0,2 dan 0,3 kWh per m³ biogas
3. Air kurang selektif dibanding pelarut non-air



Gambar 2.10 Unit absorpsi biogas *water scrubbing*

Sumber: TU Wien (2012)

Sedangkan absorpsi kimia adalah penyerapan gas oleh larutan disertai dengan reaksi kimia. Penyerapan ini sering terjadi pada proses penyerapan gas karbondioksida (CO₂) pada pabrik ammonia menggunakan larutan MEA, DEA, NaOH (Gambar 2.11), dan K₂CO₃. Komponen gas yang mengadakan ikatan kimia akan dilarutkan terlebih dahulu dan juga akan meningkatkan kecepatan penyerapan yang lebih tinggi. Oleh karena itu absorpsi

kimia mengungguli absorpsi fisika. Salah satu contoh penerapan absorpsi kimia adalah *amine scrubbing* zat amina contohnya adalah MEA, DEA, dan MDEA biasanya pada plant *amine scrubbing* biogas tidak dikompresi lebih lanjut hanya memanfaatkan tekanan dari digester. Absorber NaOH seperti di Gambar 2.10.

Keuntungan *scrubbing* kimia:

1. Kebutuhan daya rendah 0,06-0,17 kWh per m³ biogas
2. Selektifitas tinggi sehingga kemurnian metana diatas 99 % vol
3. Tingkat losses metana rendah (sekitar 0,1 % vol)

Kerugian:

1. Pelarut tidak boleh keluar ke lingkungan



Gambar 2.11 NaOH

Absorben adalah cairan yang dapat melarutkan bahan yang akan diabsorpsi pada permukaan-nya, baik secara fisik maupun dengan raksi kimia. Absorben harus memenuhi beberapa persyaratan agar dapat digunakan dengan optimal, misalnya sebagai berikut:

1. Memiliki daya melarutkan bahan yang akan diadsorpsi yang sebesar mungkin,
2. Memiliki tekanan uap yang sangat rendah,
3. Mempunyai viskositas yang rendah,
4. Stabil secara termis,
5. Murah.

Dimana absorben yang sering digunakan adalah air (untuk asam yang dapat larut, atau untuk pemisahan partikel dan tetesan cairan), natrium hidoksida (untuk gas gas yang dapat bereaksi dengan asam) dan asam sulfat (untuk gas gas yang bereaksi seperti basa).

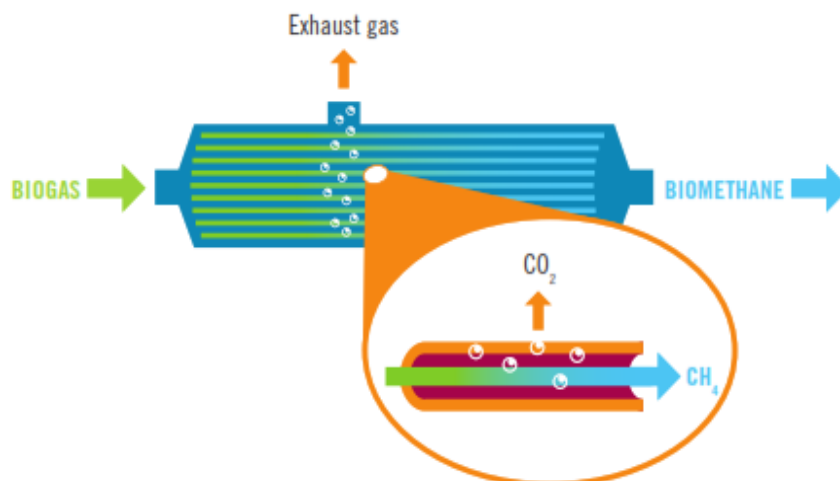
2.5.3 Metode Pemisahan Dengan Membran

Pemisahan dengan membran adalah salah satu cara metode yang memiliki prinsip dasar bahwa gas berdifusi melewati membran pada kecepatan berbeda. Gas dilewatkan

pada membran tipis maka molekul-molekul gas tertentu akan terjebak pada membran dan molekul gas yang lain akan lolos. Proses pemurniaan ini biasanya menggunakan membran dengan ukuran *mesh* < 1 mm dengan tingkat keefektifan metode ini dipengaruhi oleh peremabilitas dari jenis / material membran yang digunakan. Membran yang bagus adalah yang permeabilitasnya tinggi pada molekul kecil (CO_2), dan tidak bisa dilalui molekul lebih besar (CH_4) tujuannya ialah selektivitas yang bagus dalam proses purifikasi.

Membran ini biasanya dibentuk dari *hollow-fibre-polymers*, yang disusun dalam satu ikatan berbentuk tabung untuk permukaan maksimum. Pemisahan dengan membran bisa dilakukan dengan banyak desain yang berbeda. Untuk mendapat kemurnian metana yang tinggi, satu bundel tabung terkoneksi pada aliran tingkatan 2 tingkat atau 3 tingkat. Aliran 2 tingkat artinya biogas terpisah pada dua kolom inisial. Gas metana melewati kolom kedua dimana CO_2 berdifusi lebih lanjut, Gambar 2.14 memberi penjelasan lebih.

Telah dilakukan penelitian yaitu mendesain sebuah instalasi pemurni kandungan biogas dengan menyerap kandungan CO_2 dengan metode pemisah menggunakan membran. Dimana jenis/material membran yang digunakan adalah campuran senyawa asetat. Dimana senyawa asetat dapat difungsikan sebagai membrane karena memiliki permeabilitas lebih tinggi digunakan untuk menyerap CO_2 dibanding CH_4 . Dimana hasil terbaik adalah didapatkan pada instalasi yang dijalankan pada suhu 25°C dan tekanan 5,5 bar. (Rautenbach, 1987).



Gambar 2.12 Pemisahan dengan membran
Sumber: Wilken (2017)

Keuntungan menggunakan metode pemisahan dengan membran adalah;

1. Sedikit bagian yang bergerak, desain yang sangat kuat. Ketergantungan ketersediaan sistem hanya pada blower kompresi

2. Tersedia desain modular

3. Dapat juga disesuaikan untuk aliran volume yang lebih kecil

Kekurangan menggunakan metode pemisahan dengan membran adalah;

1. Kebutuhan daya besar antara 0,18 dan 0,33 kWh per m³ biogas

2. *Losses* gas metana antara 0,5 dan 2 %vol

3. Terbatasnya pengembangan baru

2.5.4 Metode Kriogenik

Metode Kriogenik melibatkan proses kondensasi dan distilasi pada suhu yang rendah dimana biogas dicaikan dengan cara didinginkan dibawah tekanan sehingga nantinya didapatkan hasil akhir yaitu CH₄ dalam bentuk gas dan CO₂ dalam bentuk cair. Prinsip kerja dari pemisahan kriogenik ini adalah dengan cara biogas dikompresi pada tekanan 80 bar. Kompresi dibuat bertingkat dengan beberapa tempat lalu biogas kemudian dijaga suhu pendinginan untuk menghindari terjadi pembekuan selama proses pendinginan. Biogas didinginkan menggunakan *chiller* dan *heat exchanger* sampai suhu -45°C. Dimana saat gas CO₂ yang juga ikut mencair dipisahkan dengan kandungan gas CH₄ cair yang akan menghasilkan 90% - 98% CH₄ murni.

Beberapa keuntungan menggunakan metode kriogenik antara lain;

1. Ketepatan dalam pemisahan gas cukup tinggi

2. *Losses* metana kecil

3. Kemurnian metana tinggi

4. Karbondioksida sisa proses dapat di daur ulang dan dijual kembali (es kering)

Metode ini juga memiliki kekurangan antara lain;

1. Biaya pembuatan instalasi alat serta biaya operasi juga relatif mahal

2. Kebutuhan energi untuk pendinginan sangat besar

Metode konversi kimiawi merupakan jenis metode permurnian yang akan meningkatkan kandungan gas CH₄. Dimana kandungan gas CO₂ pada biogas ditambah H₂ sehingga terjadi proses metanasi yang akan menghasilkan CH₄ dan H₂O. Kekurangan metode ini adalah harga yang relatif mahal dan membutuhkan hidrogen murni.

2.6 Ampas Tebu

Ampas tebu atau lazimnya disebut bagas, merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pemerahan atau ekstraksi batang tebu. Dalam satu kali proses ekstraksi dihasilkan

ampas tebu sekitar 35 – 40% dari berat tebu yang digiling secara keseluruhan. Dari sekian banyak ampas tebu yang dihasilkan, baru sekitar 50% yang sudah dimanfaatkan misalnya sebagai bahan bakar dalam proses produksi dan transportasi tebu dari lahan pertanian ke tempat pemerahan. Namun selebihnya masih menjadi limbah yang perlu penanganan lebih serius untuk diolah kembali. Di samping itu, ampas tebu dijual untuk dimanfaatkan sebagai tambahan bahan baku pembuatan kertas (Birowo, 1992).

Ampas tebu umumnya digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi yang diperlukan pada pembuatan gula. Selain itu, ampas tebu dapat juga digunakan sebagai pakan ternak, bahan baku serat, papan plastik, dan kertas (Witono, 2003). Kaur *et al.*, (2008) mengemukakan bahwa ampas tebu tanpa diarangkan dapat dimanfaatkan sebagai adsorben ion logam berat seperti seng, kadmium, tembaga, dan timbal dengan efisiensi berturut-turut sebesar 90, 70, 55, dan 80%.

Ampas tebu memiliki sifat fisik yaitu berwarna kekuning-kuningan, berserat (berserabut), lunak, dan relatif membutuhkan tempat yang luas untuk penyimpanan dalam jumlah berat tertentu dibandingkan dengan penyimpanan dalam bentuk arang dengan jumlah yang sama. Ampas tebu yang dihasilkan dari tanaman tebu tersusun atas penyusunan penyusunnya antara lain air (kadar air 44,5%), serat yang berupa zat padat (kadar serat 52,0%), dan brix yaitu zat padat yang dapat larut, termasuk gula yang larut (3,5%).

Secara kimiawi, komponen utama penyusun ampas tebu adalah serat yang didalamnya terkandung selulosa, poliosa seperti hemiselulosa dan lignin. Susunan ketiga komponen tersebut dalam ampas tebu hampir sama dengan susunan yang ada dalam tanaman monokotil berkayu banyak.

