



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

SKRIPSI

Oleh

Alvin Surya Ramadhan

NIM 121910101067

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2016



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

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

Alvin Surya Ramadhan

NIM 121910101067

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2016

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua tercinta bapak Imam Suchemi dan ibu Siti Aisyah yang telah memberikan dan melakukan segalanya untuk penulis;
2. Ahmad Sofwan H dan Anang Tri W beserta keluarga besar yang selalu memberi semangat, motivasi, pelajaran-pelajaran berharga, serta doa-doanya yang selalu terucap untuk penulis;
3. Guru-guruku sejak Sekolah Dasar sampai dengan Perguruan Tinggi;
4. Bapak Aris Zainul muttaqin, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing dalam penyusunan skripsi ini. Bapak Boy Arief F., S.T., M.T. PhD dan Bapak Sumarji, 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 2012 “Mesin Rolas” yang senantiasa memberikan motivasi, bimbingan, arahan serta dukungan selama ini. Semoga kalian sukses selalu dan diberi lindungan Allah SWT;
6. Teman-teman penelitian biogas yang merasakan susah senang bersama selama penelitian.
7. Teman-teman “BALAIDESA” yang terkadang membantu dan terkadang mengganggu jalannya penelitian.
8. 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)

“Pendidikan merupakan senjata paling ampuh yang bisa kamu gunakan untuk merubah dunia" (Nelson Mandela)

“Pendidikan bukanlah suatu proses untuk mengisi wadah yang kosong, akan tetapi pendidikan adalah suatu proses menyalakan api pikiran” (W.B. Yeats)

“Kemenagan yang seindah-indahnya dan sesukar-sukarnya yang boleh direbut oleh manusia ialah menundukan diri sendiri” (R.A Kartini)

“Tetaplah menjaga harapan anda setinggi-tingginya dan tundukanlah kepala serendah mungkin untuk berdoa”. (A.S. Ramadhan)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alvin Surya Ramadhan

NIM : 121910101067

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul *“ANALISIS KARAKTERISTIK API PEMBAKARAN BIOGAS LIMBAH RUMAH TANGGA 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, 18 Oktober 2016

Yang menyatakan,

(Alvin Surya Ramadhan)

NIM 121910101067

SKRIPSI

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

Oleh

Alvin Surya Ramadhan

NIM 121910101067

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.

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

PENGESAHAN

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

hari, tanggal : Selasa, 18 oktober 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

DPU,

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.
NIP 19681207 1995121 1 002

Penguji I,

Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19740901 199903 1 002

DPA,

Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.
NIP 19711114 199903 1 002

Penguji II,

Sumarji, S.T., M.T.
NIP 19680202 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 Rumah Tangga dengan Purifikasi KOH 4M; Alvin Surya Ramadhan, 121910101067; 2016; 52 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

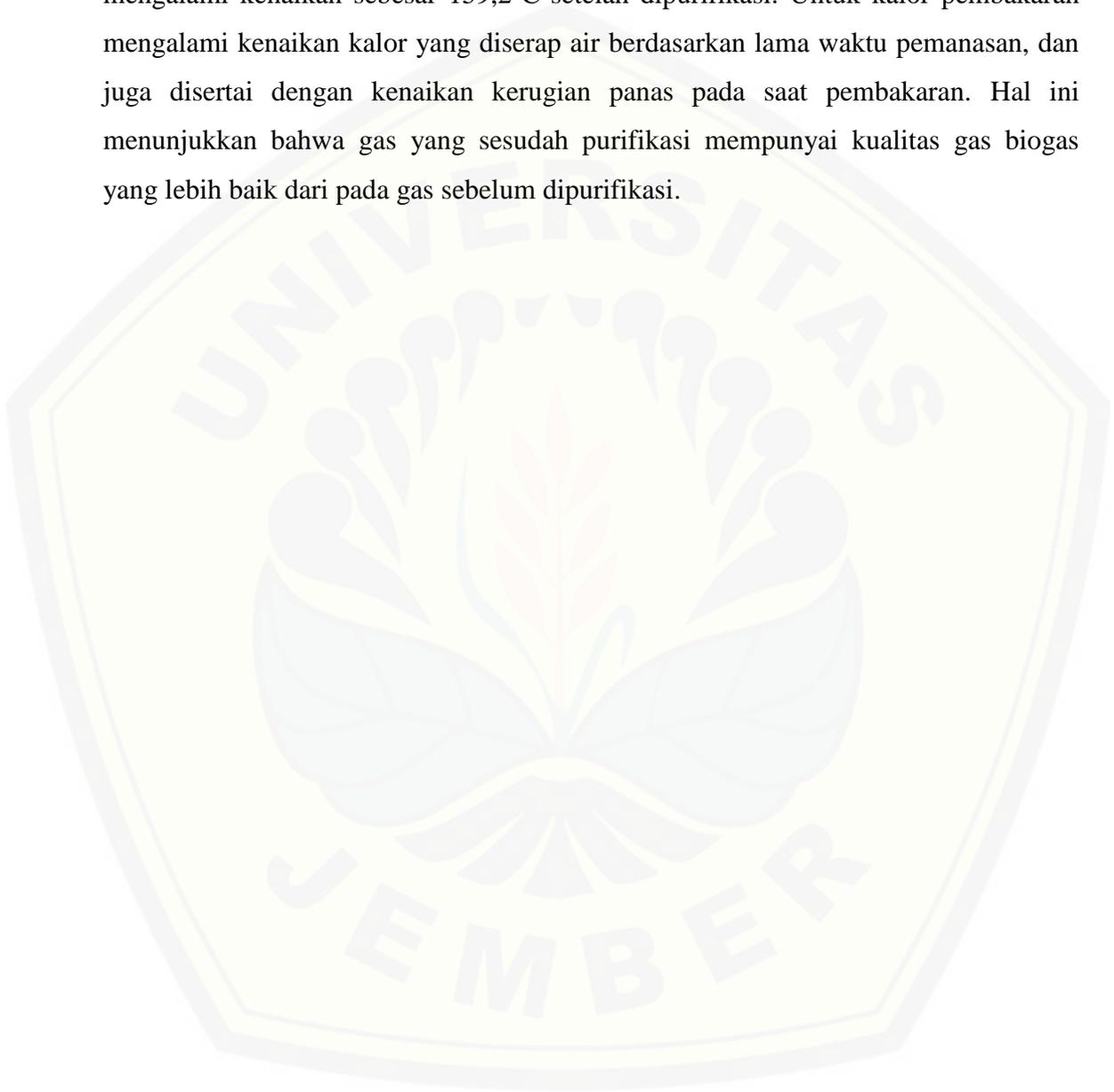
Biogas adalah suatu energi alternatif yang berasal dari hasil pembusukan limbah organik yang menghasilkan sebagian besar gas metana (CH_4) dan gas karbondioksida (CO_2).

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

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Universitas Jember, dengan membandingkan hasil pembakaran api biogas limbah rumah tangga dengan yang sudah dipurifikasi dengan KOH. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental yakni metode yang digunakan untuk membandingkan pengaruh purifikasi KOH 4M pada warna api dan suhu pembakaran biogas limbah rumah tangga. Data dianalisis dengan menggunakan metode deskriptif di mana data dikumpulkan, disusun dan dianalisa sehingga memberikan keterangan yang lengkap hasil dari masing-masing data yang diambil, hasil meliputi Prosentase warna api, temperatur api dititik Horizontal dan Vertikal, Kalor pembakaran biogas limbah rumah tangga.

diketahui bahwa kandungan CO_2 sebelum purifikasi sebesar 43,5%, sedangkan kandungan CO_2 pada saat dilakukan purifikasi sebanyak tiga kali dengan menggunakan KOH 4 molar menjadi 0,1%. Dari proses pembakaran biogas menggunakan *bunsen burner* pada biogas sebelum purifikasi Peningkatan persentase warna biru sebesar 13,52% dan penurunan persentase warna merah sebesar 13,52% dikarenakan pengaruh komposisi CH_4 pada biogas yang membuat api semakin biru

dan CO₂ membuat api semakin merah. Nilai temperatur tertinggi biogas pada bidang horizontal mengalami kenaikan sebesar 116,3°C °C, dan pada bidang vertikal mengalami kenaikan sebesar 159,2°C setelah dipurifikasi. Untuk kalor pembakaran mengalami kenaikan kalor yang diserap air berdasarkan lama waktu pemanasan, dan juga disertai dengan kenaikan kerugian panas pada saat pembakaran. Hal ini menunjukkan bahwa gas yang sesudah purifikasi mempunyai kualitas gas biogas yang lebih baik dari pada gas sebelum dipurifikasi.



PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Analisa Karakteristik Api Pembakaran Biogas Limbah Rumah Tangga dengan Purifikasi 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, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah henti dalam hidup ini.
2. Bapak Aris Zainul muttaqin, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing dalam penyusunan skripsi ini. Bapak Boy Arief F., S.T., M.T. PhD dan Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah banyak memberi kritik dan saran yang membangun.
3. Bapak Imam Suchemi dan Ibu Siti Aisyah 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. Ahmad Sofwan H dan Anang Tri W berserta keluarga besar yang selalu memberi semangat, motivasi, pelajaran-pelajaran berharga, serta doa-doanya yang selalu terucap untuk penulis;
5. Guru-guruku sejak Sekolah Dasar sampai dengan Perguruan Tinggi;
6. Bapak Dosen dan seluruh staf Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
7. Satu tim skripsi biogas yang telah banyak membantu dan memberi masukan tentang penulisan dan penyusunan skripsi ini.

8. Dulur-dulur Teknik Mesin 2012 “Mesin Rolas”, 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;
9. Sahabat-sahabat “Balaidesa” penulis yang selalu mendukung dan saling melengkapi dalam indahnya persahabatan hingga saat ini;
10. 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, 18 Oktober 2016

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.....	5
1.4 Manfaat.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Energi	6
2.2 Sampah Organik.....	6
2.3 Biogas.....	8
2.3.1 Proses Pembentukan Biogas	10
2.3.2 Pembuatan Biogas	10
2.3.3 Penentuan Volume dan Komposisi Biogas	11
2.3.4 Proses Pemurnian Biogas	11

2.4 Karakteristik Nyala Api	14
2.4.1 <i>Premix Flame</i>	15
2.4.2 <i>Diffusion Flame (Non-Premix)</i>	15
2.4.3 Api Laminer	16
2.4.5 Api Turbulen	16
2.4.6 Warna Api	17
2.4.7 Temperatur Pembakaran	18
2.5 Hipotesa.....	19
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Metode Penelitian.....	20
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	20
3.2.1 Tempat Penelitian.....	20
3.2.2 Waktu Penelitian	20
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	20
3.4 Variabel Penelitian	22
3.4.1 Variabel Bebas	22
3.4.2 Variabel Terikat.....	22
3.4.3 Tahapan Kontrol.....	23
3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	23
3.6 Pengamatan yang Dilakukan.....	23
3.7 Tahap Penelitian dan Prosedur Pengujian	23
3.7.1 Tahap Pembuatan Reaktor Biogas	24
3.7.2 Tahap Pembuatan Alat Purifikas.....	24
3.7.3 Tahap Penyiapan KOH.....	25
3.7.4 Tahap Pemurnian Biogas.....	25
3.8 Tahap Pengujian.....	26
3.8.1 Pengujian Kalor Pembakaran Api Biogas	26
3.8.2 Pengujian Warna Api	30
3.8.3 Pengujian Distribusi Temperatur	31

3.10 Diagram Alir Penelitian.....	32
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Hasil Pembahasan.....	34
4.1.1 Komposisi Biogas	34
4.1.2 Warna Api Biogas	35
4.1.3 Distribusi Temperatur	41
4.1.4 Kalor Pembakaran	45
4.1.5 Kalor yang Hilang	48
BAB 5. PENUTUP.....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penggunaan biogas untuk berbagai aplikasi.....	9
Gambar 2.2 Konfigurasi <i>absorber-stipper</i>	12
Gambar 2.3 Nyala api	15
Gambar 2.4 Arus laminar vs arus turbulent	16
Gambar 2.5 Foto api gas CH ₄ -CO ₂ dengan variasi penambahan CO ₂	17
Gambar 2.6 Distribusi temperatur api difusi <i>counterflow flame</i>	18
Gambar 2.7 Grafik hubungan prosentase CO ₂ pada bahan bakar terhadap temperatur	19
Gambar 3.1 Reaktor Biogas	24
Gambar 3.2 Alat purifikasi.....	24
Gambar 3.3 Skema pemurnian biogas.....	26
Gambar 3.4 Skema pengujian kalor pembakaran	27
Gambar 3.5 Rangkaian hambatan thermal.....	29
Gambar 3.6 Bunsen burner	30
Gambar 3.7 Contoh pengambilan data temperatur secara horizontal dan vertikal	32
Gambar 3.8 Diagram alir pengujian pada pemurnian biogas	33
Gambar 4.1 Kandungan Komposisi	35
Gambar 4.2 Warna api dan titik api biogas sebelum purifikasi	36
Gambar 4.3 Warna api dan titik api biogas purifikasi 4M.....	38
Gambar 4.4 Warna api biogas sebelum dan purifikasi 4M.....	41

