



**ANALISIS WARNA DAN TEMPERATUR API BIOGAS LIMBAH
RUMAH TANGGA SEBELUM DAN SESUDAH PURIFIKASI
DENGAN ABSORBER KOH 1 MOLAR**

SKRIPSI

Oleh

**Ahmad Busro
NIM 121910101050**

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



**ANALISIS WARNA DAN TEMPERATUR API BIOGAS LIMBAH
RUMAH TANGGA SEBELUM DAN SESUDAH PURIFIKASI
DENGAN ABSORBER KOH 1 MOLAR**

SKRIPSI

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

Oleh

Ahmad Busro
NIM 121910101050

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

PERSEMBAHAN

Segala puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang telah diberikan sehingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini. Akhirnya dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih dan penyayang saya persembahkan tugas akhir ini sebagai wujud terimakasih kepada :

1. Allah SWT, Agama saya dan Nabi Muhammad SAW, yang telah memberikan saya arti kehidupan, kekuatan, kebahagiaan dan cinta kasih.
2. Ibu saya tercinta Nur Aida dan ayah saya Rayes Abdullah yang telah berjuang menjaga, mendidik, mencukupi, membahagiakan, memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan doa yang tiada hentinya.
3. Saudara saya Ahmad Baiquni, Ida Rahmawati, Ahmad Bahar dan Amrina yang telah memberikan doa, semangat, hiburan dan motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
4. Guru-guruku sejak Sekaloah Dasar sampai dengan Sekolah Menengah.
5. Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu dan pengalaman yang bermanfaat dan semoga barokah.
6. Keluarga besar Teknik Mesin angkatan 2012 terimakasih semua pengalaman berarti selama ini.
7. Teman dan sahabat yang selalu ada untuk membantu segala urusan.

MOTTO

“Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi sesama manusia”

(HR. Thabrani)

“Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S. Al-Baqarah: 286)

“Dan boleh jadi kamu membenci sesuatu tetapi ia baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu tetapi ia buruk bagimu, dan Allah mengetahui dan kamu tidak mengetahui”

(Q.S. Al-Baqarah: 216)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Busro

NIM : 121910101050

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “ANALISIS WARNA DAN TEMPERATUR API BIOGAS LIMBAH RUMAH TANGGA SEBELUM DAN SESUDAH PURIFIKASI DENGAN ABSORBER KOH 1 MOLAR” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, 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, 15 November 2016

Yang menyatakan,

Ahmad Busro

NIM 121910101050

SKRIPSI

**ANALISIS WARNA DAN TEMPERATUR API BIOGAS LIMBAH
RUMAH TANGGA SEBELUM DAN SESUDAH PURIFIKASI
DENGAN ABSORBER KOH 1 MOLAR**

Oleh

Ahmad Busro
NIM 121910101050

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “*Analisis warna dan Temperatur Api Biogas Limbah Rumah Tangga Sebelum dan Sesudah Purifikasi dengan Absorber KOH 1 Molar*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Selasa, 15 November 2016

Tempat : Ruang Ujian 2 Dekanat Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua (DPU),

Sekretaris (DPA),

Dr. Gaguk Jatisukanto, S.T., M.T.
NIP 19690209 199802 1 001

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

Anggota I,

Anggota II,

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP 19681205 199702 1 002

Hari Arbiantara, S.T., M.T.
NIP 19670924 199412 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Analisis Warna dan Temperatur Api Biogas Limbah Rumah Tangga Sebelum dan Sesudah Purifikasi dengan absorber KOH 1 Molar; Ahmad Busro, 121910101050; 2016: 45 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Sampah adalah sisa dari aktifitas manusia dalam kehidupan sehari-hari. Kuantitas sampah dipengaruhi aktifitas manusia dan pertambahan jumlah penduduk. Berdasarkan data dari DPU Cipta Karya dan Tata Ruang Kabupaten Jember produksi sampah di Jember cenderung meningkat setiap tahun. Sampah sangat banyak tetapi hingga kini belum dikelola dengan baik. Produk olahan sampah dapat dikonversi menjadi bahan bakar biogas. Pemanfaatan sampah menjadi bahan bakar biogas akan memberikan sumbangsih pemecahan masalah dalam hal krisis energi.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kualitas biogas yang dihasilkan dari limbah rumah tangga sebelum dan sesudah purifikasi dengan absorber KOH 1 Molar. Kualitas biogas dapat dilihat dari karakteristiknya yang meliputi warna api, temperatur api dan kalor pembakaran biogas yang mampu diserap air. Penelitian ini dilakukan 3 tahapan purifikasi dan 3 kali pengulangan pada setiap pengujian karakteristik api. Bahan utama biogas adalah sampah rumah tangga organik dengan rasio air/sampah rumah tangga 1:2 atas dasar berat/volume (b/v) dan diberi starter berupa kotoran sapi dengan konsentrasi 6,25%.

Dengan menggunakan gas *analyzer* didapatkan persentase CO₂ sebelum purifikasi sebesar 43,50 % dan setelah purifikasi persentase CO₂ sebesar 6,10 %. Hasil analisis dari warna api biogas, temperatur api biogas dan kalor pembakaran biogas yang mampu diserap air, diperoleh hasil biogas setelah dipurifikasi dengan absorber KOH 1 Molar lebih baik daripada sebelum purifikasi. Hal ini disebabkan karena persentase CO₂ sebagai inhibitor berkurang setelah dipurifikasi.

SUMMARY

The Analysis of Flame Colour and Temperature of Household Waste Biogas Before and After Purification with Koh 1 Molar Absorber; Ahmad Busro, 121910101050; 2016: 45 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Garbage is the residue of human activities daily life. The quantity of garbage is influenced by human activities and population growth. Based on data from the Department of Public Services and Spatial Settlement of Jember, waste production in Jember tends to increase every year. Garbage is very much but until now it has not been managed yet properly. Garbage processed products can be converted into biogas. Utilization of garbage into biogas will contribute in solving the energy crisis.

The purpose of this study is to determine the quality of the biogas produced from household waste before and after purification with KOH absorber 1 Molar. The quality of biogas can be seen from its characteristic that includes the flame colour, flame temperature and the combustion heat of biogas that can be absorbed by the water. This research was conducted in three stages of purification and 3 repetitions in each flame characteristics test. The main ingredient of the biogas is organic household waste with a ratio of water / household wastes 1 : 2 on the basis of weight/volume (w/v) and are given a starter in form of cow manure with a concentration of 6.25%.

By using gas analyzer, it can be obtained CO₂ percentage before purification by 43.50% and after purification by 6.10%. The results of the analysis of the biogas of flame colour, flame temperature and the combustion heat of biogas that can be absorbed by the water, biogas results is obtained after being purified with KOH absorber 1 Molar better than before purification. This is because CO₂ percentage as inhibitors is decreased after being purified.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Analisis Warna dan Temperatur Api Biogas Limbah Rumah Tangga Sebelum dan Sesudah Purifikasi KOH 1 M”. 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. Orang tua dan keluarga yang senantiasa memberi dukungan dan motivasi kepada kami untuk tetap semangat dalam perkuliahan.
2. Bapak Dr. Gaguk Jatisukanto, S.T., M.T. dan bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. yang telah membimbing, dan memberikan masukan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. dan bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga tugas akhir ini dapat menjadi lebih baik.
4. Tim Biogas yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah bersama-sama menyelesaikan skripsi ini.

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

Jember, 15 November 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	4
1.4. Manfaat	4
1.5. Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Energi	5
2.2. Sampah	7
2.2.1 Sampah Rumah Tangga	7
2.2.2 Permasalahan Sampah	7
2.3. Biogas	8
2.4. Proses Pemurnian Biogas	9
2.5. Karakteristik Api Biogas	14
2.5.1 Warna Api	14
2.5.2 Temperatur Api	19
2.6. Hipotesa	22

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Metode Penelitian	23
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2.1 Tempat Penelitian.....	23
3.2.2 Waktu Penelitian	23
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	23
3.4 Variabel Penelitian	25
3.4.1 Variabel Bebas	25
3.4.2 Variabel Terikat.....	25
3.4.3 variabel Kontrol.....	26
3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	26
3.6 Pengamatan yang Dilakukan	26
3.7 Tahap Penelitian.....	26
3.7.1 Tahap Pembuatan Biogas	26
3.7.2 Tahap Pembuatan Alat Purifikasi Biogas.....	27
3.7.3 Tahap Penyiapan KOH.....	28
3.7.4 Tahap Pemurnian Biogas	28
3.8 Tahap Pengujian	29
3.8.1 Pengujian Kalor Pembakaran Api Biogas.....	29
3.8.1 Pengujian Warna Api	31
3.8.2 Distribusi temperatur.....	34
3.9 Diagram Alir Penelitian	36
3.10 Jadwal Kegiatan Penelitian	37
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Hasil Pembahasan.....	35
4.1.1 Persentase CH ₄ dan CO ₂ pada Biogas.....	35
4.1.2 Warna api biogas	36
4.1.3 Distribusi Temperatur	38
4.1.4 Kalor Pembakaran Api Biogas yang Mampu Diserap Air	41
BAB 5. PENUTUP.....	44
5.1 Kesimpulan.....	44

5.2 Saran 45

45

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengaruh kadar senyawa KOH pada zeolit terhadap kandungan gas CO ₂ biogas	10
Gambar 2.2 Pengaruh kadar senyawa KOH pada zeolite terhadap kandungan gas CH ₄ biogas	11
Gambar 2.3 Hubungan kandungan CO ₂ terhadap waktu penyerapan pada berbagai konsentrasi NaOH sistem <i>continue</i> alat purifikasi tanpa batu <i>porous</i>	13
Gambar 2.4 Foto api pada kondisi YO ₂ = 0.225 dengan debit bahan bakar 8LPM	15
Gambar 2.5 Warna api dan titik api sebelum dipurifikasi	16
Gambar 2.6 Warna api dan titik api setelah dipurifikasi.....	17
Gambar 2.7 Foto api dari berbagai variasi CO ₂ pada kondisi (A) O ₂ = 40%; (B) O ₂ = 30%; (C) O ₂ = 20%.....	18
Gambar 2.8 Temperatur rata-rata pada variasi persentase CO ₂ , debit bahan bakar 8 LPM dengan YO ₂ 0,225	19
Gambar 2.9 Distribusi temperatur api difusi <i>counterflow flame</i> , dengan variasi persentase CO ₂ , yaitu (a) 10%, (b) 30%, dan (c) 50%	20
Gambar 2.10 Temperatur api dan fraksi hidrogen pada Re = 800 dan $\Phi = 1.2$	21
Gambar 3.1 Reaktor biogas.....	27
Gambar 3.2 Alat purifikasi.....	27
Gambar 3.3 Skema pemurnian biogas	29
Gambar 3.4 Skema pengujian kalor pembakaran	30
Gambar 3.5 <i>Bunsen burner</i>	31
Gambar 3.6 Contoh pengambilan data temperatur secara (a) horizontal dan (b) vertikal.....	34
Gambar 3.7 Diagram alir pengujian.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Proporsi Sumber energi pada negara-negara di dunia	6
Tabel 2.2 Komposisi biogas.....	9
Tabel 2.3 Biogas sebelum dan setelah purifikasi dengan KOH 1M kandungan CH ₄ + zat pengotor.....	12
Tabel 2.4 Biogas sebelum dan setelah purifikasi dengan KOH 1M kandungan CO ₂	12
Tabel 2.5 Total prosentase warna api (sebelum purifikasi)	16
Tabel 2.6 Hasil prosentase warna api (setelah purifikasi).....	17
Tabel 3.1 Waktu (detik) pembakaran terhadap kenaikan temperatur (°C) air	30
Tabel 3.2 Nilai RGB setiap luasan warna	32
Tabel 3.3 Nilai RGB dibagi 255	33
Tabel 3.4 Pengujian distribusi temperatur pada titik horizontal	35
Tabel 3.5 Pengujian distribusi temperatur pada titik vertikal	35
Tabel 3.6 Jadwal penelitian tahun 2016.....	37

