



**ANALISIS KARAKTERISTIK API PEMBAKARAN BIOGAS
LIMBAH BUAH DENGAN PURIFIKASI KOH 4M**

SKRIPSI

Oleh
Hijrah Aji Saputra
NIM 121910101099

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**ANALISIS KARAKTERISTIK API PEMBAKARAN BIOGAS
LIMBAH BUAH DENGAN PURIFIKASI KOH 4M**

SKRIPSI

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

Oleh
Hijrah Aji Saputra
NIM 121910101099

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Bapak dan Ibu saya yang telah berjuang mendidik dan senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tiada batas hingga saat ini, serta doa yang tiada hentinya beliau haturkan dengan penuh keikhlasan;
2. Keluarga besar yang selalu memberi semangat serta doa yang tiada hentinya kepada saya dalam melangkah dan mencapai cita-cita;
3. Bapak dan ibu guru yang telah mendidik saya mulai dari Taman Kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
4. Bapak Dr. Gaguk Djatisukanto, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dalam penyusunan Skripsi ini;
5. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga penyusunan Skripsi ini dapat menjadi lebih baik;
6. Teman-temanku (Ivan, Abdi, Roni, Hemas, Josua, Busro, Made, Dheny, Alvin, Adimas, dan Yusuf) yang telah meluangkan waktunya untuk bekerja sama, saling memikul berat-ringan permasalahan yang dihadapi dalam penyelesaian Skripsi ini, sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
7. Civitas akademik baik dilingkungan Universitas Jember maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan, dan lembaga terkait;
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

MOTTO

Keberhasilan ditentukan oleh 99 % perbuatan dan hanya 1 % pemikiran

(Albert Einstein)

Jika ragu dalam melakukan sesuatu, sebaiknya tanya kepada diri sendiri, apa yang

kita inginkan esok hari dari apa yang telah kita lakukan sebelumnya

(John Lubbock)

Pengetahuan diperoleh dengan belajar, kepercayaan dengan keraguan, keahlian

dengan berlatih, dan cinta dengan mencintai

(Thomas Szasz)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Hijrah Aji Saputra

NIM : 121910101099

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Karakteristik Api pembakaran Biogas Limbah Buah Dengan Purifikasi KOH 4M” 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, 1 Juli 2016

Yang menyatakan,

Hijrah Aji Saputra
NIM 121910101099

SKRIPSI

**ANALISIS KARAKTERISTIK API PEMBAKARAN
BIOGAS LIMBAH BUAH DENGAN PURIFIKASI
KOH 4M**

Oleh

Hijrah Aji Saputra
NIM 121910101099

Pembimbing:

Dosen pembimbing Utama : Dr. Gaguk Djatisukamto, S.T., M.T.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Karakteristik Api Pembakaran Biogas Limbah Buah dengan Purifikasi KOH 4M” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Jumat, 1 Juli 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

DPU,

DPA,

Dr. Gaguk Djatisukanto, S.T.M.T.

NIP 19690209 199802 1 001

Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T.

NIP 19711114 199903 1 002

Penguji I,

Penguji II,

Hary Sutjahjono, S.T M.T.

NIP 19681205 199702 1 002

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.

NIP 19670123 199702 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M

NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Analisis Karakteristik Api Pembakaran Biogas Limbah Buah Dengan Purifikasi KOH 4M; Hijrah Aji Saputra, 121910101099; 2016: 65 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pertumbuhan penduduk yang tidak terkendali melahirkan masalah baru, yaitu masalah sampah dan ketersediaan energi. Pemakaian energi fosil sudah terlalu banyak, sedangkan bahan bakar fosil sendiri dari tahun ke tahun jumlahnya semakin berkurang dan menipis. Pemakaian energi alternatif yang ramah lingkungan lebih cocok digunakan dibandingkan dengan energi fosil yang mampu merusak lingkungan. Biogas dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa udara (*anaerobik*). Selain dari kotoran sapi, biogas juga dapat dibuat dari limbah pertanian misalnya buah-buahan yang tidak digunakan lagi karena sudah tidak layak konsumsi.

Penelitian ini melakukan pengamatan mengenai kualitas biogas terhadap kalor pembakaran, warna api, dan distribusi temperatur 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. Gas hasil fermentasi diberi perlakuan purifikasi dengan larutan KOH 4M.

Hasil penelitian menunjukkan gas sebelum purifikasi mempunyai kandungan metana sebesar 53,9%, dan kandungan karbondioksida sebesar 46,1%. Sedangkan gas setelah diberi perlakuan purifikasi meningkat menjadi 92,2% untuk metana dan menurun menjadi 7,8% untuk karbondioksida. Setelah dilakukan pengujian didapatkan nilai kalor pembakaran meningkat pada gas yang telah di purifikasi dengan waktu pengujian yang sama dengan gas sebelum purifikasi. Untuk persentase warna api merah sebelum purifikasi adalah 44,6% dan 30,32% untuk setelah purifikasi.

Sedangkan untuk warna api biru sebelum purifikasi adalah 55,45% dan 69,67% untuk setelah purifikasi. Nilai distribusi temperatur horizontal memiliki nilai tertinggi pada titik ke 4 yaitu 256,66 °C untuk gas sebelum purifikasi dan 343,4 °C untuk gas setelah purifikasi. Sedangkan untuk nilai distribusi temperatur vertikal memiliki nilai tertinggi pada titik ke 3 yaitu 440,66 °C untuk gas sebelum purifikasi dan 581,03 °C untuk gas setelah purifikasi.



PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Analisis Karakteristik Api Pembakaran Biogas Limbah Buah Dengan Puriikasi KOH 4M”. 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, dengan tulus penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Gaguk Djatisukamto, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan kami dalam melaksanakan penelitian dan menyelesaikan skripsi ini;
2. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga penyusunan Skripsi ini dapat menjadi lebih baik;
3. Teman-temanku (Ivan, Abdi, Roni, Hemas, Josua, Busro, Made, Dheny, Alvin, Adimas, dan Yusuf) yang telah meluangkan waktunya untuk bekerja sama, saling memikul berat-ringan permasalahan yang dihadapi dalam penyelesaian Skripsi ini, sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
4. Saudaraku, Keluarga Besar Teknik Mesin'12 Universitas Jember, yang senantiasa menemani, membantu, memotivasi, memberi dukungan, dan semangat dalam menyelesaikan aktivitas akademik perguruan tinggi;
5. Civitas akademik baik dilingkungan Universitas Jember maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan, dan lembaga terkait;
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan di dalam penulisan ini dari keterbatasan yang dimiliki, walaupun dalam penyusunan skripsi ini penulis telah mengerahkan segala kemampuan untuk lebih teliti. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran yang membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini dan memberikan manfaat bagi para pembaca.

Jember, 1 Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PEMBIMBING	v
LEMBAR 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	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Batasan Masalah	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Kebutuhan Energi	7
2.2 Sampah	8
2.3 Biogas	8
2.3.1 Sejarah Biogas	8
2.3.2 Definisi Biogas	9
2.3.3 Bahan Biogas.....	10
2.4 Tahap Pembuatan Biogas	11

2.4.1 Tahapan Pembuatan Reaktor.....	11
2.4.2 Tahap Pembentukan Gas Metana.....	13
2.5 Faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Biogas	15
2.5.1 Ketersediaan Substrat.....	15
2.5.2 Kadar Air.....	15
2.5.3 Kondisi Anaerob	15
2.5.4 Derajat Keasaman (pH).....	16
2.5.5 Temperatur	16
2.5.6 Inhibitor.....	17
2.6 Proses Pemurnian Biogas	17
2.6.1 Absorpsi Fisik	18
2.6.2 Absorpsi Kimia	18
2.7 Reaksi Pembakaran	21
2.7.1 Definisi Pembakaran	21
2.7.2 Kalor Pembakaran.....	21
2.8 Pengujian menggunakan Bunsen Burner dan Termokopel.....	22
2.9 Karakteristik Nyala Api	23
2.9.1 Warna Api	23
2.9.2 Distribusi Temperatur	26
2.10 Hipotesa.....	30
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Metode Penelitian.....	31
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.2.1 Tempat Penelitian.....	31
3.2.2 Waktu Penelitian	31
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	32
3.4 Variabel Penelitian.....	33

3.4.1 Variabel Bebas	33
3.4.2 Variabel Terikat.....	33
3.4.3 Tahapan Kontrol.....	34
3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	34
3.6 Pengamatan yang Dilakukan	34
3.7 Tahap Penelitian.....	34
3.7.1 Tahap Pembuatan Reaktor Biogas	35
3.7.2 Tahap Pembuatan Alat Purifikasi Biogas.....	35
3.7.3 Kompor Biogas	36
3.8 Tahap Pengujian	37
3.8.1 Tahap Pemurnian Biogas	37
3.8.2 Pengujian Kalor Pembakaran Api Biogas	38
3.8.3 Pengujian Warna Api	40
3.8.4 Pengujian Distribusi Temperatur	43
3.9 Diagram Alir Penelitian.....	45
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Data dan Hasil Pengujian	46
4.1.1 Komposisi Biogas	46
4.1.2 Uji Kalor Pembakaran	48
4.1.3 Uji Warna Api	52
4.1.4 Uji Distribusi Temperatur	57
BAB 5. PENUTUP.....	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN.....	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tipe biodigester: (Sunaryo, 2014).....	13
Gambar 2.2 Skema proses methanogenesis (Umesh, 2013)	13
Gambar 2.3 Konfigurasi absorber-stipper (Turns, 1996).....	19
Gambar 2.4 Bunsen Burner dan Termokopel (google, 2016)	23
Gambar 2.5 Foto api gas CH ₄ -CO ₂ dengan variasi penambahan CO ₂ dengan debit 8LPM (Toko dkk, tanpa tahun).....	24
Gambar 2.6 Distribusi temperatur api difusi <i>counterflow flame</i> (Toko dkk, tanpa tahun)	26
Gambar 2.7 Grafik hubungan prosentase CO ₂ pada bahan bakar terhadap temperatur (Toko dkk, tanpa tahun)	27
Gambar 2.8 Pengukuran Temperatur Api Pada Tiap Titik (Jatmiko, 2015)	28
Gambar 2.9 Grafik Perbandingan Distribusi Temperatur Biogas pada Titik <i>Horizontal</i> (Jatmiko, 2015)	29
Gambar 2.10 Grafik Perbandingan Distribusi Temperatur Biogas pada Titik <i>Vertikal</i> (Jatmiko, 2015)	29
Gambar 3.1 Reaktor Biogas	35
Gambar 3.2 Alat Purifikasi	36
Gambar 3.3 Kompor biogas	36
Gambar 3.4 Skema pemurnian biogas	37
Gambar 3.5 Skema pengujian kalor pembakaran	38
Gambar 3.6 Bunsen Burner.....	40
Gambar 3.7 Contoh Penganmbilan Data Temperatur	43
Gambar 3.8 Diagram alir pengujian.....	45
Gambar 4.1 Kandungan Gas setelah purifikasi.....	47
Gambar 4.2 Grafik perbandingan Kalor yang Diserap Sebelum dan Setelah Purifikasi	50

Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Daya pemanasan Sebelum dan Setelah Purifikasi	51
Gambar 4.4 Warna api dan titik api biogas sebelum purifikasi	52
Gambar 4.5 Warna api dan titik api biogas setelah purifikasi	55
Gambar 4.6 Pengukuran Temperatur Api pada tiap Titik.....	58
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Distribusi Temperatur Biogas pada Titik <i>Horizontal</i>	59
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Distribusi Temperatur Biogas pada Titik <i>Vertikal</i>	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel potensi energi dan energi terpasang di Indonesia	7
Tabel 2.2 Komposisi biogas	10
Tabel 2.3 Hasil Prosentase Warna Api	25
Tabel 3.1 Hasil Pengujian Pemurnian Gas.....	38
Tabel 3.2 Suhu (°C) air terhadap waktu (detik)	39
Tabel 3.3 Nilai RGB setiap luasan warna	41
Tabel 3.4 Nilai RGB dibagi 255	42
Tabel 3.5 Pengujian distribusi temperatur pada titik horizontal	44
Tabel 3.6 Pengujian distribusi temperatur pada titik Vertikal.....	44
Tabel 4.1 Persentase komposisi biogas.....	46
Tabel 4.2 Perubahan suhu pada proses memanaskan air dengan menggunakan biogas sebelum purifikasi.....	48
Tabel 4.3 Perubahan suhu pada proses memanaskan air dengan menggunakan biogas setelah purifikasi	48
Tabel 4.4 Kalor yang diserap air	49
Tabel 4.5 Daya pada pemanasan air.....	51
Tabel 4.6 Nilai RGB warna api biogas sebelum purifikasi percobaan 1	52
Tabel 4.7 Total persentase warna api sebelum purifikasi	54
Tabel 4.8 Nilai RGB biogas setelah purifikasi percobaan 1	55
Tabel 4.9 Total persentase warna api setelah purifikasi	57
Tabel 4.10 Rata-rata warna api sebelum dan setelah purifikasi 4M	57
Tabel 4.11 Perbandingan Distribusi Temperatur Biogas (<i>Horizontal</i>)	59
Tabel 4.12 Perbandingan Distribusi Temperatur Biogas (<i>Vertikal</i>)	59

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dan dunia mengalami permasalahan dengan semakin pesatnya pertumbuhan penduduk. Pertumbuhan penduduk yang tidak terkendali melahirkan masalah baru, yaitu masalah sampah dan ketersediaan energi. Kebutuhan energi selama ini masih dipenuhi oleh bahan bakar fosil yang bersifat tidak dapat diperbaharui (*unrenewable resources*) misal minyak bumi dan batu bara. Pemakaian energi fosil sudah terlalu banyak, sedangkan bahan bakar fosil sendiri dari tahun ke tahun jumlahnya semakin berkurang dan menipis. Indonesia diambang krisis energi, dimana jika hal ini terjadi akan mempengaruhi segala aspek perekonomian (Bayuseno, 2009). Terobosan dan pembaharuan dalam hal pemakaian energi sangat diperlukan untuk menyelesaikan permasalahan ini. Pemakaian energi alternatif yang ramah lingkungan lebih cocok digunakan dibandingkan dengan energi fosil yang mampu merusak lingkungan.

Sampah (*solid waste*) secara umum diartikan sebagai semua buangan yang dihasilkan dari aktivitas manusia atau hewan yang tidak diinginkan atau digunakan lagi, baik berbentuk padat atau setengah padat (Tchobanoglous, 1993 dalam Yuliani, 2014). Hampir setiap hari segala aktivitas yang dilakukan manusia selalu menghasilkan sampah. Jika sampah tersebut tidak dikelola dengan baik dapat menjadi faktor penyakit dan dapat mengganggu kualitas tanah dan air tanah sekitarnya (Ruslinda dkk, 2012). Disamping hal tersebut, sampah merupakan salah satu sumber energi alternatif yang potensial untuk menghasilkan biogas berbasis teknologi tepat guna (Bayuseno, 2009).

