



**ANALISA KARATERISTIK API PEMBAKARAN PREMIX
BIOGAS DENGAN LIQUIFIED PETROLEUM GAS (LPG)
MENGUNAKAN BUNSEN BURNER**

SKRIPSI

Oleh:

Fawas Bay Haqi

NIM 141910101064

PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018



**ANALISA KARATERISTIK API PEMBAKARAN PREMIX
BIOGAS DENGAN LIQUIFIED PETROLEUM GAS (LPG)
MENGUNAKAN BUNSEN BURNER**

SKRIPSI

Disusun dan diajukan sebagai salah satu syarat guna mendapatkan gelar sarjana teknik Studi S1 Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

Oleh:

**FAWAS BAY HAQI
NIM 141910101064**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT yang telah menciptakan alam semesta beserta isinya. Tak lupa juga sholawat serta salam semoga tetap tercurah limpahkan kepada Nabi terakhir umat manusia, Nabi Muhammad SAW. Disini penulis mempersembahkan skripsinya kepada :

1. Ibu tercinta, Winarsih yang telah mendidik, mendukung penulis baik dari segi moral serta doa yang tak pernah putus.
2. Abi tercinta, Qidam Kholik yang telah memberikan, dukungan, semangat dan doa yang tak pernah putus kepada penulis.
3. Adik-adik tercinta, Fajar dan Firzansyah yang telah memberi dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung.
4. Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T dan Bapak Dr. R. Koekoeh KW, S.T., M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing yang telah sabar meluangkan waktu untuk membimbing dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T, Bapak Dr. Nur Koyim selaku dosen yang telah memberikan kritik dan saran sehingga penyusunan skripsi ini dapat menjadi lebih baik
6. Segenap pengurus PPM Syafiur'rohman dan pengurus kelompok kampus, yang telah mendukung, memotivasi dan mendoakan secara langsung maupun tidak langsung.
7. Para teman-teman kece 2014: Fahmi, Firdaus, Siti, Fifi, Lila, Santi, Bilqis, Yani, Devi, Nuril, Dewi, Dian, Bela, Ghozian, Nofal, Bontang, dan teman-teman kece yang lain.
8. Teman-teman seperjuangan di teknik mesin Universitas Jember angkatan 2014
9. Teman-teman KKN, Dita, Sulin, Laila, Lusiana, Iis, Icha, Fauzan, Rara Dll.
10. Teman-teman PPM Syafiurrohman baik senior maupun junior: Tiara, Raras, Karin, Adin, Rofly, Dwi, Dhistan, Irfan, Dikri, Vita, Balqis, Angga Dll.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu

MOTTO

"Hidup adalah Pilihan"

**“Tolonglah agama Allah SWT maka Allah SWT akan menolong perkaramu”
(Al-hadist).**

**“Jangan menunggu, karena tak ada waktu yang benar-benar tepat
Mulailah dari sekarang, dan berusahalah dengan segala yang ada
Seiring waktu berjalan, aka nada cara yang lebih baik, asalkan kau tetap
berusaha” (Cak Fawas)**

**“Ingatlah skripsimu, Dosen Pembimbing selalu menunggu, selamat Nnggarap
Skripsi, Nnggarap skripsi harus semangat”**

“Tetap Fokus, dan semua akan baik-baik saja” (Cak Fawas)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Fawas Bay Haqi

Nim : 141910101064

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul **"Analisa Karakteristik Api Pembakaran Premix Biogas Dengan Liquified Petroleum Gas (LPG) Menggunakan Bunsen Burner"** adalah benar-benar karya sendiri, kecuali sumber kutipan yang telah diberikan penulis dan belum pernah diajukan pada skripsi manapun, dan bukan karya jiplakan. Penulis bertanggung jawab akan keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini penulis berikan dengan sebenarnya tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serata bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 Mei 2018

Yang menyatakan,

Fawas Bay Haqi

141910101064

SKRIPSI

**ANALISA KARATERISTIK API PEMBAKARAN PREMIX BIOGAS
DENGAN LIQUIFIED PETROLEUM GAS (LPG) MENGGUNAKAN
BUNSEN BURNER**

Oleh :

**Fawas Bay Haqi
Nim 141910101064**

Pembimbing :

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

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

**JURUSAN TEKNIK MESIN STRATA SATU
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
JEMBER
2018**

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "**Analisa Karakteristik Api Pembakaran Premix Biogas Dengan Liquefied Petroleum Gas (LPG) Menggunakan Bunsen Burner**", atas nama Fawas Bay Haqi (141910101064) telah diuji dan disahkan pada :

Hari/Tanggal : Rabu, 30 Mei 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Dosen Pembimbing

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

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

Dr. R. Koekoeh KW., S.T., M.Eng
NIP. 196707081994121001

Dosen Penguji

Penguji Utama

Penguji Anggota

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.
NIP. 196008121998021001

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP. 196812051997021002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik

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

RINGKASAN

Analisa Karakteristik Api Pembakaran Premix Biogas Dengan Liquified Petroleum Gas (LPG) Menggunakan Bunsen Burner; Fawas Bay Haqi; 141910101064; 65 halaman; Jurusan Teknik Mesin; Fakultas Teknik; Universitas Jember.

kebutuhan energi di Indonesia semakin tahun semakin meningkat. Sehingga untuk mengatasi semua permasalahan tersebut maka dibutuhkan penanganan yang bersifat segera untuk mengembangkan energi terbarukan. Salah satu energi alternatif yang dapat dikembangkan didaerah pedalaman Indonesia adalah Biogas.

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam keadaan anaerob. Komposisi biogas terdiri dari CH₄, CO₂, N₂, O₂, H₂S dan H₂. Karakteristik api biogas sendiri hampir tidak berbau dan tidak berwarna sekaligus 20% lebih ringan di bandingkan udara, Akan tetapi karakteristik pembakaran biogas lebih rendah dibanding gas alam, dikarenakan adanya CO₂, sehingga kualitas api menjadi rendah. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas api biogas, yaitu dengan cara mencampurkan biogas dengan LPG. biogas sebagai bahan utama sedangkan LPG sebagai bahan tambahan, dengan variasi komposisi campuran LPG berkisar 10% sampai 50%. Karakteristik api yang dilihat selama proses penelitian yaitu warna api, tinggi api dan temperatur api dengan pembakaran *premixed* menggunakan bunsen burner.

Dari hasil penelitian warna api terdapat peningkatan warna biru disetiap penambahan LPG terhadap biogas. Warna biru itu sendiri memiliki arti bahan bakar memiliki nilai kalor yang tinggi. Peningkatan juga terjadi pada tinggi api dimana tinggi api mengalami peningkatan disetiap penambahan LPG terhadap biogas. Peningkatan ini disebabkan oleh energi yang dikeluarkan oleh bahan bakar lebih tinggi disetiap penambahan LPG. Begitu juga dengan temperatur bahan bakar mengalami peningkatan ketika ditambahkan LPG, dikarenakan LPG memiliki nilai kalor yang lebih baik dari biogas. Dari ketiga hal tersebut dapat disimpulkan penambahan LPG terhadap biogas dapat meningkatkan kualitas api biogas itu sendiri.

SUMMARY

Analysis Of Flame Combustion Characteristics Of Premix Biogas With Liquefied Petroleum Gas (LPG) Using Bunsen Burner; Fawas Bay Haqi, 141910101064; 2018; 65 pages; Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Energy demand in Indonesia is increasing every year. So to overcome these problems it will require immediate handling to develop renewable energy. One of alternative energy that can be developed in rural area of Indonesia is Biogas.

Biogas is a gas produced from the decomposition of organic materials by microorganisms in anaerobic state. The biogas composition consists of CH₄, CO₂, N₂, O₂, H₂S and H₂. The characteristics of biogas flame itself is almost odorless and colorless and 20% lighter in comparison to air. However, the biogas combustion characteristics are lower than the natural gas, due to CO₂, so the flame quality becomes low. This study aims to improve the quality of biogas flame, namely by mixing biogas with LPG. biogas as the main ingredient while LPG as additional material, with variation of composition of LPG mixture ranged from 10% to 50%. The characteristics of flame seen during the research process are colour of flame, height of flame, and temperature of flame with premix combustion using bunsen burner.

From the research results of color of flame there is an increase in blue color in each addition of LPG to biogas. The blue itself means fuel has a high heating value. The increase also occurs at height of flame where the height of flame has increased in every addition of LPG to biogas. This increase is due to the energy released by the fuel in each addition of LPG. Likewise, the fuel temperature increases when LPG is added because LPG has better heating value than biogas. From these three results, it can be concluded that the addition of LPG to biogas can improve the quality of biogas flame itself.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas karunia, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul " **Analisa Karakteristik Api Pembakaran Premix Biogas Dengan Liquified Petroleum Gas (LPG) Menggunakan Bunsen Burner** " ini dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik program studi Teknik Mesin. Pada kesempatan ini penyusun ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan membimbing dalam penyusunan tugas ini, khususnya yaitu :

1. Ibu Dr.Ir.Entin Hidayah,M.U.M selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan izin dalam penulisan skripsi ini.
2. Bapak Hari Arbiantara B., S.T. M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.
3. Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. dan Bapak Dr. R. Koekoeh KW., S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Kepada seluruh dosen teknik khususnya teknik mesin yang telah mendidik penulis hingga menyelesaikan penelitian ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu namanya.
5. Sahabat-sahabat Kece, PPM Syafiur'rohman, M16 Teknik Mesin dan KKN Kemuningsari

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan baik isi maupun susunannya. Oleh karena itu kritik dan saran yang mendukung kami harapkan untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan yang ada sehingga Skripsi ini bisa menjadi lebih baik lagi. Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa khususnya Teknik Mesin sekaligus bagi para pembaca.

Jember, 30 Mei 2018

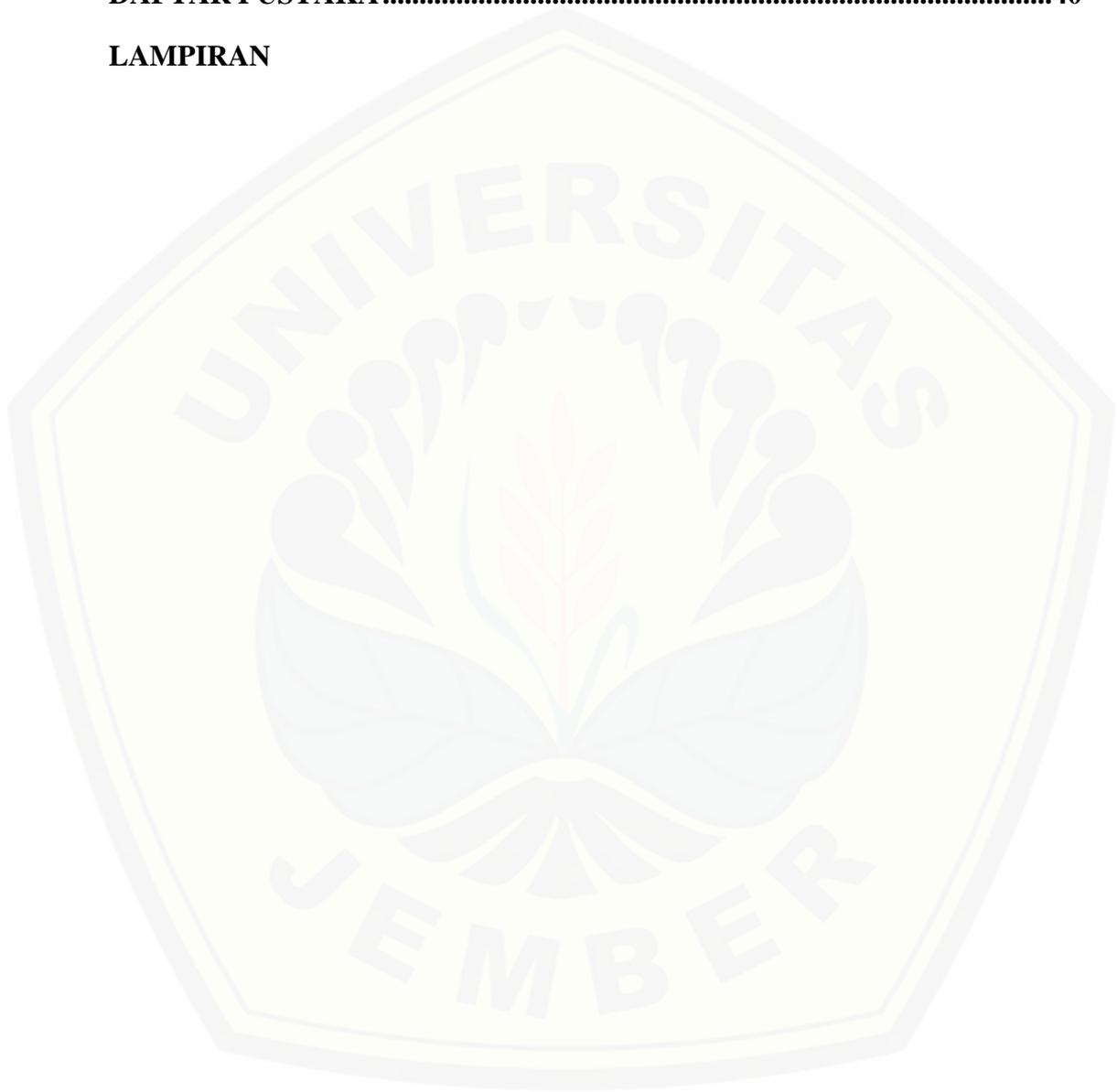
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Biogas	5
2.2 Pembuatan Biogas	6
2.3 Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas	8
2.3.1 Temperatur	8
2.3.2 pH.....	8
2.3.3 Nutrisi.....	9
2.3.4 Kandungan Racun dan Hambatan.....	9
2.3.5 Perbandingan bahan baku	9
2.4 Liquified Petroleum Gas.....	9
2.4.1 Pengertian Liquified Petroleum Gas	9