Gambar 4.5 Pengukuran temperature api padatiap titik.....	43
Gambar 4.6 Grafik distribusi temperature titik horizontal sebelum dan sesudah purifikasi 4M.....	43
Gambar 4.7 Grafik distribusi temperature titik vertical sebelum dan sesudah purifikasi 4M	43
Gambar 4.8 Grafik kalor yang diserap air.....	47
Gambar 4.9 Panas yang hilang biogas non purifikasi dan purifikasi 4M	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Sampah Perkotaan di Kota Bandung (Indonesia).....	7
Tabel 4.1	Presentase komposisi biogas.....	34
Tabel 4.2	Nilai RGB warna api biogas sebelum purifikasi percobaan 1	36
Tabel 4.3	Total presentase warna api sebelum purifikasi	38
Tabel 4.4	Nilai RGB warna api biogas setelah purifikasi percobaan 1	38
Tabel 4.5	Total prosentase warna api setelah purifikasi	40
Tabel 4.6	Rata-rata warna api biogas sebelum dan sesudah purifikasi 4M.....	40
Tabel 4.7	Perbandingan distribusi temperature biogas (Horizontal).....	42
Tabel 4.8	Perbandingan distribusi temperature biogas (vertikal)	42
Tabel 4.9	Perubahan suhu pada proses memanaskan air dengan menggunakan biogas sebelum purifikasi.....	46
Tabel 4.10	Perubahan suhu pada proses memanaskan air dengan menggunakan biogas purifikasi 4M.....	46
Tabel 4.11	Kalor yang diserap air	47
Tabel 4.12	Data temperature sebelum purifikasi	48
Tabel 4.13	Data temperature setelah purifikasi	48
Tabel 4.14	Kerugian panas.....	50

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. Cadangan dan produksi bahan bakar minyak bumi (fosil) di Indonesia mengalami penurunan 10% setiap tahunnya, sedangkan tingkat konsumsi minyak rata-rata naik 6% per tahun. Permasalahan yang terjadi di Indonesia saat ini yaitu produksi bahan bakar minyak bumi tidak dapat mengimbangi besarnya konsumsi bahan bakar minyak, sehingga Indonesia melakukan impor minyak untuk memenuhi kebutuhan energi bahan bakar minyak setiap harinya. Hal ini dikarenakan tidak adanya perkembangan produksi pada kilang minyak dan tidak ditemukannya sumur minyak baru. Sebagai solusi permasalahannya adalah diperlukannya diversifikasi energi selain minyak bumi mendistribusikan secara merata sarana-sarana pemenuhan kebutuhan pokok manusia.

Setiap hari, sampah dihasilkan oleh setiap orang. Berdasarkan data Dinas Kebersihan DKI Jakarta dan riset dari Waste4Change, di Jakarta saja dihasilkan 6000 ton sampah perharinya. Jumlah ini setara dengan bobot 25 ekor paus biru, mamalia terbesar yang ada di bumi. Sampah tersebut sebagian besar merupakan sampah organik (54%), dan sisanya adalah sampah kertas (15%), plastik (14%), serta kaca, logam, dan lainnya. Memilah sampah bisa dilakukan dengan memisahkan antara sampah organik dengan sampah nonorganik. Antara sampah yang mudah membusuk dengan sampah yang sulit membusuk. Sampah organik dan yang mudah membusuk diantaranya adalah sampah dapur seperti sayuran, buah, atau sisa makanan, serta sampah kebun seperti dedaunan, rumput, ranting, dan lain-lain. Sedangkan sampah nonorganik atau yang sulit membusuk seperti plastik, kaca, kertas, kardus, dan logam.

Setelah dipisahkan, sampah organik dapat dibuat campuran untuk bahan membuat biogas.

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 terkelola 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 $4800 - 6700 \text{ Kkal/m}^3$, untuk gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 Kkal/m^3 (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).

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

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).

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).

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). Dengan adanya kandungan CO_2 di dalam suatu reaksi pembakaran mengakibatkan penurunan batas mampu nyala dari campuran bahan bakar baik pada campuran miskin maupun campuran kaya. Penambahan CO_2 berpengaruh besar terhadap warna nyala api biru dan api kuning. Hal ini terlihat jelas pada campuran kaya, dimana banyak ditemukan api kuning yang lebih terang. Pola api yang terbentuk terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya konsentrasi CO_2 dari bahan bakar menyebabkan api semakin gelap. Karakteristik api menunjukkan bahwa api biru akan terlihat lebih lebar dan dominan ketika konsentrasi CO_2 pada bahan bakar semakin tinggi. Hal ini dipengaruhi oleh campuran api yang miskin bahan bakar maka api kuning hanya sedikit yang terbentuk. Di sisi yang lain, pengaruh variasi CO_2 menunjukkan bahwa api dengan variasi CO_2 yang lebih besar akan terlihat api kuning semakin melebar seiring meningkatnya CO_2 . Pada pengamatan kondisi extinction dapat disimpulkan pula bahwa ketika konsentrasi CO_2 dalam bahan bakar ditambah maka api akan lebih cepat padam. Sifat inhibitor CO_2 pada bahan bakar menyebabkan terganggunya proses pembakaran yang terlihat pada batas minimum O_2 pada mampu nyala api (Farizkaraja, 2009)

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh *purifikasi* KOH 4 M terhadap suhu api biogas sampah rumah tangga.
2. Bagaimana pengaruh *purifikasi* KOH 4 M terhadap warna api biogas sampah rumah tangga.
3. Bagaimana pengaruh *purifikasi* KOH 4 M terhadap kalor pembakaran api biogas sampah rumah tangga pada kompor biogas.

1.3 Tujuan

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

1. Mengetahui suhu api biogas sampah rumah tangga dengan *purifikasi* KOH 4 M maupun tanpa *purifikasi*.
2. Mengetahui warna api biogas sampah rumah tangga dengan *purifikasi* KOH 4 M maupun tanpa *purifikasi*.
3. Mengetahui kalor pembakaran api biogas sampah rumah tangga dengan *purifikasi* KOH 4 M maupun tanpa *purifikasi*.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui prinsip kerja biogas dari awal pembuatan hingga pengujian.
2. Memberikan pengetahuan karakteristik api biogas, purifikasi, dan kepedulian pemanfaatan sampah.
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. Konstruksi reaktor dianggap tanpa kebocoran.
2. Kondisi suhu dan kelembaban tetap, dan pengaruh angin diabaikan.
3. Tekanan dari reaktor biogas pada proses purifikasi dianggap tidak berpengaruh.
4. Komposisi biogas setiap pengujian dianggap sama.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi

Energi sangat diperlukan dalam menjalankan aktivitas perekonomian Indonesia, baik untuk kebutuhan konsumsi maupun untuk aktivitas produksi berbagai sektor perekonomian. Sebagai sumberdaya alam, energi harus dimanfaatkan sebesar-besarnya bagi kemakmuran masyarakat dan pengelolaannya harus mengacu pada asas pembangunan berkelanjutan. Dari aspek penyediaan, Indonesia merupakan negara yang kaya dengan sumberdaya energi baik energi yang bersifat *unrenewable resources* maupun yang bersifat *renewable resources*. Namun demikian, eksplorasi sumberdaya energi lebih banyak difokuskan pada energi fosil yang bersifat *unrenewable resources* sedangkan energi yang bersifat *renewable* relatif belum banyak dimanfaatkan. Kondisi ini menyebabkan ketersediaan energi fosil, khususnya minyak mentah, semakin langka yang menyebabkan Indonesia saat ini menjadi net importir minyak mentah dan produk-produk turunannya. Menurut Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral (2009) cadangan energi minyak mentah Indonesia hanya dapat diproduksi atau akan habis dalam kurun waktu 22.99 tahun, gas selama 58.95 tahun dan batubara selama 82.01 tahun. Hasil perhitungan ini menggunakan asumsi bahwa tidak ditemukan lagi ladang-ladang baru sebagai sumber energi fosil. Cadangan energi dapat meningkat (bertahan lama) apabila ditemukan ladang-ladang yang baru (Elinur dkk, 2010).

2.2 Sampah Organik

Sampah merupakan material sisa yang tidak diinginkan setelah berakhirnya suatu proses. Sampah merupakan konsep buatan manusia, dalam proses-proses alam tidak ada sampah, yang ada hanya produk-produk yang tak bergerak. Sampah dapat berada pada setiap fase materi: padat, cair, atau gas. Ketika dilepaskan dalam dua fase yang disebutkan terakhir, terutama gas, sampah dapat dikatakan sebagai emisi. Emisi

biasa dikaitkan dengan polusi. Dalam kehidupan manusia, sampah dalam jumlah besar datang dari aktivitas industri (dikenal juga dengan sebutan limbah), misalnya pertambangan, manufaktur, dan konsumsi. Hampir semua produk industri akan menjadi sampah pada suatu waktu, dengan jumlah sampah yang kira-kira mirip dengan jumlah konsumsi (Widyatmoko dan Moerdjoko. 2002).

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.

Tabel 2.1 Komposisi Sampah Perkotaan di Kota Bandung (Indonesia)

NO	Komposisi	Tahun			
		1978	1985	1988	1994
1	Sampah Organik	80,45	77	73,35	63,56
2	Kertas	7,7	7,96	9,74	10,42
3	Tekstil	1	0,96	0,45	0,95
4	Plastic	0,23	0,79	0,43	1,45
5	Pecah belah	1,93	1,14	1,32	1,7
6	Logam	3,89	8,82	8,56	9,76
7	Lain-lain	5,23	3,41	1,32	12,16

Sumber : Pengelolaan Sampah Kota Bandung 1998/1999 : (2000)

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 terkelola 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 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.

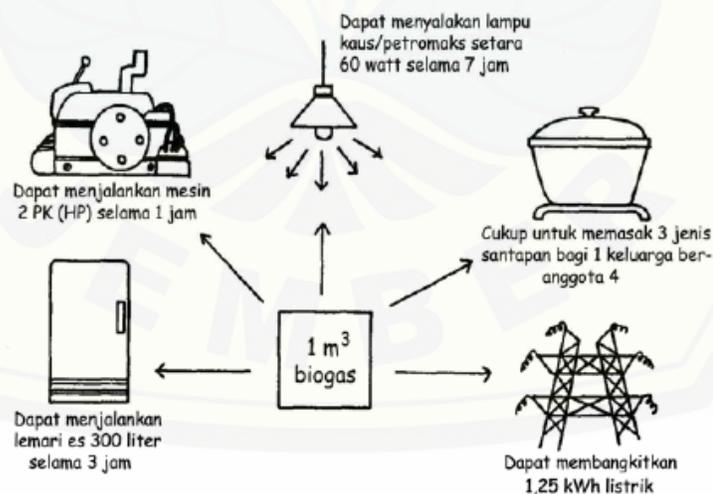
Selama 11 tahun terakhir, produksi energi nasional terus mengalami peningkatan dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 4,6% per tahun. Ekspor mengalami pertumbuhan rata-rata 6,8% per tahun, impor tumbuh rata-rata 10,2% per tahun sementara konsumsi domestik hanya tumbuh 1,8% per tahun (Kementerian ESDM, 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^o-55^oC. 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 dikelola 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 Kkal/m³, untuk gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 Kkal/m³ (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)

2.3.1 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.

2.3.2 Pembuatan Biogas

Pembentukan biogas dilakukan pada temperatur lokal Kota Padang yang berkisar antara 22-31,7°C, sehingga tidak memerlukan suplai energi tambahan untuk pengkondisian temperatur (Mayasari dkk, 2010). Rentang temperatur Kota Padang tersebut termasuk rentang temperatur mesophilic (20-40°C) dengan waktu tinggal tipikal yang dibutuhkan untuk pembentukan biogas selama 30 hari.

Parameter yang diamati selama proses pembentukan biogas meliputi:

- a. Pemantauan pH selama proses anaerobik dilakukan dengan mengambil sedikit sampel bahan isian biogas dari outlet digester lalu diukur dengan menggunakan kertas pH. Pengukuran pH dilakukan 1 kali dalam 5 hari.
- b. Temperatur selama proses fermentasi anaerob Pemantauan temperatur selama proses anaerob dilakukan 1 kali dalam 5 hari dengan menggunakan termometer.
- c. Level kenaikan pengumpul gas Pada tahap ini diamati kenaikan drum pengumpul biogas setiap harinya.

2.3.3 Penentuan Volume dan Komposisi Biogas

Volume biogas diukur dengan menghitung kenaikan drum aluminium pengumpul biogas setiap hari, sedangkan komposisi biogas ditentukan dengan metode sebagai berikut:

- a. Pengukuran komposisi biogas secara kuantitatif Pengukuran komposisi biogas dilakukan dengan metode absorpsi gas. Uji Pembentukan Biogas dari Substrat Sampah Sayur dan Buah dengan Ko-Substrat Limbah Isi Rumen Sapi 29 Biogas yang terbentuk ditampung di dalam tangki penampung gas yang terhubung dengan digester. Gas yang telah terkumpul disalurkan ke absorban CO_2 (NaOH) dan absorban CH_4 (alkohol). Dengan cara ini, komposisi CO_2 dan CH_4 yang terdapat di dalam biogas dapat ditentukan. Pengukuran komposisi biogas dilaksanakan pada hari ke-16 dan hari ke-30.
- b. Pengukuran komposisi biogas secara kualitatif Uji kualitatif terhadap komposisi biogas dilakukan dengan uji nyala untuk mengetahui kualitas gas dengan melihat warna nyala api yang dihasilkan pada saat pembakaran. Jika gas langsung terbakar dan warna api yang dihasilkan biru, maka gas yang dihasilkan berkualitas baik. Jika biogas mengandung lebih banyak gas-gas pengotor lainnya maka warna api yang dihasilkan adalah cenderung kemerahmerahan

2.3.4 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 CO_2 , keberadaan CO_2 dalam biogas sangat tidak diinginkan karena semakin tinggi kadar CO_2 dalam CH_4 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 CO_2 sehingga mendapatkan nilai kalor yang optimum. Penelitian yang dilakukan oleh Masyuhri, dkk (2013) dengan absorpsi gas CO_2 dengan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ secara kontinyu dalam suatu reaktor (*absorber*). Pada awal purifikasi sendiri ada 2 proses, yaitu :

1. Absorpsi Fisik

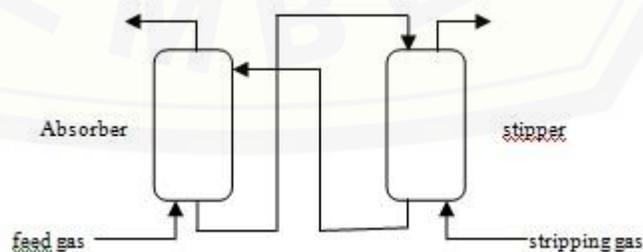
Absorpsi fisik merupakan absorpsi dimana gas terlarut dalam larutan penyerap tidak disertai dengan reaksi kimia. Contoh reaksi ini adalah absorpsi gas H_2S dengan air, methanol, propilen karbonase. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik (Anggiriawan, 2010).