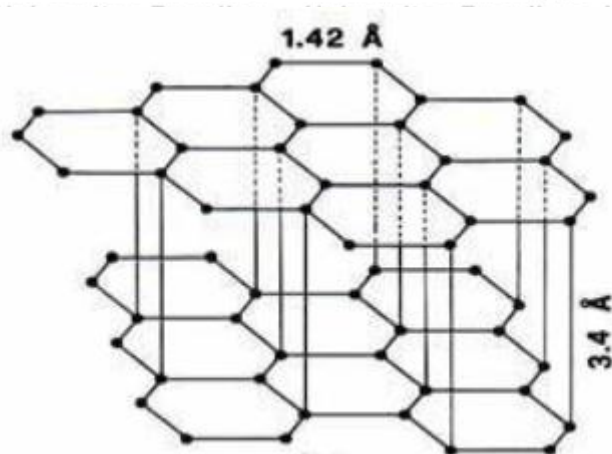
Tabel 2.7
Komponen Penyusun Serat Ampas Tebu

Komponen	Kandungan (%)
Selulosa	45
Pentosan	32
Lignin	18
Komponen Lainnya	5

Sumber: Shofa (2012)

2.7 Karbon Aktif

Hartanto dan Ratnawati (2010), melaporkan bahwa karbon aktif merupakan 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 seperti yang terlihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Struktur grafit dari arang aktif

Karbon aktif terdiri dari atom karbon dan sejumlah kecil atom oksigen dan hidrogen yang terikat pada gugus fungsi seperti karboksil, fenil dan eter. Gugus fungsi ini dapat berasal dari bahan baku karbon aktif. Selain itu, gugus fungsi karbon aktif juga dapat terbentuk selama proses aktivasi oleh karena adanya interaksi radikal bebas permukaan karbon dengan oksigen atau nitrogen yang berasal dari atmosfer (Shofa, 2012).

2.7.1 Sumber Dan Aplikasi Karbon Aktif

Pesatnya perkembangan masyarakat modern selama abad ke-20 mendukung produksi dan pemanfaatan karbon aktif yang cepat tumbuh, terutama di paruh kedua abad terakhir karena semakin ketat peraturan lingkungan tentang sumber daya air, aplikasi gas bersih, kontrol kualitas udara, penyimpanan energi konversi dan ekonomi pemulihan bahan kimia berharga.

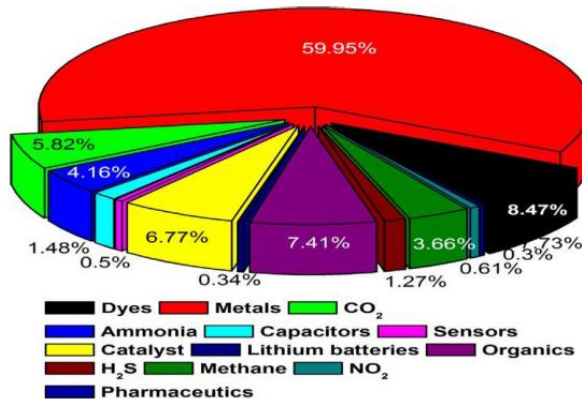
Selain itu, pencarian alternatif digunakan untuk beberapa limbah agro industri, selain penggantian produk turunan minyak bumi, telah disarankan penggunaan lignoselulosa ini. Produk dan sumber limbah biomassa lainnya untuk produksi karbon aktif yaitu kayu, kelapa dan kerang adalah prekursor yang paling umum untuk sintesis berskala besar karbon aktif. Sumber tersebut menghasilkan produksi global lebih dari 300.000 ton / tahun (Mourão, 2011). Namun, ini hanya sebagian kecil dari seluruh permintaan konsumsi karbon aktif dunia pada tahun 2013 yaitu 12.804.000 ton (Albany, 2013).

Bahan baku yang digunakan untuk produksi karbon aktif meliputi polimer, batubara, biomassa tanaman (kayu dan komponennya, gambut, kerang kacang), dan lain-lain. Dalam beberapa tahun terakhir, banyak produk pertanian lainnya telah digunakan sebagai sumber karbon aktif. Pertanian limbah biomassa telah terbukti menjanjikan bahan baku untuk

produksi karbon aktif karena biaya relatif murah, tersedia berlimpah, dan sumber daya terbarukan (Hidayat et al., 2013).

Secara umum karbon aktif adalah padatan berpori yang sangat bermanfaat.

Pemanfaatannya yaitu sebagai adsorben, katalis, pendukung katalis, bahan elektroda super kapasitor dan sebagainya (Volperts, 2017).



Gambar 2.14 Aplikasi umum karbon aktif dari tahun 1995 sampai 2016

Pada Gambar 2.14, digambarkan aplikasi yang paling umum dari karbon aktif, dari tahun 1995 sampai 2016, menurut *Scopus database*. Bidang yang paling banyak dipelajari yaitu berkaitan dengan adsorpsi ion logam berat: merkuri Hg (II), kromium Cr (III) dan Cr (IV), kadmium Cd (II), arsenik As (V) dan timbal Pb (II); diikuti oleh adsorpsi senyawa organik (benzena, fenol, toluena, formaldehid dan metil tert-butyl eter), pewarna (terutama perunggu hijau dan metilen biru), penangkapan CO₂, katalis, adsorpsi amonia dan penyimpanan metana (González-García, 2017).

Karbon aktif juga telah digunakan sebagai prekursor yang menjanjikan untuk menghilangkan senyawa *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH) (Saad et al., 2014) dan sebagai adsorben senyawa PAH pada minyak sayur yang digunakan dalam remediasi tanah (Gong et al., 2007).

2.7.2 Pembuatan Karbon Aktif

1. Dehidrasi

Dehidrasi adalah proses penghilangan kandungan air yang terdapat dalam bahan karbon aktif dengan tujuan untuk menyempurnakan proses karbonisasi dan dilakukan dengan cara menjemur bahan baku di bawah sinar matahari atau memanaskannya dalam oven pada suhu dan waktu tertentu (Shofa, 2012).

2. Karbonisasi

Karbon aktif dapat diproduksi dari bahan baku karbon yang berbeda dan dengan proses aktivasi yang berbeda. Hal ini disiapkan dengan memanaskan bahan baku. Kemudian dikarbonisasi, yang diperlukan untuk mengubah struktur selulosa pada karbon aktif menjadi bahan berkarbon. Struktur selulosa tersebut mengandung sejumlah oksigen dan hidrogen yang mengandung gugus fungsi, yang dapat dihilangkan dengan dehidrasi secara kimia (Ponkarthikeyan, 2017).

Karbonisasi adalah suatu proses dimana unsur-unsur oksigen dan hidrogen dihilangkan dari karbon dan akan menghasilkan rangka karbon yang memiliki struktur tertentu. Saat karbonisasi terjadi beberapa tahap yang meliputi penghilangan air atau dehidrasi, perubahan bahan organik menjadi unsur karbon dan dekomposisi tar sehingga pori-pori karbon menjadi lebih besar (Halimah, 2016).

Tingginya kadar air yang terdapat pada karbon aktif sebelum dilakukan proses aktivasi disebabkan oleh sifat higroskopis karbon aktif dan adanya molekul uap air yang terperangkap di dalam kisi-kisi heksagonal karbon aktif dengan rendahnya kadar air yang terdapat dalam karbon aktif menunjukkan bahwa kandungan air bebas dan air terikat yang terdapat dalam karbon aktif telah menguap selama proses karbonisasi (Verlina dkk., 2015).

Sebagian besar unsur non-karbon akan hilang pada tahap ini. Pelepasan unsur-unsur yang volatil ini akan membuat struktur pori-pori mulai terbentuk atau pori-pori mulai terbuka. Seiring proses karbonisasi, struktur pori awal akan berubah. Karbonisasi dihentikan bila tidak mengeluarkan asap lagi. Penambahan suhu memang diperlukan untuk mempercepat reaksi pembentukan pori. Namun, pembatasan suhu pun harus dilakukan. Suhu yang terlalu tinggi, seperti di atas 1000°C akan mengakibatkan banyaknya abu yang terbentuk sehingga dapat menutupi pori-pori dan membuat luas permukaan berkurang serta daya adsorpsinya menurun (Shofa, 2012).

3. Aktivasi

Aktivasi merupakan proses pemanasan adsorben dengan suhu dan waktu tertentu. Aktivasi digunakan untuk membuat pori-pori baru agar memperbaiki porositas. Umumnya ada dua jenis aktivasi yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Aktivasi fisika adalah aktivasi yang melibatkan karbonisasi karbon yang diikuti dengan aktivasi dengan adanya CO₂ atau uap. Bahan bakunya dibawa dalam kontak dengan gas aktivasi pada suhu tinggi. Selama aktivasi, gas aktivasi akan bereaksi dengan karbon padat untuk membentuk produk gas (Ponkarthikeyan, 2017).

Pada aktivasi fisika bahan baku dipanaskan pada suhu sekitar 800-1000 °C dan dialirkan dengan gas pengoksidasi seperti oksigen, CO₂, atau uap air. Gas pengoksidasi akan bereaksi dengan karbon dan melepaskan karbon monoksida dan hidrogen untuk gas pengoksidasi berupa uap air. Senyawa-senyawa produk samping pun akan terlepas pada proses ini sehingga akan memperluas pori dan meningkatkan daya adsorpsi (Shofa, 2012).

Aktivasi kimia adalah aktivasi yang melibatkan karbonisasi karbon yang diikuti dengan aktivasi dengan adanya bahan kimia seperti ZnCl₂ dan H₃PO₄. *Activating agent* akan mengoksidasi karbon dan merusak bagian dalam karbon sehingga akan terbentuk pori dan meningkatkan daya adsorpsi. Aktivasi kimia oleh agen kimia seperti ZnCl₂, KOH dan H₃PO₄ adalah cara yang lebih disukai karena dapat menghasilkan luas permukaan karbon aktif yang lebih besar dengan menggunakan suhu operasional yang rendah (Ponkarthikeyan, 2017).