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Inggris telah membawa begitu banyak dampak positif bagi perkembangan teknologi masa kini yang kian pesat, akibat dari revolusi industri yang terjadi pada dua kali periode, yaitu abad ke-18 dan 19. Inggris telah melakukan berbagai penciptaan, produksi massal, dan kemudahan akses akan peralatan yang mempermudah pekerjaan manusia, hal tersebut telah membuat pekerjaan manusia semakin praktis. Manusia memiliki ketergantungan yang semakin tinggi pada peralatan bantu yang dapat mempermudah pekerjaan mereka, sehingga kini banyak dijumpai kegiatan yang walaupun sangat sederhana seperti, mengupas sayur-mayur, tetapi telah menggunakan pisau elektrik. Manusia yang memiliki ketergantungan akan peralatan bantu ini mengakibatkan ketergantungan manusia akan energi yang menjadi sumber pengoperasian peralatan bantu tersebut juga sangat tinggi. Energi yang telah dieksploitasi secara berlebihan tanpa adanya pemikiran yang bijaksana akan penggunaannya, mengakibatkan terjadinya krisis energi yang kini telah melanda dunia (Mediastika, 2013). Krisis energi yang kian parah dapat dicegah dengan memanfaatkan hal-hal yang ada disekitar kita, seperti sampah untuk dijadikan sebagai bahan baku energi terbarukan.

Sampah adalah sisa dari aktifitas manusia dalam memanfaatkan alam yang dianggap sudah tidak berguna lagi sehingga diperlakukan sebagai barang buangan (Widyatmoko dan Moerdjoko, 2002). Penduduk yang semakin meningkat secara signifikan serta adanya perubahan pola konsumsi masyarakat secara tidak langsung menambah volume, jenis dan karakteristik sampah semakin beragam. Sampah dipengaruhi oleh aktifitas manusia, penambahan jumlah penduduk dan ketersediaan ruang hidup manusia yang relatif tetap. Manusia memiliki gaya hidup yang semakin maju, menyebabkan semakin banyak sampah yang dihasilkan (Aisyah, 2013). Berdasarkan data dari DPU Cipta Karya dan Tata Ruang Kabupaten Jember produksi sampah di Jember cenderung meningkat setiap tahun. Timbunan sampah pada tahun 2010 sebanyak 1.169.068 m³, dan tahun 2011

sebanyak 1.208.241 m³. Kabupaten Jember menghasilkan timbunan sampah mencapai 3.287,51 m³/hari dengan komposisi sampah organik (81,9%), sampah non-organik (13,6%) dan sampah beracun (4,5%) (Widyasari *et al.* 2013). Sampah yang semakin banyak akan mengakibatkan berbagai macam pencemaran lingkungan, maka perlu dilakukan pemanfaatan sampah menjadi bahan yang berguna seperti kerajinan tangan, kompos, barang daur ulang ataupun dimanfaatkan sebagai energi terbarukan yaitu biogas.

Biogas adalah salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk menanggulangi permasalahan sampah saat ini. Biogas adalah gas produk akhir degradasi anaerobik bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerobik dalam lingkungan bebas oksigen atau udara. Biogas memiliki komponen utama, yaitu metana (CH₄, sebanyak 55-75%) dan karbon dioksida (CO₂, sebanyak 25-45%) (Widarta, 1997 dalam Mediastika, 2013). Biogas mengalami dua tahap dalam proses produksinya, yaitu penyiapan bahan baku dan proses penguraian anaerobik oleh mikroorganisme untuk menghasilkan gas matana (Mediastika, 2013). Gas metana (CH₄) sangat penting dalam proses pembakaran biogas, sehingga untuk mendapatkan nilai kalor pembakaran yang lebih besar harus memaksimalkan persentasenya dengan jalan menurunkan gas lain utamanya CO₂. Gas CO₂ akan merugikan proses pembakaran, karena dalam reaksi pembakaran CO₂ merupakan gas hasil reaksi pembakaran yang tidak bisa terbakar lagi (Sugiarto *et al.* 2013).

Purifikasi adalah cara yang dapat dilakukan untuk menurunkan kandungan CO₂ pada biogas, sehingga kalor pembakaran pada biogas akan semakin tinggi. Hadi (2015) melakukan penelitian menggunakan purifikasi KOH 1M, Prasetya *et al.* (Tanpa Tahun) melakukan purifikasi biogas sistem kontinu menggunakan NaOH dan Hamidi *et al.* (2014) menggunakan metode penelitian dengan variasi konsentrasi senyawa KOH ke dalam zeolit dengan persentase 0%, 5%, 10%, dan 15 %. Dari penelitian pemurnian biogas yang telah dilakukan mendapatkan hasil yang sama, yaitu semakin baiknya kualitas api biogas, karena kandungan CO₂ semakin berkurang dan kandungan CH₄ bertambah.

Biogas yang memiliki kualitas api yang baik, maka kalor pembakaran api biogas akan semakin baik pula. Hal ini dapat ditandai dengan membaiknya

karakteristik api seperti warna dan temperatur api biogas. Hadi (2015) melakukan penelitian tentang warna api biogas, menghasilkan warna api dengan persentase warna biru 70.50% setelah dipurifikasi dan api biogas sebelum dipurifikasi memiliki persentase warna api biru 60.16%. Toko *et al.* (Tanpa Tahun) melakukan penelitian yang mendapatkan kesimpulan pada campuran kaya, dimana banyak ditemukan api kuning yang lebih terang. Pola api yang terbentuk terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya konsentrasi CO₂ dari bahan bakar menyebabkan api semakin gelap. Wicaksono *et al.* (Tanpa Tahun) memvariasikan penambahan persentase CO₂ 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan variasi persentase pada oksidator 40%, 30% dan 20% terhadap campuran *premix* CH₄/CO₂/O₂, hasilnya warna yang terjadi adalah dominan biru keputih-putihan serta seiring dengan berkurangnya asupan O₂ pada ketiga variasi mengakibatkan warna dari api sedikit lebih gelap.

Toko *et al.* (Tanpa Tahun), yang membahas tentang pentingnya pengaruh kadar CO₂ terhadap distribusi temperatur dari pembakaran difusi CH₄-CO₂, menyimpulkan bahwa, penambahan CO₂ mengakibatkan distribusi temperatur yang terjadi semakin menyempit atau tipis dan juga temperatur api yang dihasilkan semakin rendah atau menurun. Zhen *et al.* (2014) mendapatkan hasil dari penelitian bahwa jika konsentrasi CO₂ lebih tinggi dalam biogas, maka semakin rendah suhu api, hal ini dikarenakan CO₂ adalah gas *inert*. Kehadiran CO₂ dalam biogas mencairkan konsentrasi CH₄ dan juga menyerap sebagian dari panas yang dilepaskan selama pembakaran CH₄.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh purifikasi KOH 1M terhadap warna api biogas limbah rumah tangga.
2. Bagaimana pengaruh purifikasi KOH 1M terhadap temperatur api biogas limbah rumah tangga.
3. Bagaimana pengaruh purifikasi KOH 1M terhadap kalor pembakaran api biogas limbah rumah tangga.

1.3 Tujuan

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

1. Mengetahui warna api biogas sampah rumah tangga dengan purifikasi KOH 1M maupun tanpa purifikasi.
2. Mengetahui temperatur api biogas sampah rumah tangga dengan purifikasi KOH 1M maupun tanpa purifikasi.
3. Mengetahui kalor pembakaran api biogas limbah rumah tangga dengan purifikasi KOH 1 M maupun tanpa purifikasi.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui prinsip kerja dari biogas dari awal pembuatan hingga pengujian.
2. Memberikan pengetahuan tentang 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.

1.5 Batasan Masalah

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

1. Model bentuk dan bahan material reaktor biogas menggunakan drum.
2. Konstruksi reaktor dianggap tanpa kebocoran.
3. Kondisi suhu dan kelembapan ruangan dianggap tetap.
4. Kalor pembakaran yang terbuang dianggap sama.
5. Menggunakan AFR udara bebas pada saat penyalaan *bunsen burner*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi

Dalam *Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI)*, energi disinonimkan dengan tenaga dan dijabarkan sebagai “kemampuan untuk melakukan kerja”. Energi akan menyebabkan suatu benda baik hidup maupun mati akan bergerak, maka ketiadaan energi akan membuat benda tidak memiliki kekuatan untuk bergerak atau bekerja. Energi dibedakan menjadi energi yang terbarukan (*renewable energy*) dan energi yang tak terbarukan (*non-renewable energy*). Energi yang tak terbarukan (*non-renewable energy*) berasal dari sumber daya fosil. Fosil ini berada dalam tanah, tertimbun lumpur, pasir, dan bebatuan dalam jangka waktu jutaan tahun, sehingga posisinya semakin dalam dan terus mengalami peningkatan tekanan karena lapisan yang menutupinya juga semakin tebal. Kebutuhan energi setiap tahun akan semakin meningkat namun persediaan tidak mencukupi, maka akan terjadi krisis energi. Krisis energi tak terbarukan terjadi karena 87,7 % kebutuhan energi di dunia dipenuhi oleh energi yang berasal dari sumber tak terbarukan (*BP Statistical Review of World Energy, 2005 dalam Mediastika, 2013*). Krisis energi yang terjadi karena kesadaran penghematan energi baru direalisasikan beberapa tahun terakhir, sementara penggunaan energi secara berlebihan terhadap sumber energi tak terbarukan telah berlangsung selama ribuan tahun. Tabel 2.1 menunjukkan konsumen terbesar dari energi tak terbarukan adalah negara-negara industri maju, seperti Amerika Serikat, Jepang, Jerman, Kanada, dan Korea Selatan. Federasi Rusia dan Inggris menjadikan gas alam sebagai pemasok terbesar kebutuhan energi di negerinya, sementara Cina dan India menggunakan batu bara sebagai penopang utama pemenuhan kebutuhan energinya. Di Prancis, nuklir justru menjadi sumber energi utama dibandingkan penggunaan minyak, gas, ataupun batu bara.

