



**ANALISIS VARIASI *AIR FUEL RATIO* TERHADAP TEGANGAN ION
DAN KECEPATAN RAMBAT API PEMBAKARAN BIOGAS
LIMBAH PASAR (SAYURAN)**

SKRIPSI

Oleh

Ivan Rizki Yuwono

NIM 121910101032

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2017



**ANALISIS VARIASI AIR FUEL RATIO TERHADAP TEGANGAN ION
DAN KECEPATAN RAMBAT API PEMBAKARAN BIOGAS
LIMBAH PASAR (SAYURAN)**

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

Ivan Rizki Yuwono

NIM 121910101032

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

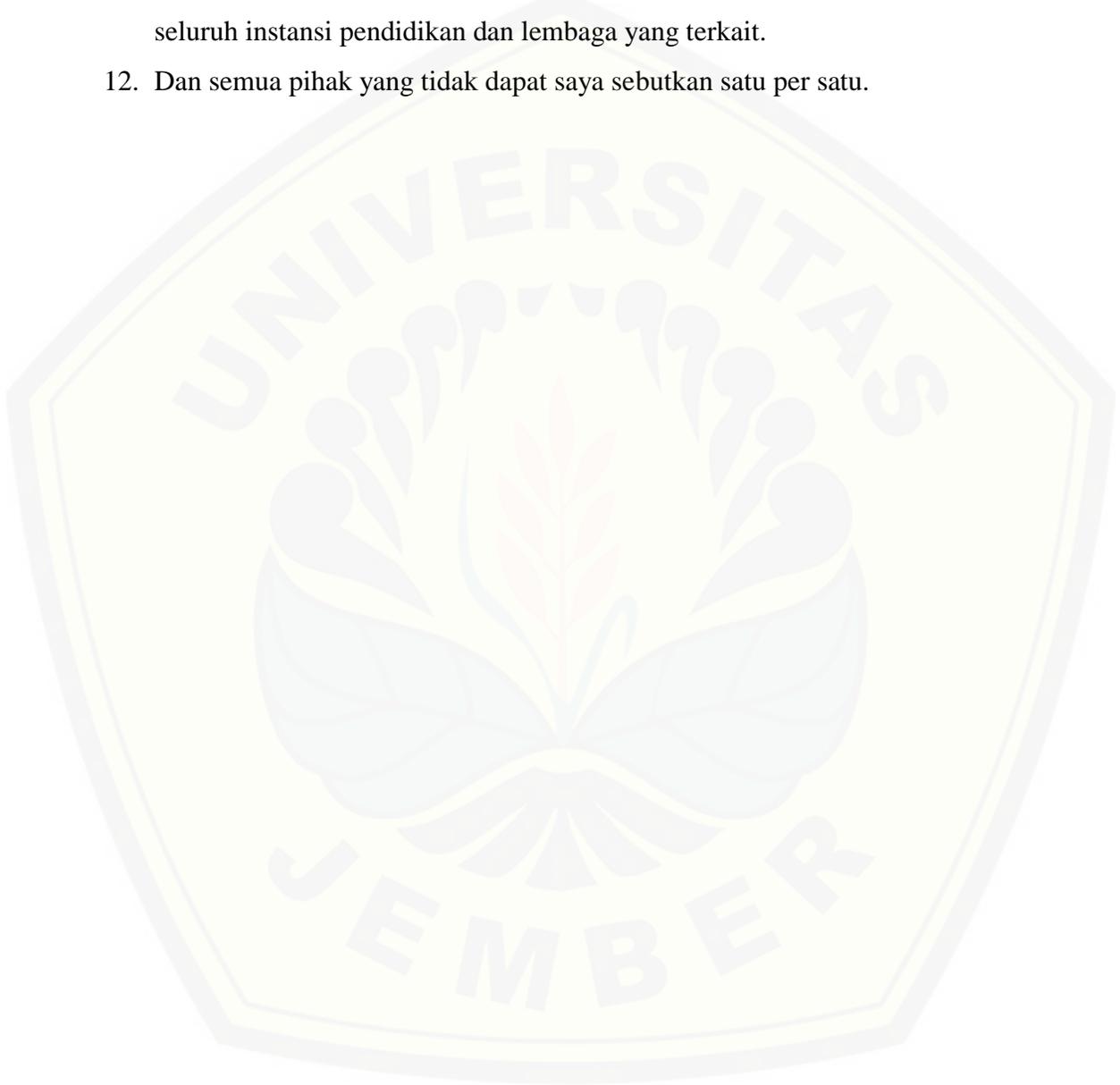
2017

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Alm. Papa, semoga Papa tenang di sisi Allah, berharap tahu jika saya telah memenuhi separuh harapannya.
2. Mama yang bersama Alm. Papa telah mendidik saya. Yang selalu memanjatkan doa serta memberi dorongan semangat, kasih sayang dan segala pengorbanan yang tak terbatas.
3. Adik saya, yang selalu memberikan doa dan semangat.
4. Keluarga besar saya yang selalu memberikan doa dan semangat saya untuk meraih cita-cita.
5. Bapak dan ibu guru/dosen yang telah mendidik saya dari sekolah dasar sampai dengan perguruan tinggi.
6. Bapak Boy Arief F., S.T., M.T., Ph.D dan Bapak Ir. Achmad Syuhri, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dalam penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Gaguk Jatisukanto, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik serta saran pada skripsi saya sehingga saya dapat menyusun skripsi ini menjadi lebih baik.
8. Bapak Nurkoyim, S.T., M.T. yang telah meluangkan waktunya untuk mengajari dan membimbing saya dalam melakukan penelitian ini sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
9. Teman-teman satu tim penelitian biogas (Adit, Abdi, Roni, Hemas, Adimas, Busro, Alvin, Dheny, Josua, Aji dan Yusuf) yang telah berjuang bersama-sama dalam melakukan penelitian biogas ini, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

10. Teman-teman Teknik Mesin 2012 yang telah memberi saya semangat dan motivasi sehingga membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Seluruh civitas akademik, baik di lingkungan Universitas Jember maupun seluruh instansi pendidikan dan lembaga yang terkait.
12. Dan semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.



MOTTO

*“Kau tak akan pernah mampu menyeberangi lautan sampai kau berani berpisah
dengan daratan”*

(Christopher Columbus)

“Yakinlah kau bisa dan kau sudah separuh jalan menuju ke sana”

(Theodore Roosevelt)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ivan Rizki Yuwono

NIM : 121910101032

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “ANALISIS VARIASI *AIR FUEL RATIO* TERHADAP TEGANGAN ION DAN KECEPATAN RAMBAT API PEMBAKARAN BIOGAS LIMBAH PASAR (SAYURAN) ” 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, 14 Juni 2017

Yang menyatakan,

(Ivan Rizki Yuwono)
NIM 121910101032

SKRIPSI

**ANALISIS VARIASI *AIR FUEL RATIO* TERHADAP TEGANGAN ION DAN
KECEPATAN RAMBAT API PEMBAKARAN BIOGAS
LIMBAH PASAR (SAYURAN)**

Oleh:

Ivan Rizki Yuwono

NIM 121910101032

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Boy Arief F., S.T., M.T., Ph. D

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Achmad Syuhri, M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “ANALISIS VARIASI *AIR FUEL RATIO* TERHADAP TEGANGAN ION DAN KECEPATAN RAMBAT API PEMBAKARAN BIOGAS LIMBAH PASAR (SAYURAN)” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Rabu, 14 Juni 2017

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

DPU,

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

Penguji I,

Ahmad Adib R., S.T., M.T.
NIP 19850117 201212 1 001

DPA,

Ir. Achmad Syuhri, M.T.
NIP 19670123 199702 1 001

Penguji II,

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

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

RINGKASAN

Analisis Variasi *Air Fuel Ratio* Terhadap Tegangan Ion Dan Kecepatan Rambat Api Pembakaran Biogas Limbah Pasar (Sayuran); Ivan Rizki Yuwono, 121910101032; 2017; 62 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Meningkatnya kebutuhan energi berbanding lurus dengan meningkatnya populasi manusia. Kebutuhan energi masih didominasi dengan penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batubara. Namun, penggunaan energi ini berakibat pada lingkungan, seperti terjadi polusi. Selain itu, kurangnya penanganan sampah juga berdampak buruk terhadap lingkungan. Dibutuhkan suatu langkah penanganan yang tepat untuk mengurangi dampak buruk tersebut, yaitu dengan membuat energi terbarukan. Biogas adalah solusi alternatif masyarakat dalam menangani masalah ini. Biogas merupakan suatu energi terbarukan yang dibuat dari hasil penguraian suatu bahan-bahan organik oleh mikroorganisme pada ruang hampa udara (*anaerob*). Kandungan dari biogas tersebut terdiri dari CH_4 , CO_2 , CO , H_2O , N_2 dan H_2S . Untuk mendapatkan biogas dengan kualitas bagus, perlu dikurangi kandungan zat pengotor, terutama gas CO_2 , yang terdapat pada biogas.

Pada penelitian ini mengamati karakteristik pembakaran, seperti kalor pembakaran, kecepatan rambat api dan tegangan ion. Dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui kualitas biogas sampah pasar (sayuran) dengan kondisi sebelum dan sesudah purifikasi dengan menggunakan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Pada penelitian kalor pembakaran, dilakukan pemanasan air untuk mengetahui nilai kalor pembakaran. Dengan menggunakan variasi *Air Fuel Ratio* (AFR), meneliti kecepatan rambat api dan tegangan ion, dan membandingkan hasil yang didapatkan pada setiap karakteristik pembakaran biogas sebelum dan sesudah purifikasi untuk mengetahui kualitas biogas tersebut.

Hasil dari penelitian ini adalah kualitas biogas yang telah dipurifikasi dengan larutan Ca(OH)_2 lebih baik dibandingkan dengan biogas yang belum purifikasi. Dengan tiga tahap purifikasi, didapat persentase kandungan CO_2 yaitu 16,1% pada Ca(OH)_2 1M dan 9,8% pada Ca(OH)_2 4M. Pada pengujian kalor pembakaran, nilai kalor pembakaran tertinggi pada biogas setelah purifikasi dibandingkan dengan nilai kalor pembakaran biogas sebelum purifikasi. Pada pengujian kecepatan rambat api dan tegangan ion, dengan menggunakan alat *helle-shaw cell*, didapatkan bahwa pada biogas sebelum biogas, api menyala pada AFR 4:1 dan 5:1, sedangkan pada biogas sesudah purifikasi, api menyala pada AFR 5:1 sampai dengan 9:1. Nilai kecepatan rambat api dan tegangan ion pada biogas sebelum purifikasi paling besar pada AFR 4:1 yaitu 3,413 mm/milidetik dan 21,256 volt, sedangkan pada biogas sesudah purifikasi terjadi pada AFR 6:1 yaitu 7,8251 mm/milidetik dan 39,903 volt.

SUMMARY

Analysis of Air Fuel Ratio Variations on Ion Voltage and Velocity of Flame Propagation of Market Waste (Vegetables) Biogas Combustion; Ivan Rizki Yuwono. 121910101032; 2017; 62 pages; *Mechanical Engineering Department of Engineering Faculty, University of Jember.*

Increasing of energy necessity is relating with human population's increase. Energy needing are still dominated with fuel's using like oil, nature gas and coal. But, using of this energy makes horrible effect on environment, like air pollution. Furthermore, the lack of waste management also has an adverse impact on the environment. It takes an appropriate handling step to reduce the adverse effect, namely producing renewable energy. Biogas is an alternative solution of people in handling this problem. Biogas is a kind of renewable energy made from the decomposition of an organic material by microorganisms in vacuum (anaerob). The content of the biogas consists of CH₄, CO₂, CO, H₂O, N₂ and H₂S. To get a good quality of biogas, it is necessary to reduce the content of impurities, especially CO₂ gas, which is found in biogas.

In this research observed the characteristics of combustion, such as heat combustion, velocity of flame propagation and ion voltage. This research is conducted to know the quality of market biogas (vegetables) with the condition of before and after purification by using solvent of Ca(OH)₂. In the research of heat combustion, doing water heating to determine the value of heat combustion. Using the Air Fuel Ratio (AFR) variation, examine the velocity of fire and ionic stress, and compare the results obtained on each characteristic of biogas combustion before and after purification to determine the quality of the biogas. Using the Air Fuel Ratio (AFR) variation, examine the velocity of flame propagation and ion voltage, and comparing the results obtained on each characteristic of biogas combustion before and after purification to determine the quality of the biogas.

The result of this research is the quality of biogas that has been purified with solvent of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ is better than the unpurified biogas. With three steps of purification, obtained the percentage of CO_2 content of 16.1% in $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1M and 9.8% in $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 4M. In the testing of velocity of flame propagation and ion voltage, using the helle-shaw cell device, obtained that in biogas before purification, the flame burns at 4:1 and 5:1 AFR variation, while in biogas after purification, the flame burns at AFR variation 5:1 until 9:1. The highest values of velocity of flame propagation and ion voltage of biogas before purification are at AFR 4:1 that is 3.413 mm/millisecond and 21.256 volts, whereas in biogas after purification occurred at AFR 6:1 are 7.8251 mm/millisecond and 39.903 volts.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Analisis Variasi *Air Fuel Ratio* Terhadap Tegangan Ion Dan Kecepatan Rambat Api Pembakaran Biogas Limbah Pasar (Sayuran)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Boy Arief F., S.T., M.T., Ph.D dan Bapak Ir. Achmad Syuhri, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dalam penyusunan skripsi ini;
2. Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik serta saran pada skripsi saya sehingga saya dapat menyusun skripsi ini menjadi lebih baik;
3. Bapak Nurkoyim, S.T., M.T. yang telah meluangkan waktunya untuk mengajarkan dan membimbing saya dalam melakukan penelitian ini sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
4. Teman-teman satu tim penelitian biogas (Adit, Abdi, Roni, Hemas, Adimas, Busro, Alvin, Dheny, Josua, Aji dan Yusuf) yang telah berjuang bersama-sama dalam melakukan penelitian biogas ini, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
5. Teman-teman Teknik Mesin 2012 yang telah memberi saya semangat dan motivasi sehingga membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini;
6. Seluruh civitas akademik, baik di lingkungan Universitas Jember maupun seluruh instansi pendidikan dan lembaga yang terkait;
7. Dan semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Penulis mengharapkan segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini sehingga memberikan manfaat bagi pembaca.

Jember, 14 Juni 2017

Ivan Rizki Yuwono



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iv
PERNYATAAN	v
PEMBIMBING	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Energi	6
2.2 Sampah Organik dan Limbah Kotoran Hewan	7
2.3 Biogas	8
2.4 Faktor-faktor Penunjang Biogas	10
2.5 Absorpsi	12
2.6 Perbandingan Udara dan Bahan Bakar	13
2.7 <i>Helle-Shaw Cell</i>	15
2.8 Karakteristik Pembakaran	16
2.8.1 Kalor Pembakaran	16
2.8.2 Laju Rambat Api	17
2.8.3 Perilaku Ion	22

2.9 Hipotesa.....	22
BAB 3 METODOLOGI PRAKTIKUM	
3.1 Metode Penelitian.....	24
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	25
3.3 Variabel Penelitian	25
3.3.1 Variabel Bebas	25
3.3.2 Variabel Kontrol.....	25
3.3.3 Variabel Terikat	25
3.4 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data	26
3.5 Pengamatan yang Dilakukan	26
3.6 Proses Pembuatan Biogas	26
3.7 Peralatan Penelitian.....	27
3.7.1 Alat Purifikasi	27
3.7.2 Kompor Biogas	28
3.7.3 <i>Helle-Shaw Cell</i>	28
3.8 Langkah Penelitian dan Prosedur Pengujian.....	29
3.8.1 Pemurnian Biogas	29
3.8.2 Pengujian Kalor Pembakaran.....	31
3.8.3 Pengujian Rambat Api dan Perilaku Ion	32
3.9 Diagram Alir	36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Komposisi Biogas	37
4.2 Kalor Pembakaran.....	39
4.3 Cepat Rambat Api	42
4.4 Perilaku Ion	49
4.5 Hubungan Karakteristik Pembakaran Terhadap Kualitas Biogas.....	52
BAB 5 PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

2.1	Perangkat <i>Helle-Shaw Cell</i>	16
2.2	Pola Rambat Api pada Berbagai Campuran CO ₂ 10%, 20% dan 30% pada AFR 7,5:1	18
2.3	Pola Rambat Api pada Berbagai Campuran CO ₂ 10%, 20% dan 30% pada AFR 8,5:1	19
2.4	Pola Rambat Api pada Berbagai Campuran CO ₂ 10%, 20% dan 30% pada AFR 10:1	19
2.5	Rambat Api Sebelum dan Sesudah Dipurifikasi dengan Molaritas Ca(OH) ₂ 2M, 3M dan 4M dengan Waktu Purifikasi 40 Menit	20
2.6	Grafik Cepat Rambat Api Total Sebelum dan Sesudah Dipurifikasi dengan Larutan Ca(OH) ₂ dengan Molaritas 2M, 3M dan 4M dalam Waktu 40 Menit	21
3.1	Reaktor Biogas	27
3.2	Alat Purifikasi	27
3.3	Kompore Biogas	28
3.4	<i>Helle-Shaw Cell</i>	29
3.5	Skema Pemurnian Biogas.....	30
3.6	Skema Pengujian Kalor Pembakaran	31
3.7	Proses Pencampuran Biogas dan Udara	33
3.8	Skema Perilaku Ion Dan Perekaman Rambat Api	33
3.9	Diagram Alir pada Pemurnian Biogas.....	36
4.1	Purifikasi Kandungan CO ₂	38
4.2	Kalor Yang Diserap Oleh Air.....	42
4.3	Rambat Api Biogas Sebelum Purifikasi	43
4.4	Rambat Api Pembakaran Pada Biogas Setelah Purifikasi	45

4.5	Kecepatan Rambat Api Biogas Sebelum dan Sesudah Purifikasi	48
4.6	Rata-rata Tegangan Ion Biogas Sebelum Purifikasi.....	50
4.7	Rata-rata Tegangan Ion Pada Biogas Setelah Purifikasi	52
4.8	Kecepatan Rambat Api dan Tegangan Ion Biogas Sebelum Purifikasi pada AFR 4:1	54
4.9	Kecepatan Rambat Api dan Tegangan Ion Biogas Sebelum Purifikasi pada AFR 5:1	55
4.10	Kecepatan Rambat Api dan Tegangan Ion Biogas Sesudah Purifikasi pada AFR 5:1	56
4.11	Kecepatan Rambat Api dan Tegangan Ion Biogas Sesudah Purifikasi pada AFR 6:1	57
4.12	Kecepatan Rambat Api dan Tegangan Ion Biogas Sesudah Purifikasi pada AFR 7:1	58
4.13	Kecepatan Rambat Api dan Tegangan Ion Biogas Sesudah Purifikasi pada AFR 8:1	59
4.14	Kecepatan Rambat Api dan Tegangan Ion Biogas Sesudah Purifikasi pada AFR 9:1	60

DAFTAR TABEL

2.1 Komponen-komponen Biogas.....	9
2.2 Produksi Biogas dari Beberapa Bahan Organik.....	10
4.1 Persentase Komposisi Gas	37
4.2 Perubahan Suhu Air yang Dipanaskan Dengan Menggunakan Biogas Sebelum Purifikasi	39
4.3 Perubahan Suhu Air yang Dipanaskan Dengan Menggunakan Biogas Setelah Purifikasi	40
4.4 Kalor Yang Terserap Oleh Air	41
4.5 Hasil Perhitungan Cepat Rambat Api Pembakaran Biogas.....	46
4.6 Besar Tegangan	53

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya kebutuhan energi berbanding lurus dengan meningkatnya populasi manusia. Data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (2016) menunjukkan bahwa jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2015 berjumlah 255 juta jiwa. Kebutuhan energi di dunia termasuk Indonesia masih didominasi dengan penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batubara. Bahan bakar fosil merupakan suatu bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui. Penggunaan energi berbahan bakar fosil ini bisa ditemukan di sektor industri, rumah tangga serta untuk sarana transportasi. Namun, penggunaan energi dari bahan bakar fosil juga memiliki dampak yang kurang baik. Dampak penggunaan energi berbahan bakar fosil ini yaitu menghasilkan polutan yang berdampak pada terjadinya asap, hujan asam dan pemanasan global yang mempengaruhi perubahan iklim (Astra, 2010). Di beberapa negara mulai mengembangkan suatu energi yang dapat menjadi solusi dalam mengurangi suatu polusi serta ramah lingkungan yang saat ini disebut dengan energi terbarukan (*renewable energy*).

