



**ANALISA VARIASI *AIR FUEL RATIO* (AFR) TERHADAP  
PERILAKU ION DAN RAMBAT API PEMBAKARAN BIOGAS  
LIMBAH BUAH**

**SKRIPSI**

Oleh

**Yosua Bresman Simamora  
NIM 121910101005**

**JURUSAN TEKNIK MESIN STRATA SATU  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**



**ANALISA VARIASI *AIR FUEL RATIO (AFR)* TERHADAP  
PERILAKU ION DAN RAMBAT API PEMBAKARAN BIOGAS  
LIMBAH BUAH**

**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

**Yosua Bresman Simamora  
NIM 121910101005**

**JURUSAN TEKNIK MESIN STRATA SATU  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Bapak dan Ibu saya yang telah berjuang mendidik dan senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tiada batas hingga saat ini, serta doa yang tiada hentinya beliau haturkan dengan penuh keikhlasan;
2. Keluarga besar yang selalu memberi semangat serta doa yang tiada hentinya kepada saya dalam melangkah dan mencapai cita-cita;
3. Bapak dan ibu guru yang telah mendidik saya mulai dari Taman Kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
4. Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. dan Bapak Dr. R. Koekoeh KW., ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dalam penyusunan Skripsi ini;
5. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc dan Bapak M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga penyusunan Skripsi ini dapat menjadilebih baik;
6. Bapak Nurkoyim, S.T., M.T. yang telah rela meluangkan waktunya untuk mengajari dan membimbing dalam melakukan penelitian sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik;
7. Keluarga besar saya Op. Hizkia Simamora yang selalu memberi semangat serta doa yang tiada hentinya kepada saya dalam melangkah dan mencapai cita-cita;
8. Teman-temanku (Ivan, Abdi, Roni, Hemas, Busro, Aji, Dheny, Alvin, Adimas, dan Yusuf, I Made) yang telah meluangkan waktunya untuk bekerja sama, saling memikul berat-ringan permasalahan yang dihadapi dalam penyelesaian Skripsi ini, sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
9. Saudaraku, Keluarga Besar Teknik Mesin'12 Universitas Jember, yang senantiasa menemani, membantu, memotivasi, memberi dukungan, dan semangat dalam menyelesaikan kegiatan akademik perguruan tinggi;

10. Terima kasih Buat Saudara Yessy Vetty Andriani L.Tobing S.P yang sudah membantu dalam menyelesaikan Skripsi ini sehingga terselesaikan dengan baik.
11. Keluarga Besar NHKBP Jember, yang senantiasa menemani, membantu, memotivasi, memberi dukungan, dan semangat dalam menyelesaikan kegiatan akademik perguruan tinggi;
12. Teman-temanku (Richard Tambunan, Jackson Tambunan, Vicky Hutapea, Zul Manurung, Herlita Silalahi, Putera Sitepu, Andre Simanjatak, Lisda Sihombing) yang telah meluangkan waktunya untuk bekerja sama, saling memikul berat-ringan permasalahan yang dihadapi dalam penyelesaian Skripsi ini, sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
13. Civitas akademik baik dilingkungan Universitas Jember maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan, dan lembaga terkait;
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

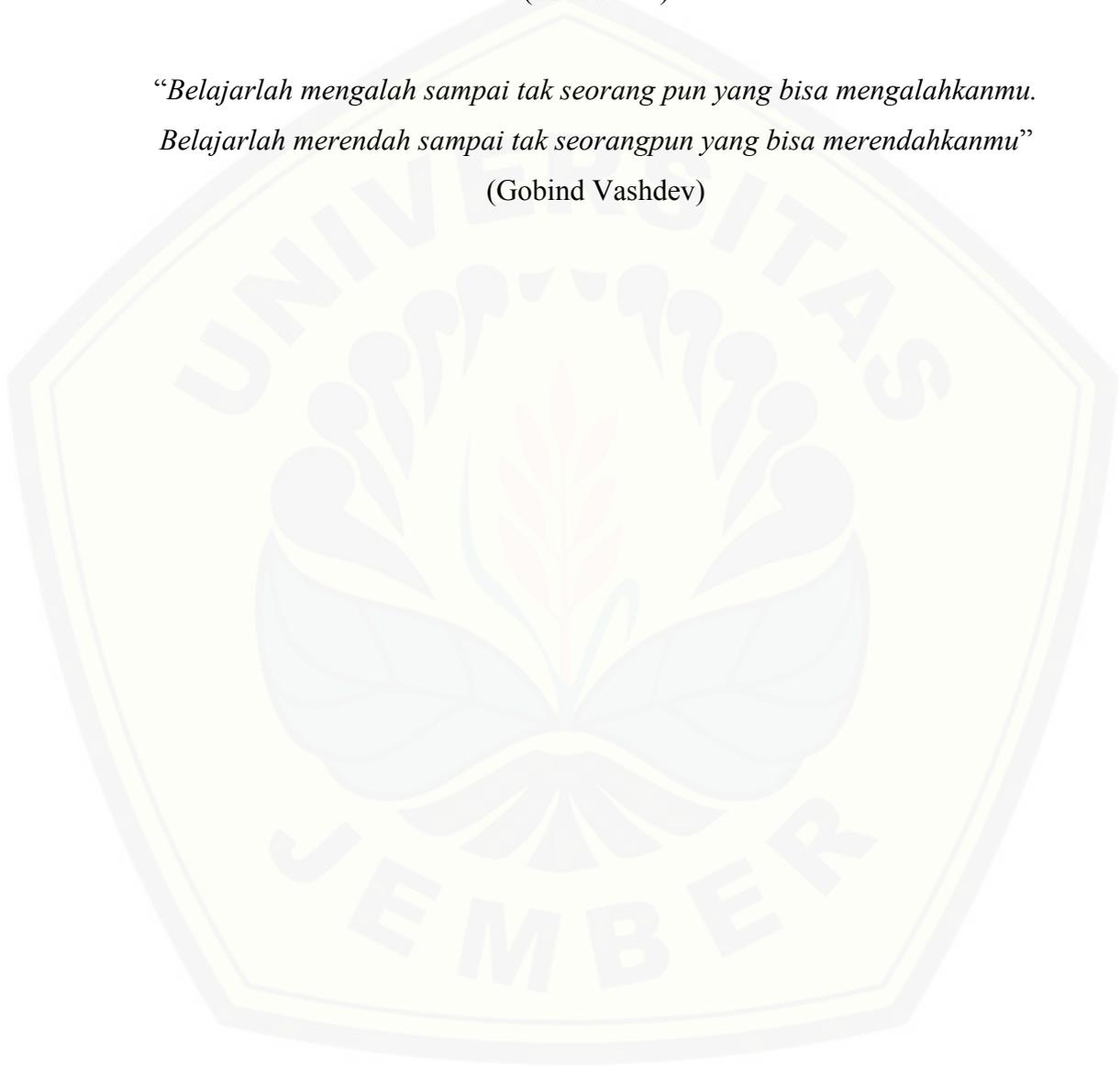
**MOTTO**

*“Mintalah, maka akan diberikan kepadamu;, carilah, maka kamu akan mendapat;  
ketoklah, maka pintu akan dibukakan bagimu”*

(Matius 7:7)

*“Belajarlah mengalah sampai tak seorang pun yang bisa mengalahkanmu.  
Belajarlah merendah sampai tak seorangpun yang bisa merendahkanmu”*

(Gobind Vashdev)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yosua Bresman Simamora

NIM : 121910101005

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisa Variasi Air Fuel Ratio (AFR) Terhadap Perilaku Ion dan Rambat Api Pembakaran Biogas Limbah Buah” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 7 Juni 2017

Yang menyatakan,

(Yosua Bresman Simamora)  
NIM 121910101005

**SKRIPSI**

**ANALISA VARIASI *AIR FUEL RATIO* (AFR) TERHADAP PERILAKU  
ION DAN RAMBAT API PEMBAKARAN BIOGAS LIMBAH BUAH**

Oleh

Yosua Bresman Simamora

NIM 121910101005

Pembimbing:

Dosen pembimbing Utama : Dr.Nasrul Iminnafik, S.T., M.T.

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

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “ANALISA VARIASI *AIR FUEL RATIO* (AFR) TERHADAP PERILAKU ION DAN RAMBAT API PEMBAKARAN BIOGAS LIMBAH BUAH” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : 7 Juni 2017

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

DPU,

DPA,

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

Dr. R. Koekoeh KW., S.T., M.Eng.  
NIP 19670708 199412 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.  
NIP 19680617 199501 1 001

M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T.  
NIP 19800307 201212 1 003

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

NIP 19661215 199503 2 001

## RINGKASAN

**Analysis of Variation of Air Fuel Ratio (AFR) Against Behavior of Ion and Flame of Fire of Biogas Burning of Fruit Waste;** Yosua Bresman Simamora, 121910101005; 2017: 52 pages; Mechanical Engineering Department of Engineering Faculty, University of Jember.

Jumlah Penduduk meningkat setiap tahunnya. Meningkatnya jumlah penduduk dan taraf hidup masyarakat, membutuhkan lebih banyak energi untuk memenuhi kebutuhannya. Meningkatnya jumlah penduduk maka kebutuhan terhadap energy terutama energi fosil juga akan ikut meningkat. Ketergantungan masyarakat terhadap energy fosil pada saat ini cukup tinggi. Salah satu metode penanganan limbah buah adalah menjadikan sebagai bahan substrat biogas. Buah yang digunakan pada penelitian ini adalah buah semangka, jambu, melon, dan belimbing. Diketahui bahwa energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbarui. Pemakaian bahan bakar fosil (minyak dan batubara) secara besar-besaran dapat berdampak pada pencemaran lingkungan. Tujuan dari penelitian ini yaitu (1) mengetahui laju rambat api biogas limbah buah dengan *purifikasi* KOH 4 M maupun tanpa *purifikasi*. (2) mengetahui perilaku ion api biogas limbah buah dengan *purifikasi* KOH 4 M maupun tanpa *purifikasi*. (3) mengetahui kalor pembakaran yang mampu diserap air biogas limbah buah dengan *purifikasi* KOH 4 M maupun tanpa *purifikasi*.

Penelitian dilaksanakan pada bulan September 2016 -Februari 2017 di Laboratorium Konveksi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Variabel penelitian menggunakan 3 variabel yaitu (1) Variabel Bebas, dimana variable bebas yang digunakan adalah variasi udara dengan biogas berbanding 4:1, 5:1, 6:1, 7:1, 8:1, 9:1 (2) Variabel Terikat, dimana variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang meliputi data-data yang diperoleh pada pengujian pemurnian biogas

menggunakan KOH 4 M dan pengujian karakteristik termal dengan menganalisis data-datanya yang meliputi: suhu air, perilaku ion, kecepatan rambat api. (3) Variabel Kontrol, dimana variabel kontrol penelitian ini merupakan variabel yang menyamakan persepsi mengenai penelitian ini yaitu siklus pemurnian, komposisi biogas, lama waktu fermentasi biogas.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rambat api biogas limbah buah tanpa purifikasi tertinggi berada pada AFR 4:1, sedangkan yang telah dipurifikasi berada pada AFR 5:1. Nilai pengujian ion tertinggi untuk biogas limbah buah tanpa purifikasi berada pada AFR 4:1, sedangkan yang telah dipurifikasi berada pada AFR 6:1. Nilai kalor pembakaran yang mampu diserap air tertinggi terdapat pada biogas yang telah dipurifikasi.

## SUMMARY

**Analysis of Variation of Air Fuel Ratio (AFR) Against Behavior of Ion and Flame of Fire of Biogas Burning of Fruit Waste;** Yosua Bresman Simamora, 121910101005; 2017: 52 pages; Mechanical Engineering Department of Engineering Faculty, University of Jember.

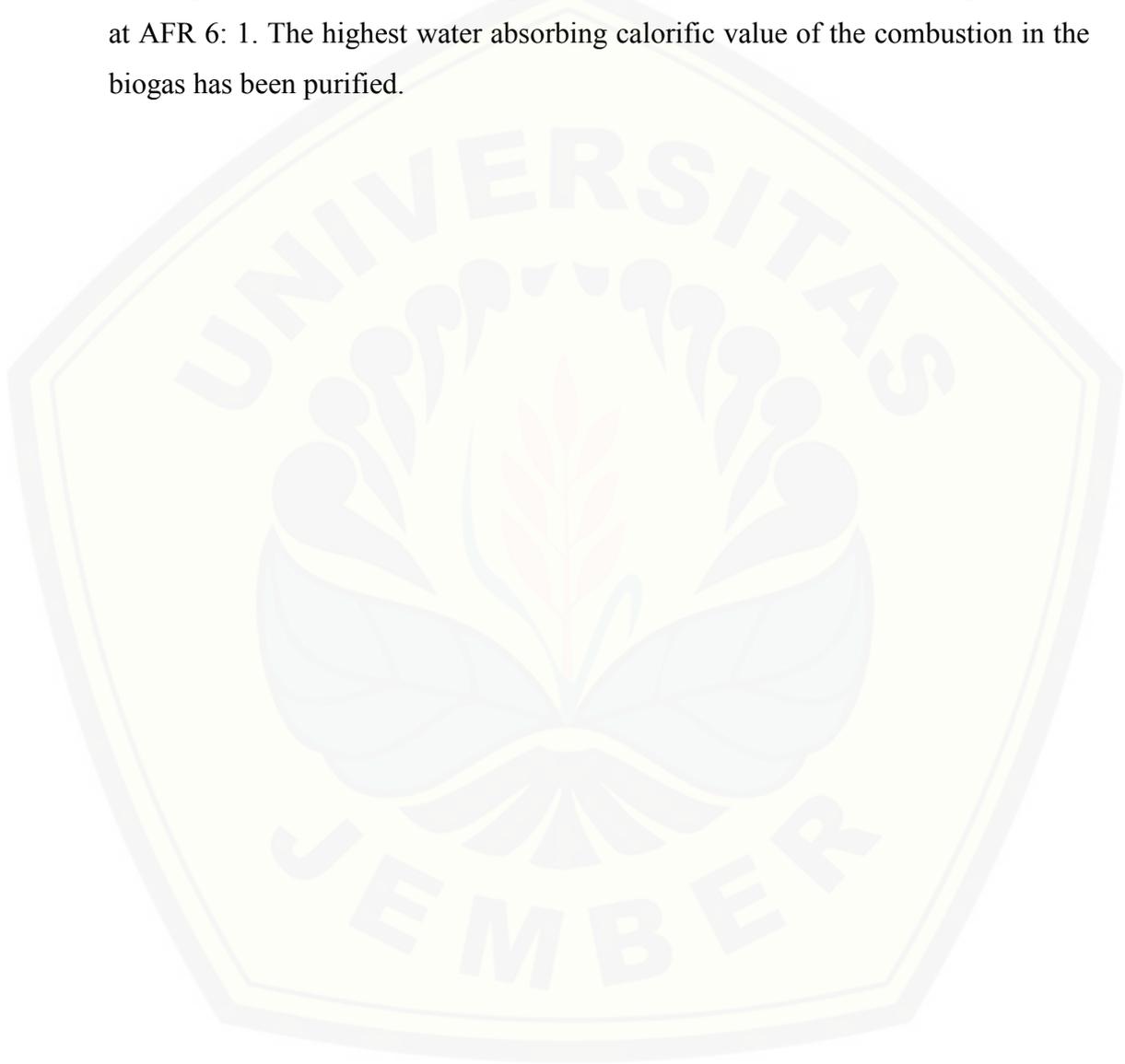
Population increases every year. Increasing population and living standards of society, need more energy to meet their needs. Increasing the number of population then the need for energy, especially fossil energy will also increase. The people's dependence on fossil energy is currently quite high. One method of handling fruit waste is to make as a substrate of biogas. The fruits used in this study are watermelon, guava, melon, and starfruit. It is known that fossil energy is a non-renewable energy. The massive use of fossil fuels (oil and coal) can have an impact on environmental pollution. The purpose of this research is (1) to know the rate of fire biogas fire vapor with KOH 4 M purification and without purification. (2) to know the behavior of biogas fire ion of fruit waste with KOH 4 M purification and without purification. (3) to know the combustion heat that can be absorbed by biogas water of fruit waste with KOH 4 M purification and without purification.

The research was conducted in September 2016 - February 2017 at the Energy Convection Laboratory of Mechanical Engineering Faculty of Jember University.

The research variables used 3 variables: (1) Independent variable, where the independent variable used is air variation with biogas versus 4: 1, 5: 1, 6: 1, 7: 1, 8: 1, 9: 1, (2) The bound variable, in which the variable of magnitude can't be fully determined by the researcher, but the magnitude depends on the independent variable. This study has a dependent variable that includes data obtained on biogas purification testing using KOH 4M and thermal characteristic testing by analyzing its data which includes: water temperature, ion behavior, flame velocity, (3) Control variables, where the control variables of this study are

variables that equate perceptions about this research that is purification cycle, biogas composition, duration of biogas fermentation time.

The results showed that the highest fire purification biogas fire value was in AFR 4: 1, while the purified was at AFR 5: 1. The highest value of ion testing for biogas of fruit waste without purification is at 4: 1 AFR, while the purified is at AFR 6: 1. The highest water absorbing calorific value of the combustion in the biogas has been purified.



## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Karakterisasi Biogas Berbasis Limbah Pasar (Sayuran) Yang Sudah Dipurifikasi Dengan KOH”. skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan tulus penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr.Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Dr. R. Koekoeh KW., S.T., M.En. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan kami dalam melaksanakan penelitian dan menyelesaikan skripsi ini;
2. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.. dan Bapak M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga penyusunan Skripsi ini dapat menjadi lebih baik;
3. Bapak Nurkoyim, S.T., M.T. yang telah meluangkan waktu untuk mengajari dan membimbing dalam melakukan penelitian sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik;
4. Teman-temanku (Ivan, Abdi, Roni, Hemas, Josua, Busro, Aji, Dheny, Alvin, Adimas, dan Yusuf) yang telah meluangkan waktunya untuk bekerja sama, saling memikul berat-ringan permasalahan yang dihadapi dalam penyelesaian Skripsi ini, sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
5. Saudaraku, Keluarga Besar Teknik Mesin'12 Universitas Jember, yang senantiasa menemani, membantu, memotivasi, memberi dukungan, dan semangat dalam menyelesaikan aktivitas akademik perguruan tinggi;
6. Civitas akademik baik dilingkungan Universitas Jember maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan, dan lembaga terkait;

7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

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

Jember, 7 Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	3
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
<b>2.1 Energi</b> .....	5
<b>2.2 Sampah</b> .....	6
<b>2.3 Biogas</b> .....	7
2.3.1 Biogas Sebagai Sumber Energi Alternatif .....	7
2.3.2 Biogas Dari Limbah Kotoran Ternak.....	8
<b>2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas</b> .....	12
<b>2.5 Absorpsi</b> .....	14
2.5.1 Larutan KOH (Kalium Hidroksida) .....	16
<b>2.6 Air Fuel Ratio (AFR)</b> .....	16
<b>2.7 Karakteristik Pembakaran</b> .....	18
2.7.1 Nyala Api .....	18
2.7.2 Kalor Pembakaran .....	20
2.7.3 Rambat Api Pada Purifikasi Biogas .....	21
2.7.4 Perilaku Ion .....	22
<b>2.8 Helle – Shaw Cell</b> .....	24
<b>2.9 Hipotesa</b> .....	25
<b>BAB 3 METODE PRAKTIKUM</b>	
<b>3.1 Metode Penelitian</b> .....	26
<b>3.2 Tempat dan Waktu Penelitian</b> .....	26
3.2.1 Tempat Penelitian .....	26
3.2.2 Waktu Penelitian .....	26
<b>3.3 Alat dan Bahan Penelitian</b> .....	27
3.3.1 Alat .....	27
3.3.2 Bahan .....	28

<b>3.4 Variabel Penelitian</b> .....	28
3.4.1 Variabel Bebas .....	28
3.4.2 Variabel Terikat .....	28
3.4.3 Variabel Kontrol .....	29
<b>3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data</b> .....	29
<b>3.6 Proses Pengisian Bahan Baku Biogas</b> .....	29
3.6.1 Tahap Pembuatan Reaktor Biogas .....	29
<b>3.7 Peralatan Penelitian</b> .....	30
3.7.1 Alat Purifikasi .....	30
3.7.2 Tahap Pemurnian Biogas .....	31
3.7.3 Pengujian Rambat Api dan Perilaku Ion.....	32
<b>3.8 Analisis Data</b> .....	35
<b>3.9 Diagram Alir</b> .....	36
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
<b>4.1 Komposisi Biogas</b> .....	37
<b>4.2 Kalor Pembakaran</b> .....	38
<b>4.3 Cepat Rambat Api</b> .....	42
<b>4.4 Perilaku Ion</b> .....	47
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	52
<b>5.2 Saran</b> .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Komposisi Biogas .....	9
2.2 Ukuran Digester dan Rata-rata Bahan Baku Hari <sup>-1</sup> .....	10
2.3 Jumlah Kebutuhan Pembuatan Reaktor Biogas Skala Rumah Tangga .....	11
2.4 Perbandingan Biogas Dengan Sumber lain /1 m <sup>3</sup> .....	11
2.5 Pembagian temperatur dan waktu pembentukan .....	13
2.6 Unsur pada kandungan biogas .....	14
2.7 Data hasil pengujian sensor ion .....	23
4.1 Persentase komposisi biogas .....	37
4.2 Perubahan Suhu Air Pada Biogas Sebelum Purifikasi .....	38
4.3 Perubahan Suhu Air Pada Biogas Sebelum Purifikasi .....	39
4.4 Kalor yang diserap Air .....	40
4.5 Daya Pada Pemanasan Air .....	41
4.6 Hasil Perhitungan Cepat Rambat Api Pembakaran Biogas .....	46
4.7 Perilaku Ion Sebelum Purif .....	48
4.8 Besar Tegangan .....	50

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Konfigurasi Absorber-Stipper.....	15
2.2 Hubungan variasi Air Fuel Ratio (AFR) .....	18
2.3 Pola Rambat Api Pada Berbagai Campuran 7,5 : 1 .....	21
2.4 Pola Rambat Api Pada Berbagai Campuran 10 : 1 .....	22
2.5 Helle Shaw-Chell .....	25
3.1 Reaktor Biogas .....	30
3.2 Alat Purifikasi .....	31
3.3 Skema Pemurnian Biogas .....	32
3.4 Proses Pencampuran Biogas dan Udara .....	33
3.5 Pembuatan Data Perilaku Ion dan Perekaman Rambat Api .....	33
3.6 Diagram alir Pada Pemurnian Biogas .....	36
4.1 Kandungan Gas setelah Purifikasi .....	38
4.2 Perbandingan Kalor Sebelum Dan Seusdah Purifikasi .....	40
4.3 Perbandingan Daya Pemanasan Sebelum Dan sesudah Purifikasi .....	41
4.4 Rambat Api Pembakaran Biogas Sebelum Purifikasi .....	42
4.5 Grafik Rambat Api Pada Biogas Sebelum Purifikasi .....	43
4.6 Rambat Api Pembakaran Biogas Setelah Purifikasi .....	44
4.7 Grafik Rambat Api Biogas Setelah Purifikasi .....	44
4.8 Grafik Perilaku Ion Sebelum Purifikasi .....	47
4.6 Rata-rata Perilaku Ion Pada Biogas Sudah Purifikasi .....	49

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Jumlah penduduk akan meningkat setiap tahunnya. Meningkatnya jumlah penduduk dan taraf hidup masyarakat, membutuhkan lebih banyak energi untuk memenuhi kebutuhannya. Dengan meningkatnya jumlah penduduk maka kebutuhan terhadap energi terutama energi fosil juga akan ikut meningkat. Kebutuhan yang dimaksud adalah energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan serta mendistribusikan secara merata sarana pemenuhan kebutuhan pokok manusia. Ketergantungan masyarakat terhadap energi fosil khususnya pada saat ini cukup tinggi. Limbah ini perlu penanganan yang tepat agar tidak mengganggu lingkungan. Salah satu metode penanganan limbah buah- buahan adalah menjadikannya sebagai bahan substrat biogas. Buah- buah yang digunakan pada penelitian ini adalah buah semangka, jambu, melon, dan belimbing. Dapat diketahui bahwa energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbarui. Pemakaian bahan bakar fosil (minyak dan batubara) secara besar-besaran dapat berdampak pada pencemaran lingkungan. Selain dari itu dengan meningkatnya kebutuhan energi pada setiap tahun akan membuat cadangan energi fosil yang ada di dalam bumi semakin menipis. Menipisnya jumlah energi dapat dilihat berdasarkan dimana jumlah dari energi fosil setiap hari selalu berkurang akibat eksplorasi yang dilakukan setiap tahunnya. Tercatat di Indonesia mampu mengekspor minyak mentah dengan jumlah rata-rata 400.000 barel, namun jumlah cadangan minyak dalam negeri kurang dari 5 milyar barel sehingga dapat diprediksi dalam jangka waktu 10 tahun kedepan minyak mentah yang tersedia akan habis (Gita, dkk, 2013). Untuk mengatasi hal-hal tersebut diperlukan langkah-langkah strategis sebagai pengganti energi fosil yang tidak dapat diperbarui yaitu dengan energi alternatif sebagai penambahan untuk mengantisipasi habisnya cadangan minyak dunia.

Berbagai penelitian telah dilakukan sebagai upaya untuk mengkonversi energi fosil, khususnya energi berbahan baku minyak bumi, gas dan batu bara. Salah satunya dengan pemanfaatan biogas dari kotoran sapi sebagai pengganti

kompromi bahan bakar minyak dan gas. Kompor biogas yang akan digunakan sangat cocok jika dikembangkan di Indonesia karena jumlah sapi yang terdapat di Indonesia pada tahun 2012 mencapai 14 juta untuk sapi potong sedangkan untuk sapi perah terdapat 500 ribu ekor (Kulon Progo, 2012). Pada populasi sapi yang cukup banyak sangat menguntungkan jika dikonversi menjadi biogas.

Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari dekomposisi bahan organik secara anaerobik (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan suatu gas yang sebagian besar berupa gas metana (yang memiliki sifat mudah terbakar) dan karbon dioksida. Adapun unsur-unsur yang terkandung dalam biogas didominasi gas metana yang terdiri dari  $\text{CH}_4$  (55-75%),  $\text{CO}_2$  (24-45%),  $\text{N}_2$  (0-0.3%),  $\text{O}_2$  (0.1-0.5%),  $\text{H}_2\text{S}$  (0-3%), dan  $\text{H}_2$  (1-5%) (Uwar dkk, 2012). Besarnya energi dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana ( $\text{CH}_4$ ) yang ada dalam biogas tersebut. Semakin tinggi konsentrasi metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil konsentrasi metana semakin kecil nilai kalor dari biogas. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu menghilangkan hydrogen sulfur, kandungan air dan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) (Agung dkk, 2008)

Pada biogas masih banyak terdapat gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yaitu sekitar 24-45%. Gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) sulit dipisahkan dengan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) sehingga akan mempengaruhi laju rambat api pada biogas. Semakin tinggi kadar karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) maka proses pembakaran tidak optimum (Mara, 2013). Untuk mengurangi kadar  $\text{CO}_2$  dalam biogas dilakukan upaya pemurnian atau biasa dikenal dengan istilah *purifikasi*. Berdasarkan penelitian terdahulu KOH sebagai larutan *purifikator* memiliki kemampuan penyerapan  $\text{CO}_2$  maksimum (Maryana dkk, 2008). Lama waktu purifikasi dan kadar senyawa KOH pada zeolite berpengaruh terhadap nilai kalor biogas, dimana semakin tinggi kadar senyawa KOH yang digunakan, kemampuan absorpsi *zeolite* semakin meningkat sehingga mengakibatkan nilai kalor biogas semakin tinggi. Selain itu kemampuan *absorpsi zeolite* akan menurun jika digunakan terus menerus karena larutan *purifikasi* mengalami kejenuhan akibat terbentuknya lapisan film pada permukaan *zeolite* (Himidi dkk, 2011). Karakteristik yang dapat dijadikan tolak ukur potensi

api pada biogas limbah buah antara lain: warna, suhu, stabilitas, nilai kalor, suhu air, perilaku ion, dan laju rambat api.

Penambahan inhibitor CO<sub>2</sub> terhadap refrigeran hidrokarbon dengan propane 99,5% juga mempengaruhi batas mampu nyala. CO<sub>2</sub> menurunkan kecepatan rambat api pembakaran karena molekul CO<sub>2</sub> menghambat reaksi antara molekul refrigeran hidrokarbon kandungan 99,5% dengan molekul udara (Nurhadi, 2011)

### 1.1 Rumusan Masalah

Dari uraian diatas maka dapat dibuat perumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana pengaruh purifikasi KOH 4 M terhadap laju rambat api biogas limbah buah.
2. Bagaimana pengaruh purifikasi KOH 4 M terhadap perilaku ion api biogas limbah buah.
3. Bagaimana pengaruh purifikasi KOH 4 M terhadap kalor yang mampu diserap air biogas limbah buah pada kompor biogas.

### 1.2 Tujuan

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

1. Mengetahui laju rambat api biogas limbah buah dengan *purifikasi* KOH 4 M maupun tanpa *purifikasi*.
2. Mengetahui perilaku ion api biogas limbah buah dengan *purifikasi* KOH 4 M maupun tanpa *purifikasi*.
3. Mengetahui kalor pembakaran yang mampu diserap air biogas limbah buah dengan *purifikasi* KOH 4 M maupun tanpa *purifikasi*.

### 1.3 Manfaat Penelitian

Diharapkan penelitian ini dapat memberikan manfaat berupa hasil bagi masyarakat. Manfaat pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Dapat memberikan informasi mengenai pemanfaatan limbah buah sebagai bahan baku pembuatan biogas

2. Memberikan informasi mengenai cara peningkatan unjuk kerja biogas
3. Memberikan dampak positif kepada masyarakat sehingga mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan memberdayakan energi biogas sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis.

#### **1.4 Batasan Masalah**

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

1. Model bentuk dan bahan material reaktor biogas dianggap tidak mempengaruhi komposisi biogas.
2. Komposisi bahan biogas setiap kali pengisian dianggap sama
3. Kondisi suhu dan kelembapan ruangan dianggap tetap.
4. Komposisi biogas dan udara setiap pengujian dianggap sama.
5. Kalor yang hilang selama proses pengujian diabaikan
6. Komposisi limbah buah diabaikan

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Energi

Kenaikan Kebutuhan bahan bakar semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah populasi dan aktivitas manusia. Dilain sisi kenaikan harga minyak dunia semakin tajam dan ketersediaan cadangan bahan bakar minyak yang semakin menurun. Maka dari itu untuk melakukan penghematan energi secara menyeluruh. Program penghematan energi sebenarnya telah dilakukan sejak pasokan bahan bakar minyak bumi yang berasal dari sumber energi fosil semakin menipis. Salah satu jalan untuk menghemat bahan bakar minyak (BBM) adalah dengan mencari sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui (*renewable*). Sebenarnya sumber energi alternatif cukup tersedia, seperti energi matahari, energi angin dan air. Selama ini energi yang paling banyak dimanfaatkan adalah tenaga air, namun demikian pengembangan sumber energi elternatif lain masih terbuka. Oleh karena itu dibutuhkan sumber energi alternatif yang bahan dasarnya banyak terdapat di Indonesia dan belum termanfaatkan (Hambali dkk., 2008). Energi alternatif yang dapat dikembangkan dengan teknologi tepat guna dan relatif sederhana adalah biogas.

Konsumsi Energi Indonesia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun sejalan dengan meningkatnya laju pembangunan dan meningkatnya pola hidup masyarakat. Peningkatan ini terjadi hampir pada semua sektor yang mencakup sektor industri, transportasi, komersial, rumah tangga, dan pembangkit listrik (DEN, 2014). Konsumsi energi mengalami pertumbuhan rata-rata sebesar 4,1% per tahun. Total konsumsi energi meningkat dari 117 juta TOE pada tahun 2003 menjadi 174 juta TOE di tahun 2013 (DEN, 2014). Perkembangan produksi dan pasokan minyak bumi selama 2003 - 2013 mengalami penurunan yaitu sebesar 419,26 juta barel pada tahun 2003 dan menjadi sekitar 300,83 juta barel pada tahun 2013. Tingginya konsumsi BBM didalam negeri dan penurunan produksi minyak bumi telah menyebabkan ekspor minyak bumi menurun, sebaliknya impor minyak bumi dan BBM terus meningkat.

## 2.2 Sampah

Tumpukan limbah buah-buahan ini jarang dimanfaatkan oleh masyarakat, karena sudah tidak layak dikonsumsi untuk makanan ternak. Biasanya sampah buah-buahan hanya dibiarkan saja, sehingga menimbulkan bau yang dapat mengganggu kebersihan lingkungan dan kesehatan. Selain itu sudah sejak lama sampah buah-buahan menjadi masalah yang serius, seperti menimbulkan bau yang mengganggu pernafasan dan berpengaruh pada kesehatan. Oleh sebab itu sampah padat ini merupakan sumber energi alternatif yang potensial untuk menghasilkan biogas berbasis teknologi tepat guna. Selain itu teknologi ini juga mempunyai banyak keuntungan, yaitu menghasilkan gas yang dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Sampah buah-buahan (*slurry*) yang telah digunakan untuk menghasilkan gas dapat digunakan sebagai pupuk organik yang sangat baik, karena *slurry* merupakan pupuk organik yang sangat kaya akan unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tanaman. Bahkan, unsur-unsur tertentu seperti protein, selulose, lignin, dan lain-lain tidak bisa digantikan oleh pupuk kimia. (Mulyono, D, 2000)

Berdasarkan data dari DPU Cipta Karya dan Tata Ruang Kabupaten Jember, produksi sampah di Kabupaten Jember cenderung meningkat setiap tahun. Timbunan sampah pada tahun 2010 sebanyak 1.169.068 m<sup>3</sup>, dan pada tahun 2011 meningkat menjadi 1.208.241 m<sup>3</sup> (Widyasari dkk, 2013). Timbunan sampah yang dihasilkan di Kabupaten Jember mencapai 3.287,51 m<sup>3</sup>/hari dengan komposisi sampah organik sebesar 81,9%, sampah non-organik sebesar 13,6% dan sampah yang bersifat beracun sebesar 4,5% (Widyasari dkk, 2013). Sampah yang tidak dikelola dengan baik akan menjadi penyebab gangguan dan ketidakseimbangan lingkungan. Buah-buahan yang digunakan pada penelitian ini adalah buah semangka, jambu, melon, dan belimbing. Sampah yang menumpuk dan berserakan akan mengganggu nilai estetika lingkungan, menimbulkan bau busuk, penyebab terjadinya banjir, pencemaran udara, pencemaran air, dan menjadi sarang penyakit. Sampah akan menjadi sangat bermanfaat dan tidak menimbulkan masalah jika dapat dimanfaatkan dengan baik.

## 2.3 Biogas

Pengertian biogas adalah pemanfaatan kotoran ternak dalam bentuk lain dengan mengolahnya menjadi sumber energi dalam bentuk gas. Proses dekomposisi anaerobik dibantu oleh sejumlah mikroorganisme, terutama bakteri metan. Suhu yang baik untuk proses fermentasi adalah 30-55°C, dimana pada suhu tersebut mikroorganisme dapat bekerja secara optimal merombak bahan-bahan organik. Kandungan utama dalam biogas adalah metana dan karbon dioksida (Wahyuni dkk, 2005). Pada umumnya gas yang terbentuk dari penguraian bahan organik oleh mikroorganisme terdiri dari campuran gas metana  $\text{CH}_4$  (55-70%),  $\text{CO}_2$  (25-50%),  $\text{H}_2\text{O}$  (1,5%),  $\text{N}_2$  (0-0,5%), dan  $\text{NH}_3$  (0-0,05%) (Deublein dan Steinhauser, 2008). Kandungan gas metan ( $\text{CH}_4$ ) yang tinggi menjadikan biogas sebagai salah satu sumber energi alternatif baru terbarukan yang dapat dikembangkan dengan teknologi tepat guna yang proses pembuatannya relatif sederhana. Manfaat energi biogas adalah sebagai pengganti bahan bakar khususnya minyak tanah dan kayu bakar untuk keperluan memasak, sebagai sumber pembangkit tenaga listrik. Dalam skala besar, biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik. Selain itu, dari proses produksi biogas akan dihasilkan sisa kotoran ternak yang dapat dipergunakan sebagai pupuk organik pada tanaman.

### 2.3.1 Biogas Sebagai Sumber Energi Alternatif

Biogas adalah gas mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerobik (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara) (Rahayu, dkk, 2009). Pada umumnya semua jenis bahan organik bisa diproses untuk menghasilkan biogas, namun demikian hanya bahan organik (padat, cair) homogen seperti kotoran dan urin (air kencing) hewan ternak yang cocok untuk sistem biogas sederhana. Didaerah yang cukup banyak industri pada proses makanan antara lain: tahu, tempe, ikan pindang atau brem bisa menyatukan saluran limbahnya ke dalam sistem biogas sehingga limbah industri tersebut tidak mencemari lingkungan sekitarnya. Hal ini memungkinkan karena limbah industri tersebut berasal dari bahan organik yang homogeni. Jenis

bahan organik yang diproses sangat mempengaruhi produktivitas sistem biogas disamping parameter-parameter lain seperti digester, pH, tekanan, dan kelembaban udara.

Biogas dapat dipergunakan dengan cara yang sama seperti gas lain yang mudah terbakar. Pembakaran biogas dilakukan melalui proses pencampuran dengan sebagian oksigen ( $O_2$ ). Nilai kalori dari  $1\text{ m}^3$  biogas sekitar 6.000 watt jam yang setara dengan setengah liter minyak diesel (Rahayu, dkk, 2009). Oleh karena itu, biogas sangat cocok digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan pengganti minyak tanah, LPG, butane, batubara, maupun bahan-bahan lain yang berasal dari fosil.

Salah satu cara untuk mendapatkan hasil pembakaran yang optimal, perlu dilakukan pra kondisi sebelum biogas dibakar, yaitu melalui proses pemurnian/penyaringan karena didalam biogas terkandung beberapa gas lain yang tidak menguntungkan. Gas yang tidak menguntungkan tersebut misalnya gas *hydrogen sulfide* yang tinggi yang terdapat dalam biogas jika dicampur dengan oksigen dengan taraf perbandingan 1:20, maka akan menghasilkan gas yang sangat mudah meledak. Tetapi sampai saat ini belum pernah ada dilaporkan terjadinya ledakan pada sistem biogas sederhana. Pada proses produksi biogas akan dihasilkan sisa kotoran ternak yang dapat langsung dipergunakan sebagai pupuk organik pada tanaman/budidaya pertanian (Rahayu, dkk, 2009).

Limbah biogas yang dihasilkan yaitu berasal dari kotoran hewan ternak yang telah hilang gasnya (*slurry*) merupakan pupuk organik yang sangat kaya akan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman. Unsur-unsur tertentu seperti protein, selulose, lignin, dan lain lain tidak dapat digantikan oleh pupuk kimia (Rahayu, dkk, 2009). Pada penelitian yang akan dilakukan hanya fokus pada pemanfaatan energi biogas.

