



**ANALISA KARAKTERISTIK API PEMBAKARAN *PREMIXED*
BIOGAS DENGAN CAMPURAN PROPANA**

SKRIPSI

Oleh

Bagus Satria Kurnianto

NIM 141910101021

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**ANALISA KARAKTERISTIK API PEMBAKARAN *PREMIXED*
BIOGAS DENGAN CAMPURAN PROPANA**

SKRIPSI

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

Oleh

Bagus Satria Kurnianto

NIM 141910101021

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019

PERSEMBAHAN

Yang utama dari segalanya, sembah sujud serta syukur kepada Allah SWT limpahan kasih dan karunia-Mu telah memberikan kekuatan serta kemudahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam selalu tcurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabat.

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Keluargaku, ayahanda Suhartono dan ibunda Erna Siti Eromdiah, serta kakak tercinta Nur Shella Putri Basuki dan Aditya Putra Mahardika yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tidak kenal lelah, dan doa yang tiada hentinya tcurahkan dengan sepenuh hati;
2. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Ir. FX. Kristianta, M.Eng selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan saran dan arahan menuju ke arah yang benar dalam menyelesaikan skripsi ini;
3. Guru-guruku sejak Taman Kanak-kanak sampai SMA yang tidak kenal lelah memberikan ilmunya, membimbing dan mendidik menuju arah yang lebih baik sehingga sampai ke jenjang perguruan tinggi;
4. Teman-temanku Teknik Mesin angkatan 2014 yang tidak kenal lelah memberikan dukungan dan doa serta kasih sayang;
5. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

Sebesar apapun kesengsaraan / kesusahan yang kita hadapi kalau kita terima dengan ikhlas dan lapang dada, semuanya itu hanyalah sekedar cobaan untuk kita.¹

Jangan merasa paling pandai agar tidak salah arah, Jangan suka berbuat curang agar tidak celaka, dan Barang siapa yang ragu-ragu akan binasa atau merugi.¹

Jika Anda memilih untuk melihat yang positif dalam situasi negatif, anda menang.²

¹ Falsafah Persaudaraan Setia Hati Terate.

² Psychologytoday.com

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bagus Satria Kurnianto

NIM : 141910101021

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisa Karakteristik Api Pembakaran *Premixed* Biogas dengan Campuran Propana” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus di junjung tinggi.

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

Jember, 16 Januari 2019
Yang Menyatakan,

Bagus Satria Kurnianto
NIM 141910101021

SKRIPSI

**ANALISIS KARAKTERISTIK API PEMBAKARAN *PREMIXED* BIOGAS
DENGAN CAMPURAN PROPANA**

Oleh

Bagus Satria Kurnianto

NIM 141910101021

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. FX. Kristianta, M.Eng.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Analisa Karakteristik Api Pembakaran *Premixed* Biogas dengan Campuran Propana" karya Bagus Satria Kurnianto telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : Rabu, 16 Januari 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

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

Ir. FX. Kristianta, M.Eng.

NIP 19711114 199903 1 002

NIP 19650120 200112 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.

Ir. Digdo Listyadi Setyawan, M.Sc.

NIP 19700228 199702 1 001

NIP 19680617 199501 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Analisa Karakteristik Api Pembakaran *Premixed* Biogas Dengan Campuran Propana; Bagus Satria Kurnianto; 141910101021; 47 halaman; Jurusan Teknik Mesin; Fakultas Teknik; Universitas Jember.

Peningkatan pemanfaatan gas di berbagai sektor hingga 700% dalam kurun waktu 9 tahun mengakibatkan kelangkaan ketersediaan gas di masyarakat. Salah satu energi alternatif yang dapat dikembangkan adalah energi alternatif Biogas.

Biogas adalah bahan bakar gas yang dihasilkan dari fermentasi sampah organik dalam kondisi anaerob. Kandungan biogas adalah CH_4 , CO_2 , H_2S , H_2O , H_2 , dan O_2 . Di dalam biogas terdapat kandungan CO_2 yang sangat berpengaruh pada karakteristik pembakaran biogas, adanya CO_2 dapat menurunkan laju rambat api dan mengakibatkan warna api menjadi cenderung kuning kemerah-merahan yang menunjukkan pembakaran berlangsung tidak sempurna. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas api biogas, dengan cara mencampurkan biogas dengan propana 10% hingga 50%. Karakteristik nyala api yang diamati selama proses penelitian yaitu warna api, temperatur api, dan tinggi api dengan pembakaran *premixed* menggunakan *bunsen burner*.

Dari hasil penelitian warna api terdapat peningkatan persentase warna api biru disetiap penambahan rasio propana pada biogas. Warna biru menandakan bahwa bahan bakar memiliki nilai kalor yang tinggi. Peningkatan juga terjadi pada temperatur api ketika ditambahkan rasio propana pada biogas dikarenakan propana memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dari biogas. Begitu juga dengan tinggi api dalam dan tinggi api luar dimana tinggi api mengalami peningkatan disetiap penambahan rasio propana terhadap biogas. Peningkatan ini disebabkan oleh energi yang dikeluarkan oleh bahan bakar lebih tinggi disetiap penambahan rasio propana. Dari ketiga hal tersebut dapat disimpulkan penambahan propana terhadap biogas dapat meningkatkan kualitas biogas.

SUMMARY

Analysis Of Flames Combustion Characteristics Biogas Premixed With Propane; Bagus Satria Kurnianto; 141910101021; 47 pages; Department of Mechanical Engineering; Faculty of Engineering; Jember University.

Increased gas utilization in various sectors up to 700% in 9 years has resulted in a scarcity of gas availability in the community. One alternative energy that can be developed is alternative energy for biogas.

Biogas is a gas fuel produced from fermentation of organic waste under anaerobic conditions. The content of biogas is CH₄, CO₂, H₂S, H₂O, H₂, and O₂. In biogas there is a CO₂ content that is very influential in the characteristics of biogas combustion, the presence of CO₂ can reduce the rate of fire and cause the color of the fire to tend to reddish yellow which indicates that combustion takes place imperfectly. This study aims to improve the quality of biogas fire, by mixing biogas with propane 10% to 50%. The flame characteristics observed during the research process were fire color, fire temperature, and flame height with premixed combustion using a bunsen burner.

From the results of the research on the color of fire there is an increase in the percentage of the color of the blue flame in each addition of the propane ratio to biogas. The blue color indicates that the fuel has a high calorific value. The increase also occurs at the fire temperature when the ratio of propane to biogas is added because propane has a higher heating value than biogas. Likewise with the height of the internal fire and the height of the external fire where the height of the fire has increased in every addition of the propane ratio to biogas. This increase is caused by the energy released by the fuel higher in each addition to the propane ratio. From these three things it can be concluded that the addition of propane to biogas can improve the quality of biogas.

PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian sekaligus penyusunan skripsi yang berjudul "Analisa Karakteristik Api Pembakaran *Premixed* Biogas dengan Campuran Propana". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam penyelesaian pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam penulisan skripsi ini tentunya banyak pihak yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materil. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya, ayahanda Suhartono dan ibunda Erna Siti Eromdiyah serta kakakku Nur Shella Putri Basuki dan Aditya Putra Mahardika atas segala dukungan dan doa yang tidak pernah berhenti dipanjatkan sehingga saya bisa menyelesaikan studi S1;
2. Seluruh keluarga yang senantiasa memberikan semangat dan doa untuk saya;
3. Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Ir. FX. Kristianta, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, fikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan arahan demi terselesaikannya skripsi ini;
5. Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku dosen penguji 1 dan Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc. selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan saran dan kritikan yang membangun untuk penyusunan skripsi ini;
6. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, membimbing, dan membantu kelancaran saya selama saya duduk di bangku perkuliahan.
7. Partner saya Ilham Budi Erawan, S.T. dan Fawas Bay Haqi, S.T. yang telah dengan sabar bersedia menemani dan memberikan saran selama proses awal hingga akhir penelitian saya;

8. Dulur-dulur Teknik Mesin 2014 yang telah berjuang bersama, dan telah membantu terselesaikannya skripsi ini;
9. Teman-teman kontrakan C6 No.05 yang telah memberikan bantuan, semangat dan motivasi untuk terus berjuang menyelesaikan skripsi;

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena sempurna hanya milik Allah SWT. Harapan penulis adalah supaya informasi dari skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Jember, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Energi	6
2.2 Energi Terbarukan	7

2.3 Biogas	7
2.4 Proses Pembentukan Biogas	9
2.5 Faktor Pembentukan Biogas	11
2.6 Bunsen Burner	13
2.7 Propana	14
2.8 Karakteristik Nyala Api	15
2.8.1 Kategori Dasar Nyala Api	15
2.8.2 Jenis Aliran Nyala Api	17
2.8.3 Warna Api	18
2.8.4 Suhu Nyala Api	20
2.8.5 Tinggi Nyala Api.....	20
2.9 Penelitian Sebelumnya	21
2.10 Hipotesis	24
BAB 3. METODELOGI PENELITIAN	25
3.1 Metode Penelitian	25
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	25
3.2.1 Tempat Penelitian	25
3.2.2 Waktu Penelitian.....	25
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	25
3.3.1 Alat.....	25
3.3.2 Bahan.....	26
3.4 Variabel Penelitian	26
3.4.1 Variabel Bebas	26
3.4.2 Variabel Terikat.....	26

3.4.3 Variabel Kontrol.....	27
3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	27
3.6 Pengamatan yang dilakukan	27
3.7 Tahap Pengujian.....	28
3.7.1 Pencampuran Biogas dengan Propana.....	28
3.7.2 Analisa Api Biogas-Gas Propana	30
3.7.3 Pengujian Tinggi Nyala Api	31
3.7.4 Pengujian Temperatur Api.....	31
3.7.5 Pengujian Warna Api.....	32
3.8 Diagram Alir Penelitian.....	33
BAB 4. PEMBAHASAN.....	34
4.1 Data dan Hasil Pengujian.....	34
4.1.1 Warna Api.....	35
4.1.2 Temperatur Api.....	37
4.1.3 Tinggi Nyala Api.....	38
4.1.4 Analisa temperatur - tinggi nyala api.....	40
BAB 5. PENUTUP.....	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	42

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Bunsen burner	13
Gambar 2.2 Premixed Flame Biogas dengan Hydrogen	16
Gambar 2.3 Diffusion Flame Biogas dengan Hydrogen	17
Gambar 2.4 Api Laminar pada diffusion flame biogas dengan hydrogen	18
Gambar 2.5 Api Turbulen	18
Gambar 2.6 Api Merah	19
Gambar 2.7 Api Biru.....	19
Gambar 2.8 Peningkatan Nyala Api.....	20
Gambar 2.9 Tinggi Nyala Api.....	20
Gambar 2.10 Skema metode pencampuran biogas CH ₄ ,CO ₂ dan H ₂	21
Gambar 2.11 Pembakaran biogas dengan bunsen burner	22
Gambar 2.12 Peningkatan temperatur pembakaran terhadap hidrogen	23
Gambar 2.13 Biogas campuran unggul di bandingkan biogas tanpa campuran...	24
Gambar 3.1 Pemindahan propana ke ban.....	29
Gambar 3.2 Skema pencampuran biogas dan propana	29
Gambar 3.3 Skema pengambilan data.....	30
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian.....	33
Gambar 4.1 Api biogas dan propana.....	34
Gambar 4.2 Perubahan api biogas dengan tambahan propana	35
Gambar 4.3 Persentase warna biru pada nyala api.....	36
Gambar 4.4 Temperatur nyala api.....	37
Gambar 4.5 Tinggi nyala api.....	39
Gambar 4.6 Temperatur dan tinggi nyala api dalam.....	40

Gambar 4.7 Temperatur dan persentase biru api.....41



Daftar Tabel

Tabel 2.1 Komposisi Biogas	10
Tabel 2.2 Nilai kalor gas	14
Tabel 2.3 Komposisi Pencampuran.....	23
Tabel 4.1 Perbandingan biogas dan propana	34
Tabel 4.2 Persentase warna merah dan biru nyala api	35
Tabel 4.3 Temperatur nyala api	37
Tabel 4.4 Nilai kalor gas	38
Tabel 4.5 Tinggi nyala api	38

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi melanda seluruh dunia dan menjadi tantangan besar, karena kebutuhan energi tidak bisa lepas dari sejarah peradaban manusia. Disadari atau tidak, pada era ini manusia membutuhkan energi hampir disetiap aspek kehidupannya. Pesatnya perkembangan perekonomian menjadikan kebutuhan energi semakin meningkat (TGI-LIPI, 2004). Kebutuhan energi yang semakin meningkat tidak diikuti oleh ketersediaan energi yang melimpah, sehingga dalam pemenuhan kebutuhan energi suatu negara harus bergantung kepada negara lain.

Di Indonesia, kebutuhan gas mengalami peningkatan, dari 1 juta metrik ton per tahun pada 2007 menjadi hampir 7 juta metrik ton pada 2016 atau tumbuh sebesar 700 persen dalam kurun 9 tahun. Dalam mencukupi kebutuhan tersebut pemerintah melakukan impor gas dari negara-negara Timur Tengah. Program konversi BBM ke gas yang dilakukan pemerintah telah mendorong konsumsi gas rumah tangga sejak 2007, selain itu pemerintah juga mengeluarkan program konversi BBM ke gas pada kapal hingga sekarang program tersebut masih berlangsung (Zuraya, 2017).