Sampah organik merupakan suatu masalah yang masih belum bisa diatasi. Meningkatnya jumlah masyarakat Indonesia berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah sampah, di antaranya adalah sampah yang sering ditemui di pasar. Menumpuknya sampah organik tersebut dapat menyebabkan aroma yang kurang sedap serta bisa merusak lingkungan. Dalam hal ini, perlu adanya penanggulangan agar sampah-sampah organik tersebut bisa dimanfaatkan dengan baik. Beberapa masyarakat hanya memanfaatkan sampah organik tersebut untuk digunakan sebagai pupuk kompos. Oleh sebab itu, diperlukan penanganan dalam permasalahan sampah organik. Sampah organik berpotensi untuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan biogas, namun belum dapat dimanfaatkan (Sutrisno, 2010).

Beberapa negara seperti Thailand, India serta Indonesia sudah mulai mengembangkan dan mengaplikasikan energi terbarukan (*renewable energy*) yang digunakan sebagai energi alternatif pengganti energi berbahan bakar fosil. Beberapa contoh dari energi terbarukan di antaranya kincir angin, panel surya serta biogas. Biogas merupakan suatu energi terbarukan yang merupakan hasil dari fermentasi suatu bahan organik secara *anaerob* (Sunaryo, 2014). Gas metan yang merupakan hasil dari proses biogas ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Hal ini bisa dijadikan solusi untuk masyarakat Indonesia dalam mengelola dan memanfaatkan sampah. Kemudian, hasil residu pengolahan biogas dapat dimanfaatkan kembali menjadi pupuk organik yang memiliki kualitas lebih baik dari pupuk kandang (Renosori, 2012). Jadi, biogas merupakan salah satu energi terbarukan yang ramah lingkungan.

Kandungan gas dalam suatu biogas terdiri dari berbagai macam gas. Hasil dari gas tersebut antara lain gas metan, karbondioksida dan kandungan gas lainnya. Namun dari berbagai macam gas yang dihasilkan, hanya gas metan (CH_4) yang dapat dimanfaatkan sebagai penghasil energi. Dalam proses pembakaran, untuk dapat meningkatkan laju reaksi gas metan harus menghilangkan kadar karbondioksida pada hasil biogas karena kadar karbondioksida yang terdapat pada biogas tersebut dapat mengurangi kualitas pembakaran gas metan sehingga proses pembakaran tidak maksimal. Dalam menghilangkan kadar karbondioksida pada biogas dapat dilakukan dengan proses pemurnian biogas (purifikasi) kandungan gas pengotor seperti karbondioksida yang terdapat pada biogas. Proses purifikasi yang umum digunakan adalah purifikasi dengan media zat kimia. Proses purifikasi dengan zat kimia menggunakan beberapa larutan, salah satunya menggunakan larutan seperti $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ merupakan larutan basa dengan kekuatan sedang yang bereaksi hebat dengan berbagai asam serta bereaksi dengan banyak logam ketika terlarut dengan air (Masyhuri, 2013).

Sebuah kualitas dari biogas tersebut merupakan faktor yang sangat penting untuk menentukan besar energi yang terkandung dalam biogas. Di dalam biogas, terdapat banyak karakteristik pembakaran yang diteliti agar menghasilkan biogas yang bagus. Yang diteliti dalam karakteristik pembakaran antara lain mengenai kalor pembakaran, kecepatan rambat api serta tegangan ion. Selain itu, kandungan campuran antara udara dan bahan bakar memiliki pengaruh dalam menentukan suatu pembakaran yang baik. Melalui analisa pengaruh variasi AFR (*Air Fuel Ratio*), yaitu perbandingan antara udara dan bahan bakar, akan dapat menghasilkan suatu kecepatan pembakaran dengan nilai tertinggi (Buffam dan Cox, 2008). Maka dari itu, kita dapat mengetahui perbandingan rasio antara udara dengan bahan bakar berupa biogas dalam melakukan proses pembakaran baik dalam keadaan sebelum dipurifikasi dan setelah dipurifikasi.

Kalor pembakaran merupakan suatu tolak ukur untuk menentukan kualitas dari sebuah biogas. Besar energi yang dilepaskan pada proses pembakaran mengindikasikan semakin tinggi kalor pembakaran yang dihasilkan. Penelitian rambat api bertujuan agar dapat mengetahui bagaimana kecepatan rambat suatu biogas yang dimiliki. Selain itu, penelitian tentang tegangan ion juga bertujuan untuk mengetahui bagus tidaknya suatu pembakaran dilihat dari tinggi rendahnya ion-ion yang terbentuk dari hasil pembakaran.

1.2 Rumusan Masalah

Dari pembahasan latar belakang di atas, dapat dibuat beberapa rumusan masalah, antara lain:

1. Bagaimanakah pengaruh penambahan Ca(OH)_2 sebagai zat purifikasi biogas terhadap kalor pembakaran biogas.
2. Bagaimanakah pengaruh variasi AFR terhadap besaran tegangan ionisasi suatu biogas sebelum dan sesudah purifikasi menggunakan larutan Ca(OH)_2 .
3. Bagaimanakah pengaruh variasi AFR terhadap cepat rambat api suatu biogas sebelum dan sesudah purifikasi menggunakan larutan Ca(OH)_2 .

1.3 Tujuan

Dari pembahasan latar belakang diatas, tujuan dari pengujian ini antara lain:

1. Mengetahui pengaruh penambahan Ca(OH)_2 sebagai zat purifikasi biogas terhadap kalor pembakaran biogas.
2. Mengetahui pengaruh variasi AFR terhadap besaran tegangan ionisasi pembakaran suatu biogas sebelum dan sesudah purifikasi menggunakan larutan Ca(OH)_2 .
3. Mengetahui pengaruh variasi AFR terhadap cepat rambat api suatu biogas sebelum dan sesudah purifikasi menggunakan larutan Ca(OH)_2 .

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diberikan dari penelitian ini, antara lain:

1. Memberikan pengetahuan tentang penggunaan sampah pasar berupa sayuran sebagai komposisi dalam pembuatan biogas.
2. Memberikan pengetahuan tentang energi terbarukan berupa biogas dan sistem kerja biogas.
3. Masyarakat dapat memahami pengelolaan limbah dengan baik.
4. Masyarakat tidak bergantung pada penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batubara serta gas alam sebagai energi.

1.5 Batasan Masalah

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

1. Model bentuk dan bahan material reaktor biogas tidak mempengaruhi komposisi biogas.
2. Kondisi suhu dan kelembapan ruangan dianggap tetap.
3. Tekanan dari reaktor biogas dianggap tidak berpengaruh.

4. Komposisi biogas setiap pengujian dianggap sama.
5. Mengabaikan hilangnya kalor selama proses pengujian.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi

Energi merupakan sesuatu yang sangat dibutuhkan dalam menghasilkan kerja. Seiring meningkatnya populasi masyarakat di dunia ini, kebutuhan akan sumber energi terus meningkat juga. Sumber energi yang masih mendominasi di dunia ini adalah sumber energi dari bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batubara. Sumber energi tersebut merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbarui. Berbagai alat pendukung, seperti alat penerangan, motor penggerak, peralatan rumah tangga dan mesin-mesin industri dapat difungsikan jika ada energi (Putri, 2014).

Di Indonesia, tingkat pertumbuhan kendaraan bermotor mencapai angka 122 juta kendaraan dengan jumlah pertumbuhan masyarakat Indonesia yang mencapai 255 juta pada tahun 2015 (BPS, 2016). Selain pengaruh pertumbuhan masyarakat yang besar, pertumbuhan kendaraan terjadi karena tingkat konsumtif masyarakat Indonesia yang besar seperti senang berganti-ganti kendaraan sehingga mempengaruhi penggunaan energi dari bahan bakar fosil yang berlebih.

Penggunaan energi dari bahan bakar fosil secara berlebihan dapat menyebabkan efek yang buruk dalam segi lingkungan. Dampak buruk dari penggunaan energi bahan bakar fosil antara lain seperti polusi udara. Hasil penelitian yang dikemukakan oleh Saepudin dan Admono (2005, dalam Winarno, 2014) menunjukkan bahwa kontribusi pencemaran udara yang berasal dari sektor transportasi mencapai 60%, selebihnya sektor industri 25%, rumah tangga 10% dan sampah 5%. Selain itu, dampak dari polusi udara tersebut antara lain gangguan saluran pernafasan, gangguan organ dalam seperti paru-paru dan hati, gangguan syaraf, gangguan reproduksi, menurunkan kecerdasan pada anakserta dapat menimbulkan kematian (Winarno, 2014). Khusus di beberapa kota besar di Indonesia sebagai penghasil polutan yang cukup besar. Hal ini dikarenakan besarnya populasi masyarakat berbanding lurus dengan besarnya kebutuhan akan suatu energi. Dalam

hal ini, masyarakat harus mencari energi alternatif pengganti energi berbahan bakar fosil yang ramah lingkungan.

Di beberapa Negara seperti Thailand, India dan Indonesia mulai mendorong penggunaan suatu energi terbarukan. Energi terbarukan ini berperan sebagai alternatif dari adanya energi yang tidak dapat diperbarui yang berdampak pada kerusakan lingkungan. Beberapa contoh energi terbarukan itu antara lain panel surya, kincir angin serta biogas. Pada saat ini, beberapa negara sudah menerapkan energi terbarukan untuk keperluan sehari-hari, seperti sumber energi untuk kendaraan, industri dan rumah tangga. Di Indonesia, hanya ada beberapa masyarakat yang mulai beralih menggunakan energi terbarukan. Hal ini terjadi karena kurangnya pemahaman masyarakat serta sosialisasi tentang energi terbarukan sebagai alternatif dari bahan bakar fosil.

2.2 Sampah Organik dan Limbah Kotoran Hewan

Indonesia merupakan sebuah negara agraris dengan iklim tropis memiliki sumber daya pertanian dan perkebunan yang cukup besar. Melimpahnya sumber daya alam tersebut seperti sayuran dan buah-buahan serta hewan ternak yang beragam seperti sapi, ayam dan kambing dimanfaatkan manusia sebagai kebutuhan pangan serta kebutuhan lainnya. Hasil-hasil alam tersebut sering kali dijumpai di beberapa tempat, seperti di pasar, untuk kemudian dijual. Namun, beberapa jenis sayuran dan buah-buahan yang sudah busuk serta kotoran dari hewan ternak tersebut tidak dimanfaatkan dengan baik oleh sebagian masyarakat. Hal ini berdampak menjadi sampah organik serta limbah.

Di Indonesia, sampah merupakan suatu masalah yang belum dapat diselesaikan. Hal ini terjadi karena pengelolaan sampah disini masih kurang. Pengelolaan sampah yang selama ini dilakukan hanya berupa penimbunan sampah secara besar-besaran tanpa ada pemilihan atau pun pengelolaan sampah lebih lanjut (Romadhoni, 2015). Pengolahan sampah dengan cara ditimbun sangat beresiko bagi lingkungan seperti mencemari udara dan tanah. Pencemaran udara akibat penimbunan

sampah antara lain aroma yang tidak sedap dan penghasilan gas metan yang merupakan salah satu penyebab efek rumah kaca (Romadhoni, 2015). Sedangkan dampak pencemaran pada tanah adalah menghasilkan lindi, yang merupakan suatu cairan hitam beracun yang dapat meracuni air tanah dan menurunkan tingkat kesuburan tanah (Romadhoni, 2015).

Salah satu permasalahan sampah tersebut adalah pemilihan jenis sampah. Hal ini diperlukan karena cara penanganan kedua jenis sampah, baik itu organik maupun anorganik berbeda. Sampah organik merupakan sampah yang berasal dari makhluk hidup yang bersifat mudah terurai (*degradable*) secara alami seperti dedaunan dan sampah dapur (Romadhoni, 2015). Sampah organik menghasilkan suatu aroma yang menyengat dibandingkan sampah anorganik. Maka dari itu diperlukan penanganan khusus untuk sampah jenis organik.

Selain permasalahan dari sampah organik, limbah yang berasal dari kotoran hewan ternak juga belum dapat ditangani dengan baik. Limbah kotoran yang menumpuk dapat mengakibatkan pencemaran terhadap air dan tanah, pencemaran udara serta dapat memicu timbulnya efek rumah kaca (Surono dan Machmud, 2012). Beberapa masyarakat ada yang memanfaatkan sampah organik serta limbah kotoran hewan untuk dijadikan pupuk kompos, namun kurang optimal.

2.3 Biogas

Biogas merupakan bahan bakar gas (*biofuel*) dan bahan bakar yang dapat diperbaharui (*renewable fuel*) yang dihasilkan secara *anaerobic digestion* atau fermentasi anaerob dari bahan organik dengan bantuan bakteri metana seperti *Methanobacterium sp* (Uwar et al, 2012). Proses pembentukan biogas haruslah dalam keadaan anaerob karena pertumbuhan bakteri methanogen akan terhambat dalam konsentrasi oksigen terlarut 0,01 mg/L (Sugiarto, 2013). Biogas juga menjadi solusi masyarakat untuk menanggulangi permasalahan sampah organik serta limbah kotorana hewan ternak karena bahan yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas yaitu bahan *biodegradable* seperti biomassa (bahan organik bukan

fosil) seperti limbah kotoran hewan ternak serta sampah organik seperti sampah sayuran dan buah-buahan. Kandungan utama biogas adalah gas metana (CH_4) dengan konsentrasi sebesar 50 – 80 % vol (Sunaryo, 2014). Gas-gas lainnya antara lain CO_2 , H_2S , H_2O dan gas-gas lain. Dalam hal ini tentu saja yang dimanfaatkan adalah gas metana (CH_4), karena CH_4 memiliki nilai kalor (panas) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar.

Tabel 2.1 Komponen-komponen Biogas (Sugiarto, 2013)

No	Nama Gas	Rumus Kimia	Persentase Berat
1	Gas Metan	CH_4	54% - 70%
2	Karbondioksida	CO_2	27% - 45%
3	Nitrogen	N_2	3% - 5%
4	Hidrogen	H_2	0% - 1%
5	Karbon monoksida	CO	0,1%
6	Oksigen	O_2	0,1%
7	Hidrogen sulfide	H_2S	Sedikit

Gas metan (CH_4) yang merupakan komponen utama biogas merupakan bahan bakar yang berguna karena mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu sekitar 4800 sampai 6700 kkal/ m^3 , sedangkan gas metana murni mengandung energi 8900 kkal/ m^3 . Karena nilai kalor yang cukup tinggi itulah biogas dapat dipergunakan untuk keperluan penerangan, memasak, menggerakkan mesin dan sebagainya (Sunaryo, 2014).

Jenis bahan organik yang diproses dalam digester sangat mempengaruhi produktifitas sistem biogas disamping parameter-parameter lain seperti temperatur *digester*, pH, tekanan dan kelembaban udara. Salah satu cara menentukan bahan organik yang sesuai untuk menjadi bahan masukan sistem biogas adalah dengan mengetahui perbandingan Karbon (C) dan Nitrogen (N) atau disebut rasio C/N. Beberapa percobaan yang telah dilakukan oleh ISAT menunjukkan bahwa aktifitas

metabolisme dari bakteri methanogenik akan optimal pada nilai rasio C/N sekitar 8-20 (Sunaryo, 2014).

Pengembangan energi biomassa di Indonesia berpotensi besar karena sumber bahan bakunya melimpah dan lebih ramah lingkungan. Selain itu, sistem produksi biogas juga mempunyai beberapa keuntungan seperti mengurangi pengaruh gas rumah kaca, mengurangi polusi bau yang tidak sedap, sebagai pupuk dan produksi daya dan panas (Widodo dkk, 2006 dalam Sunaryo, 2014).