Biogas dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa udara (*anaerobik*). Alessandro Volta menemukan biogas hasil proses *anaerobik digestion* saat melakukan penelitian terhadap gas yang dikeluarkan rawa-rawa pada tahun 1770. Willam Henry

mengidentifikasi gas yang dapat terbakar tersebut sebagai metan pada tahun 1806. Dalam perkembangannya tahun 1875 dipastikan bahwa biogas merupakan produk dari proses *anaerobik digestion*. Selain dari kotoran sapi, biogas juga dapat dibuat dari limbah pertanian misalnya buah-buahan yang tidak digunakan lagi karena sudah tidak layak konsumsi. Biasanya sampah buah-buahan hanya dibiarkan saja, sehingga menimbulkan bau yang dapat mengganggu kebersihan lingkungan dan kesehatan. (Bayuseno, 2009). Biogas terdiri atas gas metana (CH_4) 50% sampai 70%, gas karbon dioksida (CO_2) 30% sampai 40%, hidrogen (H_2) 5% sampai 10%, dan gas-gas lainnya dalam jumlah kecil. Biogas memiliki berat 20% lebih ringan dibandingkan dengan udara bebas. Selain metana (CH_4), terdapatnya gas-gas lain dalam biogas akan menurunkan nilai kalor dan efisiensi pembakarannya ketika dibakar. Sehingga untuk mendapatkan nilai kalor yang besar harus memaksimalkan prosentase gas metana dengan jalan menurunkan persentase gas lainnya terutama CO_2 . Konsentrasi metana (CH_4) mempengaruhi besarnya energi dalam biogas tersebut. Semakin tinggi konsentrasi metana, semakin besar pula kandungan energi (Nilai Kalor) biogas tersebut. Begitu pula sebaliknya semakin kecil konsentrasi metana, semakin kecil pula nilai kalor dari biogas tersebut. Para peneliti yang membahas karakteristik pembakaran membuktikan bahwa penambahan CO_2 dapat mempengaruhi laju pembakaran. Dalam biogas masih banyak terdapat gas karbon dioksida (CO_2) sekitar 24-45%, Gas karbon dioksida (CO_2) sulit dipisahkan dengan gas metan (CH_4) sehingga akan mempengaruhi nyala api pada biogas. Kadar karbon dioksida (CO_2) yang tinggi menyebabkan proses pembakaran tidak optimum (Mara, 2013). Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu menghilangkan hidrogen sulfur, kandungan air dan karbon dioksida (CO_2) (Efriza, 2009). Maka dilakukan pemurnian untuk menghilangkan gas-gas tersebut agar kualitas biogas meningkat.

Penelitian mengenai pemurnian biogas telah banyak dilakukan. Andardini (2010) dalam Surono (tanpa tahun) meneliti pemurnian biogas menggunakan zeolit dengan aktivasi larutan Asam Sulfat. Dari penelitian ini diketahui adanya peningkatan

konsentrasi metana setelah dilewatkan pada adsorber dari 47,72% menjadi 73,97%. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi CO_2 dengan adsorber zeolit dapat meningkatkan kemurnian biogas. Penelitian dari Aditya dkk (2012) tentang pemurnian biogas dari kandungan H_2S dengan senyawa NaOH , CuSO_4 atau $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Penelitian dilakukan dengan mengalirkan larutan *absorbent* melalui *packed column* dari atas ke bawah, sementara biogas dialirkan dari bawah ke atas. Dari hasil penelitian diketahui bahwa NaOH memiliki daya serap yang tertinggi. Selain itu juga diketahui bahwa semakin tinggi laju aliran *absorbent*, semakin banyak H_2S yang terserap. 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). Hasil penelitian dari Maryana, 2008 menyimpulkan bahwa NaOH 1M dan KOH 1M memberikan serapan CO_2 maksimum berdasarkan reaksi asam basa dengan HCL . KOH 1M memberikan linearitas penyerapan yang lebih bagus dibanding NaOH 1M.

Selain purifikasi, penelitian mengenai biogas meliputi karakteristik nyala api seperti warna dan temperatur dari pembakaran biogas tersebut. Beberapa peneliti yang membahas karakteristik pembakaran, membuktikan bahwa penambahan CO_2 mempengaruhi laju pembakaran. Penambahan CO_2 pada pembakaran LPG menunjukkan bahwa, tanpa CO_2 warna api pada campuran stoikiometri akan berwarna biru, ini menunjukkan pembakaran berlangsung sempurna sedangkan dengan penambahan CO_2 sebesar 25% dan 50% warna api berubah kekuningan (Uwar, 2012). Ketidaksempurnaan pembakaran diakibatkan oleh sebagian karbon tidak ikut terbakar. Penelitian dari Hadi (2015) mendapatkan kesimpulan bahwa semakin meningkatnya prosentase CH_4 pada biogas, warna api dari biogas akan menjadi kebiru-biruan. Hal tersebut dibuktikan pada pengujian warna api, bahwa api yang

telah dipurifikasi dengan larutan KOH 1 M memiliki prosentase warna biru lebih besar yaitu prosentase warna api biru 70.50% dibandingkan api biogas sebelum dipurifikasi yang memiliki prosentase warna api biru 60.16%.

Toko dkk, (tanpa tahun) meneliti besarnya prosentase CO₂ dalam bahan bakar menyebabkan sebagian kalor hasil proses pembakaran terserap oleh gas CO₂ dikarenakan asupan bahan bakar yang kurang saat jumlah oksidator masih banyak. Penambahan CO₂ mengakibatkan distribusi temperatur yang terjadi semakin menyempit sehingga menyebabkan temperatur api yang dihasilkan semakin rendah atau menurun. Penelitian dari Jatmiko (2015) juga menyatakan hal yang sama, bahwa temperatur biogas sebelum purifikasi lebih kecil dibandingkan dengan temperatur biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4M. Hal ini disebabkan karena berkurangnya kadar CO₂ dan meningkatnya kadar CH₄ pada biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4M. Karena karakter gas CO₂ yang menghambat proses pembakaran sehingga dapat menurunkan nilai temperatur.

Dari beberapa penelitian di atas menunjukkan bahwa untuk mengaplikasikan biogas sebagai bahan bakar baru masih memerlukan pengetahuan lebih mengenai karakteristik proses pembakaran biogas yang lebih detail. CO₂ yang terlarut dalam bahan bakar cenderung mempunyai sifat yang merugikan. Sifat tersebut antara lain, Pertama, CO₂ dalam campuran biogas akan secara signifikan menurunkan kalor pembakaran. Rendahnya kalor pembakaran berakibat rendahnya energi pembakaran yang dihasilkan dari proses pembakaran. Kedua, CO₂ mempunyai kalor spesifik yang tinggi sehingga sebagian panas pembakaran akan terserap oleh zat ini seiring dengan meningkatnya temperatur. Ketiga, CO₂ yang terlarut dalam bahan bakar akan menurunkan laju reaksi pembakaran, akibatnya lama waktu pembakaran biogas akan semakin lama (Karim, 1991 dalam Sasongko, 2014).

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh purifikasi KOH 4M terhadap kalor pembakaran pada kompor biogas.
2. Bagaimana perbandingan warna api biogas limbah buah sebelum purifikasi dengan biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4M.
3. Bagaimana perbandingan distribusi temperatur api biogas limbah buah sebelum purifikasi dengan biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4M.

1.3 Tujuan

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

1. Mengetahui kalor pembakaran api biogas limbah buah dengan purifikasi KOH 4M maupun tanpa purifikasi.
2. Mengetahui perbandingan warna api biogas limbah buah sebelum purifikasi dengan biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4M.
3. Mengetahui distribusi temperatur api biogas limbah buah sebelum purifikasi dengan biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4M.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Mahasiswa bisa mengetahui prinsip kerja dari biogas.
2. Memberikan motivasi bagi Civitas Akademik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember untuk mengembangkan lebih jauh teknologi biogas.
3. 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.
2. Kondisi suhu dan kelembapan ruangan diasumsikan tetap.
3. Tekanan dari reaktor biogas pada proses purifikasi diasumsikan tidak berpengaruh.
4. Komposisi biogas setiap pengujian diasumsikan sama.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kebutuhan Energi

Kebutuhan energi selama ini masih dipenuhi oleh bahan bakar fosil yang bersifat tidak dapat diperbaharui (*unrenewable resources*) misal minyak bumi dan batu bara. Pemakaian energi fosil sudah terlalu banyak, sedangkan bahan bakar fosil sendiri dari tahun ke tahun jumlahnya semakin berkurang dan menipis. Indonesia diambang krisis energi, dimana jika hal ini terjadi akan mempengaruhi segala aspek perekonomian (Bayuseno, 2009). Untuk menyelesaikan masalah ini diperlukan sebuah terobosan dan pembaharuan dalam hal pemakaian energi, diantaranya pemakaian energi alternatif pengganti bahan bakar fosil. Indonesia dengan luas wilayah membentang dari Sabang hingga Merauke menyediakan banyak potensi energi alternatif yang mampu dikembangkan seperti terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tabel potensi energi dan energi terpasang di Indonesia

No	Sumber Energi <i>Energy Resources</i>	Potensi <i>Potential</i>	Kapasitas Terpasang <i>Installed Capacity</i>
1	Panas Bumi <i>Geothermal</i>	15.502 MW (Cadangan / <i>Reserve</i>)	1.341 MW (Sampai Mei 2012 / <i>Until May 2012</i>)
2	Hidro <i>Hydro</i>	75.000 MW (Sumberdaya / <i>Resource</i>)	7.059 MW
3	Mini-Mikrohidro <i>Mini-Microhydro</i>	759,7 MW (Sumberdaya / <i>Resource</i>)	512 MW
4	Biomassa <i>Biomass</i>	13.652 Mwe (Cadangan / <i>Reserve</i>)	1.364 Mwe 75,5 Mwe (On Grid)
5	Energi Surya <i>Solar Energy</i>	4,80 kWh/m ² /day	42,78 MW
6	Energi Angin <i>Wind Energy</i>	3-5 m/s	1,33 MW
7	Uranium	3000 MW	30 MW
8	Gas Metana Darat <i>Coal Bed Methane</i>	453 TSCF (Sumberdaya / <i>Resource</i>)	
9	Shale Gas	571 TSCF (Sumberdaya / <i>Resource</i>)	

Sumber : Outlook energi Indonesia, 2014

Pada Tabel 2.1 energi *biomass* memiliki potensi energi yang cukup besar namun, masih sedikit dimanfaatkan. Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat diperoleh dari sumber-sumber yang dapat diproduksi lagi,

salah satunya adalah tumbuhan. Penggunaan energi biomassa dapat menjadi jalan keluar bagi terbatasnya energi yang tidak dapat diperbaharui. Contoh dari energi biomassa adalah biogas, kayu, tanaman energi, limbah pertanian dan sampah.

2.2 Sampah

Sampah (*solid waste*) secara umum diartikan sebagai semua buangan yang dihasilkan dari aktivitas manusia atau hewan yang tidak diinginkan atau digunakan lagi, baik berbentuk padat atau setengah padat (Tchobanoglous, 1993 dalam Yuliani, 2014). Menurut WHO (*World Health Organization*), sampah merupakan suatu materi yang tidak digunakan, tidak terpakai, tidak disenangi, atau sesuatu yang dibuang yang berasal dari kegiatan manusia (Chandra, 2006 dalam Novany, 2014). Sampah dibagi menjadi dua yaitu sampah organik (*degradable*) dan sampah anorganik (*undegradable*). Terlepas dari sifatnya, sampah dibedakan menjadi dua kategori yaitu, sampah industri dan sampah umum. Setiap aktivitas yang dilakukan oleh manusia selalu menghasilkan sampah bahkan hampir setiap hari manusia menghasilkan sampah. Jika sampah tersebut tidak dikelola dengan baik, dapat menimbulkan berbagai masalah seperti masalah estetika dan menjadi faktor penyakit serta dapat mengganggu kualitas tanah dan air tanah sekitarnya. Degradasi sampah organik yang tertimbun secara alamiah mengalami dekomposisi secara aerobik dan anaerobik. Metana dari hasil degradasi sampah tersebut merupakan sumber energi alternatif yang potensial untuk menghasilkan biogas (Bayuseno, 2009).

2.3 Biogas

2.3.1 Sejarah Biogas

Penemuan proses *anaerobik digestion* untuk menghasilkan biogas tersebar di benua Eropa. Alessandro Volta menemukan biogas hasil proses *anaerobik digestion* saat melakukan penelitian terhadap gas yang dikeluarkan rawa-rawa pada tahun 1770. Willam Henry mengidentifikasi gas yang dapat terbakar tersebut sebagai metan

pada tahun 1806. Dalam perkembangannya tahun 1875 dipastikan bahwa biogas merupakan produk dari proses *anaerobik digestion*. Pasteur melakukan penelitian tentang biogas menggunakan kotoran hewan pada tahun 1884. Era penelitian Pasteur menjadi landasan untuk penelitian biogas hingga saat ini. Pada akhir abad ke-19 ada beberapa riset dalam bidang ini dilakukan. Jerman dan Perancis melakukan riset diantara masa dua perang dunia dengan membangun beberapa unit pembangkit biogas dari limbah pertanian. Petani di Inggris dan benua Eropa membuat digester kecil untuk menghasilkan biogas yang digunakan untuk menggerakkan traktor selama perang dunia II. Pemakaian biogas di Eropa mulai ditinggalkan seiring menurunnya harga BBM dan kemudahan memperolehnya pada tahun 1950-an. Namun, produksi biogas di negara-negara berkembang dimana kebutuhan akan sumber energi yang murah dan selalu tersedia ada tetap berjalan. Kegiatan produksi biogas di India telah dilakukan semenjak abad ke-19. Alat pencernaan anaerobik pertama dibangun pada tahun 1900 (Rahman, 2005).

2.3.2 Definisi Biogas

Biogas merupakan sumber energi alternatif yang berkembang pesat dalam dasawarsa terakhir ini. Teknologi biogas ditujukan untuk memperoleh gas metan dari sampah organik dengan proses fermentasi secara *anaerob* (tanpa udara). Gas metan hampir sama dengan gas yang terdapat dalam LPG, perbedaannya terletak pada unsur C dimaa, gas metan hanya mempunyai satu atom C sedangkan gas LPG mempunyai lebih dari satu atom C. Mengacu pada kondisi di atas, pengembangan teknologi anaerob digester menjadi sangat dibutuhkan. Gas metan bersifat tidak menimbulkan asap dan mempunyai karakteristik pembakaran yang baik (nyala api stabil dan efisiensi tinggi) (Bayuseno, 2009).