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

- a. Teori model film
- b. Teori penetrasi
- c. Teori permukaan yang diperbaharui

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 2.2 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). 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 column) dengan kriteria 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
3. Larutan KOH (Kalium Hidroksida)

Penelitian lainya yang dilakukan oleh Hamidi dkk (2011) dengan cara *purifikasi* yaitu: system penyerapan menggunakan zeolite alam yang telah diaktivasi menggunakan KOH sebagai *adsorber*. 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.

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.

2.4 Karakteristik Nyala Api

Dalam proses pembakaran, bahan bakar dan udara bercampur dan terbakar dan pembakarannya dapat terjadi baik dalam mode nyala api ataupun tanpa mode nyala api. Berdasarkan buku *an introduction to combustion concept and application*, definisi api adalah pengembangan yang bertahan pada suatu daerah pembakaran yang dialokasikan pada kecepatan subsonic. Warna api dipengaruhi oleh 2 hal yaitu kandungan bahan bakar dan campuran udara yang ikut terbakar.

Ketika api memiliki warna cenderung merah hal tersebut dapat diartikan bahwa bahan terbakar api tersebut memiliki nilai kalor yang relatif rendah, atau udara yang mencampuri proses pembakaran hanya sedikit sehingga campuran kaya. Saat api berwarna kebiruan adalah sebaliknya yang merepresentasikan nilai kalor bahan bakar yang tinggi, atau campuran miskin. Api hidrokarbon dikarakteristikan oleh radiasinya yang tampak. Dengan *excess air*, daerah reaksi akan terlihat biru.

Radiasi biru berasal dari eksitasi CH radikal di dalam daerah bertemperatur tinggi. Saat udara berkurang yang menyebabkan stoichiometrinya berkurang, daerah api akan berwarna biru-hijau yang berasal dari eksitasi C_2 . Dalam kedua jenis api OH radikal memberikan kontribusi terhadap radiasi yang tampak. jika campuran api kaya jelaga akan terbentuk akibat radiasi hitam. Meskipun radiasi jelaga memiliki intensitas maksimal dalam infra merah, kepekaan spectrum mata manusia

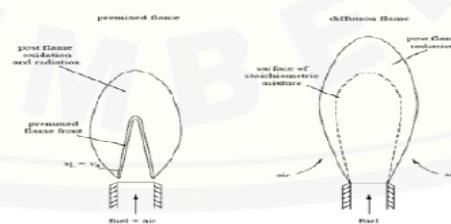
menyebabkan kita melihat cahaya kuning terang (mendekati putih) akibat pudarnya emisi oranye, tergantung temperatur api. Terdapat dua tipe mode nyala api, yaitu:

2.4.1 Premixed Flame

Premixed flame adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar bercampur dengan oksigen yang telah tercampur sempurna sebelum pemberian sumber api. Umumnya indikasi premixed flame dapat dilihat dari warna api yang berwarna biru. Laju pertumbuhan api tergantung dari komposisi kimia bahan bakar yang digunakan.

2.4.2 Diffusion Flame (Non-premixed)

Diffusion Flame adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar dan oksigen bercampur dan penyalaan dilakukan secara bersamaan. Laju difusi reaktan bisa dipengaruhi oleh energi yang dimiliki oleh bahan bakar. Umumnya pada nyala api difusi pengaruh udara dari luar sebagai oksidator pembakaran akan berpengaruh pada nyala api yang dihasilkan. Pemunculan dari nyala api akan tergantung pada sifat dari bahan bakar dan kecepatan pemancaran bahan bakar terhadap udara sekitarnya. Laju pencampuran bahan bakar dengan udara lebih rendah dari laju reaksi kimia. Nyala api difusi pada suatu pembakaran cenderung mengalami pergerakan nyala lebih lama dan menghasilkan asap lebih banyak daripada nyala *premix*. Nyala difusi berupa nyala laminar (*Laminar Flame*) atau nyala turbulen (*Turbulen Flame*). Model nyala api ditampilkan pada Gambar 2.5



(a) Premix

(b) Difusi

Gambar 2.3 Nyala api (putri, 2009)

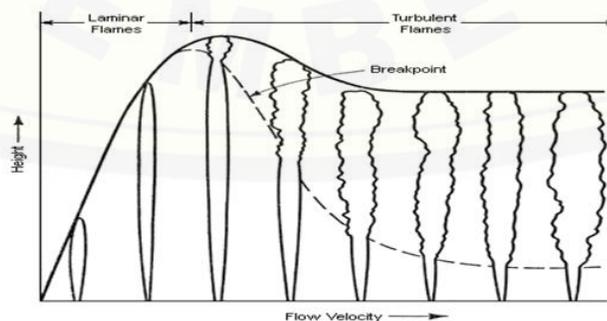
Selain itu kedua tipe di atas nyala api juga dibedakan berdasarkan jenis aliran yang terjadi, yaitu :

2.4.3 Api Laminer

Visualisasi api yang terlihat pada api tipe ini berbentuk secara laminar atau teratur. Api jenis ini memiliki bentuk mengikuti streamline aliran tanpa membentuk turbulensi atau gerakan tidak beraturan.

2.4.4 Api Turbulen

Api turbulen menunjukkan pola aliran nyala api yang tidak beraturan atau acak yang member indikasi aliran yang bergerak sangat aktif. Pada pembakaran gas hasil gasifikasi menunjukkan indikasi diskontinuitas atau produksi yang cenderung tidak konstan membuat api yang terbentuk juga mengalami hambatan dalam pertumbuhannya. Gas sebagai reaktan akan direaksikan bersama oksigen bersamaan dengan saat penyalaan. Kualitas dari nyala api juga tak lepas dari nilai kalor yang terkandung dalam syngas yang dihasilkan oleh proses gasifikasi. Semakin tinggi kandungan zat yang flammable maka kualitas api juga akan semakin tinggi. Turbulen aliran - aliran tiga dimensi yang tidak teratur terdiri dari pusaran (Transport panas, massa, dan momentum yang beberapa kali lipat lebih besar daripada molekul konduktivitas, difusivitas, dan viskositas). Model Arus *laminar* vs arus *turbulent* pada nyala api ditampilkan pada Gambar 2.6

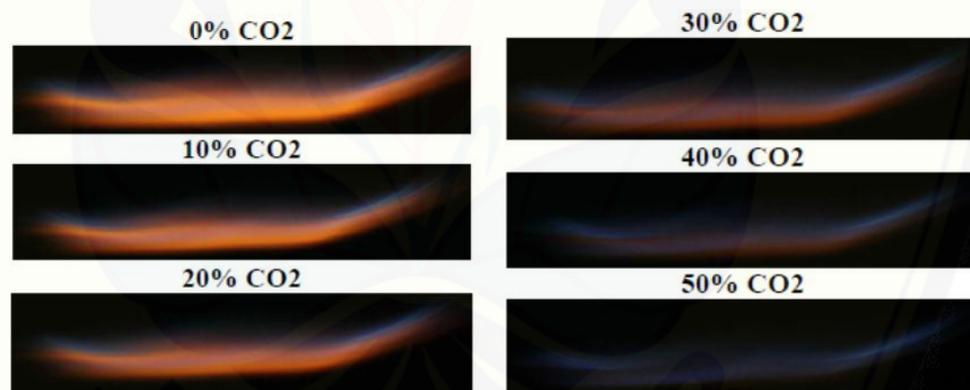


Gambar 2.4 Arus laminar vs arus turbulenta (Putri, 2009)

Aliran laminar adalah aliran ketika uap kecepatan rendah pada bahan bakar dilepaskan dari kompor. Meningkatnya turbulensi akan meningkatkan propagasi api. Tapi intensitas turbulensi terlalu banyak menyebabkan tingkat propagasi menurun dan menyebabkan api padam. Turbulensi di pengaruhi aliran bahan bahan bakar yang menguap, kecepatan aliran bahan bakar, dan media penguapan bahan bakar (Bangkeju, 2012). Berikut ini beberapa penjelasan mengenai warna dan jenis api:

2.4.5 Warna Api

Penelitian Kharisman dkk, (2014) mengatakan CO_2 berpengaruh besar terhadap warna nyala api biru dan api kuning. Hal ini terlihat jelas pada campuran kaya, dimana banyak ditemukan api kuning yang lebih terang. Pola api yang terbentuk terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya konsentrasi CO_2 dari bahan bakar menyebabkan api semakin gelap seperti Gambar 2.7.



Gambar 2.5 Foto api gas $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ dengan variasi penambahan CO_2 dengan debit 8LPM (Kharisman dkk, 2014)

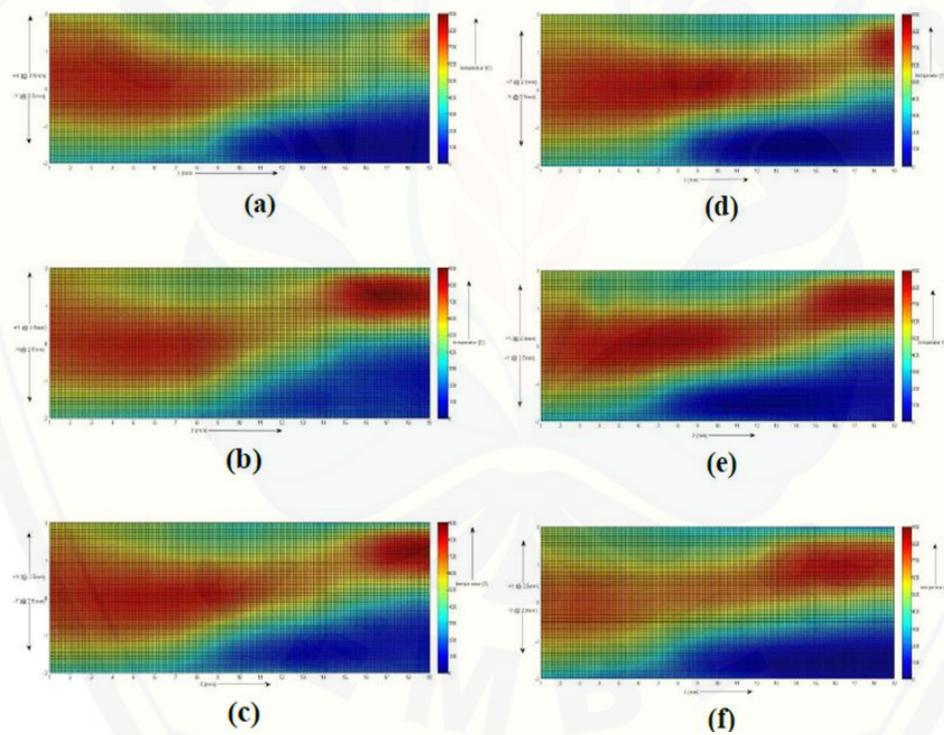
Pada Gambar 3 menunjukkan perubahan warna api disertai perubahan lebarnya. Prosentase CO_2 yang ditampilkan dalam foto tersebut adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% .

Pola api yang terbentuk terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya Prosentase CO_2 dari bahan bakar menyebabkan api semakin gelap. Sesuai dengan

sifatnya gas CO_2 yaitu sebagai inhibitor, dimana kalor hasil proses pembakaran sebagian terserap oleh gas CO_2 . Oleh karena itu tingkat kecerahan api pada bahan bakar yang lebih banyak mengandung gas CO_2 lebih rendah kecerahannya secara keseluruhan. yang diakibatkan adanya variasi penambahan CO_2 pada bahan bakar.

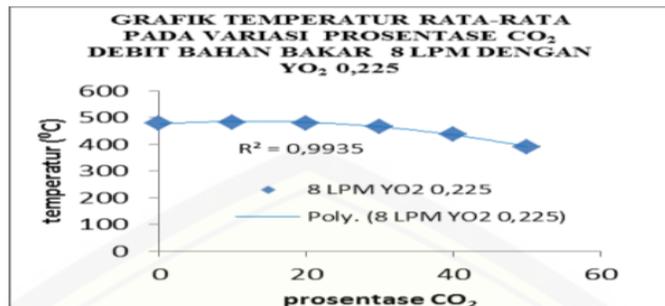
2.4.6 Temperatur Pembakaran

Penelitian Kharisman dkk, (2014) mengatakan bahwa semakin besar prosentase CO_2 dalam bahan bakar maka kalor hasil proses pembakaran sebagian terserap oleh gas CO_2 dikarenakan asupan bahan bakar yang kurang disaat jumlah oksidator masih banyak seperti Gambar 2.8.