2.4.2	Jenis-jenis Liquefied Petroleum Gas	10
2.4.3	Karakteristik Liquefied Petroleum Gas	11
2.5	Karakteristik Nyala Api.....	12
2.5.1	Premixed Flame	12
2.5.2	Diffusion Flame (Non-premixed)	12
2.6	Bunsen Burner dan Termokopel.....	14
2.6.1	Pengertian Bunsen Burner.....	14
2.6.2	Pengertian Termokopel	15
2.6.3	Aplikasi Bunsen Burner Dan Termokopel.....	16
2.7	Hipotesa.....	21
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN		22
3.1	Metode Penelitian.....	22
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.2.1	Tempat Penelitian.....	22
3.2.2	Waktu Penelitian	22
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	22
3.3.1	Alat.....	22
3.3.2	Bahan.....	23
3.4	Variabel Penelitian	23
3.4.1	Variabel Bebas	23
3.4.2	Variabel Terikat	23
3.4.3	Variabel Kontrol.....	24
3.5	Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	24
3.6	Pengamatan yang Dilakukan	24
3.7	Tahapan Pengujian	24
3.7.1	Pencampuran Biogas dan LPG.....	24
3.7.2	Analisa Api Biogas-LPG Premixed.	26
3.7.3	Pengujian Tinggi Api	27
3.7.4	Pengujian Temperatur Api	28
3.7.5	Pengujian Warna Api	29
3.8	Diagram Alir Penelitian.....	30
3.9	Jadwal Kegiatan Penelitian.....	31
BAB 4. PEMBAHASAN		32
4.1	Data dan Hasil Pengujian	32
4.1.1	Tinggi Api	33

4.1.2	Temperatur Api	34
4.1.3	Warna Api	36
BAB 5. KESIMPULAN		39
5.1	Kesimpulan.....	39
5.2	Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA		40
LAMPIRAN		



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Nyala api	13
Gambar 2.2 Arus laminar vs arus turbulent	14
Gambar 2.3 Bunsen Burner.....	15
Gambar 2.4 Tata letak fasilitas penelitian eksperimental	17
Gambar 2.5 Peta stabilitas api biogas dengan penambahan hydrogen.....	18
Gambar 2.6 Ketinggian api terhadap fraksi hydrogen	19
Gambar 2.7 Suhu api pada biogas dicampur dengan hydrogen	19
Gambar 3.1 Skema pencampuran biogas dan LPG.....	26
Gambar 3.2 Skema pengambilan data.....	27
Gambar 3.3 Diagram alir penelitian.....	30
Gambar 4.1 Bentuk api biogas murni dan LPG murni.....	32
Gambar 4.2 Perbandingan tinggi api biogas dengan campuran LPG 10%-50% ..	33
Gambar 4.3 Grafik tinggi api biogas-LPG	34
Gambar 4.4 Grafik temperatur api biogas-LPG.....	35

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Biogas	6
Tabel 2.2 Kesetaraan biogas dengan bahan bakar lain	6
Tabel 3.1 Pengujian Tinggi api	28
Tabel 3.2 Pengujian Suhu Temperatur Api.....	28
Tabel 3.3 Nilai warna api	29
Tabel 3.4 Tabel Jadwal Kegiatan	31
Tabel 4.1 Biogas murni dan LPG murni	32
Tabel 4.2 Tinggi api campuran biogas dan LPG.....	33
Tabel 4.3 Temperatur api campuran biogas dan LPG.....	35
Tabel 4.4 Nilai kalor gas	36
Tabel 4.5 Persentase RGB bahan bakar	37

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penduduk Indonesia di tahun 2018 telah mengalami peningkatan jumlah yang pesat, sehingga menyebabkan kebutuhan akan energi semakin meningkat. Energi merupakan komponen yang penting dalam aktivitas perekonomian Indonesia, baik itu dari aspek konsumsi maupun dari aspek aktivitas produksi berbagai sektor perekonomian. Apalagi saat ini dikabarkan bahwa bahan bakar minyak bumi telah mencapai titik produksi tertinggi, sedangkan kebutuhan akan energi di Indonesia semakin meningkat. Sehingga untuk mengatasi semua permasalahan tersebut maka dibutuhkan penanganan yang bersifat segera untuk mengembangkan energi terbarukan. Pada tahun 2007, untuk mengatasi semakin langkanya bahan bakar minyak pemerintah mulai membuat kebijakan konversi minyak tanah ke LPG, akan tetapi bagi penduduk pedesaan proses peralihan dari minyak tanah ke LPG memiliki beberapa kendala, diantaranya adalah ada biaya tambahan untuk membeli tabung gas LPG. Saat ini masih banyak ditemui penduduk pedesaan untuk memasak masih menggunakan kayu bakar sebagai bahan bakarnya. Padahal disisi lain, daerah-daerah pedesaan memiliki potensi untuk menghasilkan gas metan, yang bisa digunakan sebagai bahan bakar dalam memasak, dan salah satu penghasil gas metan adalah kotoran ternak (Nurtjahya, 2003). Kotoran ternak dapat diolah menjadi biogas yang kaya akan gas metan, hanya dengan menggunakan teknologi yang cukup sederhana yaitu menggunakan reaktor biogas. Pada tahun 2004 saja dari kotoran ternak besar seperti sapi dan kerbau dengan populasi sekitar 13.680.000 ekor saja kurang lebih menghasilkan kotoran segar rata-rata sekitar 12 kg/ekor/hari, sehingga setelah dijumlahkan maka hewan ternak besar tersebut dapat menghasilkan kotoran segar sekitar 164.160.000 ton per hari atau setara sekitar 8,2 juta liter minyak tanah/ hari (Syamsuddin dan Iskandar, 2005). Berdasarkan hasil pendataan sapi potong, sapi perah, kuda, kambing oleh dinas peternakan, perikanan dan kelautan kabupaten Jember tahun 2014, jumlah sapi potong di jember berjumlah sekitar 229.002 ekor, sapi perah 1.374 ekor, kuda

336 ekor, kambing 49.514 ekor. Dari data tersebut menunjukkan bahwa jember sangat berpotensi sebagai tempat pengembangan biogas rumah (Bappekab Jember, 2015).

Biogas adalah jenis biofuel yang dihasilkan secara alami dari proses penguraian sampah-sampah organik, dapat berupa sisa makanan, kotoran manusia atau hewan dan banyak lagi. Sedangkan komposisi gas yang terdapat dalam biogas adalah antara lain seperti gas metana (CH_4), gas karbon dioksida (CO_2), gas oksigen (O_2), gas hidrogen sulfida (H_2S), gas hidrogen (H_2), dan gas karbon monoksida (CO) (Poeschi, 2010). Dari semua unsur tersebut, gas yang paling berperan dalam menentukan kualitas biogas yaitu gas metana (CH_4) dan gas karbon dioksida (CO_2). Bila kadar metana (CH_4) tinggi maka biogas tersebut akan memiliki nilai kalor yang tinggi. Sebaliknya jika kadar karbondioksida (CO_2) yang lebih tinggi maka akan mengakibatkan nilai kalor biogas menjadi rendah. Maka dari itu untuk meningkatkan nilai kalor biogas maka kadar gas CO_2 harus rendah. Kandungan gas metana (CH_4) dari biogas dapat ditingkatkan dengan cara memisahkan gas karbon dioksida (CO_2) dan gas hidrogen sulfida (H_2S) yang mempunyai sifat korosif dari biogas (Price, 1981). Nilai kalori dari 1 m^3 biogas yaitu sekitar 6.000 watt jam, atau hampir setara dengan minyak diesel sebanyak setengah liter. Maka karena itu biogas sangat cocok digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan pengganti minyak tanah, LPG, butana, batubara, maupun bahan bahan lain yang berasal dari fosil (Murjito, 2008).

Karakteristik api biogas sendiri hampir tidak berbau dan tidak berwarna sekaligus 20% lebih ringan dibandingkan udara, karakteristik ini disebabkan unsur utama biogas adalah gas metan (Biru, 2010). Gas metan ini terbakar dengan nyala api biru cerah dan tidak berasap, akan tetapi karakteristik pembakaran biogas lebih rendah dibanding gas alam, dikarenakan adanya CO_2 , sehingga stabilitas api dan kecepatan pembakaran menjadi rendah (Ju Y, dkk, 1998). Banyak upaya dilakukan untuk mengkonversi biogas menjadi bahan bakar berkualitas tinggi, salah satunya dicampurkan dengan LPG (Lee dan Hwang, 2008), biogas dicampurkan dengan Propana (Cordona dan Amel, 2013) dan biogas dicampurkan dengan Hidrogen menggunakan Bunsen burner 9 mm (Zhen, dkk, 2014) . Kemudian diamati nilai

kalornya, tinggi apinya dan stabilitas apinya antara biogas murni dengan biogas yang telah tercampur dengan gas lain menggunakan Bunsen burner. Tinjauan literatur menunjukkan bahwa pencampuran Biogas-LPG memiliki potensi lebih besar untuk dilakukan, dikarenakan bahan yang lebih mudah diperoleh dan juga hasilnya apinya memiliki kualitas lebih baik. Tujuan penelitian ini adalah meningkatkan kualitas api biogas menggunakan alat Bunsen burner dengan dicampurkan LPG dengan komposisi yang bervariasi agar bisa mengetahui komposisi terbaik pada karakteristik campuran api biogas dan LPG.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perbandingan antara warna api biogas 100%, biogas dengan campuran LPG 10-50% dan LPG 100%.
2. Bagaimana perbandingan antara tinggi api biogas 100%, biogas dengan campuran LPG 10-50% dan LPG 100%.
3. Bagaimana perbandingan antara temperatur api biogas 100%, biogas dengan campuran LPG 10-50% dan LPG 100%.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Mengetahui perbandingan antara warna api biogas 100%, biogas dengan campuran LPG 10-50% dan LPG 100%.
2. Mengetahui perbandingan antara tinggi api biogas 100%, biogas dengan campuran LPG 10-50% dan LPG 100%.
3. Mengetahui perbandingan antara temperatur api biogas 100%, biogas dengan campuran LPG 10-50% dan LPG 100%.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut

1. Mahasiswa bisa mengetahui bagaimana prinsip kerja reaktor biogas

2. Mahasiswa mengetahui karakteristik api biogas-LPG premix
3. Memberikan motivasi dan ide bagi para Civitas Akademik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember untuk mengembangkan dan mempelajari teknologi tentang biogas
4. Memberikan dampak positif bagi masyarakat luas agar mengurangi ketergantungan terhadap energi yang berasal dari bahan bakar fosil sekaligus agar masyarakat mengetahui bahwa biogas adalah energi alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis.

1.5 Batasan Masalah

Dengan kompleksnya permasalahan berkaitan dengan faktor yang dapat mempengaruhi pengambilan data dan analisa, maka diperlukan batasan dan asumsi agar mempermudah menganalisa terhadap permasalahan. Adapun batasan dan asumsi sebagai berikut:

1. Konstruksi alat pengujian dianggap tidak ada kebocoran.
2. Tekanan dari wadah pencampur dianggap stabil.
3. Kondisi suhu dan kelembaban tetap, dan pengaruh angin diabaikan.
4. Komposisi bahan biogas setiap pengujian dianggap sama.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biogas

Biogas adalah jenis biofuel yang dihasilkan secara alami dari proses penguraian sampah organik, baik berupa sisa makanan ataupun kotoran hewan, yang terurai dalam lingkungan anaerobik (lingkungan yang tidak mengandung oksigen), yang mana bahan-bahan organik tersebut melepaskan campuran gas yaitu metana dan karbon dioksida di dalam suatu alat yang biasa disebut *digester*. Adapun gas yang dihasilkan proses pembentukan biogas adalah metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), gas hidrogen (H_2), nitrogen (N_2) dan hidrogen sulfida (H_2S) (Sugiarto, 2013).