Tabel 2.1 Proporsi sumber energi pada negara-negara di dunia

No.	Negara	Minyak	Gas Alam	Batu Bara	Energi Nuklir	Energi Air	Total	%
1	USA	937,6	582,0	564,3	187,9	59,8	2331,6	22,8
2	Cina	308,6	35,1	956,9	11,3	74,2	1386,2	13,6
3	Federasi Rusia	128,5	361,8	105,9	32,4	40,0	688,6	6,5
4	Jepang	241,5	64,9	120,8	64,8	22,6	514,6	5,0
5	India	119,3	28,9	204,8	3,8	19,0	375,8	3,7
6	Jerman	123,6	77,3	85,7	37,8	6,1	330,4	3,2
7	Kanada	99,6	80,5	30,5	20,5	76,4	307,5	3,0
8	Prancis	94,0	40,2	12,5	101,4	14,8	262,9	2,6
9	Inggris	80,8	88,2	38,1	18,1	1,7	226,9	2,2
10	Korea Selatan	104,8	28,4	53,1	29,6	1,3	217,2	2,1
...								
20	Indonesia	54,7	30,3	22,2	-	2,5	109,6	1,1

Sumber: *BP Statistical Review of World Energy*, 2005 dalam Mediastika, (2013).

Sampai tahun 2004, penduduk bumi telah mengkonsumsi 1/15 dari keseluruhan energi yang berasal dari fosil, padahal usia bumi dimungkinkan masih berlangsung lama dan jumlah energi ini tidak dapat diperbarui lagi. Penggunaan 1/15 ini baru berlangsung dua abad terakhir (saat revolusi industri) seiring dengan perkembangan dunia industri dan teknologi yang semakin pesat (*BP Statistical Review of World Energy*, 2005 dalam Mediastika, 2013). Penggunaan 1/15 dari keseluruhan energi dikonsumsi hanya dalam 200 tahun dari keseluruhan usia kehidupan di bumi yang telah berlangsung puluhan ribu tahun, maka cadangan energi 14/15 bagian yang tersisa apabila terus digunakan, akan benar-benar mengakibatkan krisis energi dunia. Energi yang terbarukan

(*renewable energy*) adalah solusi untuk menghadapi krisis energi (Mediastika, 2013).

2.2 Sampah

Sampah dan limbah adalah aktifitas manusia dalam memanfaatkan alam selalu meninggalkan sisa yang dianggap sudah tidak berguna lagi, sehingga diperlakukan sebagai barang buangan. Sampah bisa berasal dari berbagai sumber, seperti rumah tangga, kegiatan komersial, bangunan, fasilitas umum (Widyatmoko dan Moerdjoko, 2002).

2.2.1 Sampah Rumah Tangga

Sampah yang berasal dari kegiatan rumah tangga ini dapat terdiri dari bermacam-macam jenis sampah yaitu:

- 1 Sampah basah adalah sampah yang terdiri dari bahan-bahan organik yang mudah membusuk yang sebagian besar adalah sisa makanan, potongan hewan, sayuran dan lain-lain.
- 2 Sampah kering yaitu sampah yang terdiri dari logam seperti besi tua, kaleng bekas dan sampah kering non logam misalnya kertas, kayu, kaca, keramik, batu-batuan dan sisa kain.
- 3 Sampah lembut misalnya sampah debu yang berasal dari peyapuan lantai rumah, gedung, penggergajian kayu dan abu yang berasal dari sisa pembakaran kayu, sampah, rokok.
- 4 Sampah besar adalah sampah yang terdiri dari buangan rumah tangga yang besar-besar seperti meja, kursi, kulkas, televisi, radio dan peralatan dapur (Widyatmoko dan Moerdjoko, 2002).

2.2.2 Permasalahan sampah

Penduduk yang semakin meningkat secara signifikan serta adanya perubahan pola konsumsi masyarakat secara tidak langsung menambah volume, jenis dan karakteristik sampah menjadi semakin beragam. Sampah dipengaruhi oleh aktifitas manusia, penambahan jumlah penduduk dan ketersediaan ruang

hidup manusia yang relatif tetap. Semakin maju gaya hidup manusia, semakin banyak sampah yang dihasilkan (Aisyah, 2013). Berdasarkan data dari DPU Cipta Karya dan Tata Ruang Kabupaten Jember produksi sampah di Jember cenderung meningkat setiap tahun. Timbunan sampah pada tahun 2010 sebanyak 1.169.068 m³, dan tahun 2011 sebanyak 1.208.241 m³. Timbunan sampah yang dihasilkan di Kabupaten Jember mencapai 3.287,51 m³/hari dengan komposisi sampah organik (81,9%), sampah non-organik (13,6%) dan sampah beracun (4,5%). Sampah non organik terdiri dari plastik (5,5%), karet (4,1%), besi (1,3%), kaca (1,2%), kain (1,5%) sedangkan sampah beracun terdiri dari baterai (0,5%), sampah medis (3%) dan sisa kemasan pestisida (1%) (Widyasari *et al.* 2013). Sampah yang semakin banyak akan mengakibatkan berbagai macam pencemaran lingkungan, maka perlu dilakukan pemanfaatan sampah menjadi bahan yang berguna seperti kerajinan tangan, kompos, barang daur ulang ataupun dimanfaatkan sebagai energi terbarukan yaitu biogas. Sampah organik dimanfaatkan oleh sebagian besar penduduk di Indonesia sebagai pupuk kompos, akan tetapi pemanfaatan sampah organik sebenarnya tidak hanya dijadikan sebagai pupuk kompos saja melainkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif, yaitu biogas. Limbah dari proses pembuatan biogas juga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk kompos.

2.3 Biogas

Biogas adalah gas produk akhir degradasi anaerobik bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerobik dalam lingkungan bebas oksigen atau udara. Biogas mempunyai komponen utama, yaitu metana dan karbon dioksida. Biogas mengalami dua tahap dalam proses produksi, yaitu penyiapan bahan baku dan proses penguraian anaerobik oleh mikroorganisme untuk menghasilkan gas metana (Mediastika, 2013). Tabel 2.2 menunjukkan komponen utama dari biogas adalah metana (CH₄) sekitar 55-75 % dan karbon dioksida (CO₂) sekitar 25-45 %, serta komponen lainnya yaitu nitrogen (N₂), hidrogen (H₂), hidrogen sulfida (H₂S), dan oksigen (O₂).

Tabel 2.2 Komposisi biogas

Komponen	%
Metana (CH ₄)	55-75
Karbon dioksida (CO ₂)	25-45
Nitrogen (N ₂)	0-0,3
Hidrogen (H ₂)	1-5
Hidrogen sulfida (H ₂ S)	0-3
Oksigen (O ₂)	0,1-0,5

Sumber :Widarta, (1997) dalam Mediastika, (2013).

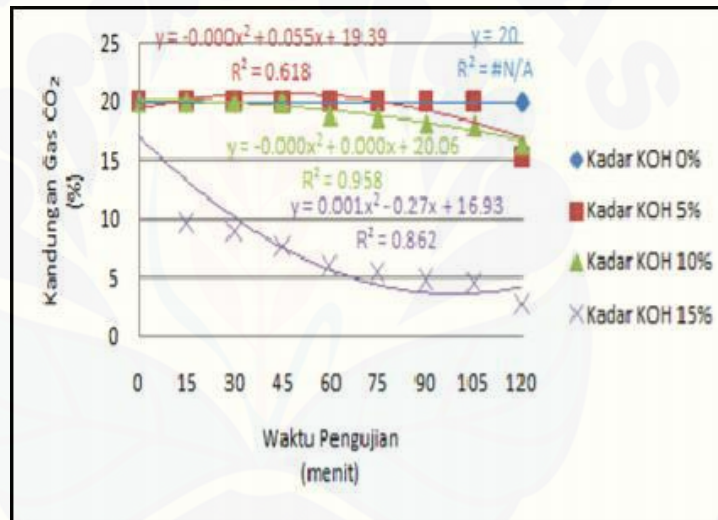
Biogas mempunyai kandungan gas metana (CH₄) yang sangat penting dalam proses pembakarannya, gas-gas selain metana (CH₄) akan menurunkan nilai kalor biogas dan efisiensi pembakarannya. Biogas yang mempunyai nilai kalor pembakaran lebih besar harus memaksimalkan persentase gas metana (CH₄) dengan jalan menurunkan gas lain utamanya CO₂, karena kandungannya paling besar setelah CH₄. Gas CO₂ akan merugikan proses pembakaran, karena dalam reaksi pembakaran CO₂ merupakan gas hasil reaksi pembakaran yang tidak bisa terbakar lagi (Sugiarto *et al.* 2013).

2.4 Proses Permurnian Biogas

Karbon dioksida (CO₂) merupakan molekul yang dapat menghambat dan menurunkan laju reaksi pembakaran, karena karbondioksida akan terurai dan bekerja dengan mengganggu rantai reaksi kimia pembakaran, sehingga reaksi kimia pembakaran terhambat. Pemurnian (purifikasi) biogas adalah hal yang perlu dilakukan untuk mengurangi kandungan gas CO₂ (Prasetya, Tanpa Tahun).

Hamidi *et al.* (2011) melakukan penelitian dengan cara purifikasi menggunakan zeolit alam yang telah diaktivasi menggunakan KOH sebagai *absorber*. Senyawa KOH yang dipakai pada metode penelitian ini divariasikan dengan persentase 0%, 5%, 10%, dan 15 %, dengan waktu penyerapan divariasikan dalam 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, dan 120 menit. Campuran zeolit

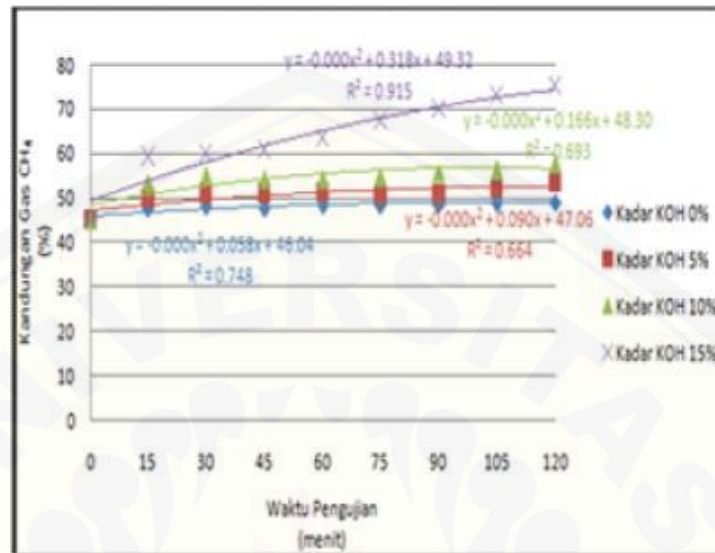
dan KOH kemudian dilakukan proses *heat treatment* dengan temperatur sebesar 300 °C selama 2 jam. Penelitian ini difokuskan pada pengaruh kadar senyawa KOH pada zeolit terhadap kandungan gas yang dihasilkan oleh reaktor biogas. Hasil dari penelitian ini menyimpulkan bahwa lama waktu pengujian dan kadar senyawa KOH pada zeolit berpengaruh terhadap kalor pembakaran biogas, dimana semakin tinggi kadar senyawa KOH yang digunakan, kemampuan adsorpsi zeolit semakin meningkat, sehingga mengakibatkan kalor pembakaran biogas semakin tinggi. Selain itu kemampuan adsorpsi zeolit akan menurun jika digunakan terus menerus yang diakibatkan oleh terbentuknya lapisan film pada permukaan zeolit.