Gambar 2.6 Distribusi temperatur api difusi *counterflow flame* (Kharisman dkk, 2014)

Untuk lebih jelasnya mengenai pengaruh besar prosentase CO_2 terhadap distribusi nyala api pada penelitian ini dapat dilihat pada grafik di berikut.



Gambar. 2.7 Grafik hubungan prosentase CO₂ pada bahan bakar terhadap temperatur (Kharisman dkk, 2014)

Pada setiap penambahan prosentase CO₂ menunjukkan tren naik yang kemudian turun. Penambahan prosentase CO₂ pada penelitian ini menurunkan derajat temperatur yang dapat digenerasi oleh nyala api. Gas CO₂ bersifat inhibitor menyerap sebagian kalor hasil pembakaran sehingga hasil dari pembakaran yang terjadi tidak sempurna.

2.5 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 kalor pembakaran, distribusi temperatur, dan warna 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 larutan KOH 4M terhadap kualitas pemurnian biogas. Dalam penelitian ini, biogas disirkulasikan ke alat purifikasi sistem kontinu 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 temperatur pembakaran.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat penelitian

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

3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan 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
- PVC 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 sampah organik yang diambil dari rumah makan 'Waroeng Prek' dan 'Mblenger *Chinese Food*'

c. Pembuatan Alat Purifikasi Biogas

Alat yang digunakan yaitu:

- Mesin bor
- Gergaji besi
- Penggaris
- Pisau

Bahan yang digunakan yaitu:

- PVC ½"
- Toples kaca 3 liter
- Larutan KOH

d. Penelitian kalor pembakaran api biogas

Alat yang digunakan yaitu:

- *Bunsen burner*
- Selang
- Pemantik api

e. Penelitian uji warna api dan temperatur pembakaran

- Stopwatch
- Pemantik api
- Alat pertukangan
- Kamera Fujifilm
- 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 warna api dengan menganalisa data-datanya yang meliputi:

1. Kalor yang diserap air dan kerugian panas
2. Gambar warna api
3. Temperatur api.

3.4.3 Variabel Kontrol

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

1. Lama waktu pemurnian
2. Komposisi Biogas
3. Lama waktu fermentasi biogas

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

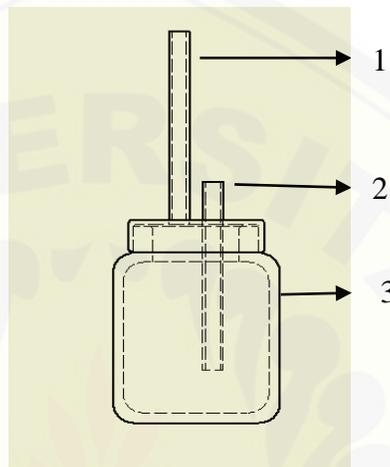
Tahap pembuatan reaktor biogas dilakukan dengan menggunakan bahan utama yaitu drum yang dirancang hampir sama seperti reaktor biogas yang dimiliki oleh Pusat Penelitian Kakao dan Kopi di Jember.



Gambar 3.1 Reaktor Biogas

3.7.2 Tahap Pembuatan Alat Purifikasi Biogas

Tahap pembuatan alat purifikasi biogas dilakukan dengan memodifikasi toples kaca kemudian dipasang 2 selang $\frac{1}{4}$ " pada penutupnya sebagai saluran masuk tabung purifikasi dan selang keluaran seperti pada Gambar 3.2.



Keterangan Gambar :

1. Saluran masuk biogas
2. Saluran Keluar Biogas
3. Tabung Purifikasi

3.7.3 Tahap Penyiapan KOH

Tahap penyiapan KOH dilakukan dengan membuat larutan KOH 4M. Perbandingan larutan KOH (Mr K=39, O=16, H=1) dan air (3 liter) dapat dicari dengan rumus :

$$M = \frac{n}{v} \quad n = \frac{m}{Mr}$$

$$4 = \frac{n}{3} \quad 12 = \frac{m}{56}$$

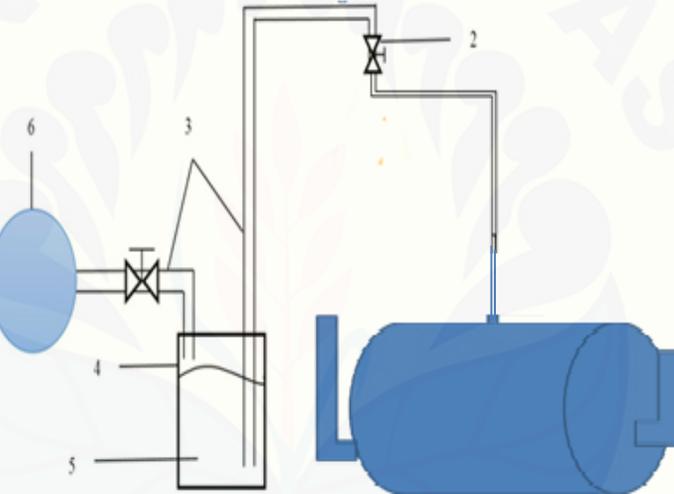
$$n = 12 \quad m = 672 \text{ gr}$$

Jadi, larutan perbandingan KOH dan air yang dipakai adalah 672 gram : 3 liter

3.7.4 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 4M ke dalam alat purifikasi
4. Memasang alat purifikasi.



Gambar 3.3 Skema pemurnian biogas

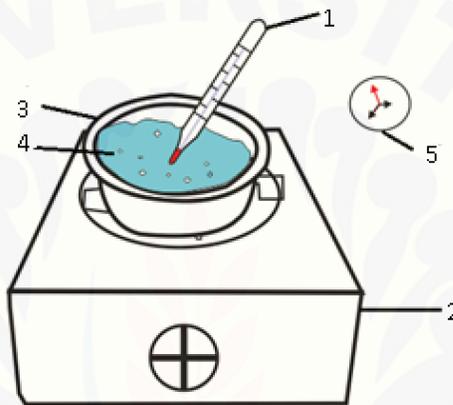
Keterangan gambar:

1. Reaktor biogas
2. *Stopkran*
3. Pipa
4. Alat purifikasi
5. Larutan KOH
6. Tabung

3.8 Tahap Pengujian

3.8.1 Pengujian Kalor Pembakaran Api Biogas

Tahap pengujian kalor pembakaran api biogas ini dilakukan dengan menghitung kalor yang diserap oleh air sebanyak 1 kg, untuk menaikkan suhu selama 150 detik. Pengujian menggunakan kompor biogas “*Butterfly*”. Skema pengujian kalor pembakaran ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Skema pengujian kalor pembakaran

Dari pengujian yang dilakukan akan didapatkan hasil seperti pada Tabel 3.4.

Keterangan gambar:

- | | |
|-------------------------------|--------------|
| 1. Termometer | 4. Bahan uji |
| 2. Kompor biogas standart SNV | 5. Stopwatch |
| 3. Wajan aluminium | |

Setelah pengujian selesai dilakukan kemudian mengrekap data hasil pengujian kalor pembakaran. setiap 30 detik akan dihitung temperatur airnya sampai waktu yang sudah ditentukan yaitu 150 detik. Penelitian ini dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali, sehingga data yang diperoleh lebih akurat. Setelah hasil dari kenaikan temperatur terhadap waktu didapat, langkah selanjutnya adalah menghitung kalor yang diserap oleh air, dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = m.C. \Delta T$$

Keterangan :

Q = kalor yang diserap oleh air (Joule)

m = massa air (kg)

C = kalor jenis air (J/kg°C)

ΔT = Perubahan suhu (°C)

Selain itu juga di lakukan perhitungan nilai kalor yang hilang dengan menggunakan metode perpindahan panas dari panci dan air terhadap udara, dengan persamaan:

- Konduksi

$$Q_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx}$$

Keterangan :

Q_{cond} = perpindahan panas konduksi (watt)

K = koefisien konduksi (konduktivitas termal)

A = luas penampang (m²)

dT = perbedaan suhu (°C)

dx = perubahan jarak (m)

- Konveksi

$$Q_{\text{conv}} : h.A. \Delta T$$

Keterangan :

Q_{conv} = perpindahan panas konveksi (watt)

h = Koefisien konveksi

A = Luas penampang (m²)

ΔT = Perubahan suhu (°C)

- Radiasi

$$Q_{\text{rad}} : \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Keterangan :

Q_{rad} = daya radiasi (watt)

ε = emisifitas bahan

σ = konstanta Stefan Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8}$)

A = luas penampang (m^2)

T = suhu ($^{\circ}\text{k}$)

Jadi kalor yang hilang dapat dihitung dengan menggunakan metode hambatan thermal.



Gambar 3.5 Rangkaian hambatan thermal

Dimana persamaan sebagai berikut :

- $R_{\text{cond}} = \frac{L}{kA}$
- $R_{\text{conv}} = \frac{1}{hA}$
- $R_{\text{rad}} = \frac{1}{h_{\text{rad}} \cdot A}$

Dimana untuk $h_{\text{rad}} = \varepsilon \cdot \sigma (T_s^2 + T_{\text{surr}}^2) (T_2 + T_{\text{surr}})$

Dengan demikian Q_{losses} dapat di hitung dengan persamaan :

$$Q_{\text{losses}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{total}}} = \frac{(T_1 - T_{\infty})}{R_{\text{total}}}$$

Keterangan :

Q_{losses} = kalor yang hilang

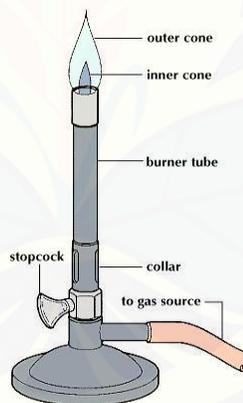
T_1 = Suhu masuk ($^{\circ}\text{C}$)

T_{∞} = Suhu lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)

R_{total} = jumlah hambatan termal

3.8.2 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. Gambar api yang telah didapat, di hitung nilai RGB dengan menggunakan *software Adobe Photoshop*. Setelah disajikan dalam Tabel 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 disajikan pada Tabel, 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:

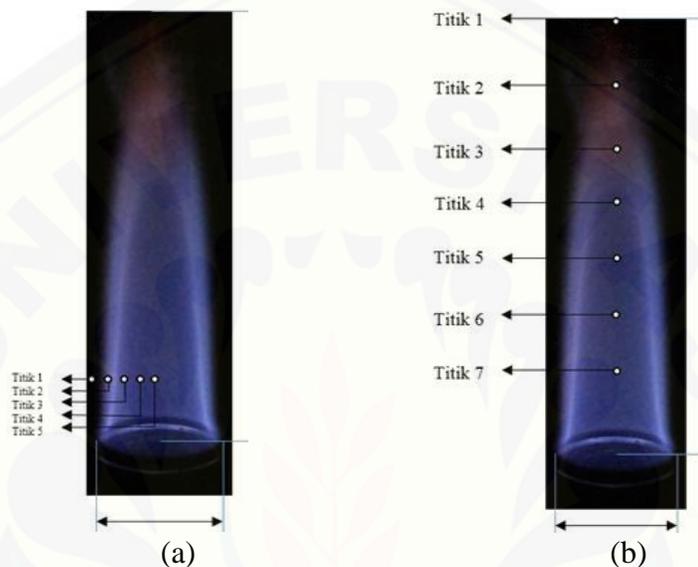
N = jumlah nilai RGB : 255

n_b = jumlah nilai RGB merah

P_b = persentase warna merah (%)

3.8.3 Distribusi temperatur

Tahap pengamatan distribusi temperatur pada biogas menggunakan *bunsen burner* (gambar 3.4) dan dilakukan pengukuran temperatur pada beberapa titik api pada sumbu horizontal dan vertikal menggunakan termokopel.