Biogas merupakan campuran berbagai macam gas dan tergolong dalam bahan bakar gas hasil fermentasi bahan organik dalam kondisi anaerob. Gas yang dominan adalah gas metana (CH_4 (50-70%)) dan gas karbon dioksida (CO_2 (30-40 %)),

hidrogen sulfida (H_2S (0-3%)), air (H_2O (0,3 %)), oksigen (O_2 (0,1%-0,5%)), serta gas-gas yang lain dalam jumlah kecil. Biogas memiliki nilai kalor cukup tinggi, berkisar antara 4800 – 6700 Kkal/m³, sedangkan gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 K kal/m³ (Widodo , 2005 dalam Artayana, 2014).

Tabel 2.2. Komposisi biogas

Komponen	%
Metana (CH_4)	55-75
Karbon dioksida (CO_2)	25-45
Nitrogen (N_2)	0-0.3
Hidrogen (H_2)	1-5
Hidrogen sulfida (H_2S)	0-3
Oksigen (O_2)	0.1-0.5

Sumber: Wikipedia

2.3.3 Bahan Biogas

Bahan dasar biogas umumnya memanfaatkan kotoran ternak, misalnya sapi, kerbau, kuda, ayam, dll, akan tetapi bahan tersebut dapat diganti dengan sampah organik seperti limbah buah. Tumpukan limbah buah-buahan ini jarang dimanfaatkan oleh masyarakat, karena sudah tidak layak dikonsumsi untuk makanan ternak. Biasanya sampah buah-buahan hanya dibiarkan saja, sehingga menimbulkan bau yang dapat mengganggu kebersihan lingkungan dan kesehatan. Selain itu sudah sejak lama sampah buah-buahan menjadi masalah yang serius, seperti menimbulkan bau yang mengganggu pernafasan dan berpengaruh pada kesehatan. Oleh sebab itu sampah padat ini merupakan sumber energy alternatif yang potential untuk menghasilkan biogas berbasis teknologi tepat guna (Bayuseno, 2009). Secara ilmiah, biogas dari sampah organik adalah gas yang mudah terbakar (*flammable*). Gas ini dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik dengan bantuan bakteri

anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi tanpa udara). Umumnya, semua jenis bahan organik dapat diproses untuk menghasilkan biogas. Namun hanya bahan organik homogen baik padat maupun cair yang cocok untuk sistem biogas sederhana. Gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) akan dihasilkan apabila sampah-sampah organik tersebut membusuk. Namun hanya CH_4 yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar (Rahayu, 2009).

2.4 Tahap Pembuatan Biogas

Pembuatan biogas dimulai dengan memasukkan bahan organik ke dalam digester, sehingga bakteri anaerob dapat membusukkan bahan organik tersebut dan menghasilkan gas yang disebut biogas. Biogas dapat dihasilkan pada hari ke 4-5 sesudah biodigester terisi penuh, dan mencapai puncaknya pada hari ke 20-25. Biogas yang telah terkumpul dalam digester dialirkan melalui pipa penyalur gas menuju tangki penyimpanan gas atau dapat langsung menuju lokasi penggunaannya, misalnya kompor (Anonim, 2005).

2.4.1 Tahap Pembuatan Reaktor

Dalam proses pembuatan biogas dari bahan organik, diperlukan alat yaitu Digester Biogas /Biodigester. Biodegester bekerja dengan prinsip menciptakan suatu tempat penampungan bahan organik pada kondisi anaerob (bebas oksigen) sehingga bahan organik tersebut dapat difermentasi oleh bakteri metanogen untuk menghasilkan biogas. Biogas yang timbul kemudian dialirkan ketempat penampungan biogas sedangkan lumpur sisa aktifitas fermentasi dikeluarkan dan menjadi pupuk alami yang dimanfaatkan untuk usaha pertanian maupun perkebunan (Sunaryo, 2014).

Digester biogas memiliki tiga (3) macam tipe dengan keunggulan dan kelemahannya masing-masing. Ketiga tipe biogas tersebut adalah :

2.4.2.1 Tipe fixed domed plant

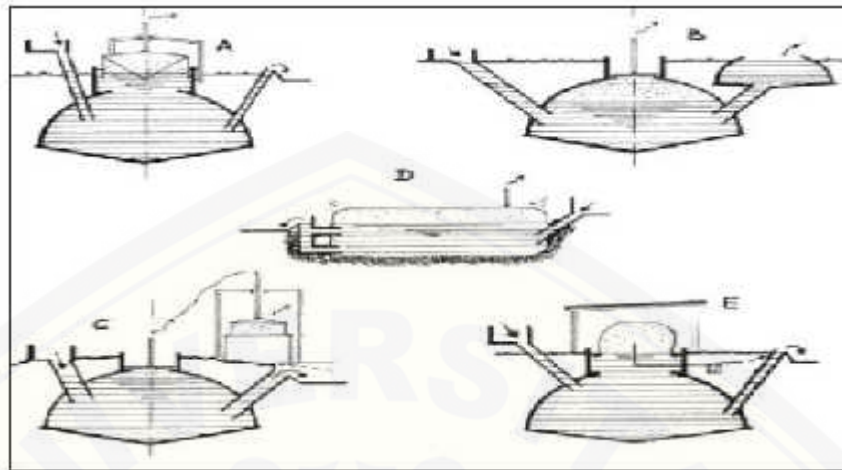
Terdiri dari digester yang mempunyai penampung gas dibagian atas digester. Ketika gas mulai timbul, gas tersebut menekan lumpur sisa fermentasi (*slurry*) ke bak slurry. Jika pemasukan kotoran ternak dilakukan secara terus menerus, gas yang timbul akan terus menekan slurry sampai keluar dari bak slurry. Gas yang timbul akan tertampung di atas kotoran yang mengalami fermentasi dan akan digunakan/dikeluarkan lewat pipa gas yang berada di atas digester menuju tempat penampungan. Keunggulan : tidak ada bagian yang bergerak, awet (berumur panjang), dibuat di dalam tanah sehingga terlindung dari berbagai cuaca atau gangguan lain dan tidak membutuhkan ruangan (di atas tanah). Kelemahan : rawan terjadi kertakan di bagian penampung gas, tekanan gas tidak stabil karena tidak ada katup gas (Sunaryo, 2014).

2.4.2.2 Tipe floating drum plant

Terdiri dari satu digester dan penampung gas yang bisa bergerak. Penampung gas ini akan bergerak keatas ketika gas bertambah dan turun lagi ketika gas berkurang, seiring dengan penggunaan dan produksi gasnya. Kelebihan : konstruksi alat sederhana dan mudah dioperasikan. Tekanan gas konstan karena penampung gas yang bergerak mengikuti jumlah gas. Jumlah gas bisa dengan mudah diketahui dengan melihat naik turunnya drum. Sedangkan kelemahannya yaitu digester rawan korosi sehingga waktu pakai menjadi pendek.

2.4.2.3 Tipe baloon plant

Konstruksi sederhana, terbuat dari plastik yang pada ujung-ujungnya dipasang pipa masuk untuk kotoran ternak dan pipa keluar peluapan slurry. Sedangkan pada bagian atas dipasang pipa keluar gas. Kelebihan : biaya pembuatan murah, mudah dibersihkan, mudah dipindahkan. Kelemahannya waktu pakai relatif singkat dan mudah mengalami kerusakan.

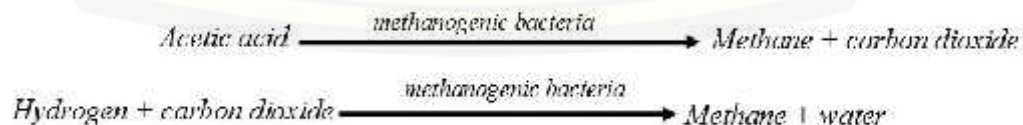


- (a) Floating drum plant, (b) fixed dome plant, (c) fixed dome plant with gas holder terpisah, (d) balloon plant, (e) chanel-typed digester with pelindung matahari dan lapisan plastik

Gambar 2.1 Tipe biodigester: (Sunaryo, 2014)

2.4.2 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 2.2.



Gambar 2.2 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 seimbang. 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 (Garcelon dkk dalam Taufikurrahman, 2011).

Rahayu, 2009 mengatakan 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 dilakukan oleh ISAT menunjukkan bahwa aktivitas *metabolisme* dari bakteri *methanogenikakan* optimal pada nilai rasio C/N sekitar 8-20. Amaru, 2004 Mengatakan proses *anaerob* akan optimal apabila bahan makanan yang mengandung karbon dan nitrogen diberikan 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 ($\text{C/N} = 30/1$ atau karbon 30 kali dari jumlah nitrogen) akan menciptakan proses pencernaan pada tingkat yang optimum apabila kondisi lain juga mendukung. Namun, apabila terlalu banyak karbon, nitrogen akan habis terlebih dahulu. Hal ini akan menyebabkan proses berjalan secara lambat. Bila nitrogen terlalu banyak (*C/N ratio* rendah; misalnya 30/15), maka karbon akan habis terlebih dahulu dan proses fermentasi berhenti (Fry, 1974 dalam Amaru, 2004). 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/m^3 dengan efisiensi pembakaran 60% pada *konvensional* kompor biogas.
4. Nilai kalor rendah (LHV) $\text{CH}_4 = 50,1 \text{ MJ/kg}$.
5. *Densitas* $\text{CH}_4 = 0,717 \text{ kg/m}^3$.

2.5 Faktor yang mempengaruhi Pembentukan Biogas

2.5.1 Ketersediaan Substrat

Menurut Yani dan Darwis (1990) dalam Rahman (2007), kebutuhan nutrisi dalam pencernaan anaerobik meliputi karbon, nitrogen, hidrogen, dan fosfor. Nutrisi terpenting di antara nutrisi tersebut adalah karbon dan nitrogen. Rasio optimum C/N yaitu antara 20:1 sampai 30:1. Nilai rasio C/N tergantung pada komposisi substrat yang digunakan dalam pembuatan biogas. Kandungan nitrogen yang besar, seperti kotoran manusia dan hewan, dapat ditambahkan sampah organik yang banyak mengandung karbon untuk memperoleh rasio C/N optimum.

2.5.2 Kadar Air

Menurut Van buren (1979) dalam Rahman (2007), agar dapat beraktivitas normal, bakteri penghasil biogas memerlukan substrat dengan kadar air 90% dan kadar padatan 8-10%. Jika bahan yang digunakan sebagai substrat berupa bahan jenis kering, maka perlu ditambah air, tetapi jika substratnya berbentuk lumpur, maka penambahan air tidak akan sebanyak pada bahan yang kering. Air ini berperan sangat penting dalam proses biologis pembuatan biogas.

2.5.3 Kondisi Anaerob

Penguraian senyawa organik pada kondisi aerob akan menghasilkan CO_2 , bila anaerob akan menghasilkan gas metan (Mazumbar, 1982 dalam Rahman, 2007).

Dalam hal pembuatan biogas maka udara sama sekali tidak diperlukan dalam reaktor. Keberadaan udara menyebabkan gas CH_4 tidak akan terbentuk. Untuk itu maka reaktor biogas harus dalam keadaan tertutup rapat (digester). Oksigen dapat membunuh semua bakteri anaerobik penghasil gas metana. Bakteri metanogen termasuk mikroorganisme anaerobik yang sangat sensitif terhadap oksigen, diketahui pertumbuhannya akan terhambat dalam konsentrasi oksigen terlarut 0,01 mg/L (Yani dan Darwis, 1990 dalam Rahman, 2007).

2.5.4 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman merupakan suatu ukuran keasaman atau kebebasan dari suatu larutan an merupakan logaritma dari perbandingan konsentrasi hidrogen (Yani dan Darwis, 1990 dalam Rahman, 2007). Pertumbuhan bakteri penghasil gas methana akan baik bila pH bahannya pada keadaan normal dan anaerobik, maka pH akan secara otomatis berkisar antara 7,0 – 8,5. Bila derajat keasaman lebih kecil atau lebih besar dari kiaran nilai pH di atas, maka bahan tersebut akan mempunyai sifat toksik terhadap bakteri metanogenik (Fry, 1974). Bakteri metanogen sensitif terhadap perubahan pH. Nilai pH optimum dalam pembuatan biogas berkisar 7,0 – 7,2, meskipun produksi gas dapat dihasilkan pada nilai pH 6,6 – 7,6 (anonim, 1981). Akan tetapi nilai pH terbaik suatu digester yaitu sekitar 7,0. Bila pH di bawah 6,5, aktifitas mikroba akan mengalami penurunan di bawah 5,0 fermentasi akan terhenti (Yani dan Darwis, 1990 dalam Rahman, 2007).

2.5.5 Temperatur

Gas metana dapat diproduksi pada tiga kisaran temperatur sesuai dengan sifat dan karakteristik bakteri yang hadir. Bakteri psyhrophilic 0 – 7 C, bakteri meophilic pada temperatur 13 – 40 C, sedangkan thermophilic pada temperatur 55 – 60 C (Fry, 1974 dalam Rahman, 2007).

Aktifitas bakteri dalam digester untuk menghasilkan gas tergantung pada temperatur lingkungan. Meskipun gas yang dapat dihasilkan pada suhu 20 – 40 C, dekomposisi yang lebih cepat akan diperoleh dengan menaikkan suhu digester hingga 40 – 60 C. Tetapi digester dengan suhu mesofilik merupakan terbaik, karena selang suhu 21 – 40 C lebih mudah dijaga, kadar H₂S yang dihasilkan rendah dan bakteri mesofilik lebih toleran terhadap fluktuasi suhu. Suhu optimum untuk mikroba penghasil biogas antara 30 -35 C (Yani dan Darwis, 1990 dalam Rahman, 2007).

2.5.6 Inhibitor

Kapasitas suatu senyawa dapat menghambat aktivitas proses di dalam digester tergantung pada konsentrasinya. Di antara senyawa yang bersifat toksik pada konsentrasi tinggi adalah sulfida, logam terlarut, antibiotik, alkali tanah dan amonia. Sebagian senyawa tersebut terlarut dan bersifat toksik pada pH rendah (wise, 1987 dalam Rahman 2007).

2.6 Proses Pemurnian Biogas

Pemurnian biogas bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan kadar CO₂ sehingga mendapatkan nilai kalor yang optimum. Masyuhri, dkk (2013) memurnikan biogas dengan mengabsorpsi gas CO₂ dengan larutan Ca(OH)₂ secara kontinyu dalam suatu reaktor (*absorber*). 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% (Maarif, 2008).

Untuk mengurangi kadar CO₂ dapat dilakukan dengan melewati biogas ke dalam larutan Ca(OH)₂ sehingga terjadi proses Absorpsi. Gas CO₂ langsung bereaksi

dengan larutan Ca(OH)_2 sedangkan CH_4 tidak. Dengan berkurangnya konsentrasi CO_2 sebagai akibat reaksi dengan Ca(OH)_2 , maka perbandingan konsentrasi CH_4 dengan CO_2 menjadi lebih besar untuk konsentrasi CH_4 . Absorpsi CO_2 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).