### 2.3.2 Biogas Dari Limbah Kotoran Ternak

Biogas merupakan hasil dari fermentasi bahan organik dalam kondisi anaerob karena diproses secara alami, gas tersebut merupakan campuran beberapa gas yang tergolong sebagai bahan bakar dimana gas yang dominan adalah  $CH_4$

dan yang lain yang jauh lebih kecil adalah CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan lainnya. Biogas ini memiliki nilai kalor yang cukup tinggi yaitu pada kisaran 4800-6700 kkal/m<sup>3</sup>, sedangkan gas metana murni nilai kalornya 8900 kkal/m<sup>3</sup> ( Melvin Emil, dkk, 2005).

Komposisi biogas adalah hal yang perlu diperhatikan apabila ingin membuat sebuah biogas yang berada pada kondisi optimum, pada Tabel 2.1 menunjukkan komposisi gas yang terkandung didalam biogas.

Tabel 2.1 Komposisi Biogas

<b>Komponen</b>	<b>Konsentrasi</b>
Metana	50-7 % vol
Karbon Dioksida	25-45% vol
Air	2-7 % vol (20-40°C)
Hidrogen Sulfida	20-20.000 ppm
Nitrogen	<2 % vol
Oksigen	<2% vol
Hidrogen	<1% vol

Sumber : *Kaltschmitt dan Hartman (2001)*

Biogas pada umumnya mengandung gas metana (CH<sub>4</sub>) dan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) serta beberapa kandungan unsur kimia lainnya dalam jumlah yang cukup kecil yaitu Hydrogen Sulfida (H<sub>2</sub>S), Ammonia (NH<sub>3</sub>), Hydrogen (H<sub>2</sub>) dan Nitrogen. Energi yang terkandung dalam biogas ditentukan berdasarkan seberapa konsentrasi metana (CH<sub>4</sub>). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar juga kandungan energi pada biogas.

Biogas disebut ramah lingkungan karena biogas dapat mengurangi efek rumah kaca. Selain dari itu biogas juga dapat mengurangi penggunaan bahan bakar fosil lainnya seperti LPG maupun kayu bakar. Pengembangan biogas secara intensif akan menghasilkan energi biogas yang besar dan cukup untuk mengurangi efek rumah kaca atau global warming yang sekarang ini sedang terjadi. Dibawah ini pada Tabel 2.2 akan menjelaskan kandungan limbah kotoran ternak yang sesuai dengan ukuran digesternya.

Tabel 2.2 Ukuran Digester dan Rata-rata Bahan Baku Hari<sup>-1</sup>

Ukuran Digester (m <sup>3</sup> )	Kotoran Hari <sup>-1</sup>	Air Hari <sup>-1</sup> (Liter)
4	24-40	24-40
6	40-60	40-60
8	60-80	60-80
10	80-100	80-100

Sumber: Rura (2012)

Pada proses dekomposisi anaerobik dibantu dengan sejumlah mikroorganisme, terutama bakteri metan. Suhu yang terbaik pada proses fermentasi adalah 30°C-55°C (suhu yang hangat). Dengan suhu tersebut mikroorganisme dapat bekerja secara optimal merombak bahan-bahan organik. Pembentukan yang dilakukan yaitu dengan fermentasi fases (kotoran) ternak, misalnya kotoran sapi, kerbau, kuda, babi, dan sebagainya dalam suatu ruangan yang disebut “digester”. Dalam digester tersebut kotoran dicerna dan difermentasi oleh bakteri yang menghasilkan gas metan serta gas-gas lain. Pemanfaatan sampah organik sangat bagus sebagai bahan dasar pembuatan biogas, mengingat sampah organik yang ada di Indonesia masih belum dikelola dengan baik. Sampah organik yang dimanfaatkan untuk biogas adalah dengan menggunakan limbah buah. Pada daerah Kabupaten Jember sampah organik dan anorganik dicampur menjadi satu kemudian dibuang pada TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Hal ini dapat dijadikan potensi pengolahan sampah organik sebagai bahan dasar pembuatan biogas.

Untuk reaktor biogas skala kelompok tani ternak reaktor didesain dengan kapasitas 18 m<sup>3</sup> untuk menampung kotoran sapi sebanyak 10-12 ekor. Berdasarkan perhitungan desain, reaktor mampu menghasilkan biogas sebanyak 6 m<sup>3</sup> hari<sup>-1</sup>. Untuk membuat reaktor biogas skala limbah buah diperlukan beberapa hal berikut (Rahayu, dkk, 2009).

Tabel 2.3 Jumlah kebutuhan pembuatan reaktor biogas skala rumah tangga

Bahan	Jumlah
Volume Reaktor (plastik)	4000 liter/4 m <sup>3</sup>
Volume Penampung Gas (plastik)	2500 liter
Kompor Biogas	1 buah
Drum pengaduk Bahan	1 buah
Pengaman gas	1 buah
Selang saluran gas	± 10 m
Kebutuhan bahan baku	2 – 3 ekor sapi
Biogas yang dihasilkan	4 m <sup>3</sup> perhari

Sumber: (Rahayu,dkk, 2009).

Berdasarkan hasil riset yang sudah pernah dilakukan, diketahui bahwa setiap 10 kg kotoran ternak sapi berpotensi menghasilkan 360 liter biogas dan hasil akhir dari proses pengolahan biogas dapat dijadikan kompos (Tertius, dkk 2008). Kesetaraan biogas dengan sumber energi lain dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Perbandingan Biogas dengan Sumber Lain/1 m<sup>3</sup>

Bahan Bakar	Perbandingan Biogas
LPG	0,46 kg
Minyak Tanah	0,62 Liter
Minyak Solar	0,52 Liter
Bensin	0,80 Liter
Gas Kota	1,53 m <sup>3</sup>
Kayu Bakar	3,50 kg

Sumber: (Jamil, dkk, 2006)

Pada 1 m<sup>3</sup> biogas dapat bermanfaat dalam kebutuhan sehari-hari, misalnya (Jamil,dkk, 2006) :

- Dapat menyalakan lampu 60 W selama 7 jam
- Dapat memasak 3 macam masakan untuk 4 orang

- c. Dapat membangkitkan listrik 1,25 KW
- d. Dapat menjalankan 300 Liter kulkas selama 3 jam
- e. Dapat menjalankan mesin 2 HP selama 1 jam

#### 2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas

Untuk mengkonversi zat organik menjadi biogas secara efektif, mikroorganisme membutuhkan kondisi yang ideal untuk melakukan penguraian bahan organik. Berikut merupakan kondisi ideal yang dibutuhkan mikroorganisme untuk berkembang biak dan memproduksi biogas secara efektif.

a. Lingkungan tanpa udara (*anaerobik*)

Proses pembentukan gas metan berlangsung pada keadaan tanpa udara, disebabkan biodigester harus tetap dijaga dalam keadaan anaerobik. Udara ( $O_2$ ) yang memasuki biodigester menyebabkan penurunan produksi gas metan karena bakteri metanogen berkembang pada kondisi yang tidak sepenuhnya anaerobik.

b. Kandungan Air

Kandungan air yang terdapat pada biodigester sangat mempengaruhi hasil dari pembentukan biogas. Menurut Sadaka dan Eangler (2003), air berperan sangat penting dalam pergerakan dan pertumbuhan mikroba, transport nutrisi, dan meningkatkan perpindahan massa partikel-partikel substrat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Ratnaningsih (2009), penambahan air kedalam bahan isian bertujuan untuk dapat memenuhi kadar air yang disyaratkan untuk pembentukan biogas, yaitu 91-93%.

c. Derajat Kemasaman (pH)

Bakteri tidak dapat berkembang dengan baik dan dapat menyebabkan kematian pada keadaan pH yang tidak sesuai. Setiap kelompok mikroba yang terlibat dalam degradasi anaerobik memiliki rentang pH tertentu untuk pertumbuhan yang optimal. Untuk bakteri asidogen, pH optimalnya sekitar 6, sedangkan untuk bakteri asetogen dan metanogen, pH optimal sekitar 7

(Rahayu, dkk, 2015). Bakteri-bakteri metanogenik sangat peka terhadap pH dan tidak bertahan hidup dibawah pH 6. Kemudian proses pencernaan berlangsung, konsentrasi  $\text{NH}_4$  bertambah pencernaan nitrogen dapat meningkatkan nilai pH di atas 8 (Sudrajat H.R 2006).

d. Rasio Karbon dan Nitrogen

Rasio C/N yang ideal untuk anaerobik biodigester berkisar antara 20:1 dan 30:1, tetapi rasio ini akan bervariasi untuk bahan baku yang berbeda dan terkadang untuk bahan baku yang sama (Marchaim dalam Mifthah & Dwi, 2012). Sedangkan menurut Herawati dan Wibawa (2010), rasio C/N jerami padi sebesar 64,86 dan rasio C/N sawi hijau adalah 18,44. Perbandingan C/N yang terlalu rendah akan menghasilkan biogas dengan kandungan  $\text{CH}_4$  rendah,  $\text{CO}_2$  tinggi,  $\text{H}_2$  rendah dan  $\text{N}_2$  tinggi, karena pada kandungan C/N yang rendah, bakteri yang berperan dalam menghasilkan gas metan kekurangan unsur karbon untuk bisa berkembang dan melangsungkan gas metan. Perbandingan C/N yang terlalu tinggi akan menghasilkan biogas dengan kandungan  $\text{CH}_4$  rendah,  $\text{CO}_2$  tinggi,  $\text{H}_2$  tinggi, dan  $\text{N}_2$  rendah. Perbandingan C/N yang seimbang akan menghasilkan biogas dengan  $\text{CH}_4$  tinggi,  $\text{CO}_2$  sedang,  $\text{H}_2$  dan  $\text{N}_2$  rendah (Fry, 1973).

e. Temperatur

Aktifitas mikroorganisme dalam berkembang biak dan mencerna bahan organik akan berlangsung baik pada suhu yang ideal. Menurut Seadi, dkk, (2008), Terdapat tiga pembagian temperatur pada sistem pembentukan biogas, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Pembagian temperatur dan waktu pembentukan

<i>Thermal Stage</i>	<i>Process temperatures</i>	<i>Minimum retention time</i>
<i>Psychrophilic</i>	$<20^\circ\text{C}$	70 to 80 days
<i>Mesophilic</i>	30 to $42^\circ\text{C}$	30 to 40 days
<i>thermophilic</i>	43 to $55^\circ\text{C}$	15 to 20 days

Sumber: Seadi (2008)

## 2.5 Absorpsi

Absorpsi merupakan proses pemisahan dengan mencampurkan gas dengan cairan. *Adsorbent* dapat menyerap fluida, baik cair maupun gas sehingga nantinya akan membentuk lapisan tipis pada permukaan zat tersebut. Menurut Deublein dan Steinhäuser (2008), kandungan yang terdapat dalam biogas terdiri dari beberapa unsur, diperlihatkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Unsur pada Kandungan Biogas

Komposisi pada Biogas	%
CH <sub>4</sub>	55-70
CO <sub>2</sub>	25-50
H <sub>2</sub> O	1,5
N <sub>2</sub>	0-0,5
NH <sub>3</sub>	0-0,05

Sumber: Deublein dan Steinhäuser (2008)

Kandungan gas selain metana merupakan zat pengotor (*inhibitor*) yang menghambat dan menurunkan laju reaksi pembakaran pada biogas, yang salah satunya adalah karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Karbon dioksida akan terurai dan bekerja dengan mengganggu rantai reaksi kimia pembakaran, sehingga reaksi kimia pembakaran terhambat. Biogas dapat terbakar apabila terdapat kadar metana minimal 60% (Hessami dkk, 1996). Keadaan yang tidak sesuai menyebabkan pembentukan biogas tidak maksimal, dimana gas yang dihasilkan sangat sedikit atau gas yang dihasilkan sebagian besar adalah CO<sub>2</sub>. Bila kadar CO<sub>2</sub> tinggi maka akan mengakibatkan nilai kalor biogas tersebut rendah, sebaliknya jika kadar CH<sub>4</sub> tinggi maka biogas tersebut akan memiliki nilai kalor yang tinggi (Hamidi, 2011). Pemurnian/penyerapan, dengan cara mengikat CO<sub>2</sub> dalam larutan purifikator.

Absorpsi merupakan salah satu proses separasi dalam industri kimia dimana suatu campuran gas dikontakkan dengan suatu cairan penyerap tertentu sehingga pemurnian tersebut dilakukan dengan cara menyerap CO<sub>2</sub> yang terdapat dalam biogas, sehingga kadarnya dapat berkurang. Besar kecilnya absorpsi dipengaruhi jenis absorben, jenis zat yang akan diabsorpsi, konsentrasi absorben, luas

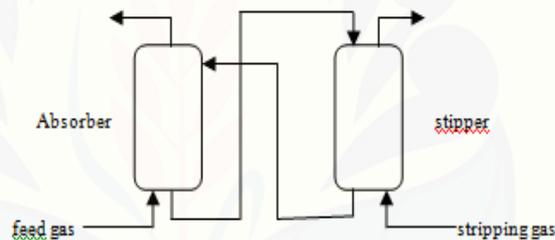
permukaan, temperatur, dan tekanan (Cundari dkk., 2014). Ada dua macam proses absorpsi, yaitu:

a. Absorpsi fisik

Absorpsi fisik adalah proses penyerapan gas-cair yang disebabkan oleh Gaya Van Der Waals (penyebab terjadinya kondensasi untuk membentuk cairan yang ada pada permukaan absorben), contoh reaksi ini adalah absorpsi gas  $H_2S$  dengan pelarut air, metanol atau propilen (Cundari, dkk, 2014).

b. Absorpsi Kimia

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



Gambar 2.1 Konfigurasi absorber-stripper (Turns, 1996)

Penggunaan absorpsi kimia alat absorpsi tertera pada Gambar 2.1 dan pada fase cair sering digunakan untuk mengeluarkan zat pelarut secara lebih sempurna dalam campuran gasnya. Suatu keuntungan dalam absorpsi kimia adalah meningkatkan harga koefisien perpindahan massa ( $k_g$ ). Sebagian dari perubahan ini disebabkan makin besarnya luas efektif antar muka karena absorpsi kimia dapat juga berlangsung didaerah hampir stagnan disamping perangkapan dinamik. Untuk memperluas permukaan kontak digunakan kolom berisi *packing* (*packed coloum*) dengan kriteria pemilihan *packing* sebagai berikut :

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

### 2.5.1 Larutan KOH ( Kalium Hidroksida)

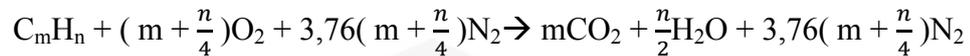
KOH atau disebut sebagai Kalium Hidroksida memiliki ciri-ciri berbentuk kristal, butir, serpih, padat, batang yang berwarna putih sampai kuning dan tidak berbau. Dengan pH 13,5 (larutan 0,1 M); Berat molekul 56,11; titik didih 2408 °F (1320°C); Titik lebur 680°F (360°C); Kerapatan relatif 2,04; Tekanan uap 1 mmHg pada 714°C; mudah larut dalam air dingin, air panas, tidak larut dalam dietil eter (Nashville,1997).

Penggunaan Kalium hidroksida digunakan sebagai fotografi dan litografi, membuat sabun cair, mengabsorpsi karbon dioksida, menghilangkan cat pernis, pewarna kain, dan tinta cetak. Dengan berbagai kegunaan yang salah satunya ialah dapat menyerap karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan mudah larut dengan air karena KOH mempunyai sifat Higroskopis. Higroskopis adalah kemampuan suatu zat untuk menyerap molekul air dari lingkungannya baik melalui Absorpsi atau adsorpsi. Karbondioksida dalam air cenderung bersifat asam, maka upaya untuk menghilangkan Karbondioksida adalah mereaksikannya dengan basa. Basa yang digunakan dalam penelitian ini adalah KOH (Maryana, 2008)

### 2.6 AFR (*Air Fuel Ratio*)

Dalam suatu proses pembakaran, dibutuhkan campuran oksigen dengan bahan bakar. Oksigen didapatkan dari udara mengandung 21 sampai 23% oksigen dan kira-kira 78% nitrogen, lainnya sebanyak 1%. Argon dan beberapa unsur yang dapat diabaikan. Untuk keperluan pembakaran, oksigen tidak dipisahkan dari unsur lainnya tapi disertakan bersama-sama. Gas yang ikut bereaksi pada pembakaran hanyalah oksigen, sedangkan unsur lainnya tidak bereaksi dan tidak memberikan pengaruh apapun. Nitrogen akan keluar bersama gas sisa pembakaran dalam jumlah dan bentuk yang sama seperti semula. Pembakaran yang terjadi adalah tidak lain dari suatu reaksi kimia yang berlangsung dalam waktu yang amat pendek dan dari reaksi tersebut dihasilkan sejumlah panas. Karena itu untuk sejumlah tertentu bahan bakar dibutuhkan pula sejumlah oksigen. Perbandingan antara jumlah udara dan bahan bakar tersebut dapat dihitung dengan persamaan reaksi pembakaran. Jika oksigen yang dibutuhkan

dalam melakukan proses pembakaran diperoleh dari udara, dimana udara terdiri dari 78% nitrogen dan 21% oksigen, maka pembakaran stoikiometri hidrokarbon  $C_mH_n$  dapat ditulis dengan persamaan :



Persamaan reaksi pembakaran stoikiometri pada metana:

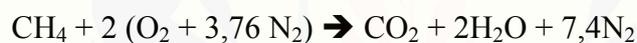


Maka AFR metana berbasis volume:

$$AFR_v = \frac{2(1+3,76)}{1} = 9,52$$

Untuk menghitung AFR biogas dengan cara sebagai berikut:

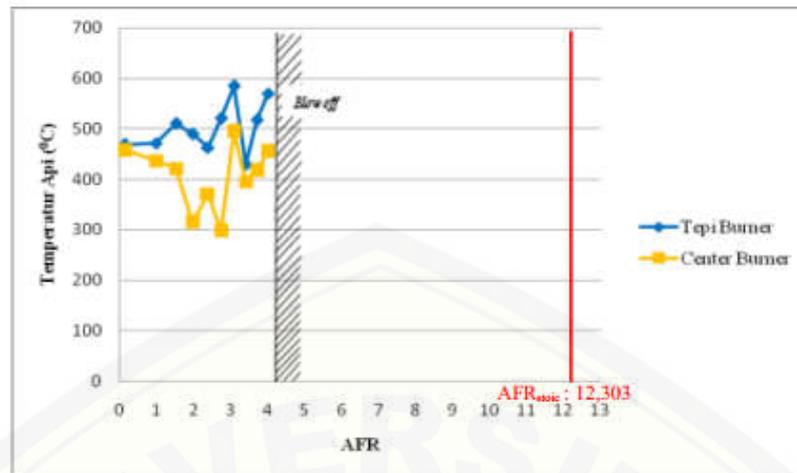
$$S = 32,06 ; O = 16 ; N = 14 ; C = 12 ; H = 1$$



Udara : 21%  $O_2$  dan 79%  $N_2$

$$\begin{aligned} \text{Stokiometri AFR Metana murni berbasis massa : } \frac{\text{Udara}}{\text{BahanBakar}} &= \frac{2(32+105,28)}{12+4} \\ &= \frac{274,56}{16} = 17,16 \end{aligned}$$

Berdasarkan Penelitian yang dilakukan oleh Pranoto, dkk. (2013), didapatkan bahwa penambahan AFR meningkatkan kecepatan api, mempengaruhi pola warna api. Perubahan AFR juga memberikan pengaruh pada perubahan temperatur api diperlihatkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Hubungan Variasi *Air Fuel Ratio* (AFR) terhadap temperatur api (Pranoto, dkk 2013)

## 2.7 Karakteristik Pembakaran

Dalam penelitian terhadap biogas, perlu diperhatikan bahwa biogas memiliki karakteristik pembakaran meliputi beberapa faktor penting untuk menjadikan suatu acuan kualitas dari biogas tersebut. Sehingga jika memiliki karakteristik pembakaran yang baik maka kualitas biogas bisa dikategorikan kualitas yang baik. Karakteristik pembakaran tersebut meliputi: komposisi atau kandungan biogas, nilai kalor, distribusi temperatur, dan rambat api dari biogas tersebut. Bahan bakar merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Sementara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen (misalnya udara) yang akan bereaksi dengan bahan bakar (Taufiq, 2008). Dalam proses pembakaran fenomena-fenomena yang terjadi antara lain interaksi proses-proses kimia dan fisika, pelepasan panas yang berasal dari energi ikatan-ikatan kimia, proses perpindahan panas, proses perpindahan massa, dan gerakan fluida.

