



**KARAKTERISTIK THERMAL BIOGAS YANG DIPURIFIKASI LARUTAN
KOH 4 (EMPAT) MOLARITAS DIBANDINGKAN DENGAN BIOGAS
TANPA PURIFIKASI**

SKRIPSI

Oleh
Sigit Jatmiko
NIM 111910101023

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**



**KARAKTERISTIK THERMAL BIOGAS YANG DIPURIFIKASI LARUTAN
KOH 4 (EMPAT) MOLARITAS DIBANDINGKAN DENGAN BIOGAS
TANPA PURIFIKASI**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik Mesin
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Sigit Jatmiko

NIM 111910101023

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua tercinta bapak Suyat dan ibu Nur Vita yang telah memberikan dan melakukan segalanya untuk penulis;
2. Mbak Desinta Sekar Jatmiko dengan suaminya Mas Ary Wahyudi dan semua keluarga besar yang selalu memberi semangat, motivasi, pelajaran-pelajaran berharga, serta doa-doanya yang selalu terucap untuk penulis;
3. Guru-guruku sejak Taman Kanak-kanak sampai dengan Perguruan Tinggi;
4. Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. dan Bapak Dr. R. Koekoeh K. W, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing dalam penyusunan skripsi ini. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc dan Bapak Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah banyak memberi kritik dan saran yang membangun. Serta Bapak Nurkoyim, S.T., M.T. yang telah banyak membantu dan membimbing penulis. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah;
5. Dulur-dulur Teknik Mesin 2011 “DULUR SAK LAWASE” yang senantiasa memberikan motivasi, bimbingan, arahan serta dukungan selama ini. Semoga kalian sukses selalu dan diberi lindungan Allah SWT;
6. Sofyan (Gundul) dan Rofik (Irung) yang telah merasakan susah dan senang bersama selama melakukan penelitian ini;
7. Bapak Edy Suharyanto, STP., MP. selaku Kepala Urusan Produksi Alsin dan Industri Hilir di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia beserta karyawan yang telah memberikan tempat dan fasilitas dalam pelaksanaan penelitian ini;
8. Teman-teman satu kontrakan yang sering memberikan saran dan juga sering mengganggu dengan godaan bermain game DOTA 2.
9. Serta civitas akademik baik dilingkungan UNEJ maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan dan lembaga terkait.

MOTTO

“Barang siapa yang menempuh jalan untuk mencari suatu ilmu. Niscaya Allah memudahkannya menuju surga”. (HR. Turmudzi)

“Sungguh akan dibayar upah (Pahala) orang-orang yang sabar dengan tiada batas hitungan”. (Q.S. Az-Zumar : 43)

“Orang yang gagah perkasa tidak diukur dengan kemenangan dalam pertarungan, tetapi kekuatan yang sebenarnya ialah orang yang dapat mengawal dirinya ketika marah”. (HR. Bukhari dan Muslim)

“Dan (ingatlah juga), tatkala Tuhanmu memaklumkan; Sesungguhnya jika kamu bersyukur, pasti Kami akan menambah (nikmat) kepadamu, dan jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), maka sesungguhnya azab-Ku sangat pedih”.
(Q.S. Ibrahim : 7)

“Memenuhi kebutuhan di dunia ini memang penting akan tetapi memenuhi kebutuhan di akhirat jauh lebih penting”.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sigit Jatmiko

NIM : 111910101023

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “*KARAKTERISTIK THERMAL BIOGAS YANG DIPURIFIKASI LARUTAN KOH 4 (EMPAT) MOLARITAS DIBANDINGKAN DENGAN BIOGAS TANPA PURIFIKASI*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 20 November 2015

Yang menyatakan,

(Sigit Jatmiko)

NIM 111910101023

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK THERMAL BIOGAS YANG DIPURIFIKASI LARUTAN
KOH 4 (EMPAT) MOLARITAS DIBANDINGKAN DENGAN BIOGAS
TANPA PURIFIKASI**

Oleh

Sigit Jatmiko

NIM 111910101023

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.

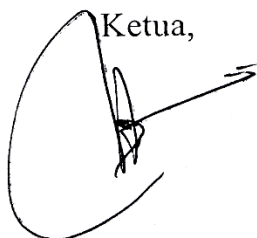
Dosen Pembimbing Anggota : Dr. R. Koekoeh K. W, S.T., M.Eng.

PENGESAHAN

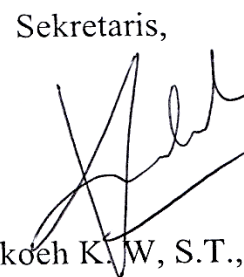
Skripsi berjudul “Karakteristik thermal biogas yang dipurifikasi larutan KOH 4 (empat) molaritas dibandingkan dengan biogas tanpa purifikasi” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Senin, 08 Desember 2015

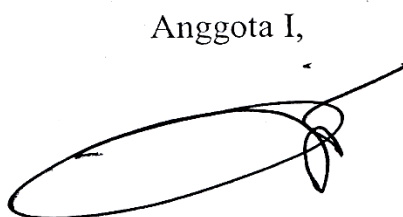
tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Ketua,


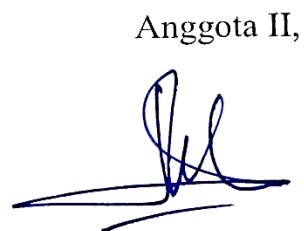
Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.
NIP 197111141999031002

Sekretaris,


Dr. R. Koekoeh K. W, S.T., M.Eng
NIP 196707081994121001

Anggota I,


Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc
NIP 196806171995011001

Anggota II,


Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T.
NIP 196912011996021001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,



Widnyono Hadi, M.T.
NIP. 19610414 198902 1 001

RINGKASAN

Karakteristik Thermal Biogas Yang Dipurifikasi Larutan KOH 4 (Empat) Molaritas Dibandingkan Dengan Biogas Tanpa Purifikasi; Sigit Jatmiko, 111910101023; 2015; 98 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Biogas adalah suatu energi alternatif yang berasal dari hasil pembusukan limbah organik yang menghasilkan sebagian besar gas metana (CH_4) dan gas karbondioksida (CO_2).

Pada penelitian ini, melakukan pengamatan kualitas biogas terhadap komposisi, nilai kalor, distribusi temperatur, dan cepat rambat api biogas. Dengan membandingkan antara biogas tanpa purifikasi dengan biogas yang dipurifikasi dengan larutan KOH 4M.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, untuk pengujian komposisi, nilai kalor, distribusi temperatur, dan cepat rambat api biogas. Pengambilan sampel biogas dilakukan di Pusat Penelitian Kakao dan Kopi Indonesia.

Dari hasil penelitian diperoleh kualitas biogas yang dipurifikasi larutan KOH 4M lebih baik dari pada biogas tanpa purifikasi. Untuk komposisi gas CO_2 mengalami penurunan sebesar 18,5% dan gas metana CH_4 + zat pengotor naik sebesar 18,57% setelah dipurifikasi. Untuk nilai kalor LHV mengalami kenaikan sebesar 144,42 kJ/mol atau 22,22% dan HHV mengalami kenaikan sebesar 160,24 kJ/mol atau 22,22% setelah dipurifikasi. Nilai temperatur tertinggi biogas pada bidang horizontal mengalami kenaikan sebesar 148,78 °C atau 39,11%, dan pada bidang vertikal mengalami kenaikan sebesar 214,30°C atau 27,26% setelah dipurifikasi. Untuk nilai rata-rata cepat rambat api biogas mengalami kenaikan sebesar 149.91 cm/detik atau 13,05% setelah dipurifikasi dengan larutan KOH 4M.

SUMMARY

Characteristic Thermal Biogas That Purification Solution KOH 4 (Four) Molarity Compared With Biogas Without Purification; Sigit Jatmiko, 111910101023; 2015; 98 page; mechanical engineering of engineering faculty university of jember .

Biogas is a alternative energy derived from the decay waste organic that produces most of the methane gas (CH_4 ,) and gases carbon dioxide (CO_2).

In this study, do observation the quality of biogas by composition, value heat engine, the distribution of temperature, and fast of fire biogas. By comparing between biogas without purification with biogas that purification with a solution of KOH 4M.

The research do in laboratoruim conversion energy of mechanical engineering of engineering faculty university of jember, for testing composition, value heat engine, the distribution of temperature, and fast of fire biogas. The sample collection biogas take in research center cocoa and coffee indonesia.

The research obtained the quality of biogas that purification with solution KOH 4M better than biogas without purification. For composition gas CO_2 decreased by 18,5% and methane gas CH_4 , + dirty gases increased by 18,57% after purification. To value heat engine LHV increased by 144,42 kJ/moles or 22,22% and HHV increased by 160,24 kJ/moles or 22,22% after purification. Value temperature highest biogas in a horizontal plane increased by 148,78°C or 39,11% , and in the vertical plane increased by 214,30°C or 27,26% after purification. To value the average fast of fire biogas increased by 149.91 cm/sec or 13,05% after purification with a solution of KOH 4M.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Karakteristik thermal biogas yang dipurifikasi larutan KOH 4 (empat) molaritas dibandingkan dengan biogas tanpa purifikasi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah henti dalam hidup ini.
2. Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. dan Bapak Dr. R. Koekoeh K. W, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing dalam penyusunan skripsi ini. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc dan Bapak Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah banyak memberi kritik dan saran yang membangun.
3. Bapak Suyat dan Ibu Nur Vita tercinta yang senantiasa memberikan semangat, kasih sayang, dan pengorbanan yang tidak kenal lelah hingga saat ini, serta doa yang selalu dihaturkan dengan penuh keikhlasan hati;
4. Mbak Desinta Sekar Jatmiko beserta keluarganya dan semua keluargaku yang selalu memberi semangat, motivasi, pelajaran-pelajaran berharga, serta doadoanya yang selalu terucap untuk penulis dan keluarga;
5. Guru-guruku sejak Taman Kanak-kanak sampai dengan Perguruan Tinggi;
6. Bapak Dosen dan seluruh staf Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
7. Para pimpinan dan karyawan Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia yang telah memberikan tempat dan fasilitas dalam pelaksanaan penelitian ini;

8. Satu tim skripsi biogas (Sofyan, Sigit, dan Erda) yang telah banyak membantu dan memberi masukan tentang penulisan dan penyusunan skripsi ini.
9. Dulur-dulur Bedeba Teknik Mesin 2011 “Dulur Sak Lawase”, yang semuanya menjadi saudara-saudaraku yang selalu berjalan bersama beriringan dan mengajari penulis arti kebersamaan dan indahnya persaudaraan. Semoga persaudaraan ini akan tetap terjaga hingga akhir waktu;
10. Sahabat–sahabat satu kontrakan penulis yang selalu mendukung dan saling melengkapi dalam indahnya persahabatan hingga saat ini;
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

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

Jember, 30 November 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTO	iii
PERNYATAAN	iv
PEMBIMBING	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Sejarah Biogas	6
2.2 Sampah Organik	6
2.3 Definisi Biogas	7
2.4 Proses Pembentukan Biogas	9
2.4.1 Tahap <i>Hidrolisis</i>	11
2.4.2 Tahap <i>Asidifikasi</i> (Pengasaman).....	11
2.4.3 Tahap Pembentukan Gas Metana	11
2.5 Proses Pemurnian Biogas	13
2.5.1 Absorpsi Fisik.....	17

2.5.2 Absorpsi Kimia	18
2.6 Karakteristik Termal	21
2.6.1 Komposisi (Kandungan Biogas).....	21
2.6.2 Nilai Kalor Pada Purifikasi Biogas.....	24
2.6.3 Distribusi Temperatur pada Purifikasi Biogas.....	26
2.6.4 Rambat Api pada Purifikasi Biogas.....	29
2.7 AFR (<i>Air Fuel Ratio</i>)	30
2.8 Hipotesa	32
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1 Metode Penelitian.....	33
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	33
3.2.1 Tempat Penelitian	33
3.2.2 Waktu Penelitian	33
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	34
3.3.1 Alat	34
3.3.2 Bahan	34
3.4 Variabel Penelitian	34
3.4.1 Variabel Bebas	34
3.4.2 Variabel Terikat	35
3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data	35
3.6 Pengamatan yang Dilakukan	35
3.7 Tahap Penelitian dan Prosedur Pengujian	36
3.7.1 Tahap Pembuatan Alat Purifikasi Biogas	36
3.7.2 Tahap Penyiapan KOH	36
3.7.3 Tahap Pemurnian Biogas	37
3.7.4 Pengujian Komposisi Biogas	37
3.7.5 Pengujian Karakteristik Termal Biogas.....	37
3.7.6 Akhir Pengambilan Data	40
3.8 Analisis Data	41
3.8.1 Nilai Kalor	41