Gambar 2.1 Pengaruh kadar senyawa KOH pada zeolite terhadap kandungan gas CO₂ biogas (Sumber: Hamidi *et al.* 2011)

Gambar 2.1 menunjukkan grafik pengaruh kadar senyawa KOH pada zeolit terhadap kandungan gas CO₂ biogas. Pada grafik ini tampak bahwa dengan waktu pengujian yang sama kandungan gas CO₂ cenderung menurun seiring bertambahnya kadar senyawa KOH. Sebagai contoh pada zeolit yang diaktivasi dengan senyawa KOH 15%, kandungan gas CO₂ yang semula sebesar 20% setelah 120 menit berkurang menjadi 2,75%. Penurunan ini merupakan yang paling besar bila dibandingkan dengan menggunakan zeolit lain yang diaktivasi dengan kadar senyawa KOH yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan semakin

tinggi kadar senyawa KOH maka proses aktivasi kimiawi akan semakin optimal sehingga kemampuan adsorpsi zeolit meningkat.



Gambar 2.2 Pengaruh kadar senyawa KOH pada zeolit terhadap kandungan gas CH₄ biogas (Sumber: Hamidi *et al.* 2011)

Gambar 2.2 menunjukkan grafik pengaruh kadar senyawa KOH pada zeolit terhadap kandungan gas CH₄ biogas. Dari grafik tersebut tampak bahwa semakin lama waktu pengujian dan dengan kadar senyawa KOH yang semakin meningkat maka kandungan gas CH₄ dalam biogas semakin tinggi. Peningkatan tertinggi terjadi pada zeolit dengan kadar senyawa KOH sebesar 15% dan waktu pengujian selama 120 menit yaitu sebesar 3,17%.

Hadi (2015) melakukan penelitian menggunakan absorber KOH 1M. Pada penelitian ini dilakukan uji komposisi biogas dengan menggunakan *cylinder pneumatic* dan diuji dengan alat uji komposisi selama 15 menit serta dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali.

Tabel 2.3 Biogas sebelum dan setelah purifikasi dengan KOH 1M kandungan CH₄ + zat pengotor

Percobaan	1	2	3
Sebelum purifikasi	36.91%	35.24%	39.53 %
Sesudah purifikasi KOH 1M	27.57%	20.47%	21%

Sumber : Hadi, (2015).

Tabel 2.3 menunjukkan kandungan CH₄ + zat pengotor mengalami peningkatan setelah dipurifikasi dengan larutan KOH 1M. Kandungan CH₄ + zat pengotor sebelum purifikasi mencapai 62,77% dan setelah dipurifikasi dengan larutan KOH 1M mencapai 76,99%.

Tabel 2.4 Biogas sebelum dan setelah purifikasi dengan KOH 1M kandungan CO₂

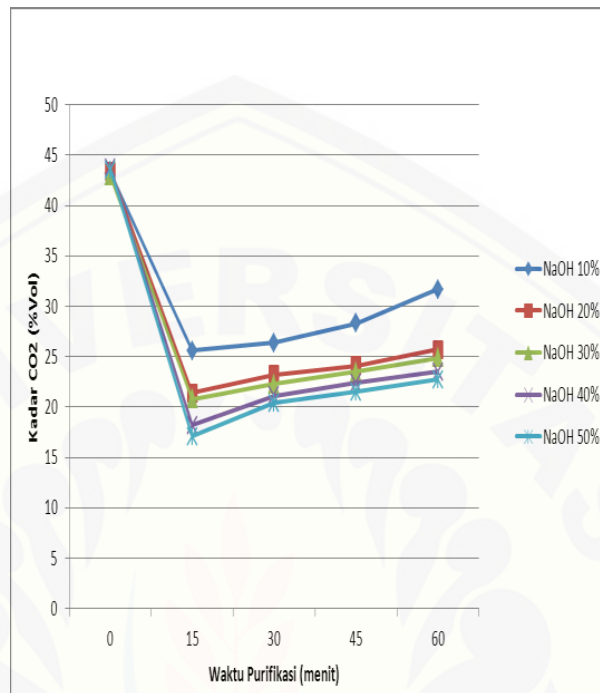
percobaan	1	2	3
Sebelum purifikasi	63.09%	64.76%	60.47 %
Sesudah purifikasi KOH 1M	72.43%	79.53%	79%

Sumber : Hadi, (2015)

Tabel 2.4 menunjukkan kandungan CO₂ sebelum purifikasi mencapai 37,23% dan setelah dipurifikasi dengan larutan KOH 1M mencapai 23,01%. Hal tersebut dikarenakan biogas yang dialirkan pada tabung purifikasi bereaksi dengan larutan KOH 1M. Larutan KOH dapat bereaksi dengan gas CO₂ melalui proses absorpsi kimia $2\text{KOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$, sehingga terjadi pemurnian gas metana (CH₄). Dengan meningkatnya kandungan gas CH₄, maka kualitas biogas semakin menjadi bagus untuk dijadikan suatu bahan bakar.

Selain menggunakan larutan KOH sebagai larutan purifikasi, penelitian yang dilakukan oleh Prasetya (Tanpa Tahun) menggunakan variasi konsentrasi NaOH sebagai larutan purifikasi. Penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi NaOH yaitu, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan waktu penyerapan 15 menit, 30

menit, 45 menit, 60 menit. Hasil dari penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Hubungan kandungan CO₂ terhadap waktu penyerapan pada berbagai konsentrasi NaOH sistem *continue* alat purifikasi tanpa batu *porous* (Sumber: Prasetya, Tanpa Tahun)

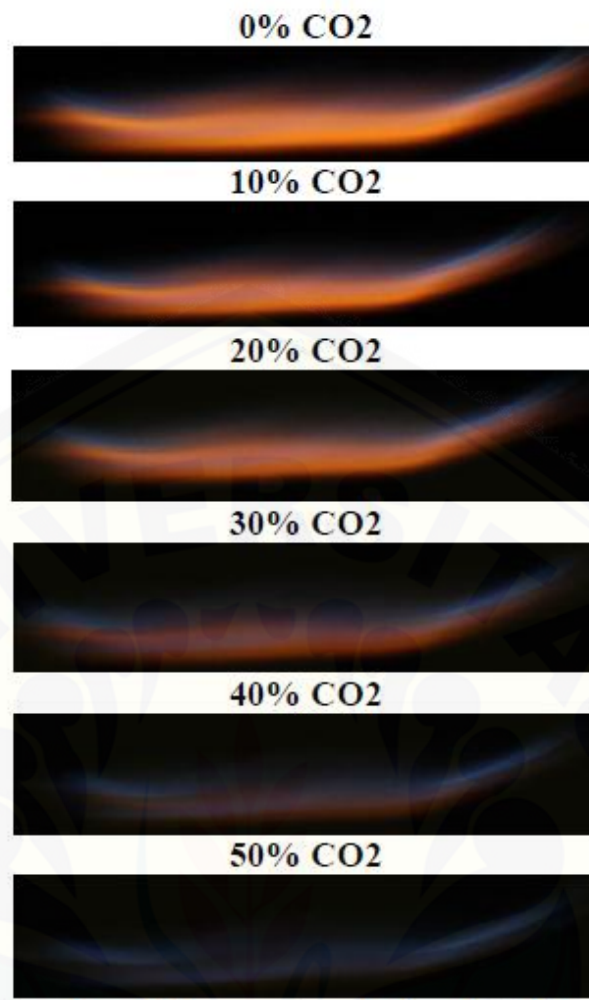
Dari Gambar 2.3 penyerapan CO₂ dengan konsentrasi NaOH 10%, 20%, 30%, 40%, 50% pada 15 menit pertama menghasilkan kandungan CO₂ sebesar 25,6%, 21,4%, 20,8%, 18,2%, 17,1%. Kandungan CO₂ dari menit ke-15 mengalami penurunan yang sangat signifikan. Namun setelah menit ke-15 sampai menit ke-60, persentase penurunan CO₂ berkurang, hal tersebut dikarenakan keadaan NaOH yang semakin lama semakin jenuh, karena semakin banyak CO₂ yang telah diikat oleh NaOH tersebut. Sehingga kemampuan mengikat NaOH tersebut telah menurun. Selain itu dapat disimpulkan juga dengan pertambahan waktu maka kemampuan NaOH untuk mengikat CO₂ akan semakin turun. Hal itu ditunjukkan pada Gambar 2.3, pada konsentrasi NaOH 50% untuk 15, 30, 45, 60 menit adalah 17,1%, 20,4%, 21,5%, 22,7%.

2.5 Karakteristik Api Biogas

Api biogas memiliki karakteristik yang meliputi beberapa faktor penting untuk menjadikan suatu acuan kualitas dari biogas tersebut. Karakteristik tersebut diantaranya seperti warna dan distribusi temperatur pembakaran api biogas.

2.5.1 Warna Api

Toko *et al.* (Tanpa Tahun) meneliti tentang karakteristik api (warna dan lebar api) dilakukan dengan cara melihat warna api dan mengukur lebar api pada hasil foto dengan melihat skala pada perbandingan antara diameter pipa sesungguhnya dengan diameter pipa pada foto yang dimana hal ini yang dijadikan acuan dalam pengskalaan lebar api. Cara pengukuran foto sendiri digunakan *software CorelDRAW* untuk mengolah hasil foto agar dapat diketahui dengan rinci ukuran lebar api pada foto maupun kondisi aslinya. Pengambilan data dilakukan dengan berbagai variasi persentase CO₂ pada bahan bakar yaitu sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dan dilakukan pada empat sampel debit aliran bahan bakar yaitu 4 LPM, 8 LPM dan 12 LPM. Pada penelitian ini dipilih konsentrasi O₂ sebesar 22,5 %, dikarenakan pada konsentrasi tersebut terlihat cukup jelas perubahan bentuk dan warna api, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4. Toko *et al.* (Tanpa Tahun), mendapatkan kesimpulan dengan penambahan CO₂ berpengaruh besar terhadap warna nyala api biru dan api kuning. Api biogas terlihat lebih terang pada campuran kaya, terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya konsentrasi CO₂ dari bahan bakar menyebabkan api semakin gelap. Lebar api terlihat lebih lebar dan dominan ketika konsentrasi CO₂ pada bahan bakar semakin tinggi.