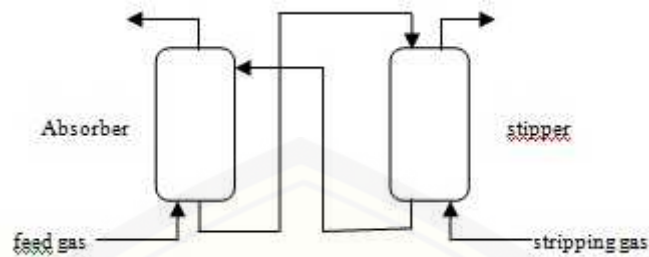
Absorpsi merupakan salah satu proses separasi dalam industri kimia dimana suatu campuran gas dikontakkan dengan suatu cairan penyerap tertentu sehingga satu atau lebih komponen gas tersebut larut dalam cairannya. Pada awal absorpsi sendiri ada 2 proses, yaitu :

2.6.1 Absorpsi Fisik

Absorpsi fisik merupakan absorpsi gas terlarut dalam larutan penyerap tanpa disertai reaksi kimia. Contoh reaksi ini adalah absorpsi gas H_2S dengan air, metanol, propilen karbonase. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik (Anggiriawan, 2010 dalam Sigit, 2015).

2.6.2 Absorpsi Kimia

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



Gambar 2.3 Konfigurasi absorber-stipper (Turns, 1996).

Penggunaan alat absorpsi tertera pada gambar 2.3 dan pada fase cair sering digunakan untuk mengeluarkan zat pelarut secara sempurna dari dalam campuran gasnya. Keuntungan absorpsi kimia adalah meningkatkan harga koefisien perpindahan massa (K_g). Sebagian dari perubahan ini disebabkan semakin besarnya luas efektif antar muka. Untuk memperluas permukaan kontak digunakan kolom berisi *packing* (*packed coloum*) dengan kriteria pemilihan *packing* sebagai berikut :

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

Penelitian lain dilakukan oleh Hamidi dkk (2011) dengan cara *purifikasi* sistem penyerapan menggunakan *zeolite* alam yang telah diaktivasi menggunakan KOH sebagai *adsorber*. Metode penelitian ini menggunakan variasi penambahan konsentrasi senyawa KOH ke dalam *zeolite* dengan prosentase 0%, 5%, 10%, dan 15 %. Perlakuan panas (*heat treatment*) dilakukan pada campuran *zeolite* dan KOH 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* juga akan menurun jika digunakan terus menerus yang diakibatkan oleh terbentuknya lapisan film pada permukaan *zeolite*.

Hasil penelitian dari Maryana, 2008 menyimpulkan 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%.

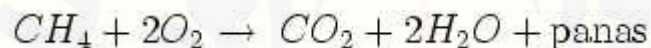
KOH atau Kalium Hidroksida mempunyai ciri-ciri berbentuk kristal, butir, serpih, padat, batang yang berwarna putih sampai kuning dan tidak berbau. Dengan pH 13,5 (larutan 0,1 M); Berat molekul 56,11; titik didih 2408 °F (1320°C); Titik lebur 680°F (360°C); Kerapatan relatif 2,04; Tekanan uap 1 mmHg pada 714°C; mudah larut dalam air dingin, air panas, tidak larut dalam dietil eter. Kalium hidroksida digunakan sebagai fotografi dan litografi, membuat sabun cair, mengabsorpsi karbon dioksida, menghilangkan cat pernis, pewarna kain, dan tinta cetak. Dengan kemampuan menyerap karbon dioksida (CO₂) dan mudah larut dengan air, maka KOH dapat digunakan sebagai bahan dasar proses *purifikasi* pada biogas (Sigit, 2015).

2.7 Reaksi Pembakaran

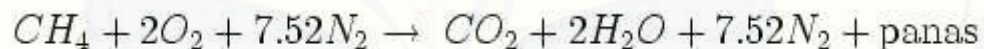
2.7.1 Definisi Pembakaran

Pembakaran adalah proses oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar dengan oksidator dan menimbulkan nyala dan panas. Bahan bakar merupakan substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung karbon, hidrogen, oksigen dan sulfur. Sementara oksidator adalah substansi yang mengandung oksigen yang bereaksi dengan bahan bakar (Mahandari, 2010).

Dalam reaksi pembakaran lengkap, suatu senyawa bereaksi dengan zat pengoksidasi dengan produknya adalah senyawa dari tiap elemen dalam bahan bakar dengan zat pengoksidasi. Contoh:

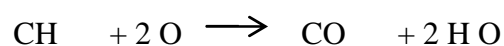


Umumnya penggunaan pembakaran sehari-hari, oksidan oksigen (O_2) diperoleh dari udara ambien dimana gas resultan (gas cerobong, *flue gas*) dari pembakaran akan mengandung nitrogen:



2.7.2 Kalor Pembakaran

Dalam proses pembakaran, gas-gas selain metana (CH_4) akan menurunkan kalor pembakaran biogas serta efisiensi pembakarannya (Agustin, tanpa tahun). Untuk memperoleh kalor pembakaran biogas yang besar maka harus memaksimalkan prosentase gas metana (CH_4) dengan jalan menurunkan gas lain terutama CO_2 karena kandungannya paling besar setelah CH_4 . Gas CO_2 bersifat merugikan proses pembakaran, hal ini diakibatkan karena CO_2 merupakan gas hasil reaksi pembakaran yang tidak bisa terbakar lagi sebagaimana reaksi berikut :



Kandungan nilai kalor biogas berkisar antara 4800 – 6700 kkal/m³ (Harahap, 1978 dalam Zuhdi, 2014). Keberadaan gas CO₂ atau gas lainnya menyebabkan berkurangnya kalor pembakaran pada biogas tersebut. Pembakaran gas metan murni pada tekanan 1 atm dan temperatur 15,5°C adalah 9100 Kkal/m³ (12740 Kkal/kg). Sedangkan nilai kalor pembakaran biogas sekitar 4800 – 6900 Kkal/m³ (6720 – 9660 Kkal/kg). Akibat tingginya kandungan CO₂ dalam biogas menyebabkan nilai kalor pembakaran turun menjadi 4301,63 – 6213,47 Kkal/m³ (6022,28 – 8698,85Kkal/kg) dari pembakaran CH₄ Murni sebesar 9559,18 Kkal/m³ (13382,85Kkal/kg) (Harasimowicz *et al*, 2007 dalam Artayana, 2014). Rumus dari Kalor adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{m \times c \times \Delta T}{1000} \text{ (kJ)}$$

dimana,

Q = jumlah kalor yang diserap atau dilepas (joule)

m = massa zat (kg)

C = kalor jenis zat (Joule/kg °C)

T = perbedaan suhu (suhu akhir – suhu awal zat) (°C)

2.8 Pengujian menggunakan Bunsen Burner dan Termokopel

Pembakar Bunsen (*Bunsen Burner*) adalah alat pipa logam yang dilengkapi dengan pengatur gas dan udara yang berfungsi untuk menciptakan kondisi yang steril. Untuk sterilisasi jarum ose atau yang lain, bagian api yang paling cocok untuk memijarkannya adalah bagian api yang berwarna biru (paling panas). Pembakaran bunsen dapat menggunakan bahan bakar gas ataupun metanol.

Termokopel (*Thermocouple*) adalah sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek “*Thermo-electric*”. Thomas Johann Seebeck fisikawan estonia menemukan efek *Thermo-electric* pada

Termokopel dimana sebuah logam konduktor yang diberi perbedaan panas secara *gradient* akan menghasilkan tegangan listrik pada Tahun 1821. Perbedaan Tegangan listrik diantara dua persimpangan (*junction*) ini dinamakan dengan Efek “*Seeback*”.



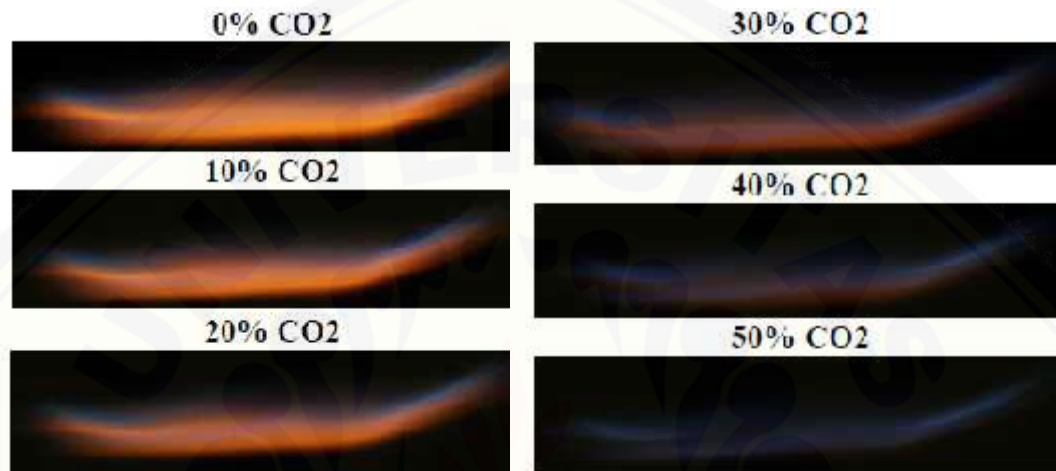
Gambar 2.4 Bunsen Burner dan Termokopel (google, 2016)

2.9 Karakteristik Nyala Api

2.9.1 Warna Api

Dalam proses pembakaran, reaksi antara bahan bakar dan udara dapat terjadi baik dalam mode nyala api ataupun tanpa mode nyala api. Buku *an introduction to combustion concept and application* menyatakan definisi api sebagai pengembangan yang bertahan pada daerah pembakaran yang dialokasikan pada kecepatan subsonik. Dalam sebuah proses pembakaran, api yang dihasilkan memiliki warna tertentu. Warna api pembakaran dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya kandungan bahan bakar dan campuran udara yang ikut terbakar. Api yang memiliki warna cenderung merah menunjukkan bahwa api pembakaran tersebut memiliki kalor pembakaran relatif rendah, dengan kata lain udara yang tercampur dalam proses pembakarannya hanya sedikit sehingga campuran menjadi kaya. Sebaliknya api yang berwarna kebiruan menandakan bahwa kalor pembakaran yang tinggi, atau campuran

miskin. Api hidrokarbon dikarakteristikan oleh radiasinya yang terlihat. Dengan *excess air*, daerah reaksi akan terlihat biru. Radiasi biru berasal dari eksitasi CH di dalam daerah bertemperatur tinggi. Saat stokiometri udara berkurang, daerah api akan berwarna biru-hijau berasal dari eksitasi C_2 .



Gambar 2.5 Foto api gas CH_4 - CO_2 dengan variasi penambahan CO_2 dengan debit 8LPM (Toko dkk, tanpa tahun)

Pada Gambar 2.5 menunjukkan perubahan warna api disertai perubahan lebarnya yang diakibatkan adanya variasi penambahan CO_2 pada bahan bakar. Prosentase CO_2 yang ditampilkan dalam foto tersebut adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% .

Dari bentuk pola api terlihat bahwa semakin meningkatnya prosentase CO_2 menyebabkan api pembakaran semakin gelap. CO_2 bersifar sebagai inhibitor, dimana kalor hasil pembakaran sebagian akan terserap oleh gas tersebut. Hal tersebut menyebabkan tingkat kecerahan api pembakaran menjadi rendah secara keseluruhan (Toko dkk, tanpa tahun).

Beberapa penelitian mengenai karakteristik pembakaran membuktikan bahwas gas karbondioksida merupakan penghambat dan menurunkan laju reaksi kimia pembakaran, misalnya penambahan karbon dioksida sebesar 25% dan 50% pada pembakaran LPG dengan campuran stoikiometri. Pengamatan secara visual

menunjukkan nyala api pembakaran sempurna tanpa karbondioksida berwarna biru. Sedangkan penambahan 25% dan 50% karbon dioksida menyebabkan warna api cenderung kekuningan dan menunjukkan pembakaran tidak sempurna karena sebagian karbon tidak ikut terbakar (Wahyudi, 2014). Kurnia Aji (tanpa tahun) dalam penelitiannya membuktikan bahwa warna api yang terjadi berwarna biru pada setiap variasi, seiring dengan penambahan konsentrasi CO_2 pada setiap percobaan, warna biru pada api semakin meredup dan tipis. Hal ini disebabkan oleh sifat dari CO_2 sebagai zat inhibitor pada proses pembakaran yang mengganggu rantai reaksi pembakaran serta mengakibatkan reaksi pembakaran menjadi terhambat sehingga nyala api berwarna semakin redup dan tipis. Penelitian oleh Hadi (2015) menyimpulkan hal yang sama bahwa semakin meningkatnya prosentase CH_4 pada biogas, warna api dari biogas akan menjadi kebiru-biruan. Ini terdapat pada Tabel 2.3.

Dari Tabel 2.3 terlihat bahwa biogas sebelum purifikasi memiliki prosentase api biru lebih kecil sekitar 60.16% dibandingkan dengan biogas yang telah dipurifikasi menggunakan KOH 1 M yang memiliki prosentase warna api sebanyak 70.50%. hal itu menunjukkan bahwa prosentase CH_4 pada biogas yang telah dipurifikasi meningkat.

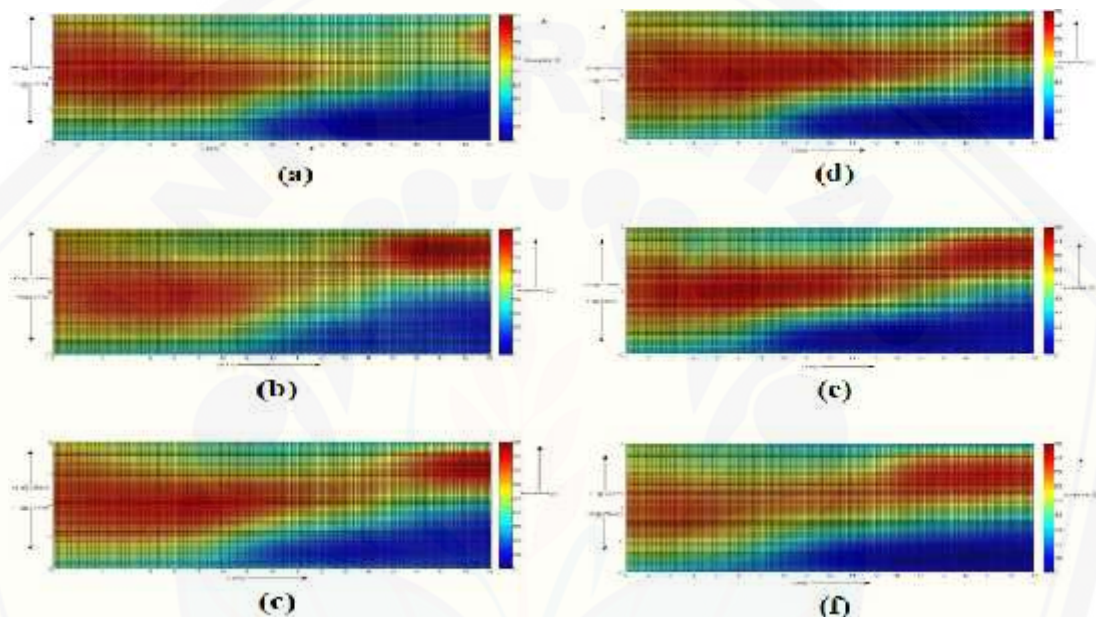
Tabel 2.3 Hasil Prosentase Warna Api

	Prosentase merah	Prosentase biru
Pengulangan 1	28.21%	71.79%
Pengulangan 2	29.53%	70.47%
Pengulangan 3	28.88%	71.12%
Pengulangan 4	29.80%	70.20%
Pengulangan 5	31.07%	68.93%
Rata-Rata	29.50%	70.50%

Sumber: Hadi (2015)

2.9.2 Distribusi Temperatur

Penelitian Toko dkk, (tanpa tahun) mengatakan bahwa semakin besar prosentase CO_2 dalam bahan bakar menyebabkan sebagian kalor hasil pembakaran terserap oleh gas CO_2 karena asupan bahan bakar yang kurang disaat jumlah oksidator masih banyak seperti Gambar 2.6.