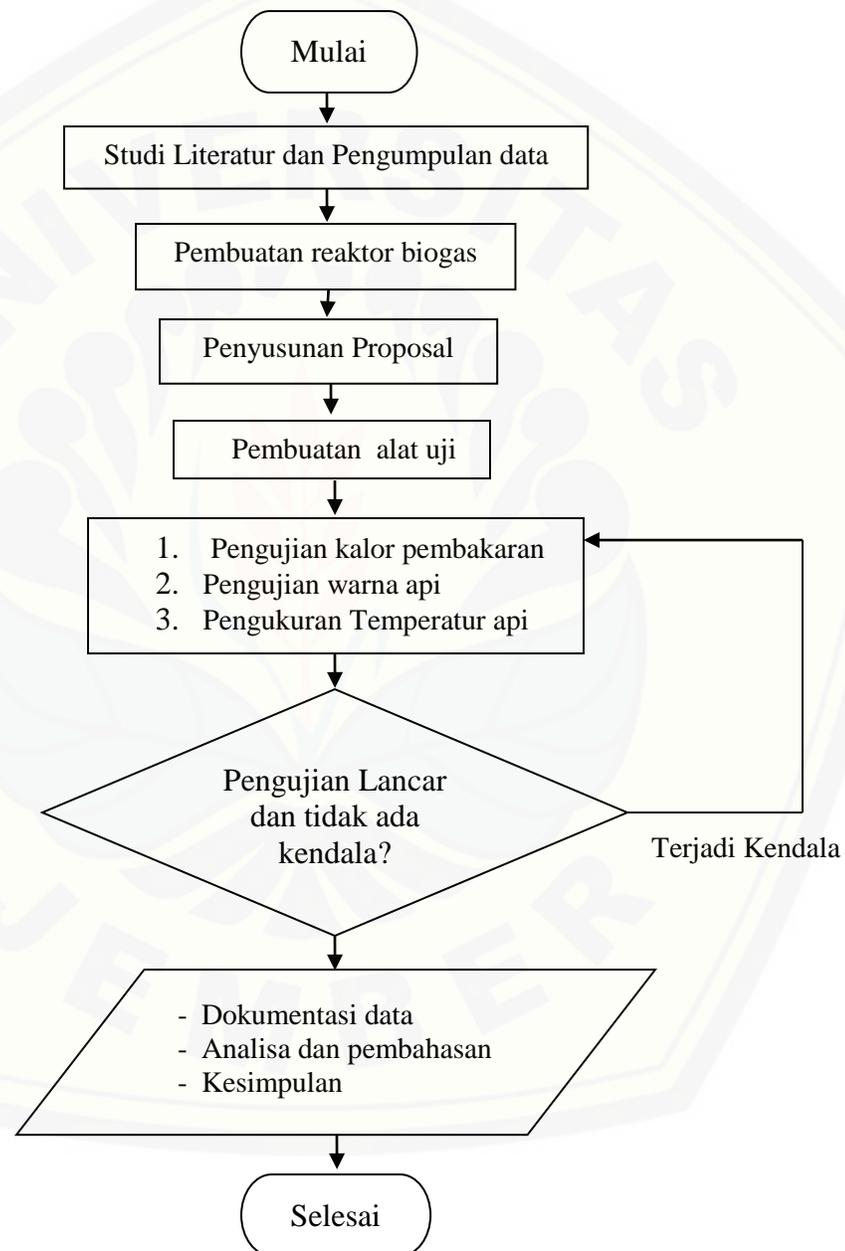
Gambar 3.7 Contoh pengambilan data temperatur secara
(a) horizontal dan (b) vertikal

Untuk mengetahui distribusi temperatur menggunakan KOH 4M dengan variasi pengukuran 2 mm di titik horizontal dan 4 mm di titik vertikal, dengan lama pengukuran temperatur 1 menit pada tiap titik.

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 ukuran mesh dan waktu kontak terhadap pemurnian biogas dengan menggunakan KOH 4M adalah sebagai berikut:



Gambar 3.8 Diagram alir pengujian pada pemurnian biogas

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pembahasan.

Hasil penelitian purifikasi biogas dengan menggunakan larutan KOH 4 M menghasilkan gambar warna api, temperatur api, dan kalor pembakaran biogas limbah pasar. Dari data-data tersebut dapat dibandingkan hasil dari biogas sebelum dan sesudah dipurifikasi menghasilkan kalor pembakaran, gambar warna api, dan temperatur api biogas limbah pasar.

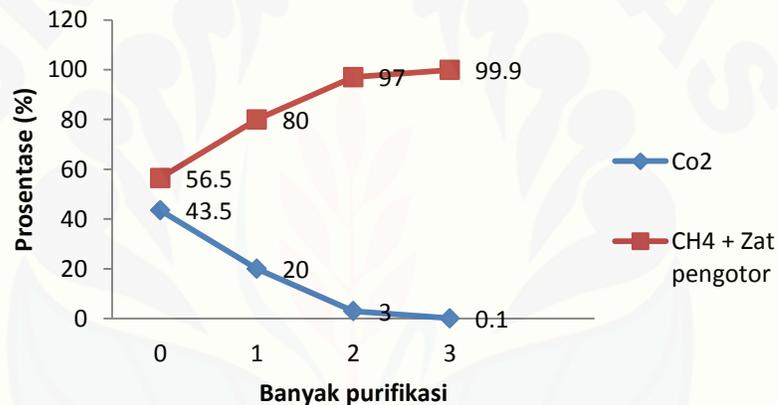
4.1.1 Komposisi Biogas

Berdasarkan dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data pengujian komposisi biogas sebelum purifikasi dan setelah purifikasi dengan menggunakan KOH 4 molaritas. Purifikasi dilakukan dengan cara mengalirkan biogas kedalam larutan KOH, kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui komposisi biogas dengan menggunakan gas analyzer pada setiap kali pengulangan purifikasi. Karena gas metan tidak bisa diketahui dengan melakukan pengujian menggunakan gas analyzer maka diasumsikan persentase CH_4 adalah $\% \text{CH}_4 = 100 - \% \text{CO}_2$. Pada Tabel 4.1 diperlihatkan komposisi biogas sebelum dan sesudah purifikasi.

Tabel 4.1 Persentase komposisi biogas

Banyak Purifikasi	Purifikasi dengan KOH 4 molaritas (%)	
	CO_2	$\text{CH}_4 + \text{Zat pengotor}$
0	43,5	56,5
1	20	80
2	3	97
3	0,1	99,9

Berdasarkan pada Tabel 4.1 diketahui bahwa kandungan CO_2 sebelum purifikasi sebesar 43,5%, sedangkan kandungan CO_2 pada saat dilakukan purifikasi sebanyak satu kali dengan menggunakan KOH 4 molar menjadi 20% atau mengalami penurunan sebesar 23,5%, begitu pula pada purifikasi kedua dan tiga, kandungan CO_2 turun menjadi 3 dan 0,1 %.. Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa kandungan CO_2 biogas setelah dipurifikasi mengalami penurunan. Pada Gambar 4.1 ditunjukkan grafik penurunan persentase kandungan CO_2 didalam biogas setelah dilakukan purifikasi dan persentase CH_4 mengalami kenaikan..



Gambar 4.1 Kandungan komposisi

4.1.2 Warna api biogas

Dari hasil penelitian biogas sebelum dan setelah purifikasi menggunakan larutan KOH 4M diambil gambar warna api dan mencari nilai RGB untuk memperoleh persentase warna api.

1. Biogas sebelum dipurifikasi



Gambar 4.2 Warna api dan titik api biogas sebelum purifikasi

Tabel 4.2 Nilai RGB warna api biogas sebelum purifikasi percobaan 1

titik	Merah	Hijau	Biru	Merah / 255	Biru / 255
1	6	7	9	0.023529	0.035294
2	12	10	15	0.047059	0.058824
3	12	13	18	0.047059	0.070588
4	21	19	30	0.082353	0.117647
5	28	25	32	0.109804	0.12549
6	32	29	40	0.12549	0.156863
7	24	28	40	0.094118	0.156863
8	64	50	65	0.25098	0.254902
9	41	44	62	0.160784	0.243137
10	37	42	62	0.145098	0.243137
11	63	60	87	0.247059	0.341176
12	53	49	72	0.207843	0.282353

13	34	48	77	0.133333	0.301961
14	77	70	101	0.301961	0.396078
15	44	51	79	0.172549	0.309804
16	33	44	72	0.129412	0.282353
17	50	68	104	0.196078	0.407843
18	47	48	76	0.184314	0.298039
19	46	61	100	0.180392	0.392157
20	38	49	79	0.14902	0.309804
21	46	61	100	0.180392	0.392157
22	31	45	74	0.121569	0.290196
23	42	55	87	0.164706	0.341176
24	36	48	74	0.141176	0.290196
25	28	43	74	0.109804	0.290196
26	53	66	101	0.207843	0.396078
27	42	57	88	0.164706	0.345098
28	39	50	82	0.152941	0.321569
29	51	69	107	0.2	0.419608
30	52	67	106	0.203922	0.415686
31	29	44	75	0.113725	0.294118
32	33	46	75	0.129412	0.294118
33	30	43	77	0.117647	0.301961
34	56	73	116	0.219608	0.454902
35	55	75	125	0.215686	0.490196
Jumlah				5.431373	10.12157

Dari Tabel 4.2 didapatkan bahwa jumlah nilai RGB api merah 5.43, dan nilai RGB api biru 10.12 kedua jumlah nilai RGB api merah dan nilai RGB api biru dijumlahkan didapatkan nilai 15.55. untuk menghitung prosentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase warna merah :

$$\frac{5.43}{15.55} \times 100\% = 40.66\%$$

Persentase warna biru

$$\frac{10.12}{15.55} \times 100\% = 65.07\%$$

Penguajian warna api tersebut dilakukan pengulangan sampai 3x pengulangan dengan cara sesuai perhitungan diatas.

Setelah melakukan 3x pengulangan didapatkan data seperti pada Tabel 4.3 :

Tabel 4.3 Total persentase warna api sebelum purifikasi

	Prosentase merah	Prosentase biru
Percobaan 1	43.20%	56.79%
Percobaan 2	40.66%	59.33%
Percobaan 3	34.92%	65.078%
Rata-rata	39.59%	60.40%

2. Biogas setelah purifikasi menggunakan KOH 4M



Gambar 4.3 Warna api dan titik api biogas purifikasi 4M

Tabel 4.4 Nilai RGB biogas setelah purifikasi percobaan 1

titik	Merah	Hijau	Biru	Merah/255	Biru/255
1	9	4	2	0.0352941	0.007843
2	7	3	28	0.027451	0.109804
3	18	12	58	0.0705882	0.227451
4	12	6	44	0.0470588	0.172549
5	25	26	83	0.0980392	0.32549
6	224	24	86	0.8784314	0.337255

7	27	35	107	0.1058824	0.419608
8	27	35	107	0.1058824	0.419608
9	46	63	151	0.1803922	0.592157
10	29	46	126	0.1137255	0.494118
11	40	71	161	0.1568627	0.631373
12	53	74	165	0.2078431	0.647059
13	33	58	142	0.1294118	0.556863
14	65	111	207	0.254902	0.811765
15	55	81	176	0.2156863	0.690196
16	66	10	207	0.2588235	0.811765
17	76	139	234	0.2980392	0.917647
18	63	112	205	0.2470588	0.803922
19	81	140	234	0.3176471	0.917647
20	83	154	242	0.3254902	0.94902
21	65	118	214	0.254902	0.839216
22	92	158	244	0.3607843	0.956863
23	75	142	231	0.2941176	0.905882
24	51	115	212	0.2	0.831373
25	93	165	249	0.3647059	0.976471
26	87	168	249	0.3411765	0.976471
27	56	125	220	0.2196078	0.862745
28	99	178	255	0.3882353	1
29	93	181	253	0.3647059	0.992157
30	52	135	227	0.2039216	0.890196
31	78	156	241	0.3058824	0.945098
32	86	176	250	0.3372549	0.980392
33	47	127	222	0.1843137	0.870588
34	51	127	223	0.2	0.87451
35	81	173	255	0.3176471	1
JUMLAH				8.4117647	24.7451

Dari tabel 4.4 didapatkan bahwa jumlah nilai RGB api merah 8.41 dan nilai RGB api biru 24.74. Kedua jumlah nilai RGB api merah dan nilai RGB api biru dijumlahkan didapatkan nilai 33.15. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase warna merah :

$$\frac{8.41}{33.15} \times 100\% = 25.36\%$$

Persentase warna biru

$$\frac{24.74}{33.15} \times 100\% = 74.63\%$$

Penguajian warna api tersebut dilakukan pengulangan sampai 3x pengulangan dengan cara sesuai perhitungan diatas.

Setelah melakukan 3x pengulangan didapatkan data sebagai berikut :

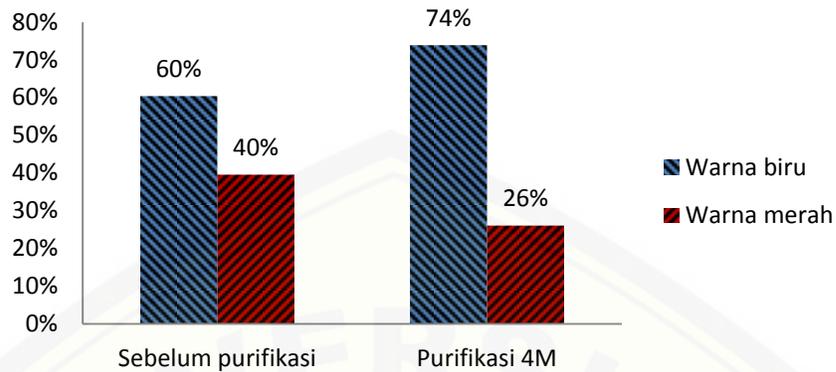
Tabel 4.5 Total prosentase warna api setelah purifikasi

	Prosentase merah	Prosentase biru
Percobaan 1	29.18%	70.81%
Percobaan 2	25.36%	74.63%
Percobaan 3	23.66%	76.33%
Rata-rata	26.07%	73.92%

Tabel 4.6 Rata-rata warna api biogas sebelum dan setelah purifikasi 4M

	Prosentas merah	Prosentase biru
Sebelum purifikasi	39.59%	60.40%
Purifikasi 4M	26.07%	73.92%

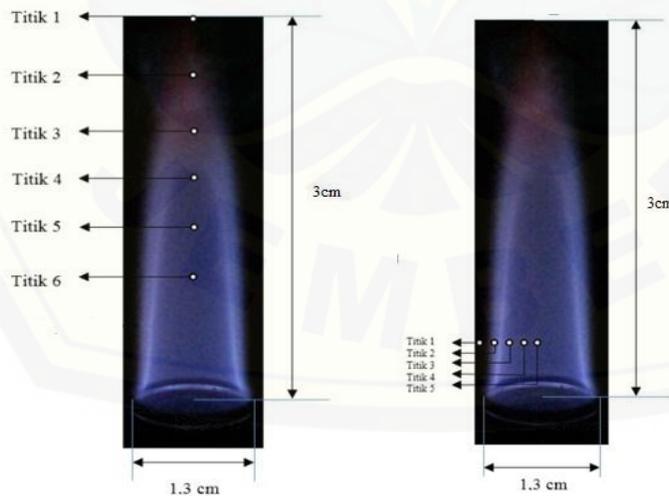
Pada Tabel 4.6 menunjukkan persentase warna api biogas sebelum purifikasi persentase warna merah sebesar 39,59% dan persentase warna biru 60,40%, sedangkan biogas setelah purifikasi persentase warna merah sebesar 26,07% dan persentase warna biru 73,92%. Peningkatan persentase warna biru pada biogas setelah purifikasi dengan KOH 4M menunjukkan pembakaran biogas pada *Bunsen burner* semakin sempurna dibandingkan biogas sebelum purifikasi.