Berdasarkan dua jenis proses aktivasi, Suhendra dan Gunawan (2010) mengemukakan bahwa aktivasi kimia memiliki berbagai keunggulan tertentu dibandingkan dengan aktivasi fisika, di antaranya adalah:

- a. Dalam proses aktivasi kimia, zat pengaktif sudah terdapat dalam tahap penyiapannya sehingga proses karbonisasi dan proses aktivasi karbon terakumulasi dalam satu langkah yang umumnya disebut *one-step activation* atau metode aktivasi satu langkah.
- b. Dalam proses aktivasi kimia, suhu yang digunakan umumnya lebih rendah dibandingkan dengan proses aktivasi fisika.
- c. Efek *dehydrating agent* pada aktivasi kimia dapat memperbaiki pengembangan pori di dalam struktur karbon.
- d. Produk yang dihasilkan dalam aktivasi kimia lebih banyak dibandingkan aktivasi fisika.

2.8 Metode Desain Faktorial

Desain faktorial adalah rancangan yang digunakan apabila eksperimen terdiri dari dua faktor atau lebih. Desain ini memungkinkan kita melakukan kombinasi antar level faktor.

Ciri – ciri rancangan faktorial antara lain;

1. Terdiri dari beberapa faktor/perlakuan
2. Setiap faktor terdiri dari beberapa taraf
3. Setiap faktor diselidiki secara bersamaan

4. Penamaan rancangan dengan cara menambahkan perkalian antara banyak taraf faktor yang satu dengan banyak taraf faktor yang lain.

Keunggulan menggunakan metode faktorial adalah kita dapat mengurangi jumlah pengamatan menjadi dua poin terektrem (atas dan bawah), apabila pada analisis varian semua fenomena diamati dan menghasilkan banyak data untuk mengetahui pengaruh dengan metode ini 2 data terektrem bisa digunakan untuk mengetahui pengaruh dengan perhitungan statistik desain faktorial. Jadi penelitian dengan metode ini akan lebih hemat waktu dan biaya.

Salah satu jenis rancangan faktorial adalah rancangan faktorial 2^k yaitu rancangan yang menyangkut k nilai perlakuan ditulis bentuk pangkat, dengan tiap faktor terdiri dari 2 buah taraf. Contohnya suatu pengujian menggunakan 2 faktor A dan B dimana masing - masing factor A dan B terdiri atas 2 perlakuan (k) maka ditulis 2^2 begitu seterusnya apabila ada perlakuan lebih. Kombinasi perlakuan A dan B dapat ditulis sebagai berikut (dengan contoh) Tabel 2.8:

Tabel 2.8
Skema Desain Faktorial

Faktor A	Faktor B	Kombinasi perlakuan	Ulangan			Total
			I	II	III	
-	-	A low B low	y111	y112	y113	(1)
+	-	A high B low	y211	y212	y213	a
-	+	A low B high	y121	y122	y123	b
+	+	A high B high	y221	y222	y223	ab

Keterangan:

Faktor A dan B memiliki masing – masing level

Level A = A1 (*low*) dan A2 (*high*)

Level B = B1 (*low*) dan B2 (*high*)

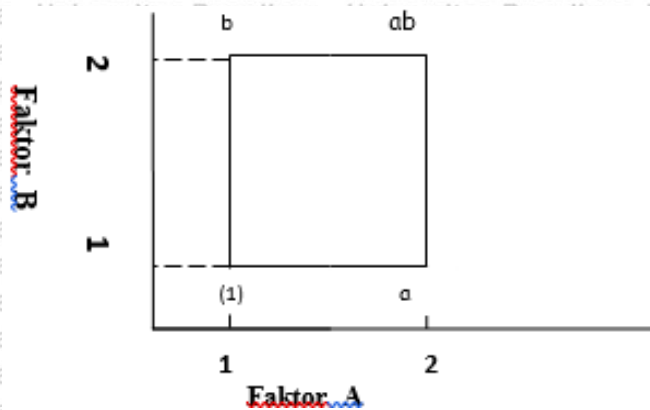
Kombinasi Perlakuan : A1B1 → (1)

A2B1 → a

A1B2 → b

A2B2 → ab

Sehingga bisa juga digambarkan dalam bentuk berikut.



Gambar 2.15 Kombinasi data tabel

Dalam penggambaran bentuk segiempat pada Gambar 2.15, keempat kombinasi diwakili huruf kecil, kombinasi taraf yang semua high dinotasikan dengan huruf kecil dari keduanya (ab). Untuk kombinasi tarah *high-low* dinotasikan dengan huruf kecil yang *high* (a atau b saja) sementara untuk kombinasi *low-low* dinotasikan dengan (1). (Montgomery, 2013)

2.9 Hipotesis

Peningkatan temperatur aktivasi pada ampas tebu akan menghilangkan zat pengotor, kandungan air pada pori-pori, meningkatkan luas permukaan pori ampas tebu, serta meningkatkan porositasnya. Oleh karena itu semakin tinggi temperatur pemanasan adsorben maka penyerapan CO_2 akan semakin optimum seiring sehingga tingkat kemurnian biogas semakin tinggi dikarenakan semakin banyak CO_2 yang terserap.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah jenis penelitian eksperimental dengan menggunakan analisis statistik metode desain faktorial 2^3 . Dalam analisis metode desain faktorial 2^3 kita hanya membutuhkan 2 variabel dengan nilai terendah dan nilai tertinggi serta 3 faktor. Gas yang digunakan adalah biogas hasil fermentasi anaerob kotoran sapi dan ayam. Biogas akan di adsorpsi oleh arang aktif ampas tebu yang di aktivasi dengan temperatur 600°C dan 900°C . Laju alir biogas diatur 1 dan 2 L/menit. Data diambil pada biogas yang telah dipurifikasi menggunakan arang aktif ampas tebu menggunakan GCMS untuk diketahui penurunan kandungan CO_2 dan jumlah kandungan CH_4 .

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu Pengambilan data : Februari – April 2020

Tempat penelitian :

1. Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
2. Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
3. Laboratorium Gas Rumah Kaca Balai Penelitian Lingkungan Pertanian Kota Pati

3.3 Variabel Penelitian

Variabel - variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas

Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah (Tabel 3.1):

Tabel 3.1

Variabel Bebas Pengujian

No	Temperatur Pemanasan Adsorben ($^{\circ}\text{C}$)	Waktu Purifikasi (Menit)	Laju Alir Biogas (Liter)
1	600°C	5 menit	1 liter
2	900°C	20 menit	2 liter

2. Variabel Terikat

Variabel terikat yang diamati pada penelitian ini adalah hasil purifikasi biogas berupa kadar CO₂ (%) dan CH₄ (%) sebagai efek variabel bebas.

3. Variabel Terkontrol

Variabel yang ditentukan oleh peneliti dan dibuat agar kondisinya konstan atau tetap dalam penelitian kali ini adalah:

- Gas yang digunakan merupakan biogas hasil dekomposisi kotoran ayam dan sapi.
- Massa arang ampas tebu sebagai adsorben 200 gram untuk satu tabung purifikasi

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Bahan yang Digunakan pada Penelitian

1. Biogas

Biogas yang digunakan dalam penelitian ini adalah biogas hasil dekomposisi kotoran ayam dan sapi.

2. Arang Aktif Ampas Tebu

Arang yang digunakan adalah arang ampas tebu yang dipanaskan dengan temperatur yang bervariasi sesuai variabel bebas.

3.4.2 Alat yang Digunakan pada Penelitian

1. Air Flowmeter

Gambar 3.1 berfungsi untuk mengatur laju aliran biogas.



Gambar 3.1 Flowmeter

Merek : Zya

Model : LZM-4T

Akurasi : $\pm 4\%$

Kapasitas aliran : 0 – 12 liter/menit

Buatan : Taiwan

2. *Stopwatch*

Gambar 3.2 digunakan untuk menghitung waktu dalam pengamatan purifikasi.



Gambar 3.2 *Stopwatch*

Spesifikasi:

Waktu : Jam/Menit/Detik, AM/PM, 12jam/24jam

Kalender : Bulan/Tanggal/Tahun

Alarm : Jam/Menit, (AM/PM)

Stopwatch : Menit, sekon, 1/100 sekon (hingga 30 menit) Jam/Menit/Sekon (hingga 24 jam)

Umur Baterai : hingga 10 tahun

3. *Timbangan Digital*

Gambar 3.3 digunakan untuk menimbang massa arang aktif ampas tebu.



Gambar 3.3 *Timbangan Digital*

Spesifikasi:

Merek : Melter

Frekuensi : 50-60 Hz

Tipe : PJ 3000

Voltage : 100-120V 80 mA /200-240 V 45 mA

Berat Maksimal : 3000 gram
 Dimensi : 31x29x6 (cm)

4. *Gas Chromatography*

Alat pada Gambar 3.4 digunakan untuk menganalisa kandungan gas dari sampel biogas hasil purifikasi.



Gambar 3.4 *Gas chromatography*

Spesifikasi:

Tipe : GC – 2010 *Plus*
 Merek : Shimadzu
 Power Supply : 110/220/240 V
 50-60 z

5. *Urine Bag*

Gambar 3.5 digunakan untuk menyimpan sampel gas hasil purifikasi yang kemudian diujikan pada *Gas Chromatography*.



Gambar 3.5 *Urine bag*

Spesifikasi:

Merek : ESS
 Tebal : 2mm
 Ukuran : 7 x 7 (in)
 Permeabilitas : Rendah

Kapasitas : 1 L
Tipe Katup : 3/16" OD on/off

6. Selang *Polyurethane*

Gambar 3.6 digunakan untuk tempat mengalirnya biogas dari kompresor ke tabung purifikasi.



Gambar 3.6 Selang *Polyurethane*

Spesifikasi:

Merek : J.H
Diameter : 4 x 6 mm dan 6 x 8 mm
Material : Poliurethane

7. Kompresor dan Tabung Penyimpan Biogas

Kompresor digunakan untuk memindahkan biogas dari digester ke dalam tabung penyimpanan kompresor (Gambar 3.7). Tabung biogas berwarna hijau digunakan untuk menyimpan biogas juga.