Gambar 2.4 Foto api pada kondisi $YO_2 = 0.225$ dengan debit bahan bakar 8 LPM (Sumber: Toko *et al.* Tanpa Tahun)

Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Hadi (2014), membahas tentang karakteristik api biogas dengan *absorber* KOH 1M dibandingkan biogas sebelum diabsorpsi. Biogas yang telah dimasukkan ke dalam penampung disalurkan ke saluran masuk bunsen burner, nyalakan *Bunsen burner* dengan bantuan korek api, kemudian foto api yang menyala pada *bunsen burner*. Foto yang telah didapat tanpa dilakukan *editing*, di hitung nilai RGB dengan menggunakan *software CorelDRAW*. Penelitian ini dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali . Dari hasil penelitian biogas sebelum dipurifikasi dan biogas setelah dipurifikasi menggunakan larutan KOH 1M, menghasilkan gambar warna api dan persentase warna api.

1. Biogas sebelum dipurifikasi



Gambar 2.5 Warna api dan titik api sebelum dipurifikasi
(Sumber: Hadi, 2014)

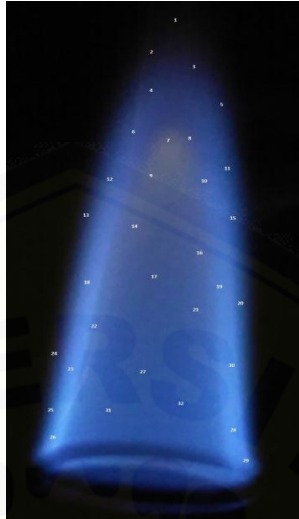
Setelah melakukan 5x pengulangan didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 2.5 Total persentase warna api (sebelum purifikasi)

	persentase merah	persentase biru
percobaan 1	42.33%	57.67%
percobaan 2	36.50%	63.50%
percobaan 3	39.60%	60.40%
percobaan 4	35.72%	64.28%
percobaan 5	45.04%	54.96%
Rata - rata	39.84%	60.16%

Sumber: Hadi, (2014).

2. Setelah dipurifikasi menggunakan KOH 1M



Gambar 2.6 Warna api dan titik api setelah dipurifikasi
(Sumber: Hadi, 2014)

Setelah melakukan 5x pengulangan didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 2.6 Hasil persentase warna api (setelah purifikasi)

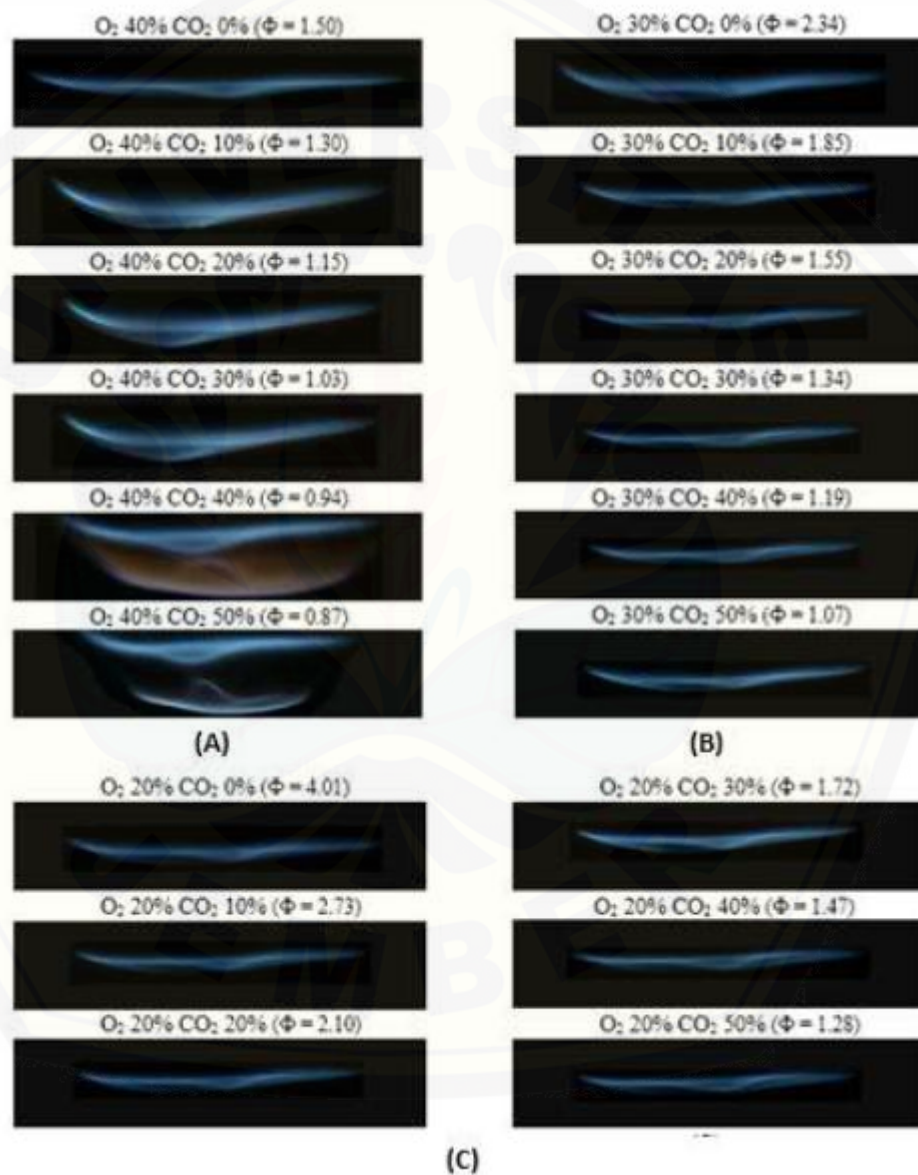
	Persentase merah	Persentase biru
Pengulangan 1	28.21%	71.79%
Pengulangan 2	29.53%	70.47%
Pengulangan 3	28.88%	71.12%
Pengulangan 4	29.80%	70.20%
Pengulangan 5	31.07%	68.93%
Rata-Rata	29.50%	70.50%

Sumber: Hadi, (2014).

Dari pengujian warna api yang sudah dilakukan, terlihat bahwa ketika biogas sebelum dipurifikasi memiliki persentase api biru lebih kecil yaitu 60.16%, dibandingkan dengan biogas yang telah dipurifikasi menggunakan KOH 1M yang

memiliki persentase warna api sebanyak 70.50%. Menunjukkan bahwa persentase CH_4 pada biogas yang telah dipurifikasi meningkat.

Penelitian tentang warna api dilakukan juga oleh Wicaksono *et al.* (Tanpa Tahun), dengan bervariasi penambahan persentase CO_2 terhadap campuran *premix* $\text{CH}_4/\text{CO}_2/\text{O}_2$.

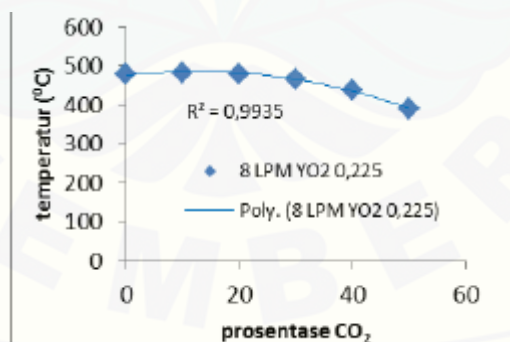


Gambar 2.7 Foto api dari berbagai variasi CO_2 pada kondisi (A) $\text{O}_2 = 40\%$; (B) $\text{O}_2 = 30\%$; (C) $\text{O}_2 = 20\%$ (Sumber: Wicaksono dkk, Tanpa Tahun)

Persentase CO_2 pada bahan bakar yang diteliti 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% divariasikan pada persentase oksidator 40%, 30% dan 20%. Untuk Pengambilan data dilakukan dengan cara melihat warna api dari hasil foto. Hasil dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.7. Secara keseluruhan gambar, tidak menunjukkan perbedaan warna yang mencolok pada setiap variasi. Warna yang terjadi adalah dominan biru keputih-putihan. Seiring dengan berkurangnya asupan O_2 pada ketiga variasi mengakibatkan warna dari api sedikit lebih gelap. Sedangkan pada penambahan persentase CO_2 pada campuran bahan bakar mengakibatkan lebar api semakin kecil.

2.5.2 Temperatur api

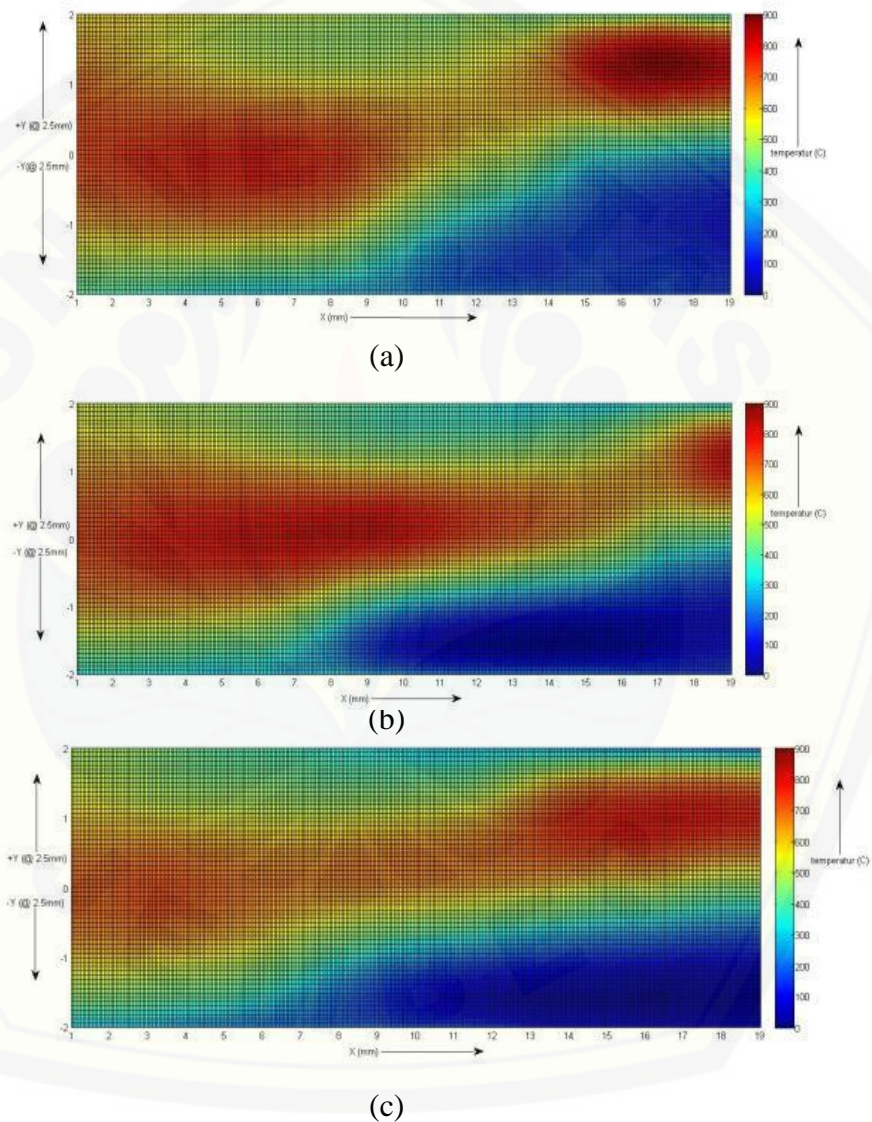
Penelitian yang dilakukan oleh Toko *et al.* (Tanpa Tahun), yang membahas tentang pentingnya pengaruh kadar CO_2 terhadap distribusi temperatur dari pembakaran difusi $\text{CH}_4\text{-CO}_2$. Instalasi yang digunakan pada percobaan ini menggunakan konfigurasi *counterflow burner*. Pada penelitian ini divariasikan pada pengaruh persentase kadar CO_2 yang meliputi 10%, 30%, dan 50% terhadap distribusi temperatur.