### 2.7.1 Nyala Api

Dalam proses pembakaran, bahan bakar dan udara bercampur dan terbakar dan pembakarannya dapat terjadi baik dalam mode nyala api atau pun tanpa mode nyala api. Definisi api adalah pengembangan yang bertahan pada suatu daerah

pembakaran yang dialokasikan pada kecepatan subsonic (Turn, 1996). Warna api dipengaruhi oleh 2 hal yaitu kandungan bahan bakar dan campuran udara yang ikut terbakar.

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

Radiasi biru berasal dari eksitasi CH radikal didalam daerah bertemperatur tinggi. Saat udara berkurang yang menyebabkan stoichiometrinya berkurang, daerah api akan berwarna biru-hijau yang berasal dari eksitasi  $C_2$ . Dalam kedua jenis api OH radikal memberikan kontribusi terhadap radiasi yang tampak. Jika campuran api kaya jelaga akan terbentuk akibat radiasi hitam. Saat udara berkurang yang menyebabkan. Meskipun radiasi jelaga memiliki intensitas maksimal dalam infra merah, kepekaan spektrum mata manusia menyebabkan kita melihat cahaya kuning terang (mendekati putih) akibat pudarnya emisi, tergantung temperatur api (Rofik, 2015). Terdapat dua tipe mode nyala api, yaitu:

a. *Premixed Flame*

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

b. *Diffusion Flame (Non-premixed)*

*Diffusion Flame* adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar dan oksigen bercampur serta penyalaan dilakukan secara bersamaan. Laju difusi reaktan bisa dipengaruhi oleh energi yang dimiliki oleh bahan bakar. Umumnya pada nyala api difusi pengaruh udara dari luar sebagai

oksidator pembakaran berpengaruh pada nyala api yang dihasilkan. Pemunculan dari nyala api akan tergantung pada sifat dari bahan bakar dan kecepatan pemancaran bahan bakar terhadap udara sekitarnya. Laju pencampuran bahan bakar dengan udara lebih rendah dari laju reaksi kimia.

### 2.7.2 Kalor Pembakaran

Kalor pembakaran adalah kalor yang dibebaskan pada proses pembakaran 1 mol bahan bakar dalam oksigen berlebih. Kalor pembakaran memegang peranan penting dalam menentukan besar energi yang dapat dihasilkan pada proses pembakaran suatu bahan bakar. Nilai bahan bakar untuk gas metan murni yaitu sebesar  $802 \text{ kJ mol}^{-1}$  (Utami, dkk, 2009). Kalor pembakaran dapat ditentukan dengan cara memanaskan air pada suatu wajan dengan asumsi seluruh energi panas hasil pembakaran diserap untuk memanaskan air. Dari perbedaan suhu awal dan akhir air kemudian ditentukan dengan menghitung kalor yang diserap air menggunakan rumus:

$$Q = m \times c \times \Delta t$$

Dimana:

$Q$  = Kalor yang diterima suatu zat (joule)

$m$  = Massa zat (kilogram)

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

$\Delta t$  = perubahan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )

Setelah kalor yang diserap air telah didapatkan, kemudian menghitung kalor pembakaran untuk 1 mol bahan bakar dengan rumus:

$$1 \text{ mol bahan bakar} = \frac{(Q \times M_r)}{(m_1 \times m_2)} (\text{kJ mol}^{-1})$$

Dimana:

$M_r$  = Berat molekul

$m_1$  = Massa awal bahan bakar (gram)

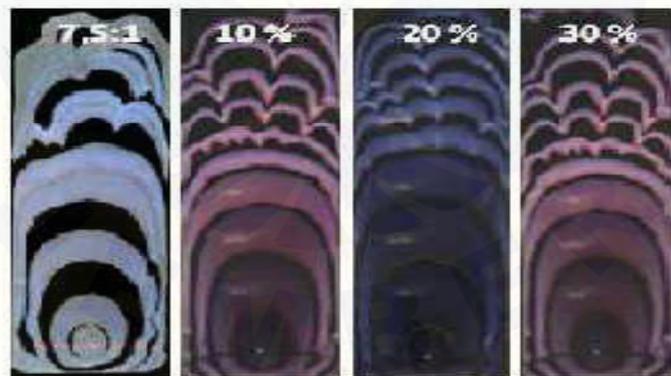
$m_2$  = Massa akhir bahan bakar setelah proses pembakaran (gram).

### 2.7.3 Rambat Api Pada Purifikasi Biogas

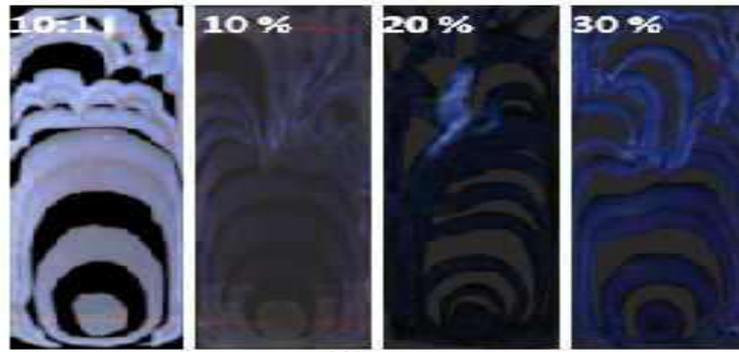
Pola rambat api juga sangat perlu diperhatikan karena hal ini berpengaruh pada tekstur api dimana jika pola rambat api kurang baik maka akan berpengaruh terhadap nilai kalor. Kadar  $\text{CO}_2$  juga sangat mempengaruhi pola rambat api, hal ini dikarenakan  $\text{CO}_2$  sebagai inhibitor atau penghambat pada saat proses pembakaran berlangsung.

Penelitian tentang laju rambat api dilakukan oleh Uwar (2012) yang meneliti laju rambat api dengan variasi penambahan  $\text{CO}_2$  kedalam  $\text{CH}_4$ . Metode penelitian yang digunakan adalah mengamati proses pembakaran yang terjadi pada *helle-shaw cell* dengan penyalaan dari bawah. Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah kecepatan rambat api *premixed* pada ruang bakar. Perlakuan yang diberikan adalah variasi campuran bahan bakar/udara tanpa dan dengan  $\text{CO}_2$  pada berbagai bahan bakar-udara (AFR) yang diberikan dari 7,5:1 sampai 10:1 dengan interval kenaikan bahan bakar sebesar 0.5 %. Penambahan  $\text{CO}_2$  pada berbagai perbandingan bahan bakar udara sebesar 10%, 20% dan 30%.

Hasil penelitian untuk pola rambatan api pada berbagai campuran AFR tanpa dan dengan penambahan  $\text{CO}_2$  ditunjukkan pada Gambar 2.4. Pola Rambatan api  $\text{CH}_4$  tanpa dan penambahan  $\text{CO}_2$ .



Gambar 2.3 Pola rambat api pada berbagai campuran  $\text{CO}_2$  10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bb/mol udara) 7,5 : 1 (Sumber: Uwar, 2012)



Gambar 2.4 Pola rambat api pada berbagai campuran CO<sub>2</sub> 10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bb/mol udara) 10 : 1 (Sumber: Uwar, 2012)

Dari percobaan ini dapat dilihat Gambar 2.5. dari bentuk frame menunjukkan jarak rambatan api pada AFR 7,5:1 bahwa jarak rambatan apinya merapat kemudian pada AFR 8,5:1 sampai 10:1 jarak rambatan apinya merenggang. Hal ini disebabkan karena pada AFR 7,5:1 pada frame pertama dan kedua laju rambat api pembakaran rendah sehingga terjadi kerapatan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan CO<sub>2</sub> dapat berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran CH<sub>4</sub> (Uwar, 2012).

#### 2.7.4 Perilaku Ion

Menurut teori, Arus listrik terjadi akibat dari aliran elektron bebas yang mengalir dari daerah yang kelebihan elektron (negatif) ke daerah yang kekurangan elektron (positif). Sedangkan Ion merupakan atom yang kekurangan atau kelebihan elektron. Ion disebut juga sebagai atom yang bermuatan listrik. Ion terbentuk apabila suatu atom menerima elektron sehingga atom kelebihan elektron yang dinamakan ion negatif dan apabila atom melepas elektron sehingga atom kekurangan elektron dinamakan sebagai ion positif. Ion merupakan suatu atom atau molekul yang sangat mudah bereaksi akibat dari ketidak stabilan muatannya sehingga memerlukan ion lain untuk bereaksi mengisi kekurangan atau kelebihan elektron yang dimilikinya. Senyawa yang terbentuk dari ion positif dan ion negatif dinamakan senyawa ionik.

Ionisasi pembakaran merupakan ion – ion yang terbentuk dari hasil pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar. Pada proses pembakaran, bahan bakar dan udara bereaksi melepas energi yang dimilikinya dan membentuk molekul baru. Tumbukan antar molekul reaktan dalam reaksi pembakaran

menyebabkan elektron terlepas dari atom sehingga atom bermuatan positif (Ilminnafik, 2012). Selain itu produk dari reaksi pembakaran adalah atom bermuatan negatif yang kemudian menjadi elektron bebas. Sumber utama ion dalam pembakaran hidrokarbon seperti reaksi kimia ionisasi  $\text{CH} + \text{O} \rightarrow \text{CHO}^+ + e^-$  diikuti dengan cepat oleh reaksi pertukaran muatan  $\text{CHO}^+ + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CO}$   $\text{H}_3\text{O}^+$  adalah ion yang dominan dari keduanya dan sedikit kaya api hidrokarbon. Ion yang dominan hanya  $\text{C}_3\text{H}_3^+$  dan menjadi pembakaran sangat kaya (Calcote, 1994). Pelepasan molekul reaktan menjadi ion-ion penyusunnya dan diikuti reaksi pembentukan molekul baru melibatkan pergerakan elektron disertai dengan pelepasan energi. Pergerakan ion yang terjadi pada proses pembentukan molekul baru, menghasilkan arus listrik pada proses pembakaran. Untuk mengetahui besarnya ionisasi pembakaran dalam ruang bakar digunakan ion probe yang dihubungkan dengan oscilloscope.

Penelitian perilaku ion yang telah dilakukan oleh Rofik (2015) pada biogas sebelum dan setelah purifikasi menggunakan larutan KOH 4 M selama 15 menit pada proses pembakaran biogas di ruang bakar *helle-shaw cell*, dimana AFR pada biogas yang belum dipurifikasi adalah 4:1 sedangkan AFR pada biogas yang telah dipurifikasi adalah 5:1. Hasil penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Data hasil pengujian sensor ion

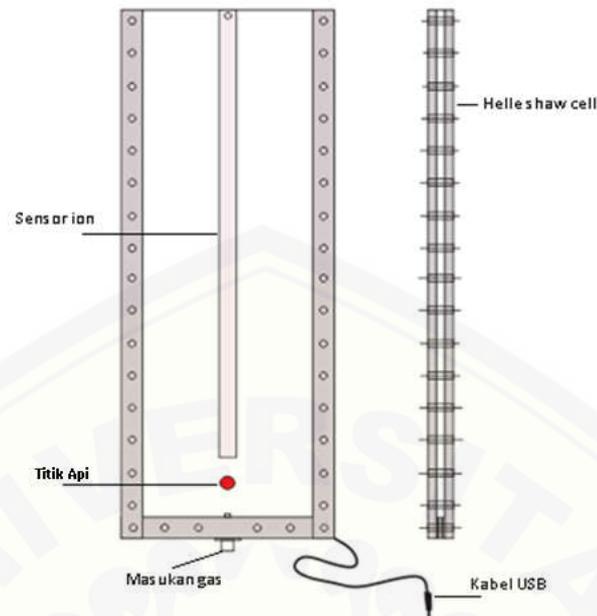
Pengujian	1	2	3	4	5
Sebelum purifikasi	12,361 v	13,074 v	15,224 v	17,104 v	15,665 v
Purifikasi 4 M	36,473 v	31,053 v	39,552 v	24,850 v	33,476 v

Sumber: Rofik (2015).

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa terjadi kenaikan tegangan sebanyak 18,395 volt pada biogas yang telah dipurifikasi dengan KOH 4M. Hal ini menunjukkan ion-ion yang terbentuk dari hasil pembakaran dalam ruang bakar lebih banyak pada biogas yang setelah dipurifikasi dengan KOH 4M (Rofik, 2015).

## 2.8 Helle – Shaw Cell

*Helle-shaw cell* merupakan suatu alat yang digunakan dalam pengujian cepat rambat api pada proses pembakaran. *Helle-shaw cell* juga dapat digunakan untuk mendeteksi perilaku ion dengan cara memasang sensor ion pada bagian dalam *helle-shaw cell*. *Helle-shaw cell* digunakan untuk mempermudah meneliti kecepatan rambat api. Gesekan yang terjadi pada dinding *helle-shaw cell* akan mengurangi kecepatan rambat api pada dinding. Pengujian rambat api dan perilaku ion dapat dilakukan dengan menggunakan alat *helle-shaw cell*. *Helle-shaw cell* biasanya digunakan untuk meneliti cepat rambat api perbandingan udara dan bahan bakar pada proses pembakaran yaitu dilakukan dengan cara memasukkan biogas dan udara ke dalam ruang pembakaran dengan volume biogas dan udara yang sudah ditentukan. Setelah biogas dimasukkan pada ruang bakar, biogas dipercikkan api agar terjadi ledakan api pada ruang pembakaran. Pada saat ledakan terjadi, kamera dengan resolusi tinggi yang telah disiapkan merekam laju rambat api yang terjadi. Aluminium foil yang berada pada dinding tengah *helle-shaw cell* berfungsi sebagai sensor yang mendeteksi perilaku ion pada api. Aluminium foil tersebut terhubung dengan kabel yang nantinya akan dihubungkan dengan komputer atau laptop sehingga pada saat terjadi ledakan didalam *helle-shaw cell*, perilaku ion pada api dapat ditangkap dan terbaca pada komputer atau laptop dalam bentuk grafik. Berikut merupakan *helle-shaw cell* diperlihatkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.5 *Helle Shaw-Chell* (Sumber: Uwar, 2012)

## 2.9 Hipotesa

Purifikasi biogas menggunakan larutan KOH akan menurunkan kadar konsentrasi  $\text{CO}_2$ , sehingga akan meningkatkan kualitas biogas. Dengan meningkatnya kualitas biogas maka kalor pembakaran semakin besar, kemampuan laju rambat api akan semakin cepat dan tegangan ion semakin besar. Dengan berkurangnya kadar zat menghambat, reaksi tumbukan reaktan dapat berlangsung dengan baik sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan efektif semakin besar.

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode digunakan untuk menguji suhu air, rambat api, dan perilaku ion pada nyala api dari bahan bakar biogas sebelum dipurifikasi dan sesudah dipurifikasi menggunakan larutan KOH 4 molar. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *purified biogas* terhadap suhu air, perilaku ion, dan rambat api. Proses pemurnian biogas dilakukan dengan sistem penyerapan absorpsi kandungan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>).

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

#### 3.2.1 Tempat Penelitian

- a. Pembuatan Reaktor dan Alat Purifikasi Biogas, Pemurnian Biogas, Uji Suhu Air, Rambat Api dan Perilaku Ion.
- b. Penelitian Pemurnian Biogas dan Uji Karakteristik Termal Biogas

Penelitian pemurnian biogas dilakukan setelah reaktor dan alat purifikasi biogas selesai dikerjakan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

#### 3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan selama kurang lebih 6 bulan pada bulan September 2016 - Februari 2017

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.3.1 Alat

- Alat purifikasi (Toples Kaca)
- Reaktor model drum plastik ukuran 200 liter
- Penampung gas dari ban karet
- Kompor biogas berstandar SNI
- Ruang Bakar Model *Helle-Shaw Cell* 1 cm x 20 cm x 60 cm berbahan acrylic yang terdiri dari lempengan transparan seperti kaca

- *Cylinder Pneumatic* digunakan untuk mengisi campuran biogas udara kedalam plastik dengan diameter 5 cm dan panjang 30 cm
- Pemantik api dengan *voltase* sekitar 20.000 volt
- Kamera Fuji film *high speed* 120 *frame/s* 640x480.
- Komputer untuk menyimpan data penelitian.
- Kabel pemantik
- Gas analyzer untuk mengetahui kandungan CO<sub>2</sub>

### 3.3.2 Bahan

Bahan untuk membuat biogas adalah:

- Kotoran sapi digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan biogas jumlah kotoran sapi yang digunakan sebanyak 80 liter
- Limbah buah dalam jumlah yang digunakan 40 liter
- Sedangkan untuk air sendiri jumlah yang digunakan 40 liter
- Selang  $\frac{3}{4}$ " digunakan untuk input dan output biogas kedalam larutan purifikasi (KOH)
- Clam selang untuk pengikat selang penghubung reaktor dengan ban supaya tidak copot atau bocor
- Pipa paralon 2" digunakan untuk saluran input dan output reaktor biogas dengan ukuran 15 cm dan 30 cm

## 3.4 Variabel Penelitian

### 3.4.1 Variabel Bebas

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

1. Variasi udara dengan biogas berbanding 4:1, 5:1, 6:1, 7:1, 8:1, 9:1

### 3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variable bebasnya. Penelitian ini mempunyai variable terikat yang meliputi data-data yang diperoleh

pada pengujian pemurnian biogas menggunakan KOH 4 Molar dan pengujian karakteristik termal dengan menganalisa data-datanya yang meliputi:

1. Suhu air
2. Perilaku ion
3. Kecepatan rambat api

#### 3.4.3 Variabel Kontrol

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

1. Siklus Pemurnian
2. Komposisi Biogas
3. Lama waktu fermentasi biogas

### 3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang akan dipergunakan dalam pengujian ini meliputi:

- a. Data primer, merupakan data yang diperoleh langsung dari pengujian suhu air, rambat api, dan perilaku ion.
- b. Data sekunder, merupakan data yang diperoleh dari literatur perhitungan maupun hasil dari pengujian.

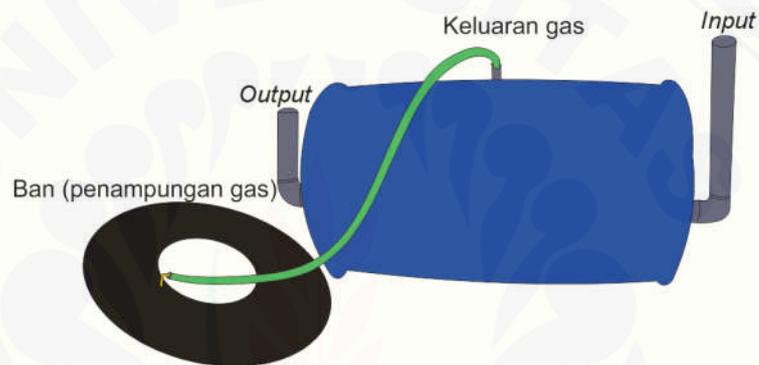
### 3.6 Proses Pengisian Bahan Baku Biogas

Proses pengujian yang akan dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi KOH 4 Molar terhadap pemurnian biogas. Tahap prosedur yang dilakukan dalam pengujian adalah sebagai berikut.