Gambar 4.4 warna api biogas sebelum dan setelah purifikasi 4M

4.1.3 Distribusi Temperatur

Hasil pengujian distribusi temperatur dilakukan dengan cara mengukur temperatur api biogas sebelum dan sesudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4M pada kompor uji (*bunsen burner*) menggunakan termokopel sebagai pengukur temperatur api. Pengukuran temperatur dilakukan di beberapa titik api biogas, yaitu pada 5 titik dibagian *horizontal* dan 6 titik di bagian vertikal.



Gambar 4.5 Pengukuran Temperatur Api Pada Tiap Titik

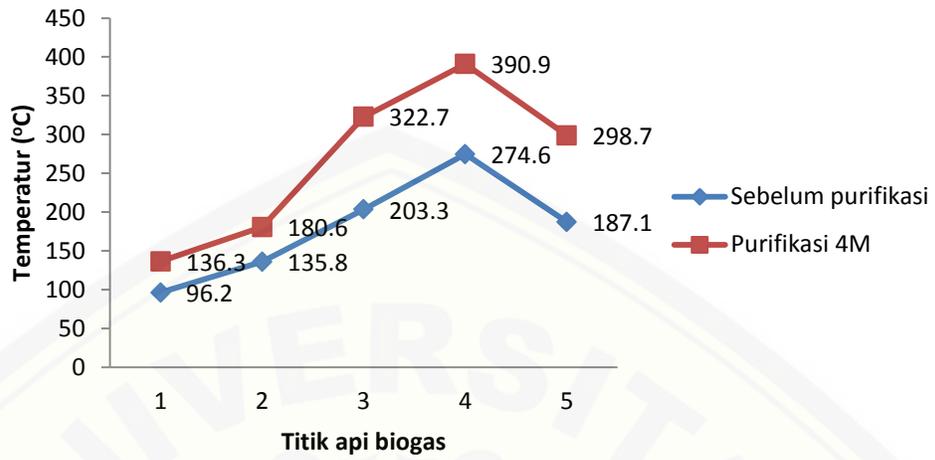
Api biogas sebelum dan sesudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4M memiliki tinggi 2,5 cm dan lebar 1,3 cm. Pada titik *horizontal* terdapat 5 titik yang tiap titik berjarak 2 mm. Sedangkan pada titik vertikal terdapat 7 titik yang tiap titik memiliki jarak 5 mm. Pengukuran juga dimulai dari api terluar menuju api terdalam. Sehingga diperoleh data perbandingan distribusi temperatur biogas sebelum dan sesudah purifikasi dengan larutan KOH 4M.

Tabel 4.7 Perbandingan Distribusi Temperatur Biogas (*Horizontal*)

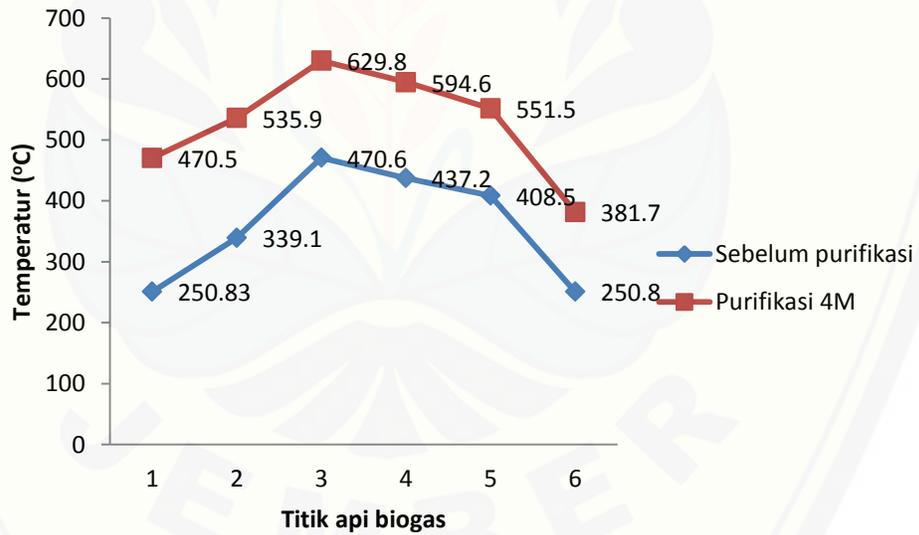
Jarak	Sebelum Purifikasi	Setelah Purifikasi KOH 4M
Titik 1 (13 mm)	96,2 °C	136,3 °C
Titik 2 (11 mm)	135,8 °C	180,6 °C
Titik 3 (9 mm)	203,3 °C	322,7 °C
Titik 4 (7 mm)	274,6 °C	390,9 °C
Titik 5 (5 mm)	187,1 °C	298,7 °C

Tabel 4.8 Perbandingan Distribusi Temperatur Biogas (*Vertikal*)

Jarak	Sebelum Purifikasi	Setelah Dipurifikasi KOH 4M
Titik 1 (40 mm)	250,83°C	470,5 °C
Titik 2 (35 mm)	339,1°C	535,9 °C
Titik 3 (30 mm)	470,6°C	629,8 °C
Titik 4 (25 mm)	437,2°C	594,6 °C
Titik 5 (20 mm)	408,5°C	551,5 °C
Titik 6 (15 mm)	250,8°C	381,7 °C



Gambar 4.6 Grafik distribusi temperatur titik horizontal sebelum (NP) dan sesudah (P) purifikasi KOH 4M



Gambar 4.7 Grafik distribusi temperatur titik vetikal sebelum (NP) dan sesudah (P) purifikasi KOH 4M

Pada Gambar 4.6 grafik menunjukkan perbandingan distribusi temperatur dari biogas purifikasi dan non purifikasi pada titik *horizontal*. Seperti yang ditampilkan pada grafik non purifikasi pada titik 1 sampai titik 4 mengalami peningkatan temperatur dengan nilai tertinggi sebesar $274,6^{\circ}\text{C}$ dan mengalami penurunan pada titik 5 dengan temperatur $187,1^{\circ}\text{C}$. Pada hasil setelah purifikasi juga terjadi hal yang sama, pada titik 1 sampai titik 4 mengalami peningkatan temperatur. Nilai tertinggi temperatur pada biogas yang dipurifikasi dengan KOH 4M sebesar $390,9^{\circ}\text{C}$ dan mengalami penurunan temperatur pada titik 5 menjadi $298,7^{\circ}\text{C}$. Peristiwa tersebut terjadi karena pembakaran merupakan jenis difusi. Dimana bahan bakar langsung bereaksi dengan udara bebas, sehingga tidak diketahui AFRnya (perbandingan bahan bakar dengan udara). Pada pembakaran jenis ini menyebabkan biogas bagian dalam kurang mendapat suplay udara sehingga pada titik 5 atau titik terdalam pada pembakaran terjadi penurunan temperatur karena pembakaran yang kurang sempurna.

Pada Gambar grafik 4.7 menunjukkan perbandingan distribusi temperatur biogas sebelum purifikasi dengan biogas setelah dipurifikasi dengan larutan KOH 4M pada titik vertikal. Distribusi temperatur pada biogas sebelum purifikasi pada titik 1 sampai titik 3 mengalami peningkatan temperature dengan nilai tertinggi sebesar $463,9^{\circ}\text{C}$ pada titik 3 dan pada titik 4 sampai titik 6, temperatur mengalami penurunan dengan nilai terendah pada titik 6 yaitu $224,2^{\circ}\text{C}$. hal serupa juga terjadi pada pembakaran biogas purifikasi 4M, pada pembakaran biogas purifikasi 4M juga terjadi peningkatan temperatur pada titik 1 sampai titik 3 dengan nilai tertinggi $629,8^{\circ}\text{C}$ di titik 3 dan mengalami penurunan dari titik 4 sampai titik 6 dengan nilai terendah yaitu $381,7^{\circ}\text{C}$. Peristiwa tersebut terjadi karena pada titik 1 sampai titik 3 terjadi pembakaran yang optimum dimana perbandingan bahan bakar dan udara cukup baik sehingga mengalami peningkatan temperatur. Berbeda dengan titik 4 sampai titik 6 pembakaran sudah tidak lagi optimum, seperti penjelasan awal bahwasanya pembakaran bagian dalam kurang mendapat suplai udara sehingga pembakaran yang terjadi kurang optimum dan temperatur mengalami penurunan. pada titik 4 menjadi $629,8^{\circ}\text{C}$, pada titik 5 menjadi $551,5^{\circ}\text{C}$, dan pada titik 6 menjadi $381,7^{\circ}\text{C}$.

Dapat disimpulkan pada Gambar grafik 4.6 dan 4.7 bahwa nilai distribusi temperatur biogas sebelum purifikasi lebih kecil dibandingkan dengan nilai distribusi temperatur biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4M. Hal ini disebabkan karena berkurangnya kadar CO₂ pada biogas yang sudah dipurifikasi dengan larutan KOH 4M. Karena sifat gas CO₂ yang menghambat proses pembakaran sehingga dapat menurunkan nilai distribusi temperatur.

Penelitian sebelumnya tentang pengaruh kadar CO₂ terhadap pembakaran gas metana CH₄ terhadap distribusi temperatur pernah dilakukan oleh Toko dkk. (2014). Toko dkk (2014), melakukan pengujian dengan menggunakan alat uji *counterflow burner* yaitu dengan menyemprotkan (udara + CH₄) dengan gas CO₂ secara berlawanan pada ruang bakar kemudian pengolahan data menggunakan aplikasi MATLAB. Hasil yang didapat dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan kadar persentase CO₂ menurunkan derajat temperatur nyala api. Karena CO₂ yang bersifat inhibitor menyerap dan menghambat sebagian kalor hasil pembakaran sehingga hasil pembakaran yang terjadi tidak optimum. Penelitian tersebut sejalan dengan penelitian yang saya lakukan yaitu temperatur api biogas setelah dipurifikasi dengan larutan KOH 4M memiliki nilai temperatur api lebih tinggi dari pada temperatur api biogas tanpa purifikasi.

4.1.4 Kalor Pembakaran

Dengan memanaskan air dan mengukur panas air setiap satuan waktu dengan menggunakan termometer, besar kalor pembakaran dapat diketahui. Suhu ruang sebesar 27°C, sedangkan suhu mula-mula air sebelum dipanaskan adalah 25,5°C dengan volume air sebesar 240 mililiter dan tekanan yang diberi pada gas adalah kg. Berdasarkan dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data pengujian yang diperlihatkan pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 4.9 Perubahan suhu pada proses memanaskan air dengan menggunakan biogas sebelum purifikasi

Pengujian	30 detik		60 detik		90 detik		120 detik		150 detik	
	Suhu (°C)	ΔV (m ³)	Suhu (°C)	ΔV (m ³)	Suhu (°C)	ΔV (m ³)	Suhu (°C)	ΔV (m ³)	Suhu (°C)	ΔV (m ³)
1	30,5		36		44		50		54	
2	29,5		35		43		48		50,5	
3	31		35		43		50		50	
Rata-rata	30,3		35,3		43,3		49,3		51,5	

Tabel 4.10 Perubahan suhu pada proses memanaskan air dengan menggunakan biogas setelah purifikasi 4M

Pengujian	30 detik		60 detik		90 detik		120 detik		150 detik	
	Suhu (°C)	ΔV (m ³)	Suhu (°C)	ΔV (m ³)	Suhu (°C)	ΔV (m ³)	Suhu (°C)	ΔV (m ³)	Suhu (°C)	ΔV (m ³)
1	34		47		59		69		75	
2	34		47		57		68		73	
3	33		47		57		68		73	
Rata-rata	33,6		47		57,6		68,3		76,6	

Pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 dapat dilihat kenaikan suhu air pada setiap kelipatan 30 detik pemanasan dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Selama waktu pengujian, perubahan suhu yang terjadi disetiap kali pengulangan terbilang konstan. Begitu pula pada gas yang digunakan pada proses pembakara. Walaupun begitu, pada Gambar 4.2 diperlihatkan bahwa kenaikan atau penurunan suhu yang terjadi sebanding dengan jumlah gas yang digunakan. Besar kecil kenaikan suhu diiringi dengan banyak sedikitnya volume bahan bakar yang digunakan untuk memanaskan air.