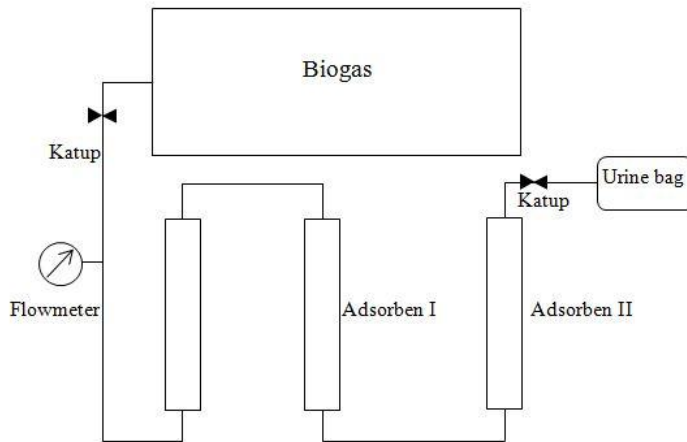
Gambar 3.7 Kompresor dan tabung biogas

3.5 Skema Instalasi dan Prosedur Penelitian

3.5.1 Skema Instalasi

Dari skema instalasi Gambar 3.8 peneliti meneliti tentang pada tabung adsorben I dan

II.



Gambar 3.8 Skema instalasi

3.5.2 Prosedur Penelitian

Instalasi alat purifikasi biogas dirakit sesuai dengan gambar skema instalasi. Arang aktif ampas tebu sudah disiapkan dengan massa yang telah ditentukan. Lalu melakukan penyesuaian laju aliran biogas sesuai dengan yang ditentukan.

Pengambilan sampel dilakukan pada variasi waktu berbeda yaitu 5 dan 20 menit kemudian masukkan pada *urine bag* untuk menyimpan sampel gas yang akan di analisis kandungannya lebih lanjut menggunakan *gas chromatography*. Setelah sampel hasil purifikasi dari arang aktif (600°C) diambil ulangi langkah dengan menutup terlebih dahulu sumber gas kemudian mengganti karbon aktif pada tabung purifikasi dengan variasi temperatur pemanasan selanjutnya yaitu 900°C sebanyak 200 gram.

Tabel 3.2

Tabel Eksperimen Penelitian

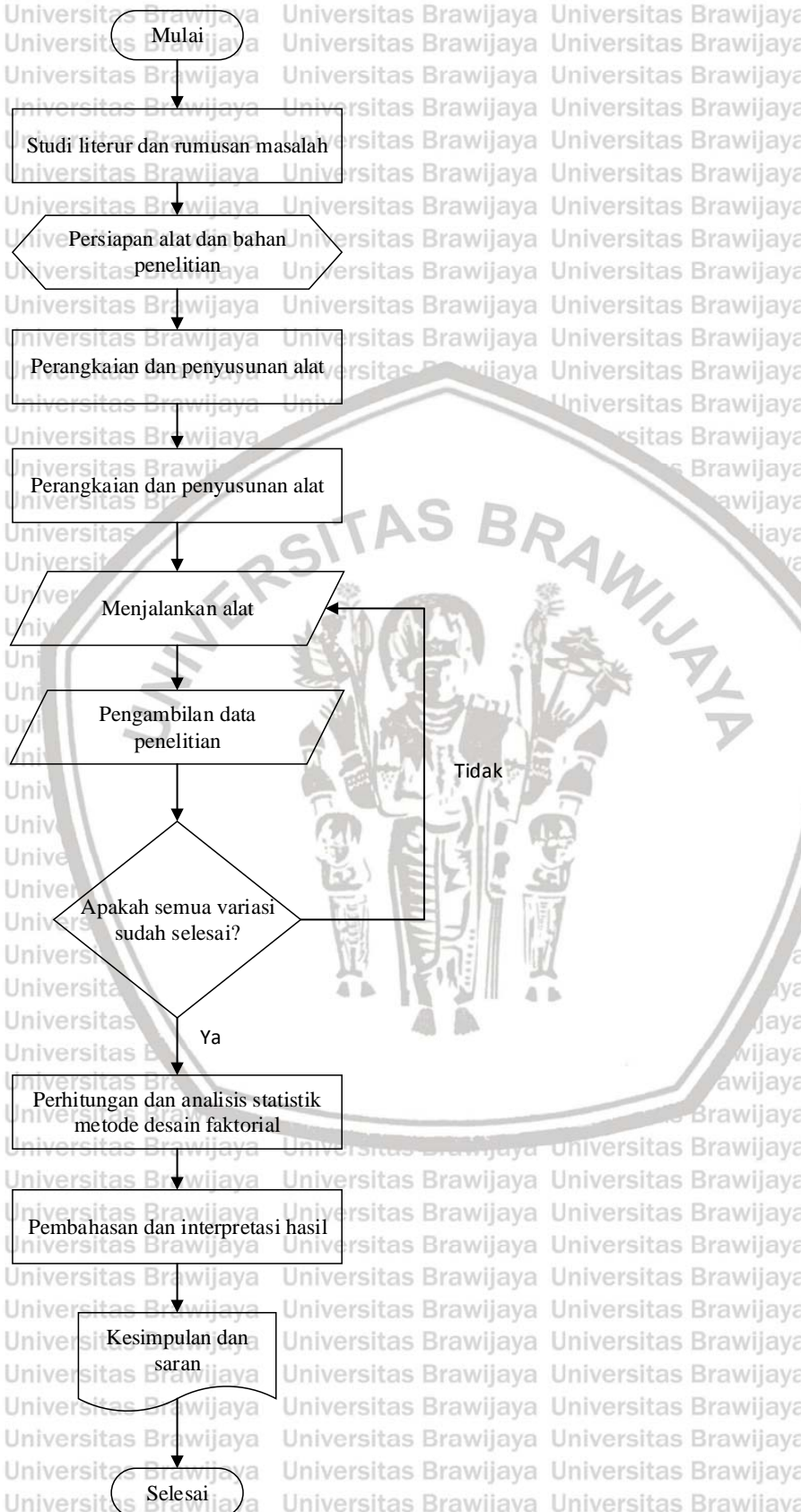
	T600	T900
Q1 t5	T600 Q1 t5	T900 Q1 t5
Q1 t20	T600 Q1 t20	T900 Q1 t20
Q2 t5	T600 Q2 t5	T900 Q2 t5
Q2 t20	T600 Q2 t20	T900 Q2 t20

Q = laju alir biogas

T = temperatur aktivasi biogas; t = waktu putifikasi

3.6 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.9 adalah diagram alir penelitian yang akan dilakukan:



Gambar 3.9 Diagram alir penelitian



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Data Hasil Penelitian

Dalam penelitian ini didapatkan persentase CH₄ dan CO₂. Purifikasi biogas dilakukan dengan cara mengalirkan biogas dalam pipa yang berisi adsorben arang aktif. Biogas hasil purifikasi akan disimpan dalam *Urine bag* (kantong sampel gas). Gas dianalisis menggunakan alat *gas chromatography* untuk mengetahui persentase komposisi gas dalam sampel.

Gas chromatography (GC) mengukur biogas hasil purifikasi. Gas yang diukur pada GC yaitu CH₄ dan CO₂. Data hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1
Data Hasil Penelitian

T (°C)	Q (L/menit)	t (menit)	CO ₂ I (%)	CO ₂ II (%)	\bar{y} (%)	CH ₄ I (%)	CH ₄ II (%)	\bar{x} (%)
600	1	5	15,31	17,22	16,2654	41,60	53,86	47,73
900	1	5	10,18	11,16	10,6712	58,52	67,52	63,0192
600	2	5	23,25	24,61	23,9304	57,06	64,22	60,6411
900	2	5	11,53	12,38	11,9578	66,20	64,29	65,2447
600	1	20	17,36	16,70	17,0288	58,09	57,85	57,9715
900	1	20	10,11	10,33	10,2168	68,78	73,84	71,3117
600	2	20	19,57	22,50	21,0386	63,02	55,23	59,1203
900	2	20	13,29	13,11	13,1996	65,20	57,96	61,5833
Data tanpa perlakuan				25,34			36,83	

4.1.2 Analisis Data Penelitian

4.1.2.1 Analisis Metode Desain Faktorial

Data persentase karbondioksida pada Tabel 4.1 dianalisis menggunakan metode desain faktorial 2³ untuk melihat respon utama dan interaksi antara tiga faktor pada penelitian yaitu temperatur aktivasi arang, laju alir biogas, dan waktu purifikasi.

Desain faktorial digunakan untuk mencari efek dari berbagai faktor atau kondisi terhadap hasil penelitian. Desain faktorial adalah desain untuk menentukan secara serentak efek dari beberapa faktor sekaligus interaksinya. Desain faktorial merupakan aplikasi persamaan regresi yaitu untuk memberikan model hubungan antara variabel respon dengan satu atau lebih variabel bebas (Bolton, 1990).

Desain faktorial mengandung beberapa pengertian, yaitu faktorial, level, efek dan respon. Faktor adalah setiap besaran yang mempengaruhi harga kebutuhan produk, yang pada prinsipnya dapat dibedakan menjadi faktor kuantitatif dan kualitatif (Voigt, 1994). Level adalah nilai atau tetapan untuk faktor. Dalam desain faktorial digunakan level tinggi dan level rendah. Efek adalah perubahan respon yang disebabkan variasi tingkat faktor. Efek respon atau interaksi merupakan rata-rata respon pada level tinggi dikurangi rata-rata respon pada level rendah. Respon merupakan sifat atau hasil percobaan yang diamati dan dapat dikuantitatifkan (Bolton, 1990).

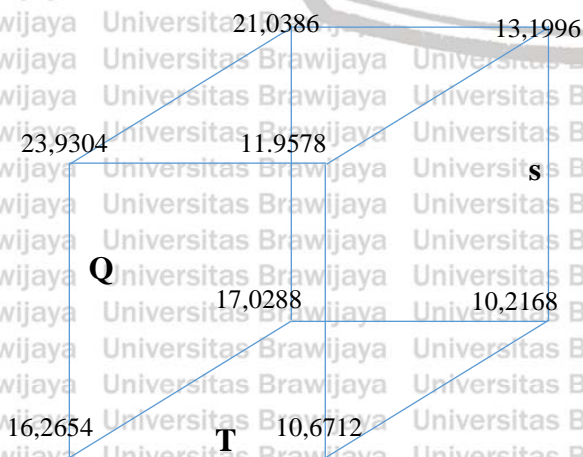
Desain faktorial tiga faktor dan dua level berarti ada tiga faktor yaitu faktor A, faktor B, dan faktor C yang masing-masing diuji pada level yang berbeda yaitu level rendah dan level tinggi.