Pada prinsipnya, semua bahan organik dapat difermentasikan atau dicerna. Namun, hanya substrat homogen dan cair saja yang dapat dipertimbangkan untuk proses pembuatan biogas seperti feces dan urin dari sapi, babi, unggas dan air limbah dari hasil toilet. Ketika proses pengisian biogas, kotoran tersebut harus diencerkan sejumlah yang sama dengan cairan, jika memungkinkan, urin harus digunakan juga dalam proses pembuatan (Kossmann, 1999).

Pembentukan gas metana secara biologis terjadi di alam dengan adanya bahan organik basah dengan ketiadaan oksigen, misalnya dalam saluran pencernaan hewan ternak, kompos basah, tempat pembuangan sampah (*landfill*) atau persawahan yang tergenang (Wittmaier, 2005). Sifat dari gas metana yang di produksi oleh reaktor biogas hampir sama dengan sifat dari LPG, yang membedakan adalah jumlah atom c pada rumus kimianya. Atom C di metana jumlahnya hanya satu sedangkan jumlah atom C pada LPG lebih banyak dibandingkan jumlah atom C pada metana. Selain itu metana juga mempunyai karakteristik pembakaran yang bisa dibilang baik dan stabil dan juga tidak menimbulkan asap (Bayuseno, 2009). Komposisi gas yang ada dalam biogas dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Biogas

Unsur	Komposisi (%)
Methan (CH ₄)	55-75%
Karbon dioksida (CO ₂)	25-45%
Nitrogen (N ₂)	0.5-3%
Oksigen (O ₂)	0.1%
Hidrogen sulfida (H ₂ S)	< 0.1%

Sumber : Meynell, 1976

Nilai kalor dari 1 m³ sebuah reaktor biogas hampir setara dengan setengah liter minyak diesel atau hampir setara dengan 4,7 kWh listrik (Daryanto, 2007). Maka sebab itu biogas cocok disarankan sebagai sumber energi yang murah yang ramah lingkungan pengganti sumber energi fosil. Adapun kesetaraan biogas dibandingkan bahan bakar lainnya disajikan pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Perbandingan biogas dengan bahan bakar yang lain

Keterangan	Bahan bakar lain
1 m ³ biogas	0,46 kg Gas Elpiji
	0,61 Liter Minyak Tanah
	0,52 Liter Minyak Solar
	0,80 Bensin
	3,50 kg Kayu Bakar

Sumber : Daryanto, 2007

2.2 Pembuatan Biogas

anaerobic digestion (AD) adalah sebuah proses *mikrobiologis dekomposisi* dimana bahan organik dimasukkan kedalam ruang hampa oksigen. Produk utama yang didapatkan dari proses AD adalah biogas dan *digestate*. Biogas adalah gas yang komposisi utamanya adalah metana dan karbon dioksida, dan biasanya gas ini mudah terbakar. sedangkan *Digestate* adalah hasil proses produksi biogas yang berupa *substrak* yang membusuk. Selama proses AD, panas yang dihasilkan sangatlah sedikit, berbeda dengan proses *dekomposisi aerobik* (dengan oksigen). Atau proses pengomposan.

Proses pembentukan biogas merupakan hasil dari beberapa proses terkait, dimana bahan awal dibagi menjadi beberapa unit yang lebih kecil dengan cara melibatkan kelompok *mikroorganisme* tertentu dalam setiap proses tersebut. *Organisme* ini berturut-turut menguraikan hasil dari langkah sebelumnya yang disederhanakan dalam bentuk diagram proses AD, terdiri dari empat langkah proses utama yaitu proses *hidrolisis*, proses *acidogenesis*, proses *asetogenesis*, dan proses *metanogenesis*.

Proses langkah yang tersaji berjalan secara paralel dipengaruhi oleh bentuk ruang dan waktu yang dibutuhkan dalam tangki yang disebut *digester*. Reaksi dari sebuah rantai menentukan kecepatan dalam proses dekomposisi total. Dan umumnya selama proses *hidrolisis*, jumlah biogas yang dihasilkan relatif tidak terlalu banyak, produksi biogas baru mencapai puncak ketika memasuki tahapan proses *metanogenesis*.

Mikroorganisme fermentasi terdiri dari beberapa anaerob yang mempunyai sifat fakultatif dan ketat. Dalam langkah proses hidrolisis enzimatis, organik yang tidak larut dalam air, dapat dilarutkan dengan cara menggunakan air untuk memecah ikatan kimia organik tersebut. (Parawira, 2004) dan secara sederhana senyawa larut yang dihasilkan dapat digunakan oleh sel bakteri (Gerardi, 2003). Sementara beberapa produk dari hidrolisis seperti hidrogen dan asetat mungkin dapat digunakan oleh methanogen dalam proses pencernaan anaerobik, yang mana sebagian besar molekul, yang mempunyai ukuran masih relatif besar, harus dikonversi lebih jauh, sehingga menjadi lebih kecil seperti molekul asam asetat, sehingga molekul-molekul tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan metana (Biara 2013).

Hidrolisis mempunyai langkah yang relatif lambat dan dapat membatasi laju proses pencernaan anaerobik secara keseluruhan, terutama bila menggunakan limbah padat sebagai substrat (Van Haandel dan van der Lubbe 2007). Setelah proses hidrolisis selesai maka diikuti oleh langkah selanjutnya yaitu pembentuk asam – asidogenesis (Ostrem 2004). Pada langkah ini, organik diubah oleh bakteri pembentuk asam menjadi asam organik yang lebih tinggi seperti asam propionat dan asam butirat dan asam asetat, hidrogen dan karbon dioksida. Asam organik

yang lebih tinggi kemudian ditransfer menjadi asam asetat dan hidrogen oleh bakteri acetogenik. Itu menjadi perbedaan yang jelas antara reaksi acetogenic dan acidogenic. Asetat dan hidrogen diproduksi selama reaksi pengasaman dan acetogenik dan keduanya adalah hasil substrat dari bakteri metanogenik. Bakteri bersifat asam dan acetogenik memiliki kelompok besar dan beragam yang mencakup fakultatif dan anaerob. Organisme fakultatif dapat hidup di aerobik dan anaerobic. Spesies yang beracun di isolasi dari pencernaan anaerobik termasuk *Clostridium*, *Peptococcus*, *Bifidobacterium*, *Desulfovibrio*, *Corynebacterium*, *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Seimonas*, *Veillonella*, *Sarcina*, *Desulfobacter*, *Desulfomonas* dan *Escherichia coli* (Kosaric dan Blaszczyk 1992). Karakteristik air limbah menentukan bakteri mana yang mendominasi.

Gas hidrogen yang terbentuk dalam langkah acetogenesis dapat dianggap sebagai suatu pemborosan produk acetogenesis karena gas tersebut menghambat metabolisme bakteri acetogenik. Namun gas itu itu dapat dikonsumsi oleh bakteri penghasil metana, dan oleh bakteri pembilas hidrogen diubah menjadi metana (Al Seadi dkk. 2008).

2.3 Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas

2.3.1 Temperatur

Temperatur berperan penting dalam pembentukan biogas, ketika nilai temperatur tidak sesuai dengan temperatur yang dibutuhkan pada saat proses pembentukan biogas, maka proses yang dihasilkan menjadi tidak maksimal. Produksi biogas akan menurun secara cepat jika terdapat perubahan temperatur yang mendadak pada saat proses pembentukan biogas di dalam reaktor biogas. (Simamora, 2006).

2.3.2 pH

faktor pH mempunyai peran penting pada proses dekomposisi anaerob, sebab jika rentang pH yang tidak sesuai dengan yang dibutuhkan pada saat proses pembentukan biogas maka *mikroba* tidak dapat tumbuh secara sempurna dan

bahkan rentang pH yang tidak sesuai dapat menyebabkan *mikroba* menjadi mati, sehingga dapat menghambat proses pembentukan gas metana. Derajat keasaman pH yang terbaik bagi kehidupan *mikroorganisme* dalam pembentukan biogas adalah rentang pH antara 6,8-7,8 (Simamora, 2006).

2.3.3 Nutrisi

Nutrisi berfungsi dalam pertumbuhan dan metabolisme suatu *mikroorganisme*. Berdasarkan nilai *chemical oxygen demand* (COD), maka perbandingan COD : N : P adalah 400 : 7 : 1 dan 1000 : 7 : 1. Perbandingan tersebut dapat dikatakan sebagai kebutuhan nutrisi untuk substrat tinggi dan substrat rendah. Selain nutrisi dibutuhkan pula *mikronutrien* yang mempunyai fungsi sebagai peningkat aktivitas *mikroorganisme*, *mikronutrien* yang biasa digunakan untuk peningkat aktivitas antara lain adalah besi, magnesium, kalsium, natrium, barium, selenium, kobalt dan lain-lain (Malina, 1992).

2.3.4 Kandungan Racun dan Hambatan

Kandungan racun (*toxicity*) dan hambatan (*inhibition*) pada proses anaerob dapat disebabkan oleh berbagai macam penyebab, misalnya produk asam lemak yang menguap dengan mudah, ini dapat mempengaruhi nilai rentang suatu pH, sehingga nilai pH menjadi tidak sesuai dengan kebutuhan.

2.3.5 Perbandingan bahan baku

Perbandingan bahan baku pembentukan biogas sangat berpengaruh pada proses pembuatan biogas, perbandingan yang tidak sesuai antara bahan baku dengan cairan, menyebabkan produksi biogas menjadi tidak maksimal.

2.4 Liquefied Petroleum Gas

2.4.1 Pengertian Liquefied Petroleum Gas

Liquefied petroleum gas atau LPG adalah sebuah gas hidrokarbon yang telah berbentuk cair setelah diberi tekanan, yang mana bertujuan untuk memudahkan dalam penyimpanan, pengangkutan, dan penanganan. LPG pada dasarnya terdiri atas propana (C_3H_8), butana (C_4H_{10}), atau campuran dari

keduanya. LPG biasanya digunakan sebagai pengganti freon, aerosol, bahan pendingin (*refrigerant/cooling agent*), kosmetika, dan bahan bakar. (Farid, 2007)

Komponen utamanya LPG adalah gas propana dan butana, dengan komposisi kurang lebih 97% dan selebihnya adalah zat pembau. Komposisi dasar campuran LPG produksi Pertamina mengandung 50 persen Propana dan 50 persen Butana, dilihat dari aspek komposisi yang terkandung dalam tabung LPG maupun aspek tekanan uap LPG, komposisi tersebut telah sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan telah diperhitungkan sesuai nilai kalor yang diperlukan dalam proses memasak. (Pertamina, 2014).

Dibandingkan dengan bahan bakar selain LPG, penggunaan LPG memiliki banyak keuntungan, berikut antara lain keuntungan dari penggunaan LPG:

- a. Bersih, LPG mempunyai hasil pembakaran yang bersih dan tidak menimbulkan asap maupun emisi
- b. Stabil, umumnya pembakaran LPG mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi dan memiliki pembakaran yang stabil.
- c. Fleksibel, LPG dapat didistribusikan dengan mudah ke tempat tujuan menggunakan *skid tank* atau kapal, sehingga bisa menjangkau daerah-daerah yang jauh.
- d. Tidak meninggalkan bau, produk LPG umumnya tidak meninggalkan bau sehingga cocok digunakan dalam skala rumah tangga maupun industri yang mempunyai produk sensitif akan bau.
- e. Ramah lingkungan, LPG mempunyai pembakaran yang ramah lingkungan, dan ikut mendukung dunia dalam menggunakan energi yang ramah lingkungan.
- f. *Cost reduction*, biaya *maintenance* peralatan LPG dan harga gas LPG tergolong murah dan hemat, sehingga dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan dalam kehidupan sehari-hari

2.4.2 Jenis-jenis Liquefied Petroleum Gas

LPG dalam pengaplikasiannya tidak hanya digunakan untuk bahan bakar memasak saja, Widarto (2007) menjelaskan gas LPG bisa digunakan pula sebagai

bahan penekan. Yaitu biasa digunakan untuk produksi berjenis spray, seperti deodorant, minyak wangi spray, cat piloks, kosmetik dan sejenisnya. Jenis LPG yang ada dipasaran adalah:

- a. LPG Mix, merupakan LPG yang bahan dasarnya berupa campuran antara propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) dengan perbandingan 50:50.
- b. LPG Propana, merupakan LPG yang komposisi utamanya adalah propana
- c. LPG Butana, merupakan LPG yang komposisi utamanya adalah butana

2.4.3 Karakteristik Liquified Petroleum Gas

Menurut Farid (2007) karakteristik LPG secara umum diuraikan sebagai berikut:

- a. LPG memiliki massa jenis yang lebih besar dibandingkan udara, sehingga umumnya gas LPG cenderung bergerak ke bawah.
- b. Berat jenis butana yang merupakan komposisi utama LPG adalah dua kali berat jenis udara yang ada disekitar kita.
- c. Berat jenis propana yang merupakan komposisi utama LPG adalah satu setengah kali berat jenis udara yang ada disekitar kita.
- d. LPG tidak mempunyai sifat pelumasan pada bahan yang seperi metal
- e. Merupakan *solvent* atau zat pelarut yang baik pada bahan karet.
- f. LPG tidak mempunyai warna, baik ketika berbentuk cair maupun ketika berbentuk gas.
- g. LPG Tidak memiliki bau, sehingga untuk keselamatan, LPG komersial umumnya ditambah zat odor yang memiliki bau menyengat yaitu *Ethyl Mercaptane*.
- h. Tidak mengandung racun (*toxicity*).
- i. LPG memiliki tekanan yang besar, sehingga ketika LPG bocor maka langsung membentuk aliran gas secara cepat, dan biasanya mudah terbakar .
- j. Apabila gas LPG menguap di udara bebas maka akan terbentuk sebuah lapisan, dikarenakan kondensasi pada LPG yang menimbulkan aliran gas.
- k. 1 Kg LPG cair bila menjadi gas maka setara dengan 500 liter gas LPG.
- l. LPG mempunyai pembakaran yang baik, dan tidak menimbulkan asap maupun debu.