Gambar 2.8 Temperatur rata-rata pada variasi persentase CO_2 , debit bahan bakar 8 LPM dengan YO_2 0,225 (Sumber: Toko *et al.* Tanpa Tahun)

Pada setiap penambahan persentase CO_2 yang ditunjukkan pada Gambar. 2.8, menunjukkan tren naik yang kemudian turun. Penambahan persentase CO_2 pada penelitian ini menurunkan derajat temperatur yang dapat digenerasi oleh nyala

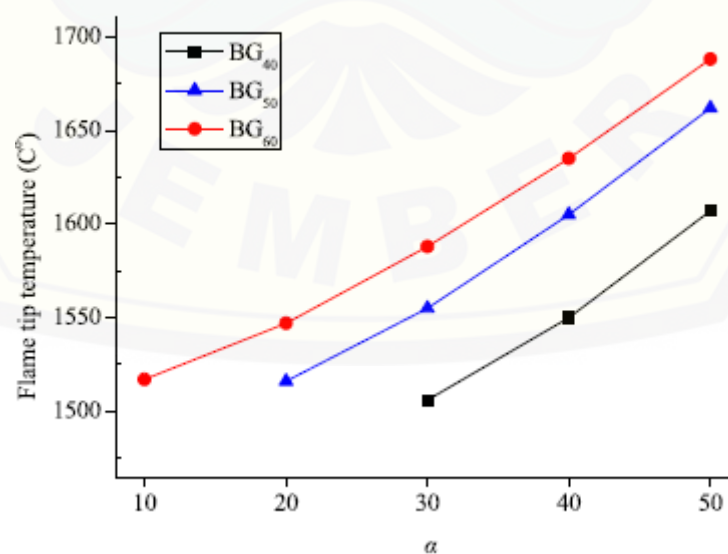
api. Gas CO_2 bersifat *inhibitor*, yaitu menyerap sebagian kalor hasil pembakaran sehingga hasil dari pembakaran yang terjadi tidak sempurna dan perambatan nyala api juga semakin terhambat. Dengan menggunakan aplikasi MATLAB dapat diketahui secara lebih detail pengaruh CO_2 terhadap distribusi temperatur.



Gambar 2.9 Distribusi temperatur api difusi *counterflow flame*, dengan variasi persentase CO_2 , yaitu (a) 10%, (b) 30%, dan (c) 50% (Sumber: Toko *et al.* Tanpa Tahun)

Dapat dilihat seperti pada Gambar 2.9 (a) – (c). Dari semua gambar plotting pada Gambar 2.9 dapat dilihat bahwa distribusi temperatur bagian atas api lebih besar atau dengan kata lain, temperatur pada bagian atas api lebih tinggi dibandingkan dengan distribusi temperatur bagian bawah api. Rata-rata besarnya temperatur pada bagian atas api sekitar 305-522 °C, sedangkan rata-rata besarnya temperatur pada bagian bawah api hanya sekitar 186-488 °C. Dari penelitian pengaruh persentase CO₂ terhadap karakteristik api pembakaran difusi CH₄-CO₂ pada *counterflow burner* (Toko *et al.* Tanpa Tahun) menyimpulkan bahwa penambahan CO₂ mengakibatkan distribusi temperatur yang terjadi semakin menyempit atau tipis dan juga temperatur api yang dihasilkan semakin rendah atau menurun.

Zhen *et al.* (2014) melakukan penelitian dengan variasi komposisi biogas berkisar antara BG60 (60% CH₄-40% CO₂), turun ke BG50 (50% CH₄-50% CO₂) hingga BG40 (40% CH₄-60% CO₂). Untuk setiap biogas, fraksi hidrogen dalam campuran biogas-H₂ bervariasi dari 10% sampai 50%. Percobaan ini difokuskan pada api biogas-H₂-udara yang beroperasi di $Re = 800$ dan $\Phi = 1.2$, karena nilai-nilai Re dan Φ tersebut adalah nilai-nilai seperti api memasak pada rumah tangga. Hasil dari penelitian dapat dilihat pada Gambar. 2.10.



Gambar 2.10 Temperatur api dan fraksi hidrogen pada $Re = 800$ dan $\Phi = 1.2$

(Sumber: Zhen dkk, 2014)

Pada Gambar. 2.10 dengan peningkatan fraksi hidrogen yang ditambahkan dalam campuran biogas- H_2 suhu api meningkat secara monoton. Selain itu, tiga set data menunjukkan bahwa dengan penambahan hidrogen, peningkatan temperatur nyala puncak menunjukkan tren linier. Hal ini karena pembakaran hidrogen murni dengan udara memiliki suhu yang jauh lebih tinggi daripada api biogas (Gupta *et al.* 2009 dalam Zhen *et al.* 2014). Selain itu, penambahan hidrogen menurunkan konsentrasi pengenceran gas CO_2 yang hadir dalam campuran bahan bakar, sehingga menyebabkan suhu yang lebih tinggi. Akibatnya, penambahan hidrogen pada biogas meningkatkan suhu nyala api. Gambar. 2.10 juga menunjukkan bahwa pada tingkat yang sama dari penambahan hidrogen, BG60 memiliki suhu lebih tinggi daripada BG50, dan BG50 memiliki suhu lebih tinggi daripada BG40. Hal tersebut mengungkapkan tren bahwa jika konsentrasi CO_2 lebih tinggi dalam biogas, maka semakin rendah suhu api. Hal ini karena CO_2 adalah gas *inert*. Kehadiran CO_2 dalam biogas mencairkan konsentrasi CH_4 dan juga menyerap sebagian dari panas yang dilepaskan selama pembakaran CH_4 .

2.6 Hipotesa

Purifikasi biogas menggunakan larutan KOH yang dapat mengikat CO_2 akan menurunkan kadar konsentrasi CO_2 pada biogas. Kadar CO_2 yang menurun akan meningkatkan kalor pembakaran biogas, karena proses pembakaran CH_4 tidak terganggu oleh CO_2 . Kalor pembakaran yang semakin baik ditandai dengan semakin baik pula karakteristik api biogas yang meliputi warna api dan temperatur api.

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 1M terhadap kualitas pemurnian biogas. Dalam penelitian ini, biogas disirkulasikan ke alat purifikasi sistem kontinyu untuk menyerap gas CO₂ menggunakan larutan KOH 1M. 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 api.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat penelitian

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

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

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

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

3.2.2 Waktu Penelitian

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

3.3 Alat dan bahan penelitian

- a. Pembuatan Reaktor Biogas

Alat yang digunakan yaitu:

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

Bahan yang digunakan yaitu:

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

b. Bahan yang digunakan sebagai biogas yaitu sampah organik yang diambil dari rumah makan ‘Waroeng Prenk’ dan ‘Mblenger *Chinese Food*’

c. Pembuatan Alat Purifikasi Biogas

Alat yang digunakan yaitu:

- Mesin bor
- Gergaji besi
- Penggaris
- Pisau

Bahan yang digunakan yaitu:

- Pipa plastik ¼”
- Pipa paralon dengan diameter 2 inchi dan panjang 1,5 meter
- Larutan KOH 1 M

d. Penelitian kalor pembakaran api biogas

Alat yang digunakan yaitu:

- Kompor biogas “*Butterfly*” berstandart ISO 9001
- Selang
- Pemantik api
- Termometer air raksa
- Wajan aluminium
- *Stopwatch*

e. Penelitian uji warna api dan temperatur api

- Stopwatch
- Pemantik api
- Alat pertukangan
- Kamera Fujifilm *high speed* 60 *frame/s* 1.280x720 , 120 *frame/s* 640x480, 240 *frame/s* 224x168, 480 *frame/s* 224x168, dan 1000 *frame/s* 224x64
- 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 1M

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 1M dengan menganalisa data-datanya yang meliputi:

1. Kalor pembakaran api
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 1M. Tahap prosedur yang dilakukan dalam pengujian adalah sebagai berikut.

3.7.1 Tahap Pembuatan Biogas

Bahan utama biogas adalah sampah rumah tangga organik yang diambil dari warung Prenk dan Mblenger *Cinese Food*. Rasio air/sampah rumah tangga 1:2 atas dasar berat/volume (b/v) dan diberi starter berupa kotoran sapi dengan konsentrasi 6,25% (berat kering/volume) (Mujahidah *et al.* 2013). Reaktor biogas

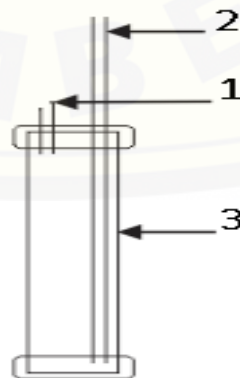
terbuat dari drum plastik dengan tinggi 93 cm dan diameter lingkaran 58 cm. Drum dirancang sedemikian rupa, yaitu dengan melakukan penambahan saluran *input* sebagai tempat masuknya bahan biogas, saluran *output* sebagai tempat keluaran pembuangan bahan biogas dengan menggunakan pipa berdiameter 2 inchi , dan saluran keluaran gas dengan menggunakan pipa ½ inchi, seperti pada Gambar 3.1. Volume drum penampung bahan biogas sebesar 200 liter. Proses pengisian bahan baku biogas dilakukan secara kontinyu dan gas yang dihasilkan setelah 15 hari dari pertamakali pengisian bahan biogas disimpan dalam ban.



Gambar 3.1 Reaktor biogas

3.7.2 Tahap Pembuatan Alat Purifikasi Biogas

Tahap pembuatan alat purifikasi biogas dilakukan terbuat dari pipa paralon dengan diameter 2 inchi dan panjang 1,5 meter dengan diberi penutup pada bagian atas dan bawahnya dan memodifikasi tabung kemudian dipasang 2 selang ¼” pada penutupnya sebagai saluran masuk tabung purifikasi dan selang keluaran seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Alat purifikasi

Keterangan Gambar :

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

3.7.3 Tahap Penyiapan KOH

Tahap penyiapan KOH dilakukan dengan melarutkan KOH dengan konsentrasi sebesar 1 molaritas pada air jernih. Perbandingan larutan KOH (Mr K=39, O=16, H=1) dan volume larutan (1 liter) dapat dicari dengan rumus :

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

Dimana diketahui Mr untuk KOH adalah 56.