Rancangan desain faktorial dengan tiga faktor dan dua level pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2
Skema Desain Faktorial 2^3 dan % CO_2 Setelah Purifikasi Biogas

No	Coding	T (°C)	Q (L/menit)	t (menit)	CO_2 I (%)	CO_2 II (%)	\bar{y}
1	Uni - - -	600	1	5	15,31	17,22	16,2654
2	Uni + - -	900	1	5	10,18	11,16	10,6712
3	Uni - + -	600	2	5	23,25	24,61	23,9304
4	Uni + + -	900	2	5	11,53	12,38	11,9578
5	Uni - - +	600	1	20	17,36	16,70	17,0288
6	Uni + - +	900	1	20	10,11	10,33	10,2168
7	Uni - + +	600	2	20	19,57	22,50	21,0386
8	Uni + + +	900	2	20	13,29	13,11	13,1996

Rancangan desain faktorial 2^3 juga dapat di analisa menggunakan formasi data seperti dibawah ini:



Keterangan:

T = Temperatur aktivasi (°C)

Q = Laju Aliran Biogas (L/menit)

s = Waktu pengambilan sampel (menit)

Gambar 4.1 Kombinasi data pada desain faktorial

Penggunaan desain faktorial 2^3 dilakukan untuk mengetahui respon pengaruh dari masing-masing faktor % Temperatur aktivasi (T), laju Aliran (Q) dan waktu proses purifikasi (s) terhadap % CO₂ hasil purifikasi biogas, diperoleh bentuk matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} UO \\ UT \\ UQ \\ Us \\ UTQ \\ UTs \\ UQs \\ UTQs \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16.2654 \\ 10.6712 \\ 23.9304 \\ 11.9578 \\ 17.0288 \\ 10.2168 \\ 21.0386 \\ 13.1996 \end{bmatrix}$$

Keterangan:

UT = Faktor temperatur aktivasi (°C)

UQ = Faktor laju aliran biogas (liter/menit)

Us = Faktor waktu lama purifikasi (menit)

UTQ = Interaksi temperatur aktivasi dan laju aliran biogas

UTs = Interaksi temperatur aktivasi dan waktu lama purifikasi

UQs = Interaksi laju aliran biogas dan waktu lama purifikasi

UTQs = Interaksi temperatur aktivasi, laju aliran biogas, dan waktu lama purifikasi

Dengan metode iterasi Gauss Siedel, rumus desain faktorial yang berlaku sebagai berikut:

$$y = 15.5386 - 4.0272.T + 1.99302.Q - 0.1676.s - 0.9257.TQ + 0.36448.Ts - 0.2449.Qs + 0.11875.TQs \dots\dots\dots(4.1)$$

Keterangan:

y = Persentase CO₂ purifikasi biogas

T = Faktor temperatur aktivasi (°C)

Q = Faktor laju aliran biogas (L/menit)

s = Faktor lama purifikasi (menit)

TQ = Interaksi temperatur aktivasi dan laju aliran biogas

Ts = Interaksi temperatur aktivasi dan waktu lama purifikasi

Qs = Interaksi laju aliran biogas dan waktu lama purifikasi

TQs = Interaksi temperatur aktivasi, laju aliran biogas, dan waktu lama purifikasi

Persamaan (1) merupakan persamaan nilai persentase CO₂ dengan menggunakan metode desain faktorial. Persamaan 4.1 menjelaskan bahwa T bernilai negatif berarti peningkatan temperatur aktivasi akan menurunkan persentase CO₂ dalam jumlah besar. Nilai Q positif artinya penambahan laju aliran mengurangi efektifitas penyerapan CO₂. Faktor durasi purifikasi (s) bernilai negatif berarti ada pengaruh waktu purifikasi terhadap penurunan CO₂. Untuk faktor interaksi temperatur aktivasi dan laju aliran (TQ), temperatur aktivasi dan waktu purifikasi (Ts), laju aliran dan waktu purifikasi (Qs) bernilai negatif yang artinya ada pengaruh interaksi antar variabel terhadap penyerapan CO₂ meskipun pengaruhnya kecil. Faktor interaksi temperatur aktivasi, laju aliran biogas, dan waktu purifikasi (TQs) bernilai positif yang artinya interaksi tiga variabel (TQs) tidak berpengaruh terhadap penyerapan CO₂. Parameter bernilai negatif meningkatkan nilai penyerapan CO₂ ketika nilainya semakin tinggi. Nilai parameter dibawah 0,5 berpengaruh sedikit terhadap penyerapan CO₂.

4.1.2.2 Efektivitas Penyerapan CO₂

Efektivitas adalah rasio antara nilai aktual dengan nilai maksimum yang mungkin terjadi. Efektivitas penyerapan dicari untuk mengetahui seberapa besar kemampuan adsorben menyerap CO₂ pada waktu tertentu.

$$\eta = \left(1 - \frac{CO_{2, out}}{CO_{2, in}}\right) \times 100\% \dots\dots\dots (4-2)$$

Sumber: Wicahyo (2017)

Dimana:

η = Efektivitas penyerapan CO₂ (%)

CO₂ out = Kadar CO₂ yang keluar dari alat purifikasi

CO₂ in = Kadar CO₂ yang masuk ke alat purifikasi

Tabel 4.3
Efektivitas Penyerapan Gas Karbondioksida

Temperatur Aktivasi (°C)	Laju aliran (L/menit)	Waktu (menit)	Efektivitas (%)
600	1	5	35,81
600	1	20	32,78
600	2	5	5,56
600	2	20	16,97
900	1	5	57,88
900	1	20	59,68
900	2	5	52,81
900	2	20	47,91

Tujuan dari efektivitas penyerapan ini adalah untuk mengetahui seberapa persentase CO₂ yang terserap didalam adsorben dibanding dengan persentase CO₂ yang masuk. Sehingga diketahui efektivitas dari adsorben yang digunakan.

4.1.2.3 Metana

Dengan mengetahui persentase gas CH₄ pada biogas dapat diketahui pula nilai kalornya. Nilai kalor berperan penting dalam proses pembakaran.

Tabel 4.4
Persentase CH₄

Temperatur Aktivasi (°C)	Laju aliran (L/menit)	Waktu (menit)	Persentase (%)
600	1	5	47,73
600	1	20	57,97
600	2	5	60,64
600	2	20	59,12
900	1	5	63,01
900	1	20	71,31
900	2	5	65,24
900	2	20	61,58

Untuk mendapatkan nilai kalor pembakaran CH₄ dapat dihitung berdasarkan rumus yang dikutip dari Mitzlaff *engine for biogas* (1988);

$$HV_{\text{biogas}} = \frac{\text{Volume CH}_4}{\text{volume total}} \times HV_{\text{CH}_4} \times \rho_{\text{CH}_4} \quad \dots \dots \dots (4-3)$$

Sumber: Mitzlaff (1988:30)

Dimana

HV_{Biogas} = Nilai kalor biogas (kJ/ m³)

HV_{CH_4} = Nilai kalor CH₄ (kJ/ kg)

V_{CH_4} = Volume CH₄ (m³)

V_{Total} = Volume biogas (m³)

ρ_{CH_4} = Massa jenis CH₄ (kg/ m³)

Dengan nilai densitas CH₄ sebesar 0,668 kg/m³ (tabel 2.2), dan nilai HV_{CH_4} sebesar 55641 kJ/kg (Tabel 2.4), maka nilai HV_{Biogas} :

Tabel 4.5
 Nilai Kalor Biogas

Temperatur Aktivasi (°C)	Laju aliran (L/menit)	Waktu (menit)	Presentase (%)	HV _{Biogas} (kJ/m ³)
600	1	5	47.73	17740,38
600	1	20	57.97	21546,97
600	2	5	60.64	22539,20
600	2	20	59.12	21973,93
900	1	5	63.01	23423,11
900	1	20	71.31	26505,27
900	2	5	65.24	24250,27
900	2	20	61.58	22889,39

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisa Kadar CO₂

Proses purifikasi yang dilakukan pada menit ke-5 dan 20 dengan arang aktif ampas tebu dengan temperatur aktivasi 600°C dan 900°C ditunjukkan pada Gambar 4.2. Untuk membantu proses analisa, maka dibuat persamaan desain faktorial dibawah ini.

$$y = 15.5386 - 4.0272.T + 1.99302.Q - 0,1676.s - 0.9257.TQ + 0.36448.Ts - 0.2449.Qs + 0,11875.TQs \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

y = % CO₂ purifikasi biogas

T = Faktor Temperatur aktivasi (°C)

Q = Faktor laju aliran biogas (L/menit)

s = Faktor lamanya proses (menit)

TQ = Interaksi Temperatur aktivasi dan Laju Aliran

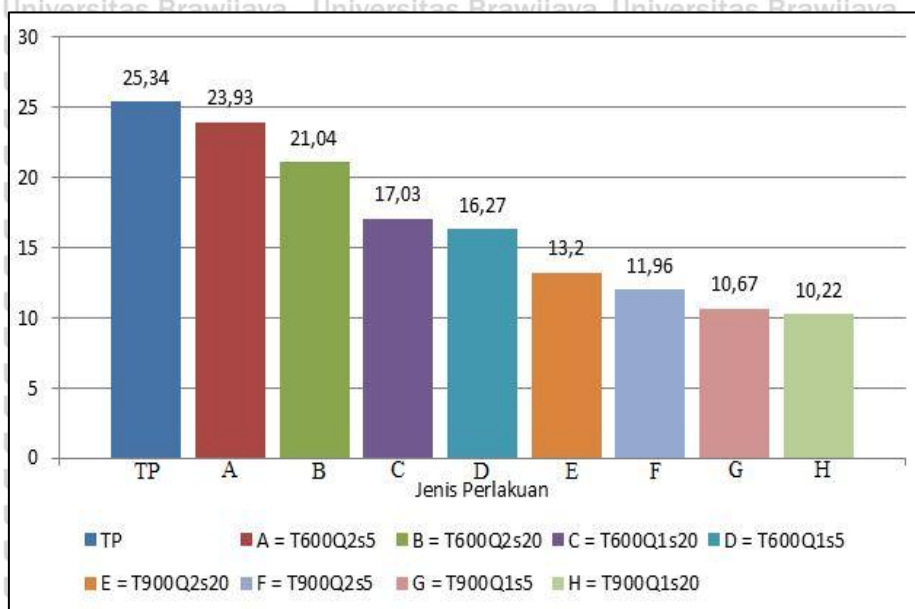
Ts = Interaksi Temperatur aktivasi dan waktu