3.8.2 Distribusi Temperatur	42
3.8.3 Cepat Rambat Api	43
3.9 Diagram Alir Penelitian	44
3.10 Jadwal Kegiatan Penelitian	45
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Hasil Pembahasan	46
4.1.1 Komposisi Biogas	46
4.1.2 Nilai Kalor Biogas.....	48
4.1.3 Distribusi Temperatur	50
4.1.4 Cepat Rambat Api	54
BAB 5. PENUTUP.....	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Penggunaan biogas untuk berbagai aplikasi	9
Gambar 2.2	Proses Pembentukan Biogas	10
Gambar 2.3	Skema proses hidrolisis.....	11
Gambar 2.4	Skema proses methanogenesis	12
Gambar 2.5	Rangkaian alat penelitian	15
Gambar 2.6	Hasil biogas yang telah termurnikan dengan absorben.....	16
Gambar 2.7	Alat Absorpsi	17
Gambar 2.8	Model teori film pada Absorpsi	18
Gambar 2.9	Konfigurasi absorber-stipper.....	18
Gambar 2.10	Kalium Hidroksida (KOH).....	20
Gambar 2.11	Penurunan konsentrasi NaOH terhadap waktu	22
Gambar 2.12	Penurunan konsentrasi KOH terhadap waktu	23
Gambar 2.13	Skema Instalasi Alat Penelitian.....	26
Gambar 2.14 (a) – 2.14 (c).	Disribusi temperatur api difusi <i>counterflow flame</i> .	28
Gambar 2.15	Pola rambat api pada berbagai campuran CO ₂ 10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bb/mol udara) 7,5 : 1	29
Gambar 2.16	Pola rambat api pada berbagai campuran CO ₂ 10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bb/mol udara) 10 : 1	30
Gambar 3.1	Alat Purifikasi	36
Gambar 3.2	Skema pemurnian biogas	37
Gambar 3.3	Pengukuran distribusi temperatur pada kompor uji	38
Gambar 3.4	Skema pencampuran biogas dan udara	39
Gambar 3.5	Skema perekaman rambat api	39
Gambar 3.6	Diagram alir pengujian pada pemurnian biogas	44
Gambar 4.1	Grafik Hasil Uji Komposisi Biogas	47
Gambar 4.2	Grafik Nilai Kalor Biogas	49
Gambar 4.3	Pengukuran Temperatur Api Pada Tiap Titik	50

Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Distribusi Temperatur Biogas pada Titik <i>Horizontal</i>	52
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Distribusi Temperatur Biogas pada Titik Vertikal	52
Gambar 4.6 Cepat Rambat Api Biogas Tanpa Purifikasi (Pengujian 1-5)	55
Gambar 4.7 Cepat Rambat Api Biogas Setelah Dipurifikasi Larutan KOH 4M (Pengujian 1-5)	55
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Cepat Rambat Api Biogas Total	56
Gambar 4.9 Perbandingan Nilai Rata-Rata Cepat Rambat Api Biogas	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Kesetaraan 1 m ³ Biogas Dengan Energi Lainnya	13
Tabel 2.2 Beberapa nilai entalpi kimia	25
Tabel 3.1 Tabel 3.1 Tabel pengujian distribusi temperatur pada titik horizontal.....	42
Tabel 3.2 Tabel pengujian distribusi temperatur pada titik vertikal	42
Tabel 3.3 Tabel Pengujian cepat rambat api	43
Tabel 3.4 Tabel jadwal penelitian	45
Tabel 4.1 Tabel 4.1 Persentase kandungan CH ₄ + zat pengotor	46
Tabel 4.2 Persentase Kandungan CO ₂	46
Tabel 4.3 Nilai Kalor Biogas	48
Tabel 4.4 Perbandingan Distribusi Temperatur Biogas (<i>Horizontal</i>)	51
Tabel 4.5 Perbandingan Distribusi Temperatur Biogas (<i>Vertikal</i>)	51
Tabel 4.6 Perbandingan Cepat Rambat Api Biogas	56

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya jumlah penduduk dan taraf hidup masyarakat, memerlukan lebih banyak energi untuk memenuhi kebutuhannya. Maksud dari kebutuhan energi disini tidak lain adalah energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan dan mendistribusikan secara merata sarana-sarana pemenuhan kebutuhan pokok manusia.

Selama 11 tahun terakhir, produksi energi nasional terus mengalami peningkatan dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 4,6% per tahun. Ekspor mengalami pertumbuhan rata-rata 6,8% per tahun, impor tumbuh rata-rata 10,2% per tahun sementara konsumsi domestik hanya tumbuh 1,8% per tahun (Kementrian ESDM, 2012). Pemakaian bahan bakar fosil (minyak dan batubara) secara besar-besaran sebagai penyedia sumber daya energi dapat berdampak pada pencemaran lingkungan. Selain itu dengan meningkatnya kebutuhan energi disetiap tahunnya akan membuat cadangan energi fosil yang ada di dalam bumi semakin menipis. Semakin berkurangnya ketersediaan sumber daya energi fosil, khususnya minyak bumi, yang sampai saat ini masih merupakan bahan bakar dan komponen utama penghasil energi listrik di Indonesia. Sedangkan Indonesia yang akan memasuki era industrialisasi jelas akan memerlukan tambahan energi dalam jumlah yang relatif besar dan hal ini tentu akan berdampak terhadap pencemaran lingkungan dan berkurangnya cadangan bahan bakar fosil yang ada di Indonesia, hal ini menyebabkan kita harus berpikir untuk mencari energi alternatif. Sistem konversi energi yang memanfaatkan sumber daya energi terbarukan, seperti: matahari, angin, air, biomas dan lain sebagainya (Djojonegoro,1992).

Biogas merupakan gas hasil dari dekomposisi bahan organik secara anaerobik (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan suatu gas yang sebagian besar berupa metan (yang memiliki sifat mudah terbakar) dan karbon dioksida. Proses dekomposisi anaerobik dibantu oleh sejumlah mikroorganisme, terutama bakteri metan. Suhu yang

baik untuk proses fermentasi adalah suhu yang hangat yaitu berkisar 30°-55°C. Pada suhu tersebut mikroorganisme dapat bekerja secara optimal merombak bahan-bahan organik.

Bahan dasar biogas pada umumnya memanfaatkan kotoran ternak, misalnya sapi, kerbau, kuda, ayam, dll, akan tetapi bahan tersebut bisa diganti dengan sampah organik. Pemanfaatan sampah organik sangat bagus sebagai bahan dasar pembuatan biogas, mengingat sampah organik yang ada di Indonesia masih belum dikelola dengan baik. Di Kabupaten Jember sendiri sampah organik dan anorganik dicampur menjadi satu kemudian dibuang pada TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Hal ini dapat dijadikan potensi pengolahan sampah organik sebagai bahan dasar pembuatan biogas.

Biogas adalah campuran beberapa gas, tergolong bahan bakar gas yang merupakan hasil fermentasi dari sampah organik dalam kondisi anaerob, dan gas yang dominan adalah gas metana (CH_4 (50-70 %)) dan gas karbondioksida (CO_2 (30-40 %)), hidrogen sulfida (H_2S (0-3%)), air (H_2O (0,3 %)), oksigen (O_2 (0,1%-0,5%)), dan gas-gas yang lain dalam jumlah yang kecil. Biogas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu kisaran 4800 – 6700 Kkal/m³, untuk gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 Kkal/m³ (Efriza, 2009).

Besarnya energi dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH_4) yang ada dalam biogas tersebut. Semakin tinggi konsentrasi metana maka semakin besar kandungan energi (Nilai Kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil konsentrasi metana semakin kecil nilai kalor dari biogas. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air dan karbondioksida (CO_2) (Efriza, 2009).

Beberapa peneliti yang membahas karakteristik pembakaran dan membuktikan bahwa penambahan CO_2 mempengaruhi laju pembakaran. Pada biogas masih banyak terdapat gas karbon dioksida (CO_2) yaitu sekitar 24-45%. Gas karbon

dioksida (CO_2) sulit dipisahkan dengan gas metan (CH_4) sehingga akan mempengaruhi laju rambat api pada biogas. Semakin tinggi kadar karbon dioksida (CO_2) maka proses pembakaran tidak optimum (Mara, 2013).

Pengujian *purifikasi* terhadap lama waktu dan kadar senyawa KOH pada *zeolite* berpengaruh terhadap nilai kalor biogas, dimana semakin tinggi tingkat molaritas senyawa KOH yang digunakan, kemampuan adsorpsi *zeolite* semakin meningkat sehingga mengakibatkan nilai kalor biogas semakin tinggi. Selain itu kemampuan adsorpsi *zeolite* akan menurun jika digunakan terus menerus yang diakibatkan oleh terbentuknya lapisan film pada permukaan *zeolite* (Hamidi, dkk 2011).

Penambahan CO_2 mengakibatkan distribusi temperatur yang terjadi semakin menyempit atau tipis dan juga temperatur api yang dihasilkan semakin rendah atau menurun. Dengan prosentase CO_2 sebesar 0%, terlihat bahwa daerah distribusi temperatur lebar. Hal ini dikarenakan tidak terdapat zat inhibitor dalam kandungan bahan bakar, sehingga bahan bakar yang terbakar lebih banyak. Suhu api pada titik paling bawah api yaitu 277°C dan pada titik paling atas api yaitu 410°C (Toko, dkk 2014).

Kadar CO_2 dan perbandingan AFR pada mol bahan bakar dengan mol udara berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran CH_4 . Semakin besar mol bahan bakar dibandingkan mol udara, semakin baik proses pembakaran yang terjadi. Hal ini dapat dilihat pada perubahan laju rambat api. Pembakaran campuran bahan bakar dan udara tanpa CO_2 api berwarna biru, sedangkan dengan penambahan CO_2 api cenderung berwarna kuning kemerah-merahan yang menunjukkan bahwa pembakaran berlangsung tidak sempurna. Pada campuran CH_4 dengan CO_2 laju rambat api turun lebih rendah karena molekul dari CO_2 menghambat reaksi tumbukan antara molekul hidrokarbon dan molekul udara serta adanya gaya apung yang mendorong rambatan api dari bawah ke atas (Uwar, dkk 2012).

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian di atas maka dapat dibuat beberapa perumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana perbandingan komposisi biogas sebelum purifikasi dengan biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4 M.
2. Bagaimana perbandingan nilai kalor biogas sebelum purifikasi dengan biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4 M.
3. Bagaimana perbandingan distribusi temperatur biogas sebelum purifikasi dengan biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4 M.
4. Bagaimana perbandingan rambat api biogas sebelum purifikasi dengan biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4 M.

1.3 Tujuan

Berdasarkan uraian pada latar belakang, tujuan dari pengujian ini adalah:

1. Mengetahui perbandingan komposisi biogas sebelum purifikasi dengan biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4 M.
2. Mengetahui nilai kalor biogas sebelum purifikasi dengan biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4 M.
3. Mengetahui distribusi temperatur biogas sebelum purifikasi dengan biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4 M.
4. Mengetahui rambat api biogas sebelum purifikasi dengan biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4 M.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Mahasiswa bisa mengetahui prinsip kerja dari biogas.
2. Memberikan pengetahuan tentang perbandingan komposisi, nilai kalor, distribusi temperatur dan rambat api biogas sebelum purifikasi dengan biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4 M.

3. Memberikan motivasi bagi Civitas Akademik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember untuk mengembangkan lebih jauh teknologi biogas.
4. Memberikan dampak positif kepada masyarakat sehingga mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan memberdayakan energi biogas sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis.

1.5 Batasan Masalah

Dengan kompleksnya permasalahan berkaitan dengan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pengambilan data dan analisa. Diperlukan batasan dan asumsi agar mempermudah menganalisa terhadap permasalahan yaitu:

1. Model bentuk dan bahan material reaktor biogas tidak mempengaruhi komposisi biogas.
2. Kondisi suhu dan kelembapan ruangan dianggap tetap.
3. Tekanan dari reaktor biogas pada proses purifikasi dianggap tidak berpengaruh.
4. Komposisi biogas setiap pengujian dianggap sama.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Biogas

Sejarah penemuan proses anaerobik digestion untuk menghasilkan biogas tersebar di benua Eropa. Penemuan ilmuwan Alessandro Volta terhadap gas yang dikeluarkan di rawa-rawa terjadi pada tahun 1770, beberapa decade kemudian Avogadro mengidentifikasi tentang gas Methana. Setelah tahun 1875 dipastikan bahwa biogas merupakan produk dari proses anaerobik digestion. Tahun 1884 Pateour melakukan penelitian tentang biogas menggunakan kotoran hewan. Era penelitian Pasteur menjadi landasan untuk penelitian biogas hingga saat ini. Pada akhir abad ke-19 ada beberapa riset dalam bidang ini dilakukan. Di Jerman dan Perancis melakukan riset pada masa antara dua perang dunia dan beberapa unit pembangkit biogas dengan memanfaatkan limbah pertanian. Selama perang dunia II banyak petani di Inggris dan benua Eropa yang membuat digester kecil untuk menghasilkan biogas yang digunakan untuk menggerakkan traktor. Karena harga BBM semakin murah dan mudah memperolehnya pada tahun 1950-an pemakaian biogas di Eropa ditinggalkan. Namun, di Negara-negara berkembang kebutuhan akan sumber energi yang murah dan selalu tersedia ada. Kegiatan produksi biogas di India telah dilakukan semenjak abad ke-19. Alat pencernaan anaerobik pertama dibangun pada tahun 1900 (Rahman, 2005).

2.2 Sampah Organik

Telah lama sampah menjadi permasalahan serius di berbagai kota besar di Indonesia. Peningkatan jumlah penduduk di Indonesia berbanding lurus dengan sampah yang dihasilkan tiap harinya. Sampah berdasarkan kandungan zat kimia dibagi menjadi dua kelompok, yaitu sampah anorganik pada umumnya tidak mengalami pembusukan, seperti plastik, logam. Sedangkan sampah organik pada umumnya mengalami pembusukan, seperti daun, sisa makanan.