Pemanfaatan gas diberbagai sektor mengakibatkan kelangkaan gas dimasyarakat dan mengganggu aktifitas masyarakat baik di kota maupun di daerah pedalaman Indonesia. Untuk masyarakat di kota mungkin tidak menjadi masalah karena lebih dekat dengan agen penyedia gas sehingga kelangkaan gas tidak terjadi begitu lama, lain halnya untuk masyarakat pedalaman yang jauh dari agen gas. Sulit bagi masyarakat pedalaman bila harus bergantung pada ketersediaan gas pada saat seperti ini. Maka daerah terpencil harus bisa mandiri dalam pemenuhan energinya, yaitu dengan mengembangkan energi alternatif atau energi terbarukan.

Salah satu energi terbarukan yang bisa dijalankan di daerah pedalaman Indonesia ialah energi yang berasal dari limbah peternakan dan pertanian. Limbah peternakan yang dapat digunakan untuk menciptakan energi alternatif adalah kotoran hewan sapi. Limbah kotoran hewan sapi biasanya digunakan untuk

dijadikan pupuk organik, limbah kotoran sapi berasal dari rumah potong hewan, pengolahan produksi ternak, hasil dari kegiatan usaha ternak dan sapi peliharaan. Limbah kotoran sapi berwujud padat, cair dan gas jika tidak ditangani dengan baik akan berdampak buruk terhadap lingkungan sekitar (Adityawarman dkk, 2015).

Biogas adalah bahan bakar gas yang dihasilkan dari fermentasi sampah organik dalam kondisi anaerob. Kandungan biogas adalah gas metana (CH_4 kandungannya sebesar 50% hingga 70%), gas karbon dioksida (CO_2 kandungannya sebesar 30% hingga 40%), hidrogen sulfida (H_2S kandungannya sebesar 0% hingga 3%), air (H_2O kandungannya sebesar 0,3%), oksigen (O_2 kandungannya sebesar 0,1% hingga 0,5%), dan gas lainnya dalam jumlah yang kecil. Biogas mempunyai nilai kalor yang rendah, yaitu 4800 Kkal/m^3 , sedangkan gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 Kkal/m^3 (Jatmiko, 2015), dan gas lpg mempunyai nilai kalor 11245 Kkal/m^3 (Yudisworo, 2015).

Kandungan gas karbon dioksida (CO_2) di dalam biogas mempunyai sifat sebagai zat pengotor yang dapat menurunkan nilai kalor yang cukup signifikan dan mempengaruhi laju pembakaran. Pada biogas masih banyak gas karbon dioksida (CO_2) yang sulit dipisahkan dengan gas metana (CH_4) sehingga mempengaruhi laju rambat api pada biogas. Semakin tinggi kadar gas karbon dioksida (CO_2) maka proses pembakaran tidak optimum (Mara, 2012). Nilai kalor bahan bakar yang rendah mengakibatkan rendahnya energi yang dihasilkan dari pembakaran dan menurunkan laju reaksi pembakaran sehingga pada saat pembakaran membutuhkan waktu yang lebih lama (Sasongko, 2015).

Besarnya energi yang dihasilkan dari biogas bergantung pada konsentrasi gas metana (CH_4) yang terkandung pada biogas tersebut. Semakin tinggi tingkat konsentrasi gas metana (CH_4) maka nilai kalor biogas juga semakin besar, dan sebaliknya semakin rendah tingkat konsentrasi gas metana (CH_4) maka nilai kalor pada biogas semakin kecil. Peningkatan kualitas biogas dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti penambahan hidrogen pada biogas, dengan hasil meningkatnya kecepatan pembakaran, stabilitas api yang cukup baik, nilai kalor yang meningkat, dan emisi yang dihasilkan berkurang (Zhen dkk, 2014).

Penambahan gas propana dan hidrogen pada biogas akan menaikkan laminar pembakaran yang lebih tinggi dari pada biogas murni (Cardona dan Amell, 2014). Purifikasi pada biogas menggunakan larutan KOH 4M dapat menurunkan kandungan CO₂ sebesar 18,5% dan menaikkan kecepatan rambat api 13,05% (Jatmiko, 2015). Peningkatan kualitas biogas menggunakan zeolit alam Indonesia sebagai pemurni gas metana dalam biogas yang disebut ZeoFilter, menggunakan teknik adsorpsi dengan menyerap zat-zat pengotor namun tidak menyerap metana yang merupakan sumber energi dalam biogas (Satriyo, 2016). Purifikasi menggunakan larutan KOH 4M pada biogas limbah pasar dapat menurunkan kandungan CO₂ dan meningkatkan pembakaran dilihat dari persentase api biru yang meningkat (Ginanjari, 2016).

Penerapan penggunaan biogas dalam kehidupan sehari-hari masih sangat minim sekali karena terkendala pembuatan reaktor biogas, sehingga masyarakat masih cenderung menggunakan gas LPG (*Liquified Petroleum Gas*) dalam kegiatan memasak. LPG merupakan hasil dari produksi kilang BBM dan kilang gas yang mempunyai komponen utama yaitu gas propana (C₃H₈) dan gas butana (C₄H₁₀) kurang lebih 97% dan hidrokarbon yang lebih berat (Dirjen Minyak dan Gas Bumi, 2009). Komposisi gas LPG (*Liquified Petroleum Gas*) antara gas propana (C₃H₈) 50% dan gas butana (C₄H₁₀) 50% telah sesuai dengan ketentuan tersebut baik dari aspek komposisi maupun tekanan uapnya yang telah diperhitungkan sesuai kalori/daya bakar yang diperlukan untuk kebutuhan memasak/rumah tangga (Malau, 2010)

Propana adalah alkana yang memiliki tiga atom karbon (C₃H₈) dan merupakan gas tidak berwarna. Propana memiliki densitas lebih besar dari pada udara. Pada kondisi standar dan bebas, propana akan jatuh akibat gravitasi karena massa jenisnya, propana cair akan berubah menjadi uap pada tekanan atmosfer dan berwujud putih akibat dari pengembunan dari udara (Kurniawan, 2008). Propana dapat digunakan untuk kebutuhan rumah tangga maupun industri. Gas propana mudah dikompresikan menjadi cairan pada tekanan yang relatif rendah dan mudah digunakan pada suhu rendah sehingga sering digunakan di daerah-daerah yang bersuhu dingin.

Dari latar belakang ini maka, menarik untuk meneliti tentang karakteristik api pembakaran bahan bakar biogas dengan gas propana, sehingga ditulis dalam sebuah skripsi yang berjudul “**Analisa Karakteristik Api Pembakaran Premixed Biogas Dengan Campuran Propana**”.

1.2 Rumusan Masalah

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

- a) Bagaimana perbandingan warna api biogas dengan campuran propana ?
- b) Bagaimana perbandingan temperatur api biogas dengan campuran propana ?
- c) Bagaimana perbandingan tinggi api biogas dengan campuran propana ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah:

- a) Untuk mengetahui pengaruh penambahan propana terhadap warna api biogas.
- b) Untuk mengetahui pengaruh penambahan propana terhadap temperatur api biogas
- c) Untuk mengetahui pengaruh penambahan propana terhadap tinggi api biogas.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

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

1.5 Batasan Masalah

Untuk mempermudah penelitian serta pembahasan dalam penelitian ini maka diberikan batasan masalah sebagai berikut :

- a) Biogas yang digunakan adalah kotoran sapi.
- b) Kondisi suhu dan kelembapan ruangan diasumsikan tetap.
- c) Tekanan dari reaktor biogas pada proses pencampuran diasumsikan tidak berpengaruh.
- d) Jumlah campuran udara dalam pembakaran premixed diasumsikan tidak berpengaruh.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi

Energi adalah suatu kemampuan dalam melakukan usaha (kerja). Sesuai hukum kekekalan energi, energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, namun dapat berubah bentuknya, yang berarti energi mempunyai sifat fleksibel. Sehingga manusia membutuhkan energi untuk kegiatan sehari-hari. Di Indonesia kebutuhan energi cukup tinggi, hal ini berbanding lurus dengan jumlah populasi penduduk Indonesia yang bisa dikatakan cukup besar.

Hingga kini Indonesia masih menghadapi kendala dalam mencapai target pembangunan dalam bidang energi. Indonesia masih bergantung pada ketersediaan energi fosil terutama komoditas minyak bumi, dalam pemenuhan kebutuhan untuk konsumsi dalam negeri masih cukup tinggi yaitu sebesar 96% terdiri dari minyak bumi sebesar 48%, gas sebesar 18% dan batubara sebesar 30% (Ginanjari, 2016).

Setiap tahun kebutuhan energi selalu meningkat, dalam kurun waktu 9 tahun kebutuhan gas mengalami peningkatan, dari 1 juta metrik ton per tahun pada 2007 menjadi hampir 7 juta metrik ton pada 2016 atau tumbuh sebesar 700% (Zuraya, 2017). Dalam memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan belum dapat berjalan sesuai yang direncanakan. Di lain sisi, Indonesia menghadapi penurunan jumlah cadangan energi fosil yang terus berlangsung dan belum dapat diimbangi dengan pengolahan cadangan baru. Keterbatasan infrastruktur energi yang tersedia mengakibatkan masyarakat mengalami kesulitan untuk mengakses energi tersebut. Keadaan ini mengakibatkan Indonesia rentan mengalami gangguan yang terjadi di pasar energi global, khususnya produk minyak bumi, yang dipenuhi dari negara lain (Ginanjari, 2016).

2.2 Energi Terbarukan

. Energi terbarukan diperoleh dari proses alam berkelanjutan seperti air, angin, *geothermal*, sinar matahari dan *biofuel*. Energi terbarukan dapat dimanfaatkan untuk mengatasi ketergantungan terhadap penggunaan energi fosil yang semakin menipis, dengan cara melakukan pemanfaatan secara maksimal. Sumber energi terbarukan merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan tidak menyebabkan pemanasan global. Sumber energi terbarukan tidak membawa dampak buruk terhadap lingkungan dan merupakan alasan mengapa energi terbarukan sangat erat kaitannya dengan masalah yang terjadi pada lingkungan dan ekologi. Energi merupakan kebutuhan semua negara di dunia. Energi adalah komoditas yang strategis yang mampu meningkatkan seluruh sistem dan dinamika kehidupan manusia. Pemerintah telah melakukan program untuk mewujudkan kemandirian nasional yang harus di dukung oleh seluruh elemen masyarakat (KESDM, 2016).

Indonesia saat ini masih belum memanfaatkan potensi energi terbarukan secara maksimal. Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014 merupakan salah satu peraturan yang mengatur tentang pengembangan energi terbarukan dalam kebijakan energi nasional. Agar pengembangan energi terbarukan di Indonesia berjalan maka diperlukan penggalan potensi energi terbarukan yang didukung dari berbagai pihak.

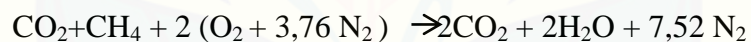
2.3 Biogas

Biogas merupakan energi terbarukan yang dapat digunakan menjadi bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar yang dihasilkan fosil seperti gas alam dan minyak bumi. Biogas berasal dari proses pemecahan (*cracking*) bahan *biodegradable* seperti limbah hijau, biomassa, sampah kota, kotoran, tanaman pertanian dan bahan tanaman yang di sebabkan oleh aktivitas bakteri anaerob dalam kondisi *anaerobik* dalam satu digester (Greco dkk, 2017). Pada dasarnya proses pencernaan anaerob berlangsung dalam tiga tahap yang terdiri dari hidrolisis, pengasaman serta matanogenik. Dalam proses fermentasi membutuhkan kondisi tertentu seperti rasio C : N, temperatur, tingkat keasaman

serta jenis digester yang digunakan. Kondisi yang baik berada pada temperatur 32°C hingga 35°C serta 50°C hingga 55°C dengan pH antara 6,8 hingga 8. Pada kondisi tersebut maka proses pencernaan mengubah bahan organik dengan adanya air menjadi energi gas. Biogas pada umumnya mengandung gas metan sebesar 60% hingga 70% yang bilamana dibakar menghasilkan energi kalor sekitar 1000 British Thermal Unit/ft³ atau 252 Kkal/0,028 m³ atau 9000 Kkal/m³. Di negara berkembang di benua Eropa dan Amerika, biogas sudah dimanfaatkan sebagai energi pengganti yang bersifat ramah lingkungan. Sedangkan di Indonesia yang mempunyai banyak potensi limbah biomassa yang melimpah, biogas belum di manfaatkan secara maksimal (Haryati, 2006).

Manfaat biogas adalah menggantikan bahan bakar minyak tanah ataupun kayu bakar untuk memasak dan sebagai sumber pembangkit listrik. Dalam penggunaan yang besar, biogas digunakan sebagai pembangkit energi listrik dan sisa produksi biogas yang berupa sisa kotoran ternak digunakan sebagai pupuk organik untuk tanaman.

Reaksi pembakaran biogas dengan udara adalah sebagai berikut.



Kandungan CO₂ pada biogas sangat berpengaruh pada karakteristik pembakaran CH₄ pada biogas, adanya kandungan CO₂ dapat menurunkan laju rambat api karena molekul dari CO₂ menghambat reaksi tumbukan antara molekul hidrokarbon dan molekul udara serta mengakibatkan warna api menjadi cenderung kuning kemerah-merahan yang menunjukkan bahwa pembakaran berlangsung tidak sempurna (Uwar dkk, 2012).

2.4 Proses Pembentukan Biogas

Prinsip teknologi biogas merupakan teknologi yang memanfaatkan proses pembusukan / fermentasi yang berasal dari sampah organik secara *anaerobik* oleh bakteri metan sehingga akan menghasilkan gas metan. Gas metan merupakan gas yang mengandung 1 atom C dan 4 atom H yang memiliki sifat mudah terbakar (Nandiyanto, 2007 dalam Jatmiko, 2015). Menurut (Haryati, 2006), pada proses pencernaan *anaerobik* merupakan dasar dari reaktor biogas yaitu proses pemecahan (*cracking*) bahan organik oleh aktivitas bakteri *metanogenik* dan bakteri *asidogenik* pada kondisi tanpa udara.