2.5 Karakteristik Nyala Api

Pada proses pembakaran, sebuah bahan bakar dan udara bercampur dan terbakar dapat dilakukan baik menggunakan mode nyala api maupun tanpa menggunakan mode nyala api. definisi api sendiri adalah suatu proses oksidasi dari pembakaran kimiawi yang memiliki panas dan cahaya. 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. (Turns, 1996). Terdapat dua tipe mode nyala api, yaitu *premixed flame* dan *diffusion flame*.

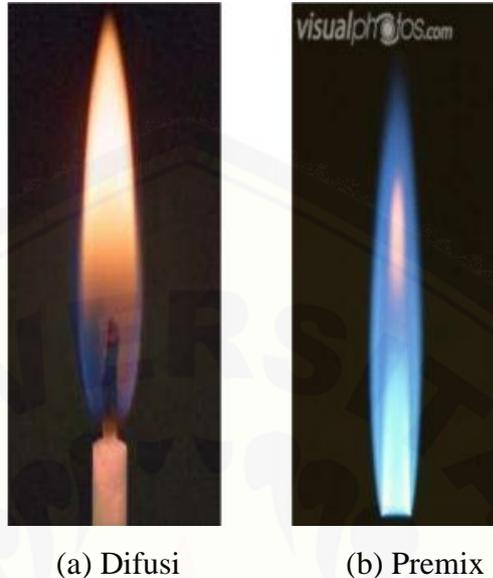
2.5.1 Premixed Flame

Premixed flame adalah nyala api yang dihasilkan saat bahan bakar tercampur oksigen dalam keadaan sempurna sebelum api tersebut dinyalakan. Umumnya indikasi premixed flame dapat dilihat dari warna api yang berwarna biru. Laju pertumbuhan api tergantung dari komposisi kimia bahan bakar yang digunakan (Turns, 1996).

2.5.2 Diffusion Flame (Non-premixed)

Diffusion Flame adalah nyala api yang dihasilkan saat bahan bakar dan oksigen bercampur lebih dahulu dan proses penyalaan tersebut dilakukan secara bersamaan. Laju difusi reaktan bisa dipengaruhi oleh energi yang dimiliki oleh bahan bakar. kebanyakan pada nyala api difusi pengaruh udara dari luar sebagai oksidator pembakaran akan berpengaruh pada nyala api yang dihasilkan. munculnya nyala api tergantung pada sifat bahan bakar yang digunakan dan kecepatan pemancaran bahan bakar tersebut terhadap udara sekitarnya. Laju pencampuran bahan bakar dengan udara lebih rendah dari laju reaksi kimia. Nyala api difusi pada suatu pembakaran biasanya cenderung mengalami pergerakan nyala lebih lama dan menghasilkan asap lebih banyak daripada nyala premix. Nyala

difusi berupa *laminar flame* atau *Turbulen Flame* (Turns, 1996). Model nyala api ditampilkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Nyala api (Grover, 2015)

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

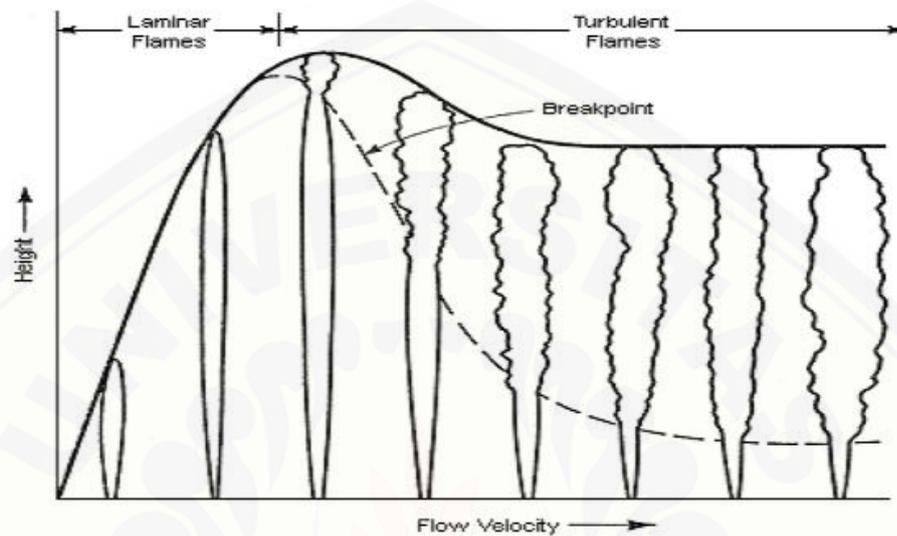
a. Api Laminer

Api laminar adalah nyala api yang mempunyai pola berbentuk laminar atau teratur. Api jenis ini biasanya mengikuti *streamline* aliran yang ada sehingga tidak membentuk sebuah *turbulensi* atau gerakan-gerakan yang tidak beraturan.

b. Api Turbulen

Api turbulen adalah nyala api yang mempunyai pola aliran tidak beraturan atau acak yang mana memberi indikasi bahwa aliran yang bergerak dalam keadaan aktif. Pada pembakaran gas hasil *gasifikasi* menunjukkan bahwa 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 tersebut 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 umumnya 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 2.2.



Gambar 2.2 Arus laminar vs arus turbulent (Turns, 1996)

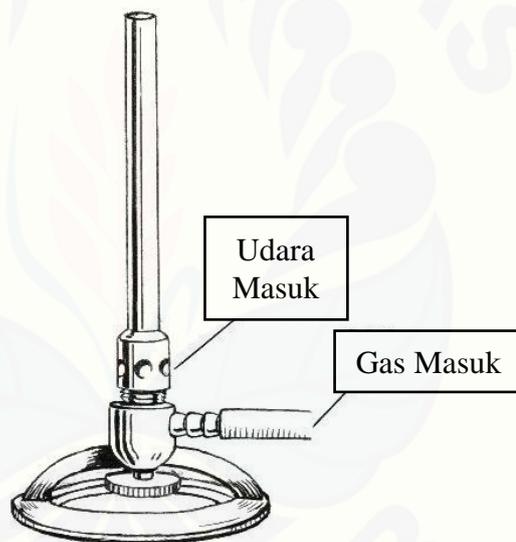
Aliran laminar adalah aliran ketika uap kecepatan rendah pada bahan bakar dilepaskan dari kompor. Meningkatnya turbulensi akan meningkatkan propagasi api. Tapi intensitas turbulensi terlalu banyak menyebabkan tingkat propagasi menurun dan menyebabkan api padam. Turbulensi dipengaruhi aliran bahan bakar yang menguap, kecepatan aliran bahan bakar, dan media penguapan bahan bakar (Turns, 1996)..

2.6 Bunsen Burner dan Termokopel

2.6.1 Pengertian Bunsen Burner

Bunsen burner adalah alat pembakar (burner) yang biasa ditemui di sebuah laboratorium yang digunakan untuk menghasilkan nyala api premix (*premix flame*). *Bunsen burner* pertama kali ditemukan oleh Robert William Bunsen pada tahun 1855. *Bunsen burner* biasanya digunakan untuk menganalisa nyala api gas alam, seperti metana, butane dan propana. Cara kerjanya Gas mengalir melalui lubang

kecil yang ada dibagian bawah kemudian diarahkan ke atas. Ventilasi udara di bawah tabung memungkinkan untuk keluar masuk udara, agar udara memasuki aliran gas dengan efek Venturi. Jumlah oksigen (udara) dicampur dengan gas streaming menentukan reaksi pembakaran. Jadi, aliran gas tercampur dengan baik dengan oksigen akan menghasilkan reaksi yang lebih sempurna dan lebih panas daripada dengan gas yang tidak tercampur dengan sempurna dengan oksigen. Api yang baik biasanya muncul dengan suara biru dan bersuara menderu. Sedangkan suhu tertinggi di dalam api biru diperoleh pada ujung kerucut bagian dalam (Firmansyah, 2008). Model Bunsen burner yang digunakan ditampilkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bunsen Burner (Google, 2017)

2.6.2 Pengertian Termokopel

Pada tahun 1821, Thomas Seebeck melakukan penelitian dan menemukan bahwa jika dua logam yang memiliki dua bahan yang berbeda bergabung pada ujung, yang mana antara ujung satu dengan ujung yang lain memiliki suhu yang berbeda, maka terjadilah arus. Fenomena ini dikenal sebagai efek Seebeck dan menjadi dasar untuk semua termokopel.

Termokopel adalah jenis sensor suhu, yang dibuat dengan cara menggabungkan dua logam yang berbeda di salah satu ujungnya. Ujung yang

digabungkan disebut sebagai Hot Junction sedangkan ujung yang lain disebut sebagai cold junction, yang mana cold junction sebenarnya terbentuk pada titik terakhir termokopel. (Karim, 2003).

Termokopel memiliki banyak sekali jenis, diantara yaitu termokopel tipe E, termokopel tipe K, termokopel tipe J, termokopel tipe N, dan termokopel tipe S.



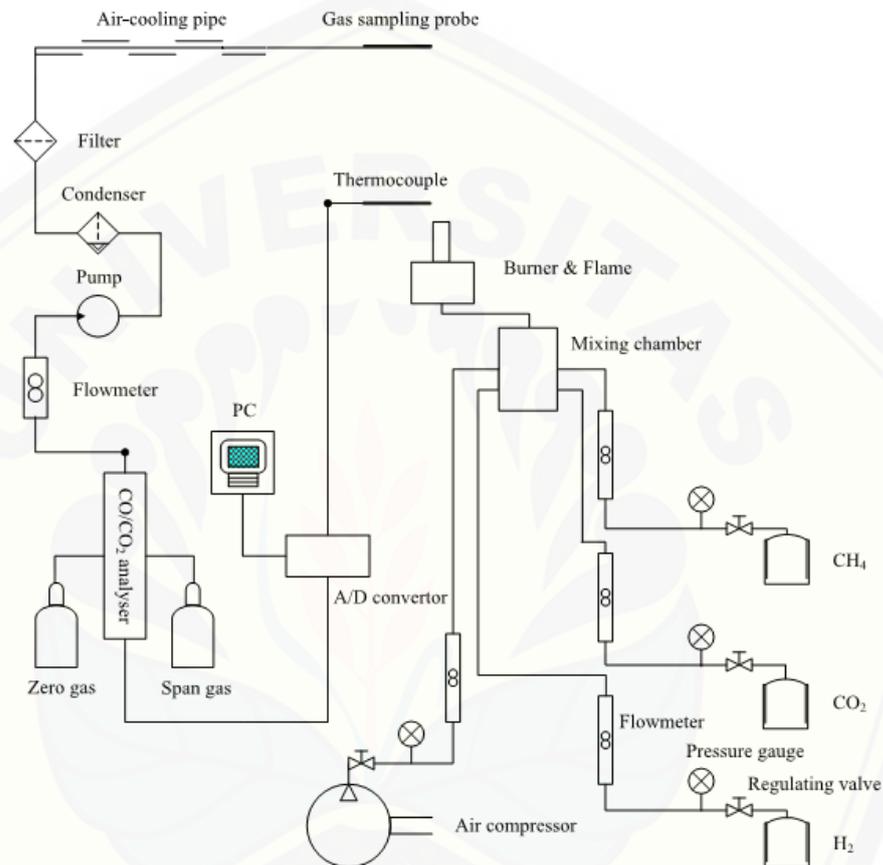
Gambar 2.4 Termokopel Tipe K (Tokopedia, 2018)

2.6.3 Aplikasi Bunsen Burner Dan Termokopel

Bunsen burner banyak diterapkan pada pembakaran *premixed*, banyak peneliti yang melakukan penelitian tentang pembakaran *premixed* pada Bunsen burner untuk mengetahui tentang karakteristik perilaku api dan kecepatan api Qiao Dkk, (2005), api Bunsen dengan open tip, Min Dkk, (2011), api seluler, Groff, (1982), dan api triple, Ray Dkk, (2000).