Sebagian besar penduduk di Indonesia memanfaatkan sampah organik dijadikan sebagai pupuk kompos, akan tetapi pemanfaatan sampah organik sebenarnya tidak hanya dijadikan sebagai pupuk kompos saja melainkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif yaitu dengan cara dijadikan bahan dasar pembuatan biogas. Limbah dari proses pembuatan biogas juga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk kompos.

Bahan dasar biogas pada umumnya memanfaatkan kotoran ternak, misalnya sapi, kerbau, kuda, ayam, dll, akan tetapi bahan tersebut bisa diganti dengan sampah organik. Pemanfaatan sampah organik sangat bagus sebagai bahan dasar pembuatan biogas, mengingat sampah organik yang ada di Indonesia masih belum dikelola dengan baik. Di Kabupaten Jember sendiri sampah organik dan anorganik dicampur menjadi satu kemudian dibuang pada TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Hal ini dapat dijadikan potensi pengolahan sampah organik sebagai bahan dasar pembuatan biogas.

2.3 Definisi Biogas

Pemakaian bahan bakar fosil (minyak dan batubara) secara besar-besaran sebagai penyedia sumber daya energi dapat berdampak pada pencemaran lingkungan. Selain itu dengan meningkatnya kebutuhan energi disetiap tahunnya akan membuat cadangan energi fosil yang ada di dalam bumi semakin menipis.

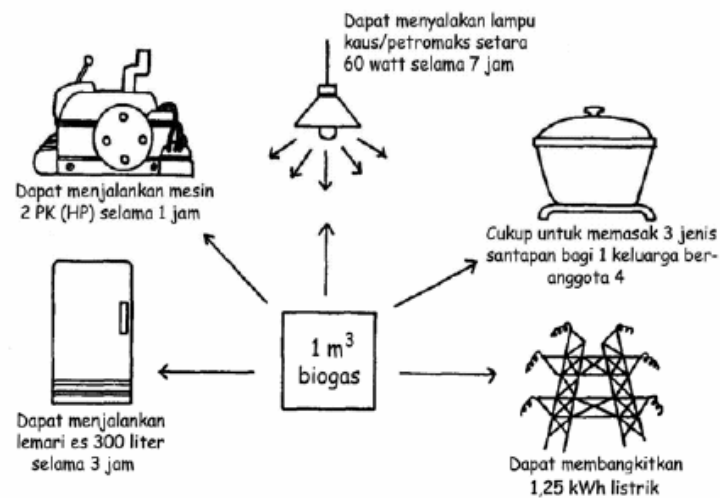
Selama 11 tahun terakhir, produksi energi nasional terus mengalami peningkatan dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 4,6% per tahun. Ekspor mengalami pertumbuhan rata-rata 6,8% per tahun, impor tumbuh rata-rata 10,2% per tahun sementara konsumsi domestik hanya tumbuh 1,8% per tahun (Kementerian ESDM, 2012). Makin berkurangnya ketersediaan sumber daya energi fosil, khususnya minyak bumi, yang sampai saat ini masih merupakan bahan bakar dan komponen utama penghasil energi listrik di Indonesia. Sedangkan Indonesia yang akan memasuki era industrialisasi jelas akan memerlukan tambahan energi dalam

jumlah yang relatif besar dan hal ini tentu akan berdampak terhadap pencemaran lingkungan dan berkurangnya cadangan bahan bakar fosil yang ada di Indonesia, hal ini menyebabkan kita harus berpikir untuk mencari energi alternatif. Sistem konversi energi yang memanfaatkan sumber daya energi terbarukan, seperti: matahari, angin, air, biomas dan lain sebagainya (Djojonegoro,1992).

Biogas merupakan gas hasil dari dekomposisi bahan organik secara anaerobik (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan suatu gas yang sebagian besar berupa metan (yang memiliki sifat mudah terbakar) dan karbon dioksida. Proses dekomposisi anaerobik dibantu oleh sejumlah mikroorganisme, terutama bakteri metan. Suhu yang baik untuk proses fermentasi adalah suhu yang hangat yaitu berkisar 30° - 55° C. Pada suhu tersebut mikroorganisme dapat bekerja secara optimal merombak bahan-bahan organik dan menghasilkan gas. Pembuatan biogas biasanya memanfaatkan kotoran ternak, misalnya sapi, kerbau, kuda, ayam, dll, akan tetapi bahan tersebut bisa diganti dengan sampah organik. Pemanfaatan sampah organik sangat bagus sebagai bahan dasar pembuatan biogas, mengingat sampah organik yang ada di Indonesia masih belum terkelola dengan baik.

Biogas adalah campuran beberapa gas, tergolong bahan bakar gas yang merupakan hasil fermentasi dari bahan organik dalam kondisi anaerob, dan gas yang dominan adalah gas metana (CH_4 (50-70%)) dan gas karbondioksida (CO_2 (30-40 %)), hidrogen sulfida (H_2S (0-3%)), air (H_2O (0,3 %)), oksigen (O_2 (0,1%-0,5%)), dan gas-gas yang lain dalam jumlah yang kecil. Biogas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu kisaran $4800 - 6700 \text{ Kkal/m}^3$, untuk gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 Kkal/m^3 (Efriza, 2009).

Biogas dapat digunakan dalam berbagai keperluan seperti memasak, penerangan, pompa air, boiler dan sebagainya. Berikut ini adalah gambar penggunaan gas metana untuk berbagai aplikasi.



Gambar 2.1 Penggunaan biogas untuk berbagai aplikasi (Kosaric dan Velikonja, 1995)

2.4 Proses Pembentukan Biogas

Pada prinsipnya teknologi biogas adalah teknologi yang memanfaatkan proses *fermentasi* (pembusukan) dari sampah organik secara *anaerobik* (tanpa udara) oleh bakteri metan sehingga dihasilkan gas metan. Gas metan adalah gas yang mengandung satu atom C dan 4 atom H yang memiliki sifat mudah terbakar (Nandiyanto, 2007 dalam Harsono, 2013). Menurut (Haryati, 2006 dalam Harsono, 2013), proses pencernaan *anaerobik* merupakan dasar dari reaktor biogas yaitu proses pemecahan bahan organik oleh aktivitas bakteri *metanogenik* dan bakteri *asidogenik* pada kondisi tanpa udara.

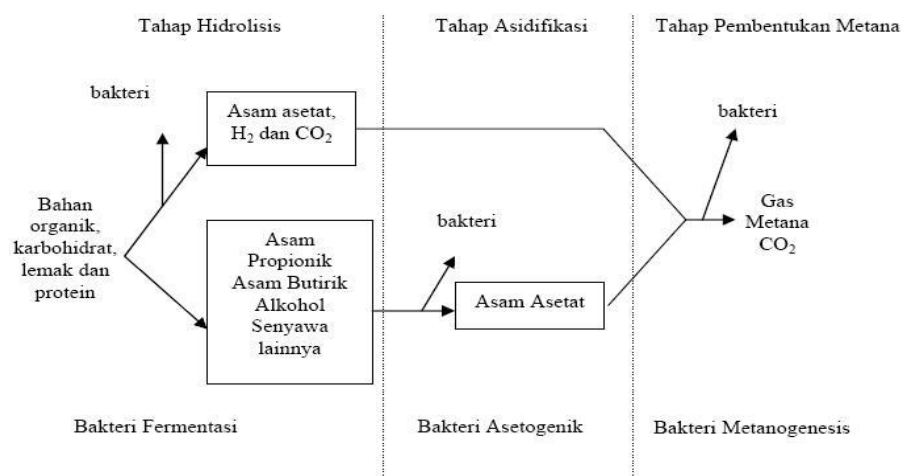
Bakteri ini terdapat pada limbah yang mengandung bahan organik, seperti kotoran binatang, kotoran manusia, dan sampah organik rumah tangga. Bahan organik yang bisa digunakan sebagai bahan baku industri ini adalah sampah organik, dengan cara memanfaatkan limbah yang terdiri dari kotoran dan potongan-potongan kecil sisa-sisa tanaman, seperti jerami dan sebagainya serta air yang cukup banyak. Teknologi biogas pada dasarnya memanfaatkan proses pencernaan yang dilakukan oleh bakteri *methanogen* yang bisa menghasilkan gas metan (CH_4). Gas metan hasil

pencernaan bakteri tersebut dapat mencapai 60% dari keseluruhan gas hasil reaktor biogas sedangkan sisanya didominasi karbondioksida (CO_2) dan terdapat sedikit unsur-unsur yang lain.

Produksi biogas sudah terbentuk sekitar 10 hari. Setelah 10 hari fermentasi sudah terbentuk lebih kurang $0,1-0,2 \text{ m}^3/\text{kg}$ 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 (CH_4), 30-40% karbondioksida (CO_2), 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 metana: *Mathanobacterium*, *Mathanobacillus*, *Methanosacaria*, dan *Methanococcus*.

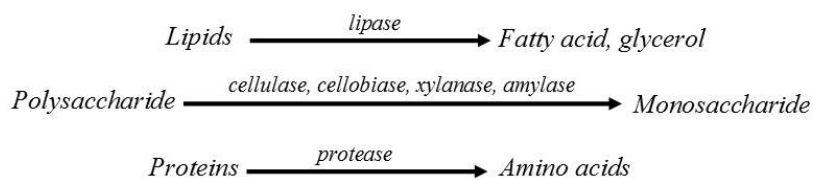
Secara garis besar proses pembentukan biogas dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan dibagi dalam tiga tahap yaitu: *hidrolisis*, *asidifikasi* (pengasaman) dan pembentukan gas metana.



Gambar 2.2 Proses Pembentukan Biogas.

2.3.1 Tahap *Hidrolisis*

Pada tahap *hidrolisis*, bahan organik *dienzimatik* secara eksternal oleh *enzim ekstraselular* (*selulose*, *amilase*, *protease* dan *lipase*) mikroorganisme. Bakteri memutuskan rantai panjang karbohidrat kompleks, protein dan *lipida* menjadi senyawa rantai pendek. Sebagai contoh *polisakarida* diubah menjadi *monosakarida* sedangkan protein diubah menjadi *peptida* dan *asam amino*, seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema proses hidrolisis (Umesh, 2013)

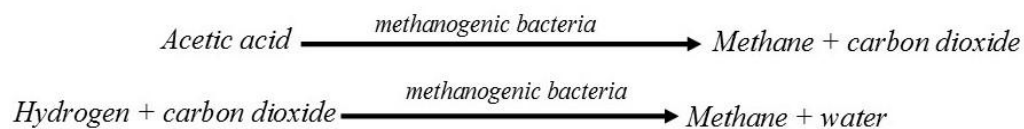
2.3.2 Tahap *Asidifikasi* (Pengasaman)

Pada tahap ini bakteri menghasilkan asam, 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.

2.2.3 Tahap Pembentukan Gas Metana

Pada tahap ini bakteri *metanogenik* mendekomposisikan senyawa dengan berat molekul rendah menjadi senyawa dengan berat molekul tinggi. Sebagai contoh bakteri ini menggunakan hidrogen, 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) seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema proses methanogenesis (Umesh, 2013)

Dalam reaktor biogas terdapat dua jenis bakteri yang sangat berperan, yakni bakteri asam dan bakteri metan. Kedua jenis bakteri ini perlu *eksis* dalam jumlah yang berimbang. Kegagalan reaktor biogas dapat dikarenakan tidak seimbangnya populasi bakteri metan terhadap bakteri asam yang menyebabkan lingkungan menjadi sangat asam ($\text{pH} < 7$) yang selanjutnya menghambat kelangsungan hidup bakteri metaan. Keasaman *substrat* biogas dianjurkan untuk berada pada rentang pH 6,5-8. Bakteri metan ini juga cukup sensitif dengan temperatur. Temperatur 35°C diyakini sebagai temperatur optimum untuk perkembangbiakan bakteri metan (Junus, 1987 dalam Harsono, 2013).

Dalam (Rahayu, 2009, Harsono, 2013) menyatakan bahwa salah satu cara menentukan bahan organik yang sesuai untuk menjadi bahan masukan sistem biogas adalah dengan mengetahui perbandingan karbon (C) dan nitrogen (N) atau disebut rasio C/N. Beberapa percobaan yang telah oleh dilakukan ISAT menunjukkan bahwa aktivitas *metabolisme* dari bakteri *methanogenikakan* optimal pada nilai rasio C/N sekitar 8-20. Menurut (Fry, 1974 dalam Harsono, 2013) dalam (Kharistya Amaru, 2004) proses *anaerob* akan optimal bila diberikan bahan makanan yang mengandung karbon dan nitrogen secara bersamaan. C/N ratio menunjukkan perbandingan jumlah dari kedua elemen tersebut. Pada bahan yang memiliki jumlah karbon 15 kali dari jumlah nitrogen akan memiliki C/N ratio 15 berbanding 1. C/N ratio dengan nilai 30

(C/N=30/1 atau karbon 30 kali dari jumlah nitrogen) akan menciptakan proses pencernaan pada tingkat yang optimum, bila kondisi yang lain juga mendukung. Bila terlalu banyak karbon, nitrogen akan habis terlebih dahulu. Hal ini akan menyebabkan proses berjalan dengan lambat. Bila nitrogen terlalu banyak (C/N ratio rendah; misalnya 30/15), maka karbon habis lebih dahulu dan proses *fermentasi* berhenti. Karakteristik biogas adalah sebagai berikut:

1. Biogas kira-kira memiliki berat 20% lebih ringan dibandingkan udara dan memiliki suhu pembakaran antara 650°C sampai 750°C.
2. Biogas tidak berbau dan berwarna yang apabila dibakar akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG.
3. Nilai kalor gas metana adalah 20 MJ/m³ dengan efisiensi pembakaran 60% pada *konvensional* kompor biogas.
4. Nilai kalor rendah (LHV) CH₄ = 50,1 MJ/kg.
5. *Densitas* CH₄ = 0,717 kg/m³.