2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Biogas

Dalam proses produksi biogas secara efektif, perlu diperhatikan beberapa faktor. Mikroorganisme merupakan sesuatu yang diperhatikan karena membantu menguraikan bahan-bahan organik menjadi suatu biogas. Namun, dalam menunjang proses penguraiannya, mikroorganisme membutuhkan lingkungan dan kondisi yang ideal antara lain:

a. Lingkungan tanpa udara (*anaerobic*)

Lingkungan ini sangat efektif untuk menunjang suatu mikroorganisme. Hal ini dikarenakan proses pembentukan suatu gas metan harus dalam keadaan tanpa udara. Jika terjadi reaksi O_2 (oksigen), maka terjadi penurunan kualitas gas metan yang disebabkan bakteri metanogen tidak berkembang dalam lingkungannya yang *anaerobic*.

b. Kandungan Air

Untuk mendapatkan hasil biogas yang baik, perlu memperhatikan juga kandungan air yang berada pada *biodigester*. Semakin meningkatnya kadar air dalam sistem maka akan meningkatkan produksi biogas (Saputro dan Putri, 2009). Penambahan air kedalam bahan isian bertujuan meningkatkan kadar air yang disyaratkan dalam membentuk biogas, yaitu sebesar 91-93% (Ratnaningsih, 2009).

c. Derajat Keasaman (pH)

Faktor derajat keasaman (pH) sangat penting diperhatikan supaya proses pencernaan anaerobik dapat berlangsung secara optimal. Apabila suatu pH mengalami penurunan, maka perubahan substrat menjadi biogas menjadi terhambat. Tingginya nilai pH pun menyebabkan tingginya produksi CO₂. Dalam membentuk metana yang baik, pH optimum mikroorganisme pembentuk terdapat pada rentan pH 7-8,5 (Mifthah, 2012).

d. Temperatur

Temperatur juga mempengaruhi kuantitas suatu biogas. Hal ini dihubungkan kemampuan hidup mikroorganisme seperti bakteri metana yang membantu menguraikan bahan-bahan dalam pembentukan biogas di *digester*. Bakteri metana merupakan bakteri golongan mesofil yang dapat hidup subur hanya pada temperatur disekitar temperatur kamar. Suhu optimum bakteri metanogenik yang bersifat mesofilik adalah 35⁰C sedangkan bakteri metanogenik termofilik adalah 50⁰-60⁰C (Gerardi, 2003 dalam Wati, 2014).

e. Perbandingan C/N

Jenis kotoran tiap hewan ternak mempengaruhi biogas yang dihasilkan. Hal ini berhubungan dengan jumlah karbon dan nitrogen yang dinyatakan pada rasio karbon/nitrogen (C/N). Perbandingan C/N merupakan perbandingan besaran antara karbon (C) dan nitrogen (N). Unsur karbon berperan sebagai energi dan unsur natrium berperan sebagai pembangun struktur sel dan bakteri. Rasio optimum pada digester adalah berkisar antara 25-30 (Wahyuni, 2011 dalam Putri et al, 2014). Jika kandungan C/N lebih tinggi maka bakteri metanogen dengan cepat mengonsumsi nitrogen dan yang bereaksi dengan karbon sedikit sehingga gas yang dihasilkan rendah, begitu juga jika kandungan C/N rendah, maka sisa nitrogen menjadi besar sehingga menghasilkan ammonia yang menyebabkan bakteri mengalami keracunan (Putri dkk, 2014).

2.5 Absorpsi

Pada hasil dari proses fermentasi sampah organik menjadi biogas memiliki kandungan gas-gas antara lain gas metan (CH_4), karbondioksida (CO_2), nitrogen (N_2), hidrogen (H_2), serta gas-gas lainnya. Namun, sebuah biogas yang baik memiliki kandungan gas metan (CH_4) yang besar untuk menghasilkan pengapian yang baik. Hal ini dikarenakan terdapat kandungan dari gas-gas lain, salah satunya adalah gas karbondioksida (CO_2). Keberadaan gas karbondioksida (CO_2) sulit dipisahkan dari gas metan (CH_4). Maka dari itu diperlukan suatu pemurnian terhadap biogas yang dihasilkan (purifikasi). Beberapa proses dalam memurnikan gas metan dengan menghilangkan gas CO_2 dan H_2S yaitu dengan proses mengabsorpsi kandungan gas-gas yang menghambat pengapian gas metan. Terdapat dua macam proses absorpsi, antara lain absorpsi fisika yaitu absorpsi suatu gas yang terlarut dalam cairan melakukan penyerapan tanpa reaksi zat kimia. Sedangkan absorpsi kimia yaitu absorpsi suatu gas yang terlarut dalam larutan penyerap dengan adanya reaksi zat kimia (Kumoro, dkk, 2004 dalam Surono, 2012). Salah satu contoh absorpsi kimia adalah absorpsi gas CO_2 dengan menggunakan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan reaksi kimia absorpsi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yaitu:

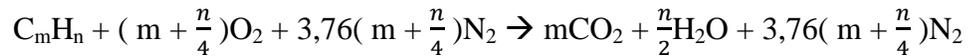


Salah satu yang umum digunakan adalah dengan metode absorpsi kimia. Media (zat kimia) dalam metode pengabsorpsian ini adalah dengan menggunakan larutan KOH , NaOH serta menggunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Melalui penelitian Haryandi (dalam Surono, 2012) pengabsorpsian (pemurnian dengan menurunkan CO_2) dengan media menggunakan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan cara mengalirkan campuran antara biogas dengan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ke dalam kolom bahan isian dengan berlawanan arah. Dari hasil penelitiannya menunjukkan semakin tinggi laju aliran absorben maka semakin besar penyerapan CO_2 . Dalam pengaruh konsentrasi larutan, semakin tinggi konsentrasinya absorben, semakin besar penyerapan CO_2 . Semakin tinggi laju aliran gas maka semakin kecil penyerapan CO_2 nya. Semakin tinggi suhu pengoperasian menyebabkan penyerapan CO_2 semakin kecil.

Melalui penelitian yang dilakukan oleh Mara (2012) melakukan pengabsorbisian dengan menggunakan larutan NaOH. Pengabsorbisian menggunakan larutan NaOH dengan menggunakan variasi antara 0 N, 1,25 N dan 2,5 N. Pemurnian dilakukan dengan mengalirkan biogas kedalam alat purifikasi dengan tambahan berupa larutan NaOH didalamnya. Setelah dimurnikan, kemudian biogas yang telah dipurifikasi kemudian diuji untuk mengetahui tingkat kualitas dengan digunakan untuk memanaskan air. Dari pengujian yang dilakukan diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan NaOH maka semakin cepat kenaikan temperatur pada air yang dipanaskan. Dari penelitian ini menyimpulkan bahwa kualitas biogasnya semakin baik.

2.6 Perbandingan Udara dan Bahan Bakar

Dalam menghasilkan suatu pembakaran pada biogas perlu diperhatikan beberapa faktor, salah satunya adalah memperhatikan perbandingan antara lain kandungan pada bahan bakar, kandungan udara (oksigen), kalor serta reaksi kimia. Hal ini sangat penting diperhatikan karena perbandingan ini memegang peranan penting dalam menghasilkan pembakaran yang maksimal. Pada campuran perbandingan bahan bakar dan udara (*Air Fuel Ratio* (AFR)) stoikiometri menghasilkan suatu kecepatan pembakaran dengan nilai tertinggi (Buffam dan Cox, 2008). Hal ini terjadi karena pada campuran stokiometri, perbandingan antara bahan bakar dengan udara berada pada perbandingan yang sesuai sehingga dapat terjadi pembakaran yang diinginkan. Pembakaran tersebut berasal dari reaksi kimia yang terjadi dalam waktu yang pendek, dan dari reaksi tersebut menghasilkan sejumlah panas. Perbandingan antara bahan bakar dengan udara dapat diketahui dengan persamaan reaksi kimia. Jika oksigen yang diambil di udara sekitar yang digunakan sebagai pereaksi pembakaran dengan kandungan dari udara yang diambil berupa nitrogen 78% dan oksigen 21%, maka persamaan reaksi pembakaran stokiometri hidrokarbon C_xH_y dapat ditulis seperti berikut:



Persamaan reaksi pembakaran stoikiometri pada metana:

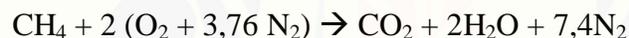


Maka AFR metana berbasis volume:

$$AFR_v = \frac{2(1+3.76)}{1} = 9.52$$

Untuk menghitung AFR biogas dengan cara sebagai berikut:

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



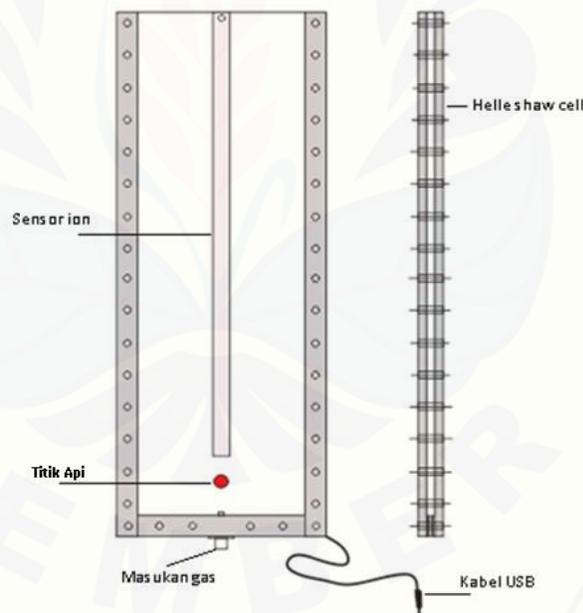
Udara : 21% O₂ dan 79% N₂

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

Pranoto dkk. (2013) melalui penelitiannya mengungkapkan bahwa bertambahnya suatu AFR dapat meningkatkan kecepatan api serta mempengaruhi pola warna api. Perubahan AFR dapat memberi pengaruh pada perubahan temperatur api walaupun perubahannya tidak signifikan serta memberikan geometri api yang semakin membesar.

2.7 Helle – Shaw Cell

Helle-Shaw Cell merupakan suatu alat yang digunakan untuk meneliti suatu karakteristik pembakaran seperti rambat api maupun perilaku. Cara kerja dari alat ini yaitu dengan memasukkan biogas dan udara yang sudah ditentukan volumenya ke dalam ruang pembakaran. Setelah biogas dimasukkan pada ruang bakar, picu proses pengapian dengan cara dipercikkan api agar terjadi ledakan api pada ruang pembakaran. 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 kemudian 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 yang sudah *install* suatu *software* dalam menelitinya dalam bentuk grafik.



Gambar 2.1 Perangkat *Helle-Shaw Cell*

2.8 Karakteristik Pembakaran

Menurut Uwar (2012), pembakaran merupakan suatu reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidasian (oksigen dan udara) yang menghasilkan panas dan cahaya. Bahan bakar merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan mengandung unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Sementara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen (udara) yang akan bereaksi dengan bahan bakar. Dalam proses pembakaran, suatu gejala 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.

2.8.1 Kalor Pembakaran

Definis dari kalor pembakaran adalah jumlah panas yang dipindahkan ketika produk dari pembakaran bahan bakar yang diinginkan hingga mencapai temperatur awal dari bahan bakar atau udara pembakarnya. Kalor pembakaran memiliki pengaruh besar terhadap besarnya energi yang dapat dihasilkan pada proses pembakaran suatu bahan bakar. Menurut Utami et al (2009), nilai bahan bakar untuk gas metan murni adalah sebesar 802 KJ mol^{-1} . Ditentukannya suatu kalor pembakaran adalah dengan memanaskan air yang berada di dalam suatu panci dengan berasumsi bahwa terjadinya penyerapan seluruh energi panas hasil pembakaran untuk kemudian digunakan untuk memanaskan air. Dari proses pemanasan air tersebut terjadi suatu perbedaan suhu antara suhu awal dengan suhu akhir dari proses pemanasan tersebut untuk kemudian menghitung kalor yang diserap air dengan menggunakan rumus seperti berikut:

$$Q = \frac{m \times c \times \Delta T}{1000} \text{ (kJ)} \dots \dots \dots (2-1)$$

dengan:

Q = Kalor yang diterima suatu zat (kJ)

M = Massa zat (gr)

c = Kalor jenis zat (J/gr°C)

ΔT = perubahan suhu (°C)

Setelah mendapat hasil dari kalor yang diserap air, hitung kalor pembakaran untuk 1 mol bahan bakar dengan menggunakan rumus seperti berikut:

$$1 \text{ mol bahan bakar} = \frac{(Q \times M_r)}{(m_1 - m_2)} \text{ (kJ mol}^{-1}\text{)} \dots \dots \dots (2-2)$$

dengan:

M_r = Berat molekul bahan bakar

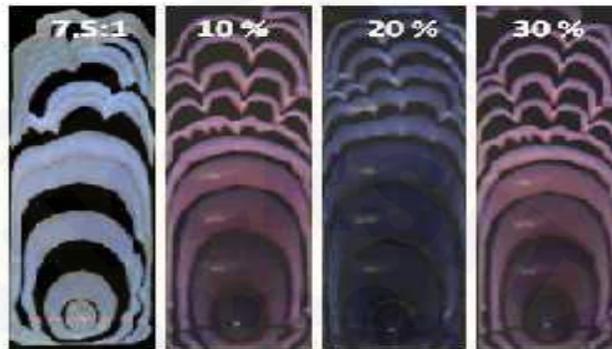
m_1 = Massa awal bahan bakar (gr)

m_2 = Massa akhir bahan bakar setelah proses pembakaran (gr)

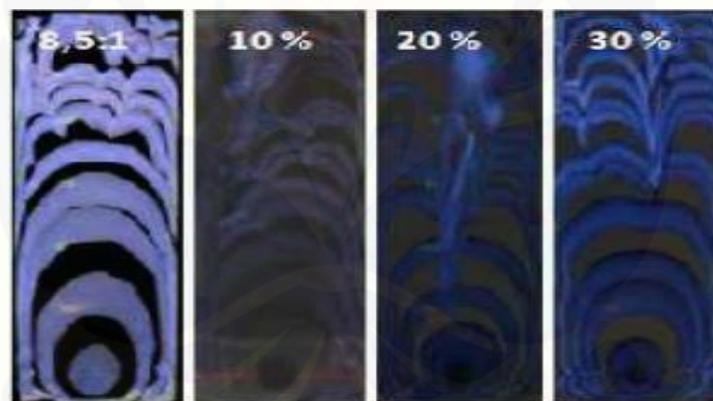
2.8.2 Laju Rambat Api

Untuk menentukan kualitas biogas dapat dilakukan dengan mengamati laju rambat api yang terjadi pada pembakaran biogas. Semakin cepat laju rambat api yang terjadi, semakin baik kualitas biogas yang dihasilkan. Kadar CO₂ sangat mempengaruhi pola rambat api, hal ini dikarenakan CO₂ sebagai inhibitor atau penghambat pada saat proses pembakaran berlangsung. Penelitian yang dilakukan oleh Ilminnafik (2012) menunjukkan bahwa dengan melakukan penambahan CO₂ pada ruang bakar tipe silinder dan *helle shaw cell*, menurunkan kecepatan rambat api LPG. Hal yang sama dilakukan oleh Uwar (2012), meneliti laju rambat api

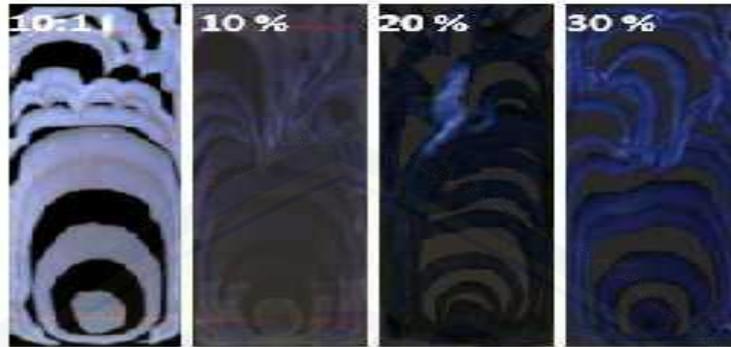
dengan melakukan penambahan CO_2 kedalam CH_4 pada ruang bakar *helle-shaw cell* dengan penyalaan dari bawah.