(Zhen Dkk, 2014) melakukan penelitian eksperimental dengan cara mencampurkan biogas dengan hidrogen untuk mengetahui karakteristik stabilitas api, nilai termal dan emisi biogas menggunakan sebuah Tabung *Bunsen burner* tunggal yang memiliki diameter dalam 9 mm dan diameter luar 11 mm, adapun variasi yang digunakan adalah BG60 (60% CH₄ 40% CO₂), BG50 (50% CH₄ 50%

CO₂) dan BG40 (40% CH₄ 60% CO₂). Dengan asumsi biogas sebagai bahan bakar utama dan hidrogen sebagai bakar *adiktif sekunder*, sehingga fraksi hidrogen dalam pencampuran tidak boleh lebih besar dari 50%. Skema tata letak fasilitas eksperimental yang digunakan oleh zhen ditampilkan pada Gambar 2.4.

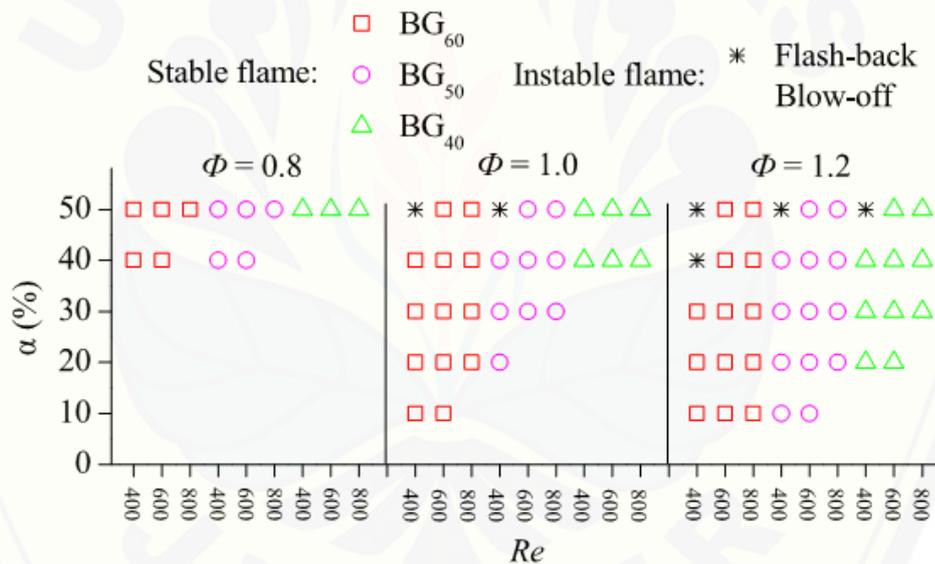


Gambar 2.5 Tata letak fasilitas penelitian eksperimental (Zhen Dkk, 2014)

Adapun metode yang digunakan Zhen dkk, (2014), adalah metode eksperimental dimana gas murni CH₄ dan H₂ diambil dari silinder bertekanan tinggi yang terletak pada tempat yang berbeda. Dengan dipastikan bahwa kemurnian gas komersialnya lebih dari 99% untuk menghindari perubahan campuran selama percobaan, sedangkan untuk udara disediakan oleh kompressor, dan semua aliran gas dikendalikan menggunakan katub jarum yang telah dikalibrasikan, kemudian semua gas sebelum memasuki *bunsen burner* dicampur bersama-sama terlebih dahulu di dalam ruang silinder pencampuran yang terbuat dari *stainless steel*. Sebuah kamera *charge-coupled device* (CCD) resolusi tinggi dengan kecepatan

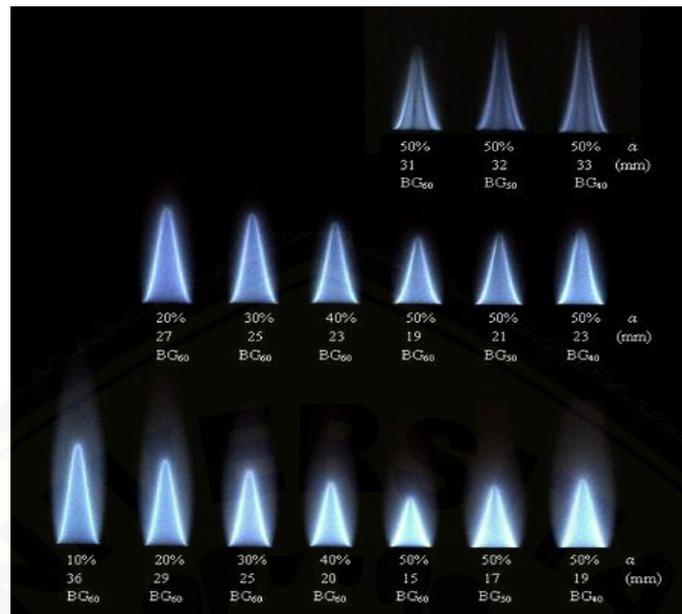
rana 1/60s digunakan untuk merekam cahaya api dengan latar belakang gelap, tinggi api *premixed* didefinisikan sebagai jarak vertikal dari ujung bagian dalam kerucut api ke permukaan luar tabung, dengan diukur menggunakan penggaris pesisi 0,5 mm sedangkan temperatur nyala api diukur menggunakan termokopel tipe-B dengan diameter kawat 0,25 mm. semua pengukuran diulang tiga kali dan rata-rata nya digunakan untuk analisis kesalahan.

Hasil yang diperoleh dalam penelitian stabilitas api tersebut menunjukkan bahwa penambahan hidrogen pada biogas meningkatkan *ignitability* (mampu nyala) bahan bakar dan meningkatkan stabilitas api, selain itu penambahan hidrogen pada biogas meningkatkan kecepatan bakar api laminar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



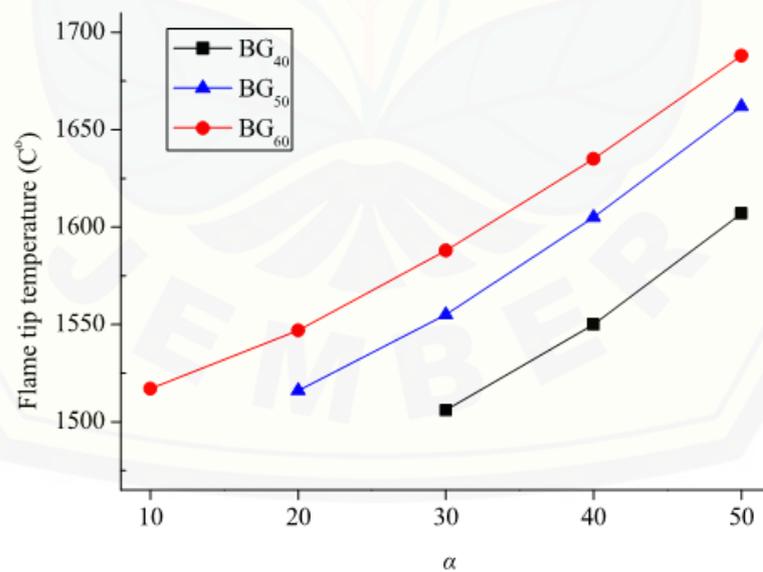
Gambar 2.6 Peta stabilitas api biogas dengan penambahan hydrogen (Zhen Dkk, 2014)

hasil pengujian ketinggian api menunjukkan bahwa penambahan hidrogen pada jumlah dan kesetaraan konstanta Reynold ratio membuat ketinggian reaksi api dalam pada kerucut berkurang sehingga meningkatkan kecepatan bakar laminar seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.7 Ketinggian api terhadap fraksi hydrogen (Zhen Dkk, 2014)

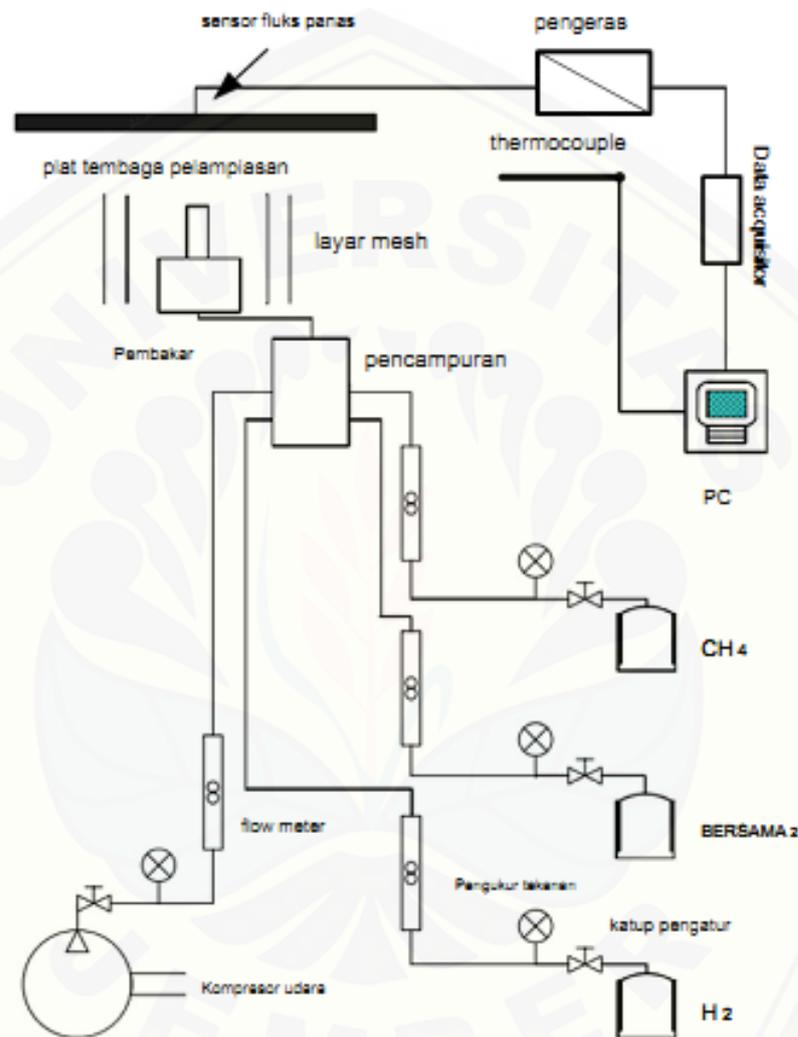
Sedangkan hasil penelitian temperatur menunjukkan bahwa penambahan fraksi hidrogen yang lebih tinggi menyebabkan peningkatan monoton pada suhu api, seperti terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.8 Suhu api pada biogas dicampur dengan hydrogen (Zhen Dkk, 2014)

Wei Dkk, 2016 menggunakan Bunsen burner sebagai alat pencampuran bahan bakar biogas dengan bahan bakar hidrogen untuk mengetahui kecepatan

laminar api biogas yang telah dicampur dengan hidrogen. Komposisi hydrogen yang digunakan dalam pencampuran ini adalah 10-50% dan fasilitas penelitian yang digunakan seperti terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.9 Fasilitas Penelitian Wei Dkk

Dimana fasilitas terdiri dari Bunsen burner, sistem pengelola data, sistem pasokan gas dan alat pengukur suhu yaitu termokopel tipe B. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kestabilan api, suhu api dan laju perpindahan panas biogas dapat ditingkatkan dengan pengayaan hidrogen pada biogas. Dengan pengayaan hydrogen pada biogas dapat meningkatkan sekitar 20-30% kecepatan perpindahan panas. Dan penelitian dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi komposisi

hydrogen maka semakin tinggi pula suhu api dan difusivitasnya, dan suhu yang tinggi itu pula dapat langsung meningkatkan proses transfer panas yang lebih besar. Semakin tinggi CO_2 yang terdapat pada biogas semakin rendah kecepatan pembakaran api laminarnya dikarenakan keberadaan CO_2 dapat mengurangi fraksi bahan bakar yang mudah terbakar.