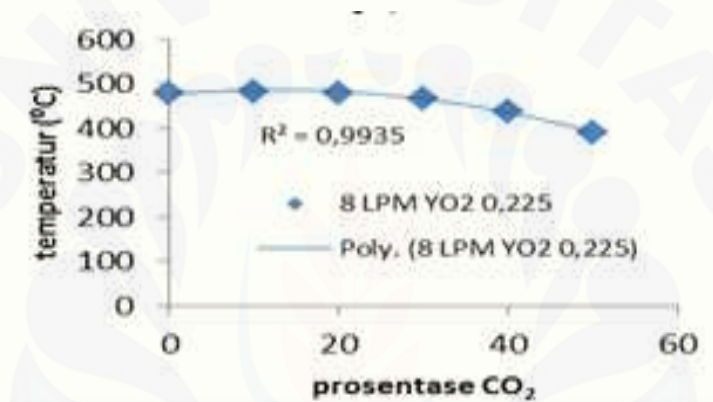


Gambar 2.6. Distribusi temperatur api difusi *counterflow flame* (Toko dkk, tanpa tahun)

Gambar 2.6 merupakan hasil *plotting* distribusi temperatur api difusi *counterflow flame burner* data distribusi temperatur pada titik-titik yang telah ditentukan diinterpolasikan sebanyak 4 kali dengan metode interpolasi *spline*. Setelah mendapatkan data yang sudah diinterpolasi kemudian dilakukan *plotting* warna dengan menggunakan software MATLAB. Titik 0 merupakan data temperatur yang diambil pada daerah stagnasi api atau tengah api, titik +Y merupakan data temperatur atas api, titik - Y merupakan titik bawah api, kemudian titik X menunjukkan data yang diambil dari tengah api menuju tepi api. api dalam keadaan beberapa variasi prosentase CO_2 , yaitu mulai dari 0% (a), 10% (b), 20% (c), 30% (d), 40% (e), dan

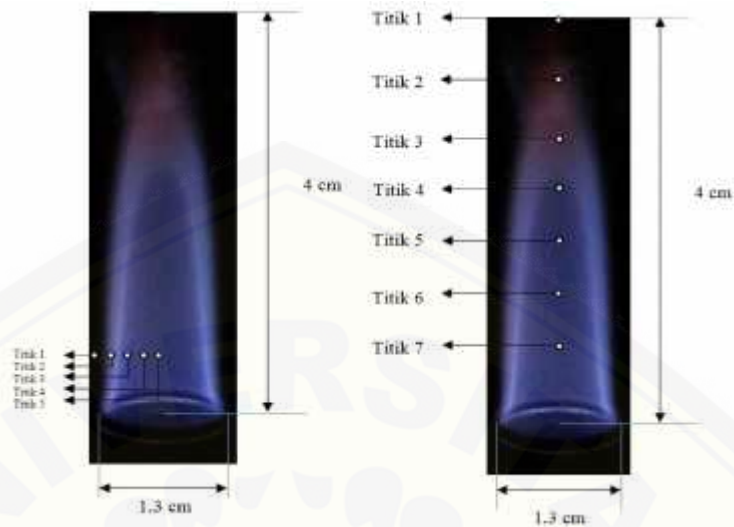
50% (f). Dengan kondisi Y_{O_2} sebesar 0,225. Terlihat pada Gambar 2.6 bahwa prosentase CO_2 sangat berpengaruh terhadap distribusi temperatur api difusi *counterflow flame burner*. Semakin besar prosentase CO_2 maka distribusi temperatur api semakin tipis dan suhu yang dihasilkan api semakin rendah atau menurun (Toko dkk, tanpa tahun)

Untuk lebih jelasnya mengenai pengaruh besar prosentase CO_2 terhadap distribusi nyala api pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar. 2.7 Grafik hubungan prosentase CO_2 pada bahan bakar terhadap temperatur (Toko dkk, tanpa tahun)

Gambar 2.7 menunjukkan setiap penambahan prosentase CO_2 menunjukkan tren naik kemudian turun. Penambahan prosentase CO_2 menurunkan derajat temperatur yang dapat digenerasi oleh nyala api. Gas CO_2 bersifat inhibitor menyerap sebagian kalor hasil pembakaran sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna sehingga perambatan nyala api semakin terhambat. Penelitian Jatmiko (2015) mengenai temperatur api pembakaran biogas yang dilakukan dengan mengukur temperatur api biogas sebelum dan sesudah purifikasi menggunakan larutan KOH 4M pada kompor uji (*bunsen burner*) dengan termokopel sebagai pengukur temperatur api.

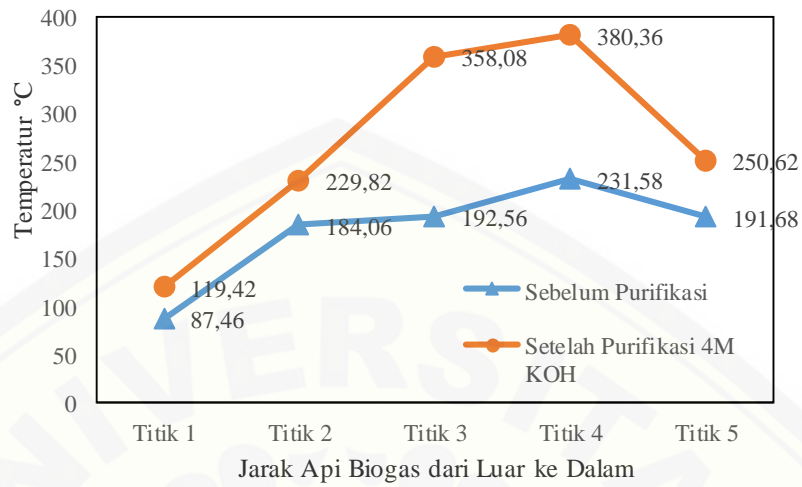


(a) vertikal dan (b) horizontal

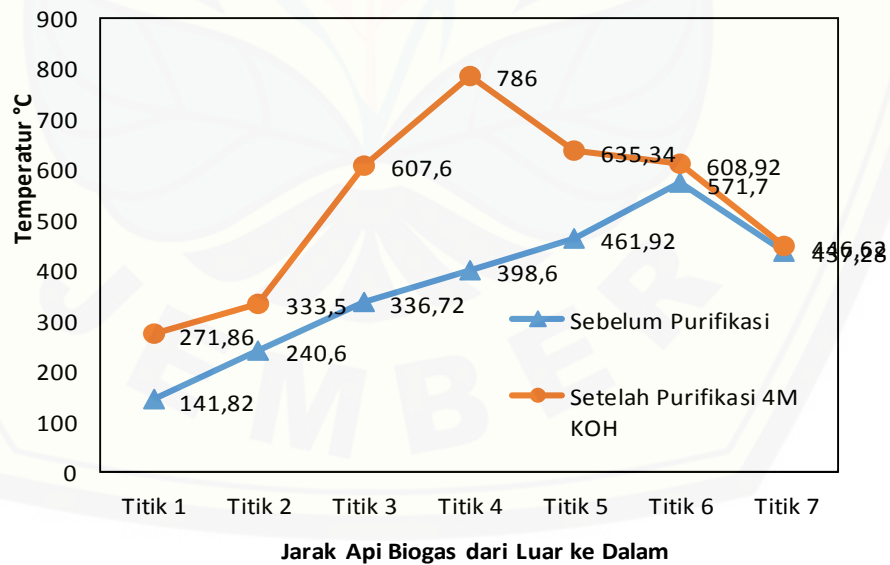
Gambar 2.8 Pengukuran Temperatur Api Pada Tiap Titik (Jatmiko, 2015)

Pengukuran temperatur dilakukan pada beberapa titik api biogas, 5 titik dibagian *horizontal* dan 7 titik di bagian vertikal. Pada gambar 2.8 api biogas sebelum dan sesudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4M memiliki tinggi 4 cm dan lebar 1,3 cm. Pada titik *horizontal* terdapat 5 titik yang tiap titik berjarak 2 mm. Pengukuran dimulai dari api terluar menuju api terdalam yaitu pada jarak 13 mm, 11 mm, 9 mm, 7 mm, dan 5 mm. Sedangkan pada titik vertikal terdapat 7 titik yang tiap titik memiliki jarak 5 mm. Pengukuran juga dimulai dari api terluar menuju api terdalam yaitu pada jarak 40 mm, 35 mm, 30 mm, 25 mm, 20 mm, 15 mm, 10 mm.

Pengujian di atas memperoleh data perbandingan distribusi temperatur biogas sebelum dan sesudah purifikasi dengan larutan KOH 4M. Hasil penelitian temperatur tersebut terdapat dalam Gambar 2.9 dan 2.10.



Gambar 2.9 Grafik Perbandingan Distribusi Temperatur Biogas pada Titik *Horizontal* (Jatmiko, 2015)



Gambar 2.10 Grafik Perbandingan Distribusi Temperatur Biogas pada Titik *Vertikal* (Jatmiko, 2015)

Gambar 2.9 dan 2.10 menunjukkan hasil pengujian distribusi temperatur nyala api menghasilkan perbandingan temperatur biogas tanpa purifikasi dengan biogas yang telah dipurifikasi menggunakan KOH 4M pada bidang horizontal yang terdapat 5 titik pengukuran, pada bidang vertikal 7 titik pengukuran. 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.

2.10 Hipotesa

Dari permasalahan di atas dapat diambil hipotesa sebagai berikut:

Dengan mempurifikasi biogas menggunakan larutan KOH 4M yang bersifat mengikat CO₂, sehingga kadar CO₂ dalam biogas akan berkurang. Berkurangnya kadar CO₂ akan meningkatkan prosentase CH₄ menjadi lebih tinggi. Adanya peningkatan ini menyebabkan hasil biogas menjadi lebih berkualitas, sehingga saat biogas dibakar, akan menghasilkan kalor pembakaran yang besar serta warna api yang biru dan temperatur yang tinggi.

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 larutan KOH 4M terhadap kualitas pemurnian biogas. Dalam penelitian ini, biogas disirkulasikan ke alat purifikasi sistem kontinyu untuk menyerap gas CO₂ menggunakan larutan KOH 4M. Biogas sebelum dan sesudah pemurnian digunakan sebagai bahan bakar pada alat uji karakteristik termal api biogas. Pengujian tahap ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemurnian biogas terhadap kalor Pembakaran, warna api, dan distribusi temperatur pembakaran.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat penelitian

- a. Pembuatan Reaktor Biogas, Pembuatan Alat Purifikasi Biogas, Pemurnian Biogas, Uji Kalor Pembakaran, Uji Warna Api dan Temperatur Pembakaran Distribusi Api Biogas

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

- b. Penelitian Pemurnian Biogas, Uji Kalor Pembakaran, Uji Warna Api dan Distribusi Temperatur Pembakaran Api Biogas

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

3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih 5 bulan pada bulan Februari 2016 – Juni 2016

3.3 Alat dan bahan penelitian

a. Pembuatan Reaktor Biogas

Alat yang digunakan yaitu:

- Mesin bor
- Kikir
- Alat Pemanas
- Penggaris
- Pisau

Bahan yang digunakan yaitu:

- Drum plastik ukuran 200 liter
- Pipa ukuran 2" dengan panjang 15 cm dan 30 cm
- Sambungan pipa L 3 buah
- Corong Pipa 1 buah
- Lem

b. Bahan yang digunakan sebagai biogas yaitu limbah buah yang diambil dari toko-toko buah di Kabupaten Jember

c. Pembuatan Alat Purifikasi Biogas

Alat yang digunakan yaitu:

- Mesin bor
- Gergaji besi
- Penggaris
- Pisau

Bahan yang digunakan yaitu:

- Selang 1/4"
- Tabung
- Larutan KOH

d. Penelitian kalor pembakaran api biogas

Alat yang digunakan yaitu:

1 Termometer

4. Bahan uji

2. Kompor biogas standart SNV
3. Wajan aluminium
5. Stopwatch

e. Penelitian uji warna api dan temperatur pembakaran

- Stopwatch
- Pemantik api
- Alat pertukangan
- Kamera Canon *high speed* 60 *frame/s* 1.280x720 , 120 *frame/s* 640x480, 240 *frame/s* 224x168, 480 *frame/s* 224x168, dan 1000 *frame/s* 224x64
- Komputer
- Kabel pemantik
- Selang ¼ ”
- *Bunsen burner*
- *Thermocoupe*

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. Biogas tanpa purifikasi
2. Biogas yang telah dipurifikasi dengan KOH 4M.

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 4M dan pengujian karakteristik api dengan menganalisa data-datanya yang meliputi:

1. Kalor pembakaran api.

2. Gambar warna api
3. Temperatur.

3.4.3 Variabel Kontrol

Adapun variabel kontrol dari penelitian ini merupakan variabel yang menyamakan persepsi mengenai penelitian ini yaitu:

1. Perbandingan air : limbah buah : kotoran sapi adalah 4,5 : 3 : 2,5 dalam satuan volume.
2. Larutan purifikasi menggunakan KOH dengan kandungan 4M.

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 kalor pembakaran, warna dan distribusi temperatur api.
- b. Data sekunder, merupakan data yang diperoleh dari literatur perhitungan maupun hasil pengujian dari kalor pembakaran, warna dan temperatur pembakaran api.