Biogas yang dihasilkan apabila dimanfaatkan memiliki kesetaraan energi dengan sumber energi lain adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Nilai Kesetaraan 1 m³ Biogas Dengan Energi Lainnya

Volume	Kesetaraan
1 m ³ biogas	0,46 kg LPG
	0,62 liter minyak tanah
	3,5 kg kayu bakar
	0.62 minyak solar

Sumber : Harsono, 2013

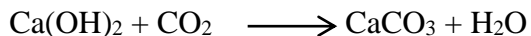
2.5 Proses Permurnian Biogas

Kemurnian biogas menjadi pertimbangan yang sangat penting karena berpengaruh terhadap nilai kalor atau panas yang dihasilkan, sehingga biogas yang dihasilkan perlu dilakukan pemurnian terhadap *impuritas-impuritas* yang lain.

Impuritas yang berpengaruh terhadap nilai kalor/panas adalah CO₂, keberadaan CO₂ dalam biogas sangat tidak diinginkan karena semakin tinggi kadar CO₂ dalam CH₄ maka semakin rendah nilai kalor biogas dan akan mengganggu proses pembakaran (Hamidi, 2011 dalam Harsono, 2013).

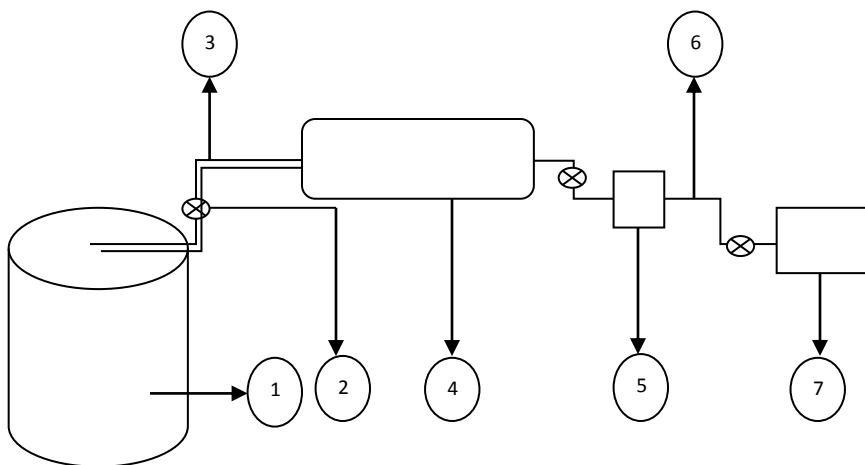
Berbagai cara telah digunakan untuk memurnikan biogas, hal ini bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan kadar CO₂ sehingga mendapatkan nilai kalor yang optimum. Penelitian yang dilakukan oleh Masyuhri, dkk (2013) dengan absorpsi gas CO₂ dengan larutan Ca(OH)₂ secara kontinyu dalam suatu reaktor (*absorber*). Pada penelitian ini, variabel yang diteliti adalah pengaruh laju alir Ca(OH)₂ terhadap CO₂ yang terserap dan CH₄ yang dihasilkan. Absorpsi CO₂ dilakukan dengan mengumpankan larutan Ca(OH)₂ secara kontinyu pada bagian atas pipa pada konsentrasi dan laju alir tertentu, sementara biogas dialirkan pada bagian bawah pipa. Gas dan cairan akan saling kontak dan terjadi reaksi kimia. Tiap interval waktu 30 menit, larutan Ca(OH)₂ setelah diabsorpsi diambil untuk dianalisa jumlah CO₂. Dari hasil analisa dan perhitungan didapatkan jumlah CO₂ yang terserap dan CH₄ yang dihasilkan semakin besar dan kadar CO₂ berkurang 8,883%.

Untuk mengurangi kadar CO₂ tersebut, bisa dilakukan dengan melewati biogas ke dalam larutan Ca(OH)₂ sehingga terjadi proses Absorpsi. Gas CO₂ langsung bereaksi dengan larutan Ca(OH)₂ sedangkan CH₄ tidak. Dengan berkurangnya konsentrasi CO₂ sebagai akibat reaksi dengan Ca(OH)₂, maka perbandingan konsentrasi CH₄ dengan CO₂ menjadi lebih besar untuk konsentrasi CH₄. Absorpsi CO₂ dari campuran biogas ke dalam larutan Ca(OH)₂ dapat digambarkan sebagai berikut:



Dalam kondisi alkali atau basa, pembentukan bikarbonat dapat diabaikan karena bikarbonat bereaksi dengan OH^- membentuk CO_3^{2-} . (Vas Bhat, 2000 dalam Maarif 2008)

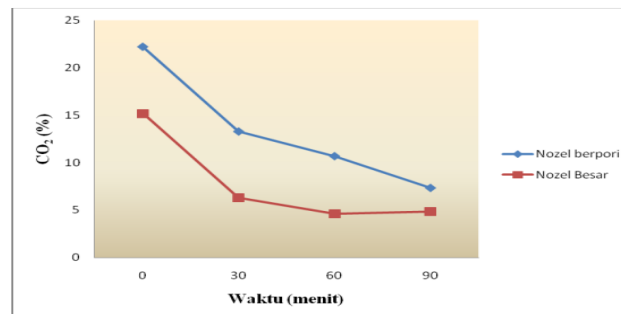
Bahan utama yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah kotoran ternak (sapi), selanjutnya campuran kotoran ternak (sapi) dengan air dengan perbandingan 1 : 1, diaduk sampai larut. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam tangki penampung (digester). Kemudian semua saluran dan lubang ditutup agar tidak ada udara yang masuk ke dalam sistem. Selanjutnya, campuran kotoran dengan air didiamkan selama $\pm 3 - 4$ minggu sehingga terbentuk biogas. Dengan skema alat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Rangkaian alat penelitian; (1). Digester, (2). Katup, (3). Pipa PVC, (4). Plastik penampung biogas, (5). Absorber, (6). Selang, (7). Kompor.

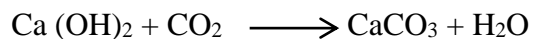
Penelitian dilanjutkan dengan proses absorpsi biogas dengan larutan penyerap Ca(OH)_2 secara kontinu diumpankan pada bagian atas pipa pada konsentrasi dan laju alir tertentu, sementara itu biogas dialirkan pada bagian bawah kolom. Gas dan cairan akan saling kontak dan terjadi reaksi kimia. Tiap interval waktu 30 menit, larutan Ca(OH)_2 setelah diabsorpsi diambil untuk dianalisa. Jumlah CO_2 yang terserap dianalisa.

Hasil gas yang diperoleh pada biogas yang telah terikat dengan Ca(OH)_2 diperoleh sebagai berikut, berdasarkan sampel gas yang diperoleh setelah dianalisis kandungan CO_2 didapatkan hasil untuk nozel berpori kandungan awal CO_2 sebesar 22,195 %, pada menit ke 30 kandungannya 13,291 %, pada menit ke 60 kandungannya 10,696 %, pada menit ke 90 kandungannya 7,358 %. Sedangkan untuk nozel besar didapatkan hasil kandungan awal CO_2 sebesar 15,186 %, pada menit ke 30 kandungannya 6,303 %, pada menit ke 60 kandungannya 4,610 %, pada menit ke 90 kandungannya 4,871 %. Seperti pada Gambar 2.6.

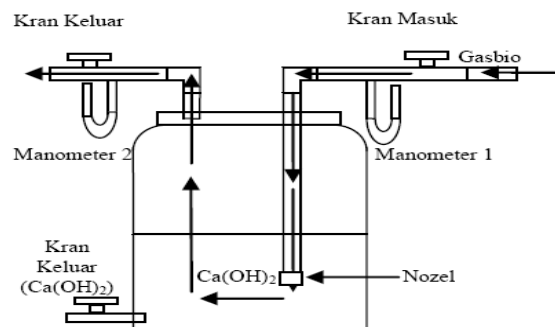


Gambar 2.6 Hasil biogas yang telah termurnikan dengan absorben (Sumber: Masyuhri dkk, 2013)

Bila pelarut yang digunakan adalah Ca(OH)_2 maka absorpsi yang terjadi akan secara kimia, dikarenakan terjadinya reaksi kimia secara langsung antara CO_2 dengan larutan Ca(OH)_2 . Proses absorpsi atau pemisahan gas CO_2 oleh Ca(OH)_2 dapat dilihat pada reaksi berikut ini :



Absorpsi di atas merupakan reaksi yang terjadi secara kimia, dikarenakan terjadinya reaksi kimia secara langsung antara CO_2 dengan larutan Ca(OH)_2 . Reaksi dianggap merupakan reaksi satu arah dan derorde 2 (Masyuhri dkk, 2013).



Gambar 2.7 Alat Absorpsi (Sumber: Masyuhri dkk, 2013)

Cara kerja alat absorpsi pada Gambar 2.7 sama dengan alat ukur volume, mula-mula tabung bagian dalam diangkat dengan posisi kran gas masuk terbuka, kemudian gas akan masuk ke dalam tabung sehingga terjadi kontak antara larutan Ca(OH)_2 dengan gas. Proses ini disebut absorpsi.

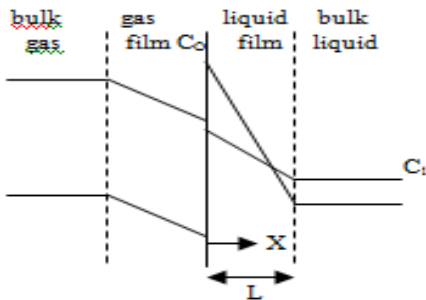
Absorpsi merupakan salah satu proses separasi dalam industri kimia dimana suatu campuran gas dikontakkan dengan suatu cairan penyerap tertentu sehingga satu atau lebih komponen gas tersebut larut dalam cairannya. Pada awal absorpsi sendiri ada 2 proses, yaitu :

2.5.1 Absorpsi Fisik

Absorpsi fisik merupakan absorpsi dimana gas terlarut dalam larutan penyerap tidak disertai dengan reaksi kimia. Contoh reaksi ini adalah absorpsi gas H_2S dengan air, methanol, propilen karbonase. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik (Anggiriawan, 2010).

Dari absorpsi fisik ini ada beberapa teori untuk menyatakan model mekanismenya yaitu:

a. Teori model film

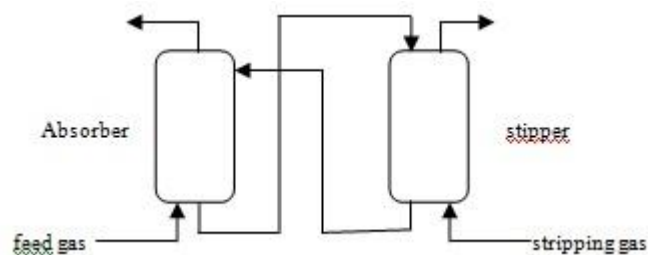


Gambar 2.8 Model teori film pada Absorpsi (Turns, 1996)

- b. Teori penetrasi
c. Teori permukaan yang diperbaharui

2.5.2 Absorpsi Kimia

Absorpsi kimia merupakan absorpsi dimana gas terlarut dalam larutan penyerap disertai dengan adanya reaksi kimia. Contoh absorpsi ini adalah absorpsi gas CO_2 dengan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH , K_2CO_3 dan sebagainya. Aplikasi dari absorpsi kimia dapat dijumpai pada proses penyerapan gas CO_2 pada pabrik Amonia.



Gambar 2.9 Konfigurasi absorber-stipper (Turns, 1996).

Penggunaan absorpsi kimia alat absorpsi tertera pada gambar 2.9 dan pada fase cair sering digunakan untuk mengeluarkan zat pelarut secara lebih sempurna dalam campuran gasnya. Suatu keuntungan dalam absorpsi kimia adalah meningkatkan harga koefisien perpindahan massa ($K_g a$). Sebagian dari perubahan ini disebabkan makin besarnya luas efektif antar muka karena absorpsi kimia dapat juga berlangsung di daerah hampir stagnan di samping perangkapan dinamik. Untuk

memperluas permukaan kontak digunakan kolom berisi packing (packed coloum) dengan criteria pemilihan packing sebagai berikut :

- a. Memiliki luas permukaan terbasahi tiap unit volume yang besar
- b. Memiliki ruang kosong yang cukup besar sehingga kehilangan tekanan kecil
- c. Karakteristik pembasahan baik
- d. Densitas kecil agar berat kolom keseluruhan kecil
- e. Tahan korosi dan ekonomis

Beberapa jenis packing yang sering digunakan antara lain raching ring, intolox sadle, poll ring.

Di dalam merancang suatu menara absorpsi harga koefisien perpindahan massa merupakan besaran yang sangat penting. Penurunan korelasi harga Kga didasarkan pada absorpsi fisik. Dengan tersedianya harga Kga dapat ditentukan besaran-besaran lain, seperti:

1. Kecepatan perpindahan massa

Kecepatan perpindahan massa dapat dihitung setelah konsentrasi gas yang berkeseimbangan dengan fase cairnya diketahui. Dalam hal ini gas harus mendifusi ke aliran cairan tiap satuan waktu.