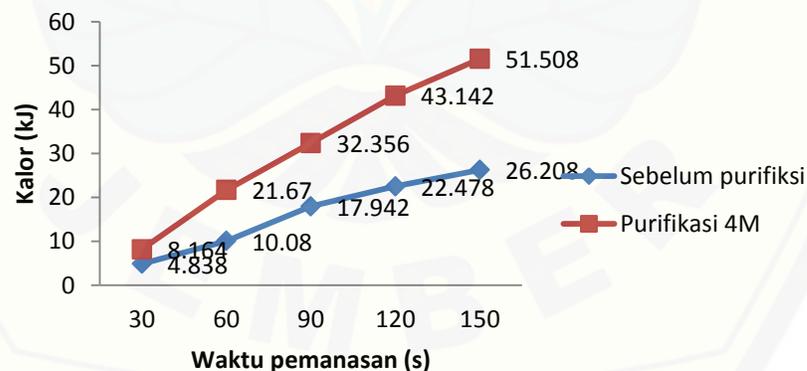
Dengan menggunakan rata-rata perubahan suhu setiap kelipatan waktu 30 detik, maka nilai rata-rata untuk kalor pembakaran dapat diketahui. Berikut merupakan persamaan untuk mencari kalor yang diserap oleh air:

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

Dimana diketahui massa jenis air adalah 1000 kg/m^3 , dengan begitu massa untuk untuk 240 mililiter air adalah 0,24 kg dan kalor jenis air adalah 4200 (joule/kilogram $^{\circ}\text{C}$). Maka besar kalor yang diserap oleh air setiap kelipatan waktu sebesar 30 detik dapat diketahui. Pada Tabel 4.3 ditampilkan besar kalor yang diserap oleh air untuk menaikkan suhu air.

Tabel 4.11 Kalor yang diserap air

	Kalor yang diserap oleh air (kJ)				
	30 detik	60 detik	90 detik	120 detik	150 detik
Sebelum purifikasi	4.838	10.08	17.942	22.478	26.208
Sesudah purifikasi	8.164	21.67	32.356	43.142	51.508



Gambar 4.8 Grafik kalor yang diserap air

4.1.5 Kalor yang hilang

Dalam proses memanaskan air tidak semua panas bisa diserap oleh air, dalam proses tersebut ada yang namanya *heat losses* (panas yang hilang) dalam percobaan tersebut terjadi beberapa proses perpindahan panas. Berdasarkan pengujian yang dilakukan didapatkan data yang diperlihatkan pada Tabel 4.12 dan 4.13 .

Tabel 4.12 Data temperature sebelum purifikasi

waktu	Tapi			Rata-rata	Tpanci			Rata-rata	Tair			Rata-rata
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
30	342	340	341	349.8	41.9	42	42	41.97	31	29.5	31	30.3
60	360	357	359	365.7	45.7	46	46	45.9	36	35	35	35.3
90	375	370	373	381.7	50	54	55	53	44	43	43	43.3
120	392	390	390	438.4	59.8	61.7	61.9	61.13	50	48	50	49.3
150	489	485	485	486.2	75.6	76.5	77	76.37	54	50.5	50	51.5

Tabel 4.13 Data temperature setelah purifikasi 4 M

waktu	Tapi			Rata-rata	Tpanci			Rata-rata	Tair			Rata-rata
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
30	587	564	560	570	54	56	56	55	34	34	33	34
60	592	580	578	583	65	70	69	68	47	49	47	48
90	576	585	581	581	89	90	88	89	59	57	57	58
120	581	594	600	591	90	99	100	96	69	68	68	68
150	641	648	645	645	101	111	107	106	75	73	73	74

Dengan data yang diperoleh dari Tabel 4.12 dan 4.13 dapat dilihat kenaikan suhu dari tiap objek yang di ukur terbilang konstan. Dari data tersebut dapat dihitung nilai perpindahan panas menggunakan metode hambatan termal dengan persamaan :

- $R_{\text{cond}} = \frac{L}{kA}$
- $R_{\text{conv}} = \frac{1}{hA}$
- $R_{\text{rad}} = \frac{1}{hrad.A}$

$$Q_{\text{losses}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{total}}} = \frac{(T_1 - T_{\infty})}{R_{\text{total}}}$$

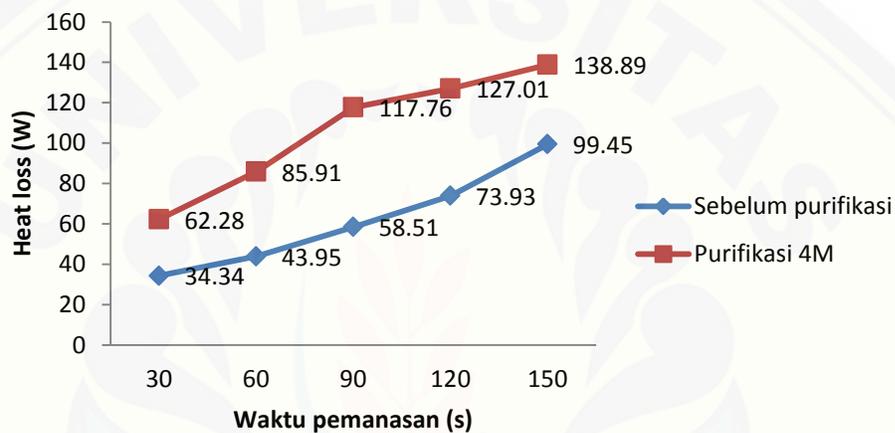
Dimana diketahui diameter dari panci 20cm, tinggi panci 12cm, keliling panci 62,5 cm, tebal panci 0,1 cm, bahan dari aluminium dengan nilai K 237 W/m °C dengan nilai ε 0,82, dan suhu 27°C . Dari data tersebut didapat nilai hambatan termal pada tiab objek yang diteliti. Dan untuk nilai kalor yang hilang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

➤ Kerugian panas pada detik ke 30

- $R_{\text{cond}} = \frac{0.001}{237 \cdot 0.0314}$
= 0.000134376
- $R_{\text{conv}} = \frac{1}{0.630460405 \cdot 0.0314}$
= 50.51409016
- $R_{\text{conv}} = \frac{1}{3.100550594 \cdot 0.0314}$
= 10.27144
- $R_{\text{rad}} = \frac{1}{5.396469629 \cdot 0.075}$
= 2.470751112
- $R_{\text{total}} = R_{\text{cond}} + \{1 / (R_{\text{conv}} + R_{\text{conv}}) + 1/R_{\text{rad}}\}$
= 0.000134376 + { 1/(50.51409016+ 10.27144) + 1/2.470751112}
= 0.421320881
- $Q_{\text{losses}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{total}}} = \frac{(T_1 - T_{\infty})}{R_{\text{total}}}$
= $\frac{(42.47 - 27)}{0.421320881}$
= 34.34436949 W

Tabel 4.14 Kerugian panas

	Panas yang hilang (W)				
	30 detik	60 detik	90 detik	120 detik	150 detik
Sebelum purifikasi	34.344	43.95	58.51	73.93	99.45
Sesudah purifikasi	62.28	85.91	117.76	127.01	138.89



Gambar 4.9 Panas yang hilang biogas non purifikasi dan purifikasi 4M

Pada Gambar 4.9 grafik perbandingan kerugian panas pada biogas non purifikasi dan purifikasi 4M menunjukkan nilai *heat loss* pada proses pemanasan air pada waktu pemanasan kelipatan 30 detik hingga 150 detik. Pada grafik terlihat jelas data mengalami kenaikan. Dan *heat loss* dari biogas purifikasi 4M lebih besar dibanding biogas non purifikasi, yaitu *heat loss* terbesar bernilai 138.89 w dan nilai dari biogas non purifikasi sebesar 99.45 w. Sudah sangat jelas jika benda yang terus menerus menyerap panas tanpa mengalami *heat loss* akan meleleh. Maka dari itu suatu benda harus mengalami kerugian panas, agar benda tidak meleleh saat menerima panas, dengan tujuan tidak mencapai titik maksimal menerima panas.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Dari proses pembakaran biogas menggunakan *bunsen burner* pada biogas sebelum purifikasi persentase warna api biru sebesar 60.40% dan persentase warna merah 39.59%, sedangkan biogas setelah purifikasi persentase warna biru sebesar 73.92% dan persentase warna merah sebesar 26.07%. Peningkatan persentase warna biru sebesar 13,52% dan penurunan persentase warna merah sebesar 13,52% dikarenakan pengaruh komposisi CH_4 pada biogas yang membuat api semakin biru dan CO_2 membuat api semakin merah dan semakin tinggi prosentase warna biru menunjukkan kualitas biogas yang semakin baik.
2. 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 dan masing-masing titik mempunyai jarak 2mm, pada bidang vertikal 6 titik pengukuran dan masing-masing titik mempunyai jarak 4mm. Nilai temperatur tertinggi biogas pada bidang horizontal terjadi pada titik 4 dengan kenaikan suhu $116,3^\circ\text{C}$ sesudah purifikasi dan terjadi suhu tertinggi pada bidang vertikal pada titik 3 dengan kenaikan suhu $159,2^\circ\text{C}$ sesudah purifikasi.
3. Dari proses pemanasan air dengan biogas tanpa purifikasi dengan biogas yang telah dipurifikasi menggunakan KOH 4M, dengan lama waktu pemanasan air 150 detik dan pengambilan data perubahan temperatur air

setiap 30 detik, didapatkan hasil menunjukkan temperatur semakin meningkat setiap 30 detik dan pada detik ke 150 sebelum purifikasi air bertemperatur $51,5^{\circ}\text{C}$ lebih kecil dibandingkan sesudah purifikasi pada detik ke 150 air bertemperatur $76,6^{\circ}\text{C}$, begitu juga dengan kalor yang diserap air pada detik ke 150 sebelum purifikasi yaitu 26.208 KJ dan mengalami peningkatan setelah purifikasi yaitu 51.508 KJ. Pada proses pemanasan air juga mengalami kerugian panas. yang didapatkan data pada biogas sebelum purifikasi lebih kecil daripada biogas purifikasi KOH 4M. pada detik ke 150 kerugian panas biogas sebelum purifikasi yaitu 99.45 W KW dan mengalami peningkatan setelah purifikasi yaitu 138.89 W.

5.2 Saran

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

1. Pada pengujian distribusi temperatur bisa dilakukan variasi titik api, AFR (campuran udara dengan bahan bakar) pada saat pembakaran biogas, dan tinggi api.
2. Pengujian pada saat purifikasi dapat dikembangkan pada variasi tekanan biogas, variasi gelembung, variasi larutan absorber saat proses purifikasi biogas.

DAFTAR PUSTAKA

- Andreas F.S dkk. 2012. Pembuatan Biogas dari Sampah Sayur. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*. 1(1) : 1-8
- Anggiriawan dan Rendy. 2010. *Kinetika Absorpsi*. http://rendy.student.umm.ac.id/download-aspdf/umm_blog_article_35.pdf [12 Maret 2015].
- Bavutti, M dkk. 2014. Thermal Stabilization of Digester of Biogas Plants by Means of Optimization of The Surface Radiative Properties of The Gasometer Domes. *Energy Procedia* 45, hal 1344-1353.
- Cengel, Yunus A., 2003. "*Heat Transfer : A Practical Approach Second Edition*," McGraw-Hill. New York
- Djojonegoro,W. 1992, *Pengembangan dan penerapan energi baru dan terbarukan, Lokakarya "Bio Mature Unit" (BMU) untuk pengembangan masyarakat pedesaan*, BPPT, Jakarta.
- Efriza, E.F. 2009. Biogas Limbah Peternakan Sapi Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan. Universitas Bengkulu: Bengkulu
- Elinur dkk., 2010. Perkembangan Konsumsi dan Penyediaan Energi dalam Perekonomian Indonesia. *Indonesian Journal of Agricultural Economics (IJAE)*. 2(1) : 1-23
- Farizkaraja, M. 2009. Pengaruh Konsentrasi CO₂ Terhadap Karakteristik Api Pembakaran Difusi CH₄+CO₂ pada Counterflow Burner. *Jurnal Konsentrasi Konversi Energy*. hal. 1-11
- Hamidi, N dkk. 2011. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2(3) : 227-231
- Harsono, E. 2013. *Pemurnian Biogas Dengan Pemisahan Membran CO₂ dan CH₄ Menggunakan Zeolite Mixed Matrix Membranes*. Universitas Brawijaya: Malang.

- Ichsan., Hady H., Roy H. 2014. Integrated Biogas-Microalgae from Waste Water as the Potential Biofinery Sources in Indonesia. *Energy Procedia* 47, hal. 143-148.
- Mara, I. M. 2012, Analisis Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) Dengan Larutan NaOH Terhadap Kualitas Biogas Kotoran Sapi. *Dinamika Teknik Mesin*. 2(1) : 38-46
- Monnet, F. 2003. *An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Waste*. Scotland. [Final Report].
- Oleszek, M dkk. 2014. Comparison of Biogas Production from Wild and Cultivated Varieties of Reed Canary Grass. *Bioresource Technology* [journal] 156, hal. 303-306.
- Padang, Y.A., Nurchayati., Suhandi. 2011. Meningkatkan Kualitas Biogas Dengan Penambahan Gula. *Jurnal Teknik Rekayasa*. 12(1) : 53-62
- Prasetya, A., dkk. Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Kandungan Gas CO₂ Dalam Proses Purifikasi Biogas Sistem Continue. hal. 1-7
- Sikanna, Rismawaty, dkk 2013. Kajian Teknologi Produksi Biogas Dari Sampah Basah Rumah Tangga. *Online Jurnal of Natural Science*. 2(1): 25-34
- Toko, H.K., dkk, W. 2013. Pengaruh Prosentase CO₂ Terhadap Distribusi Temperatur Pembakaran Difusi CH₄-CO₂ Pada Counterflow Burner. Malang: Universitas Brawijawa.
- Turns, S. R. 1996. *An Introduction To Combustion Concepts and Application*. Mc Graw Hill.
- Umesh, S. dan Kansingh, B. 2013. *Activated Sludge Treatment Process to Increase Bio Gas Production-A Need of Present Energy Crisis Scenario*. Dausa: S J College Of Engg. and Technology.
- Uwar, N.A. dkk. 2012. Karakteristik Pembakaran CH₄ Dengan Penambahan Co₂ Pada Model Helle-Shaw Cell Pada Penyalaan Bawah. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 3(1): 249-257
- Waskito, D. 2011. *Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi di Kawasan Usaha Peternakan Sapi*. [Tesis]. FT UI.
- Widyatmoko, H., dan Moerdjoko, S. *Menghindari, Mengolah dan Menyingkirkan Sampah*. 2002. Abdi Tandur : Yogyakarta. Hal. 32.