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

Dimana: M = Molaritas; Mr = Molekul relatif n = Mol

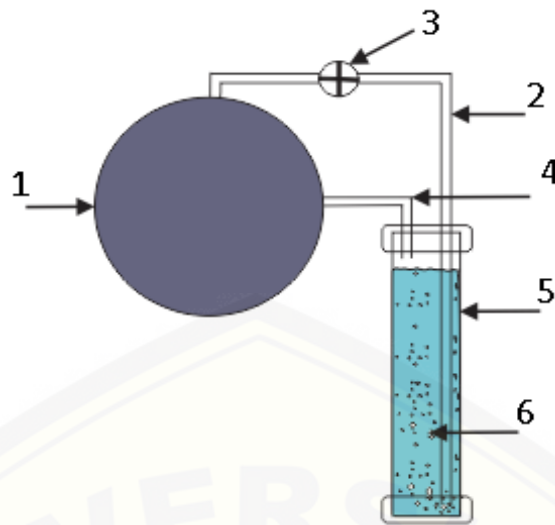
m = Massa KOH (gram) V = Volume larutan (liter)

Maka, jika diasumsikan volume larutan adalah 1 liter maka dapat diketahui massa KOH dengan konsentrasi 1 molaritas adalah 56 gram.

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 alat purifikasi.
2. Mendesain sirkulasi alat purifikasi biogas (Gambar 3.3).
3. Memasukkan KOH dengan molaritas 1M ke dalam alat purifikasi
4. Memasang alat purifikasi.



Gambar 3.3 Skema pemurnian biogas

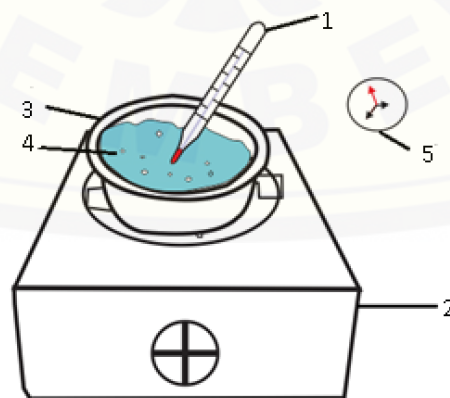
Keterangan gambar:

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 1. Penampung gas | 4. Selang <i>input</i> ¼" |
| 2. Selang <i>output</i> ¼" | 5. Alat purifikasi |
| 3. Pompa | 6. Larutan KOH 1 M |

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 100 gram, selama waktu yang ditentukan. Skema pengujian kalor pembakaran ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Skema pengujian kalor pembakaran

Keterangan gambar:

1. Termometer air raksa
2. Kompor biogas “*Butterfly*”
3. Wajan aluminium
4. Bahan uji
5. *Stopwatch*

Setelah pengujian selesai, data hasil pengujian kalor pembakaran ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Waktu (detik) pembakaran terhadap kenaikan temperatur (°C) air

Waktu (detik)	Suhu (°C)
30	
60	
90	
120	
150	

Pada Tabel 3.1 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 rumus:

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

Keterangan :

Q = kalor yang diserap oleh air (Joule)

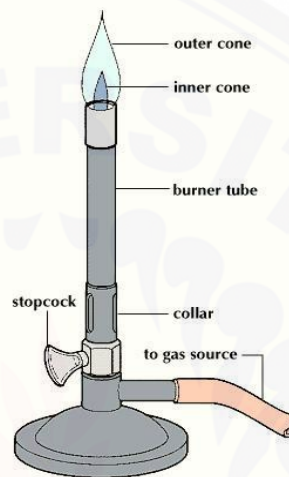
C = kalor jenis air (J/kg°C)

m = massa air (kg)

ΔT = Perubahan suhu (°C)

3.8.2 Pengujian Warna Api

Tahap pengamatan karakteristik warna api biogas ini, dengan cara perekaman nyala api biogas dengan kamera dan alat yang digunakan untuk menyalakan api adalah *bunsen burner*.



Gambar 3.5 *Bunsen burner*

Biogas yang telah dimasukkan ke dalam penampung disalurkan ke saluran masuk *bunsen burner*, dengan AFR yang dipakai adalah AFR udara bebas. Kemudian nyalakan *bunsen* dengan bantuan korek api, foto api yang menyala pada *bunsen burner* menggunakan kamera. Foto yang telah didapat, dihitung nilai RGB (*Red Green Blue*) dengan menggunakan software Corel Draw. Kemudian mencatat data hasil nilai RGB setiap luasan warna ke dalam Tabel 3.1

Tabel 3.2 Nilai RGB setiap luasan warna

No Titik	Sebelum dipurifikasi		Sesudah Dipurifikasi	
	RGB Merah	RGB Biru	RGB Merah	RGB Biru
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Setelah nilai diketahui, nilai tersebut kemudian dibagi 255, dimana 255 merupakan nilai untuk jangkauan warna tertinggi. Jangkauan warna dalam RGB adalah 0 – 255 (hitam - putih)

Setelah diketahui nilai bagi dari 255 kemudian disajikan kedalam tabel 3.2.

Tabel 3.3 Nilai RGB dibagi 255

No Titik	Sebelum dipurifikasi		Sesudah Dipurifikasi	
	RGB Merah	RGB Biru	RGB Merah	RGB Biru
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Setelah disajikan pada Tabel 3.2, kemudian dihitung persentase warna api merah dengan menggunakan rumus berikut.

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

Keterangan:

N = jumlah nilai RGB : 255 n_m = jumlah nilai RGB merah

P_m = persentase warna merah (%)

Dan untuk menghitung persentase warna api biru digunakan rumus berikut.

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

Keterangan:

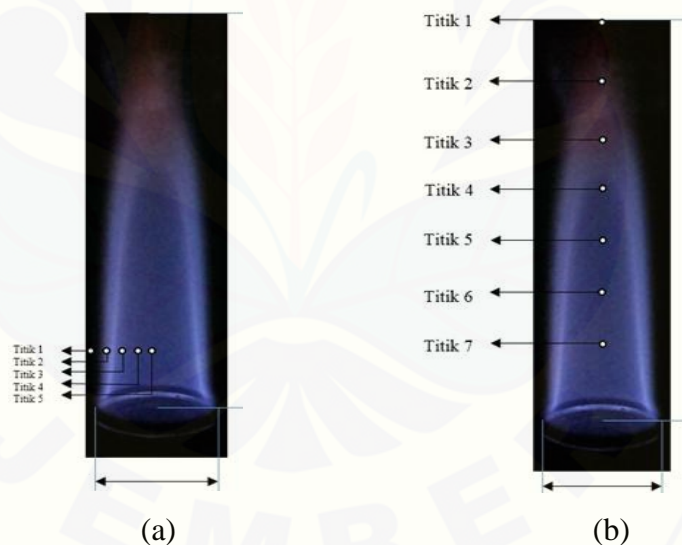
N = jumlah nilai RGB : 255

n_b = jumlah nilai RGB biru

P_b = persentase warna merah (%)

3.8.3 Distribusi Temperatur Api

- 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 *Thermocoupe*l.



Gambar 3.6 Contoh pengambilan data temperatur secara (a) horizontal dan (b) vertikal

Untuk mengetahui temperatur api dilakukan dengan variasi pengukuran 2 mm di titik horizontal dan 4 mm di titik vertikal selama 1 menit. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali. Rencana analisis data hasil disajikan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Pengujian temperatur api pada titik horizontal

No.	Jarak	T ₁	T ₂	T ₃
1	0 mm			
2	2 mm			
3	4 mm			
4	6 mm			
dst.				

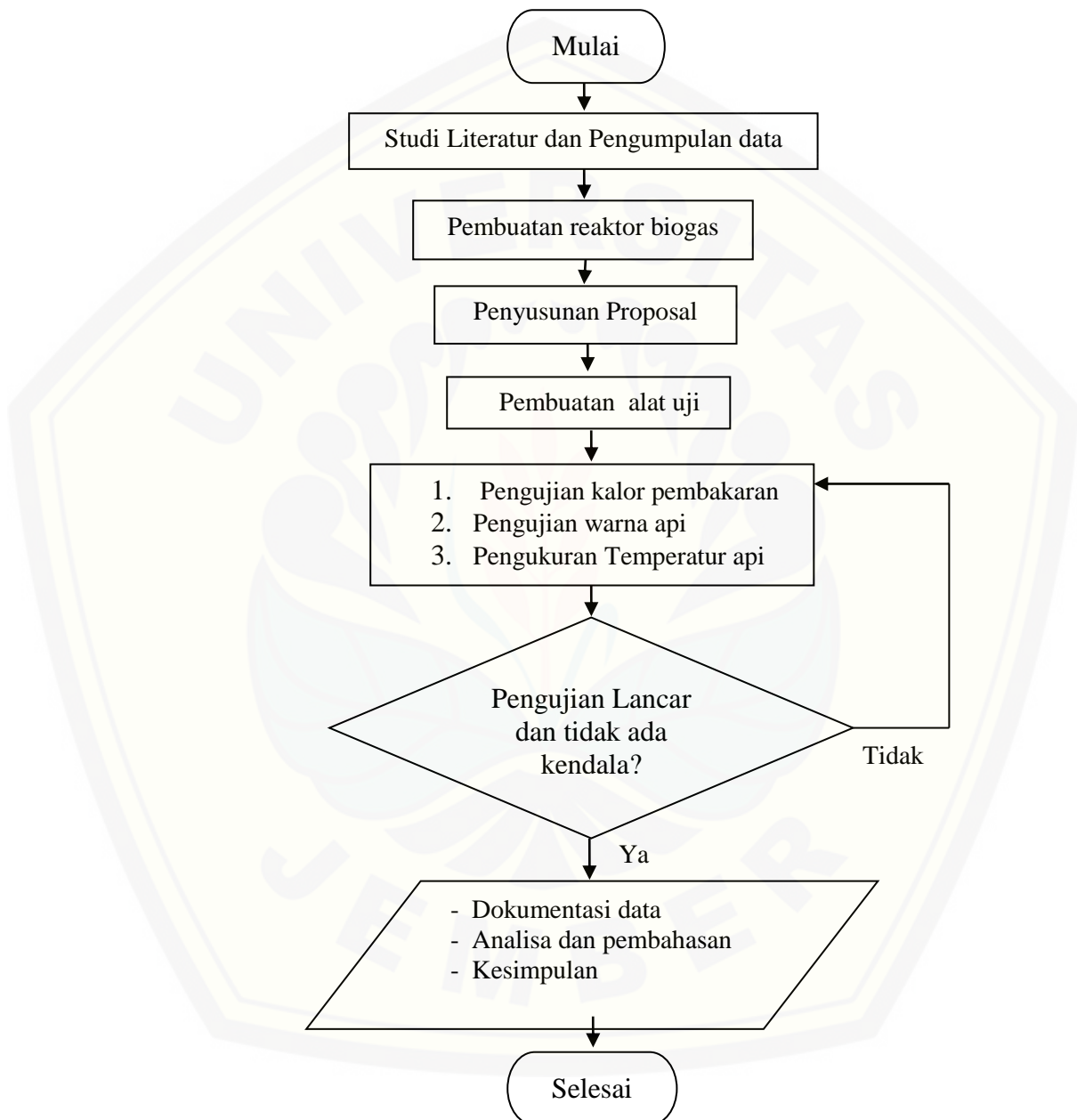
Tabel 3.5 Pengujian temperatur api pada titik vertikal