Bakteri ini terkandung dalam limbah yang mempunyai kandungan bahan organik, seperti sampah organik rumah tangga, kotoran manusia, dan kotoran binatang. Bahan organik dapat digunakan sebagai bahan baku industri adalah sampah organik, dengan cara memanfaatkan limbah yang berasal dari kotoran dan potongan-potongan kecil sisa-sisa tanaman, seperti jerami dan sebagainya serta air yang cukup banyak. Pada dasarnya teknologi biogas memanfaatkan proses pencernaan yang dilakukan bakteri *methanogen* yang menghasilkan gas metan (CH_4). Gas metan yang dihasilkan dari pencernaan bakteri dapat mencapai hingga 60% dari keseluruhan hasil reaktor biogas sedangkan sisanya karbon dioksida (CO_2) dan beberapa unsur-unsur lain.

Pembentukan biogas dibutuhkan waktu sekitar 10 hari. Maka setelah 10 hari fermentasi sudah terbentuk lebih kurang 0,1 hingga 0,2 m^3/kg dari total berat bahan kering. Peningkatan penambahan waktu fermentasi dari 10 sampai 30 hari akan meningkatkan produksi biogas hingga 50%. Biogas yang dihasilkan oleh biodigester sebagian besar terdiri dari 50% hingga 70% metana (CH_4), 30% hingga 40% karbondioksida (CO_2) dan gas lainnya dalam jumlah yang kecil (Karki dkk, 2005).

Tabel 2.1 Komposisi Biogas

Kandungan	Simbol	Persentase
Metana	CH ₄	50-70
Karbon		
Dioksida	CO ₂	30-40
Hidrogen	H	5-10
Nitrogen	N ₂	1-2
Uap Air	H ₂ O	0,3
Hidrogen		
Sulfida	H ₂ S	0,2

(Karki dkk, 2005)

Bakteri yang berperan dalam proses pembentukan biogas dibagi tiga kelompok, yaitu;

1. Kelompok bakteri *fermentative*, *Streptococci*, *Bacteriodes*, dan beberapa jenis *Enterobacteriaceae*.
2. Kelompok bakteri *asetogenik* ; *Desulfovibrio*.
3. Kelompok bakteri metana: *Mathanobacterium*, *Mathanobacillus*, *Methanosacaria*, dan *Methanococcus*.

Tahan dalam pemecahan secara kompleks biodegradable yang dibagi dalam 4 tahapan (Abbasi dan Tauseef, 2012), yaitu;

- a. Makromolekul besar protein, polimer karbohidrat (pati dan selulosa) dan lemak dipecah melalui proses hidrolisis menjadi asam amino, rantai panjang gula dan asam lemak.
- b. Hasil pemecahan tersebut kemudian difermentasikan selama *acidogenesis* membentuk lemak volatil asam, terutama asam laktat dan *propionat*, *butirat* dan *valerat*.
- c. Dalam *asetogenensi*, bakteri mengonsumsi produk fermentasi dan menghasilkan asam asetat, karbon dioksida dan hidrogen.
- d. Organisme metanogenik mengonsumsi asetat, hidrogen dan beberapa karbon dioksida untuk menghasilkan metana. Tiga jalur yang digunakan oleh *methanogen* yaitu :
 1. Jalur *asetotrik* ($4\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow 4\text{CO}_2 + 4\text{CH}_4$)
 2. Jalur *hidrogenotrofik* ($\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$)

3. Jalur *metilotropik* ($4\text{CH}_3\text{OH} + 6\text{H}_2 \rightarrow 3\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$)

2.5 Faktor Pembentukan Biogas

Dalam mengkonversikan zat organik menjadi biogas secara efektif dan efisien, mikroorganisme membutuhkan kondisi ideal agar pada saat melakukan penguraian bahan organik mendapatkan hasil yang maksimal. Berikut ini adalah kondisi ideal yang dibutuhkan mikroorganisme dalam berkembang biak dan memproduksi biogas secara efektif.

a. Kandungan air

Kandungan air yang ada pada biodigester akan mempengaruhi hasil dari pembentukan biogas. Menurut (Sadaka dan Engler, 2003), dimana peran air sangat penting dalam pergerakan dan pertumbuhan mikroba, perpindahan nutrien, dan meningkatkan perpindahan partikel substrat. (Saputro dan Putri, 2009) dengan meningkatnya kadar air di dalam sistem maka akan membantu meningkatkan produksi biogas. Penambahan air ke dalam bahan isian mempunyai tujuan agar dapat mencukupi kebutuhan kadar air yang disyaratkan dalam pembentukan biogas, yaitu sebesar 91% hingga 93% (Ratnaningsih, 2009)

b. Derajat keasaman (pH)

Produksi biogas akan maksimal bila pencampuran inputnya memiliki nilai pH 6 hingga 7. Selama proses awal pencampuran, bahan bakar organik akan berubah menjadi asam sehingga akan mengakibatkan nilai pH menurun. Seiring berjalannya proses fermentasi maka konsentrasi amonia di dalam bahan akan mengalami peningkatan, hal ini terjadi karena mulai munculnya nitrogen dan mengakibatkan nilai pH akan mengalami peningkatan. Produksi gas metana akan maksimal dan stabil bilai nilai pH bahan berada di 7,2 hingga 8,2 (Abbasi dan Tauseef, 2012).

c. Lingkungan tanpa udara (*anaerobik*)

Pada proses pembentukan gas metana berlangsung pada keadaan tanpa udara, maka dari itu biodigester harus dijaga dalam keadaan anaerobik. Udara (O_2) yang memasuki biodigester akan menyebabkan penurunan

pada produksi gas metan dikarenakan bakteri metanogen berkembang pada kondisi yang tidak sepenuhnya anaerobik.

d. Rasio C/n

Keseimbangan karbon dan nitrogen yang ada dalam bahan organik dinyatakan dalam bentuk rasio karbon / nitrogen (C/N). Rasio C/N mempunyai nilai yang optimal diantara 20 hingga 30 dalam pencernaan anaerobik, jika rasio C/N terlalu tinggi, maka nitrogen akan terurai dengan cepat oleh methanogen dan akan mengakibatkan produksi biogas mengalami penurunan, Jika rasio terlalu rendah, maka nitrogen akan terbebas dan terakumulasi dalam bentuk amonia dan mengakibatkan nilai pH akan menjadi meningkat. Peningkatan nilai pH yang lebih dari 8,5 akan mengakibatkan terganggunya bakteri metanogenik. Dalam pembuatan biogas yang baik adalah dengan mencampurkan rasio C/N tinggi dengan bahan yang mempunyai rasio C/N yang rendah (Abbasi dan Tauseef, 2012).

e. Temperatur

Bakteri metana merupakan bakteri berjenis mesofil, bakteri ini dapat hidup pada suhu ruang. Oleh sebab itu proses pembuatan biogas harus disesuaikan dengan kondisi lingkungan bakteri. Temperatur pembentukan biogas berkisar pada suhu 20° hingga 40° dengan temperatur optimal di suhu 27° hingga 30°. Menurut (Bavutti,dkk. 2014) temperatur optimum pertumbuhan bakteri mesofil berada pada rentang 37° hingga 40°, pada rentan itu sebagian besar spesies bakteri methanocateria berada pada suhu pertumbuhan yang optimal.

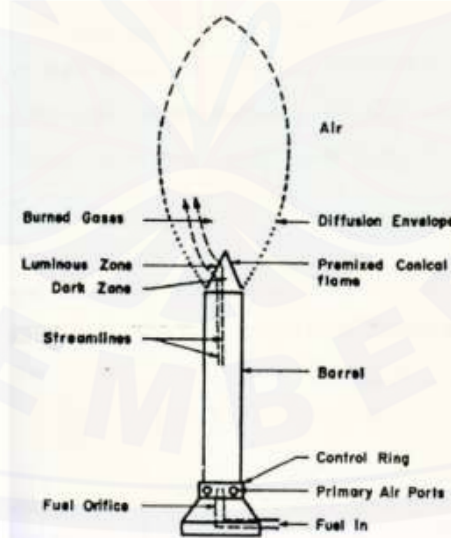
f. Waktu penyimpanan

Waktu penyimpanan (retensi) merupakan waktu yang diperlukan dalam mencapai degradasi lengkap dari bahan organik. Waktu yang dibutuhkan sangat beragam dengan parameter proses, seperti komposisi limbah dan suhu proses. Waktu penyimpanan untuk limbah mesofilik di rentang 15 hingga 30 hari dan 12 hingga 14 untuk waktu digester termofilik (Monet,2003).

2.6 Bunsen Burner

Bunsen burner merupakan alat pembakar (*burner*) yang ditemukan oleh Robert William Bunsen (1811-1899) pada tahun 1855. Alat ini merupakan alat pertama yang mampu menghasilkan nyala api *premixed*, alat ini menggunakan prinsip aliran campuran bahan bakar dengan udara yang bercampur secara terus menerus. Bahan bakar gas yang masuk ke dalam bunsen melalui pipa masuk dibagian bawah burner. Bahan bakar tersebut bercampur dengan udara melalui control ring. Udara dan bahan bakar akan bercampur selama melewati tabung pembakar (*barrel*) gas dan udara akan tercampur dengan baik mendekati campuran homogen dan mengalir keluar dari ujung tabung pembakaran secara berkelanjutan.

Ujung burner merupakan bagian yang sering terjadi korosi karena bagian ini paling dekat dengan sumber api sehingga proses pembakaran berkurang. Laju konsentrasi reaktan yang konstan setelah terciptanya awal nyala api yang stabil serta laju aliran campur bahan bakar yang konstan akan membuat nyala api *premixed* stabil (Taufiq, 2008).



Gambar 2.1 *Bunsen burner* (Turns,1996)

2.7 Propana

Propana merupakan alkana dengan tiga atom karbon (C_3H_8) dan merupakan gas yang tidak berwarna, namun dapat dikompres sampai menjadi bentuk cair agar mudah dipindahkan. Propana dihasilkan dari proses pemisahan gas dari produk petroleum yang lain dari selama proses pengolahan minyak atau gas bumi. Secara umum propana digunakan sebagai sumber panas pada alat panggangan dan rumah tangga. Untuk keperluan komersil gas propana dicampur dengan gas lain seperti *propylene*, *butane*, dan *butylene* untuk mendapatkan bentuk produk baru seperti LPG (*Liquid Petroelum Gas*) sebagai bahan bakar (Kurniawan, 2008).

Propana melalui reaksi pembakaran yang sama dengan reaksi pada hidrokarbon lainnya, propana terbakar dan membentuk uap air dan karbon dioksida. Maka reaksinya akan seperti ini:



Tidak seperti gas alam, propana lebih berat atau memiliki densitas lebih besar dari udara. Pada kondisi standar dan bebas, propana cenderung untuk jatuh akibat gravitasi beratnya. Propana cair akan berubah menjadi uap pada tekanan atmosfer dan berwujud putih karena pengembunan dari udara.

Pembakaran propana jauh lebih bersih dari bensin, tetapi tidak sebersih gas alam. Kehadiran ikatan molekul C-C ditambah ikatan berlipat-lipat dari *propylene* dan *butylene*, menghasilkan gas buang organik disamping karbon dioksida dan uap air selama pembakaran khusus. Ikatan ini juga menyebabkan pembakaran propana menghasilkan nyala api yang dapat terlihat secara visual.

Tabel 2.2 Nilai kalor gas

Name of matter	Molecular mass M , kg/mol	Density ρ , kg/m ³	Short Formula	Heat of Combustion (kcal/m ³)
Methane	16,04	16,04	CH ₄	9525,09
Ethane	30,07	30,07	C ₂ H ₆	16831,26
Propane	44,09	44,09	C ₃ H ₈	24336,28
Butane	58,12	58,12	C ₄ H ₁₀	32031,30
Pentane	72,14	72,14	C ₅ H ₁₂	35423,75
Benzol	78,11	78,11	C ₆ H ₆	34963,43
Ethylene	28,05	28,05	C ₂ H ₄	15300,19
Hydrogen Sulfide	34,07	34,07	H ₂ S	6144,12
Sulfur	32,06	32,06	S	-

Sumber: Kazantsev, E.I., 1977

Propana mempunyai nilai kalor di bawah butana yaitu 81,4-96,2 j/cm³ sedangkan butana 103,3-125,8 j/cm³, propana juga mempunyai keunggulan yaitu dapat digunakan pada kondisi dingin hingga -104 °C maka dari itu gas propana banyak digunakan di daerah yang mempunyai iklim dingin (Stellman, 1991).

2.8 Karakteristik Nyala Api

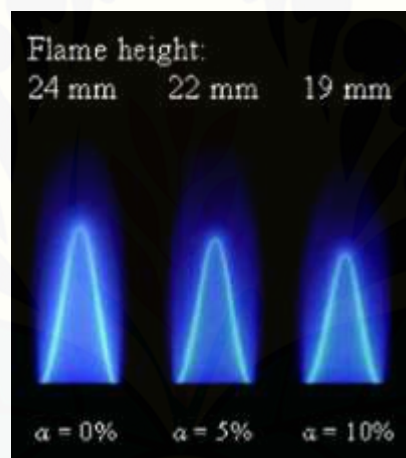
Suatu nyala api adalah menyebar secara terus menerus yang dibatasi oleh daerah pembakaran dengan kecepatan di bawah kecepatan suara, dengan kata lain nyala api adalah gelombang panas akibat reaksi kimia eksotermis yang cepat. Pada proses pembakaran, udara dan bahan bakar akan bercampur kemudian terbakar, pembakarannya bisa terjadi dengan nyala api ataupun tanpa nyala api. Kandungan bahan bakar dan campuran udara mempengaruhi warna api, bila mana warna api memerah maka api tersebut kekurangan oksigen sehingga nilai kalor rendah, apabila warna api biru maka api tersebut memiliki kandungan oksigen yang tinggi sehingga nilai kalor juga meningkat (Putri, 2009).