Gambar 2.2 Pola rambat api pada berbagai campuran CO_2 10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bb/mol udara) 7,5 : 1 (Uwar, 2012)



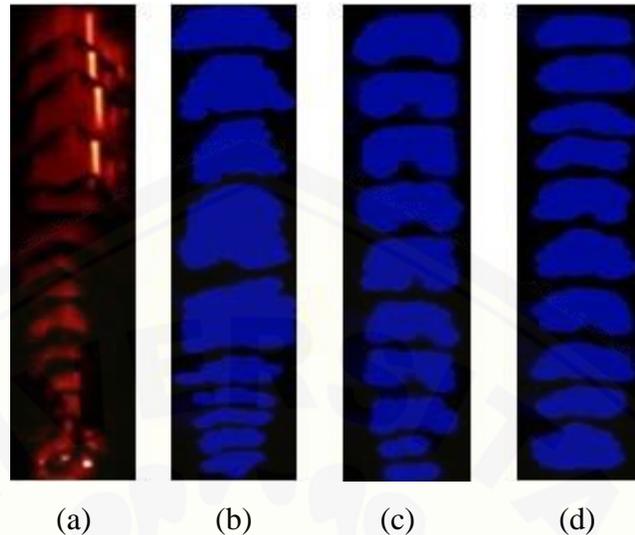
Gambar 2.3 Pola rambat api pada berbagai campuran CO_2 10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bahan bakar/mol udara) 8,5 : 1 (Uwar, 2012)



Gambar 2.4 Pola rambat api pada berbagai campuran CO₂ 10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bb/mol udara) 10 : 1 (Uwar, 2012)

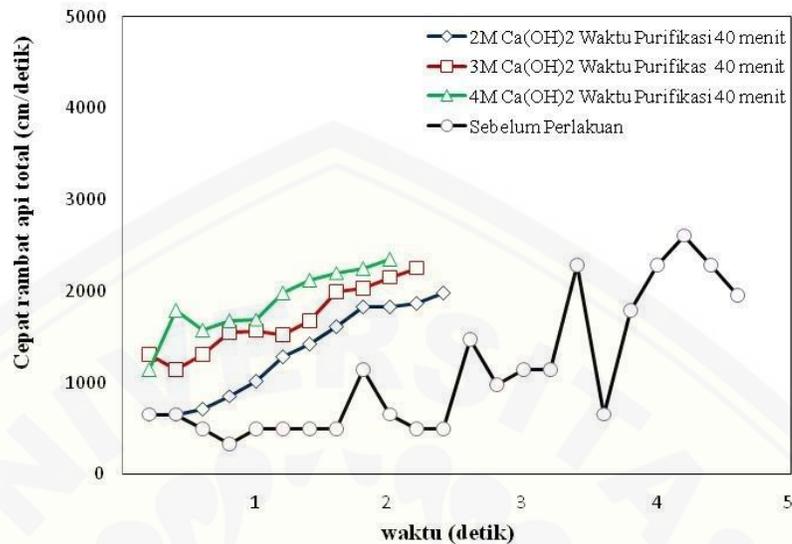
Pada percobaan yang dilakukan, dapat dilihat bahwa pada AFR 7,5:1 jarak frame merapat kemudian pada AFR 8,5:1 sampai 10:1 jarak frame terlihat lebih merenggang, dimana bentuk frame disini menunjukkan jarak rambatan api. Besar kecil nya rambat api yang terjadi disebabkan karena pada AFR 7,5:1 pada frame pertama dan kedua laju rambat api pembakaran rendah akibat dari kandungan CO₂ yang besar sehingga terjadi kerapatan (Uwar, 2012).

Melalui penelitian uji rambat api dengan menggunakan biogas dari purifikasi menggunakan larutan Ca(OH)₂ oleh Tunggal (2014), didapat data rambat api tersebut pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Rambut Api Sebelum dan Sesudah Dipurifikasi dengan molaritas Ca(OH)_2 2M, 3M dan 4M dengan Waktu Purifikasi 40 Menit
(Tunggal, 2014)

Pada Gambar 2.5, terlihat perbedaan antara rambut api yang sebelum dan sesudah dipurifikasi dengan Ca(OH)_2 . Jarak antar *flame* pada rambut api sebelum dipurifikasi terlihat sangat berdekatan (Gambar 2.6 (a)). Setelah dipurifikasi dengan larutan Ca(OH)_2 2M dengan waktu 40 menit, jarak antar *flame* mulai berjauhan daripada yang sebelumnya ketika belum dipurifikasi (Gambar 2.6 (b)) dan seterusnya dengan menggunakan larutan Ca(OH)_2 dengan molaritas 3M dan 4M. Selain itu, untuk mengetahui kecepatan suatu rambut api dilihat dari grafik pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Cepat Rambat Api Total Sebelum dan Sesudah Dipurifikasi dengan Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan Molaritas 2M, 3M dan 4M dalam Waktu 40 Menit (Tunggal, 2014)

Dari penelitian oleh Tunggal (2014) berupa rambat api dengan menggunakan biogas sebelum dan sesudah dipurifikasi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan molaritas 2M, 3M dan 4M, terlihat alur grafik yang semakin meningkat setiap kenaikan waktu purifikasi. Grafik warna hitam menunjukkan percobaan biogas sebelum dipurifikasi dengan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan hasil grafik yang sangat rendah dibandingkan dengan data hasil dari biogas yang sesudah dipurifikasi yang ditunjukkan dengan grafik warna biru, merah dan hijau. Dengan lama purifikasi sekitar 40 menit, menghasilkan data percobaan yang berbanding lurus dengan waktu purifikasi, semakin tinggi suatu molaritas pada larutan purifikasi tersebut maka semakin berkurang kadar gas karbondioksida (CO_2) tersebut. Hal ini mempengaruhi semakin cepatnya rambat api total tersebut. Namun pada larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan molaritas sebesar 4M terjadi penurunan kecepatan yang disebabkan karena larutan telah jenuh.

2.8.3 Perilaku Ion

Ionisasi pembakaran merupakan berbagai ion yang terbentuk dari hasil pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar. Ion merupakan suatu atom yang memiliki muatan positif atau negatif. Iminafik (2012:33) mengemukakan bahwa atom bermuatan positif jika terjadi tumbukan antar molekul reaktan dalam reaksi pembakaran sehingga menyebabkan elektron terlepas dari atom. Selain itu, atom bermuatan negatif merupakan produk dari reaksi pembakaran yang kemudian menjadi elektron bebas. Menurut Calcote (1994), sumber utama ion dalam pembakaran hidrokarbon seperti reaksi kimia ionisasi $\text{CH} + \text{O} \rightarrow \text{CHO}^+ + \text{e}^-$ diikuti dengan cepat oleh reaksi pertukaran muatan $\text{CHO}^+ + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CO}$. H_3O^+ adalah ion yang dominan dari keduanya dan sedikit kaya api hidrokarbon. Ikut sertanya pergerakan elektron disertai pelepasan energi menyebabkan terjadinya pelepasan molekul reaktan menjadi ion-ion penyusunnya serta diikuti reaksi pembentukan molekul baru. Terjadinya suatu pergerakan ion pada proses pembentukan molekul baru akan menghasilkan arus listrik pada proses pembakaran. Menggunakan ion probe yang terhubung dengan oscilloscope merupakan cara yang digunakan untuk mengetahui besarnya ionisasi pembakaran dalam ruang bakar.

2.9 Hipotesa

Purifikasi pada biogas dengan menggunakan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dapat menurunkan kadar konsentrasi CO_2 yang merupakan penghambat kualitas dari biogas. Dengan turunnya kadar CO_2 , maka semakin tinggi kualitas biogas yang dihasilkan. Hal ini juga berdampak pada semakin besar kalor pembakaran yang dihasilkan sehingga kemampuan laju rambat api akan semakin cepat dan tegangan ion semakin besar yang disebabkan karena kandungan zat penghambat reaksi pembakaran (*inhibitor*) terutama gas CO_2 telah berkurang akibat dari proses pemurnian (purifikasi). Dengan berkurangnya kadar zat menghambat, reaksi tumbukan reaktan dapat berlangsung dengan baik sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan efektif

semakin besar. Selain itu, dengan analisa variasi AFR (*Air Fuel Ratio*), dapat mengetahui suatu pembakaran dilihat dari faktor perbandingan antara udara dan bahan bakar (biogas) pada pengujian rambat api dan perilaku ion.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Metode ini digunakan untuk menguji kalor pembakaran, cepat rambat api pembakaran dan perilaku ion pada biogas dengan kondisi biogas sebelum dan sesudah dipurifikasi dengan menggunakan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan menggunakan konsentrasi 1M dan 4M serta menguji rambat api pembakaran dan perilaku ion pada perbandingan volume udara – bahan bakar (AFR). Dalam penelitian ini, proses purifikasi biogas tersebut dilakukan dengan sistem penyerapan absorpsi kandungan zat pengotor, seperti gas karbon dioksida (CO_2) menggunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Biogas dialirkan secara kontinyu ke alat purifikasi hingga kadar zat pengotor (CO_2) yang terdapat dalam biogas habis. Gas yang telah dipurifikasikan digunakan sebagai bahan bakar pada pengujian kalor pembakaran, rambat api, dan perilaku ion. Pada penelitian ini menggunakan kompor biogas dan *helle-shaw cell* yang terdiri dari empat tahap penelitian, yaitu:

1. Penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebagai zat purifikasi biogas terhadap kalor pembakaran biogas dengan cara memanaskan air. Alat uji yang digunakan adalah kompor biogas.
2. Penelitian untuk mengetahui pengaruh dari penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang merupakan zat purifikasi biogas terhadap perilaku ion dari suatu nyala api biogas yang dilakukan pada ruang bakar *helle shaw cell* yang telah dipasang sensor ion.
3. Penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang merupakan zat purifikasi biogas terhadap laju rambat api pembakaran biogas yang dilakukan pada ruang bakar *helle shaw cell*.
4. Penelitian untuk mengetahui pengaruh AFR terhadap perilaku ion dari nyala api biogas yang dilakukan pada ruang bakar *helle shaw cell* yang telah dipasang sensor ion.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan pada tempat dan waktu yang ditentukan, yaitu:

a. Tempat Penelitian

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

b. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih 5 bulan pada bulan Januari hingga Mei 2016.

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga jenis variabel dalam penelitian ini antara lain:

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan antara lain sebagai berikut:

1. Pengujian dilakukan pada biogas dengan kondisi sebelum dan sesudah purifikasi.
2. Variasi AFR berupa perbandingan campuran udara – biogas dengan perbandingan 4 : 1; 5 : 1; 6 : 1; 7 : 1; 8 : 1; 9 : 1.

3.3.2 Variabel Kontrol

Variabel kontrol yang digunakan antara lain:

1. Perbandingan air : sampah pasar : kotoran sapi : jerami padi adalah 3:4,5:2:0,5 dalam satuan volume.
2. Larutan purifikasi menggunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan kandungan 1 M dan 4 M.

3.3.3 Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini meliputi data-data yang diperoleh pada pengujian kalor pembakaran, rambat api, dan perilaku ion pada biogas pada saat sebelum dan sesudah dipurifikasi, dan juga data dari pengujian rambat api dan perilaku ion pada variasi AFR.

3.4 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:

- a. Data primer, yaitu data yang diperoleh langsung dari pengujian kalor pembakaran, rambat api, dan perilaku ion.
- b. Data sekunder, yaitu data yang diperoleh dari literatur sumber lain berupa perhitungan maupun hasil pengujian kalor pembakaran, rambat api, dan perilaku ion pihak lain.

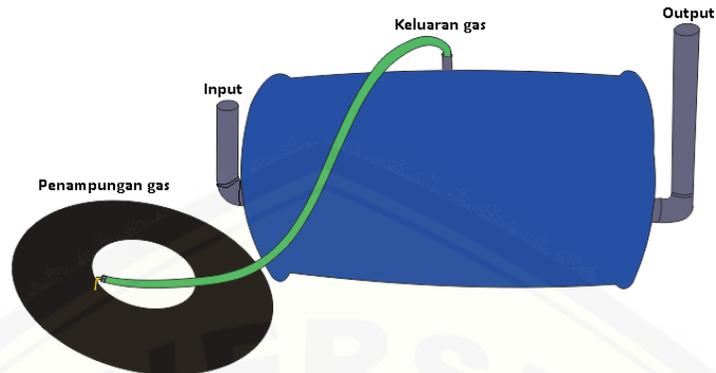
3.5 Pengamatan yang Dilakukan

Dalam penelitian ini, terdapat tiga jenis penelitian yang akan diamati antara lain:

1. Kalor pembakaran.
2. Rambat api.
3. Perilaku ion.

3.6 Proses Pembuatan Biogas

Bahan utama yang digunakan untuk biogas adalah menggunakan sampah pasar organik berupa ampas sayuran dengan diberi suatu kotoran sapi dan tambahan jerami padi yang berfungsi sebagai starter untuk meningkatkan rasio C/N dengan perbandingan antara lain 3:4,5:2:0,5 dalam satuan volume. Reaktor yang digunakan terbuat dari drum plastik berbentuk pejal dengan tinggi 93 cm serta diameter lingkaran 58 cm. Drum dirancang dengan diberi saluran masukan (*input*) yang berfungsi sebagai tempat masuknya bahan biogas dan saluran keluaran (*output*) sebagai tempat keluaran pembuangan sisa dari bahan biogas dengan menggunakan pipa berdiameter 2 inchi serta saluran keluaran gas dengan menggunakan pipa ½ inchi. Reaktor ini dirancang untuk menampung bahan biogas dengan volume sebesar 200 lite. Untuk dapat menampung dengan volume seperti itu perlu diatur ketinggian *output*. Proses pengisian bahan baku biogas dilakukan secara kontinyu dan gas yang dihasilkan setelah 15 hari kemudian disimpan dalam ban.

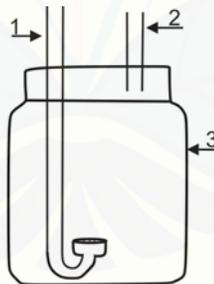


Gambar 3.1 Reaktor biogas

3.7 Peralatan Penelitian

3.7.1 Alat Purifikasi

Alat purifikasi yang digunakan terbuat dari toples kaca yang telah dirancang dengan menambahkan dua selang dengan ukuran $\frac{1}{4}$ inch pada penutupnya yang berfungsi sebagai sirkulasi keluar dan masuknya biogas yang dipurifikasi seperti 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 Kompor Biogas

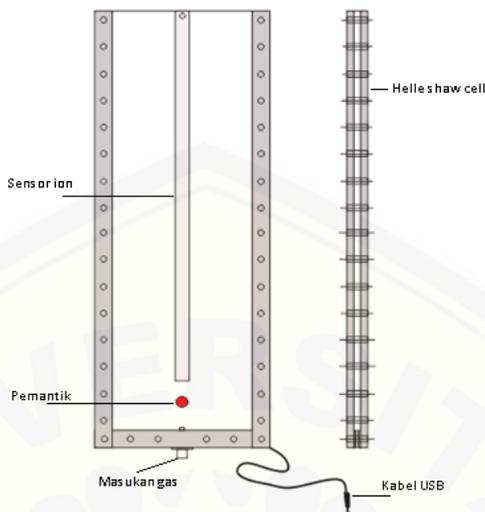
Kompor biogas yang digunakan untuk penelitian ini menggunakan kompor untuk bahan bakar biogas produksi BiogasBCL. Standart kompor biogas yang digunakan yaitu SNV. Rupa kompor biogas bisa dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Kompor biogas

3.7.3 Helle-shaw Cell

Alat yang digunakan untuk meneliti laju rambat api dan perilaku ion yaitu *helle-shaw cell* yang telah dilengkapi dengan sensor ion. *Helle-shaw cell* terdiri dari 3 lempengan akrilik dengan dimensi 600 mm x 200 mm x 10 mm serta volume penampung sebesar 1,2 liter. Posisi pemantik sebagai pemicu nyala api terletak pada 50 mm dari dasar *helle shaw cell*. Bentuk dari *Helle-shaw cell* dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Helle-shaw cell

3.8 Langkah Penelitian dan Prosedur Pengujian

Langkah-langkah penelitian dan prosedur pengujian dibagi menjadi beberapa langkah. Berikut langkah-langkah penelitian serta prosedur penelitian yang dilakukan.

3.8.1 Pemurnian Biogas

Dalam melakukan pemurnian suatu biogas dilakukan beberapa langkah kerja sebagai berikut:

1. Mendesain suatu sistem sirkulasi alat purifikasi biogas dengan menggunakan sistem kontinyu dan tidak boleh ditemukan kebocoran pada alat purifikasi.
2. Melarutkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan diketahui menggunakan konsentrasi sebesar 1M dan 4M pada air jernih. Gunakan rumus untuk menentukan molaritas, yaitu:

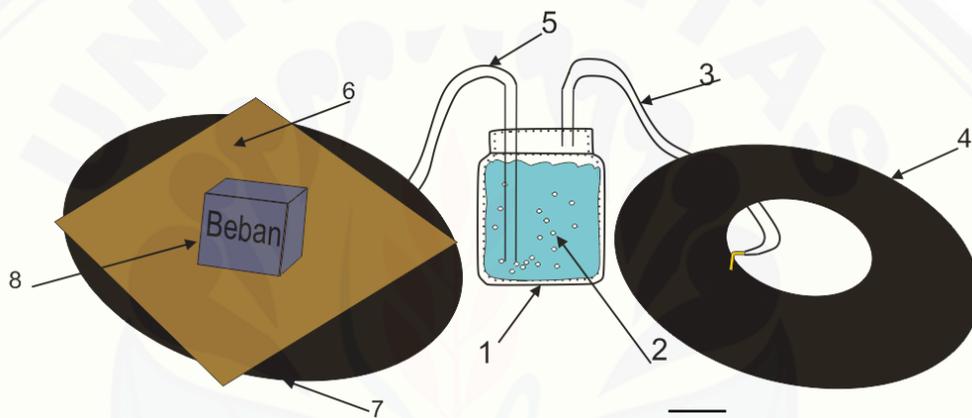
$$M = \frac{n}{V}; n = \frac{m}{Mr}$$

dengan:

M	= Molaritas	V	= Volume larutan (liter)	n	= mol
m	= Massa (gram)	Mr	= Molekul relatif.		

Diketahui molekul relatif (M_r) dari larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($A_r \text{ Ca}=40, \text{O}=16, \text{H}=1$) adalah sebesar 74. Diketuinya molekul relatif tersebut bisa digunakan sebagai acuan berapa massa yang digunakan untuk purifikasi. Dengan mengasumsikan suatu volume larutan sebesar 1 liter maka dapat diketahui massa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan konsentrasi 1M dan 4M masing-masing sebesar 74 gram dan 296 gram .

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



Gambar 3.5 Skema Pemurnian Biogas

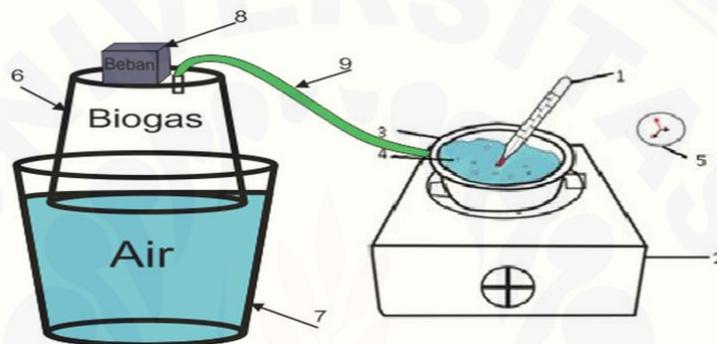
Keterangan gambar:

- | | |
|---|--|
| 1. Alat Purifikasi | 5. Selang <i>input</i> $\frac{1}{4}$ inchi |
| 2. Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | 6. Papan |
| 3. Selang <i>output</i> $\frac{1}{4}$ inchi | 7. Penampung gas sebelum purifikasi |
| 4. Penampung gas purifikasi | 8. Beban |

Pada saat purifikasi, pengukuran penambahan massa pada larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dilakukan setiap 15 menit sekali. Didapatkan data kemampuan pemurnian gas CO_2 dengan larutan purifikasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan konsentrasi 1 M dan 4 M.