2. Waktu operasi

Jika harga Kga diketahui maka kecepatan perpindahan massanya juga dapat diketahui sehingga waktu operasi absorpsi dapat diketahui juga.

Pada absorpsi CO₂ dengan larutan Ca(OH)₂ terjadi reaksi :



Penelitian lainya yang dilakukan oleh Hamidi dkk (2011) dengan cara *purifikasi* yaitu: system penyerapan menggunakan zeolite alam yang telah diaktivasi menggunakan KOH sebagai *adsorber*. Pada metode penelitian ini variasi yang dilakukan adalah penambahan konsentrasi senyawa KOH ke dalam zeolite dengan prosentase 0%, 5%, 10%, dan 15 %. Campuran zeolite dan KOH kemudian dilakukan proses heat treatment dengan temperatur sebesar 300 °C selama 2 jam. Waktu penyerapan divariasikan dalam 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, dan 120 menit. Penelitian

ini difokuskan pada pengaruh kadar senyawa KOH pada *zeolite* terhadap kandungan gas yang dihasilkan oleh reaktor biogas. Hasil dari penelitian ini menyimpulkan bahwa lama waktu pengujian dan kadar senyawa KOH pada *zeolite* berpengaruh terhadap nilai kalor biogas, dimana semakin tinggi kadar senyawa KOH yang digunakan, kemampuan adsorpsi *zeolite* semakin meningkat sehingga mengakibatkan nilai kalor biogas semakin tinggi. Selain itu kemampuan adsorpsi *zeolite* akan menurun jika digunakan terus menerus yang diakibatkan oleh terbentuknya lapisan film pada permukaan *zeolite*.

KOH atau disebut sebagai Kalium Hidroksida memiliki ciri-ciri berbentuk kristal, butir, serpih, padat, batang yang berwarna putih sampai kuning dan tidak berbau. Dengan pH 13,5 (larutan 0,1 M); Berat molekul 56,11; titik didih 2408 °F (1320°C); Titik lebur 680°F (360°C); Kerapatan relatif 2,04; Tekanan uap 1 mmHg pada 714°C; mudah larut dalam air dingin, air panas, tidak larut dalam dietil eter, seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Kalium Hidroksida (KOH)

Penggunaan Kalium hidroksida digunakan sebagai fotografi dan litografi, membuat sabun cair, mengabsorpsi karbon dioksida, menghilangkan cat pernis, pewarna kain, dan tinta cetak. Dengan berbagai kegunaan yang salah satunya ialah dapat menyerap karbon dioksida (CO_2) dan mudah larut dengan air, maka KOH dapat digunakan sebagai bahan dasar proses *purifikasi* pada biogas.

2.6 Karakteristik Termal

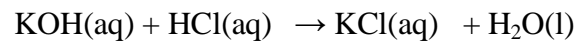
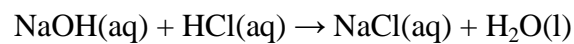
Dalam penelitian terhadap biogas, perlu diperhatikan bahwa biogas memiliki karakteristik termal yang meliputi beberapa faktor penting untuk menjadikan suatu acuan kualitas dari biogas tersebut. Sehingga jika memiliki karakteristik termal yang baik maka kualitas biogas bisa dikategorikan kualitas yang baik. Karakteristik termal tersebut meliputi: komposisi atau kandungan biogas, nilai kalor, distribusi temperatur, dan rambat api dari biogas tersebut.

2.6.1 Komposisi (kandungan biogas)

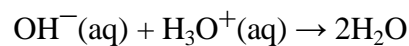
Biogas adalah campuran beberapa gas, tergolong bahan bakar gas yang merupakan hasil fermentasi dari bahan organik dalam kondisi anaerob, dan gas yang dominan adalah gas metana (CH_4 (50-70 %)) dan gas karbondioksida (CO_2 (30-40 %)), hidrogen sulfida (H_2S (0- 3 %)), air (H_2O (0,3 %)), oksigen (O_2 (0,1%-0,5%)), dan gas-gas yang lain dalam jumlah yang kecil. Biogas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu kisaran 4800 – 6700 Kkal/m³, untuk gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 Kkal/m³ (Efriza, 2009 dalam Padang dkk, 2011).

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Maryana, 2008) mengurangi kadar karbon dioksida CO_2 menggunakan larutan NaOH dan KOH masing-masing dengan konsentrasi 0,5M, 1M, 1,5M, dan 2M selama 5 menit, 10 menit, 15 menit. Kemudian hasilnya dititrasi menggunakan HCl untuk mengetahui pengurangan konsentrasi NaOH dan KOH. Hasil yang didapatkan adalah konsentrasi NaOH 1M dan KOH 1M mengalami penurunan konsentrasi lebih stabil dibandingkan konsentrasi lain. Konsentrasi NaOH 5 menit 0,8850 M; 10 menit 0,6645 M; 15 menit 0,5550 M sedangkan konsentrasi KOH 5 menit 0,8207 M; 10 menit 0,6734 M; 15 menit 0,5155 M. Analisis menggunakan Gas Kromatografi dengan penyerap KOH 1M selama 10 menit menunjukkan kenaikan kadar metana dari 62,5% menjadi 77,4%.

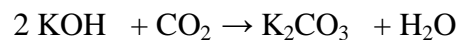
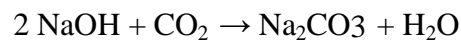
Hasil penelitian penggunaan basa sebagai adsorber gas CO_2 secara kuantitatif ditentukan dengan reaksi titrasi asam basa. Konsentrasi awal basa sebelum digunakan dan konsentrasi setelah digunakan dianggap sebagai konsentrasi karbondioksida yang terserap. Basa yang digunakan adalah Natrium Hidroksida dan Kalium Hidroksida. Natrium hidroksida dan Kalium hidroksida bersifat ionik sempurna, dan bereaksi sempurna dengan asam klorida membentuk garam natrium klorida dan kalium klorida.



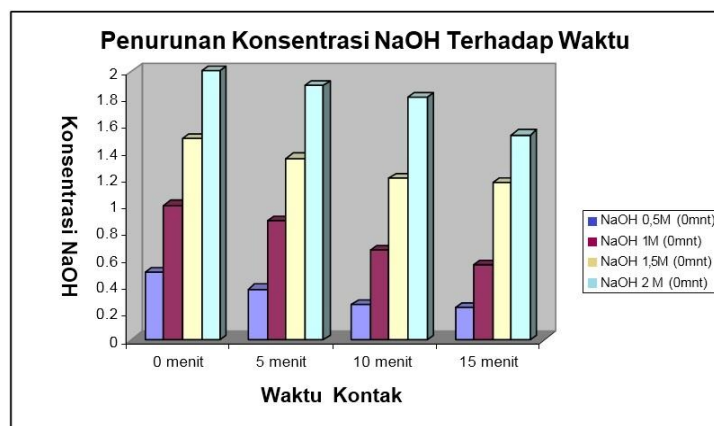
Dengan persamaan reaksi umum adalah sebagai berikut:



Reaksi lain dengan oksida asam seperti CO_2 membentuk reaksi yang lengkap sebagai berikut:



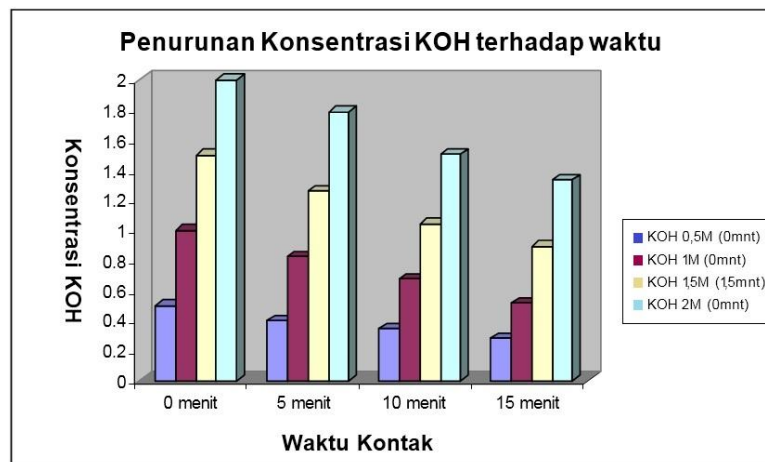
Hasil dari penelitian yang dilakukan oleh (Maryana, 2008) dengan menggunakan larutan NaOH dan KOH dari variasi molaritas dan waktu terhadap purifikasi biogas didapat grafik seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Penurunan konsentrasi NaOH terhadap waktu

Dari Gambar 2.11 dapat dilihat bahwa NaOH 2M mengalami penurunan konsentrasi menjadi 1,8928M pada waktu kontak 5 menit dan terus menurun menjadi 1,8053 M setelah kontak 10 menit, kemudian setelah kontak 15 menit menjadi 1,5263M. Hal yang sama terjadi pada NaOH dengan konsentrasi awal 1,5 M; 1M dan 0,5M. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu kontak antara biogas dengan larutan NaOH maka konsentrasi CO₂ yang terserap juga akan semakin banyak. Penurunan konsentrasi NaOH 1M ternyata lebih linear terhadap waktu dibandingkan konsentrasi lainnya yaitu dari 1M kemudian menjadi 0,883 setelah 5 menit; 0,6645 M setelah 10 menit dan 0,555 M setelah 15 menit.

Penurunan konsentrasi larutan KOH setelah kontak dengan biogas disajikan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Penurunan konsentrasi KOH terhadap waktu

Dari Gambar 2.12 dapat dilihat penurunan konsentrasi KOH setelah proses kontak dengan biogas. Untuk konsentrasi KOH 2M terjadi penurunan menjadi 1,7886M setelah 5 menit kontak kemudian 1,5045M setelah 10 menit kontak dan 1,3362M setelah 15 menit kontak. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu kontak antara biogas dengan larutan KOH maka konsentrasi CO₂ yang terserap juga akan semakin banyak Adapun penurunan paling linear

terjadi untuk KOH 1M yaitu menjadi 0,8207M setelah 5 menit; 0,6734M setelah 10 menit dan 0,5155M setelah 15 menit.

Dari hasil penelitian (Maryana, 2008) disimpulkan bahwa NaOH 1M dan KOH 1M memberikan serapan CO₂ maksimum berdasarkan reaksi asam basa dengan HCl. KOH 1M memberikan linearitas penyerapan yang lebih bagus dibanding NaOH 1M. Pengujian kemurnian kandungan metana dalam biogas dilakukan dengan alat gas kromatografi, absorber yang digunakan adalah KOH 1M dengan waktu kontak 10 menit. Hasil yang didapatkan kandungan metana meningkat dari 62,5% menjadi 77,4%.

2.6.2 Nilai Kalor Pada Purifikasi Biogas

Nilai kalor adalah jumlah panas yang dipindahkan ketika produk dari pembakaran bahan bakar yang diinginkan hingga mencapai temperatur awal dari bahan bakar atau udara pembakarnya. Nilai kalor dari kotoran sapi *output* lebih tinggi dibandingkan nilai kalor kotoran *input*, hal ini dikarenakan pengaruh kadar air, kadar air kotoran *input* lebih tinggi dibandingkan dengan kadar air kotoran sapi *output* (Rahmadian, 2012).