#### 3.6.1 Tahap Pembuatan Reaktor Biogas

Bahan utama biogas adalah limbah buah organik yang diberi starter berupa kotoran sapi dan tambahan jerami padi untuk meningkatkan rasio C/N dengan perbandingan air : limbah buah : kotoran sapi adalah 0,5 % : 1 % : 0,5 % dalam satuan volume. Reaktor biogas terbuat dari drum plastik berbentuk pejal dengan tinggi 93 cm dan diameter lingkaran 58 cm. Drum dirancang sedemikian rupa,

yaitu dengan melakukan penambahan saluran *input* sebagai tempat masuknya bahan biogas, saluran *output* sebagai tempat keluaran pembuangan bahan biogas dengan menggunakan pipa berdiameter 2 *inci*, dan saluran keluaran gas dengan menggunakan pipa ½ *inci*, seperti pada Gambar 3.1. Volume penampungan bahan biogas dirancang sebesar 200 liter dengan cara mengatur ketinggian *output*. Proses pengisian bahan baku biogas dilakukan secara kontinu dan gas yang dihasilkan setelah 15 hari dari pertama kali pengisian bahan biogas disimpan dalam ban.

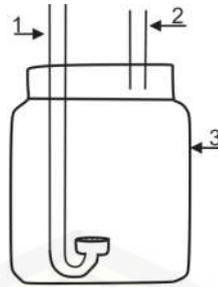


Gambar 3.1 Reaktor biogas

### 3.7 Peralatan penelitian

#### 3.7.1 Alat Purifikasi

Alat purifikasi yang digunakan terbuat dari pipa paralon dengan diameter 2 *inci* dan panjang 1,5 meter dengan diberi penutup pada bagian atas dan bawahnya dan dimodifikasi dengan penambahan 2 selang ¼" pada penutupnya sebagai saluran sirkulasi keluar masuknya gas purifikasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Alat Purifikasi

Keterangan Gambar :

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

### 3.7.2 Tahap Pemurnian Biogas

Pembuatan *purified* biogas dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

1. Mendesain sirkulasi alat purifikasi biogas dengan sistem kontinyu dan tidak boleh terdapat kebocoran, seperti yang terlihat pada Gambar 3.2.
2. Melarutkan KOH dengan konsentrasi sebesar 4 molar pada air jernih. Sesuai dengan rumus untuk menentukan molaritas yaitu:

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

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

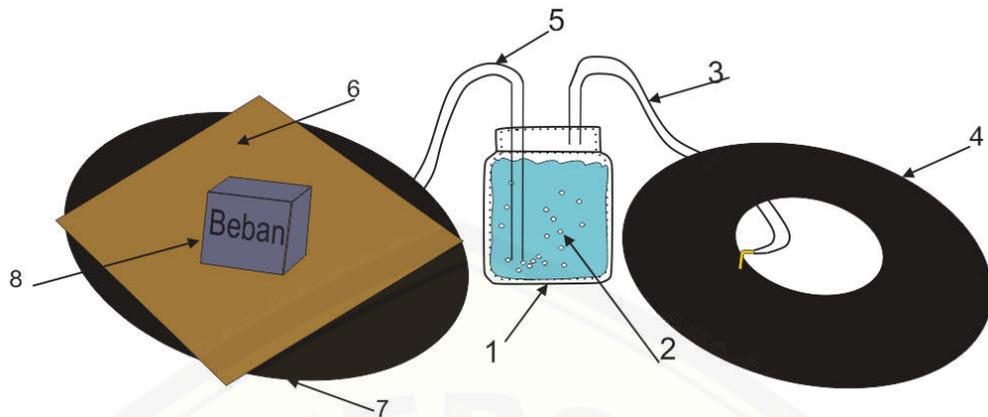
m = Massa (gram); Mr = Molekul relatif.

Dimana diketahui Mr untuk KOH adalah 56.

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

Maka, jika diasumsikan volume larutan adalah 3 liter maka dapat diketahui massa KOH dengan konsentrasi 4 molar adalah 672 gram.

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



Gambar 3.3 Skema pemurnian biogas

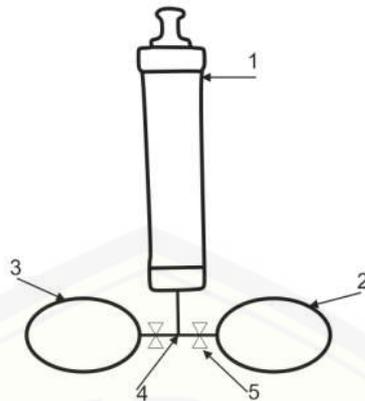
Keterangan gambar:

- |                                 |                                       |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Alat Purifikasi              | 5. Selang <i>input</i> ¼ inchi        |
| 2. Larutan KOH                  | 6. papan                              |
| 3. Selang <i>output</i> ¼ inchi | 7. Penampungan gas sebelum purifikasi |
| 4. Penampungan gas              | 8. Beban                              |

Selama proses purifikasi dilakukan pengukuran komposisi biogas setiap satu kali gas melewati larutan purifikasi dengan menggunakan alat gas analyzer. Pada proses ini didapatkan kemampuan pemurnian gas CO<sub>2</sub> pada larutan purifikasi KOH dengan konsentrasi 4 molar.

### 3.7.3 Pengujian Rambat Api dan Perilaku Ion

Tahap pengamatan karakteristik pembakaran pada biogas ini terpusat pada perekaman rambat api biogas dan pengamatan perilaku ion. Tahap awal dalam penelitian ini yaitu melakukan pencampuran bahan bakar dan udara kedalam kantong plastik dengan volume yang sudah ditentukan saat dilakukan pengujian rambat api dan perilaku ion dengan menggunakan *cylinder pneumatic* dengan diameter 5 cm dan panjang 30 cm seperti yang terlihat pada Gambar 3.4.

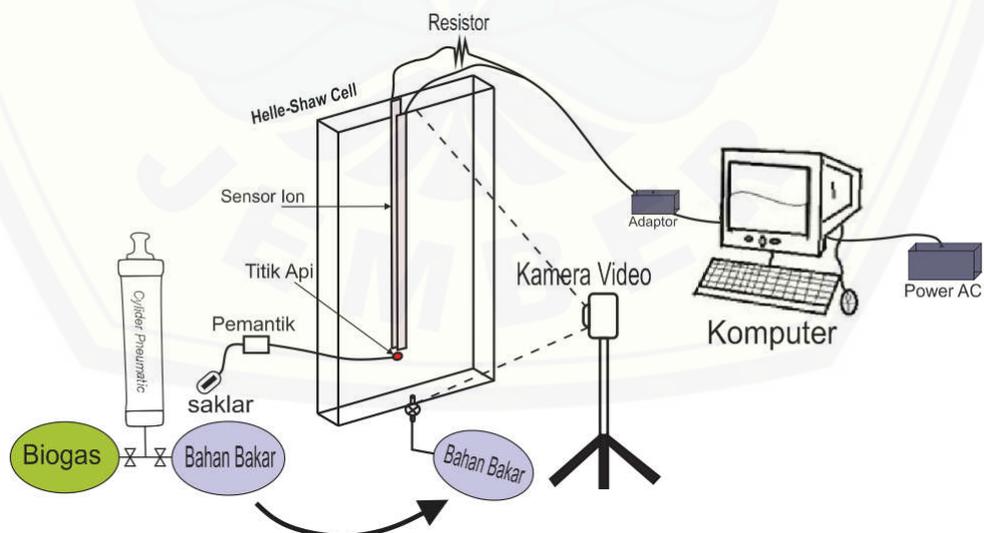


Gambar 3.4 Proses pencampuran biogas dan udara

Keterangan Gambar:

- |                                    |                     |
|------------------------------------|---------------------|
| 1. <i>Cylinder pneumatic</i>       | 4. Selang ¼"        |
| 2. Kantong campuran udara – biogas | 5. <i>Stop kran</i> |
| 3. Kantong biogas                  |                     |

Perekaman rambat api dilakukan dengan menggunakan kamera resolusi tinggi dan pengamatan perilaku ion yang diperoleh dari sensor pada ruang bakar *helle-shaw cell* yang telah terhubung dengan komputer, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Pembuatan data perilaku Ion dan perekaman rambat api

Keterangan gambar:

1. *Helle Shaw-Chell*
2. Titik api terletak pada ketinggian 50 mm dari dasar *helle-shaw cell*
3. Pemantik api 1,5 Volt
4. Saklar pemantik
5. Kantong campuran bahan bakar dan udara
6. Pipa ¼"
7. Kamera Fuji film *high speed* 120 *frame/s* 640x480, 240 *frame/s* 224x168,
8. Sensor Ion berbahan lempengan aluminium
9. Komputer

Pengujian dengan menggunakan *helle-shaw cell* yang tertera pada Gambar 3.5 yaitu dilakukan dengan cara memasukkan campuran biogas yang telah dicampur dengan variasi AFR udara – biogas yang digunakan 4:1, 5:1, 6:1, 7:1, 8:1, 9:1. Lalu Mengisi ruang bakar *helle-shaw cell* dengan campuran udara dan biogas dengan cara menekan kantong gas sehingga gas masuk ke dalam ruang bakar. Setelah terisi penuh, kemudian api dipercikkan dengan menekan pemantik sehingga terjadi pembakaran pada *helle-shaw cell*.

Pembakaran pada *helle-shaw cell* direkam menggunakan kamera video dengan kecepatan 120 *frame/s* 640x480, maka waktu yang diperlukan untuk satu *frame* adalah 1/120 detik. Rekaman yang diperoleh dipindahkan ke komputer dan diekstraksi menjadi gambar diam dalam sejumlah *frame* yang tersusun secara berurutan dari saat api baru menyala sampai api padam menggunakan DVD *Video Soft Free Studio video*. Setelah gambar didapatkan, kemudian menghitung jumlah *frame* dari titik nyala sampai titik dimana api telah sampai pada bagian paling atas alat *helle-shaw cell*. *Frame* yang diperoleh kemudian digabungkan menjadi satu *frame* menggunakan program *Image Stacker* kemudian diukur jarak rambatnya menggunakan program *ImageJ* yang diukur jarak titik dimana api mulai menyala sampai titik dimana api padam. Dengan membagi jarak panjang nyala api dari titik awal api nyala dengan waktu, maka akan diperoleh kecepatan rambat apinya.

Pada *helle-shaw cell* terdapat lempengan aluminium yang berfungsi untuk memunculkan tahanan yang terjadi pada proses pembakaran. Kemudian dengan menggunakan aplikasi *Virtins sound card instrument*. *Virtins sound card instrument* adalah aplikasi yang digunakan untuk menangkap sinyal. Kemudian sinyal ion yang kita tangkap yaitu dengan oscilloscope. Dengan menggunakan alat ukur Oscilloscope ini, kita dapat mengukur frekwensi, periode dan melihat bentuk-bentuk gelombang seperti bentuk gelombang sinyal audio, sinyal video, dan bentuk gelombang tegangan listrik arus bolak balik, maupun tegangan listrik arus searah yang berasal dari satu daya/baterai. Tahanan yang terdapat pada lempengan aluminium dikonversi menjadi *voltage* oleh komputer dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Kemudian data tersebut dianalisa dan dibandingkan antara perilaku ion dari biogas yang sebelum dan sesudah dipurifikasi pada perbandingan bahan bakar dan udara yang sama. Setelah pengujian selesai, kemudian dilakukan merekap data hasil pengujian rambat api maupun perilaku ion.

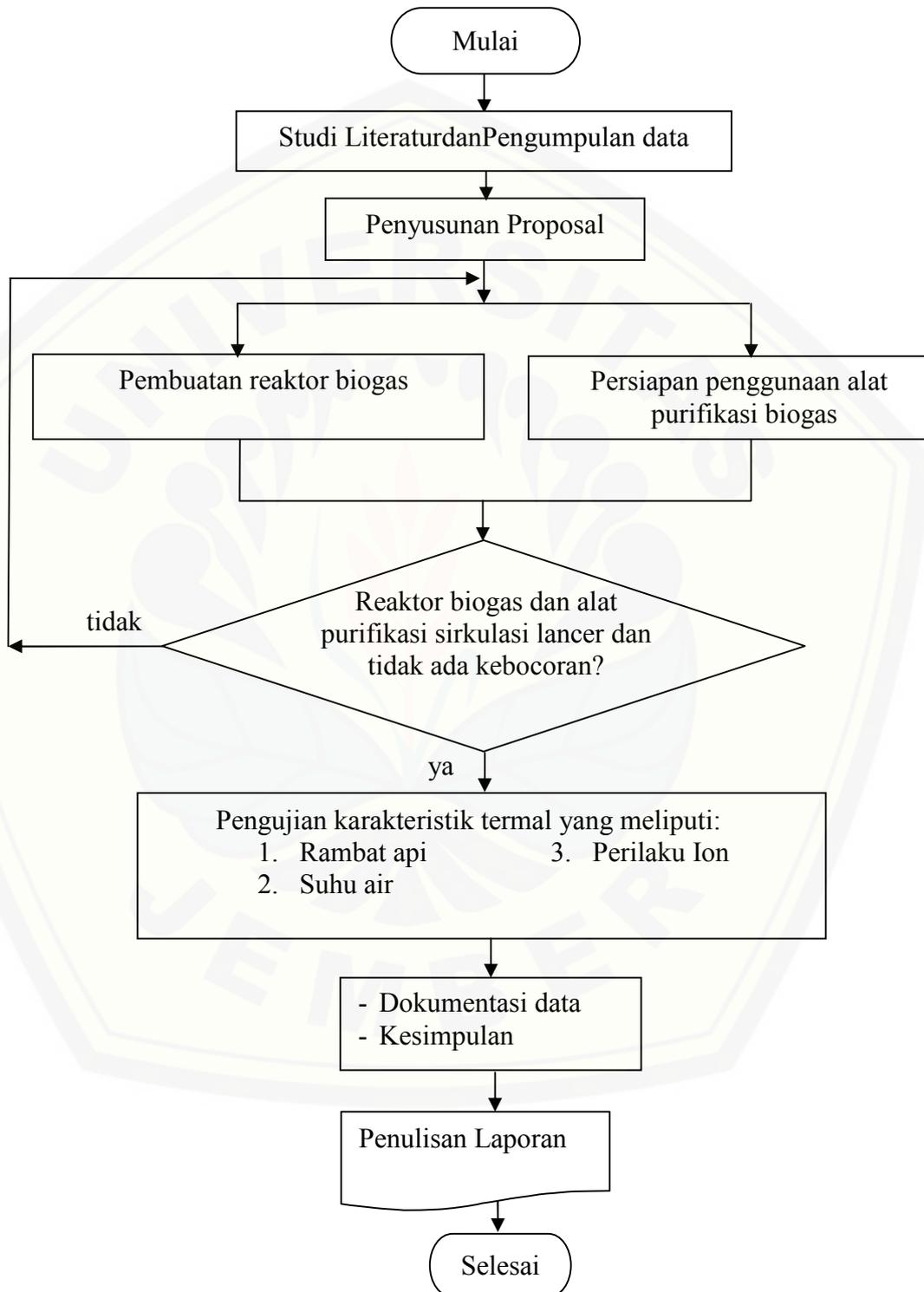
### 3.8 Analisis Data

Setelah pengujian dilakukan, data dari hasil pengujian tersebut kemudian di analisa dengan cara sebagai berikut:

1. Analisa rambat api dilakukan dengan cara mengkonversi video yang didapatkan menjadi gambar kemudian mengukur jarak api pada tiap-tiap framenya, sehingga dengan membagi jarak antar *frame* dengan waktu setiap *framenya* akan didapatkan kecepatan rambat api pada waktu tersebut.
2. Analisa perilaku ion digunakan dengan merubah grafik yang terdapat pada *virtin* menjadi angka-angka voltase setiap waktunya yang sudah disediakan oleh aplikasi *virtin* tersebut kemudian memilih selang waktu dimana api mulai menyala sehingga api sampai pada permukaan *helle-shaw cell*. Setelah itu angka voltase yang didapatkan dijadikan grafik dengan menggunakan *excel* sehingga didapatkan grafik yang menunjukkan besar ion yang terjadi pada proses pembakaran.
3. Analisa suhu air dilakukan dengan cara membandingkan suhu air awal dengan suhu air akhir pada proses memanaskan air.

### 3.9 Diagram Alir

Penelitian ini akan menggunakan diagram alir seperti dibawah ini:



Gambar 3.6 Diagram alir pada pemurnian biogas

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Setelah penelitian dan pengolahan data selesai disimpulkan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai rambat api biogas limbah buah tanpa purifikasi tertinggi berada pada AFR 4:1, sedangkan untuk yang telah dipurifikasi berada pada AFR 5:1.
2. Nilai pengujian ion tertinggi untuk biogas limbah buah tanpa purifikasi berada pada AFR 4:1, sedangkan untuk biogas limbah buah yang telah dipurifikasi berada pada AFR 6:1.
3. Nilai kalor pembakaran yang mampu diserap air tertinggi terdapat pada biogas yang telah dipurifikasi.