3.8.2 Pengujian Kalor Pembakaran

Pengujian dilakukan dengan cara memasak air di wadah berupa panci pada kompor biogas hingga mendidih. Setelah mendidih letakan termokopel untuk mengukur suhu pada air tersebut. Data didapat dengan mencatat perubahan suhu yang terjadi setiap 30 detik hingga detik ke-150. Lakukan secara berulang-ulang sebanyak tiga kali pada volume air yang tetap. Cara pengujiannya ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Skema Pengujian Kalor Pembakaran

Keterangan gambar:

- | | |
|-------------------------------|---------------------------|
| 1. Termometer | 6. Ember penampung biogas |
| 2. Kompor biogas standart SNV | 7. Ember penampung air |
| 3. Panci aluminium | 8. Beban |
| 4. Bahan uji | 9. Selang |
| 5. Stopwatch | |

Setelah mendapatkan data kemudian menyusun setiap data perubahan suhu pada setiap 30 detik pemanasan air. Untuk memperoleh besar kalor pembakaran yang diserap oleh air menggunakan rumus yaitu:

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

dengan:

Q = Kalor yang diterima suatu zat (kJ)

M = Massa zat (kilogram)

C = Kalor jenis zat (joule/kilogram^oC)

ΔT = perubahan suhu (°C)

Setelah diketahui besar kalor pembakaran yang diserap oleh air, kemudian hitung kalor pembakaran untuk 1 mol bahan bakar dengan menggunakan rumus, yaitu:

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

dengan:

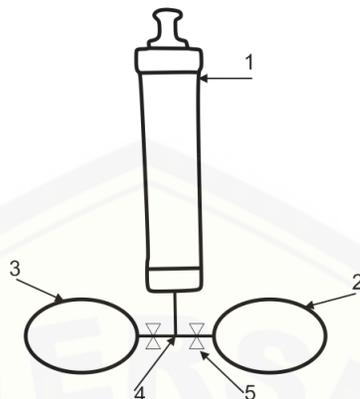
Mr = Berat molekul bahan bakar

m₁ = Massa awal bahan bakar (gram)

m₂ = Massa akhir bahan bakar setelah proses pembakaran (gram)

3.8.3 Pengujian Rambat Api dan Perilaku Ion

Pengamatan karakteristik pembakaran ini terfokus pada rambat api dan pengamatan perilaku ion pada sebuah biogas. Pertama yang dilakukan adalah mencampur bahan bakar dan udara kedalam kantong plastik dengan volume yang diatur dengan menggunakan *cylinder pneumatic* berdiameter 5 cm dan panjang 30 cm.

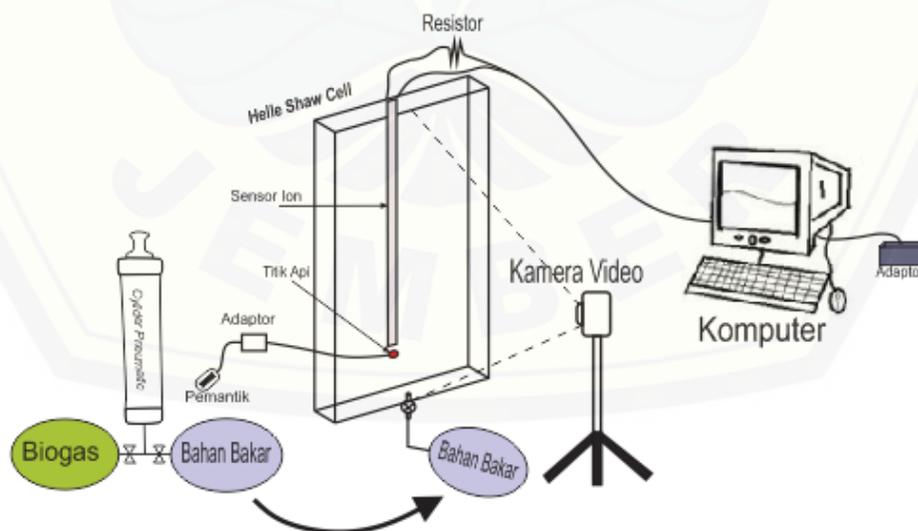


Gambar 3.7 Proses Pencampuran Biogas dan Udara

Keterangan gambar:

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

Pengamatan kecepatan rambat api dilakukan menggunakan kamera resolusi tinggi dan pengamatan perilaku ion yang diperoleh dari sensor pada ruang bakar *helle-shaw cell* yang telah terhubung pada komputer dengan dilengkapi *software*-nya.



Gambar 3.8 Skema Perilaku Ion dan Perekaman Rambat Api

Keterangan gambar:

1. *Helle-Shaw Cell* 1cm x 20cm x 60cm
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 Fujifilm *high speed* 60 *frame/s* 1.280x720 , 120 *frame/s* 640x480, 240 *frame/s* 224x168, 480 *frame/s* 224x168, dan 1000 *frame/s* 224x64.
8. Sensor Ion
9. Komputer

Pengujian dengan menggunakan *helle-shaw cell* yang dilakukan pada Gambar 3.8 yaitu dengan memasukkan campuran biogas yang telah dicampur dengan variasi AFR udara – biogas dengan varian 1 : 4; 1 : 5; 1 : 6; 1 : 7; 1 : 8; 1 : 9; 1 : 10. Setelah itu, lakukan pengisian berupa campuran udara dan biogas tersebut ke ruang bakar *helle-shaw cell* dengan cara menekan kantong berisi gas ke ruang bakar. Setelah terisi penuh, tekan pemantik yang terdapat pada *helle-shaw cell* untuk memicu percikan api sehingga terjadi pembakaran.

Dengan menggunakan kamera video berkecepatan 120 *frame/s* 640x480, rekam proses pembakaran yang terjadi pada *helle-shaw cell* dengan waktu yang diperlukan untuk satu *frame* adalah 1/120 detik. Kemudian pindahkan data-data yang didapat berupa rekaman tersebut ke komputer dan potong menjadi *video* yang lebih pendek dengan aplikasi *Kate's Video Splitter 7.0*. Hasil berupa potongan *video* tersebut kemudian dijadikan gambar diam dalam sejumlah *frame* yang tersusun secara berurutan dimulai dari api baru menyala sampai api padam dengan aplikasi *DVD Video Soft Free Studio video*. Setelah gambar didapatkan, hitung jumlah *frame* dimulai dari titik nyala sampai titik dimana api telah sampai pada bagian paling atas alat *helle-shaw cell*. Setelah memperoleh *frame* tersebut, kemudian ukur

jarak titik api mulai menyala sampai titik api padam dengan menggunakan aplikasi Corel Draw. Hasil berupa kecepatan rambat api diperoleh dengan membagi jarak panjang nyala api dari titik awal api nyala dengan waktu.

Untuk memunculkan tahanan yang terjadi pada proses pembakaran, pada *helle-shaw cell* terdapat lempengan aluminium. Kemudian tahanan yang terdapat pada lempengan aluminium dikonversikan menjadi voltase ke komputer dengan menggunakan aplikasi *Virtins sound card instrument* dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Data berupa grafik tersebut dianalisa dan dibandingkan perilaku ion suatu biogas antara biogas yang belum dipurifikasi dan yang sudah dipurifikasi serta pada perbandingan bahan bakar dan udara yang sama. Setelah pengujian selesai, kemudian dilakukan penyusunan data dari hasil pengujian rambat api maupun perilaku ion.

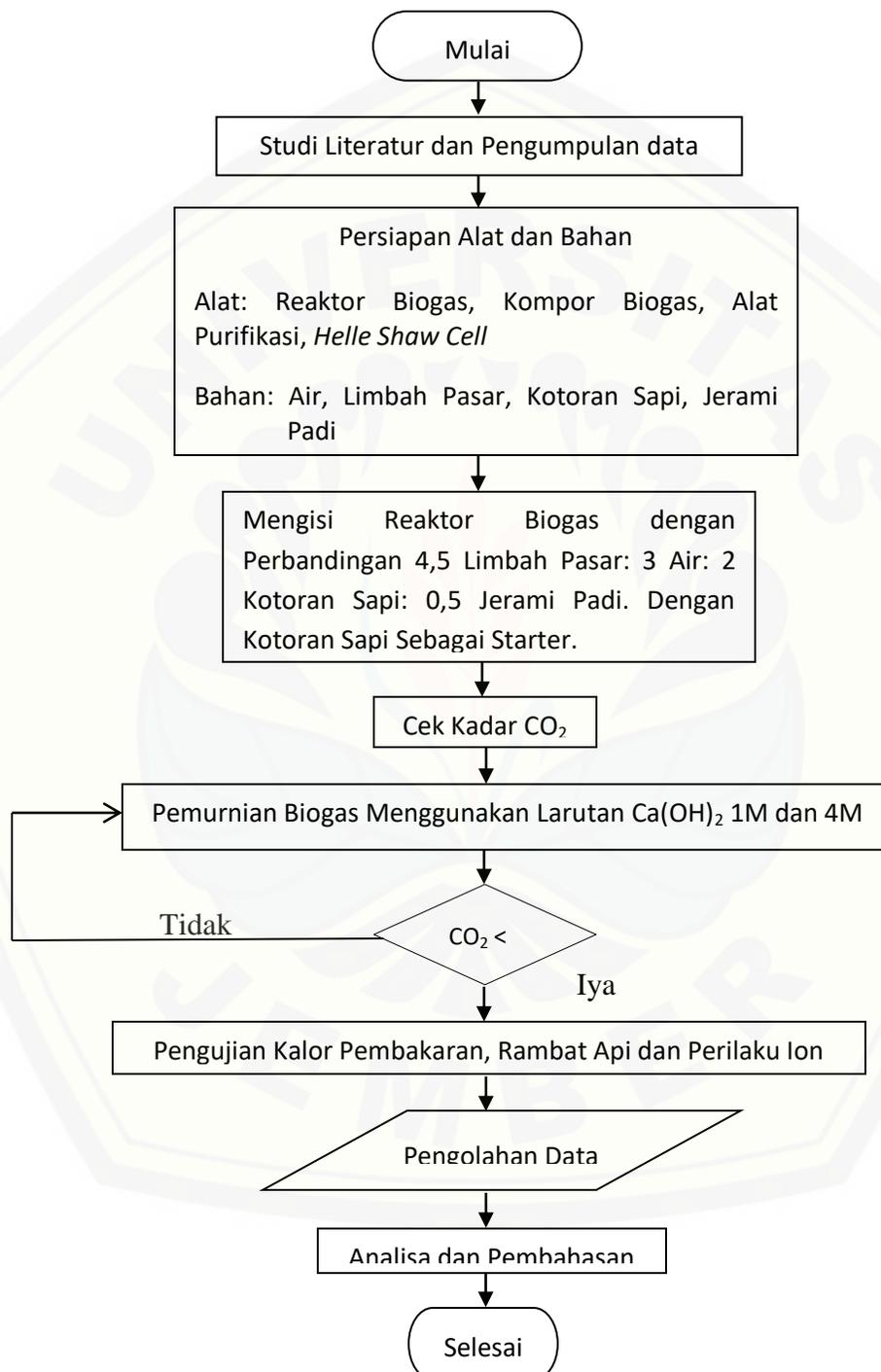
a. Hasil uji rambat api

Catat data hasil pengujian rambat api biogas dengan menggunakan AFR dengan variasi perbandingan 4 : 1; 5 : 1; 6 : 1; 7 : 1; 8 : 1; 9 : 1; 10 : 1 dengan keadaan biogas sebelum dan sesudah dipurifikasi.

b. Hasil uji perilaku ion

Catat data hasil pengujian perilaku ion biogas dengan menggunakan AFR dengan variasi perbandingan 4 : 1; 5 : 1; 6 : 1; 7 : 1; 8 : 1; 9 : 1; 10 : 1 dengan keadaan biogas sebelum dipurifikasi dan sesudah dipurifikasi

3.9 Diagram Alir



Gambar 3.9 Diagram alir pada pemurnian biogas

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai kalor pembakaran tertinggi pada biogas yang telah dipurifikasi dibandingkan dengan nilai kalor pembakaran pada biogas sebelum purifikasi.
2. Terjadi perbedaan titik nyala api pada ruang bakar *helle shaw cell* dengan penambahan larutan Ca(OH)_2 sebagai larutan purifikasi. Pada biogas sebelum purifikasi, nyala api terjadi pada AFR 4:1 dan 5:1. Namun, pada AFR 6:1 dan seterusnya, tidak ada nyala api. Hal ini disebabkan perbandingan udara lebih besar dibandingkan dengan perbandingan bahan bakar. Selain itu, pada biogas sesudah purifikasi, nyala api terjadi pada AFR 5:1 hingga 9:1. Pada AFR 4:1, api tidak dapat menyala. Hal ini disebabkan nilai perbandingan bahan bakar lebih besar dibandingkan dengan udara.
3. Pada penelitian tegangan ion, nilai tegangan ion biogas sebelum purifikasi tertinggi pada AFR 4:1, yaitu sebesar 21,256 volt. Sedangkan nilai tegangan ion biogas sesudah purifikasi tertinggi pada AFR 6:1, sebesar 39,903 volt, mengalami kenaikan 87 %.
4. Pada penelitian kecepatan rambat api, nilai kecepatan rambat api biogas sebelum purifikasi tertinggi pada AFR 4:1, yaitu sebesar 3,413 mm/ms, sedangkan nilai kecepatan rambat api biogas sesudah purifikasi tertinggi pada AFR 6:1, yaitu sebesar 7,8251 mm/ms, mengalami kenaikan 129 % .

4.2 Saran

Saran yang perlu disampaikan di dalam penelitian ini adalah:

1. Pada saat penampungan biogas, sebaiknya lakukan pengecekan secara intensif jika tempat penampungnya terjadi kebocoran dan terjadi penyumbatan.

2. Sebaiknya kandungan udara yang terdapat didalam ban yang akan dipasang pada *output* gas reaktor biogas serta *output* alat purifikasi dipastikan sudah tidak ada kandungan (vakum).
3. Dalam menguji komposisi biogas, sebaiknya menggunakan kromatografi atau alat khusus yang digunakan untuk mengetahui kandungan gas yang terdapat pada biogas.
4. Dalam pengujian kalor pembakaran, sebaiknya dilakukan di dalam ruang bakar yang tertutup sehingga dapat mengurangi kalor yang hilang, serta menggunakan termometer dengan ketelitian yang tinggi.
5. Dalam melakukan pengujian tegangan ion, disarankan terlebih dahulu untuk memastikan *noise* yang terdapat pada osiloskop serendah mungkin.

DAFTAR PUSTAKA

- Astra, I.M. 2010. *Energi Dan Dampaknya Terhadap Lingkungan*. Jurnal Meteorologi dan Geofisika. Vol. 11 (2): 131-139.
- Badan Pusat Statistik. 2016. *Statistik Indonesia 2016*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Buffam, J. & Cox, K. 2008. *Measurement of Laminar Burning Velocity of Methane – Air Mixtures Using a Slot and Bunsen Burner*. Worcester Polytechnic Institute.
- Calcote, H.F. dan Gill, R.J. 1994. *Development of the Kinetics for an Ionic Mechanism of Soot Formation in Flame*. Eastern section of the Combustion Institute. Fall Technical Meeting.
- Haryandi. 2011. *Penurunan Konsentrasi Gas CO₂ Pada Biogas dengan Metode Absorpsi Menggunakan Larutan Ca(OH)₂*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Iminnafik, N. 2012. *Pengaruh Karbon Dioksida Terhadap Perilaku Hambatan Pembakaran Refrigeran Liquefied Petroleum Gas (Lpg)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Law, C.K. 2006. *Combustion Physics*, Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge Cb2 2ru, UK, First Published.
- Mara, I.M. 2012, *Analisis Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) Dengan Larutan NaOH Terhadap Kualitas Biogas Kotoran Sapi*. Dinamika Teknik Mesin, Volume 2 No.1, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram, Mataram.

- Masyhuri, A.P., Ahmad, A.M., dan Djojowasito, G. 2013. *Rancang Bangun Sistem Penyerap Karbondioksida (CO₂) Pada Aliran Biogas Dengan Menggunakan Larutan Ca(OH₂)*. Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem. Vol. 1 (1): 19-28. Malang: Universitas Brawijaya.
- Mifthah, E., dan Dwi, H., 2012. *Peningkatan Kualitas Biogas Dengan Pengaturan Rasio Nutrisi Dan pH*. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri. Vol. 2 (3): 143-147.
- Padang, Y.A., Nurchayati dan Suhandi. 2011. *Meningkatkan Kualitas Biogas Dengan Penambahan Gula*. Jurnal Teknik Rekayasa Vol. 12 (1). Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram, Mataram.
- 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.
- Putri, A.A.I.K., Asmara, I.W.S., dan Aryana, I.K. 2014. *Pengaruh Jenis Kotoran Ternak Terhadap Kuantitas Biogas*. Jurnal Kesehatan Lingkungan. Vol. 4 (1) : 45-49
- Rahayu, Karsiwulan, Yuwono, Trisnawati, Rahardjo, Hokerman, dan Paramita. 2015. *Konveksi POME Menjadi Biogas*.
- Ratnaningsih. 2009. *Potensi Pembentukan Biogas Pada Proses Biodegradasi Campuran Sampah Organik Segar Dan Kotoran Sapi Dalam Batch Reaktor Anaerob*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Trisakti: Jakarta.