3.6 Pengamatan yang Dilakukan

Pada penelitian ini yang akan diamati adalah:

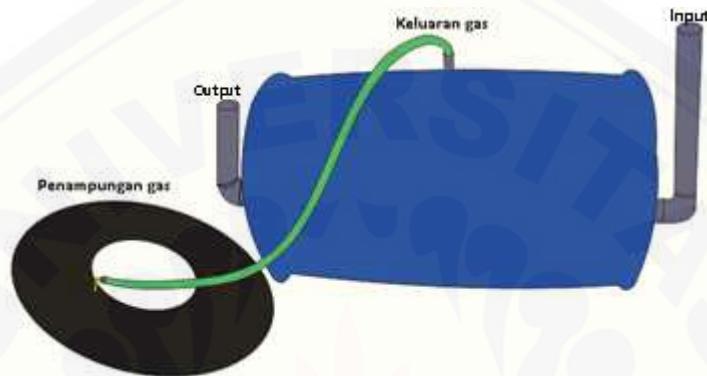
- 1 Kalor Pembakaran
- 2 Gambar warna api
- 3 Temperatur api.

3.7 Tahap Penelitian

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi dan waktu kontak terhadap pemurnian biogas dengan KOH 4M. Tahap prosedur yang dilakukan dalam pengujian adalah sebagai berikut.

3.7.1 Tahap Pembuatan Reaktor Biogas

Tahap pembuatan reaktor biogas dilakukan dengan menggunakan bahan utama yaitu drum yang dirancang hampir sama seperti reaktor biogas yang dimiliki oleh Pusat Penelitian Kakao dan Kopi di Jember.

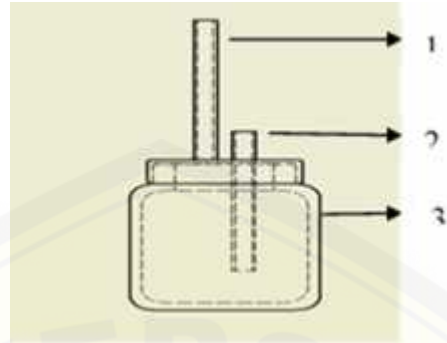


Gambar 3.1 Reaktor Biogas

Gambar 3.1. Volume penampungan bahan biogas dirancang sebesar 200 liter dengan cara mengatur ketinggian *output*. Proses pengisian bahan baku biogas dilakukan secara kontinyu dan gas yang dihasilkan setelah 15 hari dari pertamakali pengisian bahan biogas disimpan dalam ban.

3.7.2 Tahap Pembuatan Alat Purifikasi Biogas

Alat purifikasi yang digunakan terbuat dari Tahap pembuatan alat purifikasi biogas dilakukan dengan memodifikasi tempat kue yang terbuat dari kaca kemudian dipasang 2 selang $\frac{1}{4}$ " pada penutupnya sebagai saluran masuk tabung purifikasi dan selang keluaran penambahan 2 selang $\frac{1}{4}$ " pada penutupnya sebagai saluran sirkulasi keluar gas purifikasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Alat Purifikasi

Keterangan Gambar :

1. Saluran Keluar Biogas
2. Saluran Masuk Biogas
3. Tabung Purifikasi

3.7.3 Kompor Biogas

Kompor biogas yang digunakan merupakan kompor khusus untuk bahan bakar biogas yang diproduksi oleh Biogas BCL. Standart kompor biogas yang digunakan yaitu SNV seperti pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Kompor biogas

3.8 Tahap Pengujian

3.8.1 Tahap Pemurnian Biogas

Pembuatan *purifier* biogas dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

1. Mendesain sirkulasi alat purifikasi biogas dengan sistem kontinyu dan tidak boleh terdapat kebocoran, seperti yang terlihat pada Gambar 3.4.
2. Melarutkan KOH dengan konsentrasi sebesar 4 Molaritas pada air jernih.

Sesuai dengan rumus untuk menentukan molaritas yaitu:

$$M = \frac{m}{V}; \quad n = \frac{m}{Mr}$$

Dimana: M = Molaritas; V = Volume larutan (liter); n = Mol;

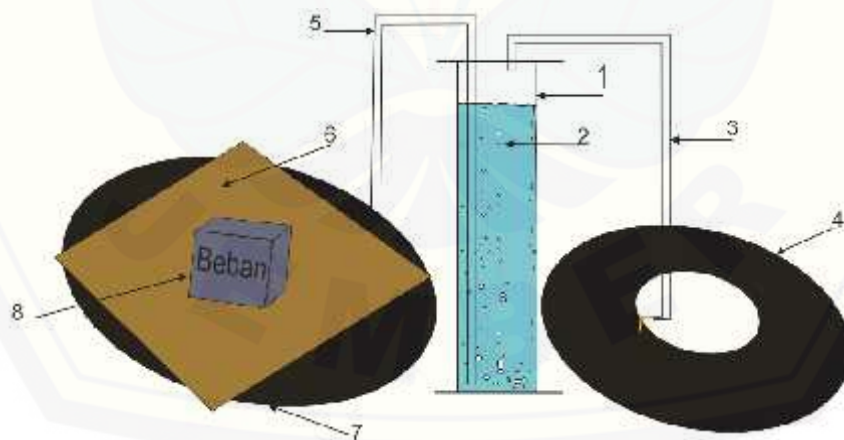
m = Massa (gram); Mr = Molekul relatif.

Dimana diketahui Mr untuk KOH adalah 56.

$$M \times V = \frac{m}{Mr} \Leftrightarrow m = M \times V \times Mr$$

Maka, jika diasumsikan volume larutan adalah 1 liter maka dapat diketahui massa KOH 4 Molaritas adalah 224 gram.

3. Memasang alat purifikasi, sehingga sirkulasi gas dapat berjalan dengan baik tanpa ada kebocoran.



Gambar 3.4 Skema pemurnian biogas

Keterangan gambar:

- | | |
|-----------------------|-----------------------------|
| 1. Alat Purifikasi | 5. Selang <i>input</i> 1/4" |
| 2. Larutan KOH Selang | 6. papan |

3. Selang *output* ¼"
4. Penampungan gas setelah purifikasi
7. Penampungan gas sebelum purifikasi
8. Beban

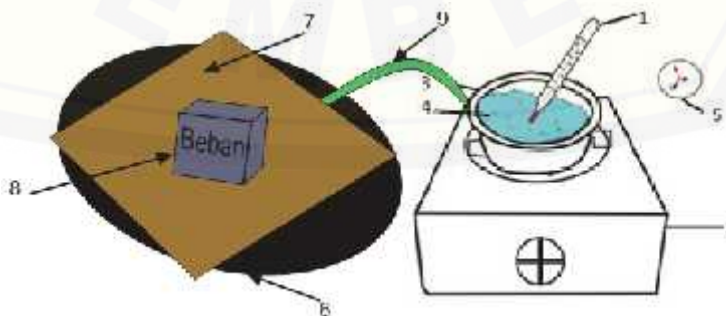
Selama proses purifikasi dilakukan pengukuran komposisi biogas setiap satu kali gas melewati larutan purifikasi dengan menggunakan alat gas analyzer. Pada proses ini didapatkan kemampuan pemurnian gas CO_2 pada larutan purifikasi KOH dengan konsentrasi 4M. Persentase komposisi biogas diperlihatkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hasil pengujian pemurnian Gas

Banyak Purifikasi	Purifikasi dengan KOH 4Molaritas (%)	
	CO_2 (%)	CH_4 + zat pengotor (%)
0		
1		
2		
3		

3.8.2 Pengujian Kalor Pembakaran Api Biogas

Tahap pengujian kalor pembakaran api biogas ini dilakukan dengan menghitung kalor yang diserap oleh air sebanyak 0,24 kg, untuk menaikkan suhu sebesar dari suhu awal air per satuan waktu. Pengujian menggunakan kompor biogas. Rencana analisis data untuk mengukur suhu air dan waktu disajikan dalam Tabel 3.2.



Gambar 3.5 Skema pengujian kalor pembakaran

Dari pengujian yang dilakukan akan didapatkan hasil seperti pada Tabel 3.2.

Keterangan gambar:

- | | |
|-------------------------------|--------------------|
| 1. Termokopel | 3. Wajan aluminium |
| 2. Kompor biogas standart SNV | 4. Bahan uji |
| 5. Stopwatch | 8. Beban |
| 6. Ban | 9. Selang |
| 7. Papan kayu | |

Setelah pengujian selesai dilakukan kemudian mengrekap data hasil pengujian kalor pembakaran. Hasil rekap pengujian rambat api ditunjukkan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Suhu (°C) air terhadap waktu (detik)

Pengujian	Suhu (°C)					
	0 detik	30 detik	60 detik	90 detik	120 detik	150 detik
1						
2						
3						
Rata-rata	-					
Kalor yang diserap air (kJ)	-					

Untuk memperoleh besar kalor pembakaran yang diserap oleh air, menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{m \times c \times \Delta T}{1000} \text{ (kJ)}$$

Dimana:

$$Q = \text{Kalor yang diterima suatu zat (kJ)}$$

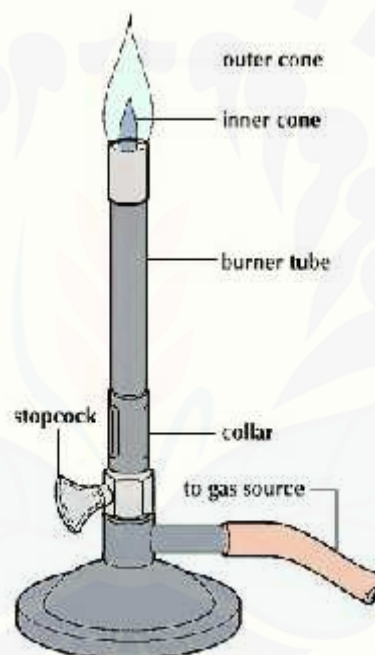
m = Massa zat (kilogram)

c = Kalor jenis zat (joule/kilogram $^{\circ}$ C)

T = perubahan suhu ($^{\circ}$ C)

3.8.3 Pengujian Warna Api

Tahap pengamatan karakteristik nyala api pada biogas ini terpusat pada perekaman nyala api biogas dengan menggunakan *bunsen burner* dan kamera.



Gambar 3.6 Bunsen Burner

Biogas yang telah dimasukkan ke dalam penampung disalurkan ke saluran masuk *bunsen burner*, nyalakan *bunsen* dengan bantuan korek api, foto api yang menyala pada *bunsen burner* menggunakan kamera. Foto yang telah didapat, di hitung nilai RGB(Red Green Blue) dengan menggunakan software Corel Draw. Kemudian mencatat data hasil nilai RGB setiap luasan warna ke dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Nilai RGB setiap luasan warna

No Titik	Sebelum dipurifikasi		Sesudah Dipurifikasi	
	RGB Merah	RGB Biru	RGB Merah	RGB Biru
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
dst.				

Setelah disajikan dalam Tabel 3.3 kemudian setiap nilai RGB dibagi 255.

$$p = 2^d$$

dimana,

p = jumlah warna (derajat keabuan)

d = pixel depth / kapasitas yang diperlukan untuk menyimpan sebuah informasi warna (dalam bit).

Setelah diketahui nilai bagi dari 255 kemudian disajikan kedalam tabel 3.4.

Tabel 3.4 Nilai RGB dibagi 255

No Titik	Sebelum dipurifikasi		Sesudah Dipurifikasi	
	RGB Merah	RGB Biru	RGB Merah	RGB Biru
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
dst.				

Setelah disajikan pada Tabel 3.4, kemudian dihitung persentase warna api merah dengan menggunakan rumus berikut.

$$P_m = \frac{n_m}{N} \times 100\%$$

Keterangan:

N = jumlah nilai RGB : 255

n_m = jumlah nilai RGB merah

P_m = persentase warna merah (%)

Dan untuk menghitung persentase warna api biru digunakan rumus berikut.

$$P_b = \frac{n_b}{N} \times 100\%$$

Keterangan:

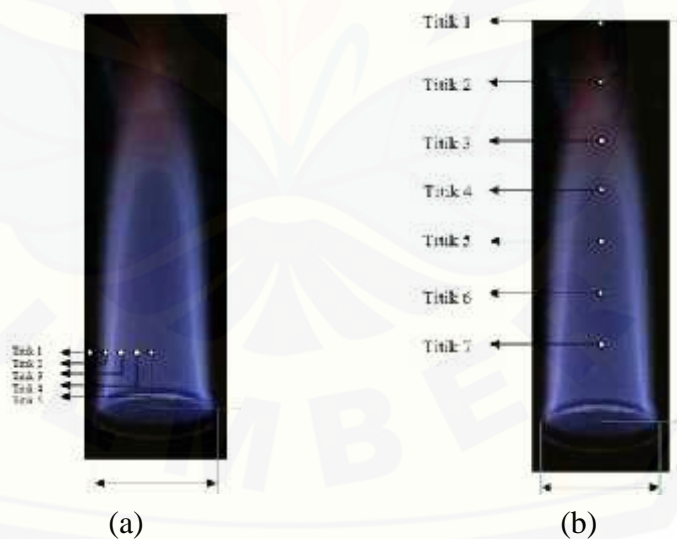
N = jumlah nilai RGB : 255

n_b = jumlah nilai RGB Biru

P_b = persentase warna Biru (%)

3.8.4 Distribusi temperatur

Tahap pengamatan distribusi temperatur pada biogas menggunakan *bunsen burner* (Gambar 3.6) dan dilakukan pengukuran temperatur pada beberapa titik api pada sumbu horizontal dan vertikal menggunakan termokopel.



(a) horizontal dan (b) vertikal

Gambar 3.7 Contoh pengambilan data temperatur

Untuk mengetahui distribusi temperatur menggunakan KOH 4M dengan variasi pengukuran 2 mm di titik horizontal dan 4Mm di titik vertikal, dengan lama

pengukuran temperatur 1 menit pada tiap titik. Rencana analisis data hasil disajikan pada Tabel 3.5 dan 3.6.

Tabel 3.5 Pengujian distribusi temperatur pada titik horizontal

No.	Waktu	Jarak	Temperatur
1	1 menit	0 mm	
2	1 menit	2 mm	
3	1 menit	4 mm	
4	1 menit	6 mm	
dst.			