Qs = Interaksi Laju aliran dan waktu

TQs = Interaksi Temperatur aktivasi, Laju Aliran dan waktu

Persamaan (1) merupakan persamaan nilai persentase CO₂ dengan menggunakan metode desain faktorial. Dari persamaan (1) diketahui bahwa T bernilai negatif dengan nilai tinggi artinya peningkatan temperatur aktivasi akan menurunkan persentase CO₂ dalam jumlah besar. Nilai Q positif yang artinya penambahan laju aliran tidak berpengaruh terhadap penurunan persentase CO₂ karena selisih laju aliran biogas tidak signifikan yaitu 1 liter/menit dan 2 liter/menit. Faktor durasi purifikasi (t) bernilai negatif yang berarti ada pengaruh perbedaan waktu purifikasi terhadap penurunan CO₂. Untuk faktor interaksi

temperatur aktivasi dan laju aliran (TQ), temperatur aktivasi dan waktu purifikasi (Ts), laju aliran dan waktu purifikasi (Qs) bernilai negatif yang artinya ada pengaruh interaksi antar variabel terhadap penurunan CO₂ meskipun pengaruhnya kecil. Faktor interaksi temperatur aktivasi, laju aliran biogas, dan waktu purifikasi (TQs) bernilai positif yang artinya interaksi tiga variabel (TQs) kurang berpengaruh, nilai positif kecil, terhadap penurunan CO₂.



Gambar 4.2 Diagram persentase CO₂

Gambar 4.2 merupakan diagram persentase CO₂. Masing-masing variasi mengalami penurunan. Pada arang aktif ampas tebu 600°C laju alir biogas 2 liter/menit pada menit ke-5 persentase CO₂ berkurang hingga 23,93% lalu memasuki menit ke-20 turun lagi hingga 21,03%, selisih penurunan sebesar 2,9% pada temperatur aktivasi 600°C. Jenis arang aktif ampas tebu 900°C laju alir biogas 1 liter/menit pada menit ke-5 kadar CO₂ senilai 10,67% kemudian pada menit ke-20 turun menjadi 10,21%, selisih penurunan sebesar 0,46%.

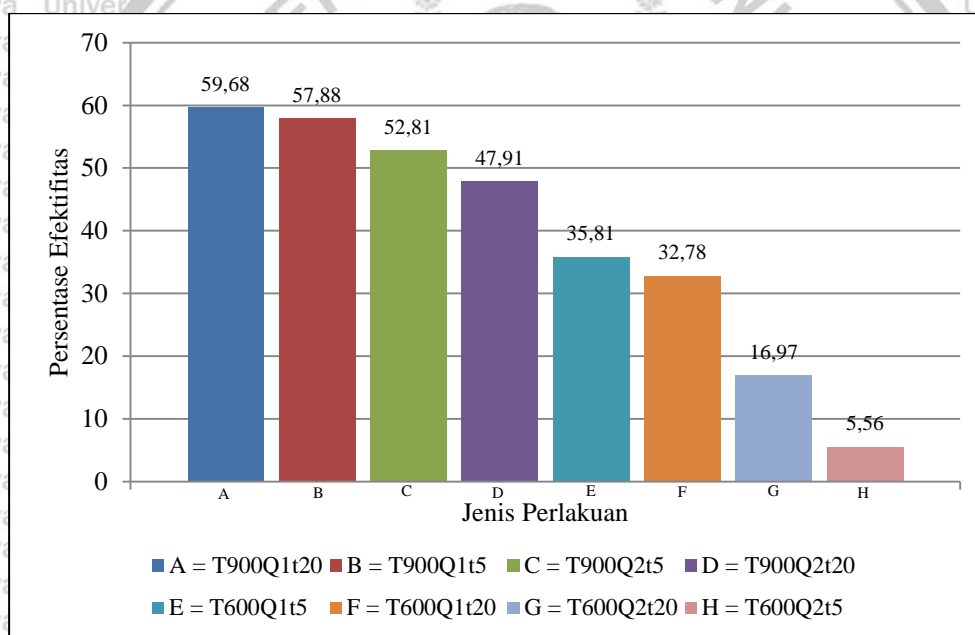
Perbedaan penurunan persentase CO₂ berhubungan dengan kemampuan adsorpsi arang aktif ampas tebu. Karbon aktif adalah adsorben yang baik dikarenakan sifatnya yang unik dan seba guna yang mengizinkan gas dan cairan masuk ke dalam pori-pori internal (R.C. Bansal et al, 1988). Faktor yang mempengaruhi adsorpsi yaitu luas permukaan, volume dan diameter pori-pori, dan porositas karbon aktif. Semakin tinggi nilai permukaan adsorber, volume dan diameter pori-pori, serta porositas karbon aktif maka nilai adsorpsi juga akan meningkat (Norhusna Mohamad, 2013). Persentasi CO₂ terendah ada pada arang yang di aktivasi 900°C menit ke 20 dengan laju aliran 1 liter/menit. Pada temperatur aktivasi yang tinggi karbon yang tidak terorganisir hilang, pori-pori yang ada ukurannya

melebar saat dinding antara pori-pori secara keseluruhan terbakar. Hal ini meningkatkan transisi pori dan porositas makro, dimana volume mikro pori berkurang. Jadi, peningkatan temperatur aktivasi pada material karbon sangat memengaruhi kemampuan adsorpsi (A.R. Reed).

Dengan laju aliran biogas 1 L/menit mampu dihasilkan penurunan CO₂ meskipun kecil, namun telah memenuhi target adanya penurunan persentase CO₂. Apabila diaplikasikan pada *plant* yang lebih besar efeknya akan lebih terlihat tentunya dengan laju aliran gas yang lebih besar menyesuaikan ukuran *plant*. Penggunaan adsorben arang aktif ampas tebu telah dibuktikan dapat mengadsorpsi CO₂ sampai persentase 10,21%.

4.2.2 Efektivitas Penyerapan CO₂

Merujuk pada komposisi campuran CO₂ dan CH₄ saat memasuki alat purifikasi maka efektivitas dari suatu proses purifikasi bisa kita ketahui dengan membandingkan *input* dengan *output* proses purifikasi biogas.



Gambar 4.3 Diagram efektivitas penyerapan CO₂

Gambar 4.3 adalah diagram efektivitas penyerapan CO₂ selama proses purifikasi. Dengan masing-masing nilai yang diperoleh dengan perhitungan efektivitas. Efektivitas tertinggi bernilai 59,68% pada perlakuan 900°C, 1 liter, dan menit ke-5. Sedangkan efektivitas terendah terjadi pada perlakuan 600°C, 2 liter, 5 menit sebesar 5,56%.

Semakin rendah persentase CO₂ pada keluaran biogas berarti efektivitas semakin meningkat, artinya proses adsorpsi telah menarik banyak senyawa CO₂ pada suatu waktu.

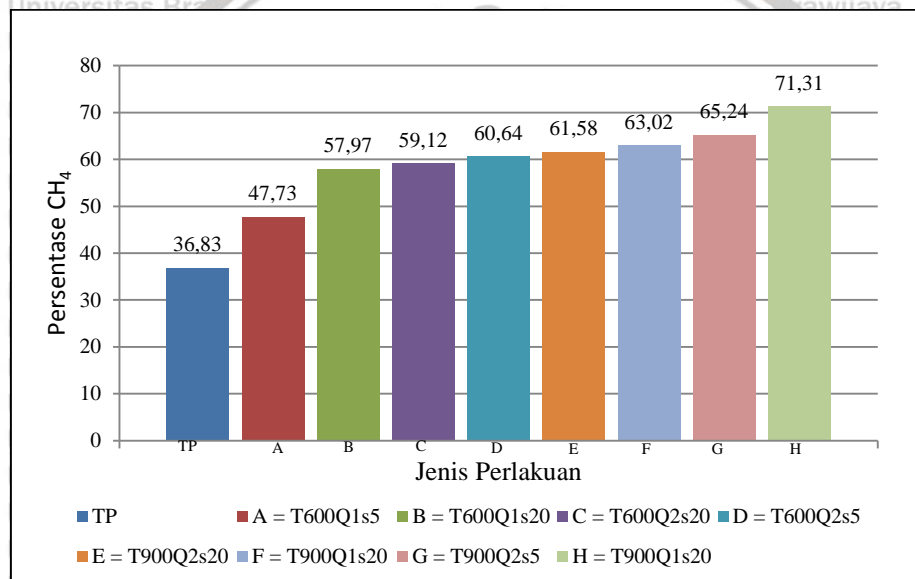
Efektivitas tertinggi didapat oleh jenis arang aktif ampas tebu 900°C, laju alir 1 liter pada

menit ke-20 sebesar 59,68%. Ukuran ini telah mampu menarik banyak senyawa CO₂ dengan cara adsorpsi ke permukaannya yang sangat banyak selama 5 menit, lebih banyak dari jenis arang ampas tebu 600°C. Maka efek luas permukaan kontak terhadap kemampuan adsorpsi akhirnya dapat terhubung dengan efektivitas adsorpsi karena fenomena ini membutuhkan angka persentase CO₂ sebelum purifikasi dan sesudah purifikasi.

4.2.3 Metana

Disamping penurunan persentase CO₂ pada biogas hasil purifikasi, persentase gas CH₄ secara langsung bertambah dengan kata lain biogas mengandung CH₄ lebih banyak dari sebelumnya karena CO₂ yang terserap, sehingga kualitasnya lebih bagus, lebih jelas

Gambar 4.4.