- Renosori, P. 2012. *Kajian Peningkatan Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Dengan Metode SWOT Dan AHP Di Desa Wangunsari Kecamatan Lembang*. Buana Sains. Vol. 12 (1): 109-116.
- Romadhoni, H.A. dan Wesen, P. 2015. *Pembuatan Biogas Dari Sampah Pasar*. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan. Vol. 6 (1).
- Saputro, R.R. & Putri, D.A. 2009. *Pembuatan Biogas dari Limbah Peternakan*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sugiarto., Oerbandono, Wdhiyanuriyawan, Putra. 2013. *Purifikasi Biogas Sistem Kontinyu Menggunakan Zeolit*. Jurnal Rekayasa Mesin. ISSN 0216-468X. Vol. 4 (1): 1-10.
- Sunaryo. 2014. *Uji Eksperimen Pemurnian Biogas Sebagai Pengganti Bahan Bakar Motor Bensin*. Jurnal PPKM II. ISSN 2354-869X. Vol. 1 : 123-130.
- Surono, U. B., Machmud, S. 2012. *Peningkatan Kualitas Biogas Dengan Metode Absorpsi Dan Pemakaiannya Sebagai Bahan Bakar Mesin Generator Set (Genset)*. Universitas Janabadra.
- Sutrisno, J. 2010. *Pembuatan Biogas Dari Bahan Sampah Sayuran (Kubis, Kangkung Dan Bayam)*. Jurnal Teknik WAKTU. ISSN 1412-1867. Vol. 8 (1).
- Tunggal, D. H., Iminafik, M., Syuhri, A. 2014. *Peningkatan Kualitas Biogas Melalui Proses Purifikasi CO₂ Dengan Variasi Molaritas*. Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa.

- Utami, Saputro, Mahardiani, Yamtinah, dan Mulyani. 2009. *Kimia 2 : Untuk SMA/MA Kelas XI*. Program Ilmu Alam. Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Uwar, N. A., Wardana, ING., Widhiyanuriyawan, D. 2012. *Karakteristik Pembakaran CH₄ Dengan Penambahan CO₂ Pada Model Helle-Shaw Cell Pada Penyalaaan Bawah*. Jurnal Rekayasa Mesin. ISSN 0216-468X. Vol.3 (1): 249-257.
- Wahyudi, D., Wardana, ING., dan Hamidi, N. 2012. *Pengaruh Kadar Karbondioksida (CO₂) dan Nitrogen (N₂) Pada Karakteristik Pembakaran Gas Metan*. Jurnal Rekayasa Mesin. ISSN 0216-468X. Vol. 3 (1): 241-248.
- Wati, L., Ahda, Y., dan Handayani, D. 2014. *Pengaruh Volume Cairan Rumen Sapi Terhadap Berbagai Feses Dalam Menghasilkan Biogas*. Eksakta. Vol. 1.
- Winarno, J. 2014. *Studi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermesin Bensin Pada Berbagai Merk Kendaraan Dan Tahun Pembuatan*. Yogyakarta: Universitas Janabadra.
- Wiqoyah, Qunik. 2006. *Pengaruh Kadar Kapur, Waktu Perawatan Dan Perendaman Terhadap Kuat Dukung Tanah Lempung*. Dinamika Teknik Sipil. Vol. 6 (1): 16-24.



Lampiran A: Perhitungan Kalor Pembakaran

Pengambilan data kalor pembakaran dilakukan dengan diawali pemanasan air kemudian mengukur suhu air yang dipanaskan pada setiap kelipatan waktu 30 detik hingga 150 detik dengan menggunakan termometer air raksa.

Tabel A.1 Suhu Air Pada Biogas Sebelum Purifikasi

Pengujian	30 detik	60 detik	90 detik	120 detik	150 detik
	Suhu (°C)				
1	29	35	42	47	49
2	29,5	35	43	47	50,5
3	29	35	42	47,5	50
Rata-rata	29,16	35	42,3	47,16	49,83

Tabel A.1 Suhu Air Pada Biogas Sesudah Purifikasi

Pengujian	30 detik	60 detik	90 detik	120 detik	150 detik
	Suhu (°C)				
1	30	43	54	63	69
2	31	44	53,5	64	70,5
3	30	44	54	63	70
Rata-rata	30,33	43,67	53,83	63,33	69,83

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

$$Q = \frac{m \times c \times \Delta T}{1000}$$

Dimana: Q = jumlah kalor (kJ)

m = massa zat (g)

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

c = kalor jenis (J/gr $^{\circ}\text{C}$)

Diketahui:

$$\text{massa jenis air } (\rho) = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

- volume air = 240 mililiter atau 0,24 liter $\rightarrow 1 \text{ liter} = 1 \text{ dm}^3 \rightarrow 0,24 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
 $\rightarrow \text{massa jenis air } (\rho) = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$
 $\rightarrow 1000 \text{ kg/m}^3 = \text{massa} / 0,24 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
 $\rightarrow \text{massa} = 0,24 \text{ kg}$

$$c \text{ air} = 4200 \text{ joule/kg } ^{\circ}\text{C}$$

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

1. Sebelum Purifikasi

$$\begin{aligned} \text{a. } Q &= \frac{m \times c \times \Delta T}{1000} \\ &= \frac{0,24 \times 4200 \times (29,16 - 25,5)}{1000} \\ &= \frac{3689,28}{1000} \\ &= 3,68928 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } Q &= \frac{m \times c \times \Delta T}{1000} \\ &= \frac{0,24 \times 4200 \times (35 - 25,5)}{1000} \\ &= \frac{9576}{1000} \\ &= 9,576 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } Q &= \frac{m \times c \times \Delta T}{1000} \\ &= \frac{0,24 \times 4200 \times (42,3 - 25,5)}{1000} \\ &= \frac{16934,4}{1000} \\ &= 16,9344 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. } Q &= \frac{m \times c \times \Delta T}{1000} \\ &= \frac{0,24 \times 4200 \times (47,16 - 25,5)}{1000} \\ &= \frac{21833,28}{1000} \\ &= 21,83328 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e. } Q &= \frac{m \times c \times \Delta T}{1000} \\ &= \frac{0,24 \times 4200 \times (49,83 - 25,5)}{1000} \\ &= \frac{24524,64}{1000} \\ &= 24,52464 \text{ kJ} \end{aligned}$$

2. Sesudah Purifikasi

$$\begin{aligned} \text{a. } Q &= \frac{m \times c \times \Delta T}{1000} \\ &= \frac{0,24 \times 4200 \times (30,33 - 25,5)}{1000} \\ &= \frac{4868,64}{1000} \\ &= 4,86864 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } Q &= \frac{m \times c \times \Delta T}{1000} \\ &= \frac{0,24 \times 4200 \times (43,67 - 25,5)}{1000} \\ &= \frac{18315,36}{1000} \\ &= 18,31536 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } Q &= \frac{m \times c \times \Delta T}{1000} \\ &= \frac{0,24 \times 4200 \times (53,83 - 25,5)}{1000} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{28556,64}{1000} \\ &= 28,55664 \text{ kJ} \end{aligned}$$

d. Q

$$\begin{aligned} &= \frac{m \times c \times \Delta T}{1000} \\ &= \frac{0,24 \times 4200 \times (63,33 - 25,5)}{1000} \\ &= \frac{38132,64}{1000} \\ &= 38,13264 \text{ kJ} \end{aligned}$$

e. Q

$$\begin{aligned} &= \frac{m \times c \times \Delta T}{1000} \\ &= \frac{0,24 \times 4200 \times (69,83 - 25,5)}{1000} \\ &= \frac{44684,64}{1000} \\ &= 44,68464 \text{ kJ} \end{aligned}$$



Lampiran B: Data Perhitungan Kecepatan
Rambat Api

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

1. Biogas Sebelum Purifikasi

a. Pada AFR 4:1

Pengujian Ke 1		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	0.7109
2	16.667	1.0136
3	25.000	1.1847
4	33.333	1.2176
5	41.667	1.3215
6	50.000	1.4786
7	58.333	1.6059
8	66.667	1.7079
9	75.000	1.8399
10	83.333	2.0087
11	91.667	2.1085
12	100.000	2.354
13	108.333	2.5213
14	116.667	2.6721
15	125.000	2.7959
16	133.333	2.9634
17	141.667	3.1421
18	150.000	3.3333

Pengujian Ke 2		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	1.0573
2	16.667	1.3807
3	25.000	1.5012
4	33.333	1.6021
5	41.667	1.6652
6	50.000	1.7702

7	58.333	1.9163
8	66.667	2.1088
9	75.000	2.2479
10	83.333	2.4349
11	91.667	2.6611
12	100.000	2.8811
13	108.333	3.0746
14	116.667	3.3216
15	125.000	3.5798
16	133.333	3.75

Pengujian Ke 3		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	0.7999
2	16.667	1.0438
3	25.000	1.1168
4	33.333	1.2295
5	41.667	1.2972
6	50.000	1.4449
7	58.333	1.5184
8	66.667	1.6646
9	75.000	1.7720
10	83.333	1.9308
11	91.667	2.0658
12	100.000	2.1456
13	108.333	2.3380
14	116.667	2.5149
15	125.000	2.6533
16	133.333	2.7815
17	141.667	2.9077
18	150.000	3.0696
19	158.333	3.1579

b. Pada AFR 5:1

Pengujian Ke 1		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	0

2	16.667	0
3	25.000	0
4	33.333	0
5	41.667	0
6	50.000	0.1514
7	58.333	0.2210
8	66.667	0.4223
9	75.000	0.4950
10	83.333	0.5294
11	91.667	0.5647
12	100.000	0.5537
13	108.333	0.5833
14	116.667	0.5972
15	125.000	0.6154
16	133.333	0.6385
17	141.667	0.6534
18	150.000	0.6654
19	158.333	0.6774
20	166.667	0.6953
21	175.000	0.7186
22	183.333	0.7359
23	191.667	0.7497
24	200.000	0.7700
25	208.333	0.7960
26	216.667	0.8023
27	225.000	0.8251
28	233.333	0.8268
29	241.667	0.8393
30	250.000	0.8602
31	258.333	0.9122
32	266.667	0.9123
33	275.000	0.9318
34	283.333	0.9394
35	291.667	0.9439
36	300.000	0.9584
37	308.333	0.9771
38	316.667	1.0044
39	325.000	1.0138
40	333.333	1.0137
41	341.667	1.0202
42	350.000	1.0112
43	358.333	1.0281

44	366.667	1.0339
45	375.000	1.0516
46	383.333	1.0487
47	391.667	1.0400
48	400.000	1.0307
49	408.333	1.0190
50	416.667	1.0078
51	425.000	0.9988
52	433.333	0.9866
53	441.667	0.9729
54	450.000	0.9569
55	458.333	0.9483
56	466.667	0.9371
57	475.000	0.9226
58	483.333	0.9130

Pengujian Ke 2		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	0.3908
2	16.667	0.3908
3	25.000	0.3908
4	33.333	0.3908
5	41.667	0.3908
6	50.000	0.3908
7	58.333	0.3908
8	66.667	0.3908
9	75.000	0.4080
10	83.333	0.4145
11	91.667	0.4829
12	100.000	0.5368
13	108.333	0.5384
14	116.667	0.5648
15	125.000	0.5626
16	133.333	0.5820
17	141.667	0.6212
18	150.000	0.6069
19	158.333	0.6347
20	166.667	0.6553
21	175.000	0.6641
22	183.333	0.6835

23	191.667	0.7021
24	200.000	0.7287
25	208.333	0.7432
26	216.667	0.7548
27	225.000	0.7672
28	233.333	0.7966
29	241.667	0.8099
30	250.000	0.8329
31	258.333	0.8529
32	266.667	0.8603
33	275.000	0.8700
34	283.333	0.8792
35	291.667	0.8904
36	300.000	0.9086
37	308.333	0.9430
38	316.667	0.9756
39	325.000	0.9669
40	333.333	0.9745
41	341.667	0.9906
42	350.000	1.0125
43	358.333	1.0248
44	366.667	1.0263
45	375.000	1.0156
46	383.333	1.0113
47	391.667	1.0091
48	400.000	1.0631
49	408.333	1.0570
50	416.667	1.0649
51	425.000	1.0452
52	433.333	1.0265
53	441.667	1.0149
54	450.000	1.0130
55	458.333	1.0111
56	466.667	0.9995
57	475.000	0.9987

Pengujian Ke 3		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	0
2	16.667	0

3	25.000	0
4	33.333	0
5	41.667	0
6	50.000	0
7	58.333	0
8	66.667	0
9	75.000	0
10	83.333	0
11	91.667	0
12	100.000	0.3453
13	108.333	0.4038
14	116.667	0.4013
15	125.000	0.4299
16	133.333	0.4549
17	141.667	0.4851
18	150.000	0.5119
19	158.333	0.5238
20	166.667	0.5299
21	175.000	0.5445
22	183.333	0.5512
23	191.667	0.5673
24	200.000	0.5783
25	208.333	0.5846
26	216.667	0.5994
27	225.000	0.6113
28	233.333	0.6191
29	241.667	0.6201
30	250.000	0.6301
31	258.333	0.6455
32	266.667	0.6556
33	275.000	0.6720
34	283.333	0.6767
35	291.667	0.6863
36	300.000	0.7006
37	308.333	0.7066
38	316.667	0.7098
39	325.000	0.7271
40	333.333	0.7319
41	341.667	0.7523
42	350.000	0.7498
43	358.333	0.7645
44	366.667	0.7744

45	375.000	0.7838
46	383.333	0.7908
47	391.667	0.7995
48	400.000	0.8040
49	408.333	0.8177
50	416.667	0.8142
51	425.000	0.8182
52	433.333	0.8343
53	441.667	0.8325
54	450.000	0.8308
55	458.333	0.8492
56	466.667	0.8406
57	475.000	0.8356
58	483.333	0.8339
59	491.667	0.8354
60	500.000	0.8307
61	508.333	0.8237
62	516.667	0.8158
63	525.000	0.8067
64	533.333	0.7960
65	541.667	0.8019
66	550.000	0.7939

2. Biogas Sesudah Purifikasi

a. Pada AFR 5:1

Pengujian Ke 1		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	2.7348
2	16.667	4.1437
3	25.000	4.7514
4	33.333	5.4972
5	41.667	6.3646
6	50.000	7.4309
7	58.333	8.2636

Pengujian Ke 2		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)

1	8.333	1.4917
2	16.667	2.2376
3	25.000	2.6243
4	33.333	3.3356
5	41.667	4.2431
6	50.000	5.1934
7	58.333	6.1405
8	66.667	7.0649

Pengujian Ke 3		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	2.9764
2	16.667	3.4298
3	25.000	4.1598
4	33.333	5.1653
5	41.667	6.0827
6	50.000	7.1625
7	58.333	7.9811

b. Pada AFR 6:1

Pengujian Ke 1		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	1.74996
2	16.667	2.4791
3	25.000	3.75
4	33.333	4.5556
5	41.667	5.7333
6	50.000	6.9167
7	58.333	6.9524
8	66.667	7.5

Pengujian Ke 2		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	2.2780
2	16.667	3.9583

3	25.000	4.5833
4	33.333	6.99999
5	41.667	8.1
6	50.000	9.3704
7	58.333	8.4127

Pengujian Ke 3		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	1.4584
2	16.667	2.3125
3	25.000	2.9028
4	33.333	3.8021
5	41.667	4.8250
6	50.000	5.9537
7	58.333	7.2460
8	66.667	7.5625

c. Pada AFR 7:1

Pengujian Ke 1		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	2.9444
2	16.667	3.1111
3	25.000	3.2222
4	33.333	4.0833
5	41.667	4.8333
6	50.000	5.6528
7	58.333	6.6190
8	66.667	7.4375

Pengujian Ke 2		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	3.3058

2	16.667	2.3554
3	25.000	2.135
4	33.333	2.7066
5	41.667	3.4931
6	50.000	4.3526
7	58.333	5.2421
8	66.667	6.2534
9	75.000	6.6391

Pengujian Ke 3		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	1.5833
2	16.667	2.4375
3	25.000	3.6667
4	33.333	4.4167
5	41.667	5.0667
6	50.000	6.1667
7	58.333	7.1429
8	66.667	7.4722

d. Pada AFR 8:1

Pengujian Ke 1		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	4.0608
2	16.667	2.4655
3	25.000	2.4678
4	33.333	3.0456
5	41.667	3.3149
6	50.000	3.5457
7	58.333	3.8306
8	66.667	4.1413
9	75.000	4.4812
10	83.333	4.8264
11	91.667	5.2141

Pengujian Ke 2		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	5.3994
2	16.667	3.5537
3	25.000	3.6731
4	33.333	3.8567
5	41.667	4.1212
6	50.000	4.3526
7	58.333	4.8170
8	66.667	5.1377