2.8.1 Kategori Dasar Nyala Api

Untuk memahami perbedaan antara nyala api maka dibedakan dalam dua kategori dasar nyala api yang bergantung pada bagaimana bahan bakar dan udara bercampur, kedua kategori yaitu;

a. Premixed Flame

Premixed flame merupakan nyala api yang dihasilkan pada saat bahan bakar dan udara bercampur secara sempurna di dalam bunsen burner sebelum terbakar, pada umumnya warna api dari premixed flame berwarna biru (Turns, 1996). Contohnya api premixed dari pembakaran biogas dan hydrogen (Zhen dkk, 2014).



Gambar 2.2 Premixed Flame Biogas dengan Hydrogen (Zhen dkk, 2014)

b. Diffusion Flame (Non-Premixed)

Diffusion flame merupakan nyala api yang dihasilkan pada saat bahan bakar dan udara bercampur dan penyalaan dilakukan secara bersamaan. Energi yang dimiliki bahan bakar dapat mempengaruhi laju difusi reaktan. Pada umumnya warna api diffusion flame berwarna merah (Turns, 1996). Contohnya nyala api *diffusion* pada pembakaran biogas dan hydrogen dimana bahan bakar gas dari ruang pencampuran dengan cepat keluar dari *nozzle* bunsen burner dan kemudian terbakar, konsentrasi bahan bakar didekat *nozzle* terlalu tinggi sehingga sebelum bahan bakar dan udara dapat bercampur dengan sempurna sudah

terbakar. Nyala api *diffusion* biasanya lebih dingin dari nyala api *premixed* karena keterbatasan dalam pencampuran bahan bakar dan udara (Zhen dkk, 2014).



Gambar 2.3 Diffusion Flame Biogas dengan Hydrogen (Zhen dkk, 2014)

2.8.2 Jenis Aliran Nyala Api

Nyala api juga dibedakan berdasarkan jenis aliran yang terjadi, yaitu:

a. Api Laminar

Api laminar merupakan api yang terlihat berbentuk teratur. Api laminar mempunyai bentuk yang mengikuti streamline atau tanpa turbulensi atau ketidakberaturan (Putri, 2009).



Gambar 2.4 Api Laminar pada diffusion flame biogas dengan hydrogen
(Zhen dkk, 2014)

b. Api Turbulen

Api turbulen merupakan jenis aliran api yang memiliki pola nyala api yang acak atau tidak teratur yang dikategorikan dalam aliran yang aktif bergerak (Putri, 2009).



Gambar 2.5 Api Turbulen (Aboje dan Erete, 2015)

2.8.3 Warna Api

a. Api Merah

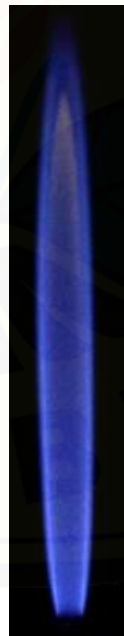
Api berwarna kekuningan atau merah memiliki suhu kurang dari 1000°C. Sehingga api jenis ini memiliki kadar panas yang kurang dan sangat jarang digunakan pada lingkup industri baja. Pembakaran yang menghasilkan api berwarna merah menandakan pembakaran yang tidak sempurna karena non stoikiometri atau rasio campuran bahan bakar dan udara kurang dari 1 ($\phi < 1$) dan menghasilkan gas CO yang berbahaya bagi kesehatan (Turns, 1996).



Gambar 2.6 Api Merah (Aboje dan Erete, 2015)

b. Api Biru

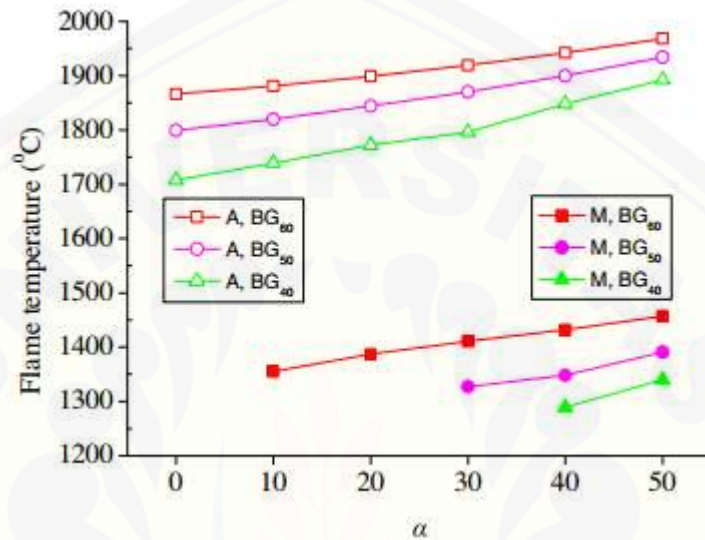
Api berwarna biru adalah api yang stabil yang mempunyai temperatur tertinggi, pembakaran sempurna dan mempunyai efisiensi yang tinggi karena tidak meninggalkan sisa, warna api biru merupakan api yang stabil (Vienna, 2012).



Gambar 2.7 Api Biru (Zhen dkk, 2014)

2.8.4 Suhu Nyala Api

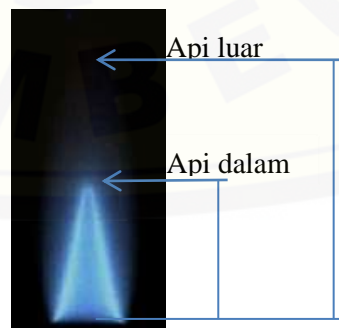
Penambahan dan pengurangan konsentrasi hidrogen berdampak terhadap tinggi dan rendahnya suhu api. Peningkatan konsentrasi hidrogen mengakibatkan naiknya suhu nyala api (Zhen, 2016)



Gambar 2.8 Peningkatan Nyala Api (Zhen dkk, 2016)

2.8.5 Tinggi Nyala Api

Tinggi nyala api merupakan salah satu parameter utama yang menentukan struktur dan perilaku api. Tinggi nyala api ini tergantung pada aliran, komposisi bahan bakar, rasio udara, suhu, zona pembakaran (Burbano dkk., 2008). Terdapat dua tinggi nyala api yang biasa diamati yaitu, nyala api dalam dan nyala api luar.

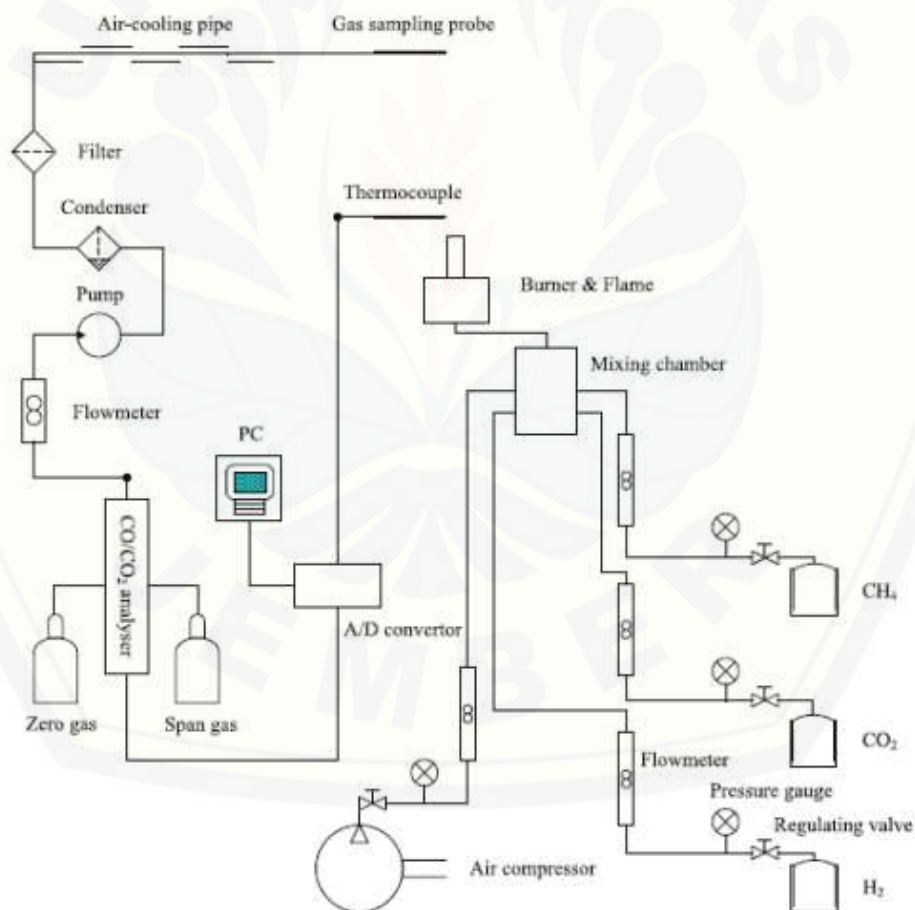


Gambar 2.9 Tinggi Nyala Api (Zhen dkk., 2014)

2.9 Penelitian Sebelumnya

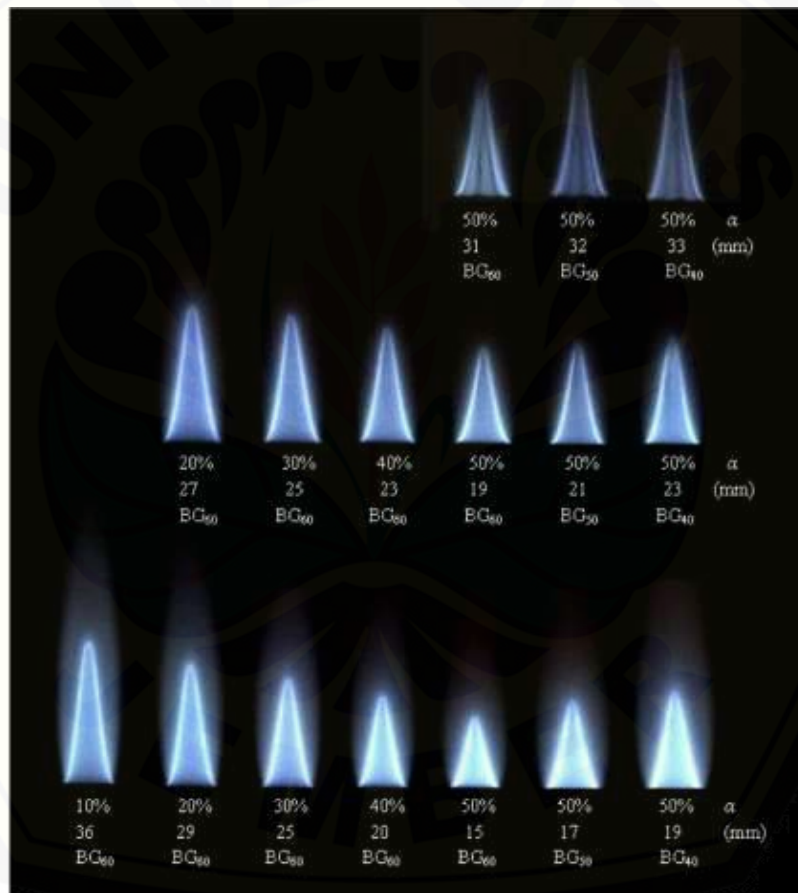
Upaya peningkatan kualitas bahan bakar rendah menjadi bahan bakar berkualitas tinggi dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya dengan mencampurkan dari kedua bahan bakar tersebut agar pemanfaatan bahan bakar berkualitas rendah tetap berlangsung.

Penelitian Zhen dkk (2014) melakukan penelitian tentang karakteristik nyala api biogas yang dicampur dengan gas hidrogen. Menggunakan alat dan bahan pengujian antara lain alat pencampuran, alat perekam, pengukur kadar emisi karbon dioksida (CO_2), alat pengukur suhu dan bunsen burner. Bahan bakar gas yang digunakan berupa gas metana (CH_4), gas karbon dioksida (CO_2), gas hidrogen (H_2), dan udara dari kompresor.

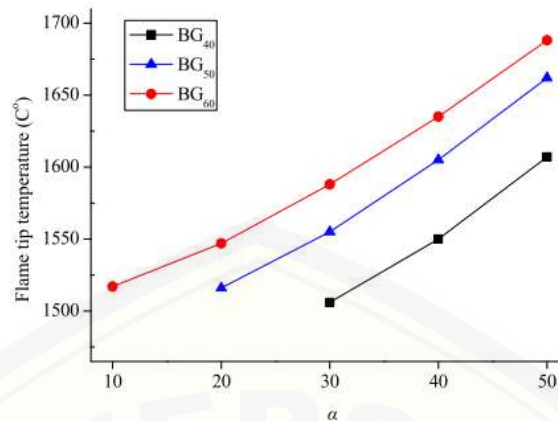


Gambar 2.10 Skema metode pencampuran biogas CH_4 , CO_2 dan H_2 (Zhen dkk, 2014)

Metode yang digunakan di atas bertujuan mengetahui tentang karakteristik termal dan stabilitas api dari berbagai komposisi bahan bakar gas seperti BG60 dengan kandungan Metana 60% dan Karbon dioksida 40%, BG 50 dengan kandungan Metana 50% dan Karbon dioksida 50%, BG40 dengan kandungan Metana 40% dan Karbon dioksida 60%. Dari setiap biogas yang telah di siapkan dicampur dengan Hidrogen sebanyak 10% hingga 50%, peningkatan jumlah tersebut agar dapat mengetahui perubahan stabilitas pembakaran dan peningkatan nilai kalor.