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

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

3.9 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian purifikasi biogas dengan KOH 1 M adalah sebagai berikut:



Gambar 3.7 Diagram alir pengujian

3.10 Jadwal Kegiatan Penelitian

Berikut adalah skema jadwal kegiatan penelitian yang akan dilaksanakan:

Tabel 3.6 Jadwal penelitian tahun 2016

No	Jenis Kegiatan	Bulan																			
		Februari				Maret				April				Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur	■	■																		
2	Pembuatan Reaktor	■	■	■	■	■	■														
3	Penyusunan proposal							■	■	■	■										
4	Seminar proposal											■	■								
5	Pembuatan alat Purifikasi													■	■						
6	Pelaksanaan penelitian														■	■	■	■			
7	Pengolahan dan analisa data																	■	■	■	
8	Seminar hasil																				■

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian biogas limbah rumah tangga dengan membandingkan sebelum dan setelah purifikasi dengan larutan KOH 1M dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Warna api pada biogas setelah purifikasi memiliki persentase warna api biru lebih tinggi daripada sebelum purifikasi dikarenakan persentase CH_4 pada biogas meningkat. Peningkatan persentase warna biru sebesar 8,71%, sebelum purifikasi persentase warna api biru sebesar 61,44% dan persentase warna merah 38,56%, sedangkan biogas setelah purifikasi persentase warna biru sebesar 69,11% dan persentase warna merah sebesar 30,89%.
2. Temperatur api setelah purifikasi lebih tinggi daripada sebelum purifikasi. Setelah dipurifikasi nilai temperatur tertinggi api biogas pada bidang horizontal terjadi pada titik 4 dengan kenaikan suhu $88,1^\circ\text{C}$ (dari $274,63^\circ\text{C}$ naik menjadi $362,73^\circ\text{C}$) dan temperatur tertinggi pada bidang vertikal pada titik 3 dengan kenaikan suhu $144,9^\circ\text{C}$ (dari $470,6^\circ\text{C}$ naik menjadi $615,5^\circ\text{C}$).
3. Kalor pembakaran api yang diserap air mempunyai temperatur yang lebih tinggi setelah dipurifikasi dibandingkan dengan sebelum purifikasi. Sebagai contoh kalor yang diserap air pada detik ke 150 sebelum purifikasi yaitu 26,208 KJ dan mengalami peningkatan setelah purifikasi yaitu 47,074 KJ.

5.2 Saran

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

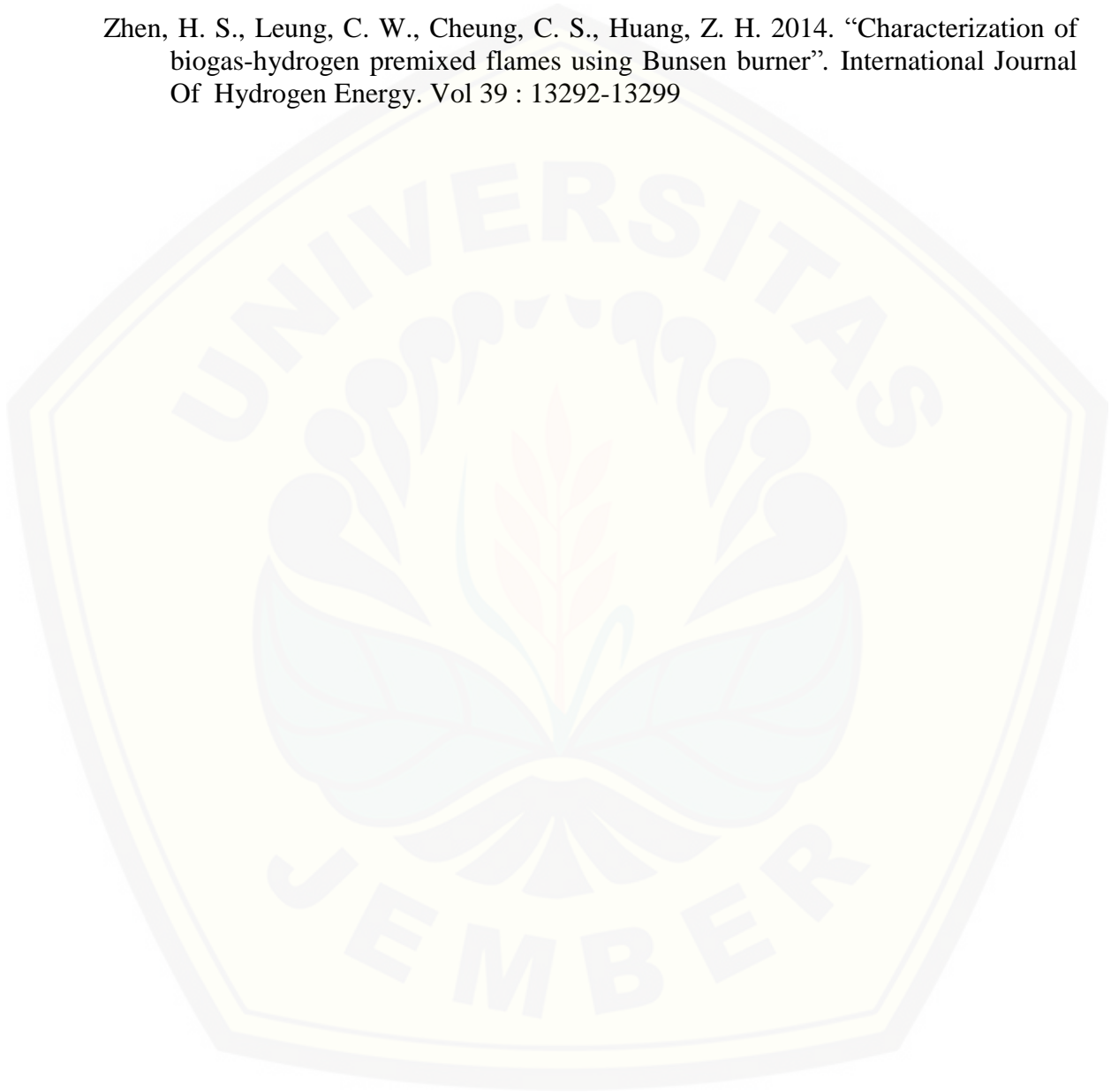
1. Pada pengujian distribusi temperatur bisa dilakukan variasi titik api dan tinggi api.
2. Penelitian selanjutnya pada pengujian kalor pembakaran api biogas yang diserap air diharapkan untuk melakukan pengujian pada ruang tertutup dan menghitung *heat loss* yang terjadi.
3. Pengujian pada saat purifikasi dapat dikembangkan pada variasi tekanan biogas, variasi larutan purifikasi saat proses purifikasi biogas.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah. 2013. "Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Berbasis Masyarakat di RT 50 Kelurahan Sungai Pinang dalam Kecamatan Samarinda Utara (Tinjauan Peraturan Daerah Kota Samarinda Nomor 02 Tahun 2011 Tentang Pengelolaan Sampah)". Samarinda: Jurnal Beraja Niti. Vol. 2 (12)
- Hadi, A. S. 2015. "Karakteristik Api Biogas Dengan *Absorber* KOH 1 M Dibandingkan Biogas Sebelum di *Absorbsi*". Jember: Universitas Jember.
- Hamidi, N., Wardana, ING., Widhiyanuriyawan, D. 2011. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam. Malang: Universitas Brawijaya. Vol 2 (3): 227-231
- Jatmiko, S. 2015. "Karakteristik Thermal Biogas yang Dipurifikasi Larutan KOH 4 (Empat) Molaritas Dibandingkan Dengan Biogas Tanpa Purifikasi". Jember: Universitas Jember.
- Mediastika, C. E. 2013. *Hemat Energi dan Lestari Lingkungan Melalui Bangunan*. Yogyakarta: ANDI.
- Mujahidah, Mappiratu, Sikanna, R. 2013. "Kajian Teknologi Produksi Biogas dari Sampah Basah Rumah tangga". Palu: Universitas Tadulako. Vol. 2 (1): 25-34
- Prasetya, A., Widhiyanuriyawan, D., Sugiarto. Tanpa Tahun. "Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Kandungan Gas CO₂ dalam Proses Purifikasi Biogas Sistem *Continue*". Malang: Universitas Brawijaya.
- Sasongko, M. N., 2014. "Pengaruh Prosentase CO₂ Terhadap Karakteristik Pembakaran Difusi Biogas". Malang: Universitas Brawijaya. Vol 12 (2): 89- 93
- Sugiarto, Oerbandono, T., Widhiyanuriyawan, D., Putra, F. S. P. 2013. "Purifikasi Biogas Sistem Kontinyu Menggunakan Zeolit". Malang: Universitas Brawijaya. Vol. 4 (1): 1-10
- Toko, H. K., Sasongko, M. N., Wijayanti, W. Tanpa Tahun. "Pengaruh Prosentase CO₂ Terhadap Distribusi Temperatur Pembakaran Difusi CH₄-CO₂ Pada *Counterflow Burner*". Malang: Universitas Brawijaya.
- Widyatmoko, H., & Moerdjoko, S. 2002. *Menghindari, Mengolah dan Menyinkirkan Sampah*. Jakarta: Abdi Tandur.

Widyasari, N., Moelyaningrum, A., D., Pujiati, R., S. 2013. “Analisis Potensi Pencemaran Timbal (Pb) Pada Tanah, Air Lindi dan Air Tanah (Sumur Monitoring) Di TPA Pakusari Kabupaten Jember”. Jember: Universitas Jember.

Zhen, H. S., Leung, C. W., Cheung, C. S., Huang, Z. H. 2014. “Characterization of biogas-hydrogen premixed flames using Bunsen burner”. International Journal Of Hydrogen Energy. Vol 39 : 13292-13299



LAMPIRAN



KOH 1 Molar



Limbah rumah tangga yang telah dihaluskan



Pembuatan Reaktor Biogas



Penghalusan Bahan Biogas



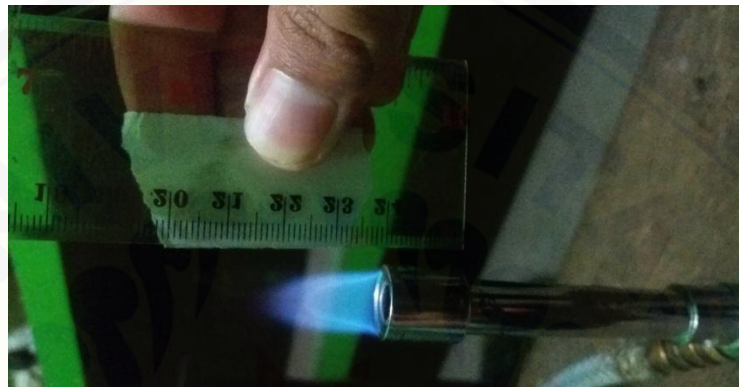
Ban Penampung Biogas



Proses Purifikasi Biogas



Pengujian Temperatur Api



Pengukuran Tinggi Api