Reaksi pembakaran bahan bakar hidrokarbon selalu menghasilkan CO₂ dan H₂O. Air (H₂O) dalam produk dapat muncul dalam berbagai fase dan akan berpengaruh terhadap nilai pemanasannya. Beberapa istilah yang sering digunakan berkaitan dengan nilai pemanasan adalah:

1. Nilai pemanasan tinggi (HHV) adalah panas pembakaran yang dihasilkan oleh reaksi pembakaran jika semua air di dalam produk terkondensasi menjadi cair.
2. Nilai pemanasan rendah (LHV) adalah panas pembakaran pada kondisi dimana air dalam produk berbentuk uap (gas)
3. Panas laten penguapan, h_{fg} adalah panas yang diperlukan pada proses tekanan tetap untuk menguapkan sampai habis satu satuan massa cairan

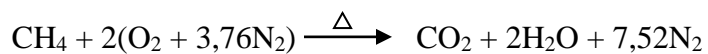
pada temperatur tertentu. Nilainya sama dengan panas yang dilepas ketika uap terkondensasi menjadi cair. (Day dan Underwood, 1986).

$$h_{fg}(T,P) = h_{uap}(T,P) - h_{cair}(T,P)$$

Tabel 2.2 Beberapa nilai entalpi kimia

Spesies	Formula	$(\Delta H_f^0)_{298}$ [kJ/mol]
Methane	CH ₄	-74,87
Ethane	C ₂ H ₆	-84,68
Acetylene	C ₂ H ₂	226,73
Propane	C ₃ H ₈	-103,85
n-butane	C ₄ H ₁₀	-126,15
Iso-butane	C ₄ H ₁₀	-134,52
n-pentane	C ₅ H ₁₂	-146,44
Iso-pentane	C ₅ H ₁₂	-154,47
Benzene	C ₆ H ₆	82,93
n-heptane	C ₇ H ₁₆	-187,78
n-octane	C ₈ H ₁₈	-208,45
Methyl alcohol	CH ₃ OH	-201,17
Ethyl alcohol	C ₂ H ₅ OH	-234,81
Uap air	H ₂ O	-241,83
Karbon dioksida	CO ₂	-393,52
Oksigen	O ₂	0
Nitrogen	N ₂	0

Perhitungan LHV dan HHV untuk gas metana (CH₄) yang dibakar dengan udara di dalam suatu reaksi stoikiometrik pada 25°C dan 1 atm. Persamaan kimianya adalah:



Suatu kesetimbangan energi pada volume atur atas basis per mol bahan bakar memberikan:

$$\Delta H_c = H_{\text{reaktan}} - H_{\text{prod}}$$

Menjadi,

$$\text{LHV} = \Delta H_c = H_{\text{reaktan}} - H_{\text{prod}}$$

Dengan menggunakan persamaan kimia, maka

$$\text{LHV} = (\Delta H^{\circ}_{\text{CH}_4}) + 2(\Delta H^{\circ}_{\text{O}_2}) + 7,52(\Delta H^{\circ}_{\text{N}_2}) - (\Delta H^{\circ}_{\text{CO}_2}) - 2(\Delta H^{\circ}_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{uap}} - 7,52(\Delta H^{\circ}_{\text{N}_2})$$

Dimana H₂O berada di dalam bentuk uap. Dengan menggunakan data Tabel 2.2

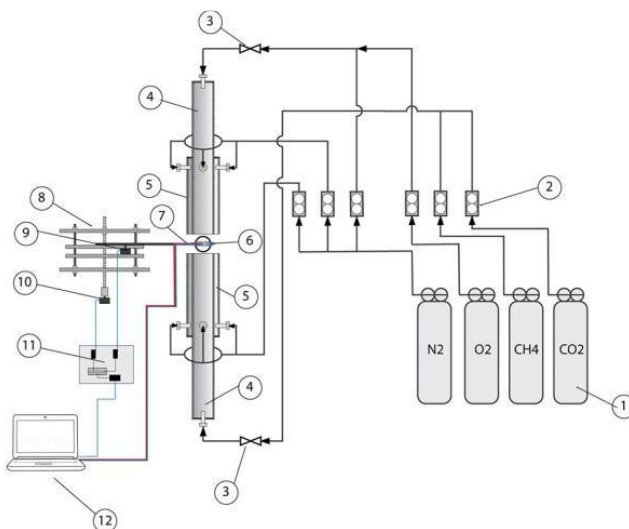
$$\begin{aligned} \text{LHV} &= -74,87 + 0 + 0 - (-393,52) - 2(-241,83) - 0 \\ &= 802,31 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan nilai pemanasan tinggi HHV, perlu diketahui entalpi molal air dalam bentuk cair pada 25°C. Untuk mengetahuinya diperlukan entalpi pembentukan uap air pada 25°C, yakni $H_{fg} = 43,98 \text{ kJ/mol}$. (Day dan Underwood, 1986).

$$\begin{aligned} H_{fg} (25^\circ\text{C}, 1 \text{ atm}) &= h_{\text{uap}} - h_{\text{cair}} \\ 43,98 \text{ kJ/mol} &= -241,83 \text{ kJ/mol} - h_{\text{cair}} (T,P) \\ H_{\text{cair}} (25^\circ\text{C}, 1 \text{ atm}) &= -241,83 - 43,98 = -285,81 \text{ kJ/mol} \\ \text{HHV} &= -74,87 + 0 + 0 - (-393,52) - 2(-285,81) - 0 \\ &= 890,27 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

2.6.3 Distribusi Temperatur pada Purifikasi Biogas

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Toko dkk, 2014) yang membahas tentang pentingnya pengaruh kadar CO_2 terhadap distribusi temperatur dari pembakaran difusi $\text{CH}_4\text{-CO}_2$. Instalasi yang digunakan pada percobaan ini menggunakan konfigurasi *counterflow burner* yang diadopsi dari percobaan yang dilakukan oleh Mikami et al. dapat dilihat pada skema Gambar 2.13.

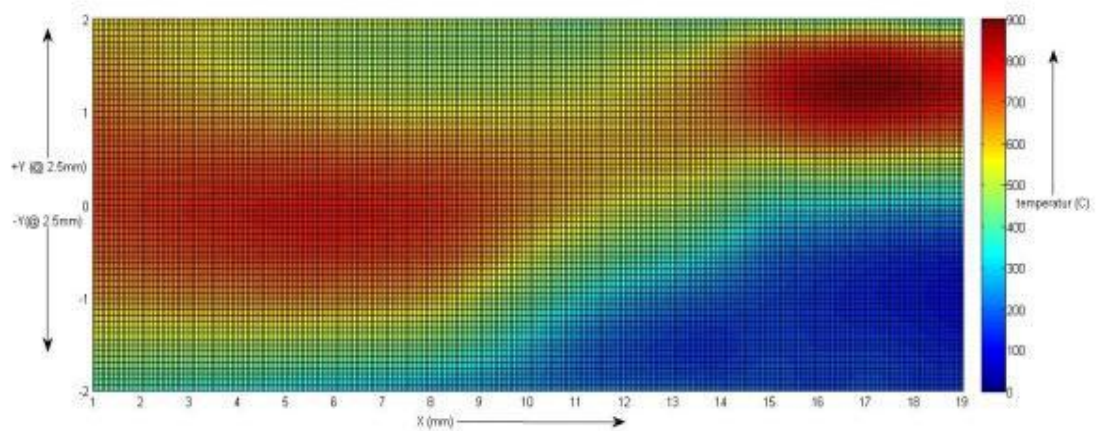


Gambar 2.13 Skema Instalasi Alat Penelitian (Toko dkk, 2014).

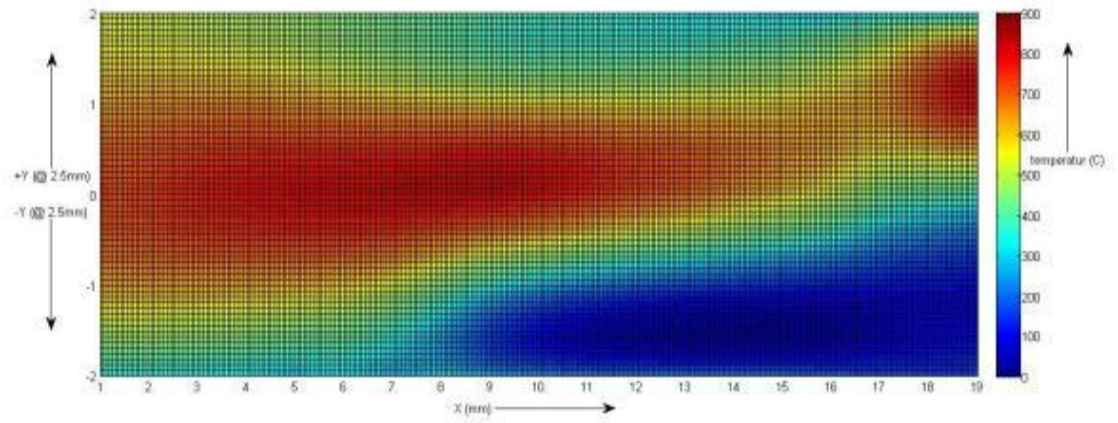
Keterangan Gambar:

1. Tabung gas
2. *Flowmeter*
3. Katup Pengaman
4. Pipa *counterflow flame burner* bagian luar
5. Pipa *counterflow flame burner* bagian dalam
6. Nyala Api Premix
7. *Thermocouple*
8. Instalasi penggerak *thermocouple*
9. *Motor Stepper* penggerak horisontal
10. *Motor Stepper* penggerak vertikal
11. Mikro kontroler *motor stepper*
12. Komputer pengendali *motor stepper* dan penerima data sensor suhu

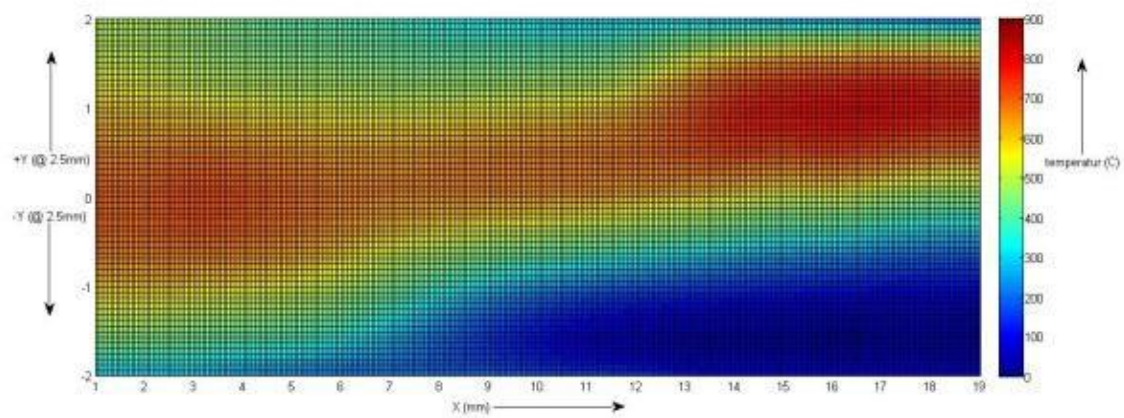
Pada penelitian ini divariasikan pada pengaruh prosentase kadar CO₂ yang meliputi 10%, 30%, dan 50% terhadap distribusi temperatur. Dengan menggunakan aplikasi MATLAB dapat diketahui grafik dari pengaruh CO₂ terhadap distribusi temperatur. Dapat dilihat pada grafik hasil penelitian dari (Toko dkk, 2014) seperti pada Gambar 2.14 (a) – 2.14 (c).



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.14 (a) – 2.14 (c). Distribusi temperatur api difusi *counterflow flame*.

Pada grafik distribusi temperatur pada Gambar 2.14, api dalam keadaan beberapa variasi prosentase CO_2 , yaitu mulai dari 10% (a), 30% (b), dan 50% (c).

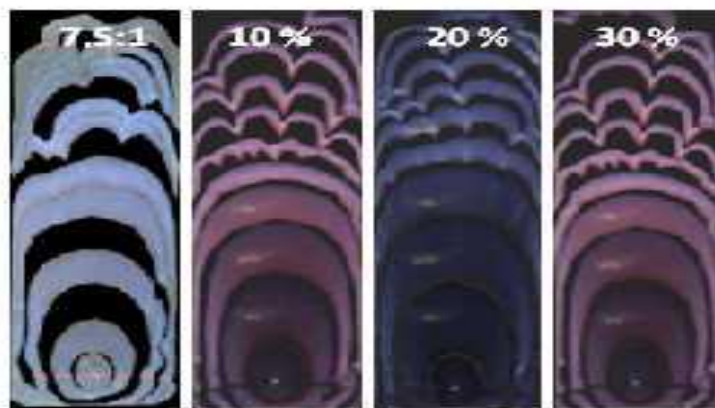
Dari penelitian pengaruh prosentase CO_2 terhadap karakteristik api pembakaran difusi $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ pada *counterflow burner* (uwar dkk, 2014) menyimpulkan bahwa penambahan CO_2 mengakibatkan distribusi temperatur yang terjadi semakin menyempit atau tipis dan juga temperatur api yang dihasilkan semakin rendah atau menurun.

2.6.4 Rambat Api pada Purifikasi Biogas

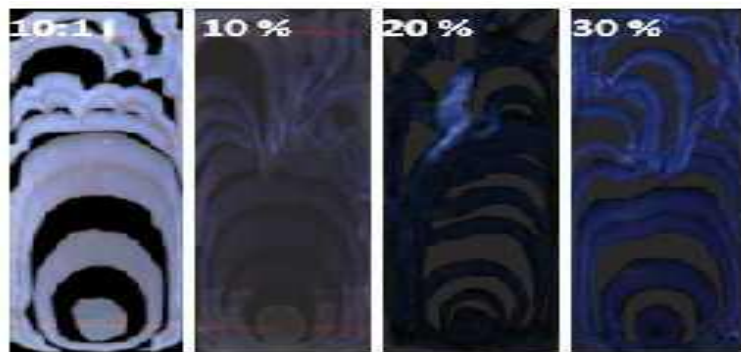
Pola rambat api juga sangat perlu diperhatikan karena hal ini berpengaruh pada tekstur api dimana jika pola rambat api kurang baik maka akan berpengaruh terhadap nilai kalor. Kadar CO_2 juga sangat mempengaruhi pola rambat api, hal ini dikarenakan CO_2 sebagai inhibitor atau penghambat pada saat proses pembakaran berlangsung.

Penelitian tentang laju rambat api oleh (Uwar dkk, 2012) yang meneliti laju rambat api dengan memvariasikan penambahan CO_2 ke dalam CH_4 . Metode penelitian yang digunakan adalah mengamati proses pembakaran yang terjadi pada *helle-shaw cell* dengan penyalaan dari bawah. Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah kecepatan rambat api *premixed* pada ruang bakar. Perlakuan yang diberikan adalah variasi campuran bahan bakar/udara tanpa dan dengan CO_2 pada berbagai bahan bakar-udara (AFR) yang diberikan dari 7,5:1 sampai 10:1 dengan interval kenaikan bahan bakar sebesar 0.5 %. Penambahan CO_2 pada berbagai perbandingan bahan bakar udara sebesar 10%, 20% dan 30%.