2.7 Hipotesa

Dari tinjauan pustaka diatas dapat diambil hipotesa sebagai berikut:

Nyala api biogas memiliki nyala api biru cerah dan tidak berasap. Akan tetapi karakteristik pembakaran biogas lebih rendah dibanding LPG, dikarenakan biogas memiliki komposisi CO_2 diatas 20% dari total keseluruhan komposisi biogas, sehingga tinggi api dan temperatur pembakaran menjadi rendah. Tinggi dan temperatur api pembakaran biogas akan meningkat ketika dicampur dengan LPG, dikarenakan LPG memiliki kualitas pembakaran yang lebih baik dibandingkan biogas, maka semakin tinggi komposisi LPG dalam proses pencampuran akan semakin meningkatkan kualitas pembakaran api biogas, sehingga temperatur api, tinggi api dan warna api biogas akan semakin baik dan berkualitas.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *eksperimental*, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menguji karakteristik api Biogas-LPG menggunakan alat *Bunsen burner*. Pada penelitian ini, gas yang dihasilkan oleh Biogas Rumah dan gas yang dihasilkan oleh LPG dicampur kemudian disalurkan ke Bunsen burner. Pengujian tahap ini adalah mengetahui karakteristik api berupa tinggi api, temperatur api, dan warna api. Metode penelitian dilakukan dengan merekam proses nyala api secara visual menggunakan kamera berkecepatan tinggi.

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 selama kurang lebih 3 bulan pada bulan Januari 2018 sampai Maret 2018

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu :

- a. Reaktor Biogas
- b. Ban Bekas
- c. Balon Jumbo
- d. Tabung LPG
- e. Bunsen burner
- f. Kamera DSLR D5300
- g. Termocoulpe
- h. Pemantik Api

- i. Selang 1/4"
- j. Katub
- k. Cabang Gas Y
- l. Alat Ukur Volume Gas 0,5 Liter / Pneumatic Hydrolic
- m. Papan Background Hitam
- n. Alat Pertukangan
- o. Stopwatch
- p. Pressure Gauge
- q. kompresor
- r. Komputer

3.3.2 Bahan

- a. Biogas
- b. LPG

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 :

- a. Biogas
- b. LPG
- c. Campuran biogas dan LPG

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 karakteristik api Biogas dan LPG yaitu :

- a. Tinggi api Biogas-LPG premixed
- b. Suhu api Biogas-LPG premixed
- c. Warna api Biogas-LPG premixed

3.4.3 Variabel Kontrol

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

- a. Biogas 100% (BG100)
- b. LPG 100% (BG0)
- c. Biogas 50% dan LPG 50% (BG50)
- d. Biogas 60% dan LPG 40% (BG60)
- e. Biogas 70% dan LPG 30% (BG70)
- f. Biogas 80% dan LPG 20% (BG80)
- g. Biogas 90% dan LPG 10% (BG90)

3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang digunakan dalam penelitian meliputi :

- a. Data Primer, merupakan data yang diperoleh langsung dari pengujian temperatur api Biogas- LPG premixed, warna api Biogas-Biogas Premixed dan tinggi api Biogas-LPG Premixed.
- b. Data sekunder, merupakan data yang diperoleh dari literatur perhitungan maupun hasil pengujian temperatur api Biogas- LPG premixed, warna api Biogas-Biogas Premixed dan tinggi api Biogas-LPG Premixed.

3.6 Pengamatan yang Dilakukan

Pada penelitian ini yang diamati adalah :

- a. Tinggi api Biogas-LPG premixed
- b. Temperatur api Biogas-LPG premixed
- c. Warna api Biogas-LPG premixed

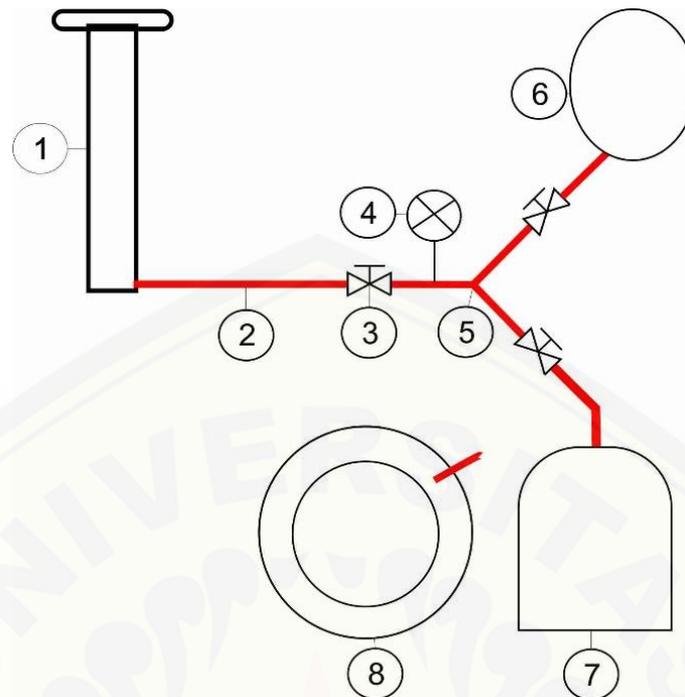
3.7 Tahapan Pengujian

3.7.1 Pencampuran Biogas dan LPG

- 1) Mempersiapkan bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian.
- 2) Memasang selang ke alat ukur, balon dan ban bekas yang berisi biogas.

- 3) Memasang valve/katub dan pressure gauge pada sambungan selang dan memastikan tidak ada kebocoran.
- 4) Membuka katub yang ada di ban bekas yang berisi biogas dan di alat ukur volume atau pneumatic hydrolic, sedangkan katub menuju balon ditutup.
- 5) Menarik pegangan pneumatic hydrolic ke atas sampai pegangan terkunci, lalu tutup katub di pneumatic hydrolic dan katub yang menuju ban bekas yang berisi biogas.
- 6) Membuka katub pneumatic hydrolic dan katub menuju balon dan tekan pegangan alat ukur volume sampai paling bawah.
- 7) Menutup katub menuju balon, agar gas yang dibalon tidak keluar
- 8) Mengulangi langkah nomer 4, 5, 6 dan 7 sebanyak 5x
- 9) Melepas selang yang ada di ban bekas yang berisi biogas, kemudian diganti dengan tabung LPG.
- 10) Mengulangi langkah nomer 4, 5, 6 dan 7 sebanyak 5x, agar perbandingan gas yang tercampurnya menjadi 50% biogas dan 50% LPG.
- 11) Mengunci dan mengikat balon dengan rapat agar gas tidak keluar, lalu pasang balon yang baru.
- 12) Mengulangi langkah nomer 4-11 sebanyak 4x dengan variasi Biogas:LPG yaitu 60:40, 70:30, 80:20 dan 90:10

Secara skematis rancangan yang digunakan dalam percampuran biogas dengan LPG ini yaitu seperti Gambar 3.1



Gambar 3.1 Skema pencampuran biogas dan LPG

Keterangan :

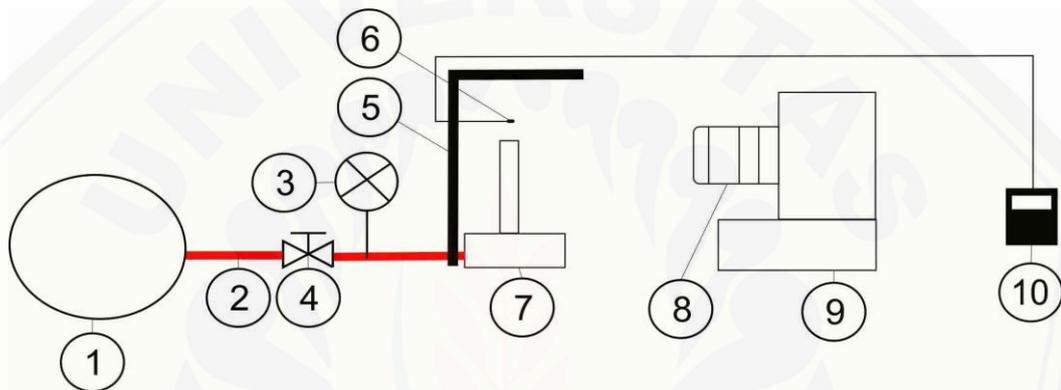
1. Pneumatic Hydraulic 0,5 liter
2. Selang $3/8''$
3. Katub/Valve
4. Pressure Gauge
5. Cabang gas Y
6. Balon (wadah pencampuran biogas dan LPG)
7. Tabung LPG
8. Ban bekas berisi biogas

3.7.2 Analisa Api Biogas-LPG Premixed.

- 1) Mempersiapkan bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian tinggi dan suhu api biogas-LPG Premixed.
- 2) Membuka katub yang menghubungkan balon berisi gas tercampur ke Bunsen burner.
- 3) Menyalakan api di Bunsen burner.
- 4) Mengambil gambar bentuk api menggunakan kamera DSLR Nikon D5300 dengan pengaturan *iso2500*, *shutter speed 1/60*, *F-stop f/5.6*, dan dimensi pixels 6000x4000
- 5) Mencatat suhu tertinggi yang muncul di termokopel.

- 6) Mematikan api, menutub katub penghubung dan melepas balon. Kemudian mengganti dengan balon yang baru.
- 7) Melakukan percobaan sebanyak 3x dengan komposisi yang sama.
- 8) Mengulangi langkah nomer 2-7 dengan komposisi biogas dan LPG yang berbeda, masing masing sebanyak 3x.
- 9) Mencatat hasilnya dan menganalisa gambar bentuk api.

Secara skematis rancangan yang digunakan dalam pengujian ini yaitu seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema pengambilan data

Keterangan :

1. Balon (wadah pencampuran biogas dan LPG)
2. Selang $\frac{3}{8}$ "
3. Pressure Gauge
4. Katub/Valve
5. Background hitam
6. Sensor termokople
7. Bunsen burner
8. Kamera DSLR
9. Alas dudukan kamera
10. Pembaca Termokople

3.7.3 Pengujian Tinggi Api

Tahap pengujian tinggi api biogas-LPG Premixed dilakukan dengan menghitung rata-rata tinggi nyala api dalam tiga kali percobaan dengan keadaan katup posisi terbuka penuh,

Dari pengujian yang dilakukan akan didapatkan hasil seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Pengujian tinggi api

Bahan Bakar	Tinggi (mm)							
	Pengujian 1		Pengujian 2		Pengujian 3		Rata-rata	
	Dalam	Luar	Dalam	Luar	Dalam	Luar	Dalam	Luar
BG100								
BG90								
BG80								
BG70								
BG60								
BG50								
BG0								

Setelah dilakukan pengukuran dan pengambilan data pada tinggi api. Kemudian dilakukan analisa rata-rata terhadap tinggi nyala api.

3.7.4 Pengujian Temperatur Api

Pengujian temperatur api Biogas-LPG Premixed menggunakan Bunsen burner dan dilakukan pengukuran temperatur menggunakan termokople. Untuk mengetahui temperatur api Biogas dan api LPG di titik horizontal paling panas, dengan lama pengukuran suhu temperature 1 menit pada titik tersebut, maka rencana analisa data hasil disajikan seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Pengujian suhu temperatur api

Bahan Bakar	Temperatur Api (°C)			
	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Rata-rata
BG100				
BG90				
BG80				
BG70				
BG60				
BG50				
BG0				

Setelah dilakukan pengukuran dan pengambilan data pada suhu temperatur api. Kemudian dilakukan analisa rata-rata terhadap penurunan dan kenaikan pada nyala api.

3.7.5 Pengujian Warna Api

Pengujian warna api Biogas-LPG Premixed menggunakan Bunsen burner dan kamera DSLR Nikon D5300. Gas biogas-LPG Premixed yang telah tertampung disalurkan ke saluran masuk Bunsen burner, nyalakan Bunsen dengan bantuan korek api, foto api yang menyala pada Bunsen burner menggunakan kamera DSLR Nikon D5300 dengan pengaturan iso2500 dan *shutter speed* 1/60. Foto nyala api yang telah didapat, dihitung nilai RGB (Red Green Blue) dengan *software ImageJ*. Kemudian terakhir mencatat hasil perhitungan presentase setiap luasan warna nyala api biogas dan nyala api LPG pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Nilai warna api

Bahan Bakar	Presentase Nilai Warna Api (%)							
	Pengujian 1		Pengujian 2		Pengujian 3		Rata-rata	
	Merah	Biru	Merah	Biru	Merah	Biru	Merah	Biru
BG100								
BG90								
BG80								
BG70								
BG60								
BG50								
BG0								

dan untuk menghitung persentase warna api biru digunakan rumus berikut.