Pengujian Ke 3		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	3.8016
2	16.667	2.8925
3	25.000	3.2232
4	33.333	3.1612
5	41.667	3.4545
6	50.000	3.7845
7	58.333	4.1437
8	66.667	4.5373
9	75.000	4.9403
10	83.333	5.3388
11	91.667	5.2592

e. Pada AFR 9:1

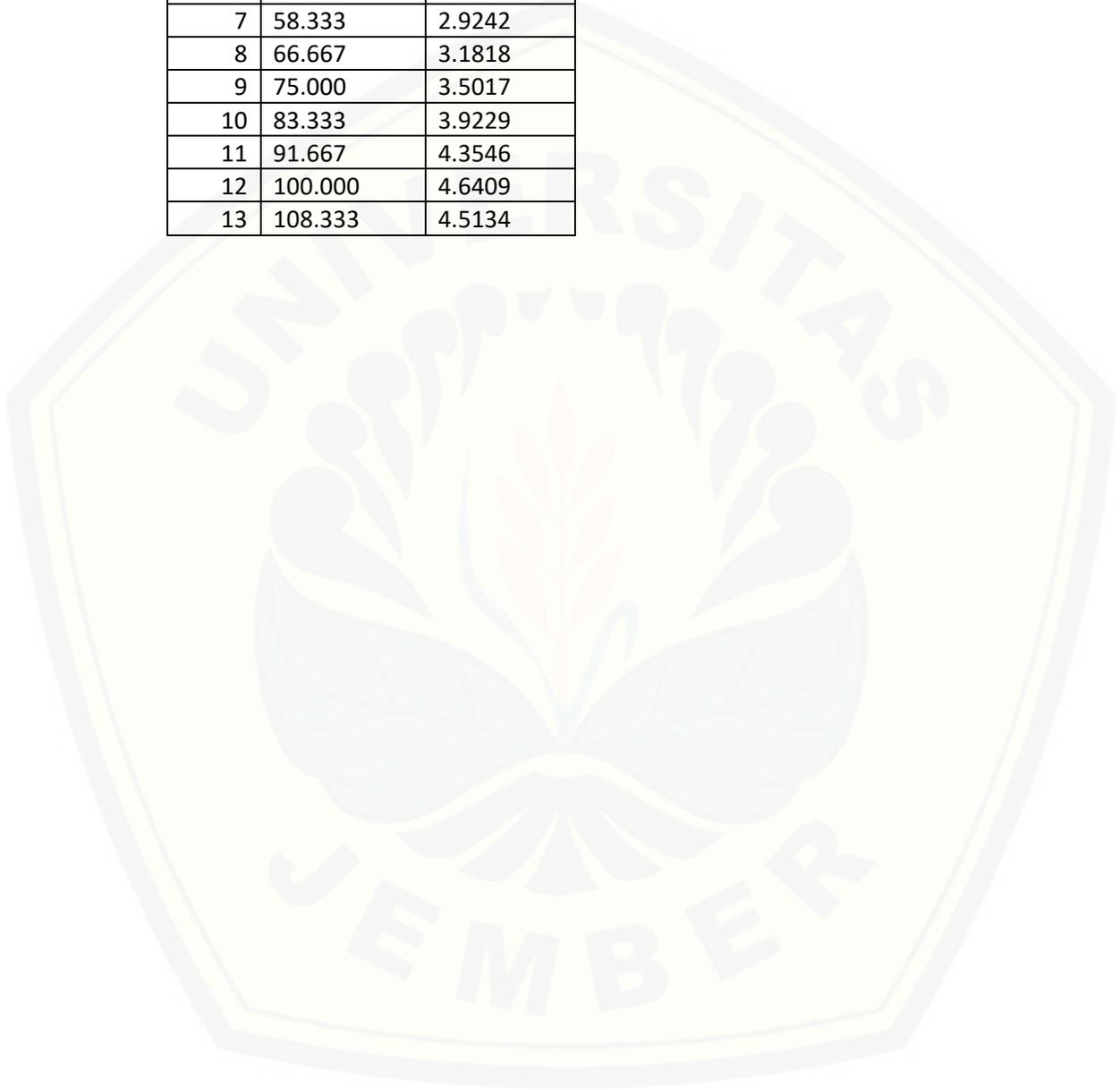
Pengujian Ke 1		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	4.4167
2	16.667	2.6042
3	25.000	2.2917
4	33.333	2.0208
5	41.667	1.8889
6	50.000	1.9306

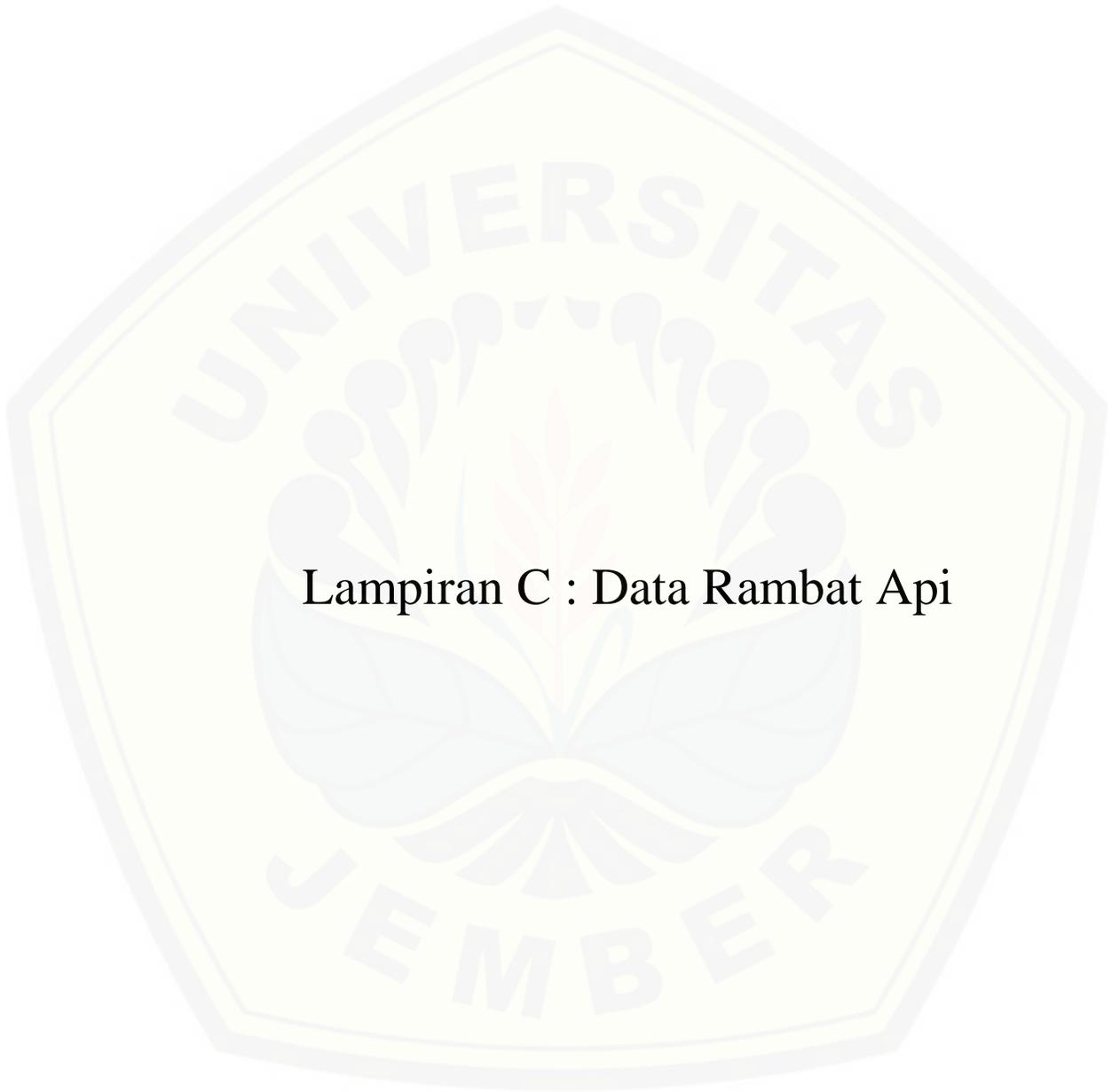
7	58.333	1.7619
8	66.667	1.8403
9	75.000	1.9021
10	83.333	1.9030
11	91.667	2.0247
12	100.000	2.0845
13	108.333	2.2374
14	116.667	2.3560
15	125.000	2.4825
16	133.333	2.5000
17	141.667	2.6714
18	150.000	2.8056
19	158.333	2.9474
20	166.667	2.925

Pengujian Ke 2		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	1.662
2	16.667	2.6317
3	25.000	2.2531
4	33.333	2.3407
5	41.667	2.3269
6	50.000	2.2899
7	58.333	2.3269
8	66.667	2.5035
9	75.000	2.6223
10	83.333	2.7922
11	91.667	2.9495
12	100.000	3.1389
13	108.333	3.3248
14	116.667	3.4357
15	125.000	3.6364
16	133.333	3.6467

Pengujian Ke 3		
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333	1.6022
2	16.667	1.4089

3	25.000	2.0258
4	33.333	2.1133
5	41.667	2.4310
6	50.000	2.6519
7	58.333	2.9242
8	66.667	3.1818
9	75.000	3.5017
10	83.333	3.9229
11	91.667	4.3546
12	100.000	4.6409
13	108.333	4.5134

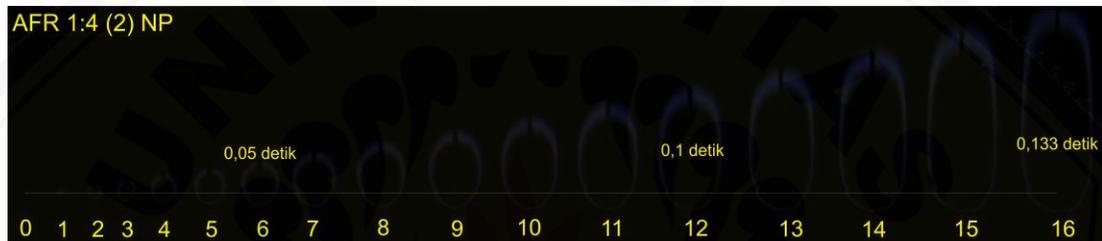
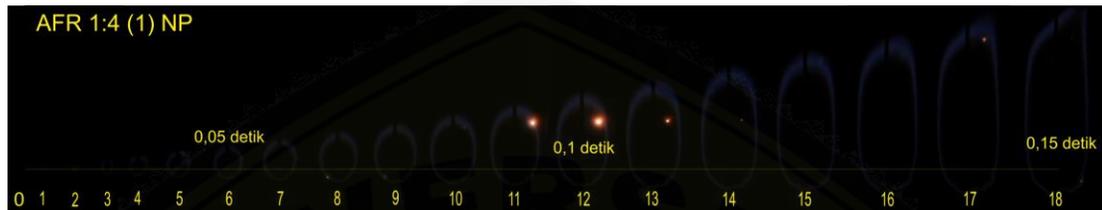




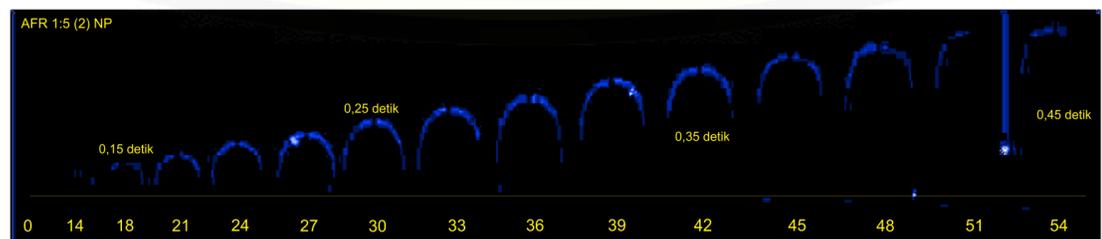
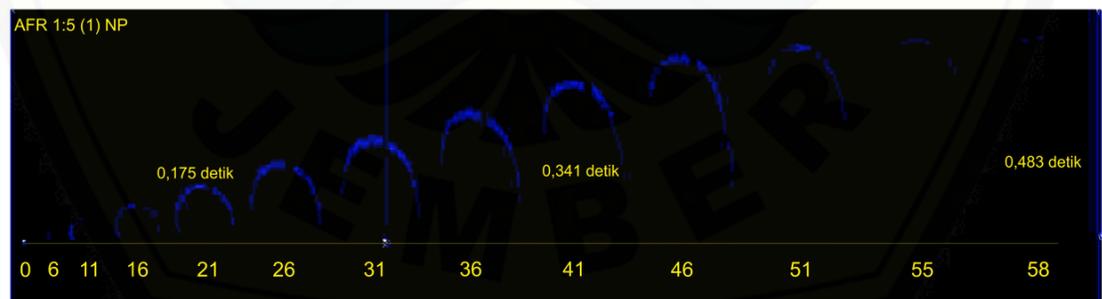
Lampiran C : Data Rambat Api

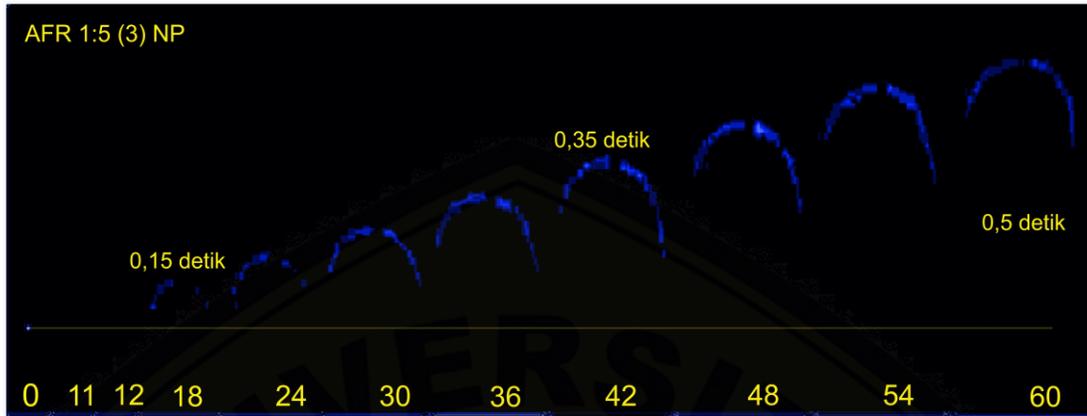
1. Sebelum Purifikasi

a. Nyala api biogas pada AFR 4:1 sebelum purifikasi



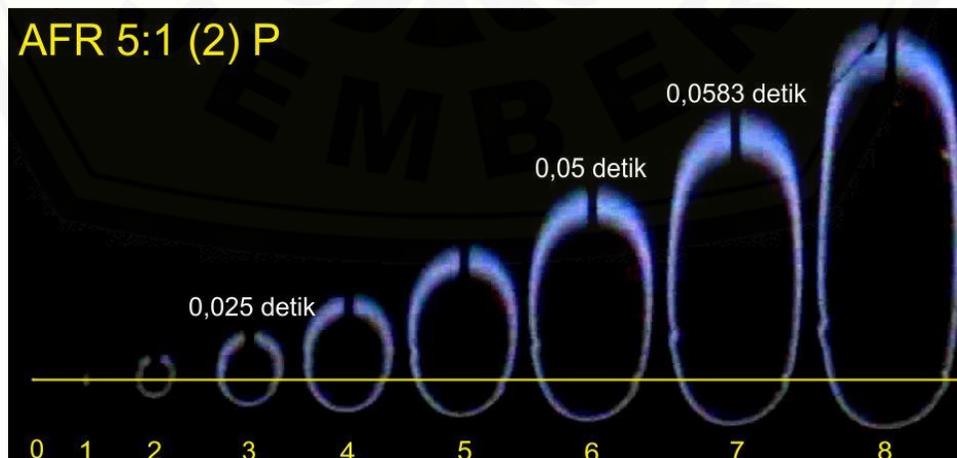
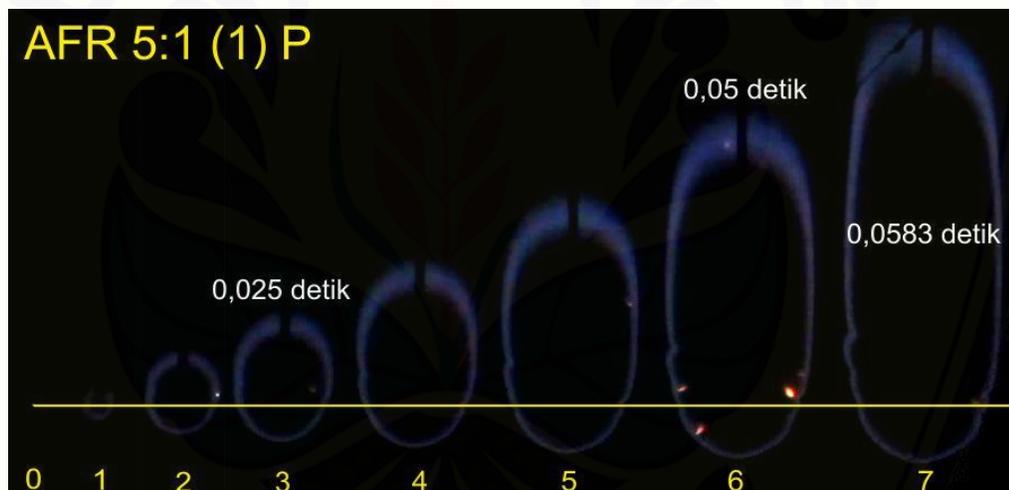
b. Nyala api biogas pada AFR 5:1 sebelum purifikasi