Hasil penelitian untuk pola rambatan api pada berbagai campuran AFR tanpa dan dengan penambahan CO_2 ditunjukkan pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 Pola rambat api pada berbagai campuran CO_2 10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bb/mol udara) 7,5 : 1 (Sumber: Uwar dkk, 2012)



Gambar 2.16 Pola rambat api pada berbagai campuran CO₂ 10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bb/mol udara) 10 : 1 (Sumber: Uwar dkk, 2012).

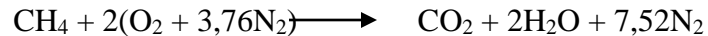
Dari percobaan ini dapat dilihat Gambar 2.16 dari bentuk *frame* menunjukkan jarak rambatan api pada AFR 7,5:1 bahwa jarak rambatan apinya merapat kemudian pada AFR 8,5:1 sampai 10:1 jarak rambatan apinya merenggang. Hal ini disebabkan karena pada AFR 7,5:1 pada *frame* pertama dan kedua laju rambat api pembakaran rendah sehingga terjadi kerapatan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan CO₂ dapat berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran CH₄ (Uwar dkk, 2012).

2.7 AFR (*Air Fuel Ratio*)

Untuk dapat berlangsung pembakaran bahan bakar, maka dibutuhkan oksigen yang diambil dari udara. Udara mengandung 21 sampai 23% oksigen dan 78% nitrogen, lainnya sebanyak 1% argon dan beberapa unsur yang dapat diabaikan. Untuk keperluan pembakaran, oksigen tidak dipisahkan dari unsur lainnya tapi disertakan bersama-sama. Gas yang ikut bereaksi pada pembakaran hanyalah oksigen, sedangkan unsur lainnya tidak beraksi dan tidak memberikan pengaruh apapun. Nitrogen akan keluar bersama gas sisa pembakaran dalam jumlah dan bentuk yang sama seperti semula. Pembakaran yang terjadi adalah tidak lain dari suatu reaksi kimia yang berlangsung dalam waktu yang amat pendek dan dari reaksi tersebut dihasilkan sejumlah panas. Karena itu untuk sejumlah tertentu bahan bakar

dibutuhkan pula sejumlah oksigen. Perbandingan antara jumlah udara dan bahan bakar tersebut dapat dihitung dengan persamaan reaksi pembakaran (Tompul, 2012).

Persamaan reaksi pembakaran stokiometri pada metana berbasis volume:

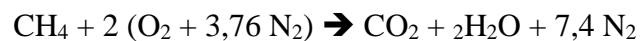


Maka AFR metana berbasis volume

$$\text{AFR}_V = \frac{2(1+3,76)}{1} = 9,52$$

Untuk menghitung AFR biogas dengan cara sebagai berikut:

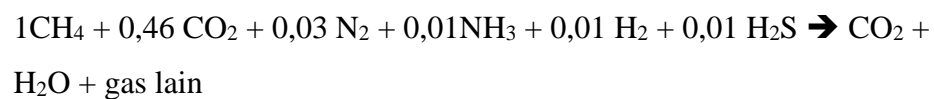
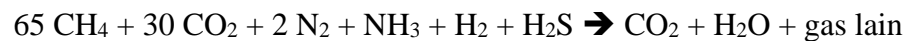
$$S = 32,06 ; O = 16 ; N = 14 ; C = 12 ; H = 1$$



Udara : 21% O₂ dan 79% N₂

$$\begin{aligned} \text{Stokiometri AFR Metana murni berbasis masa : } \frac{\text{Udara}}{\text{Bahan Bakar}} &= \frac{2(32+105,28)}{12+4} \\ &= \frac{274,56}{16} = 17,16 \end{aligned}$$

Stokiometri AFR Biogas berbasis masa:



1,52 kg (CH₄ + CO₂ + N₂ + NH₃ + H₂ + H₂S)

$$\text{AFR Biogas} = \frac{274,56}{16(1,52)} = 11,28$$

2.8 Hipotesa

Purifikasi biogas menggunakan larutan KOH yang dapat mengikat CO₂ akan menurunkan kadar konsentrasi CO₂ pada biogas. Dengan menurunnya kadar CO₂ akan meningkatkan kualitas biogas, karena proses pembakaran CH₄ tidak terganggu oleh CO₂. Sehingga melalui uji karakteristik termal yang meliputi nilai kalor, distribusi temperatur, dan rambat api menghasilkan nilai yang cenderung meningkat dibandingkan dengan biogas tanpa purifikasi.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menguji pengaruh konsentrasi larutan KOH 4 mol terhadap kualitas pemurnian biogas. Dalam penelitian ini, proses pemurnian biogas dilakukan dengan sistem penyerapan absorpsi kandungan gas karbon dioksida (CO₂) menggunakan larutan KOH. Biogas disirkulasikan ke alat purifikasi sistem kontinyu untuk menyerap gas CO₂ menggunakan larutan KOH.

Biogas hasil purifikasi (*purified biogas*) digunakan sebagai bahan bakar pada alat uji karakteristik termal. Pengujian tahap ini adalah untuk mengetahui pengaruh *purified biogas* terhadap nilai kalor, distribusi temperatur, dan rambat api. Metode penelitian dilakukan dengan mengukur temperatur api dari beberapa sisi dengan menggunakan *bunsen burner* dan termokopel untuk mengetahui distribusi temperatur. Merekam proses nyala api secara visual menggunakan *camera high speed* untuk mengetahui cepat rambat api.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat Penelitian

a. Pembuatan Reaktor dan Alat Purifikasi Biogas

Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

b. Penelitian Pemurnian Biogas dan Uji Karakteristik Termal Biogas

Penelitian pemurnian biogas dilakukan setelah reaktor dan alat purifikasi biogas selesai dikerjakan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih 9 bulan pada bulan Maret 2015 – November 2015.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Penelitian Karakteristik Termal, alat yang digunakan yaitu:

- Alat purifikasi (Toples Kaca)
- Kompor uji distribusi temperatur (*busen burner*)
- Ruang Bakar Model *Helle-Shaw Cell* 1cm x 20cm x 60cm
- *Cylinder Pneumatic* diameter 5cm dan panjang 30cm
- Stopwatch
- Pemantik api dengan voltase sekitar 20.000 volt
- Kamera Fujifilm *high speed* 60 *frame/s* 1.280x720 , 120 *frame/s* 640x480, 240 *frame/s* 224x168, 480 *frame/s* 224x168, dan 1000 *frame/s* 224x64.
- Termokopel
- Komputer untuk menyimpan data penelitian.
- Kabel pemantik
- Selang ¼" (diameter 0,635 cm)

3.3.2 Bahan

Bahan untuk membuat biogas adalah:

- Perbandingan kotoran sapi, kulit kopi (sampah organik), Air adalah 0,5:0,5:1

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Bahan baku biogas menggunakan starter kotoran sapi, sampah organik dari tumbuhan kopi (kulit kopi), dan air.
2. Pengujian pemurnian biogas ini menggunakan larutan KOH 4 M.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang meliputi data-data yang diperoleh pada pengujian pemurnian biogas menggunakan KOH dan pengujian karakteristik termal dengan menganalisa data-datanya yang meliputi:

1. Komposisi biogas.
2. Nilai kalor.
3. Kalor pembakaran.
4. Distribusi temperatur (grafik suhu).
5. Kecepatan rambat api (gambar rambat api).

3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang dipergunakan dalam pengujian ini meliputi:

- a. Data primer, merupakan data yang diperoleh langsung dari pengukuran pengujian komposisi, nilai kalor, distribusi temperatur, dan rambat api pada masing-masing pengujian.
- b. Data sekunder, merupakan data yang diperoleh dari literatur perhitungan maupun hasil dari pengujian.

3.6 Pengamatan yang Dilakukan

Pada penelitian ini yang akan diamati adalah:

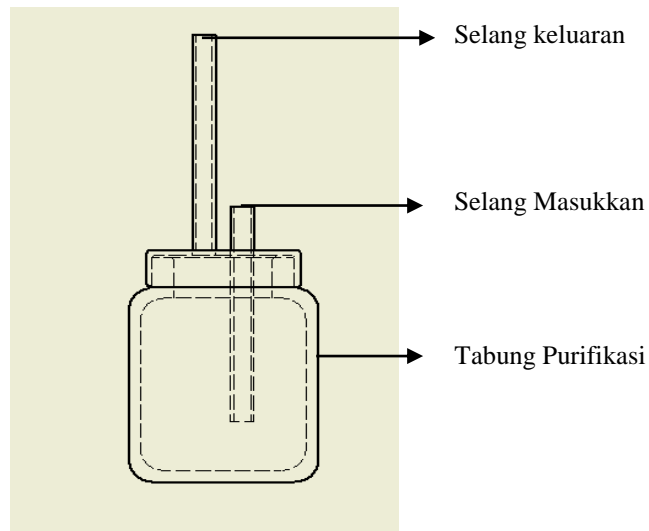
1. Komposisi biogas.
2. Nilai kalor.
3. Distribusi temperatur.
4. Kecepatan rambat api.

3.7 Tahap Penelitian dan Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi KOH 4 mol terhadap pemurnian biogas. Tahap prosedur yang dilakukan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

3.7.1 Tahap Pembuatan Alat Purifikasi Biogas

Tahap pembuatan alat purifikasi biogas dilakukan dengan memodifikasi toples yang terbuat dari kaca kemudian dipasang 2 selang $\frac{1}{4}$ " pada penutupnya, sebagai saluran masuk dan keluar biogas yang akan dipurifikasi, seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Alat Purifikasi

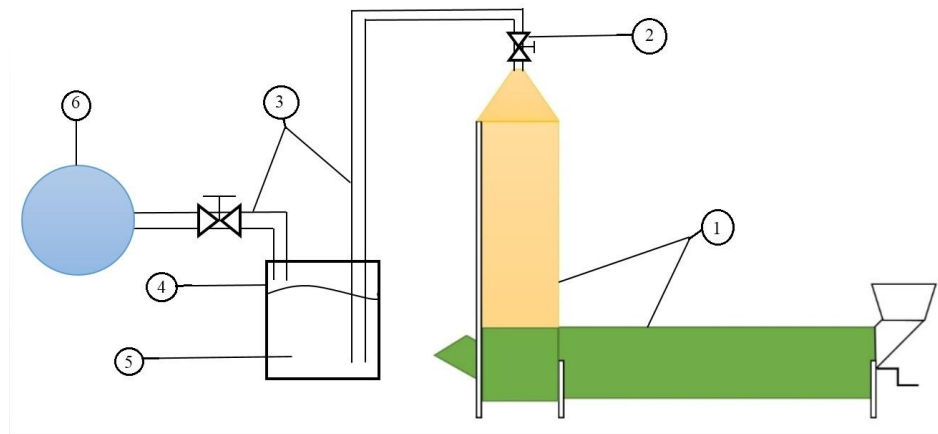
3.7.2 Tahap Penyiapan KOH

Tahap penyiapan KOH dilakukan dengan membeli di toko kimia dan membuat larutan KOH dengan molaritas larutan sebanyak 4 mol berbasis volume.

3.7.3 Tahap Pemurnian Biogas

Tahap pemurnian biogas ini yang perlu diperhatikan adalah reaktor biogas, saluran pipa, dan alat purifikasi terjadi kebocoran atau tidak, agar hasil penelitian tidak mengalami masalah. Berikut langkah pembuatannya:

1. Mengecek kebocoran pada reaktor dan alat purifikasi,
2. Mendesain sirkulasi alat purifikasi biogas (Gambar 3.3).
3. Memasukkan KOH dengan molaritas 4 mol ke dalam alat purifikasi
4. Memasang alat purifikasi.



Gambar 3.2 Skema pemurnian biogas

Keterangan gambar:

1. Reaktor biogas
2. *Stopkran*
3. Selang
4. Alat purifikasi
5. Larutan KOH
6. Plastik penampung biogas hasil purifikasi

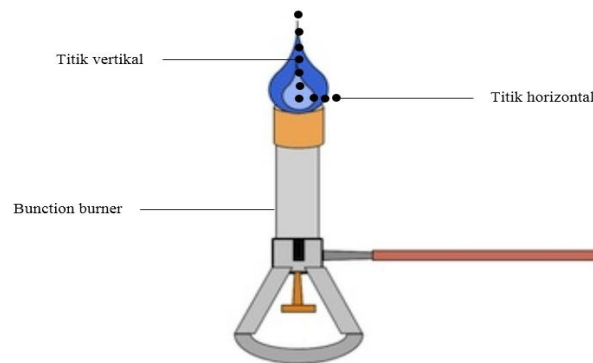
3.7.4 Pengujian Komposisi Biogas

Pengumpulan biogas dari reaktor biogas ditampung ke kantong plastik. Biogas yang sudah dan belum dipurifikasi kantong biogasnya dipisah. Ada 6 kantong biogas yang akan di uji komposisinya 3 kantong sudah

dipurifikasi dan 3 kantong belum dipurifikasi. Tahap pengujian komposisi biogas ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember menggunakan analisa *orsat apparatus*.