Gambar 2.11 Pembakaran biogas dengan bunsen burner (Zhen,dkk. 2014)



Gambar 2.12 Peningkatan temperatur pembakaran terhadap pencampuran hidrogen
(Zhen,dkk. 2014)

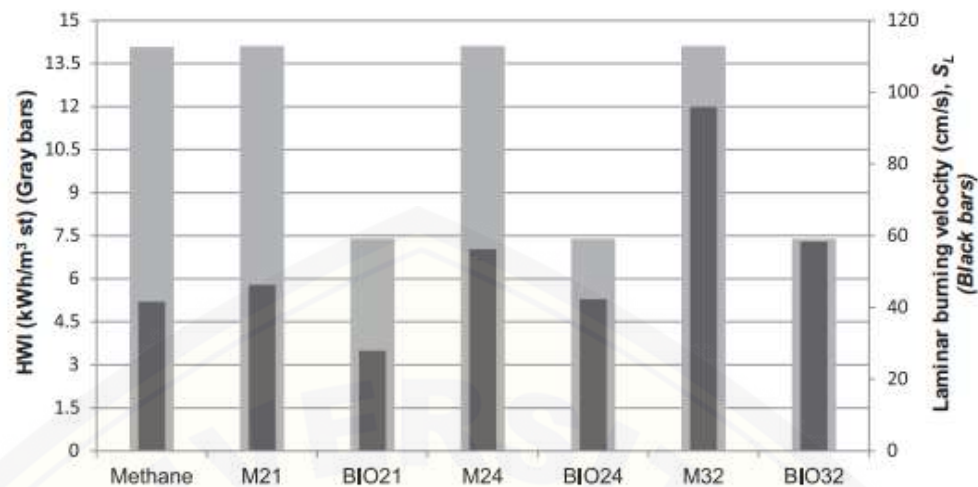
Dari penelitian yang telah dilakukan maka disimpulkan bahwa naiknya jumlah hidrogen yang dicampurkan pada biogas dapat memudahkan terjadinya pembakaran, nyala api menjadi stabil, peningkatan terhadap kecepatan laminar pembakaran, dan naiknya suhu api.

Penelitian (Cardona dan Amell, 2013) melakukan penelitian dengan judul *Laminar burning velocity and interchangeability analysis of biogas/C₃H₈ with normal and oxygen-enriched air*. Membandingkan bahan bakar biogas dengan kandungan 66% metana dan 34% karbondioksida dengan bahan bakar campuran dengan kandungan 50% biogas, 40% propana, dan 10% hidrogen, kedua jenis bahan bakar diuji dengan menggunakan dua variasi aliran udara normal dan aliran udara yang berlebih.

Tabel 2.3 Komposisi Pencampuran

Name	Fuel	HWI (kW h/m ³)	Fuel mixture composition (% vol,dry)					
			Fuel				Oxidizer	
			CH ₄	CO ₂	C ₃ H ₈	H ₂	O ₂	N ₂
Bio21	Biogas	7,4	66	34			21	79
Bio24	Biogas		66	34			24	76
Bio32	Biogas		66	34			32	68
M21	Biogas + C ₃ H ₈ + H ₂	14,11	33	17	40	10	21	79
M24	Biogas + C ₃ H ₈ + H ₂		33	17	40	10	24	76
M32	Biogas + C ₃ H ₈ + H ₂		33	17	40	10	32	68

(Cardona,dkk. 2013)



Gambar 2.13 Biogas campuran lebih unggul dibandingkan biogas tanpa campuran
(Cardona,dkk. 2013)

Dari Gambar 2.12 menunjukkan bahwa bahan bakar campuran dengan kandungan 50% biogas, 40% propana, dan 10% hidrogen mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan bahan bakar biogas tanpa campuran dengan kandungan 66% metana dan 34% karbondioksida. Bahan bakar campuran mempunyai keunggulan *laminar burning velocity* dan *Wobbe Index*. Jadi campuran pada bahan bakar layak dilakukan karena mempunyai keunggulan tersendiri dibandingkan bahan bakar murni. Pencampuran harus dilakukan dengan bahan bakar yang lebih baik agar dapat meningkatkan bahan bakar murni tersebut.

2.10 Hipotesis

Dari berbagai permasalahan di atas dapat diambil hipotesis sebagai berikut;

Dengan dilakukan pencampuran biogas dengan propana dapat meningkatkan kualitas api yang dihasilkan dari biogas, karena terjadi penambahan propana di dalam biogas sehingga pada saat biogas dibakar maka warna api semakin biru dan dengan bentuk api yang tinggi serta peningkatan pada temperatur api dibandingkan biogas tanpa campuran.

BAB 3. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *eksperimental*, yaitu metode yang digunakan untuk menguji karakteristik api biogas-propana *premixed* menggunakan *bunsen burner*. Pengujian ini bertujuan mengetahui karakteristik api berupa warna api, temperatur api, dan tinggi api. Metode penelitian dilakukan dengan pengambilan gambar 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 Mei 2018 sampai Juli 2018

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu :

- a. Ban Bekas
- b. Balon
- c. Tabung Propana
- d. Regulator Gas Propana
- e. Bunsen burner
- f. Kamera DSLR SONY NEX F3
- g. Thermocouple
- h. Pemantik Api
- i. Selang Gas $\frac{1}{4}$ "
- j. Katub $\frac{1}{4}$ "

- k. Cabang Selang Gas Y $1/4$ “
- l. Air Cylinder Pneumatic Stainless 0,125 Liter
- m. Papan Background Hitam
- n. Komputer

3.3.2 Bahan

- a. Biogas
- b. Gas Propana

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

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

- a. Biogas
- b. Gas Propana
- c. Biogas dengan campuran gas Propana

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Peneliti ini mempunyai variabel terikat yang meliputi data-data yang diperoleh pada pengujian karakteristik api biogas dengan propana yaitu:

- a. Warna api biogas-propana *premixed*
- b. Temperatur api biogas-propana *premixed*
- c. Tinggi api biogas-propana *premixed*

3.4.3 Variabel Kontrol

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

- a. Biogas 100% (B100)
- b. Biogas 90% dan Propana 10% (B90P10)
- c. Biogas 80% dan Propana 20% (B80P20)
- d. Biogas 70% dan Propana 30% (B70P30)
- e. Biogas 60% dan Propana 40% (B60P40)
- f. Biogas 50% dan Propana 50% (B50P50)
- g. Propana 100% (P100)

3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang digunakan dalam penelitian meliputi :

- a. Data Primer, merupakan data yang diperoleh langsung dari pengujian warna api biogas-propana *premixed*, temperatur api biogas-propana *premixed*, tinggi api biogas-propana *premixed*.
- b. Data Sekunder, merupakan data yang diperoleh dari perhitungan hasil pengujian warna api biogas-propana *premixed*, temperatur api biogas-propana *premixed*, tinggi api biogas-propana *premixed*.

3.6 Pengamatan yang Dilakukan

Pada penelitian ini yang diamati adalah :

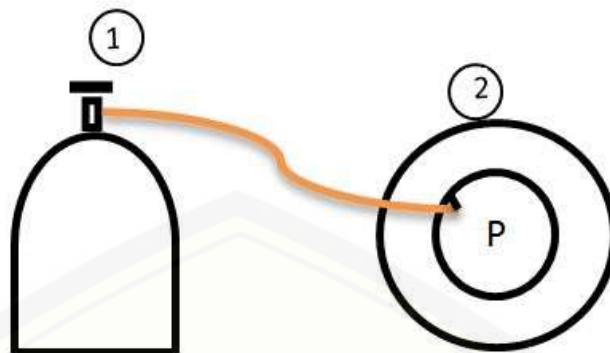
- d. Warna api biogas-propana *premixed*
- e. Temperatur api biogas-propana *premixed*
- f. Tinggi api biogas-propana *premixed*

3.7 Tahap Pengujian

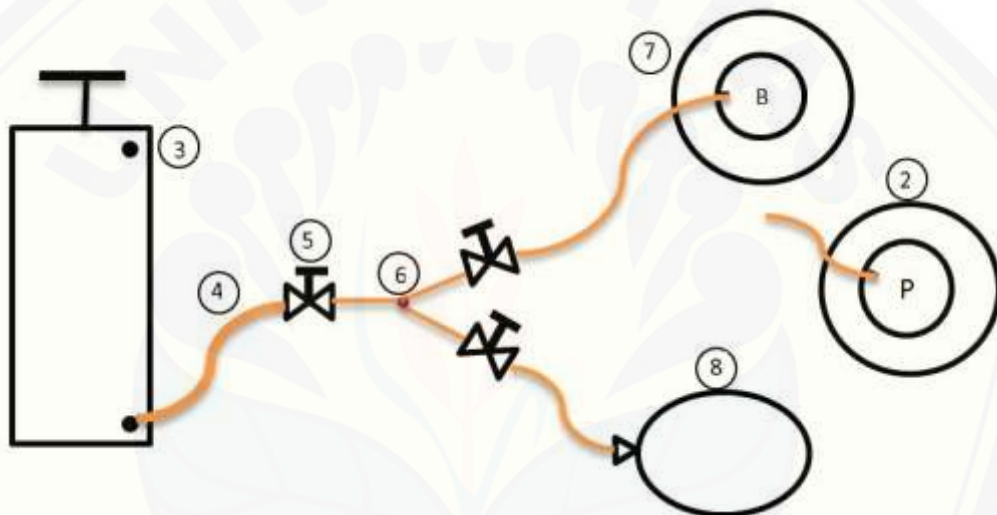
3.7.1 Pencampuran Biogas dengan Propana

1. Mempersiapkan bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian.
2. Memasang selang ke tabung pneumatik, balon dan ban yang berisi biogas.
3. Memasang katub pada selang agar mudah memindahkan gas.
4. Membuka katub yang ada di ban yang berisi biogas dan di tabung pneumatik, sedangkan katub menuju balon di tutup.
5. Menarik pegangan tabung pneumatik sampai keatas, maka biogas akan terhisap masuk ke tabung pneumatik.
6. Menutup katub yang menghubungkan kabung pneumatik ke ban yang berisi biogas.
7. Membuka katub yang menghubungkan tabung pneumatik menuju balon dan tekan pegangan tabung pneumatik sampai bawah, agar gas dari dalam tabung pindah ke balon.
8. Menutup katup menuju balon, agar gas yang di balon tidak keluar.
9. Mengulangi langkah nomer 4,5,6, 7,dan 8 sebanyak 20x.
10. Melepas selang yang ada di ban yang berisi biogas, kemudian diganti dengan ban yang berisi propana.
11. Mengulangi langkah nomer 4,5,6,7,dan 8 sebanyak 20x. Agar perbandingan gas yang tercampur menjadi 50% biogas dan 50% propana.
12. Mengikat balon agar gas tidak keluar.
13. Mengulangi langkah nomer 4-11 variasi tercapai. Biogas : Gas Propana yaitu 60:40, 70:30, 80:20, dan 90:10.

| Secara skematis rancangan yang digunakan dalam pemindahan propana ke ban yaitu seperti Gambar 3.1



Gambar 3.1 Pemindahan propana ke ban



Gambar 3.2 Skema pencampuran biogas dan propana

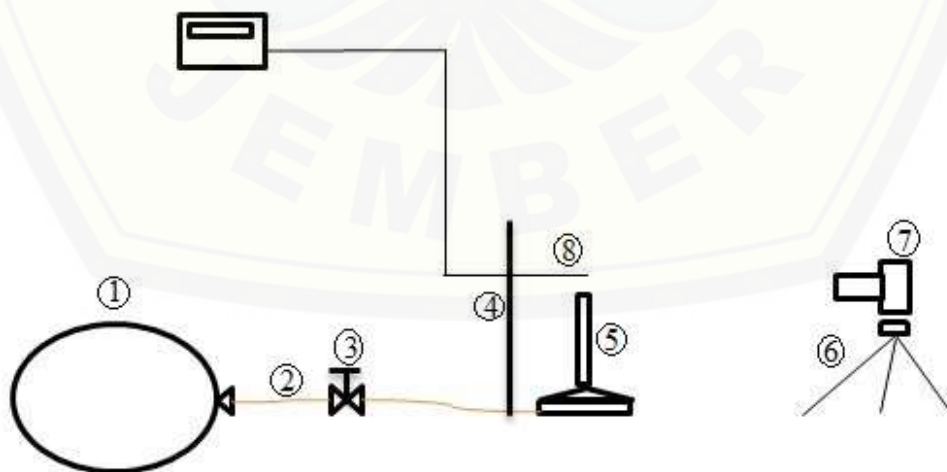
Keterangan :

1. Tabung gas propana
2. Ban berisi propana
3. Pneumatik 0,125 liter
4. Selang gas $\frac{3}{8}$ "
5. Katub
6. Cabang Y $\frac{3}{8}$ "
7. Tabung Propana

8. Balon (penampung gas dan tempat pencampuran Gas Propana dan Biogas)
9. Ban berisi biogas

3.7.2 Analisa Api Biogas-Propana

1. Mempersiapkan bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian tinggi dan suhu api pembakaran.
2. Membuka katub yang menghubungkan balon berisi gas yang tercampur ke *bunsen burner*.
3. Menyalakan api di *bunsen burner*.
4. Mengambil gambar bentuk api menggunakan kamera DSLR SONY NEX F3 dengan pengaturan ISO 3200 dan *shutter speed* 1/10 sec.
5. Mencatat suhu tertinggi yang muncul pada termocouple.
6. Mematikan api, menutup katub dan melepas balon, kemudian mengganti dengan balon variabel yang lain.
7. Melakukan percobaan sebanyak 3x dengan komposisi gas yang sama.
8. Mengulangi langkah nomer 2-7 dengan komposisi biogas dan Gas Propana yang berbeda, masing masing sebanyak 3x.
9. Mencatat hasilnya dan menganalisa gambar bentuk api.