### 5.2 Saran

1. Untuk pengujian komposisi biogas, sebaiknya gunakan alat uji gas kromatografi, agar dapat mengetahui kandungan apa saja yang terdapat pada biogas.
2. Disarankan untuk menggunakan biji kopi untuk mengetahui rambat api
3. Tekanan gas pada proses purifikasi sebaik konstan, sehingga debit gas yang mengalir melewati larutan purifikasi setiap waktunya sama.
4. Pengujian kalor pembakaran sebaiknya dilakukan di dalam ruang bakar yang terisolasi sehingga kalor yang hilang dapat dikurangi.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Agung, Pambudi, 2008, "Pemanfaatan Biogas sebagai Energi Alternatif", Universitas Surakarta.
- A.Gabriel, Silalahi. 2003. *Metodologi Penelitian dan Studi Kasus*. Sidoarjo: CV. Citramedia Simamora, S., Salundik, Wahyuni, S., & Surajudin. 2005. *Membuat Biogas Pengganti Bahan Bakar Minyak & Gas dari Kotoran Ternak*. Bogor: PT AgroMedia Pustaka
- BPS Kabupaten Kulon Progo, 2012, Kabupaten Kulon Progo dalam Angka 2012, Kulon Progo: BPS Kabupaten Kulon Progo.
- Budyono, Gita Khaerunnisa dan Ika Rahmawati, 2013 "Pengaruh pH dan Rasio COD:N Terhadap Produksi Biogas dengan Bahan Baku Limbah Industri Alkohol (Ninasse)", Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Volume 11, Nomor 1.
- Cundari, Selpiana, Wijaya, dan Sucia. 2014. Pengaruh Penggunaan Solven Natrium Karbon ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) Terhadap Absorpsi  $\text{CO}_2$  Pada Biogas Kotoran Sapi Dalam Spray Column. *Jurnal Teknik Kimia*. 20 (4): 52-58.
- Calcote, H.F., R.J. Gill. 1994. Development of the kinetics for an ionic mechanism of soot formation in flame. Eastern section of the Combustion Institute. Fall Technical Meeting.
- Dewan Energi Nasional. 2014. *Outlook Energi Indonesia 2014*. Dewan Energi Nasional Republik Indonesia.
- Deublein, D. & Steinhauser, A. 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resources*. ISBN 978-3-527-318414. Jerman: Strauss GmbH, Mörlenbach
- Fry, L.J. 1973. Methane Digesters for Fuel Gas and Fertilizer. *The New Alchemy Gas Dari Kotoran Ternak*. Jakarta: AgroMedia Pustaka.
- Hambali, Erliza *et al.*, 2008. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta, PT Agro Media Pustaka

- Himidi, N., Wadana, ING., dan Widhiyanuriyawan, D. 2011. "Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam". *Jurnal Rekayasa Mesin*. ISSN 0216-468X. Vol. 2 (3):227-231.
- Hessami, M.A., Christensen S. and Gani R. 1996. Anaerobic digestion of household organic waste to produce biogas. *Renewable Energy* (9) : 1-4, 954-957.
- Herawati, D.A.dan Wibawa, A.A. 2010. "Pengaruh *Pretreatment* Jerami Padi pada Produksi Biogas dari Jerami Padi dan Sampah Sayur Sawi Hijau Secara *Batch*". *Jurnal Rekayasa Proses*. 4 (1): 25-29.
- Ilminnafik, N. 2012. *Pengaruh Karbon Dioksida Terhadap Perilaku Hambatan Pembakaran Refrigeran Liquefied Petroleum Gas (Lpg)*. Disertasi. Malang: Universitas Brawijaya
- Jamil, Musanif. 2006. *Biogas Skala Rumah Tangga*. Jakarta.: Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian
- Kaltschmitt, M., and Hartmann, H., eds. 2001. "Energi from Biomass," Springer, Berlin, Heidelberg. (In German.)
- Maryana, R., Satriyo K.W., dan Kismurtono, M. 2008. "Proses Pemurnian Metana Dari Biogas Menggunakan Larutan NaOH dan KOH". *Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia*. ISSN 1410-5667.
- Mifthah P., E., dan Dwi S., H. 2012. "Peningkatan Kualitas Biogas Dengan Pengaturan Rasio Nutrisi Dan pH". *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 2 (3): 143-147.
- Mulyono, D., 2000, Biogas Sebagai Sumber Energi Alternatif, Jurnal Teknologi Lingkungan, Bppt, Jakarta.
- Nur, M. 2011. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro Semarang. ISBN: 978-979-097-093-9.
- Pranoto, B., Wardana, I.N.G., dan Hamidi, N. 2013. *Pengaruh Variasi Air Fuel Ratio (Afr) Terhadap Karakteristik Api Pembakaran Premixed Minyak Kapuk Pada Burner*. Malang: Universitas Brawijaya

- Rahayu, Sugi. 2009. *Pemanfaatan Kotoran Sapi sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan Beserta Aspek Sosio Kulturalnya*. JURNAL INOTEK.XIII (2): 150-160
- RURA. 2012. *Techinal Guidelines for Construction Biogas of Domestic Ficed Dome Plants*. Republic of Rwanda
- Ratnaningsih. 2009. *Potensi Pemebentukan Biogas Pada Proses Biodegradasi Campuran Sampah Organik Segar Dan Kotoran Sapi Dalam Batch reaktor Anaerob*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Trisakti: Jakarta. 5 (1): 19-26.
- Rofik, A. 2015. *Karakteristik Api Biogas Yang Sudah Dipurifikasi Larutan KOH 4 (Empat) Molaritas Dibandingkan Dengan Biogas Tanpa Purifikasi*. Skripsi. Jember: Universitas Jember
- 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.
- Sasongko, M. N. (2014). *Pengaruh Prosentase Co<sub>2</sub> Terhadap Karakteristik Pembakaran Difusi Biogas*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Simanjuntak, Melvin Emil. 2005. *Beberapa Energi Alternatif yang Terbarukan dan Proses Pembuatannya*. JURNAL TEKNIK SIMETRIKA. IV (1): 287-293
- Sudrajat. H. R., 2006. *Mengelola Sampah Kota*. Penebar Swadaya. Jakarta
- Tertius V. Y. 2008. *Jurnal FORMAS. Prospek Pemanfaatan Sumber energy Terbarukan Biofuels di Sulawesi Utara*, 267-276
- Turns, S. R. 1996. *An Introduction To Combution Concepts and Aplication*. Mc Graw Hill.
- Uwar, N. A., Wardana, I., dan Widhiyanuriyawan, D. 2012. *Karakteristik Pembakaran CH<sub>4</sub> Dengan Penambahan Co<sub>2</sub> Pada Model Helle-Shaw Cell Pada Penyalaan Bawah*. Malang: Universitas Brawijawa.

Utami, Saputro, Mahardiani, Yamtinah, dan Mulyani. 2009. *Kimia 2 : Untuk SMA/MA Kelas XI*. Program Ilmu Alam. Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.

Wahyuni, Sri. 2008. *Biogas*. Penerbit Swadaya : Jakarta.

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





Lampiran A:  
Perhitungan Kalor Pembakaran

## A. Kalor pembakaran

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

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

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

Kalor Pembakaran dalam waktu 150 detik dengan pengambilan data setiap 30 detik menggunakan termometer air raksa.

Untuk mengukur kalor yang diserap oleh air, digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

Dimana :  
Q = jumlah kalor ( J )  
m = massa zat ( g )  
 $\Delta T$  = perubahan suhu (  $^{\circ}\text{C}/\text{K}$  )  
c = kalor jenis ( J/g.  $^{\circ}\text{C}$  )  
C = kapasitas kalor ( J/ $^{\circ}\text{C}$  )

Diketahui :

m air = 240 mililiter atau 0,24 kg

c air = 2400 j / kg

temperatur awal air = 25,5 $^{\circ}\text{C}$

sebelum purifikasi

$$\begin{aligned} 1. \quad Q &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (30,77-25,5) \\ &= 1008 \cdot 5,27 \\ &= 5,31 \text{ KJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \quad Q &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (36,99-25,5) \\ &= 1008 \cdot 11,49 \\ &= 11,58 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \quad Q &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (42,76-25,5) \\ &= 1008 \cdot 17,26 \\ &= 17,39 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. \quad &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (47,6-25,5) \\ &= 1008 \cdot 22,1 \\ &= 22,27 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

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

Sesudah Purifikasi

$$\begin{aligned} 1. \quad &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (34,17-25,5) \\ &= 1008 \cdot 8,67 \\ &= 8,73 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \quad &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (46,02-25,5) \\ &= 1008 \cdot 20,52 \\ &= 20,68 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. & \quad = m \cdot c \cdot \Delta T \\ & \quad = 0,24 \cdot 4200 \cdot (54,33-25,5) \\ & \quad = 1008 \cdot 28,83 \\ & \quad = 29,6 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. & \quad = m \cdot c \cdot \Delta T \\ & \quad = 0,24 \cdot 4200 \cdot (65,68-25,5) \\ & \quad = 1008 \cdot 40,18 \\ & \quad = 40,50 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5. & \quad = m \cdot c \cdot \Delta T \\ & \quad = 0,24 \cdot 4200 \cdot (70,99 - 25,5) \\ & \quad = 1008 \cdot 45,49 \\ & \quad = 45,85 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$



Lampiran B:  
Data perhitungan kecepatan  
rambat api

Perhitungan cepat rambat api dari setiap frame pada high speed camera (120 *frame/s* 640x480)

Pada AFR 4:1

Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,333333333	3,83724
2	16,66666667	3,31398
3	25	3,2558
4	33,33333333	3,05232
5	41,66666667	3,209304
6	50	3,8838
7	58,33333333	3,737537
8	66,66666667	4,055235
9	75	4,45736
10	83,33333333	5,058144
11	91,66666667	5,39112

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,333333	6.27912
2	16,66667	4.0116
3	25	3,60464
4	33,33333	4,88373
5	41,66667	4,95348
6	50	5,05814
7	58,33333	5,431886
8	66,66667	5,930235
9	75	6,279067
10	83,33333	6

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,333333	7,36848
2	16,66667	4,91226
3	25	4,5614
4	33,33333	4,56141
5	41,66667	4,49124
6	50	4,61988
7	58,33333	4,912286
8	66,66667	5,394735
9	75	5,847947
10	83,33333	5,964912

- Pada AFR 1:5

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,33333333	6,98628
2	16,6666667	3,49314
3	25	3,01368
4	33,3333333	2,67123
5	41,6666667	2,794512
6	50	2,87672
7	58,3333333	2,99413714
8	66,6666667	3,184935
9	75	3,424653333
10	83,3333333	4,273968
11	91,6666667	4,52055273
12	100	4,86301

Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,33333333	4,18608
2	16,6666667	3,02328
3	25	3,41084
4	33,3333333	3,25581
5	41,6666667	3,162792
6	50	3,25582
7	58,3333333	4,0531154
8	66,6666667	4,18605
9	75	4,39276
10	83,3333333	4,744188
11	91,6666667	4,904858
12	100	4,92248

Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,333333333	2,91672
2	16,66666667	5,20832
3	25	3,88888
4	33,33333333	3,43749
5	41,66666667	3,416664
6	50	4,16666
7	58,33333333	4,345234
8	66,66666667	4,531245
9	75	4,722227
10	83,33333333	4,833336
11	91,66666667	5,113636
12	100	4,96528

## Biogas Sesudah Purifikasi

- Pada AFR 1:5

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)	Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,33333333	8,10816	1	8,33333333	9,77772
2	16,6666667	6,68916	2	16,6666667	6,77778
3	25	7,0946	3	25	8,96296
4	33,3333333	8,36148	4	33,3333333	9,44445
5	41,6666667	9,324336	5	41,6666667	10,222224
6	50	9,96622	6	50	9,85186

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,33333333	8,57148
2	16,6666667	6,27552
3	25	8,16328
4	33,3333333	8,80101
5	41,6666667	9,551016
6	50	9,89796

- Pada AFR 1:6

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)	Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,333333333	10,17852	1	8,333333333	8,6598
2	16,66666667	7,76784	2	16,6666667	7,42266
3	25	8,75	3	25	6,80412
4	33,33333333	8,70537	4	33,3333333	8,11857
5	41,66666667	9,053568	5	41,6666667	8,721648
6	50	8,52678	6	50	9,17526
7	58,33333333	8,38009714	7	58,3333333	8,6598

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,333333333	7,42572
2	16,66666667	5,04948
3	25	5,24752
4	33,33333333	6,46041
5	41,66666667	7,900992
6	50	8,66336
7	58,33333333	8,359269

- Pada AFR 1:7

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,33333333	8,34432
2	16,6666667	4,56954
3	25	6,3576
4	33,3333333	6,35763
5	41,6666667	5,880792
6	50	5,43046
7	58,3333333	5,619686
8	66,6666667	5,76159
9	75	6,136867
10	83,3333333	5,721852

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,33333333	4,04148
2	16,6666667	7,77204
3	25	6,63212
4	33,3333333	5,96892
5	41,6666667	6,11398
6	50	6,217611
7	58,3333333	6,878235

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,33333333	5,3658
2	16,6666667	6,34146
3	25	6,17888
4	33,3333333	6,09756
5	41,6666667	6,439032
6	50	5,85366
7	58,3333333	6,48084
8	66,6666667	6,09756
9	75	5,962053
10	83,3333333	5,65854
11	91,6666667	5,099782

Pada AFR 1:8

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,333333333	5,07696
2	16,66666667	3,69228
3	25	4,76924
4	33,33333333	7,38462
5	41,66666667	7.2
6	50	6,84616
7	58,33333333	6,197794
8	66,66666667	6,69231
9	75	6,461533
10	83,33333333	6,046152
11	91,66666667	8,056339

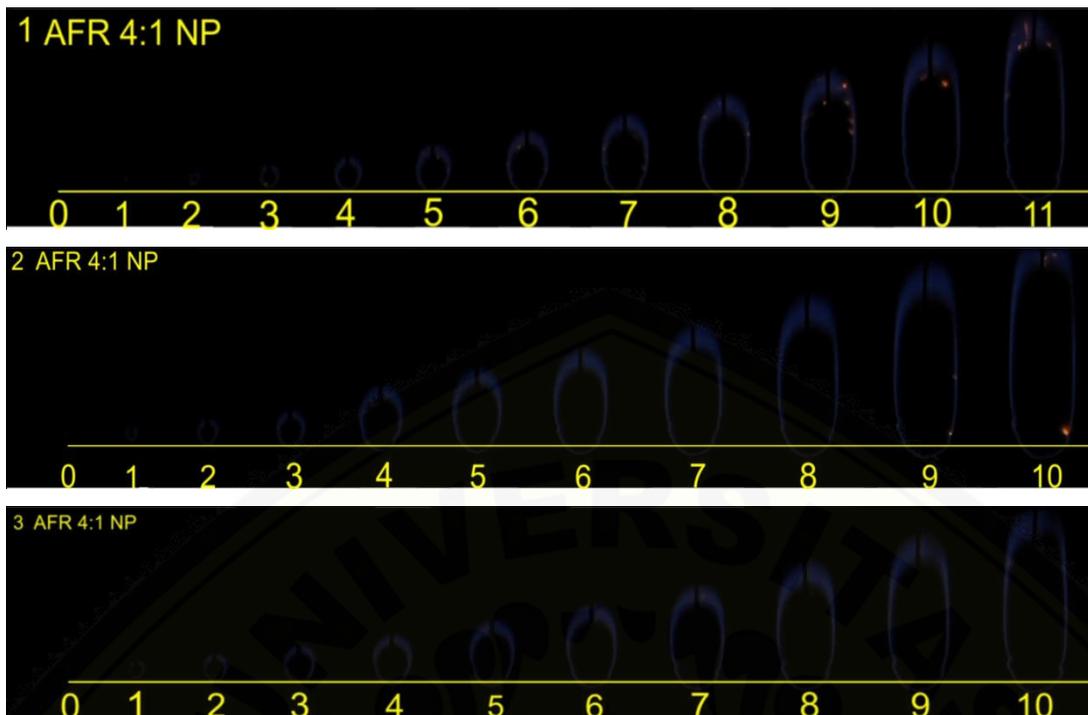
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,333333333	5,55552
2	16,66666667	4,72224
3	25	6,29628
4	33,33333333	6,11112
5	41,66666667	6,11112
6	50	6,11112
7	58,33333333	6,190474
8	66,66666667	6,111105
9	75	6,049387
10	83,33333333	5,777772
11	91,66666667	5,454545455

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,333333333	3,66912
2	16,66666667	4,74822
3	25	10,28776
4	33,33333333	10,52157
5	41,66666667	10,92086
6	50	10

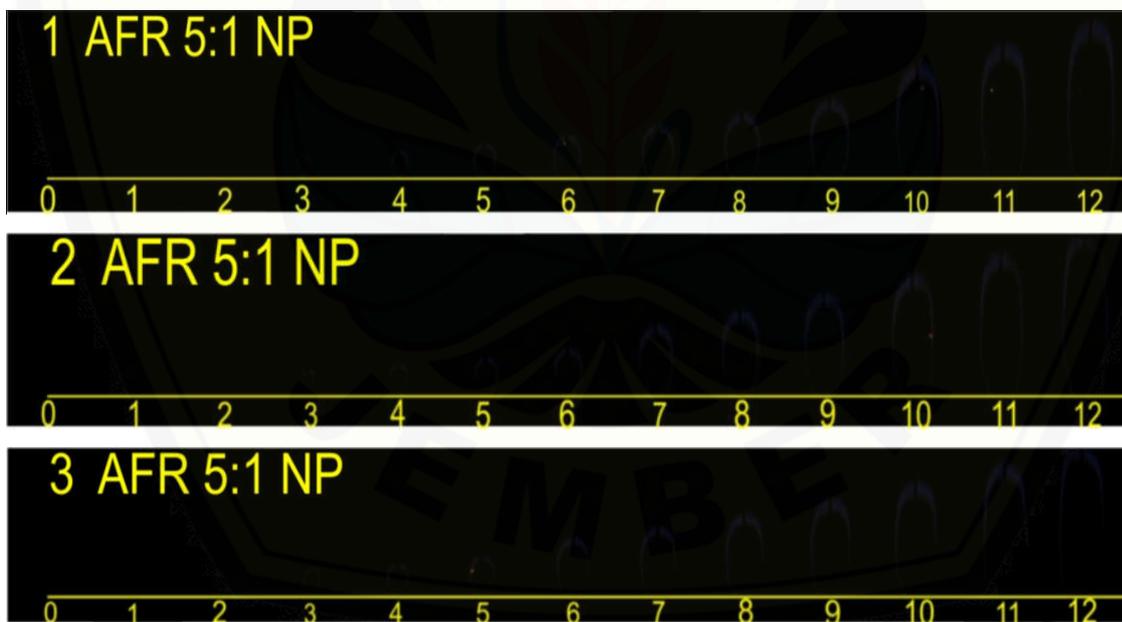


Lampiran C:  
Data rambat api

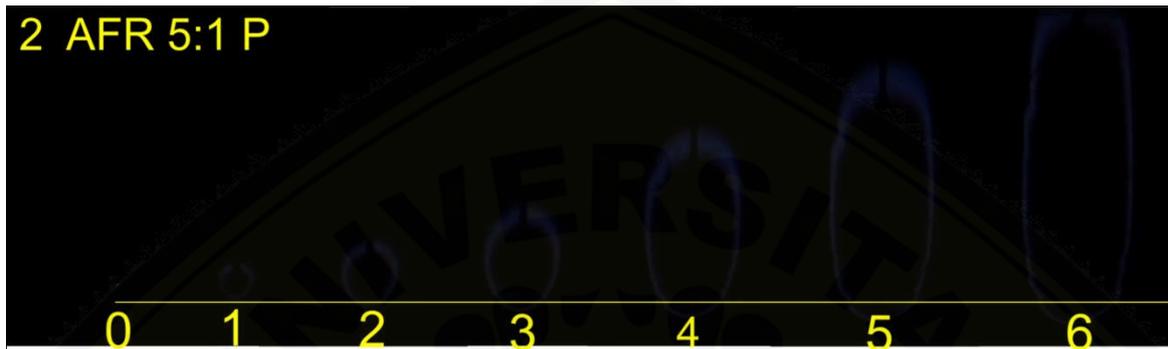
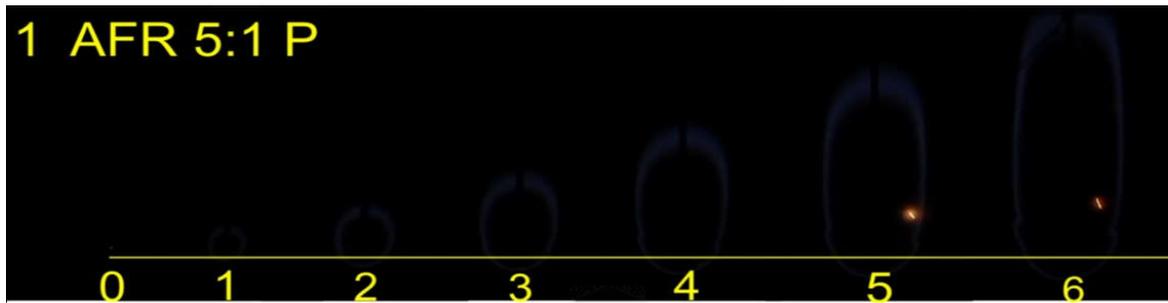
Nyala api pada biogas sebelum purifikasi dengan AFR 4:1



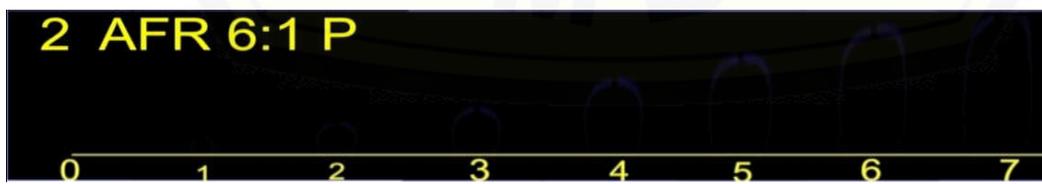
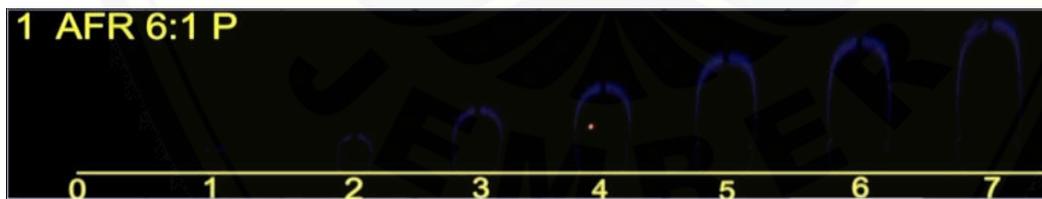
Nyala api pada biogas sebelum purifikasi dengan AFR 5:1