Yenni., 2012. Uji Pembentukan Biogas dari Substrat sampah Sayur dan Buah dengan Ko-Substrat Limbah Isi Rumen Sapi. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*. 9 (1) :26-36

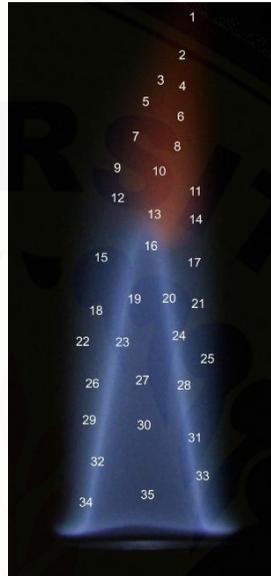


LAMPIRAN A. TABEL DAN PERHITUNGAN

A.1 Uji Warna Api

1. Sebelum Purifikasi

a. Pengulangan 2



Gambar A1.1 Warna Api dan Titik Api

Tabel A1.1 Nilai RGB pengulangan 2

titik	Merah	Hijau	Biru	Merah / 255	Biru /255
1	38	10	4	0.149019608	0.015686
2	48	18	10	0.188235294	0.039216
3	50	13	5	0.196078431	0.019608
4	66	19	11	0.258823529	0.043137
5	53	23	21	0.207843137	0.082353
6	78	31	21	0.305882353	0.082353
7	45	30	35	0.176470588	0.137255
8	98	44	34	0.384313725	0.133333
9	61	29	30	0.239215686	0.117647
10	48	37	50	0.188235294	0.196078
11	113	80	89	0.443137255	0.34902
12	51	38	48	0.2	0.188235
13	41	58	86	0.160784314	0.337255
14	70	86	135	0.274509804	0.529412
15	37	48	74	0.145098039	0.290196

16	53	68	107	0.207843137	0.419608
17	61	82	127	0.239215686	0.498039
18	81	102	159	0.317647059	0.623529
19	33	47	74	0.129411765	0.290196
20	39	50	80	0.152941176	0.313725
21	70	52	149	0.274509804	0.584314
22	70	84	129	0.274509804	0.505882
23	25	37	59	0.098039216	0.231373
24	42	60	96	0.164705882	0.376471
25	51	68	112	0.2	0.439216
26	85	105	158	0.333333333	0.619608
27	59	73	110	0.231372549	0.431373
28	45	63	103	0.176470588	0.403922
29	81	98	154	0.317647059	0.603922
30	50	65	106	0.196078431	0.415686
31	52	74	113	0.203921569	0.443137
32	77	102	158	0.301960784	0.619608
33	53	76	117	0.207843137	0.458824
34	79	101	158	0.309803922	0.619608
35	40	55	59	0.156862745	0.231373
Jumlah				8.011764706	11.6902

Dari Tabel A1.1 didapatkan bahwa jumlah nilai RGB api merah 8,01 dan nilai RGB api biru 11,69. Kedua jumlah nilai RGB api merah dan nilai RGB api biru dijumlahkan didapatkan nilai 19,70. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase warna merah :

$$\frac{8,01}{19,70} \times 100\% = 34.92\%$$

Persentase warna biru

$$\frac{11,69}{19,70} \times 100\% = 59.33\%$$

b. Pengulangan 3



Gambar A1.2 Warna Api dan Titik Api

Tabel A1.2 Nilai RGB Pengulangan 3

titik	Merah	Hijau	Biru	Merah / 255	Biru /255
1	14	10	9	0.054901961	0.035294118
2	15	9	11	0.058823529	0.043137255
3	23	14	15	0.090196078	0.058823529
4	26	21	25	0.101960784	0.098039216
5	33	24	29	0.129411765	0.11372549
6	24	18	22	0.094117647	0.08627451
7	41	29	39	0.160784314	0.152941176
8	30	28	41	0.117647059	0.160784314
9	44	43	61	0.17254902	0.239215686
10	48	46	59	0.188235294	0.231372549
11	47	43	57	0.184313725	0.223529412
12	44	40	55	0.17254902	0.215686275
13	60	49	66	0.235294118	0.258823529
14	43	42	60	0.168627451	0.235294118
15	46	56	83	0.180392157	0.325490196
16	76	53	63	0.298039216	0.247058824
17	59	55	78	0.231372549	0.305882353
18	60	60	86	0.235294118	0.337254902
19	120	75	80	0.470588235	0.31372549

20	36	37	58	0.141176471	0.22745098
21	39	48	81	0.152941176	0.317647059
22	47	60	95	0.184313725	0.37254902
23	39	35	52	0.152941176	0.203921569
24	123	79	80	0.482352941	0.31372549
25	75	78	79	0.294117647	0.309803922
26	48	63	102	0.188235294	0.4
27	115	66	70	0.450980392	0.274509804
28	35	36	57	0.137254902	0.223529412
29	54	73	113	0.211764706	0.443137255
30	57	70	114	0.223529412	0.447058824
31	50	37	54	0.196078431	0.211764706
32	57	75	121	0.223529412	0.474509804
33	43	58	101	0.168627451	0.396078431
34	45	67	116	0.176470588	0.454901961
35	18	22	47	0.070588235	0.184313725
Jumlah				6.8	8.937254902

Dari Tabel A1.2 didapatkan bahwa jumlah nilai RGB api merah 6.8 dan nilai RGB api biru 8.93. Kedua jumlah nilai RGB api merah dan nilai RGB api biru dijumlahkan didapatkan nilai 15.73. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase warna merah :

$$\frac{6.8}{15.73} \times 100\% = 43.20\%$$

Persentase warna biru

$$\frac{8.93}{15.73} \times 100\% = 56.79\%$$

2. Setelah Purifikasi
a. Pengulangan 2



Gambar A1.3 Warna Api dan Titik Api

Tabel A1.3 Nilai RGB Pengulangan 2

titik	Merah	Hijau	Biru	Merah/255	Biru/255
1	13	5	28	0.0509804	0.109804
2	17	11	49	0.0666667	0.192157
3	32	23	49	0.1254902	0.192157
4	26	18	80	0.1019608	0.313725
5	47	44	113	0.1843137	0.443137
6	62	58	142	0.2431373	0.556863
7	41	41	113	0.1607843	0.443137
8	56	61	142	0.2196078	0.556863
9	73	74	164	0.2862745	0.643137
10	51	62	142	0.2	0.556863
11	46	68	154	0.1803922	0.603922
12	76	85	176	0.2980392	0.690196

13	42	66	152	0.1647059	0.596078
14	60	107	199	0.2352941	0.780392
15	87	124	213	0.3411765	0.835294
16	66	112	208	0.2588235	0.815686
17	688	127	219	2.6980392	0.858824
18	48	107	201	0.1882353	0.788235
19	72	128	223	0.2823529	0.87451
20	78	147	238	0.3058824	0.933333
21	52	118	214	0.2039216	0.839216
22	88	158	244	0.345098	0.956863
23	61	131	217	0.2392157	0.85098
24	52	126	221	0.2039216	0.866667
25	86	164	271	0.3372549	1.062745
26	85	167	249	0.3333333	0.976471
27	52	125	220	0.2039216	0.862745
28	77	153	239	0.3019608	0.937255
29	76	152	236	0.2980392	0.92549
30	44	118	217	0.172549	0.85098
31	93	179	254	0.3647059	0.996078
32	89	181	254	0.3490196	0.996078
33	39	119	216	0.1529412	0.847059
34	35	113	211	0.1372549	0.827451
35	76	162	249	0.2980392	0.976471
JUMLAH				10.533333	25.55686

Dari Tabel A1.3 didapatkan bahwa jumlah nilai RGB api merah 10.53 dan nilai RGB api biru 25.55. Kedua jumlah nilai RGB api merah dan nilai RGB api biru dijumlahkan didapatkan nilai 36.09. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase warna merah :

$$\frac{10,53}{36,09} \times 100\% = 29.18\%$$

Persentase warna biru

$$\frac{25,55}{36,09} \times 100\% = 70.81\%$$

b. Pengulangan 3



Gambar A1.4 Warna Api dan Titik Api

Tabel A1.4 Nilai RGB Pengulangan 3

titik	Merah	Hijau	Biru	Merah/255	Biru/255
1	12	6	13	0.02352941	0.05098
2	0	5	35	0	0.137255
3	4	13	72	0.05098039	0.282353
4	3	10	56	0.01176471	0.219608
5	4	22	98	0.08627451	0.384314

6	10	49	144	0.03921569	0.564706
7	4	17	87	0.06666667	0.341176
8	7	32	122	0.02745098	0.478431
9	16	67	172	0.2627451	0.67451
10	15	47	134	0.05882353	0.52549
11	5	52	156	0.20392157	0.611765
12	22	82	194	0.08627451	0.760784
13	12	65	167	0.25490196	0.654902
14	15	115	227	0.05882353	0.890196
15	24	114	226	0.44705882	0.886275
16	43	140	245	0.16862745	0.960784
17	17	123	233	0.48235294	0.913725
18	30	149	249	0.11764706	0.976471
19	32	148	249	0.58039216	0.976471
20	21	161	249	0.08235294	0.976471
21	33	158	251	0.61960784	0.984314
22	25	159	254	0.09803922	0.996078
23	21	150	242	0.58823529	0.94902
24	13	165	249	0.05098039	0.976471
25	12	168	251	0.65882353	0.984314
26	4	105	211	0.01568627	0.827451
27	14	107	213	0.41960784	0.835294
28	13	153	250	0.05098039	0.980392
29	13	167	253	0.65490196	0.992157
30	13	198	254	0.05098039	0.996078
31	9	138	230	0.54117647	0.901961
32	2	150	250	0.00784314	0.980392
33	4	162	251	0.63529412	0.984314
34	14	206	253	0.05490196	0.992157
35	4	178	249	0.69803922	0.976471
JUMLAH				8.25490196	26.62353

Dari Tabel A1.4 didapatkan bahwa jumlah nilai RGB api merah 8.25 dan nilai RGB api biru 26.62. Kedua jumlah nilai RGB api merah dan nilai RGB api biru dijumlahkan didapatkan nilai 34.87. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase warna merah :

$$\frac{8.25}{34.87} \times 100\% = 23.66\%$$

Persentase warna biru

$$\frac{26.62}{34.87} \times 100\% = 76.33\%$$

A.2 Distribusi Temperatur

1. Data Distribusi temperatur (*Horizontal*)

Tabel A2.1 Nilai temperatur sebelum purifikasi

Jarak	percobaan 1	percobaan 2	percobaan 3	Rata - rata
Titik 1 (13)	96,2	89,4	91,5	92.36667
Titik 2 (11)	135,8	106,2	109,6	117.2
Titik 3 (9)	203,3	200,9	204,3	202.8333
Titik 4 (7)	274,6	288,9	305,4	289.6333
Titik 5 (5)	187,1	190,6	197,2	191.6333

Tabel A2.2 Nilai temperatur sesudah purifikasi

Jarak	percobaan 1	percobaan 2	percobaan 3	Rata - rata
Titik 1 (13)	136,3	139,7	131	135.6667
Titik 2 (11)	180,6	193	171,2	181.6
Titik 3 (9)	322,7	333,9	323,6	326.7333
Titik 4 (7)	390,9	396,5	364,3	383.9
Titik 5 (5)	298,7	290,5	281,1	290.1

2. Data Distribusi temperatur (*Vertikal*)

Tabel A2.3 Nilai temperatur sebelum purifikasi

Jarak	percobaan 1	percobaan 2	percobaan 3	rata - rata
Titik 1	250.83	248.9	260,4	249.865
Titik 2	339.1	340	350,5	339.55
Titik 3	470.6	469.2	480,9	469.9
Titik 4	437.2	431,7	461,6	437.2
Titik 5	408.5	401,2	411,5	408.5
Titik 6	250.8	246,1	250,6	250.8

Tabel A2.4 Nilai temperatur sebelum purifikasi

jarak	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	rata - rata
Titik 1	470.5	475.1	476,2	472.8
Titik 2	535.9	540.3	544,4	538.1
Titik 3	629.8	630.9	633	631.2333
Titik 4	594.6	605.3	506	568.6333
Titik 5	551.5	555.6	557	554.7
Titik 6	381.7	385,7	387,8	381.7

LAMPIRAN B. GAMBAR DAN ALAT PENELITIAN



Gambar B.1 Reaktor Biogas



Gambar B.2 Alat Purifikasi



Gambar B.3 *bunsen burner*



Gambar B.4 Sistem Keluaran Gas Pada Pengujian Kalor Pembakaran



Gambar B.5 Pengujian Kalor Pembakaran



Gambar B.6 pengambilan foto api



Gambar B.7 kompor biogas

JEMBER