Gambar 3.3 Skema pengambilan data

Keterangan

1. Balon penampung gas hasil pencampuran
2. Selang gas $3/8''$
3. Katub
4. Background hitam
5. *Bunsen burner*
6. Tripod kamera
7. Kamera SONY NEX F3
8. *Thermocouple*

3.7.3 Pengujian Tinggi Nyala Api

Tahap pengujian tinggi kerucut api biogas-propana *premixed* dilakukan dengan menghitung tinggi nyala api dalam dan tinggi nyala api luar tiga kali percobaan dengan keadaan yang sama.

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

3.7.4 Pengujian Temperatur Api

Pengujian temperatur api biogas-propana *premixed* menggunakan *bunsen burner* dan dilakukan pengukuran temperatur menggunakan *thermocouple*. Untuk mengetahui api biogas-propana *premixed* dititik horizontal paling panas. Pengukuran temperatur dilakukan sebanyak 3 kali.

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

3.7.5 Pengujian Warna Api

Tahap pengamatan karakteristik nyala api biogas-propana *premixed* terpusat pada perekaman nyala api menggunakan *bunsen burner* dan kamera.

Biogas-propana *premixed* yang telah dicampur disalurkan ke saluran masuk *bunsen burner*, nyalakan *bunsen* dengan korek api, foto api yang menyala pada *bunsen burner* menggunakan kamera. Foto nyala api yang telah didapat, dihitung nilai RGB (*Red Green Blue*) dengan software IMAGE J, kemudian mencatat hasil perhitungan presentase setiap warna nyala api Biogas-Gas Propana Premixed pada Tabel 3.3.

Perhitungan presentase warna api merah dan biru menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = \frac{R(b)}{R(b)+R(m)} \times 100\%$$

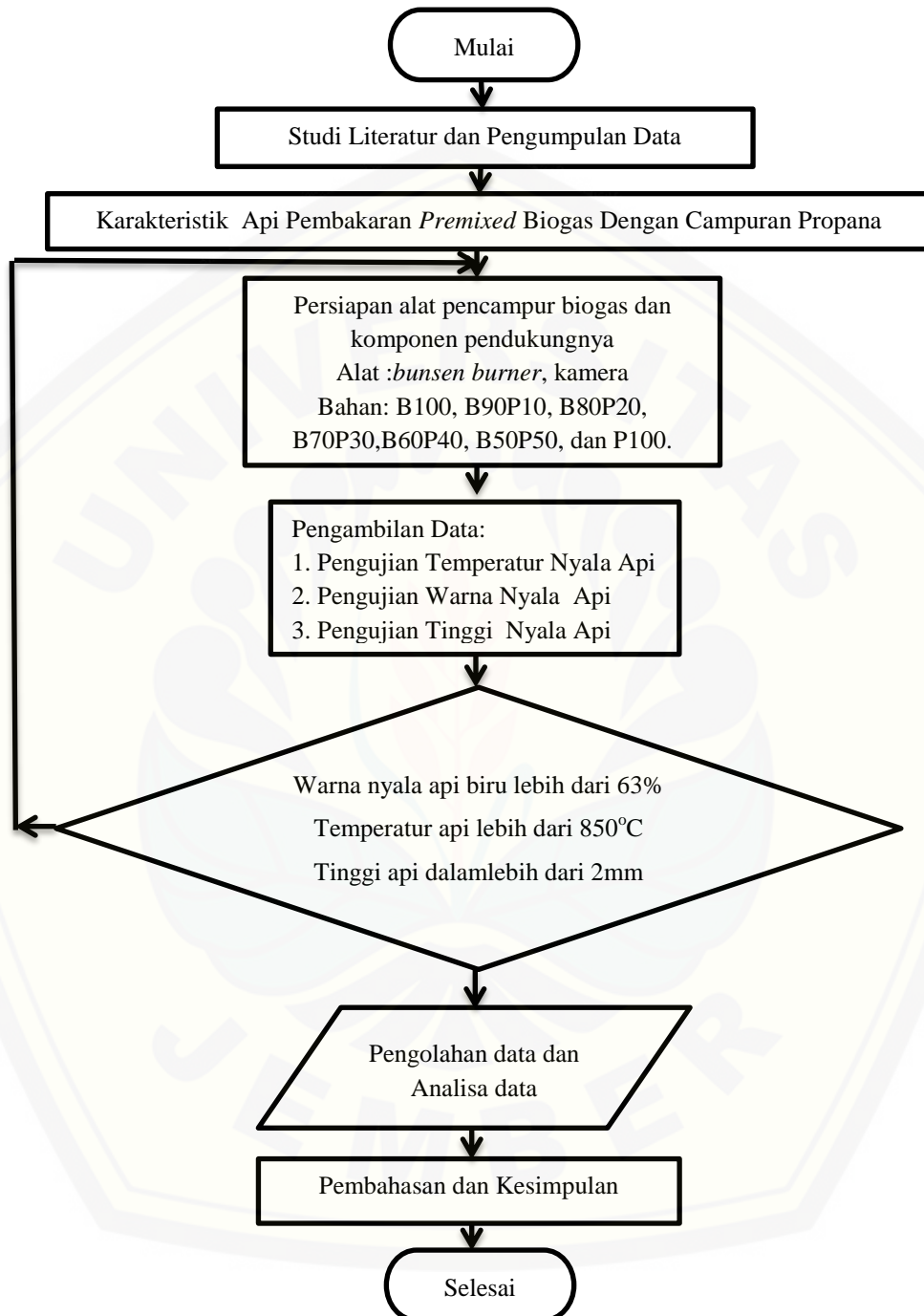
Keterangan:

P = Presentase warna

R(b) = Jumlah RGB Biru

R(m) = Jumlah RGB Merah

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis karakteristik api *premixed* biogas dengan campuran propana yang meliputi temperatur api, warna api dan tinggi api dalam dan tinggi api luar biogas dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dari hasil pengukuran temperatur api biogas, biogas dengan campuran propana 10% hingga 50% dan propana, terdapat peningkatan temperatur api di setiap penambahan komposisi propana pada biogas, sehingga biogas yang optimal digunakan adalah biogas yang dicampur dengan propana 50% memiliki temperatur nyala api sebesar 1061,6°C. Peningkatan terjadi karena karakteristik bahan bakar propana lebih baik atau nilai kalor yang dimiliki propana lebih besar dari pada nilai kalor bahan bakar biogas.
2. Dari hasil pengukuran warna api pada biogas, biogas dengan campuran propana 10% hingga 50% dan propana terdapat peningkatan persentase nilai RGB biru di setiap penambahan propana pada biogas, sehingga biogas yang optimal digunakan adalah biogas yang dicampur dengan propana 50% memiliki persentase biru nyala api sebesar 68,02%, warna biru pada nyala api menandakan terjadi pembakaran secara baik. Peningkatan terjadi karena karakteristik bahan bakar propana lebih baik dari pada karakteristik bahan bakar biogas.
3. Dari hasil pengujian tinggi api dalam dan luar biogas, biogas dengan campuran propana 10% hingga 50% dan propana terdapat peningkatan tinggi api dalam dan tinggi api luar pada setiap penambahan propana pada biogas, biogas yang optimal digunakan adalah biogas yang dicampur dengan propana 50% memiliki tinggi nyala api dalam 11,58 mm dan tinggi nyala api luar 21,77 mm. Peningkatan terjadi karena karakteristik bahan bakar propana lebih baik atau energi yang dimiliki propana lebih besar dari pada energi bahan bakar biogas.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penelitian terhadap pembaca yaitu:

1. Pencampuran biogas dengan propana dapat meningkatkan kualitas pembakaran diharapkan dapat meningkatkan pemanfaatan biogas pada masyarakat.
2. Penelitian biogas ini masih perlu dikembangkan lagi dengan penambahan parameter seperti variasi laju aliran bahan bakar dan laju aliran udara.
3. Lakukan penelitian dengan memperhatikan keselamatan diri dengan mempersiapkan alat pemadam kebakaran dan lakukan penelitian di ruangan yang memiliki sirkulasi udara yang baik serta jauhkan dari barang barang yang mudah terbakar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, T. dan Tauseef, S.M. 2012. *Biogas Energy*, New York
- Aboje, A.A. dan Erete, J.I. 2015. *An investigation of methane and propane vertical flares*. Jurnal of the Energy Institute. Vol 3. No1-14.
- Adityawarman, A.C., Salundik., dan Lucia, C. 2015. *Pengolahan Limbah Ternak Sapi Secara Sederhana di Desa Patalasang Kabupaten Sinjai Sulawesi Selatan*. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*. Vol 3. No 3.
- Bavutti, M., Guidetti, L., dan Alleina, G. 2014. *Thermal stabilization of digesters of biogas plants by means of optimization of the surface radiative properties of the gasometer domes*. *Jurnal Energy Procedia*. Vol 45. No 1344-1353.
- Burbano, H., J. Amell, dan A. A. Garcia. 2008. *Effects of hydrogen addition to methane on the flame structure and CO emissions in atmospheric burner*. *Jurnal Hydro Energy*. Vol 33 No 3410-3515.
- Cardona, C. A. dan Amell, A. A. 2013. *Laminar burning velocity and interchangeability analysis of biogas/C₃H₈/H₂ with normal and oxygen-enriched air*. *Jurnal Of Hydrogen*. Vol 38 No 7994-8001.
- Defmit, B.N., Wardana, I.N.G., dan Yuliati, L. 2016. *Kecepatan Pembakaran Premixed Campuran Minyak Jarak-Liquefied Petroleum Gas (LPG) Pada Circular Tube Burner*. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol.7. No 41-47.
- Gao, Wei., Liu, N., dan Jiao, Y. 2018. *Flame length of buoyant turbulent slot flame*. *Proceedings of the Combustion institute*. Vol 000. No1-8.
- Ginanjari, D. A. G. 2016. *Karakteristik Api Pembakaran Biogas Limbah Pasar dengan Purifikasi Larutan Kalium Hidroksida 4 Molar*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember: Jember.

- Greco, A., Mira, D., dan Jiang, X. 2017. *Effects of fuel composition on biogas combustion in premixed laminar flames*. Jurnal Energy Procedia. Vol 105. No 1058-1062
- Hariharan, S. B., Sluder, E. T., dan Gollner, M. J. 2018. *Thermal structure of the blue whirl*. Proceedings of the Combustion institute. Vol 000. No1-8.
- Harsono, E. F. 2009. *Pemurnian Biogas Dengan Pemisahan Membran CO₂ dan CH₄ Menggunakan Zeloite Mixed Matrix Membranes*. Universitas Brawijaya: Malang.
- Haryati, Tuti. 2006. *Biogas Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif*. Bogor: Balai Penelitian Ternak.
- Jatmiko, S. 2015. *Karakteristik Thermal Biogas yang Dipurifikasi Larutan KOH 4 Molaritas Dibandingkan dengan Biogas Tanpa Purifikasi*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember: Jember.
- Karki, A. B., Shrestha, J. N., dan Bajgain, S. 2005. *Biogas: as renewable source of energy in Nepal, theory and development*. Nepal.
- Kazantsev, E.I. 1977. *Industrial Furnaces*. Mir Publishers. Moscow
- Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral. 2016. *Jurnal Energi Media Komunikasi Energi dan Sumber Daya Mineral*. Edisi 2. Jakarta: ESDM
- Kurniawan, R. 2008. *Analisis Penggunaan Venturi Mixer 12 Lubang Terhadap Perubahan Performa Dan Emisi Sepeda Motor 4-Langkah/125CC Dengan Penambahan LPG*. Skripsi. Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia: Jakarta.
- Mara, I. M. 2012. *Analisis Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) Dengan Larutan NaOH Terhadap Kualitas Biogas Kotoran Sapi*, Dinamika Teknik Mesin, Volume 2 No.1, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram: Mataram.