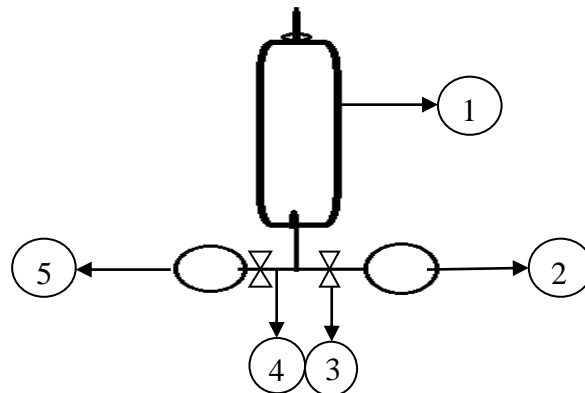
3.7.5 Pengujian Karakteristik Termal Biogas

Tahap pengamatan distribusi temperatur pada biogas menggunakan *bunsen burner* dan dilakukan pengukuran temperatur pada beberapa titik api pada sumbu horizontal dan vertikal menggunakan termokopel. Dengan dimulai dari luar nyala api menuju titik tengah nyala api, seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.3 Pengukuran distribusi temperatur pada kompor uji

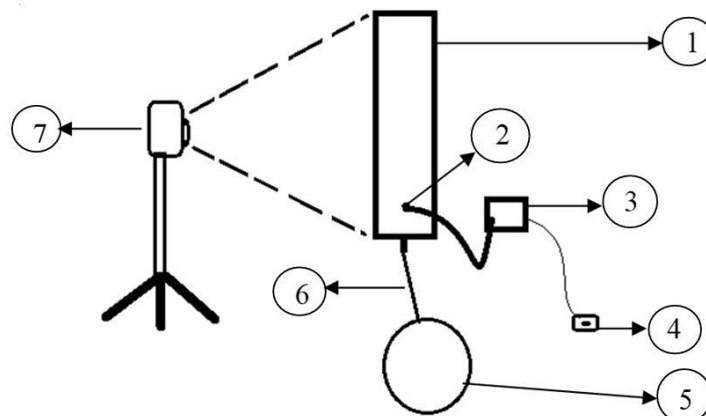
Tahap pengamatan karakteristik nyala api guna mengetahui rambat api, pada biogas ini terpusat pada perekaman nyala api biogas dengan menggunakan kamera video dan *Helle-Shaw Cell* (Gambar 3.5 dan Gambar 3.6).



Gambar 3.4 Skema pencampuran biogas dan udara

Keterangan gambar:

1. *Cylinder Pneumatic* diameter 5 cm dan panjang 30 cm
2. Kantong biogas
3. *Stop kran*
4. Selang ¼" (diameter 0,635 cm)
5. Kantong pencampur biogas



Gambar 3.5 Skema perekaman rambut api

Keterangan gambar:

- | | |
|---|-------------------------|
| 1. <i>Helle-Shaw Cell</i> | 2. Titik api |
| 3. Pemantik | 4. Saklar pemantik |
| 5. Plastik penampung (biogas + udara) | 6. Selang ¼" (0,635 cm) |
| 7. Fujifilm <i>High speed camera</i> 120 frame/s 640x480. | |

Untuk langkah pengamatan menyiapkan campuran biogas yang telah dimurnikan dengan udara menggunakan *Cylinder Pneumatic* dan AFR. Lalu mengisi ruang bakar *Helle-Shaw Cell* dengan campuran udara dan biogas dengan cara menekan kantong gas sehingga gas masuk ke dalam ruang bakar. Setelah terisi penuh maka percikan api dengan menggunakan pemantik sehingga terjadi pembakaran pada *Helle-shaw cell*. Dan secara bersamaan direkam menggunakan kamera fujifilm kecepatan tinggi dengan kecepatan 120 *frame/s* 640x480, hasil pembakaran pada *Helle-shaw cell* yang terekam dari kamera video dipindah ke komputer menjadi file MP4 dengan program *DVD Video Soft Free Studio* kemudian potong video sehingga mendapatkan video yang lebih pendek dengan menggunakan *Kate's Video Splitter 7.0*. dari hasil potongan video diekstraksi menjadi gambar diam dalam sejumlah frame yang tersusun berurutan dari saat menyala pertama sampai padam menggunakan program *DVD Video Soft Free Studio*. Setelah mendapatkan gambar maka dihitung jumlah *frame* dari titik nyala sampai titik dimana api telah sampai di ujung alat. Setelah diketahui jumlah *frame* maka buka tiap *frame* pada program Paint. *Frame* awal nyala dan *frame* terakhir dijadikan pedoman jarak *frame*. Lalu ukur titik nyala sampai titik dimana api berhenti dan ukur *pixel* yang ada di atas gambar. Dari satuan *pixel* tersebut diubah menjadi satuan cm, dan ulangi dari *frame* titik awal nyala sampai *frame* terakhir.

3.7.6 Akhir Pengambilan Data

Setelah proses pengujian dan pengambilan data selesai, langkah selanjutnya adalah merekap, menyimpan data penelitian, dan melakukan analisa. Analisa yang dilakukan terkait dengan karakteristik termal yang meliputi nilai kalor, distribusi temperatur, cepat rambat api. Sehingga akan diketahui perbandingan kualitas biogas yang dipurifikasi dengan biogas tanpa purifikasi.

3.8 Analisis Data

Untuk mencatat data hasil pengujian pemurnian biogas menggunakan KOH 4 M dibandingkan dengan biogas tanpa pemurnian dengan 1 kali pengujian untuk nilai kalor, serta 5 kali pengujian untuk distribusi emperatur dan cepat rambat api agar mendapatkan data yang lebih akurat.

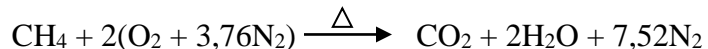
3.8.1 Nilai Kalor

Untuk mengetahui perbandingan nilai kalor purifikasi biogas menggunakan KOH 4 M dengan biogas tanpa purifikasi, dilakukan perhitungan nilai kalor. Kemudian dilakukan perbandingan nilai kalor purifikasi biogas dengan nilai kalor biogas tanpa purifikasi. Untuk mencari nilai kalor yang perlu diperhatikan adalah nilai pemanasan rendah (LHV) dan nilai pemanasan tinggi (HHV). Dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{LHV} = \Delta H_c = H_{\text{reaktan}} - H_{\text{prod}}$$

$$\text{HHV} = \Delta H_c = H_{\text{reaktan}} - H_{\text{prod}}$$

Maka,



Dengan menggunakan persamaan kimia, maka

$$\text{LHV} = (\Delta H^\circ_{\text{CH}_4}) + 2\{(\Delta H^\circ_{\text{O}_2}) + 7,52(\Delta H^\circ_{\text{N}_2})\} - (\Delta H^\circ_{\text{CO}_2}) - 2(\Delta H^\circ_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{uap}} - 7,52(\Delta H^\circ_{\text{N}_2})$$

$$\text{HHV} = (\Delta H^\circ_{\text{CH}_4}) + 2\{(\Delta H^\circ_{\text{O}_2}) + 7,52(\Delta H^\circ_{\text{N}_2})\} - (\Delta H^\circ_{\text{CO}_2}) - 2(\Delta H^\circ_{\text{H}_2\text{O}})_{\text{cair}} - 7,52(\Delta H^\circ_{\text{N}_2})$$

Setelah diketahui nilai kalor LHV dan HHV dari biogas yang dipurifikasi dan biogas tanpa purifikasi, selanjutnya dimasukkan kedalam grafik untuk perbandingan nilai kalor LHV dan HHV. Kemudian dilakukan analisa terhadap perbandingan nilai kalor tersebut.

3.8.2 Distribusi Temperatur

Untuk mengetahui distribusi temperatur dilakukan pengukuran nyala api pada *bunsen burner* menggunakan termokopel. Dengan variasi pengukuran 2 mm pada titik horizontal dan 5 mm pada titik vertikal, disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tabel pengujian distribusi temperatur pada titik horizontal

Temperatur	13 mm	11 mm	9 mm	dst
Pengujian 1				
Pengujian 2				
Pengujian 3				
Pengujian 4				
Pengujian 5				
Rata-rata				

Tabel 3.2 Tabel pengujian distribusi temperatur pada titik vertikal

Temperatur	40 mm	35 mm	30 mm	25 mm	dst
Pengujian 1					
Pengujian 2					
Pengujian 3					
Pengujian 4					
Pengujian 5					
Rata-rata					

Setelah dilakukan pengukuran dan pengambilan data pada distribusi temperatur. Kemudian dilakukan analisa terhadap penurunan dan kenaikan temperatur pada nyala api biogas yang dipurifikasi dengan biogas tanpa purifikasi.

3.8.3 Cepat Rambat Api

Untuk mengetahui perbandingan cepat rambat api biogas yang dipurifikasi dengan biogas tanpa purifikasi dilakukan 5 kali pengujian agar mendapat data yang lebih akurat. Dengan menggunakan AFR 1:4 untuk biogas sebelum dipurifikasi dan AFR 1:5 untuk biogas setelah purifikasi.

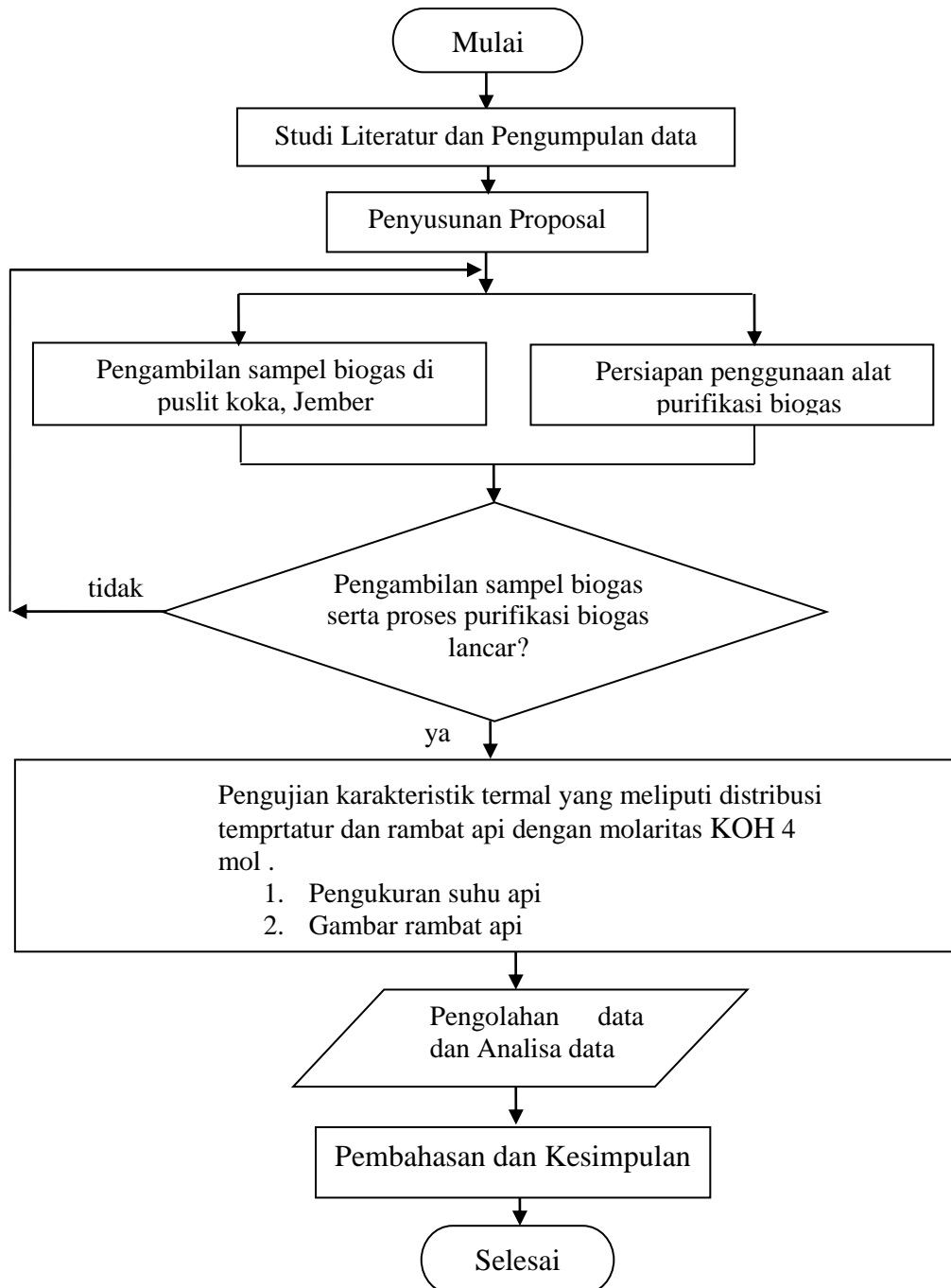
Tabel 3.3 Tabel Pengujian cepat rambat api

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1				
2				
3				
4				
5				
Dst				

Setelah didapatkan nilai cepat rambat api dengan menggunakan AFR 1:4 untuk biogas sebelum purifikasi dan AFR 1:5 untuk biogas setelah purifikasi. Maka dilakukan analisa terhadap perbandingan nilai cepat rambat api biogas yang dipurifikasi dengan biogas tanpa purifikasi. Analisis dilakukan pada faktor apa yang mempengaruhi perbandingan nilai berdasarkan prosetase komposisi biogas yang berpengaruh terhadap nilai cepat rambat api. Kemudian dilakukan kesimpulan terhadap pengujian karakteristik termal yang meliputi nilai kalor, distribusi temperatur dan rambat api.

3.9 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian *purifikasi* biogas dengan KOH dan waktu kontak adalah sebagai berikut:



Gambar 3.6 Diagram alir pengujian pada pemurnian biogas