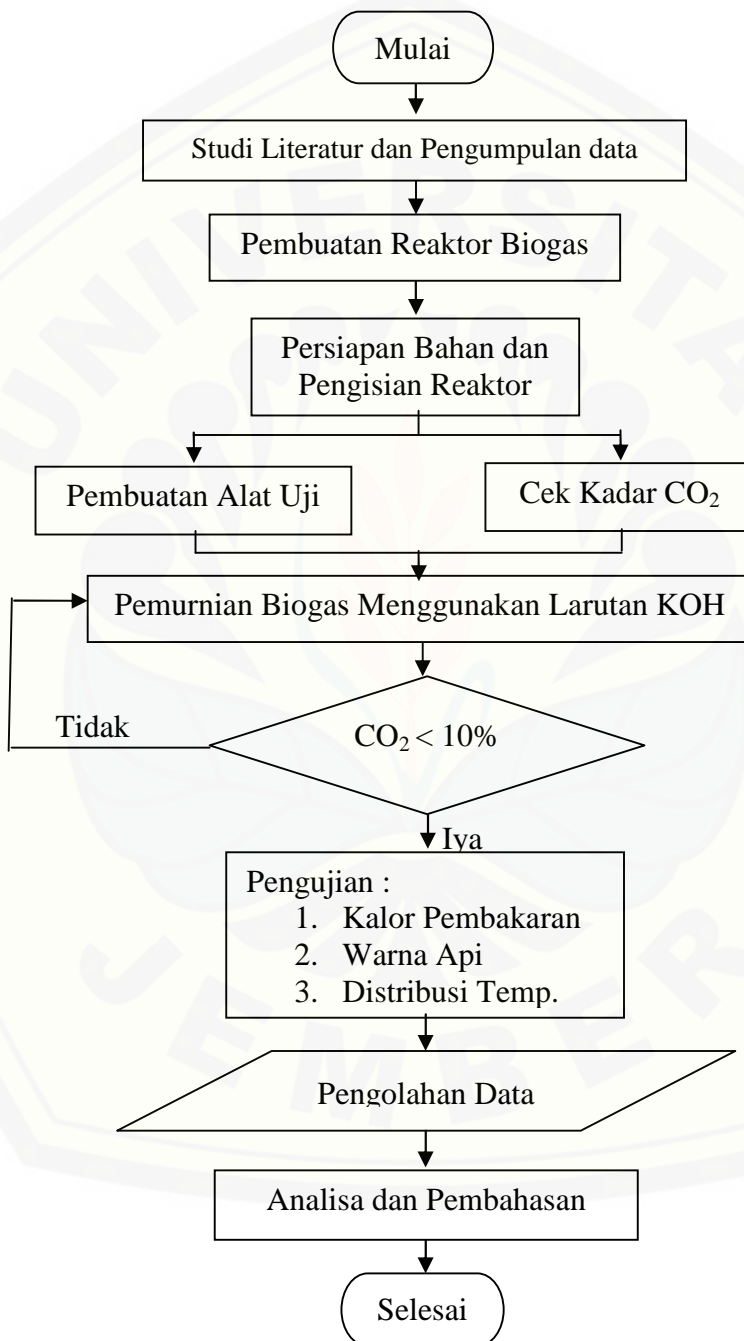
Tabel 3.6 Pengujian distribusi temperatur pada titik vertikal

No	Waktu	Jarak	Temperatur
1	1 menit	0 mm	
2	1 menit	4 mm	
3	1 menit	8 mm	
4	1 menit	12 mm	
5	1 menit	14 mm	
6	1 menit	18 mm	
dst.			

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.

3.9 Diagram Alir Penelitian

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



Gambar 3.8 Diagram alir pengujian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perbandingan biogas sebelum dan setelah purifikasi dengan larutan KOH 4M dengan karakteristik api biogas yang meliputi kalor pembakaran, warna api, dan distribusi temperatur dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Hasil penyerapan kalor pembakaran dan daya pembakaran pada biogas yang telah terpurifikasi mengalami peningkatan suhu dengan waktu pengujian yang sama dengan biogas sebelum purifikasi.
2. Dari proses pembakaran biogas menggunakan *bunsen burner* pada biogas sebelum purifikasi, persentase warna api biru sebesar 55,45% dan persentase warna merah 44,60%, sedangkan biogas setelah purifikasi persentase warna biru sebesar 69,67% dan persentase warna merah sebesar 32,01%. Peningkatan persentase warna biru sebesar 25,64% dan penurunan persentase warna merah sebesar 31,65%. Dengan meningkatnya kandungan CH₄ dan turunnya kandungan CO₂ pada biogas menyebabkan prosentase warna biru meningkat sedangkan prosentase warna merah berkurang karena pengaruh CO₂ yang bersiat inhibitor dan mendorong api agar berwarna merah telah berkurang.
3. Hasil pengujian ditribusi temperatur nyala api menghasilkan perbandingan temperatur biogas tanpa purifikasi dengan biogas yang telah dipurifikasi menggunakan KOH 4M pada bidang horizontal yang terdapat 5 titik pengukuran, pada bidang vertikal 6 titik pengukuran. Nilai temperatur biogas pada bidang horizontal maupun bidang vertikal mengalami kenaikan setelah dipurifikasi.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis dari hasil penelitian yaitu antara lain:

1. Untuk pengujian komposisi biogas, sebaiknya gunakan alat uji gas kromatografi, agar dapat mengetahui kandungan biogas dengan lebih akurat.
2. Pengujian warna api sebaiknya dilakukan ditempat yang gelap dan tertutup sehingga terhindar dari hembusan udara dan api mudah untuk dipotret.
3. Pengujian distribusi temperatur sebaiknya dilakukan didalam ruangan yang tertutup dan terhindar dari hembusan udara sehingga api mudah dilakukan pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, P. M. (2012). *Pemurnian Biogas Dari Kandungan Hidrogen Sulfida (H_2S) Dengan Naoh, $CuSO_4$, $Fe_2(SO_4)_3$ Dalam Packed Column Secara Kontinyu*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Aji, K., M. N. (T.Thn.). *Pengaruh Konsentrasi CO_2 Terhadap Karakteristik Pembakaran Premiks $CH_4/CO_2/O_2$ Pada Counterflow Burner*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Amaru, K. (2004). *Rancang Bangun Dan Uji Kinerja Biodigester Plastik Polyethylene Skala Kecil (Studi Kasus Ds. Cidatar Kec. Cisurupan Kab. Garut)*. Skripsi. Bandung: Universitas Padjadjaran
- Artayana, K. C. (2014). *Pengaruh Variasi Konverter Biogas Terhadap Unjuk Kerja Pada Mesin Genset Berkapasitas 1200 Watt*. Thesis. Denpasar: Universitas Udayana.
- Bayuseno, A. P. (2009). *Penerapan Dan Pengujian Model Teknologi Anaerob Digester Untuk Pengolahan Sampah Buah-buahan dari Pasar Tradisional*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Efriza, E.F. 2009. *Biogas Limbah Peternakan Sapi Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan*. Universitas Bengkulu: Bengkulu.
- Farizkaja, M. (2014). *Pengaruh Konsentrasi CO_2 Terhadap Karakteristik Pembakaran Difusi CH_4+CO_2 Pada Counterflow Burner*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Hadi, A. S. 2015. *Karakteristik Api Biogas Dengan Absorber KOH 1 M Dibandingkan Biogas Sebelum di Absorpsi*. Jember: Universitas Jember. *Mediastika*. 2013. *Hemat Energi dan Lestari Lingkungan Melalui Bangunan*. Yogyakarta: ANDI.
- Hamidi, I. W. (2011). *Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Jatmiko, S. 2015. *Karakteristik Thermal Biogas yang Dipurifikasi Larutan KOH 4 (Empat) Molaritas Dibandingkan Dengan Biogas Tanpa Purifikasi*. Jember: Universitas Jember.

- Maarif, F., Arif, J. (T.Thn.). *Absorpsi Gas Karbondioksida (CO₂) Dalam Biogas Dengan Larutan Naoh Secara Kontinyu*. 1-5.
- Mara, I. M. (2012). *Analisis Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) Dengan Larutan Naoh Terhadap Kualitas Biogas Kotoran Sapi*. Mataram: Universitas Mataram.
- Maryana, R., Satriyo K.W., Kismurtono, M. 2008. *Proses Pemurnian Metana dari Biogas Menggunakan Larutan NaOH Dan KOH*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik ITS, Surabaya.
- Masyhuri, A. P. (2013). *Rancang Bangun Sistem Penyerap Karbon Dioksida (CO₂) Pada Aliran Biogas Dengan Menggunakan Larutan Ca(OH)₂*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Novany, V. A. (2014). *Analisis Pengelolaan Persampahan Di Kelurahan Sindulang Satu Kecamatan Tuminting Kota Manado*. Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- Rahayu, D. P. (2009). *Pemanfaatan Kotoran Ternak Sapi Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan Beserta Aspek Sosio Kulturalnya*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rahman, A. N. (2007). *Pembuatan Biogas Dari Sampah Buah-Buahan Melalui Fermentasi Aerobik Dan Anaerobik*. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Ruslinda, S. I. (2012). *Studi Timbulan, Komposisi Dan Karakteristik Sampah Domestik Kota Bukittinggi*. Padang: Universitas Andalas.
- Sakti, N. C. (T.Thn.). *Pengaruh Pemanasan Membran, Perbedaan Tekanan Dan Waktu Permeasi Pada Pemisahan CO₂/CH₄ Untuk Pemurnian Biogas Menggunakan Membran Polyimide Dan Membran Campuran Polyimide-Zeolit*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sasongko, M. N. (2014). *Pengaruh Prosentase CO₂ Terhadap Karakteristik Pembakaran Difusi Biogas*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Sugiarto, T. O. (2013). *Purifikasi Biogas Sistem Kontinyu Menggunakan Zeolit*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Sunaryo. (2014). *Rancang Bangun Reaktor Biogas Untuk Pemanfaatan Limbah Kotoran Ternak Sapi Di Desa Limbangan Kabupaten Banjarnegara*. Wonosobo: Universitas Sains Al Quran (UNSIQ).

- Surono, S. M. (2014). *Peningkatan Kualitas Biogas Dengan Metode Absorpsi Dan Pemakaiannya Sebagai Bahan Bakar Mesin Generator Set (Genset)*. Universitas Janabadra.
- Taufikurrahman. (2011). *Rancangan Desain Pemilihan Reaktor Biogas*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Toko, M. N. (T.Thn.). *Pengaruh Prosentase CO_2 Terhadap Distribusi Temperatur Pembakaran Difusi CH_4-CO_2 Pada Counterflow Burner*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Uwar, I. D. (2012). *Karakteristik Pembakaran CH_4 Dengan Penambahan CO_2 Pada Model Helleshaw Cell Pada Penyalaan Bawah*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Wahyudi, I. W. (2012). *Pengaruh Kadar Karbondioksida (CO_2) Dan Nitrogen (N_2) Pada Karakteristik Pembakaran Gas Metana*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Widhiyanuriyawan, N. H. (2014). *Purifikasi Biogas Dengan Variasi Ukuran Dan Massa Zeolit Terhadap Kandungan CH_4 Dan CO_2* . Malang: Universitas Brawijaya.
- Wiratmana, I. G. (2012). *Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Bahan Kering Terhadap Produksi Dan Nilai Kalor Biogas Kotoran Sapi*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Yuliani, C., Nugraini, P. (2014). *Pengolahan Sampah Organik (Buah - Buahan) Pasar Tugu Menjadi Biogas Dengan Menggunakan Starter Kotoran Sapi Dan Pengaruh Penambahan Urea Secara Anaerobik Pada Reaktor Batch*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Trisakti Gd. Hery Hartanto, Teknik Mesin - Fti - Usakti. Jakarta.
- Zuhdi, U. (2014). *Penyerapan Kandungan CO_2 Biogas Dari Digester Tipe Fix Dome Dan Digester Tipe Plastik Secara Kontinyu Dengan Mikroalga (*Chlorella Sp.*)*. Malang: Universitas Brawijaya.



Lampiran A: Perhitungan Kalor
Pembakaran

A. Kalor pembakaran

Dengan menggunakan rata-rata perubahan suhu setiap kelipatan waktu 30 detik, maka nilai rata-rata untuk kalor pembakaran dapat diketahui. Berikut merupakan rumus untuk mencari kalor yang diserap oleh air:

$$Q = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{1000} \text{ (kJ)}$$

Dimana diketahui massa jenis air adalah 1000 kg/m^3 , dengan begitu massa untuk 240 mililiter air adalah 0,24 kg dan kalor jenis air adalah 4200 (joule/kilogram $^{\circ}$ C). Maka besar kalor yang diserap oleh air setiap kelipatan waktu sebesar 30 detik dapat diketahui.

Kalor Pembakaran dalam waktu 150 detik dengan pengambilan data setiap 30 detik

Sebelum Purifikasi

m air = 240 mililiter atau 0,24 kg, c air = 2400 j / kg

1. $Q = m \cdot c \cdot T$
 $= 0,24 \cdot 4200 \cdot (30,77-25,5)$
 $= 1008 \cdot 5,27$
 $= 5,31 \text{ KJ/kg}$
2. $Q = m \cdot c \cdot T$
 $= 0,24 \cdot 4200 \cdot (36,99-25,5)$
 $= 1008 \cdot 11,49$
 $= 11,58 \text{ kJ/kg}$
3. $Q = m \cdot c \cdot T$
 $= 0,24 \cdot 4200 \cdot (42,76-25,5)$
 $= 1008 \cdot 17,26$
 $= 17,39 \text{ kJ/kg}$
4. $Q = m \cdot c \cdot T$
 $= 0,24 \cdot 4200 \cdot (47,6-25,5)$
 $= 1008 \cdot 22,1$

$$\begin{aligned} &= 22,27 \text{ kJ/kg} \\ 5. &= m \cdot c \cdot T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (50,05-25,5) \\ &= 1008 \cdot 24,55 \\ &= 24,74 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Sesudah Purifikasi

$$\begin{aligned} 1. Q &= m \cdot c \cdot T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (34,17-25,5) \\ &= 1008 \cdot 8,67 \\ &= 8,73 \text{ kJ/kg} \\ 2. &= m \cdot c \cdot T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (46,02-25,5) \\ &= 1008 \cdot 20,52 \\ &= 20,68 \text{ kJ/kg} \\ 3. &= m \cdot c \cdot T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (54,33-25,5) \\ &= 1008 \cdot 28,83 \\ &= 29,6 \text{ kJ/kg} \\ 4. &= m \cdot c \cdot T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (65,68-25,5) \\ &= 1008 \cdot 40,18 \\ &= 40,50 \text{ kJ/kg} \\ 5. &= m \cdot c \cdot T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (70,99 -25,5) \\ &= 1008 \cdot 45,49 \\ &= 45,85 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

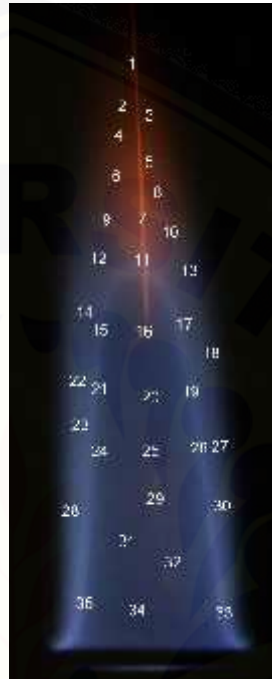


Lampiran B: Uji Warna Api

B. Uji Warna Api

1. Sebelum Purifikasi

a. Pengulangan 2



Gambar B.1 Warna Api dan Titik Api

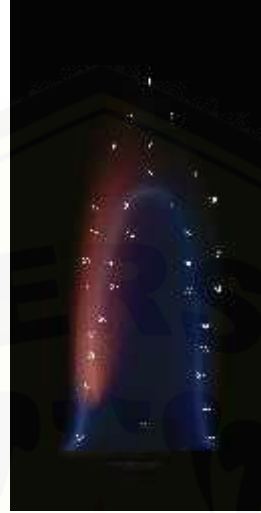
Tabel B.1 Nilai RGB pengulangan 2

titik	Merah	Hijau	Biru	Merah / 255	Biru /255
1	55	17	6	0,215686	0,023529
2	46	12	3	0,180392	0,011765
3	40	13	4	0,156863	0,015686
4	55	17	4	0,215686	0,015686
5	83	33	22	0,32549	0,086275
6	94	40	28	0,368627	0,109804
7	130	58	46	0,509804	0,180392
8	102	50	39	0,4	0,152941
9	85	53	58	0,333333	0,227451
10	92	57	53	0,360784	0,207843
11	141	81	89	0,552941	0,34902
12	55	52	69	0,215686	0,270588
13	38	41	60	0,14902	0,235294