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

Keterangan :

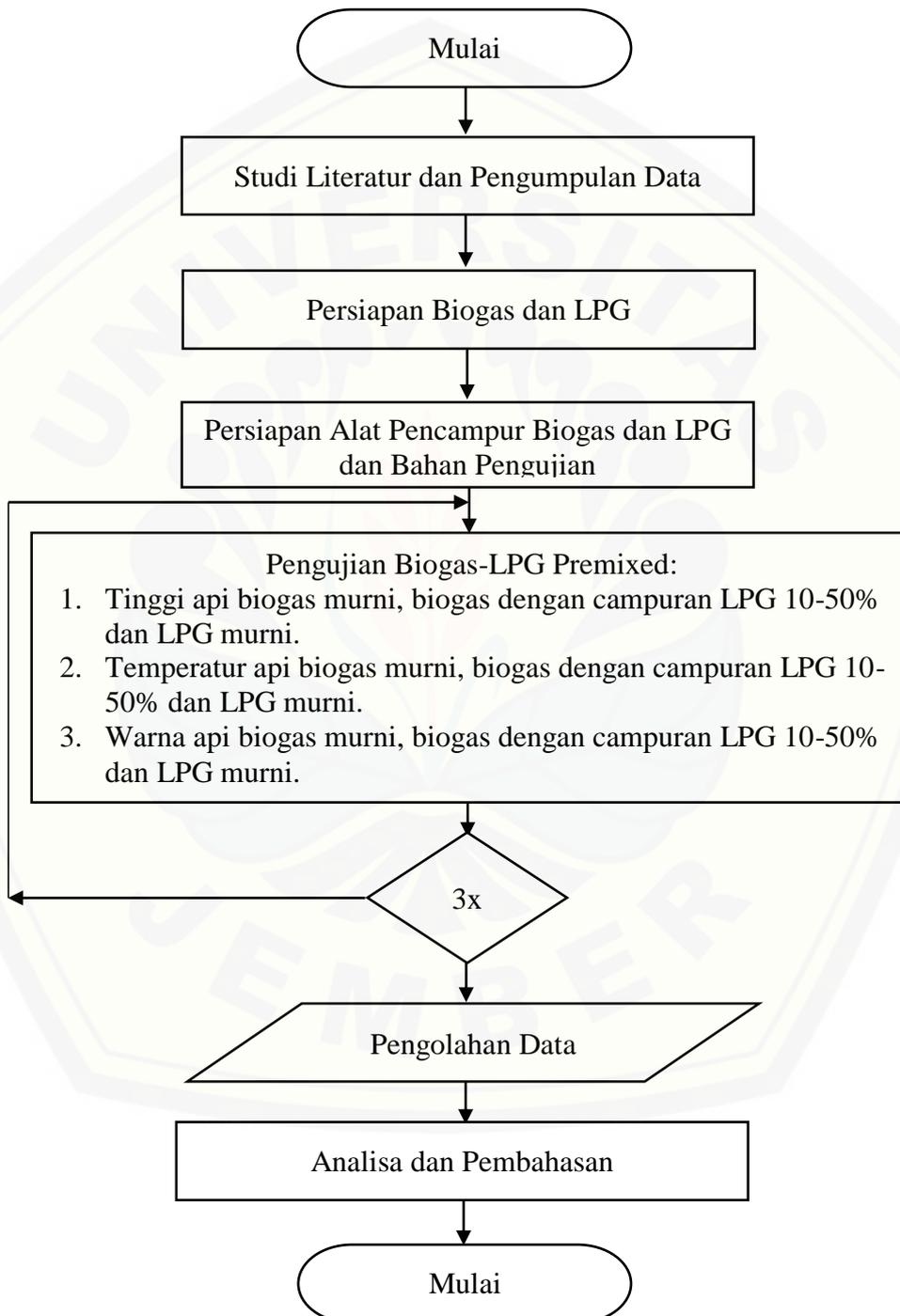
P_m = persentase warna biru (%)

n_m = jumlah nilai RGB biru

N = jumlah nilai RGB biru dan merah

3.8 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian suhu api, warna api dan tinggi api biogas murni, biogas dengan campuran LPG 10-50% dan LPG murni dapat dilihat pada Gambar 3.3 di bawah ini:



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

BAB 5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dan analisis karakteristik api pembakaran biogas yang dicampur LPG menggunakan metode eksperimental, meliputi pengujian tinggi api, temperatur api, dan warna api biogas 100%, campuran biogas-LPG, dan LPG 100% maka disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pembakaran biogas 100%, biogas dengan campuran LPG 10%-50%, dan LPG 100% terdapat peningkatan persentase nilai RGB biru di setiap penambahan LPG pada biogas. Peningkatan terjadi dikarenakan nilai kalor yang dimiliki LPG lebih tinggi daripada nilai kalor biogas.
2. Hasil pengujian tinggi dalam dan luar biogas 100%, biogas dengan campuran LPG 10%-50%, dan LPG 100% terdapat peningkatan tinggi dalam dan luar pada setiap penambahan LPG pada biogas, peningkatan terjadi dikarenakan energi yang dimiliki LPG lebih tinggi daripada biogas.
3. Hasil pengukuran temperatur biogas 100%, biogas dengan campuran LPG 10%-50%, dan LPG 100% terdapat peningkatan tinggi temperatur di setiap penambahan komposisi LPG pada biogas, peningkatan terjadi dikarenakan nilai kalor LPG yang terdiri dari butana dan propana lebih tinggi daripada biogas yang terdiri dari metana.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan peneliti terhadap pembaca yaitu:

1. Penelitian biogas ini masih perlu dikembangkan lagi dengan menggunakan parameter yang lain seperti mengganti tekanannya atau mengganti bahan bakar LPG dengan bahan bakar yang lebih baik dan lebih ramah lingkungan.
2. Lakukan penelitian biogas dengan mempertimbangkan keselamatan seperti mempersiapkan alat pemadam kebakaran dan upayakan melakukan penelitian di tempat yang mempunyai sirkulasi udara yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Seadi, Teodorita, dkk. 2008. *Biogas Handbook*. University of Southern Denmark Esbjerg: Denmark.
- Bappekab Jember. 2015. *Rancangan Kerja Pembangunan Daerah (RKPD)*. Jember.
- Bayuseno, A. P. 2009. *Penerapan Dan Pengujian Model Teknologi Anaerob Digester Untuk Pengolahan Sampah Buah-Buahan Dari Pasar Tradisional Semarang*; Universitas Diponegoro.
- Biru. 2010. *Model Instalasi Biogas Indonesia*, Kementrian Energi : Jakarta.
- Cardona, C. dan Amell, A. A. 2013. *Laminar Burning Velocity And Interchangeability Analysis Of Biogas/ C₃H₈ /H₂ With Normal And Oxygen-Enriched Air*. Journal Hydrogen Energy 2013;39:7994 E 80019.
- Daryanto. 2007. *Energi; Masalah dan pemanfaatannya Bagi Kehidupan Manusia*. Yogyakarta: Pustaka Widyatama.
- Farid, M. B. 2007. *Pendeteksi Dan Pengaman Kebocoran Gas Lpg (Butana) Berbasis Mikrokontroller Melalui Sms Sebagai Media Informasi*. Pensi-Surabaya.
- Firmansyah, R. 2008. *Penelitian Kestabilan Dan Panjang Nyala Api Premix Akibat Variasi Diameter Dalam Ring Menggunakan Gas Propane Pada Bunsen Burner*. Universitas Indonesia.
- Gerardi, M. H. 2003. *The Microbiology of An-Aerobic Digesters*. John Wiley and Sons.Inc., New Jersey
- Grover, V. 2015. *Model Lesson On Parts Flame*. DAV College Of Education, Abohar.
- Ilminnafik N , Listyadi D , Sutjahjono H . *Thermal Characteristic of Flame As Quality Parameter of Biogas of Market Waste*. Journal Of Applied Enviromental ISSN 0973-6077 Volume 12, Number 7 (2017), pp. 1189-1195.
- Ju Y, Masuya G, dan Ronney, P. 1998. *Effects Of Radiative Emissi On And Absorption On The Propagation And Extinction Of Premixed Gas flames*. Proc Combust Inst 1998;27:2619 E 26.

- Karim S, dan Sunardi. 2003. *Penentuan Elektromotansi Termal Beberapa Jenis Termokopel Dengan Pasangan Logam yang Bervariasi*. Universtas Indonesia.
- Kosaric,N., Blaszczyk, R., & Orphan, L, 1990, *Factors Influencing formation and Maintenance of Granules in UASB reactor*, Water Sciences Technology.
- Kossmann dan Pönitz. 2008. *Biogas Digest Volume I Biogas Basics*. ISAT And GTZ, Gmbh.
- Lee CE, Hwang CH, Lee HY. 2008. *A Study On The Interchangeability Of LFG-LPG Mixed Fuels With LFG Quality In Domestic Combustion Appliances*. Fuel 2008;8 7:297e 303 .
- Malina, J. F. dan Pohland, F. G., 1992. *Design Of Anaerobic Process For Treatment Of Industrial And Municipal Wastes, Water Quality Management Library, Volume 7*, Technomic Publishing Company, Inc., USA.
- Meynell, 1976. *Energy For World Agricultural*. FAO-UN, United States.
- Murjito. 2008. *Desain Alat Penangkap Gas Methan Pada Sampah Menjadi Biogas*. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Malang. Malang.
- Nurtjahya, E., S.D. Rumentor, J.F Salamena, E. Hernawan, S.Darwati dan S.M. Soenarmo. 2003. *Pemanfaatan Limbah Ternak Ruminansia Untuk Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Makalah Pengantar Falsafah Sains. Program Pascasarjana Institute Pertanian Bogor.
- Parawira, W., 2004, *Anaerobic Treatment of Agricultural Residues and Wastewater Application of High-Rate Reactors*, Doctoral Dissertation, Department of Biotechnology, Lund University, Swedia
- Poeschl, S. dan Ward, P. Owende. 2010. *Prospects For Expanded Utilization Of Biogas In Germany*, Journal Renewable Sustainable Energy Rev. 14 (2010) 1782–1797.
- Price, E.C dan Cheremisinoff, P.N.1981. *Biogas Production and Utilization*.Ann Arbor Science Publishers, Inc .United States of America
- PT Pertamina, 2014.. *Komposisi Elpiji Sesuai Spesifikasi & Standar Keselamatan* <http://www.bumn.go.id/pertamina/berita/471/komposisi.elpiji.sesuai.spesifikasi.standar.keselamatan>. PT Pertamina, Jakarta

- Putri, G.A. 2009. *Pengaruh Variasi Temperatur Gasifying Agent II Media Gasifikasi Terhadap Warna Dan Temperatur Api Pada Gasifikasi Reaktor Downdraft Dengan Bahan Baku Tongkol Jagung*. Skripsi. Surabaya: ITS
- Renaili, P. 2016. *Biogas Enceng Gondok Dan Kotoran Sapi Sebagai Energy Alternative*. Jurnal teknologi volume 9 nomer 2. Hal 177-184.
- Ridho, D. 2014. *Analisi Pengaruh Swift Number Terhadap Peningkatan Stabilitas Nyala Api Premix Pada Modifikasi Bunsen Burner Dengan Rotating Fan*. Jurnal. Hal 17 universitas Indonesia. Depok.
- Simamora, S. 2006. *Membuat Biogas Pengganti Bahan Bakar Minyak & Gas Dari Kotoran Ternak*, Suhut Simamora, Salundik, Sri Wahyuni Dan Surajudin ; Jakarta.
- Sugiarto. 2013. *Purifikasi Biogas Sistem Kontinyu Menggunakan Zeolit*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.4, No.1 Tahun 2013 1-10. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Syamsudin, T.R. dan H.H. Iskandar, 2005. *Bahan Bakar Alternatif Asal Ternak*. Sinar Tani: XXXVI. No. 3129.
- Turns, S.R. 1996. *An Introduction To Combustion Concepts And Application..* Mc Graw Hill.
- Wei Z.L., Leung A C.W., Cheung C.S. , Huang Z.H. 2016. *Effects Of H₂ And CO₂ Addition On The Heat Transfer Characteristics Of Laminar Premixed Biogas-Hydrogen Bunsen flame*. Journal Of Heat And Mass Transfer 98 (2016) 359-366
- Widarto, Z. 2007. *Pendeteksi Dan Pengamanan Kebocoran Gas Lpg (Propana) Berbasis Mikrokontroller Melalui Sms Sebagai Media Informasi*. Pens-Surabaya
- Wittmaier, M. 2005. *Handbook Decision Support System (Dss) For The Application Of Renewable Energy (RE) From Biogas And Biomass Combustion Under Particular Consideration Of Framework Condition In Vietnam And Thailand. Version 1.0*. Co-Funded By European Commission Within The Framework Of The Asean-Eu University Network Progamme (AEUNP).
- Zhen H.S , Leung C.W, Cheung C.S , Huang Z.H . 2014. *Characterization Of Biogas-Hydrogen Premixed flames Using Bunsen Burner*. Journal Of Hydrogen Energy 39 (2014) 13292 – 13299.