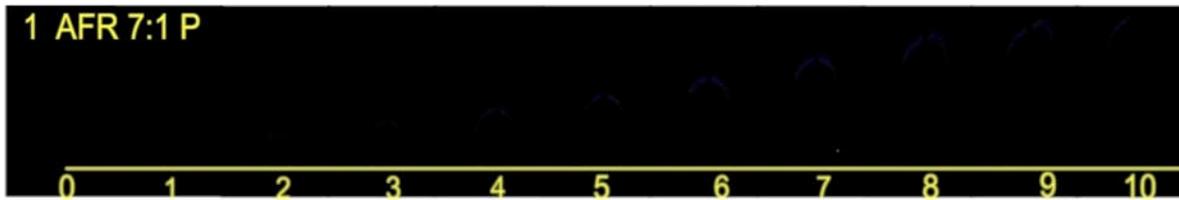
Nyala api pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 5:1



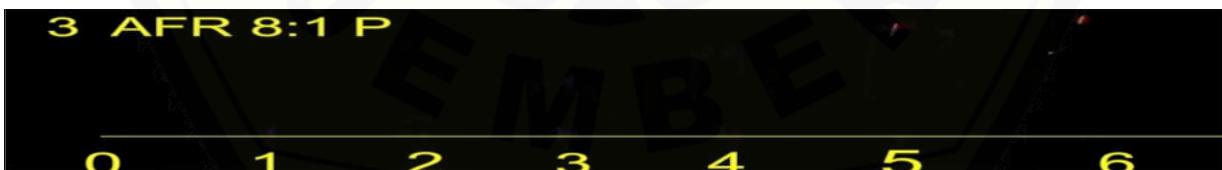
Nyala api pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 6:1



Nyala api pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 7:1



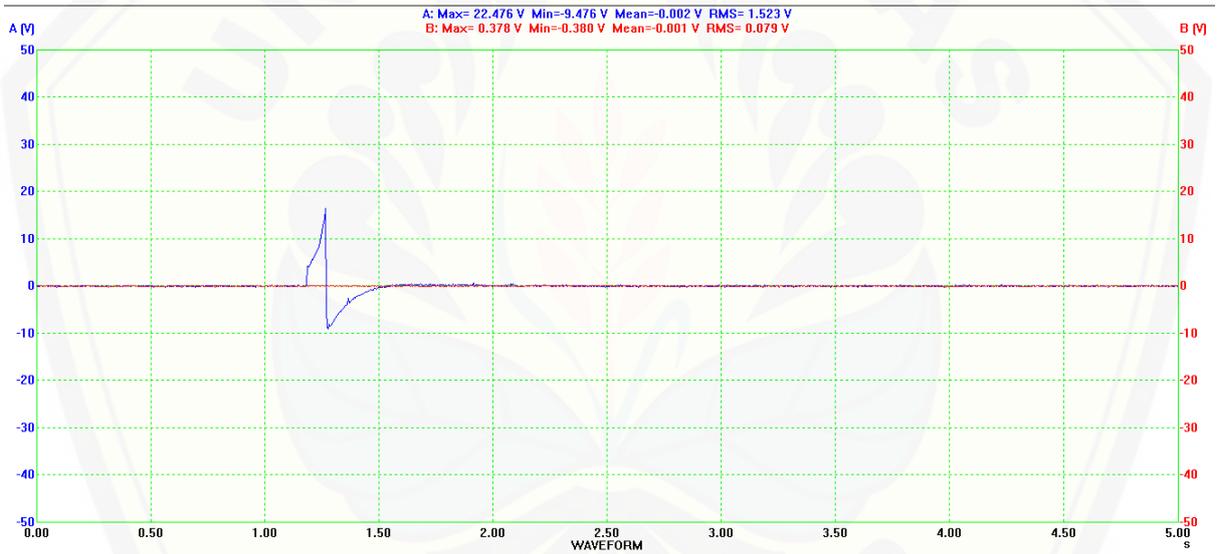
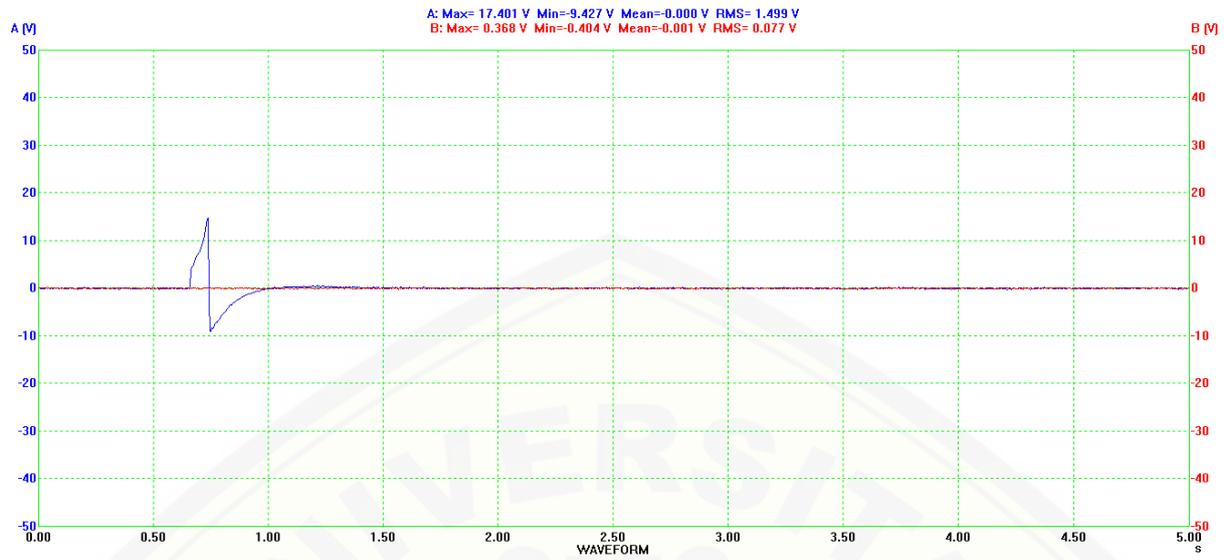
Nyala api pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 8:1

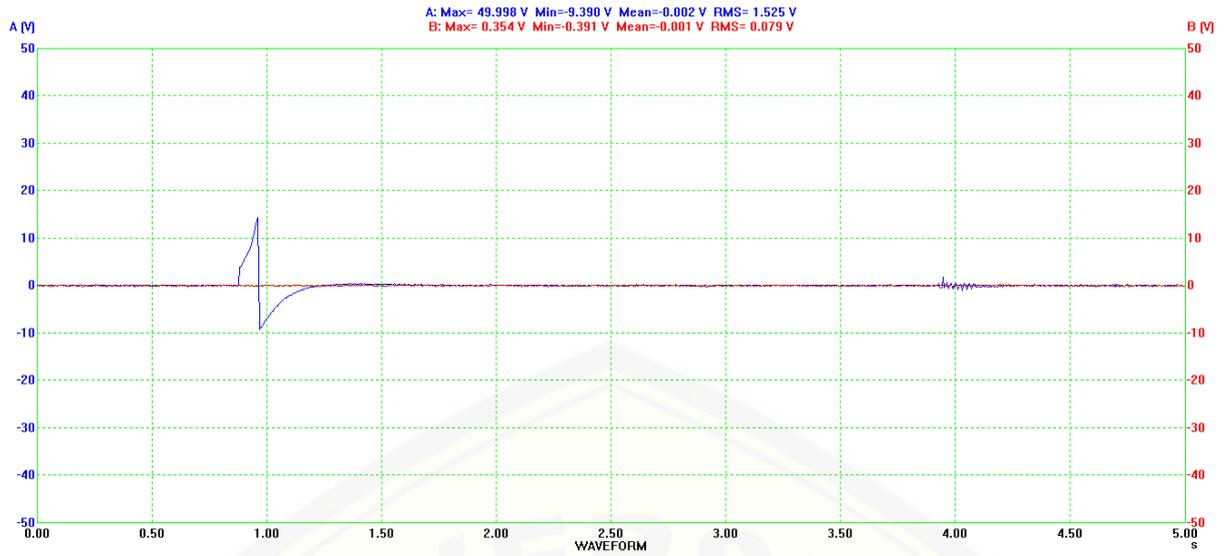




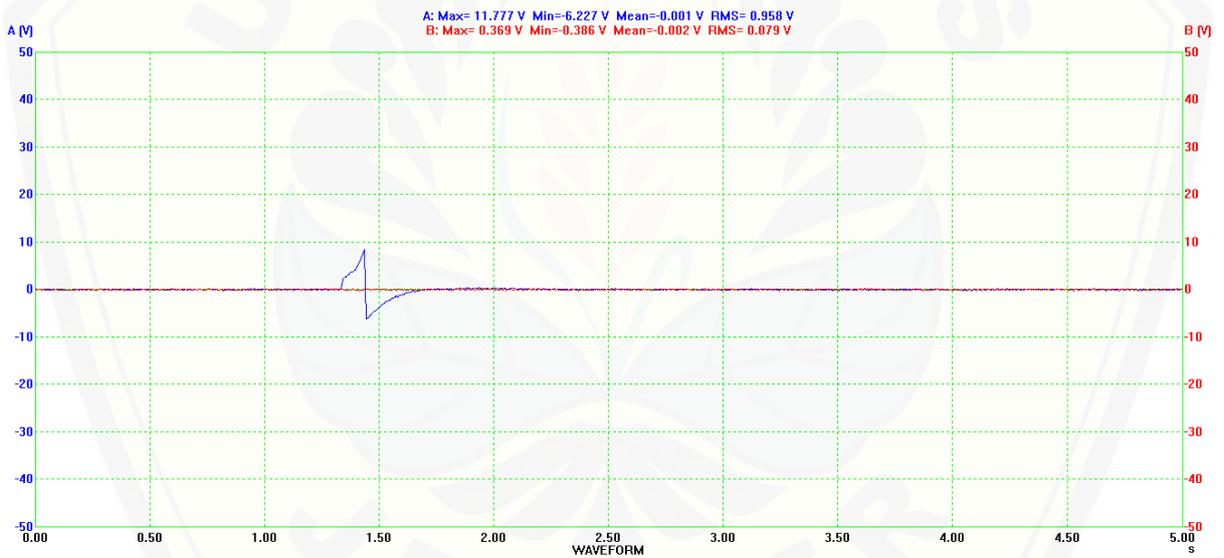
**Lampiran D: Perilaku ion**

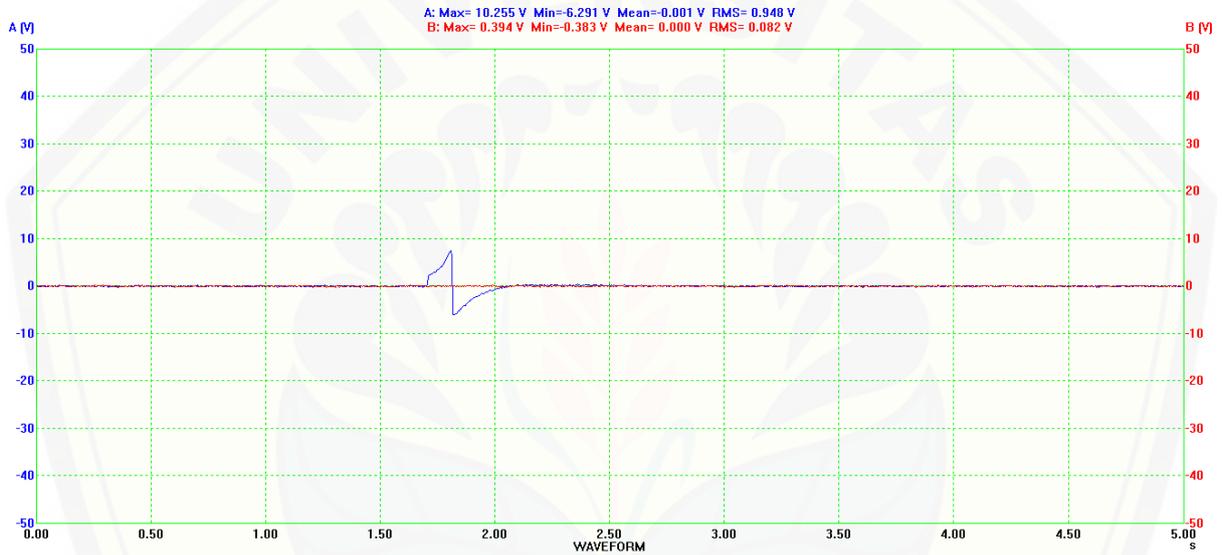
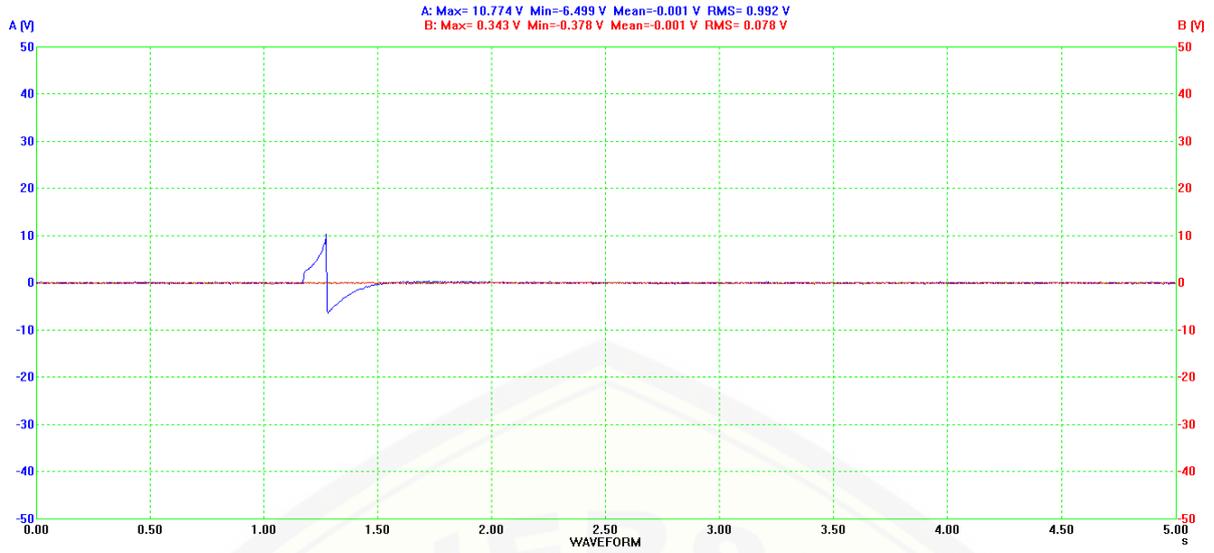
Perilaku ion pada biogas sebelum purifikasi dengan AFR 4:1





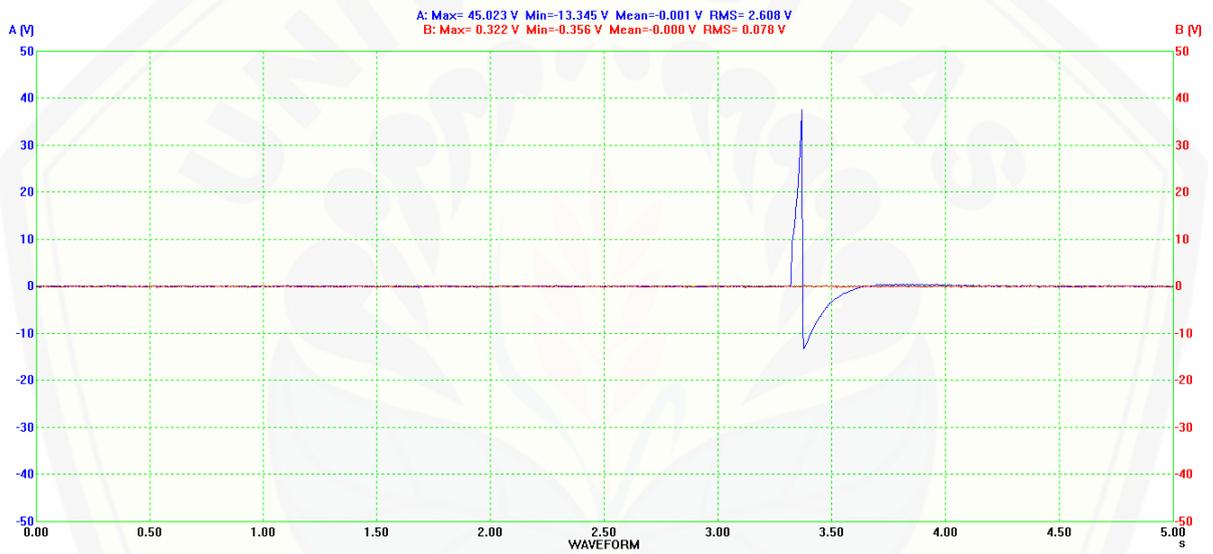
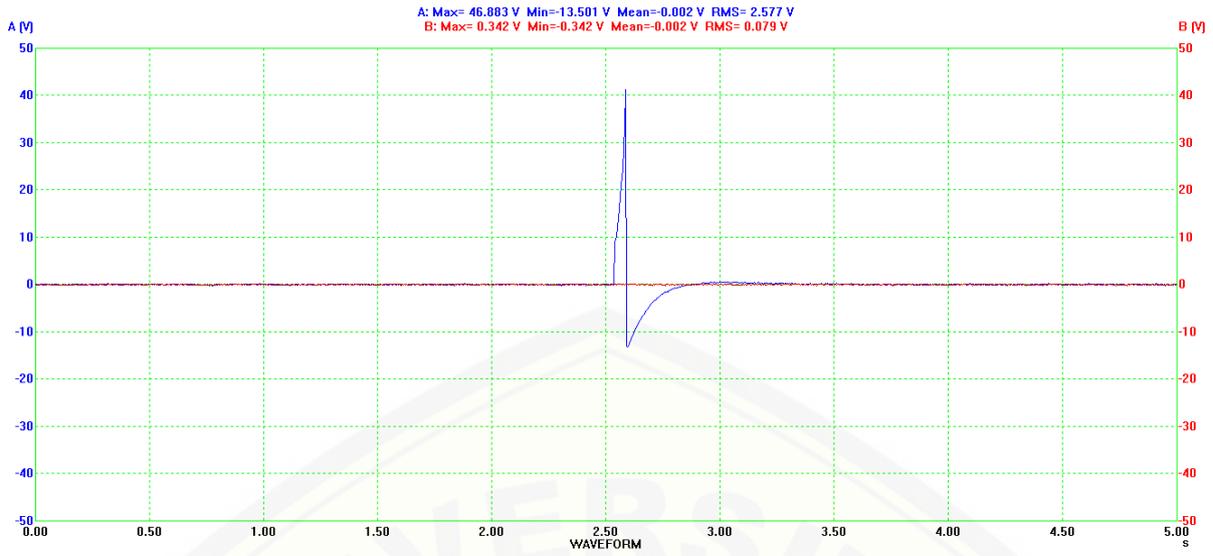
Perilaku ion pada biogas sebelum purifikasi dengan AFR 5:1