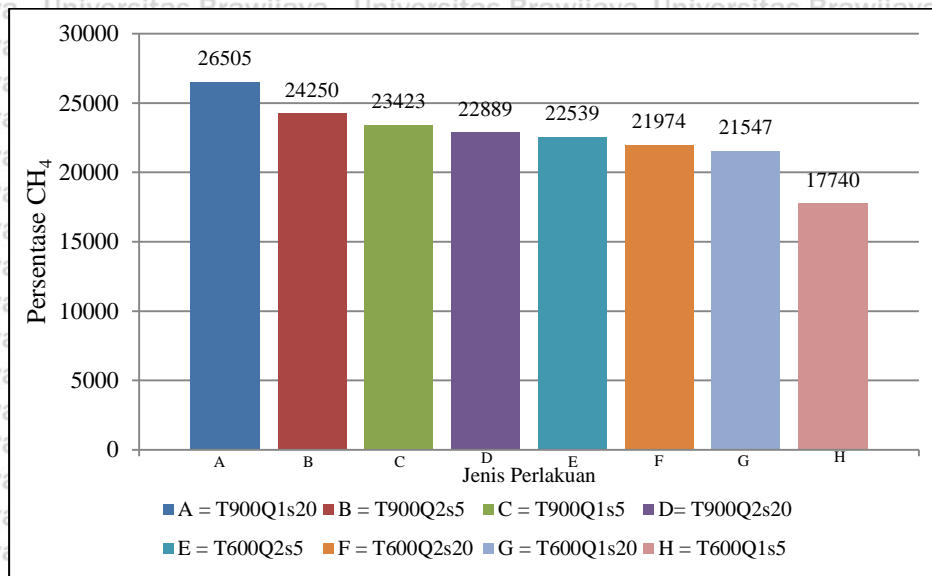


Gambar 4.4 Diagram persentase CH₄

Sebenarnya jumlah CH₄ dalam biogas tidak berubah namun karena kadar CO₂ -nya menurun maka perbandingan persentase CH₄ meningkat. Pada data persentase tanpa perlakuan hasilnya 36,83% kemudian meningkat setelah diberi adsorben arang ampas tebu 600°C pada menit ke-5 dan laju alir 1 liter/menit senilai 47,73% dan pada menit ke-20 senilai 57,97%. Untuk jenis arang ampas tebu 600°C pada menit ke-5 dan laju alir 2 liter/menit senilai 60,64% dan pada menit ke-20 senilai 59,12%. Jenis arang ampas tebu 900°C pada menit ke-5 dan laju alir 1 liter/menit senilai 63,01% dan pada menit ke-20 senilai 71,31%. Serta jenis arang ampas tebu 900°C pada menit ke-5 dan laju alir 2 liter/menit senilai 65,24% dan pada menit ke-20 senilai 61,58%. Dampaknya adalah apabila CO₂ sebagai pengotor (nilai kalornya rendah) berkurang maka diharapkan nilai

kualitas biogas akan meningkat (Ryckebosch, 2011) dan yang dimaksud adalah nilai kalor biogas yang bertambah. Didapatkan setelah perhitungan nilai kalor pembakarannya seperti pada Gambar 4.5.

4.2.4 Nilai Kalor Biogas



Gambar 4.5 Diagram nilai kalor biogas

Didapatkan hasil bahwa semakin besar CO₂ yang terserap maka semakin besar nilai kalor dari biogas. Dengan menggunakan jenis arang ampas tebu 900°C, nilai kalor tertinggi setelah biogas melewati adsorben arang ampas tebu dengan aliran biogas 1 liter/menit serta menit ke-20 adalah 26505,27 kJ/m³. Tidak terlampau jauh daripada jenis temperatur aktivasi yang sama pada menit ke-5 dan aliran biogas 2 liter/menit sebesar 24250,27 kJ/m³, aktivasi di temperatur 900°C menghasilkan biogas dengan kualitas yang lebih bagus dibandingkan temperatur 600°C. Karena pada temperatur aktivasi 600 °C dan laju alir biogas 1 liter/menit yang nilai kalornya 17740,38 kJ/m³ (menit ke-5) dan 21546,97 kJ/m³ (menit ke-20) mempunyai karbondioksida yang masih cukup banyak persentasenya sehingga biogas yang dipurifikasi menggunakan adsorben arang ampas tebu dengan temperatur aktivasi 600°C kualitasnya masih dibawah biogas yang melalui adsorben arang ampas tebu dengan temperatur aktivasi 900°C.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Diperoleh kesimpulan hasil dari analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, yaitu temperatur aktivasi arang ampas tebu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penyerapan CO₂. Peningkatan temperatur aktivasi pada ampas tebu akan menghilangkan zat pengotor, kandungan air pada pori-pori, meningkatkan luas permukaan pori ampas tebu, serta meningkatkan porositasnya. Oleh karena itu semakin tinggi temperatur pemanasan adsorben maka penyerapan CO₂ akan semakin optimum seiring sehingga tingkat kemurnian biogas semakin tinggi dikarenakan semakin banyak CO₂ yang terserap. Serta nilai kualitas biogas dapat dilihat dari nilai kalor pembakaran, nilai kalor biogas (CH₄) yang telah dipurifikasi juga meningkat untuk masing-masing variabel. Nilai tertinggi diperoleh pada adsorben dengan temperatur aktivasi 900°C dengan laju alir biogas 1 liter/menit pada menit ke – 20 dengan nilai kalor pembakarannya sebesar 26506,27 kJ/m³.

5.2 Saran

Saran untuk peneliti purifikasi biogas selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya penelitian menggunakan bahan penyerap air. Karena biogas yang dipindahkan dari digester ke tabung kompressor masih mengandung air yang akan menurunkan nilai kalor biogas.
2. Sebaiknya penelitian selanjutnya dilakukan di tempat tersedianya biogas langsung. Karena hasil penelitian bisa langsung dimanfaatkan untuk tempat produksi biogas tersebut.



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- A. Demirbas. 2004. Adsorption of Lead And Cadmium Ions In Aqueous Solutions Onto Modified Lignin From Alkali Glycerol Delignification. *Journal of Hazardous Material* 109 221–226.
- Al Seadi. 2008. *Biogas Handbook*. Esbjerg: University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohr Vej 9-10.
- A. Pawelczyk, D. Auraviev. 2003. The Integrated Treatment For Purification Of Liquid Pig Wastes. *Przemysl Chemiczny*. 82 (8-9) 2-4 (in Polish).
- Bayrakdar, A., Calli, B. & Tilahun, E. 2015. Biogas Desulfurization Using Autotrophic Denitrification Process. *Berlin: Springer-Verlag*.
- B. Cagnon, P. Xavier, A. Guillot, F. Stoeckli, G. Chambat. 2009. Contributions Of Hemicellulose, Cellulose And Lignin To The Mass And The Porous Properties Of Chars And Steam Activated Carbons From Various Lignocellulosic Precursors. *Bioresource Technology* 100 292–298.
- Calli, B. 2011. Biogas Purification and Utilization. *Istanbul : ENVE 737, Marmara University*.
- E. Szymanska. 2006. The Influence Of Pig Farming On The Environment. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wroclawiu*, 540 531-536 (in Polish).
- Haryati, T. 2006. Biogas: Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Wartazoa*. 16: 160-169.
- Hoyer, Kerstin dkk. 2016. Biogas Upgrading – Technical Review. *Tyngelsjo: Energiforsk*.
- H S. Sorathia, P. P. Rathod, A. S. Sorathiya. 2012. Bio-Gas Generation And Factors Affecting The Bio-Gas Generation – A Review Study. *International Journal of Advanced Engineering Technology* 3 3 72-78.
- Huertas, J.I., N. Giraldo. and S. Izquierdo. 2011. Removal of H₂S and CO₂ from Biogas by Amine Absorption. *Monterrey: Automotive Engineering Research Center-CIMA of Tecnologico de Monterrey*.
- Jørgensen, Peter Jacob. 2009. Biogas-Green Energy. *Digisource Danmark A/S : Denmark*.
- Kadam, Rahul. Panwar, N.L. 2017. Recent Advancement In Biogas Enrichment And Its Applications. *Rajashtan: Department of Renewable Energy Engineering College of Technology and Engineering, Maharana Pratap University of Agriculture and Technology*.

Kapud S.S., Viyaj V.K., Rajesh S.K., Prasad R. 2004. Biogas Scrubbing, Compression And Storage: Perspective And Prospectus In Indian Context. *Renewable Energy, Elsevier*, vol. 308, pages 1195-1202.

Kasikamphaiboon, P., Chungsiriporn, J., Bunyakan, C., Wiyaratn, W. 2013. Simultaneous removal of CO₂ and H₂S using MEA solution in a packed column absorber for biogas upgrading. *Songkhla: Prince of Songkla University*.

Lincoln University. 2016. Library, Teaching and Learning Factorial Designs QMET201. *Christchurch: Lincoln University*.

Mitzlaff, K.V. 1988. *Engines of Biogas*. Deutsche Gesellschaft Fur Technische Zusammenarbeit GTZ GmbH, Germany.

Norhusna Mohamad Nor, Lau Lee Chung, Lee Keat Teong, Abdul Rahman Mohamed. 2013. Synthesis of Activated Carbon From Lignocellulosic Biomass And Its Applications In Air Pollution Control. *A review, Journal of Environmental Chemical Engineering* 1 658–666.

O. Ioannidou, A. Zabaniotou. 2007. Agricultural Residues As Precursors For Activated Carbon Production. *A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11.

P.J.M. Suhas, M.M.L. Carrott, R. Carrott. 2007. Lignin – From Natural Adsorbent To Activated Carbon. *A review, Bioresource Technology* 98 2301–2312.

Price, E.C and Cheremisinoff, P.N. 1981. *Biogas Production and Utilization*. Ann Arbor Science Publisheer, Inc United States of Amreica.

R.C. Bansal, J.B. Donnet and F.F. Stoeckli. 1988. *Active Carbon*. New York : Marcel Dekker Inc.

Silbey, Robert J.; Alberty, Robert A.; Bawendi, Mounji G. 2004. *Physical Chemistry* 4th ed. Wiley. ISBN 978-0471215042.

S.J. Allen, B. Koumanova, Z. Kircheva, S. Nenkova. 2005. Adsorption Of 2-Nitrophenol By Technical Hydrolysis Lignin: Kinetics, Mass Transfer, And Equilibrium Studies. *Industrial Engineering Chemical Resources* 44 2281–2287.

Sparkman, O. David; Penton, Zelda; Kitson, Fulton G. 2011. *Gas Chromatography and Mass Spectrometry: A Practical Guide*. Academic Press. ISBN 978-0-08-092015-3.