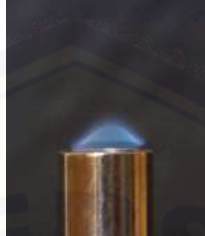
- Meynell. 1976. *Energy For World Agricultural*. FAO-UN, United States.
- Monnet, F. 2003. *An Introduction to anaerobic digestion of organic waste*. Remade Scotland.
- Putri, Gita A. 2009. *Pengaruh Variasi Temperatur Gasifying Agent II Media Gasifikasi Terhadap Warna dan Temperatur Api Pada Gasifikasi Reaktor Downdraft dengan Bahan Baku Tongkol jagung*. Jurnal Jurusan Teknik Mesin: Surabaya.
- Ratnaningsih. 2009. *Potensi Pembentukan Biogas Pada Proses Biodegradasi Campuran Sampah Organik Segar Dan Kotoran Sapi Dalam Batch Reaktor Anaerob*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Trisakti: Jakarta.
- Renilaili., dan Paswanti, Y. 2016. *Biogas Eceng gondok dan Kotoran Sapi sebagai Energi Alternatif*. Jurnal Teknologi. Vol 9 No 177-184
- Ridho, E., dan Dhiputra .,I., M., K. 2014. *Analisis Pengaruh Swirl Number Terhadap Peningkatan Stabilitas Nyala Api Premixed Pada Modifikasi Bunsen Burner dengan Rotating Fan*. Jurnal Teknik. Hal 17. Universitas Indonesia. Depok.
- Sadaka, S.S. dan Engler, C.R. 2003. *“Effects of Initial Total Solids on Composting of Raw Manure with Biogas Recovery”*. Compost Science & Utilization. 11 (4): 361-369.
- Saputro, R.R. dan Putri, D.A. 2009. *Pembuatan Biogas dari Limbah Peternakan*. Universitas Diponegoro: Semarang.
- Sasongko, M. N. 2014. *Pengaruh Presentase CO₂ Terhadap Karakteristik Pembakaran Difusi Biogas*. Universitas Brawijaya: Malang.
- Satriyo, K. W. 2016. *Zeofilter, Alat Pemurnian Biogas Agar Hasilkan Energi Optimal*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia: Jakarta.

- Stellman, J.M. 1991. *Encyclopaedia Of Occupational Health and Safety*. Geneva.
- Taufiq. 2008. *Perbandingan Temperatur Ring Stainless Steel Dan Temperatur Ring Keramik Pada Fenomena Flame Lift Up*. Skripsi. Universitas Indonesia: Jakarta.
- Tim Gabungan Informasi LIPI. 2004. *Pengembangan Energi Terbarukan Sebagai Energi Aditif di Indonesia*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia: Jakarta
- Turns, R.S. 1996. *An Introduction To Combustion Concepts and Application*. Mc Graw Hill
- Vienna, S.S. 2012. *Studi Eksperimen Distribusi Temperatur Nyala Api Kompor Bioetanl Tipe Side Burner dengan Variasi Diameter Firewall*. Jurnal Teknik POMITS. Vol 1. No 1-5
- Yudisworo, W.K. 2014. *Studi Alternatif Penggunaan BBG Gas Elpiji untuk Bahan Bakar Mesin Bensin Konvensional*. Cirebon: Jurusan Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945: Cirebon.
- Zhen, HS., Leung, CW., Cheung, CS., dan Huang, ZH. 2014. *Characterization of biogas-hydrogen premixed flame using Bunsen burner*. *Jurnal Of Hydrogen Energy*. Vol 39. No 13292-13299
- Zhen, HS., Leung, CW., Cheung, CS., dan Huang, ZH. 2016. *Combustion characteric and heating performance of stoichiometric biogas-hydrogen-air flame*. *International Jurnal Of Heat and Mass Transfer*. Vol 92. No 807-814
- Zuraya, Nidia. 2017. *Konsumsi Elpiji di Indonesia meningkat 700%*. <http://www.republika.co.id>. [10 April 2018]

Lampiran A. Gambar Pengujian Api Dan Hasil Percobaan

1. Biogas 100% (B100)

a. Pengujian 1



Gambar A.1 Pengujian 1 api B100

Tabel A.1 Pengujian 1 api B100

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 3,4 mm Tinggi api luar: 4,38 mm
Temperatur api	849°C
Persentase warna api	Merah : 36,06% Biru : 63,94%

b. Pengujian 2



Gambar A.2 Pengujian 2 api B100

Tabel A.2 Pengujian 2 api B100

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 3,79 mm Tinggi api luar: 5,53 mm
Temperatur api	864°C
Persentase warna api	Merah : 38,1% Biru : 61,9%

c. Pengujian 3



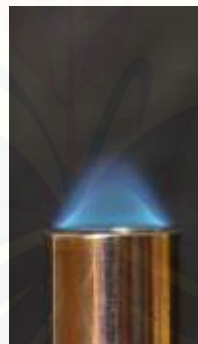
Gambar A.3 Pengujian 3 api B100

Tabel A.3 Pengujian 3 api B100

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 3,05 mm Tinggi api luar: 4,29 mm
Temperatur api	858 °C
Persentase warna api	Merah : 29,99% Biru : 70,01%

2. Biogas 90% dan Propana 10% (B90P10)

a. Pengujian 1



Gambar A.4 Pengujian 1 api B90P10

Tabel A.4 Pengujian 1 api B90P10

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 4,57 mm Tinggi api luar: 6,54 mm
Temperatur api	911 °C
Persentase warna api	Merah : 33,36% Biru : 66,64%

b. Pengujian 2



Gambar A.5 Pengujian 2 api B90P10

Tabel A.5 Pengujian 2 api B90P10

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 4,37 mm Tinggi api luar: 7,24 mm
Temperatur api	902 °C
Persentase warna api	Merah : 36,04% Biru : 63,96%

c. Pengujian 3



Gambar A.6 Pengujian 3 api B90P10

Tabel A.6 Pengujian 3 api B90P10

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 4,35 mm Tinggi api luar: 7,6 mm
Temperatur api	921 °C
Persentase warna api	Merah : 33,86% Biru : 66,14%

3. Biogas 80% dan Propana 20% (B80P20)

a. Pengujian 1



Gambar A.7 Pengujian 1 api B80P20

Tabel A.7 Pengujian 1 api B80P20

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 4,73 mm Tinggi api luar: 7,71 mm
Temperatur api	947 °C
Persentase warna api	Merah : 35,21% Biru : 64,79%

b. Pengujian 2



Gambar A.8 Pengujian 2 api B80P20

Tabel A.8 Pengujian 2 api B80P20

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 5,93 mm Tinggi api luar: 8,78 mm
Temperatur api	953 °C
Persentase warna api	Merah : 33,54% Biru : 66,46%

c. Pengujian 3



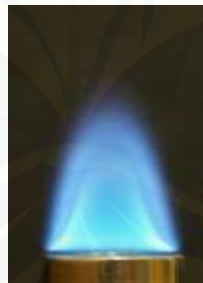
Gambar A.9 Pengujian 3 api B80P20

Tabel A.9 Pengujian 3 api B80P20

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 5,46 mm Tinggi api luar: 9,2 mm
Temperatur api	961 °C
Persentase warna api	Merah : 33,58% Biru : 66,42%

4. Biogas 70% dan Propana 30% (B70P30)

a. Pengujian 1



Gambar A.10 Pengujian 1 api B70P30

Tabel A.10 Pengujian 1 api B70P30

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 6,91 mm Tinggi api luar: 10,23 mm
Temperatur api	983 °C
Persentase warna api	Merah : 33,03% Biru : 66,97%

b. Pengujian 2

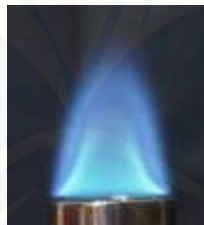


Gambar A.11 Pengujian 2 api B70P30

Tabel A.11 Pengujian 2 api B70P30

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 8,14mm Tinggi api luar: 13,15mm
Temperatur api	985 °C
Persentase warna api	Merah : 34,17% Biru : 65,83%

c. Pengujian 3



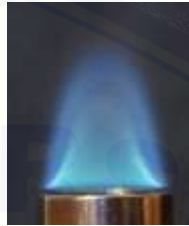
Gambar A.12 Pengujian 3 api B70P30

Tabel A.12 Pengujian 3 api B70P30

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 9,07 mm Tinggi api luar: 15,17 mm
Temperatur api	992 °C
Persentase warna api	Merah : 32,90% Biru : 67,10%

5. Biogas 60% dan Propana 40% (B60P40)

a. Percobaan 1



Gambar A.13 Pengujian 1 api B60P40

Tabel A.13 Pengujian 1 api B60P40

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 8,94 mm Tinggi api luar: 13,04 mm
Temperatur api	1080 °C
Persentase warna api	Merah : 32,53% Biru : 67,47%

b. Percobaan 2



Gambar A.14 Pengujian 2 api B60P40

Tabel A.14 Pengujian 2 api B60P40

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 10,03 mm Tinggi api luar: 15,7 mm
Temperatur api	1026 °C
Persentase warna api	Merah : 32,81% Biru : 67,19%

c. Percobaan 3



Gambar A.15 Pengujian 3 api B60P40

Tabel A.15 Pengujian 3 api B60P40

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 9,37 mm Tinggi api luar: 17,07 mm
Temperatur api	1022 °C
Persentase warna api	Merah : 33,37% Biru : 66,63%

6. Biogas 50% dan Propana 50% (B50P50)

a. Percobaan 1



Gambar A.16 Pengujian 1 api B50P50

Tabel A.16 Pengujian 1 api B50P50

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 11,27 mm Tinggi api luar: 22,1 mm
Temperatur api	1065 °C
Persentase warna api	Merah : 31,42% Biru : 68,58%

b. Percobaan 2

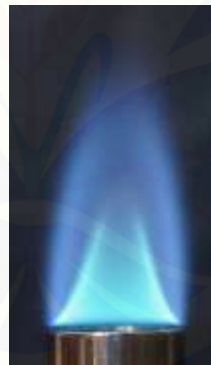


Gambar A.17 Pengujian 2 api B50P50

Tabel A.17 Pengujian 2 api B50P50

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 11,82 mm Tinggi api luar: 20,68 mm
Temperatur api	1059 °C
Persentase warna api	Merah : 32,01% Biru : 67,99%

c. Percobaan 3



Gambar A.18 Pengujian 3 api B50P50

Tabel A.18 Pengujian 3 api B50P50

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 11,64 mm Tinggi api luar: 22,54 mm
Temperatur api	1061 °C
Persentase warna api	Merah : 32,50% Biru : 67,50%

7. Propana 100% (P100)

a. Percobaan 1



Gambar A.19 Pengujian 1 api P100

Tabel A.19 Pengujian 1 api P100

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 16,86 mm Tinggi api luar: 33,22 mm
Temperatur api	1171 °C
Persentase warna api	Merah : 34,42% Biru : 64,01%

b. Percobaan 2



Gambar A.20 Pengujian 2 api P100

Tabel A.20 Pengujian 2 api P100

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 14,17 mm Tinggi api luar: 31,88 mm
Temperatur api	1159 °C
Persentase warna api	Merah : 30,14% Biru : 69,86%

c. Percobaan 3



Gambar A.21 Pengujian 3 api P100

Tabel A.21 Pengujian 3 api P100

Pengujian	Hasil Pengujian
Tinggi api	Tinggi api dalam: 18,42 mm Tinggi api luar: 33,22 mm
Temperatur api	1162 °C
Persentase warna api	Merah : 29,16% Biru : 70,85%

Lampiran B. Tabel Persentase Warna Api

Tabel B.1 Persentase Warna Api

Komposisi	Warna	Nilai warna api dari Image J		
		Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3
B0	Merah	82.746	130.041	81.220
	Biru	146.691	211.279	189.563
B90P10	Merah	77.528	121.595	104.519
	Biru	154.862	215.776	204.146
B80P20	Merah	81.581	112.185	102.577
	Biru	150.095	222.253	202.872
B70P30	Merah	104.137	115.630	101.474
	Biru	211.143	222.801	206.985
B60P40	Merah	83.158	105.061	101.008
	Biru	172.444	215.196	201.681
B50P50	Merah	77.783	94.337	90.897
	Biru	169.788	200.344	188.750
P100	Merah	92.729	83.396	71.874
	Biru	158.569	193.294	174.634

1. Perhitungan Pesentase Warna Api Pada Biogas

a. Pengujian 1

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 82.746 dan warna biru pada biogas yaitu 146.691. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 229.437. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{82.746}{229.437} \times 100\% = 36,06\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{146.691}{229.437} \times 100\% = 63,94\%$$

b. Pengujian 2

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 130.041 dan warna biru pada biogas yaitu 211.279. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 341.320. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{130.041}{341.320} \times 100\% = 38,10\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{211.279}{341.320} \times 100\% = 61,90\%$$

c. Pengujian 3

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 81.220 dan warna biru pada biogas yaitu 189.563. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 270.783. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{81.220}{270.783} \times 100\% = 29,99\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{189.563}{270.783} \times 100\% = 70,01\%$$

2. Perhitungan Pesentase Warna Api Pada B90P10

a. Pengujian 1

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 77.528 dan warna biru pada biogas yaitu 154.862. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 232.390. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{77.528}{232.390} \times 100\% = 33,36\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{154.862}{232.390} \times 100\% = 66,64\%$$

b. Pengujian 2

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 121.595 dan warna biru pada biogas yaitu 215.776. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 337.371. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{121.595}{337.371} \times 100\% = 36,04\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{215.776}{337.371} \times 100\% = 63,96\%$$

c. Pengujian 3

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 104.519 dan warna biru pada biogas yaitu 204.146. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 308.665. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{104.519}{308.665} \times 100\% = 33,86\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{204.146}{308.665} \times 100\% = 66,14\%$$

3. Perhitungan Pesentase Warna Api Pada B80P20

a. Pengujian 1

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 81.581 dan warna biru pada biogas yaitu 150.095. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 231.676. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{81.581}{231.676} \times 100\% = 35,21\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{150.095}{231.676} \times 100\% = 64,79\%$$

b. Pengujian 2

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 112.185 dan warna biru pada biogas yaitu 222.253. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 334.438. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{112.185}{334.438} \times 100\% = 33,54\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{222.253}{334.438} \times 100\% = 66,46\%$$

c. Pengujian 3

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 102.577 dan warna biru pada biogas yaitu 202.872. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 305.449. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{102.577}{305.449} \times 100\% = 33,58\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{202.872}{305.449} \times 100\% = 66,42\%$$