LAMPIRAN

4.1 Gambar Pengujian Api

1. Biogas 100%

a. Pengujian 1



Gambar A.1 Pengujian 1 api biogas 100%

Tabel A.1 Pengujian 1 api biogas 100%

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 2,01 mm, Tinggi api luar : 6,87 mm
Temperatur api	870°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 16,84% Biru : 83,16%

b. Pengujian 2



Gambar A.2 Pengujian 2 api biogas 100%

Tabel A.2 Pengujian 2 api biogas 100%

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 1,84 mm, Tinggi api luar : 6,31 mm
Temperatur api	848°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 17,05% Biru : 82,95%

c. Pengujian 3

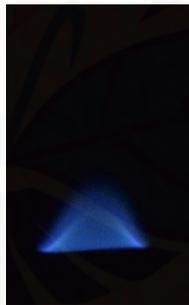


Gambar A.3 Pengujian 3 api biogas 100%
Tabel A.3 Pengujian 3 api biogas 100%

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 2,42 mm, Tinggi api luar : 6,69 mm
Temperatur api	859°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 17,47% Biru : 82,53%

2. Biogas 90% dan LPG 10% (BG90)

a. Pengujian 1



Gambar A.4 Pengujian 1 api BG90
Tabel A.4 Pengujian 1 api BG90

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 6,16 mm, Tinggi api luar : 10,14 mm
Temperatur api	934°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 16,91% Biru : 83,09%

b. Pengujian 2

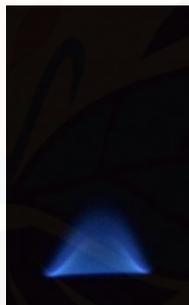


Gambar A.5 Pengujian 2 api BG90

Tabel A.5 Pengujian 2 api BG90

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 5,26 mm, Tinggi api luar : 8,86 mm
Temperatur api	922°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 18,11% Biru : 81,89%

c. Pengujian 3



Gambar A.6 Pengujian 3 api BG90

Tabel A.6 Pengujian 3 api BG90

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 5,14 mm, Tinggi api luar : 8,74 mm
Temperatur api	928°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 15,58% Biru : 84,42%

3. Biogas 80% dan LPG 20% (BG80)

a. Pengujian 1



Gambar A.7 Pengujian 1 api BG80

Tabel A.7 Pengujian 1 api BG80

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 6,48 mm, Tinggi api luar : 10,92 mm
Temperatur api	992°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 17,53% Biru : 82,47%

b. Pengujian 2



Gambar A.8 Pengujian 2 api BG80

Tabel A.8 Pengujian 2 api BG80

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 7,46 mm, Tinggi api luar : 11,19 mm
Temperatur api	1008°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 15,36% Biru : 84,64%

c. Pengujian 3



Gambar A.9 Pengujian 3 api BG80

Tabel A.9 Pengujian 3 api BG80

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 6,82 mm, Tinggi api luar : 11,13 mm
Temperatur api	993°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 17,44% Biru : 82,56%

4. Biogas 70% dan LPG 30% (BG70)

a. Pengujian 1



Gambar A.10 Pengujian 1 api BG70

Tabel A.10 Pengujian 1 api BG70

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 9,91 mm, Tinggi api luar : 14,25 mm
Temperatur api	1048°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 16,06% Biru : 83,94%

b. Pengujian 2



Gambar A.11 Pengujian 2 api BG70

Tabel A.11 Pengujian 2 api BG70

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 9,16 mm, Tinggi api luar : 14,18 mm
Temperatur api	1030°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 16,42% Biru : 83,58%

c. Pengujian 3



Gambar A.12 Pengujian 3 api BG70

Tabel A.12 Pengujian 3 api BG70

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 10,07 mm, Tinggi api luar : 14,82 mm
Temperatur api	1028°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 17,63% Biru : 82,37%

5. Biogas 60% dan LPG 40% (BG60)

a. Pengujian 1



Gambar A.13 Pengujian 1 api BG60

Tabel A.13 Pengujian 1 api BG60

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 10,29 mm, Tinggi api luar : 17,18 mm
Temperatur api	1125°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 17,50% Biru : 82,50%

b. Pengujian 2



Gambar A.14 Pengujian 2 api BG60

Tabel A.14 Pengujian 2 api BG60

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 10,37 mm, Tinggi api luar : 16,93 mm
Temperatur api	1111°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 15,53% Biru : 84,47%

c. Pengujian 3



Gambar A.15 Pengujian 3 api BG60

Tabel A.15 Pengujian 3 api BG60

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 11,21 mm, Tinggi api luar : 18,06 mm
Temperatur api	1095°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 15,01% Biru : 84,99%

6. Biogas 50% dan LPG 50% (BG50)

a. Pengujian 1



Gambar A.16 Pengujian 1 api BG50

Tabel A.16 Pengujian 1 api BG50

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 18,68 mm, Tinggi api luar : 30,54 mm
Temperatur api	1147°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 15,80% Biru : 84,20%

b. Pengujian 2



Gambar A.17 Pengujian 2 api BG50

Tabel A.17 Pengujian 2 api BG50

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 18,44 mm, Tinggi api luar : 30,73 mm
Temperatur api	1140°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 16,30% Biru : 83,09%

c. Pengujian 3



Gambar A.18 Pengujian 3 api BG50

Tabel A.18 Pengujian 3 api BG50

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 18,22 mm, Tinggi api luar : 27,77 mm
Temperatur api	1134°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 15,05% Biru : 84,95%

7. LPG 100%

a. Pengujian 1



Gambar A.19 Pengujian 1 api LPG 100%

Tabel A.19 Pengujian 1 api LPG 100%

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 24,56 mm, Tinggi api luar : 38,40 mm
Temperatur api	1210°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 17,37% Biru : 82,63%

b. Pengujian 2



Gambar A.20 Pengujian 2 LPG 100%

Tabel A.20 Pengujian 2 LPG 100%

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 24,00 mm, Tinggi api luar : 36,94 mm
Temperatur api	1180°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 13,91% Biru : 86,09%

c. Pengujian 3



Gambar A.21 Pengujian 2 LPG 100%
Tabel A.21 Pengujian 2 LPG 100%

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam : 23,15 mm, Tinggi api luar : 35,11 mm
Temperatur api	1183°C
Presentase Warna Api RGB	Merah : 13,72% Biru : 86,28%

4.2 Perhitungan Persentase Warna Api

Tabel B.1 Nilai RGB warna api

Bahan Bakar	Nilai RGB	Nilai Warna Api dari Software ImageJ		
		Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3
Biogas 100%	Merah	23,251	23,569	23,974
	Hijau	48,030	48,900	49,270
	Biru	114,851	114,698	113,258
BG90	Merah	25,845	27,488	23,368
	Hijau	56,450	54,792	56,922
	Biru	126,980	124,284	126,629
BG80	Merah	27,344	23,453	27,519
	Hijau	47,665	51,533	47,658
	Biru	128,614	129,261	130,271
BG70	Merah	26,698	27,006	29,712
	Hijau	69,358	68,620	68,992
	Biru	139,519	137,482	138,826
BG60	Merah	28,484	25,039	24,543
	Hijau	66,359	68,582	70,006
	Biru	134,311	136,241	138,992
BG50	Merah	28,022	28,629	27,429
	Hijau	60,920	63,323	63,790
	Biru	149,312	147,035	154,855
LPG 100%	Merah	28,820	24,435	24,536
	Hijau	70,549	60,863	61,782
	Biru	137,078	151,168	154,281

1. Perhitungan Persentase Warna Api Pada Biogas 100%
 - a. Pengujian 1

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada biogas 100% yaitu 23,251 dan RGB warna biru pada biogas 100% yaitu 114,851. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 138,102. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{23.251}{138.102} = 16,84\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{114.851}{138.102} = 83,16\%$$

b. Pengujian 2

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada biogas 100% yaitu 23,569 dan RGB warna biru pada biogas 100% yaitu 114,698. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 138,267. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{23,569}{138,267} = 17,05\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{114,698}{138,267} = 82,95\%$$

c. Pengujian 3

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada biogas 100% yaitu 23,974 dan RGB warna biru pada biogas 100% yaitu 144,269. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 138.102. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{23,974}{138,102} = 17,47\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{144,69}{138,102} = 82,53\%$$

2. Perhitungan Persentase Warna Api Pada BG90

a. Pengujian 1

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada BG90 yaitu 25,845 dan RGB warna biru pada BG90 yaitu 126,980. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 152,825. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{25,845}{152,825} = 16,91\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{126,980}{152,825} = 83,09\%$$

b. Pengujian 2

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada BG90 yaitu 27,448 dan RGB warna biru pada BG90 yaitu 124,284 Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 151,772. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{27,448}{151,772} = 18,11\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{124,284}{151,772} = 81,89\%$$

c. Pengujian 3

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada BG90 yaitu 23,368 dan RGB warna biru pada BG90 yaitu 126,629. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 149,997. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{23,368}{149,997} = 15,58\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{126,629}{149,997} = 84,82\%$$

3. Perhitungan Persentase Warna Api Pada BG80

a. Pengujian 1

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada BG80 yaitu 27,344 dan RGB warna biru pada BG80 yaitu 128,614. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 155,958. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{27,344}{155,958} = 17,53\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{128,614}{155,958} = 82,47\%$$

b. Pengujian 2

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada BG80 yaitu 23,453 dan RGB warna biru pada BG80 yaitu 129,261. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 152,714. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{23,452}{152,714} = 15,36\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{129,261}{152,714} = 84,64\%$$

c. Pengujian 3

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada BG80 yaitu 27,519 dan RGB warna biru pada BG80 yaitu 130,271. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 157.790. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{27,519}{157,790} = 17,44\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{130,271}{157,790} = 82,56\%$$

4. Perhitungan Persentase Warna Api Pada BG70

a. Pengujian 1

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada BG70 yaitu 26,698 dan RGB warna biru pada BG70 yaitu 139,519. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 166,217. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{26,698}{166,217} = 16,06\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{139,519}{166,217} = 83,94\%$$

b. Pengujian 2

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada BG70 yaitu 27,006 dan RGB warna biru pada BG70 yaitu 137,482. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 164,488. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{27,009}{164,488} = 16,42\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{137,482}{164,488} = 83,58\%$$

c. Pengujian 3

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada BG70 yaitu 29,712 dan RGB warna biru pada BG70 yaitu 138,826. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 168,538. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{29,712}{168,538} = 17,63\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{138,826}{168,538} = 82,37\%$$

5. Perhitungan Persentase Warna Api Pada BG60

a. Pengujian 1

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada BG60 yaitu 28,484 dan RGB warna biru pada BG60 yaitu 134,311. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 162,795. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{28,484}{162,795} = 17,50\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{134,311}{162,795} = 82,50\%$$

b. Pengujian 2

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada BG60 yaitu 25,039 dan RGB warna biru pada BG60 yaitu 136,241. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 161,280. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{25,039}{161,280} = 15,53\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{136,241}{161,280} = 84,47\%$$

c. Pengujian 3

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada BG60 yaitu 23,251 dan RGB warna biru pada BG60 yaitu 138,992. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 163,535. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{23,251}{163,535} = 15,01\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{138,992}{163,535} = 84,99\%$$

6. Perhitungan Persentase Warna Api Pada BG50

a. Pengujian 1

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada BG50 yaitu 28,022 dan RGB warna biru pada BG50 yaitu 149,312. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 177,334. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{28,022}{177,334} = 15,80\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{149,312}{177,334} = 84,20\%$$

b. Pengujian 2

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada BG50 yaitu 28,022 dan RGB warna biru pada BG50 yaitu 147,035. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 175,664. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{28,022}{175,664} = 16,30\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{147,035}{175,664} = 83,70\%$$

c. Pengujian 3

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada BG50 yaitu 27,429 dan RGB warna biru pada BG50 yaitu 154,855. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 182,284. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{27,429}{182,284} = 15,05\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{154,855}{182,284} = 84,95\%$$

7. Perhitungan Persentase Warna Api Pada LPG 100%

a. Pengujian 1

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada LPG 100% yaitu 28,820 dan RGB warna biru pada LPG 100% yaitu 137,078. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 165,898. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{28,820}{165,898} = 17,37\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{137,078}{165,898} = 82,63\%$$

b. Pengujian 2

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada LPG 100% yaitu 24,435 dan RGB warna biru pada LPG 100% yaitu 151,168. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 175,603. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{24,435}{175,603} = 13,91\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{151,168}{175,603} = 86,09\%$$

c. Pengujian 3

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai RGB warna merah pada LPG 100% yaitu 24,536 dan RGB warna biru pada LPG 100% yaitu 154,281. Kedua jumlah RGB warna merah dan RGB warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 178,817. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut :

Persentase Warna Merah :

$$\frac{24,536}{178,817} = 13,72\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{154,281}{178,817} = 86,28\%$$

4.3 Gambar Alat Dan Langkah Kerja



Gambar C.1 Pengambilan Biogas dari reaktor biogas ke ban



Gambar C.2 Pengisian LPG ke balon menggunakan Pneumatic hydraulic



Gambar C.3 Pengisian biogas ke balon menggunakan Pneumatic hydrolic



Gambar C.4 Selang pencampuran



Gambar C.5 Pengambilan data 1



Gambar C.6 Pengambilan data 2