Syahputra, I.A. 2016. Pengaruh Laju Aliran Gas CH₄ Dan CO₂ Terhadap Efisiensi Sistem Dan Efektifitas Penyerapan Gas CO₂ Pada Purifikasi Dan Penabungan Biogas. *Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya*

Uwar, A.N., Wardana, ING. & Widhiyanuriyawan, D. 2012. Karakteristik Pembakaran CH₄ Dengan Penambahan CO₂ Pada Model Shaw Cell Pada Penyalaan Bawah. *Jurnal Rekayasa Mesin Vol.3, No. 1 Tahun 2012 : 249-257*

Lampiran 1 Hasil Uji Menggunakan Gas Chromatography oleh Laboratorium Gas Rumah Kaca Balai Penelitian Lingkungan Pertanian Kota Pati



KEMENTERIAN PERTANIAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
BALAI BESAR PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN SUMBERDAYA LAHAN PERTANIAN
BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN



LABORATORIUM BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN

Jl. Raya Jakenan – Jakenkm. 05 Kotak Pos. 5 Jakenan - Pati 59182
E-mail : balingtan@litbang.pertanian.go.id; balingtan@yahoo.com
Website : www.balingtan.litbang.pertanian.go.id

Telp.: 62-(0295) - 4749044
Fax.: 62-(0295) - 4749045

FORMULIR

F.07 LAPORAN HASIL PENGUJIAN RESULT OF ANALYSIS	No. Dokumen	: F. 02
	Edisi/Revisi	: 02/0
	Tanggal	: 31 Januari 2019
	Halaman	: 1 dari 5

NOMOR/NUMBER : 063/LHP-BaI/GRK/5/2020

No. dan Tanggal SP <i>Number & Date of Sample</i>	048/GRK/2020, 04 Mei 2020
Nama/Instansi Pemilik Contoh <i>Name/Principal of Sample Owner</i>	Firman Nurrahmad Effendi
Alamat <i>Address</i>	Jl. Tebu II No.4 Perumahan Petrokimia Gresik, Kab. Gresik, Jawa Timur
No. dan Tanggal Surat Pengiriman <i>Number & Date of Expedition</i>	-
Keterangan Contoh (Jenis dan Jumlah) <i>Sample Remark (Properties & Total of Sample)</i>	43 (empat puluh tiga) sampel biogas
Bobot, Wadah, dan Kondisi Contoh <i>Weight, Packing, & Condition of Sample</i>	Baik
Tujuan Pengujian / The Objective of Analysis	Penelitian
Tanggal Penerimaan Contoh <i>Date of Sample Receipt</i>	04 Mei 2020
Tanggal Pengujian <i>Date of Analysis</i>	04 Mei 2020
Lokasi Pengujian <i>Location of Analysis</i>	Laboratorium Balingtan Pati

HASIL / RESULT:

Terlampir/attached



KEMENTERIAN PERTANIAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
BALAI BESAR PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN SUMBERDAYA LAHAN PERTANIAN
BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN



LABORATORIUM BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN

Jl. Raya Jakenan – Jakenan, 05 Kotak Pos. 5 Jakenan - Pati 59182
 E-mail : balingt@litbang.pertanian.go.id; balingt@yahoo.com
 Website : www.balingt.litbang.pertanian.go.id

Telp.: 62-(0295) - 4749044
 Fax: 62-(0295) - 4749045

FORMULIR

F.07 LAPORAN HASIL PENGUJIAN
RESULT OF ANALYSIS

No. Dokumen : F. 02
 Edisi/Revisi : 02/0
 Tanggal : 31 Januari 2019
 Halaman : 3 dari 5

Nomor/ Number	Kode Sampel/ Sample code	Kode Distribusi/ Distribution code	Parameter/ Parameters	Satuan / Unit	Metode Pengujian/ Method of Analysis	Batas Deteksi / Limit of Detection (LoD)	Hasil Analisis/ Results of Analysis
26	II.M200 Q2L t5m F	048.1.026	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	569788,49
27	II.M200 Q1L t20m F	048.1.027	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	590956,11
28	II.M400 Q1L t5m C	048.1.028	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	460406,19
29	II.M400 Q1L t5m F	048.1.029	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	671308,49
30	II.M400 Q1L t20m C	048.1.030	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	557144,44
31	II.M400 Q1L t20m F	048.1.031	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	664414,57
32	II.M400 Q2L t5m C	048.1.032	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	500957,82
33	II.M400 Q2L t5m F	048.1.033	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	677623,51
34	II.M400 Q2L t20m C	048.1.034	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	576434,65
35	II.M400 Q2L t20m F	048.1.035	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	649966,02
36	II.T600 Q1L t5m	048.1.036	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	538588,98
37	II.T600 Q1L t20m	048.1.037	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	578484,46
38	II.T600 Q2L t5m	048.1.038	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	642231,07
39	II.T600 Q2L t20m	048.1.039	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	552253,8
40	II.T900 Q1L t5m	048.1.040	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	675175,55
41	II.T900 Q1L t20m	048.1.041	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	738429,59
42	II.T900 Q2L t5m	048.1.042	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	642934,06
43	II.T900 Q2L t20m	048.1.043	*CH ₄	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.36) /GC	0,72	579615,82





KEMENTERIAN PERTANIAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
BALAI BESAR PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN SUMBERDAYA LAHAN PERTANIAN
BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN



LABORATORIUM BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN

Jl. Raya Jakenan – Jakenan, 05 Kotak Pos. 5 Jakenan - Pati 59182
 E-mail : balingtan@litbang.pertanian.go.id; balingtan@yahoo.com
 Website : www.balingtan.litbang.pertanian.go.id

Telp.: 62-(0295) - 4749044
 Fax.: 62-(0295) - 4749045

FORMULIR

F.07 LAPORAN HASIL PENGUJIAN
RESULT OF ANALYSIS

No. Dokumen : F. 02
 Edisi/Revisi : 02/0
 Tanggal : 31 Januari 2019
 Halaman : 4 dari 5

Nomor/ Number	Kode Sampel/ Sample code	Kode Distribusi/ Distribution code	Parameter/ Parameters	Satuan / Unit	Metode Pengujian/ Method of Analysis	Batas Deteksi / Limit of Detection (LoD)	Hasil Analisis/ Results of Analysis
1	TP	048.2.001	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	113365,92
2	TP2	048.2.002	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	223229,91
3	TP3	048.2.003	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	253369,71
4	IM200 Q1L t5m F	048.2.004	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	172481,29
5	IM200 Q1L t20m F	048.2.005	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	171827,61
6	IM200 Q2L t5m F	048.2.006	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	204414,23
7	IM200 Q2L t20m F	048.2.007	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	208364,75
8	IM400 Q1L t5m C	048.2.008	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	127117,53
9	IM400 Q1L t5m F	048.2.009	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	103190,97
10	IM400 Q1L t20m C	048.2.010	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	206373,39
11	IM400 Q1L t20m F	048.2.011	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	103261,81
12	IM400 Q2L t5m C	048.2.012	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	203486,93
13	IM400 Q2L t5m F	048.2.013	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	126682,26
14	IM400 Q2L t20m C	048.2.014	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	143579,48
15	IM400 Q2L t20m F	048.2.015	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	102756,92
16	IT600 Q1L t5m	048.2.016	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	153146,26
17	IT600 Q1L t20m	048.2.017	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	173615,63
18	IT600 Q2L t5m	048.2.018	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	232532,79
19	IT600 Q2L t20m	048.2.019	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	195743,4
20	IT900 Q1L t5m	048.2.020	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	101787,63
21	IT900 Q1L t20m	048.2.021	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	101056,26
22	IT900 Q2L t5m	048.2.022	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	115313,84
23	IT900 Q2L t20m	048.2.023	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	132886,79
24	IIM200 Q1L t5m F	048.2.024	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	171291,4
25	IIM200 Q1L t20m F	048.2.025	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	171255,75
26	IIM200 Q2L t5m F	048.2.026	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	218406,34
27	IIM200 Q1L t20m F	048.2.027	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	201571,04
28	IIM400 Q1L t5m C	048.2.028	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	163639,54





KEMENTERIAN PERTANIAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
BALAI BESAR PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN SUMBERDAYA LAHAN PERTANIAN
BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN



LABORATORIUM BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN

Jl. Raya Jakenan – Jakenkm. 05 Kotak Pos. 5 Jakenan - Pati 59182
 E-mail : balingtang@litbang.pertanian.go.id; balingtang@yahoo.com
 Website : www.balingtang.litbang.pertanian.go.id

Telp.: 62-(0295) - 4749044
 Fax.: 62-(0295) - 4749045

FORMULIR

F.07 LAPORAN HASIL PENGUJIAN
RESULT OF ANALYSIS

No. Dokumen : F. 02
 Edisi/Revisi : 02/0
 Tanggal : 31 Januari 2019
 Halaman : 5 dari 5

Nomor/ Number	Kode Sampel/ Sample code	Kode Distribusi/ Distribution code	Parameter/ Parameters	Satuan / Unit	Metode Pengujian/ Method of Analysis	Batas Deteksi / Limit of Detection (LoD)	Hasil Analisis/ Results of Analysis
29	II.M400 Q1L t5m F	048.2.029	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	118439,78
30	II.M400 Q1L t20m C	048.2.030	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	217598,48
31	II.M400 Q1L t20m F	048.2.031	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	103108,99
32	II.M400 Q2L t5m C	048.2.032	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	245656,42
33	II.M400 Q2L t5m F	048.2.033	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	101751,27
34	II.M400 Q2L t20m C	048.2.034	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	173618,58
35	II.M400 Q2L t20m F	048.2.035	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	117251,59
36	II.T600 Q1L t5m	048.2.036	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	172161,46
37	II.T600 Q1L t20m	048.2.037	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	166960,55
38	II.T600 Q2L t5m	048.2.038	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	246075,4
39	II.T600 Q2L t20m	048.2.039	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	225028,5
40	II.T900 Q1L t5m	048.2.040	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	111636,05
41	II.T900 Q1L t20m	048.2.041	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	103280,42
42	II.T900 Q2L t5m	048.2.042	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	123841,39
43	II.T900 Q2L t20m	048.2.043	*CO ₂	ppm	IKM BALINGTAN (7.2.2.2.38) /GC	45,10	131105,08

Pati, 14 Mei 2020
 Manager Teknis/
 Technical Manager

Asem Kurnia, SP. M.Eng
 NIP. 19760328 200604 1 001