4. Perhitungan Pesentase Warna Api Pada B70P30

a. Pengujian 1

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 104.137 dan warna biru pada biogas yaitu 211.143. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 315.280. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{104.137}{315.280} \times 100\% = 33,03\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{211.143}{315.280} \times 100\% = 66,97\%$$

b. Pengujian 2

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 115.630 dan warna biru pada biogas yaitu 222.801. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 338.431. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{115.630}{338.431} \times 100\% = 34,17\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{222.801}{338.431} \times 100\% = 65,83\%$$

c. Pengujian 3

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 101.474 dan warna biru pada biogas yaitu 206.985. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 308.459. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{101.474}{308.459} \times 100\% = 32,90\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{202.872}{308.459} \times 100\% = 67,10\%$$

5. Perhitungan Pesentase Warna Api Pada B60P40

a. Pengujian 1

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 83.158 dan warna biru pada biogas yaitu 172.444. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 255.602. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{83.158}{255.602} \times 100\% = 32,53\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{172.444}{255.602} \times 100\% = 67,47\%$$

b. Pengujian 2

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 105.061 dan warna biru pada biogas yaitu 215.196. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 320.257. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{105.061}{320.257} \times 100\% = 32,81\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{215.196}{320.257} \times 100\% = 67,19\%$$

c. Pengujian 3

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 101.008 dan warna biru pada biogas yaitu 201.681. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 302.689. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{101.008}{302.689} \times 100\% = 33,37\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{201.681}{302.689} \times 100\% = 66,63\%$$

6. Perhitungan Pesentase Warna Api Pada B50P50

a. Pengujian 1

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 77.783 dan warna biru pada biogas yaitu 169.788. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 247.571. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{77.783}{247.571} \times 100\% = 31,42\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{169.788}{247.571} \times 100\% = 68,58\%$$

b. Pengujian 2

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 94.337 dan warna biru pada biogas yaitu 200.344. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 294.681. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{94.337}{294.681} \times 100\% = 32,01\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{200.344}{294.681} \times 100\% = 67,99\%$$

c. Pengujian 3

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 90.897 dan warna biru pada biogas yaitu 188.750. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 279.647. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{90.897}{279.647} \times 100\% = 32,50\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{188.750}{279.647} \times 100\% = 67,50\%$$

7. Perhitungan Pesentase Warna Api Pada P100

a. Pengujian 1

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 92.729 dan warna biru pada biogas yaitu 158.569. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 251.298. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{92.729}{251.298} \times 100\% = 36,90\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{158.569}{251.298} \times 100\% = 63,10\%$$

b. Pengujian 2

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 83.396 dan warna biru pada biogas yaitu 193.294. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 276.690. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

$$\frac{83.396}{276.690} \times 100\% = 30,14\%$$

Persentase Warna Biru :

$$\frac{193.294}{276.690} \times 100\% = 69,86\%$$

c. Pengujian 3

Dari Tabel B.1 didapatkan bahwa jumlah rata-rata nilai warna merah pada biogas murni yaitu 71.874 dan warna biru pada biogas yaitu 174.634. Kedua jumlah warna merah dan warna biru dijumlahkan didapatkan nilai 246.508. Untuk menghitung persentase warna api digunakan rumus sebagai berikut:

Persentase Warna Merah:

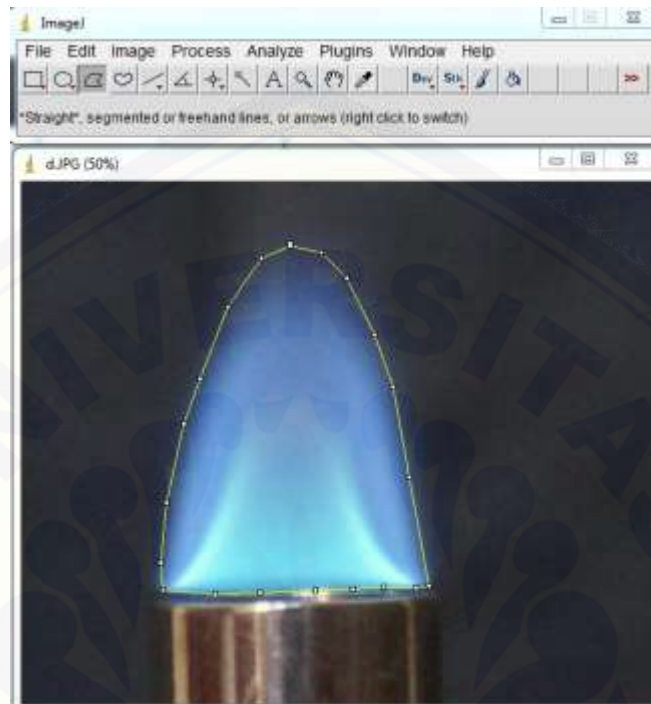
$$\frac{71.874}{246.508} \times 100\% = 29,16\%$$

Persentase Warna Biru :

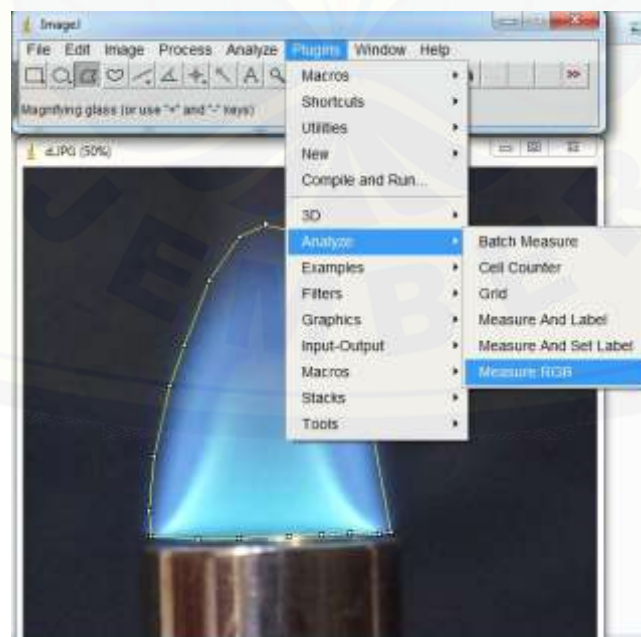
$$\frac{174.634}{246.508} \times 100\% = 70,84\%$$

Lampiran C. Software Image J

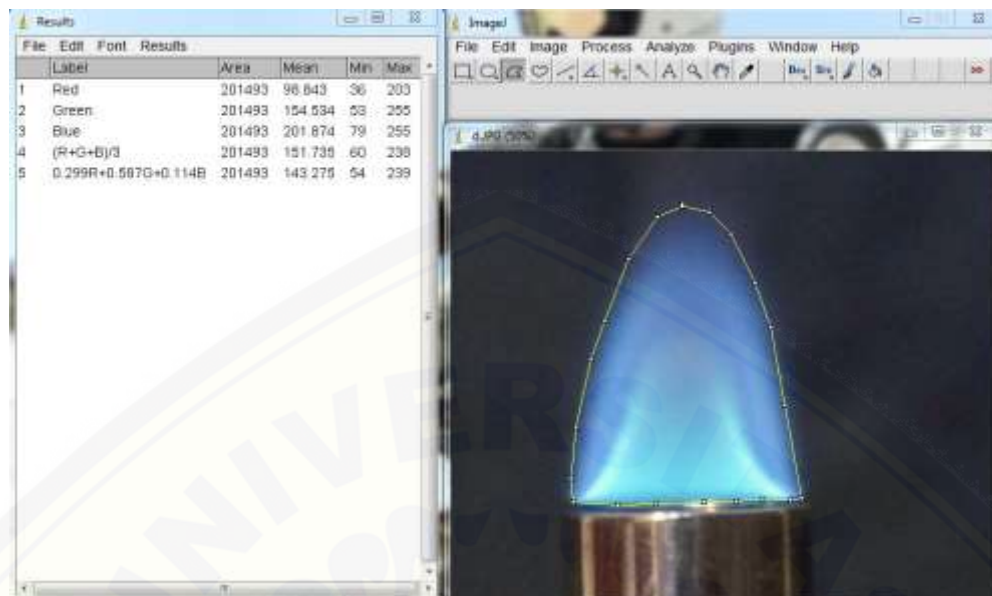
1. Nilai warna api



Gambar C.1 Crop daerah yang akan di scan

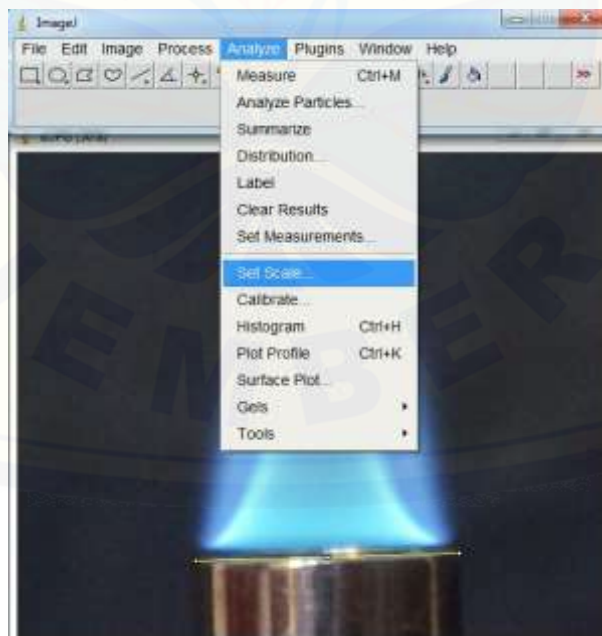


Gambar C.2 Pilih Plugins, Analyze, dan Measure RGB

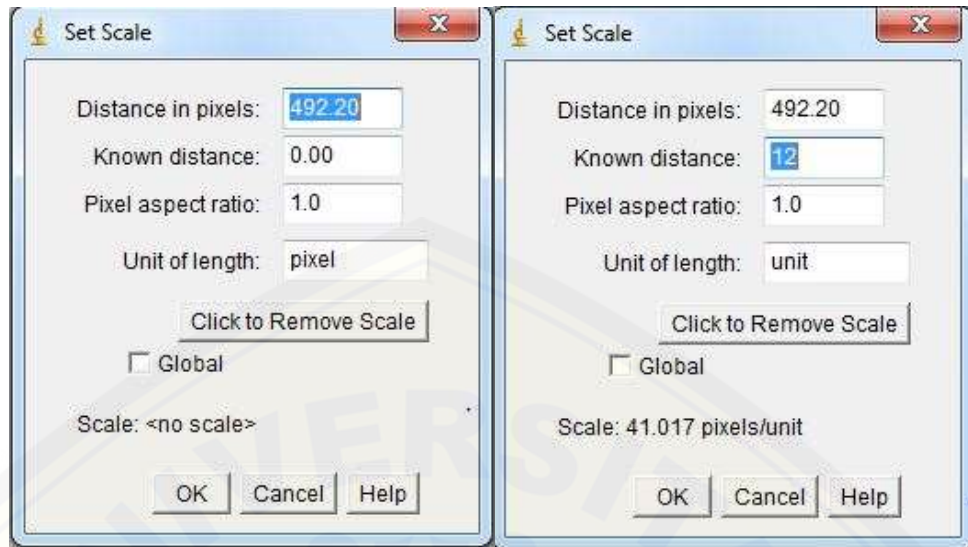


Gambar C.3 Hasil Analyze RGB Image-J

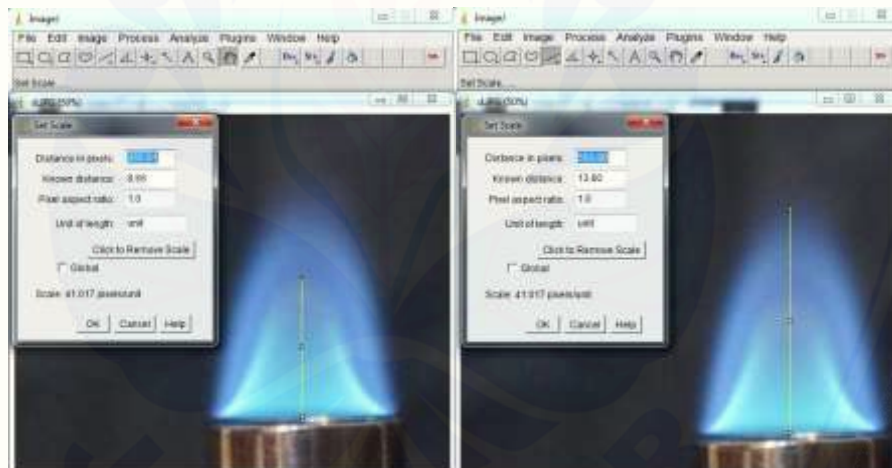
2. Tinggi Nyala Api



Gambar C.4 Kalibrasi ukuran dengan pixel gambar



Gambar C.5 Memasukkan ukuran yang diketahui dan disamakan dengan pixel gambar



Gambar C.6 Tarik garis untuk mengetahui tinggi api dalam dan api luar, selanjutnya pilih Analyze dan Set Scale

Lampiran D. Gambar Alat dan Langkah Kerja



Gambar D.1 Reaktor Biogas



Gambar D.2 *Pressure Gauge*



Gambar C.3 Pengambilan Biogas



Gambar C.4 Pengambilan Biogas dari reaktor ke ban



Gambar C.5 Pengisian propana ke ban



Gambar C.6 Pengisian Propana ke balon menggunakan *pneumatic hidrolis*



Gambar C.7 Pengambilan data 1



Gambar C.8 Pengambilan data 2