14	48	55	81	0,188235	0,317647
15	53	67	102	0,207843	0,4
16	51	52	83	0,2	0,32549
17	52	66	101	0,203922	0,396078
18	33	49	74	0,129412	0,290196
19	58	75	118	0,227451	0,462745
20	41	50	83	0,160784	0,32549
21	48	62	99	0,188235	0,388235
22	55	69	106	0,215686	0,415686
23	55	70	113	0,215686	0,443137
24	55	72	116	0,215686	0,454902
25	41	50	81	0,160784	0,317647
26	68	81	123	0,266667	0,482353
27	41	52	82	0,160784	0,321569
28	53	72	112	0,207843	0,439216
29	46	49	82	0,180392	0,321569
30	42	58	92	0,164706	0,360784
31	36	49	81	0,141176	0,317647
32	44	48	83	0,172549	0,32549
33	61	77	129	0,239216	0,505882
34	39	45	81	0,152941	0,317647
35	71	91	150	0,278431	0,588235
Jumlah				8,262745	10,40392

Dari tabel diatas didapatkan bahwa total warna dari api Pengulangan 2. Didapatkan api merah 44,73% dan api biru 55,73 %.

b. Pengulangan 3



Gambar B.2 Warna Api dan Titik Api

Tabel B.2 Nilai RGB Pengulangan 3

titik	Merah	Hijau	Biru	Merah / 255	Biru /255
1		9	9	0	0,035294
2	24	19	25	0,094118	0,098039
3	44	24	26	0,172549	0,101961
4	36	34	45	0,141176	0,176471
5	52	37	44	0,203922	0,172549
6	36	32	46	0,141176	0,180392
7	58	62	89	0,227451	0,34902
8	59	34	37	0,231373	0,145098
9	77	59	75	0,301961	0,294118
10	49	51	76	0,192157	0,298039
11	52	56	83	0,203922	0,32549
12	83	60	63	0,32549	0,247059
13	99	54	57	0,388235	0,223529
14	40	42	67	0,156863	0,262745
15	50	55	87	0,196078	0,341176
16	43	56	90	0,168627	0,352941
17	40	42	67	0,156863	0,262745
18	101	47	37	0,396078	0,145098

19	123	55	44	0,482353	0,172549
20	161	91	91	0,631373	0,356863
21	178	103	107	0,698039	0,419608
22	199	120	105	0,780392	0,411765
23	29	32	67	0,113725	0,262745
24	32	45	89	0,12549	0,34902
25	51	20	113	0,2	0,443137
26	50	66	100	0,196078	0,392157
27	32	37	66	0,12549	0,258824
28	23	38	71	0,090196	0,278431
29	68	38	38	0,266667	0,14902
30	123	79	92	0,482353	0,360784
31	164	97	106	0,643137	0,415686
32	163	98	102	0,639216	0,4
33	181	107	106	0,709804	0,415686
34	47	61	110	0,184314	0,431373
35	35	48	82	0,137255	0,321569
Jumlah				10,20392	9,85098

Dari tabel diatas didapatkan bahwa total warna dari api Pengulangan 3. Didapatkan api merah 50,87% dan api biru 49,12%.

2. Setelah Purifikasi
 a. Pengulangan 2



Gambar B.3 Warna Api dan Titik Api

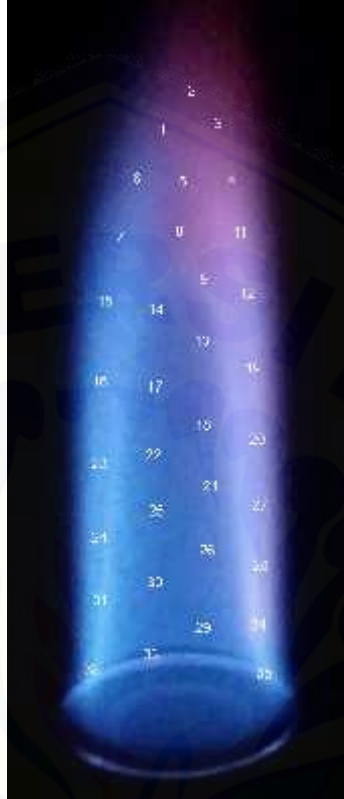
Tabel B.3 Nilai RGB Pengulangan 2

titik	Merah	Hijau	Biru	Merah / 255	Biru /255
1	99	67	142	0,388235	0,556863
2	99	46	102	0,388235	0,4
3	120	62	121	0,470588	0,47451
4	137	85	87	0,537255	0,341176
5	138	93	74	0,541176	0,290196
6	87	91	178	0,341176	0,698039
7	83	80	121	0,32549	0,47451
8	136	101	183	0,533333	0,717647
9	153	115	190	0,6	0,745098
10	161	143	225	0,631373	0,882353
11	11	118	208	0,043137	0,815686
12	77	110	203	0,301961	0,796078
13	68	125	214	0,266667	0,839216

14	80	111	202	0,313725	0,792157
15	75	132	221	0,294118	0,866667
16	80	150	235	0,313725	0,921569
17	69	112	206	0,270588	0,807843
18	92	119	204	0,360784	0,8
19	161	158	239	0,631373	0,937255
20	151	154	231	0,592157	0,905882
21	93	127	216	0,364706	0,847059
22	56	111	204	0,219608	0,8
23	84	161	243	0,329412	0,952941
24	94	180	255	0,368627	1
25	55	116	209	0,215686	0,819608
26	71	122	213	0,278431	0,835294
27	150	161	240	0,588235	0,941176
28	152	168	245	0,596078	0,960784
29	42	116	206	0,164706	0,807843
30	46	112	206	0,180392	0,807843
31	103	196	255	0,403922	1
32	97	190	255	0,380392	1
33	91	156	248	0,356863	0,972549
34	168	192	254	0,658824	0,996078
35	110	175	255	0,431373	1
Jumlah				13,68235	27,80392

Dari tabel diatas didapatkan bahwa total warna dari api Pengulangan 2. Didapatkan prosentase api merah 32,98% dan api biru 67,01%.

b. Pengulangan 3



Gambar B.4 Warna Api dan Titik Api

Tabel B.4 Nilai RGB Pengulangan 3

titik	Merah	Hijau	Biru	Merah / 255	Biru / 255
1	90	40	91	0,352941	0,356863
2	79	27	75	0,309804	0,294118
3	68	37	94	0,266667	0,368627
4	42	36	100	0,164706	0,392157
5	131	83	159	0,513725	0,623529
6	100	54	119	0,392157	0,466667
7	101	69	142	0,396078	0,556863
8	96	88	171	0,376471	0,670588
9	123	90	172	0,482353	0,67451
10	140	103	198	0,54902	0,776471
11	59	69	159	0,231373	0,623529

12	57	89	199	0,223529	0,780392
13	123	109	198	0,482353	0,776471
14	133	109	250	0,521569	0,980392
15	97	118	109	0,380392	0,427451
16	85	131	227	0,333333	0,890196
17	126	120	208	0,494118	0,815686
18	61	104	196	0,239216	0,768627
19	35	86	190	0,137255	0,745098
20	52	113	204	0,203922	0,8
21	42	111	209	0,164706	0,819608
22	53	116	211	0,207843	0,827451
23	86	151	241	0,337255	0,945098
24	91	165	268	0,356863	1,05098
25	64	135	289	0,25098	1,133333
26	46	125	218	0,180392	0,854902
27	91	171	287	0,356863	1,12549
28	44	121	230	0,172549	0,901961
29	32	111	240	0,12549	0,941176
30	66	143	235	0,258824	0,921569
31	86	172	247	0,337255	0,968627
32	90	184	278	0,352941	1,090196
33	77	159	268	0,301961	1,05098
34	61	150	232	0,239216	0,909804
35	64	135	227	0,25098	0,890196
Jumlah				10,9451	27,21961

Dari tabel diatas didapatkan bahwa total warna dari api Pengulangan 3. Didapatkan prosentase api merah 28,67% dan api biru 71,32%.



Lampiran C: Uji Distribusi Temperatur

C. Distribusi Temperatur

1. Data Distribusi temperatur (*Horizontal*)

Tabel C.1 Nilai temperatur sebelum purifikasi

Jarak	percobaan 1	percobaan 2	percobaan 3	Rata - rata
Titik 1 (13)	93,5	102,9	91,3	95,90
Titik 2 (11)	124,4	132,8	128,4	132,03
Titik 3 (9)	182,2	176,7	179,6	179,50
Titik 4 (7)	262	258,2	249,8	256,66
Titik 5 (5)	190,1	197,7	201,8	196,66

Tabel C.2 Nilai temperatur setelah purifikasi

Jarak	percobaan 1	percobaan 2	percobaan 3	Rata - rata
Titik 1 (13)	113,9	121,8	118,4	118,03
Titik 2 (11)	176,7	160,1	170,2	169,00
Titik 3 (9)	295,1	282,5	288,9	288,83
Titik 4 (7)	353,9	345,6	330,7	343,40
Titik 5 (5)	239,9	249,8	230,7	240,13

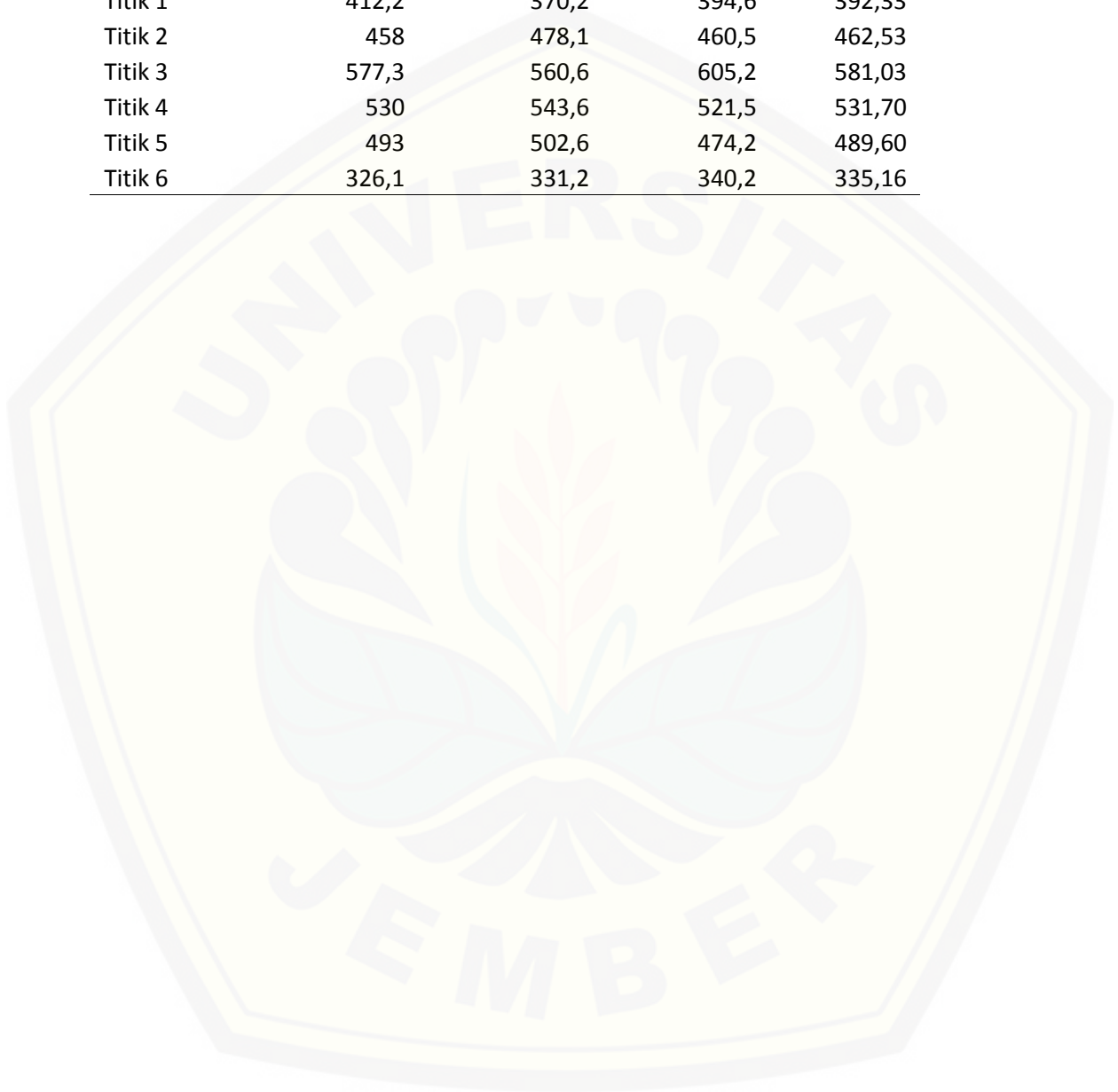
2. Data Distribusi temperatur (*Vertikal*)

Tabel C.3 Nilai temperatur sebelum purifikasi

Jarak	percobaan 1	percobaan 2	percobaan 3	rata - rata
Titik 1	214,4	273,3	233	240,33
Titik 2	315,2	332,5	323,5	329,30
Titik 3	422,7	452	447,3	440,66
Titik 4	412,3	431,8	425,3	423,13
Titik 5	402,3	399,7	418,7	406,90
Titik 6	251,3	241,7	261,9	251,63

Tabel C.4 Nilai temperatur setelah purifikasi

jarak	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	rata - rata
Titik 1	412,2	370,2	394,6	392,33
Titik 2	458	478,1	460,5	462,53
Titik 3	577,3	560,6	605,2	581,03
Titik 4	530	543,6	521,5	531,70
Titik 5	493	502,6	474,2	489,60
Titik 6	326,1	331,2	340,2	335,16





Lampiran D: Gambar Alat Dan Bahan
Penelitian

D. GAMBAR BAHAN DAN ALAT PENELITIAN



Reaktor Biogas



Gambar Alat Purifikasi



Gambar *bunsen burner*



Gambar Sistem Keluaran Gas Pada Pengujian Kalor Pembakaran



Gambar Pengujian Kalor Pembakaran



Gambar pengambilan foto api



Gambar Kompor Biogas