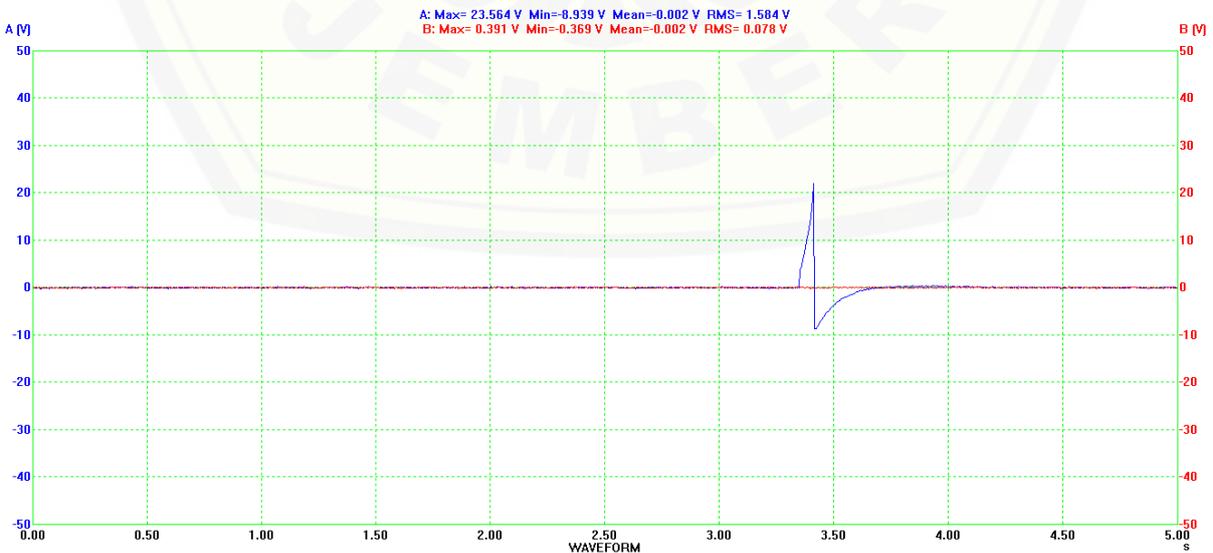


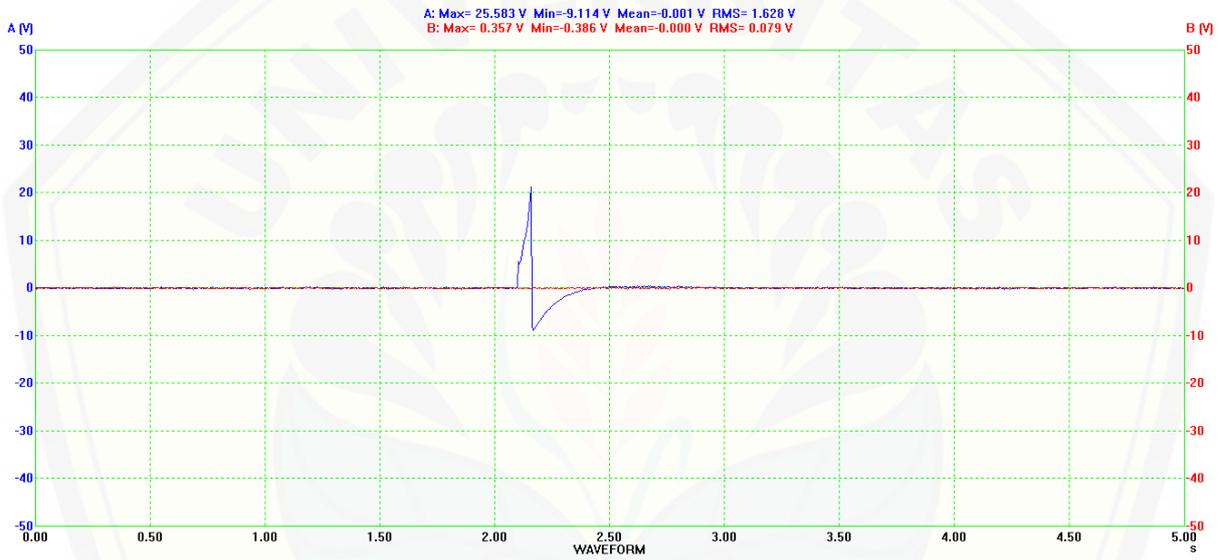
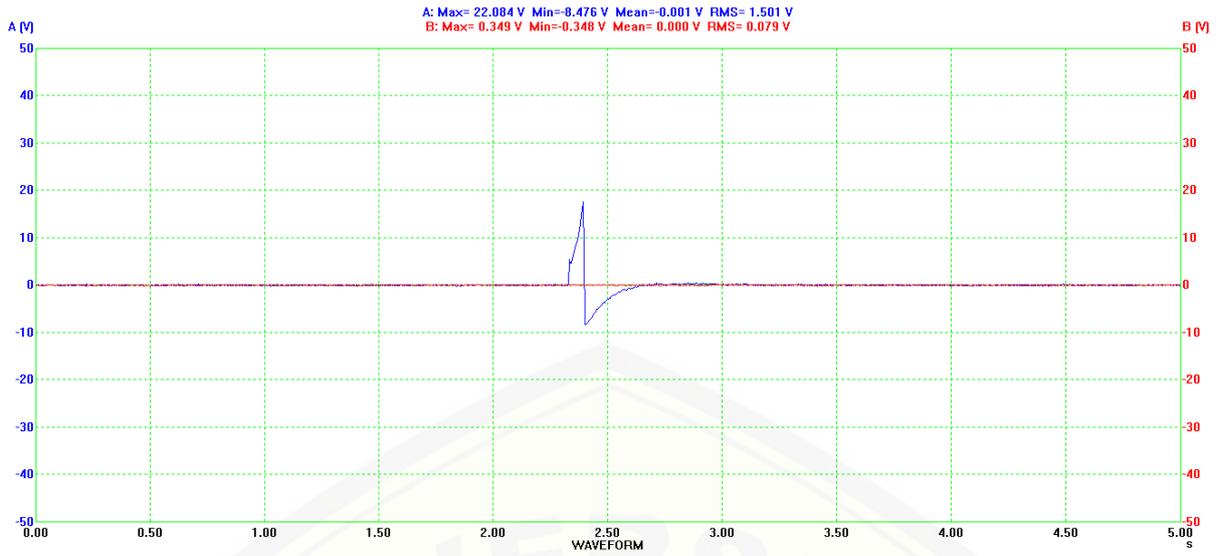
Perilaku ion pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 5:1





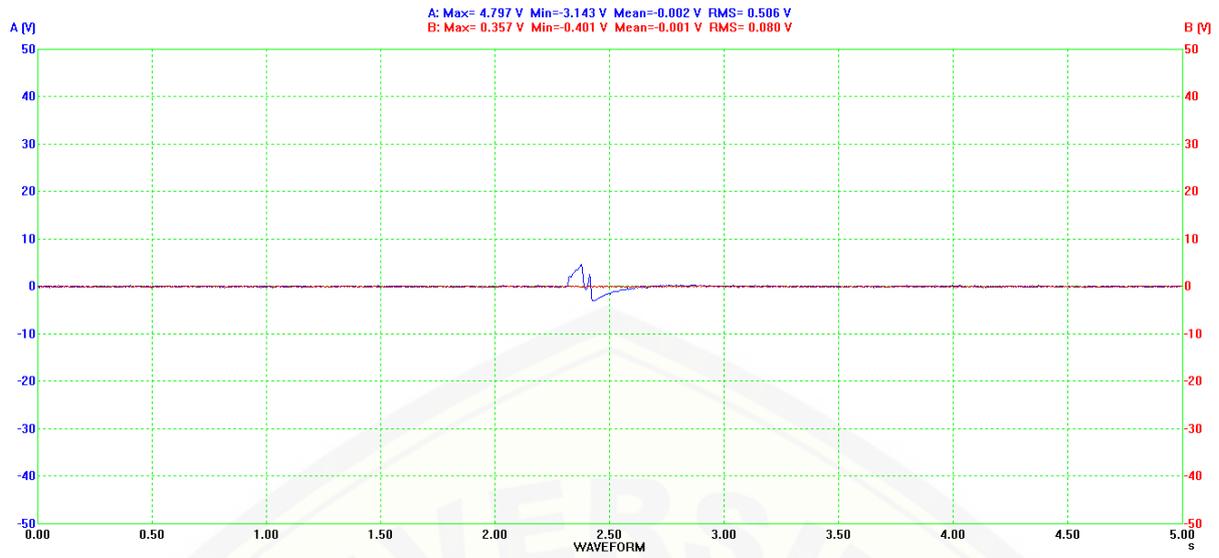
Perilaku ion pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 6:1





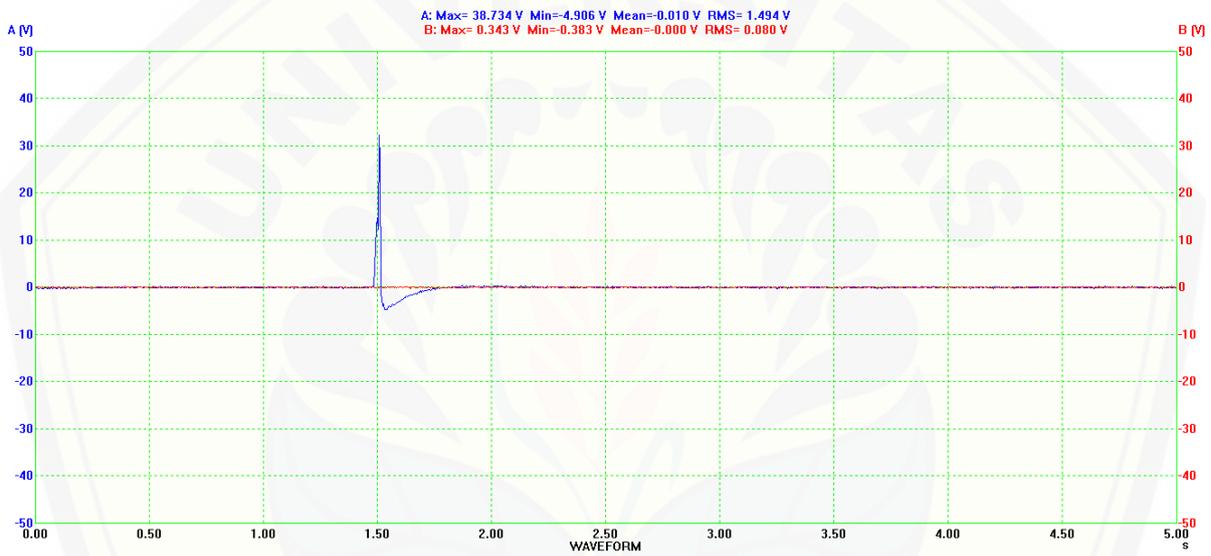
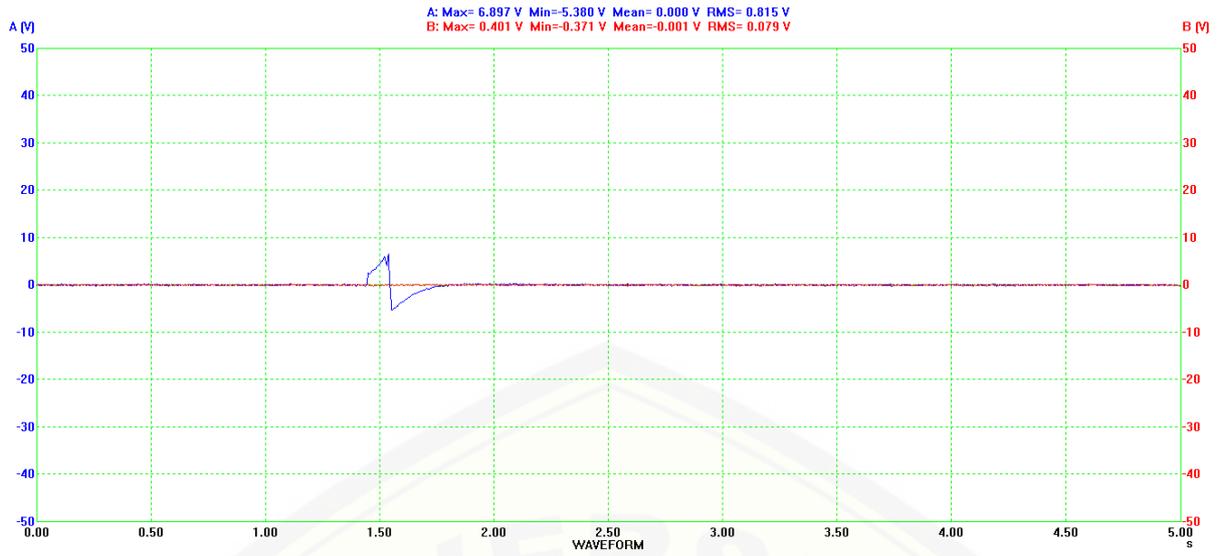
Perilaku ion pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 7:1





Perilaku ion pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 8:1





## Sebelum Purifikasi Ion

4:1

Waktu	1	2	3
0	0.413513	0.146484	0.111389
8.333333	4.3808	4.13666	3.97644
16.66667	5.08881	4.61884	4.34723
25	6.37054	5.63965	5.38483
33.33333	7.06787	6.03638	6.1615
41.66667	7.54089	7.03583	6.8924
50	8.78143	7.84302	7.61414
58.33333	9.8526	9.03015	9.01947
66.66667	12.0743	11.5112	10.9772
75	14.595	13.6337	12.7823
83.33333		15.8325	14.3478

5:1

Waktu	1	2	3
0	0.143433	0.100708	0.048828
8.333333	2.41394	2.54669	2.2171
16.66667	2.57263	2.76337	2.52838
25	2.89612	3.03192	2.71301
33.33333	3.19214	3.2547	2.9953
41.66667	3.75977	3.71704	3.10669
50	3.75061	4.15649	3.5553
58.33333	4.08783	4.60663	3.82385
66.66667	4.60358	5.22919	4.422
75	5.37109	5.98145	4.94995
83.33333	6.29883	6.92902	5.75562
91.66667	7.2998	7.90558	6.633
100	7.98035	7.96356	7.29523
108.3333			6.19049

## Sesudah Purifikasi Ion

5:1

Waktu	1	2	3
0	2.167778	1.301169	1.736815
8.333333	7.041025	6.150005	6.653555
16.66667	8.8381	7.72733	8.05008
25	11.65522	10.11421	10.6887
33.33333	14.17403	12.43312	13.16477
41.66667	18.16076	15.71944	17.14078
50	3.863615	21.6295	22.2765

6:1

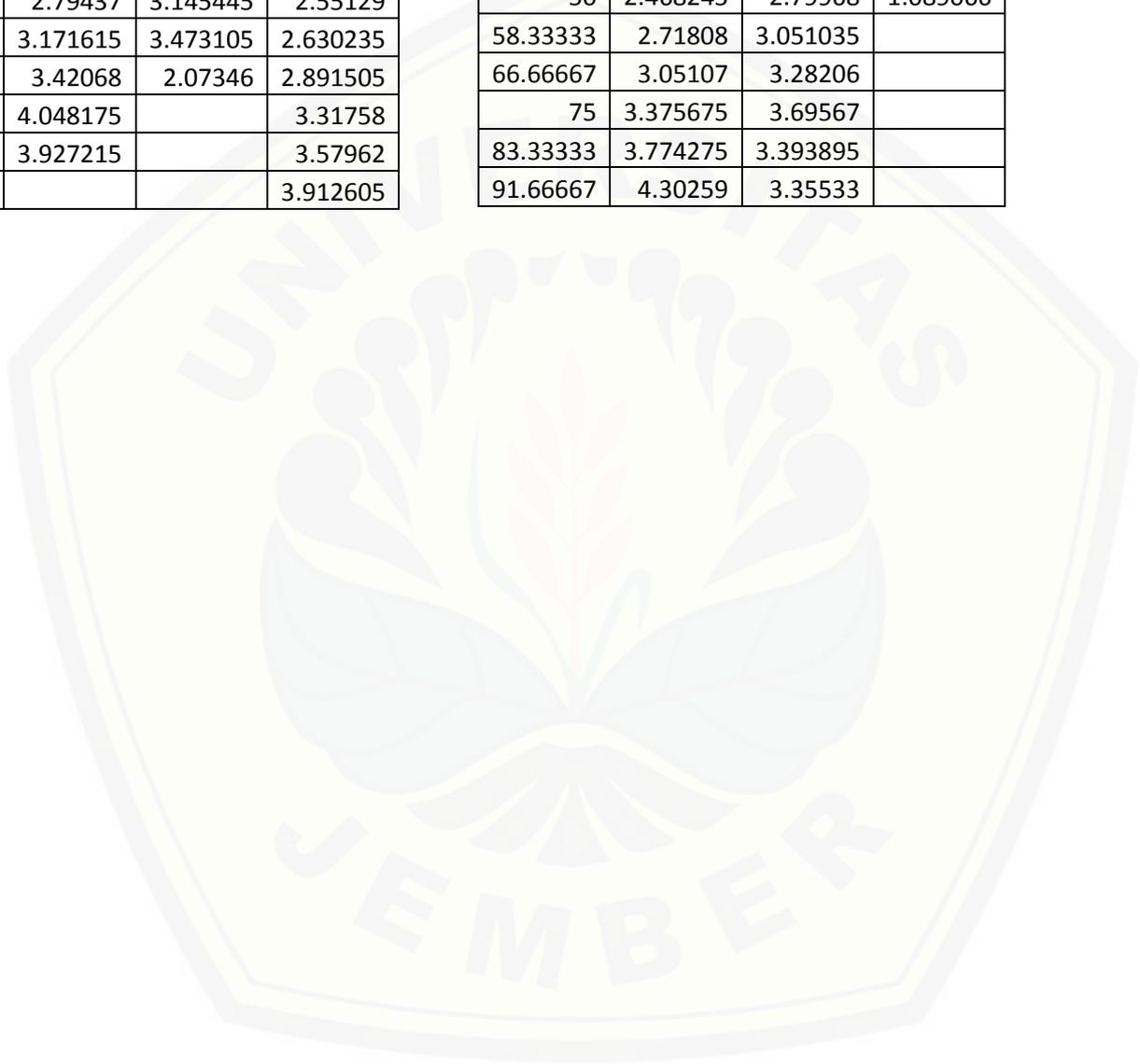
Waktu	1	2	3
0	1.794673	1.170836	1.100793
8.333333	3.748155	3.476035	3.55553
16.66667	4.65411	3.978395	3.96939
25	5.66536	4.872155	5.434585
33.33333	3.38006	5.55686	6.326815
41.66667	7.613845	6.2469	7.15188
50	8.911215	7.30622	8.5568
58.33333	10.73269	8.875195	10.75368

7:1

Waktu	1	2	3
0	0.738425	1.194786	0.973709
8.333333	1.94804	2.196125	1.97886
16.66667	2.1025	2.30328	2.023455
25	2.26918	2.664505	2.18174
33.33333	2.443475	2.834225	2.165305
41.66667	2.56819	2.879585	2.34723
50	2.79437	3.145445	2.55129
58.33333	3.171615	3.473105	2.630235
66.66667	3.42068	2.07346	2.891505
75	4.048175		3.31758
83.33333	3.927215		3.57962
91.66667			3.912605

8:1

Waktu	1	2	3
0	0.65644	0.868856	1.037363
8.333333	1.52197	1.91138	1.051451
16.66667	1.686345	1.981925	1.170057
25	2.065125	2.353075	1.142183
33.33333	2.284435	2.412165	1.080731
41.66667	2.26877	2.48728	1.126104
50	2.468245	2.79968	1.089066
58.33333	2.71808	3.051035	
66.66667	3.05107	3.28206	
75	3.375675	3.69567	
83.33333	3.774275	3.393895	
91.66667	4.30259	3.35533	





Lampiran E: Gambar alat penelitian



Reaktor Biogas



Gambar Alat Purifikasi



Gambar *cylinder Pneumatic*



Gambar Ruang Bakar *Helle-Shaw Cell*



Gambar Pengujian Rambut Api dan Perilaku Ion



Gambar Kompor Biogas



Gambar Sistem Keluaran Gas Pada Pengujian Kalor Pembakaran



Gambar Pengujian Kalor Pembakaran