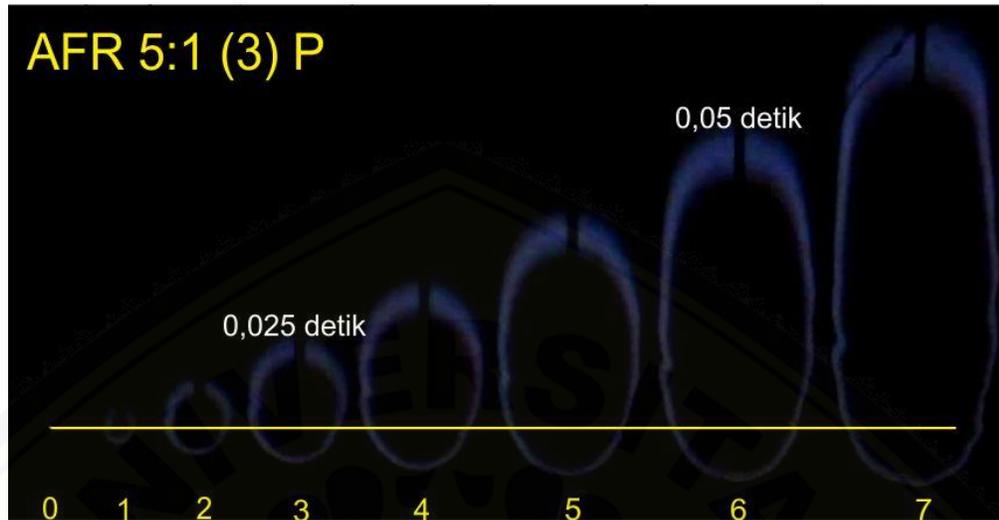




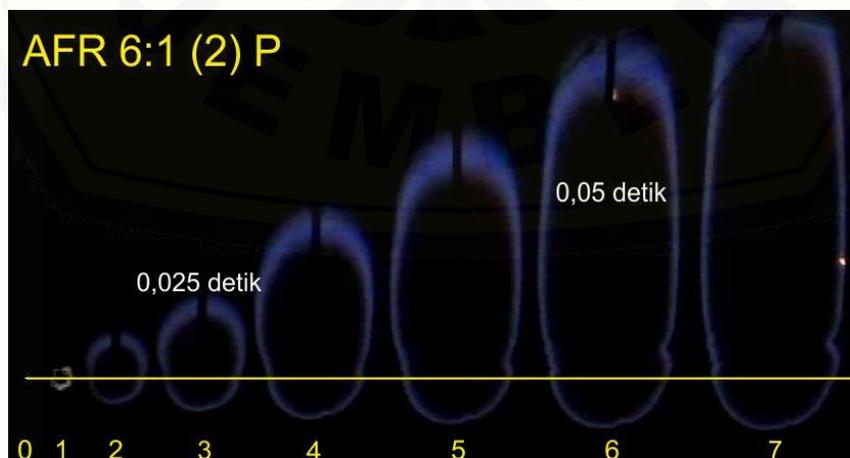
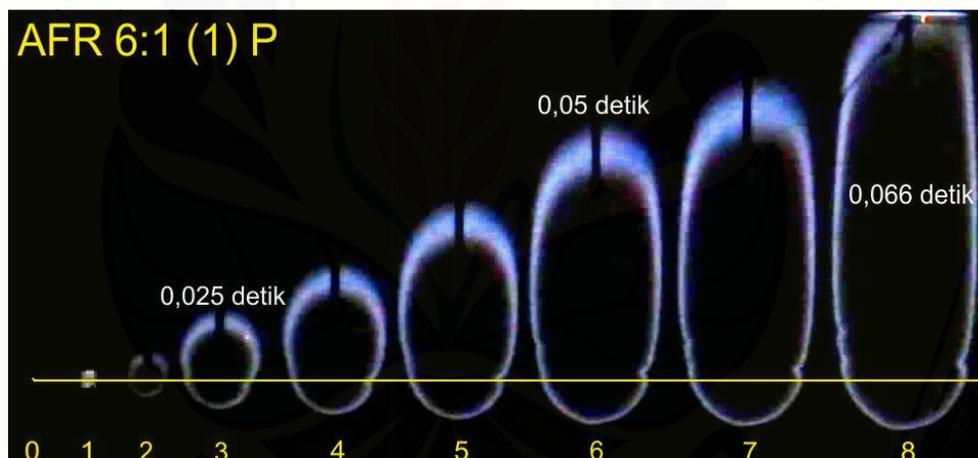
2. Sesudah Purifikasi

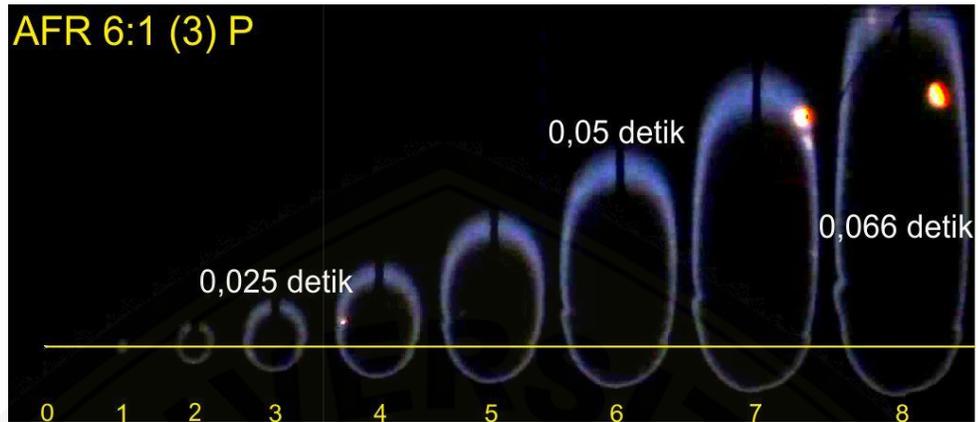
a. Nyala api biogas pada AFR 5:1 sesudah purifikasi



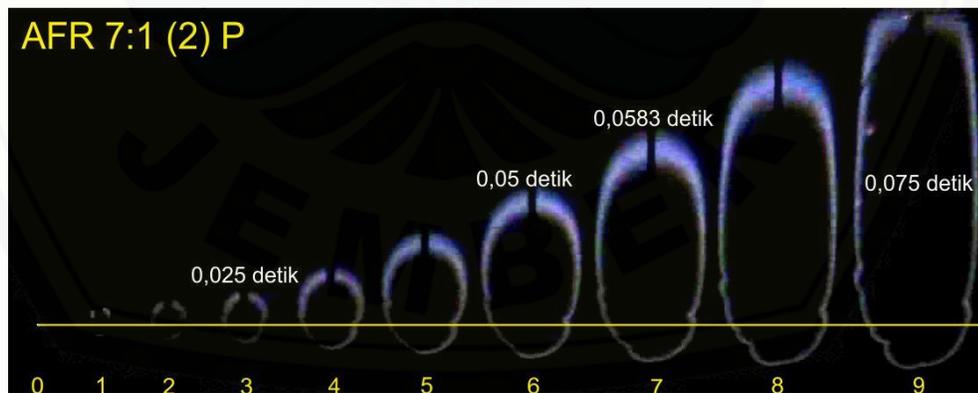
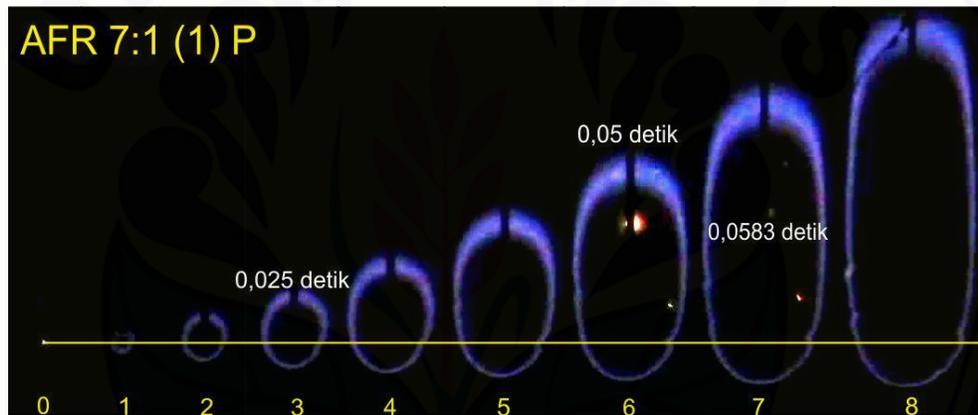


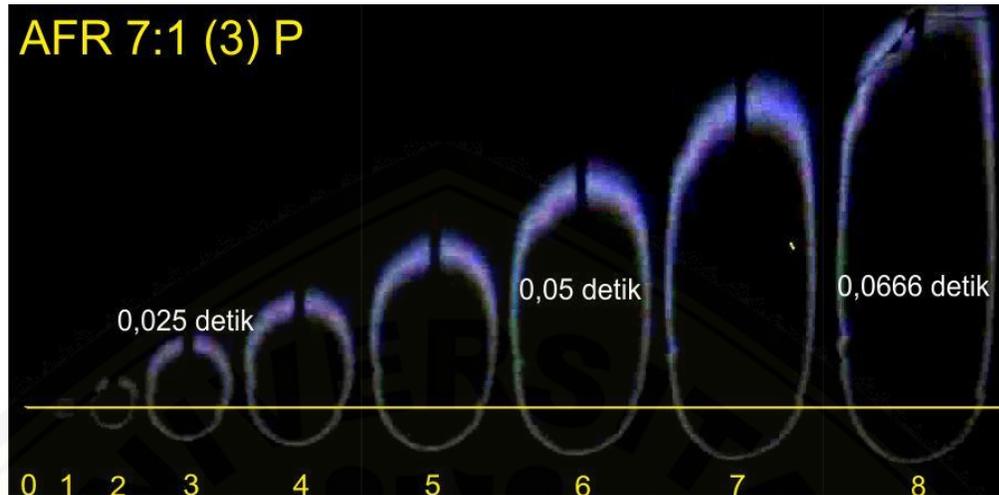
b. Nyala api biogas pada AFR 6:1 sesudah purifikasi



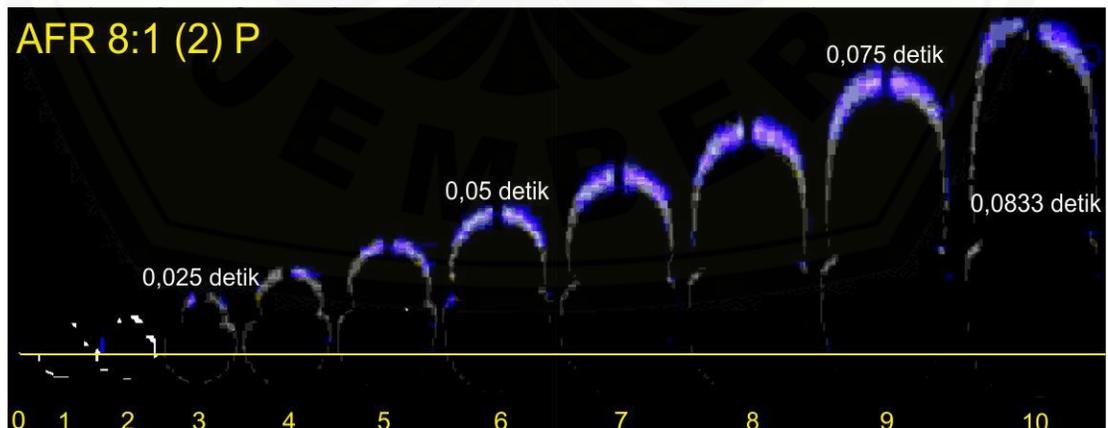
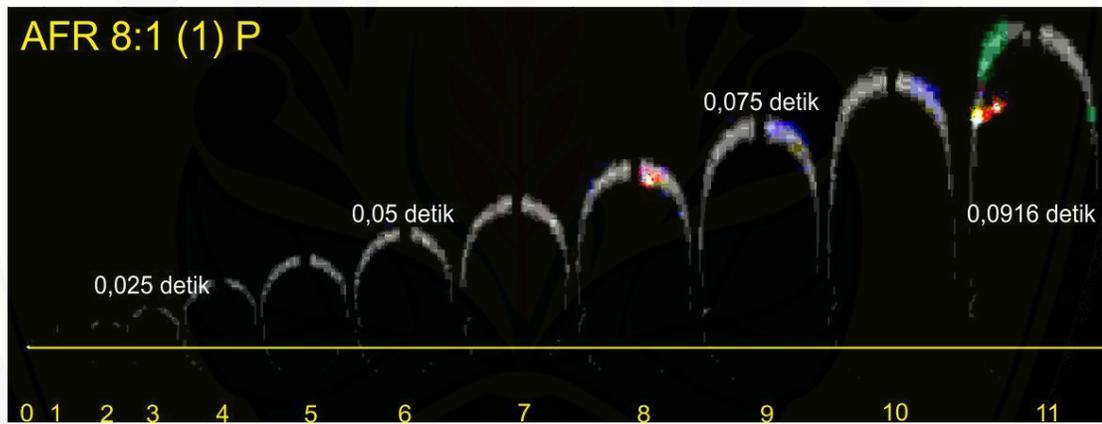


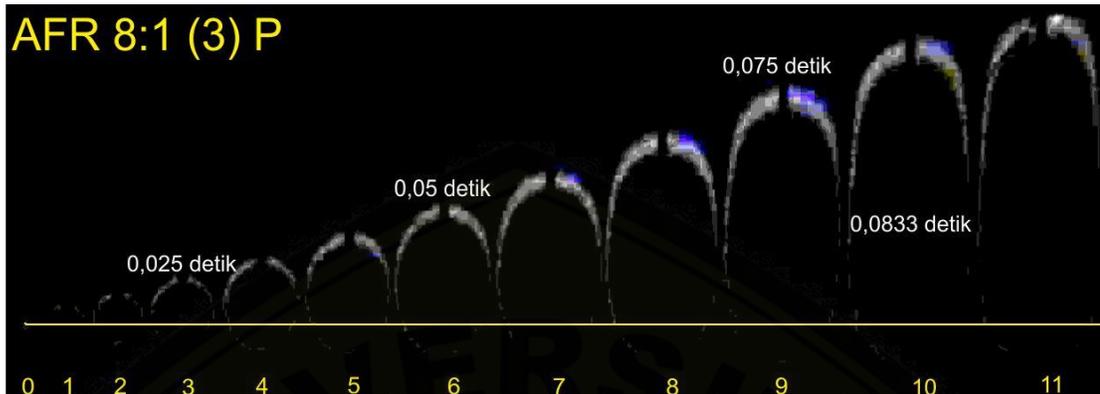
c. Nyala api biogas pada AFR 7:1 sesudah purifikasi



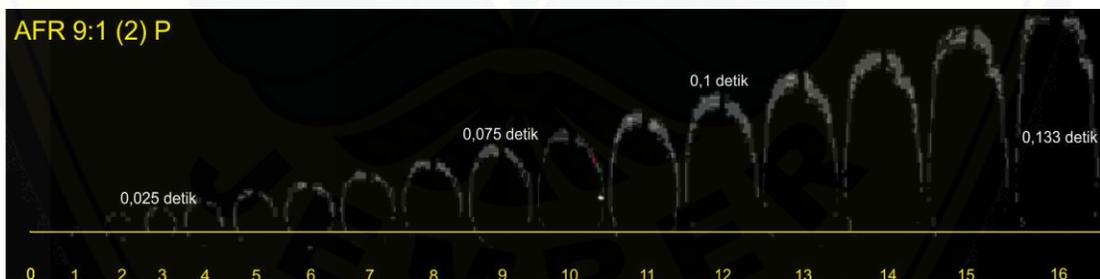
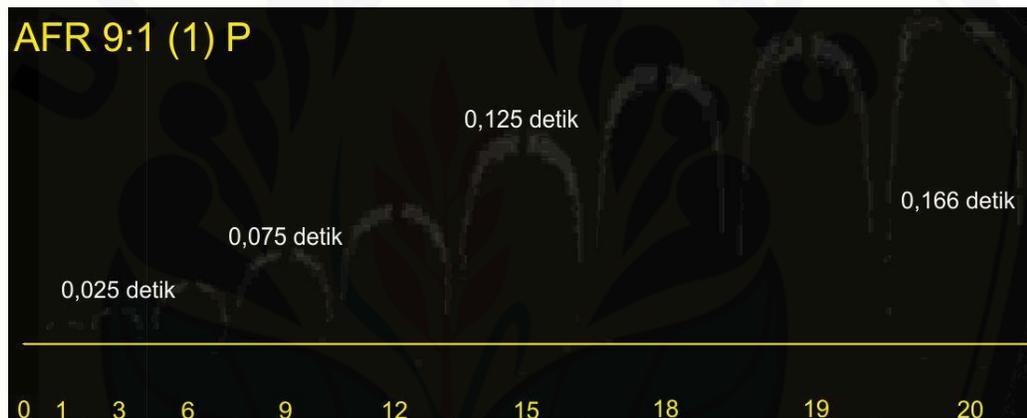


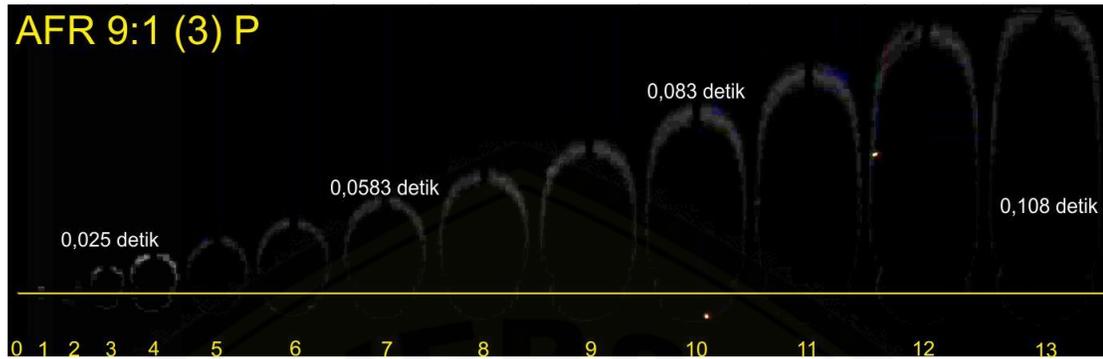
d. Nyala api biogas pada AFR 8:1 sesudah purifikasi





e. Nyala api biogas pada AFR 9:1 sesudah purifikasi







Lampiran D : Data Tegangan Ion

Data tegangan ion diambil menggunakan *software* yaitu *Virtins sound card instrument*, dimana lempengan yang terdapat pada *helle shaw cell* sebagai penahan kemudian dikonversikan menjadi voltase ke komputer.

1. Sebelum Purifikasi

a. AFR 4:1

Waktu	Frame	Tegangan (volt)			Rata-rata
		1	2	3	
0	0	0.0443	0.1068	0.1144	0.0885
8.333	1	2.0660	2.0493	0.5905	1.5686
16.667	2	2.1454	2.2308	2.0416	2.1393
25.000	3	2.1606	2.2400	2.1057	2.1688
33.333	4	2.388	2.3224	2.2400	2.3168
41.667	5	2.3117	2.6260	2.2842	2.4073
50.000	6	2.4750	2.6428	2.2827	2.4668
58.333	7	2.6550	2.8992	2.4384	2.6642
66.667	8	2.7664	3.0930	2.2827	2.7140
75.000	9	3.0579	3.2410	2.6123	2.9704
83.333	10	3.1784	3.6179	2.4353	3.0772
91.667	11	3.5568	4.0421	2.6444	3.4144
100.000	12	3.7079	4.7409	2.9022	3.7837
108.333	13	3.3752	5.336	3.0594	3.9235
116.667	14	3.4256	5.6625	2.9892	4.0258
125.000	15	2.6047	1.5823	3.1403	2.4424
133.333	16			2.7466	2.7466
141.667	17			1.1414	1.1414

b. AFR 5:1

Waktu	Frame	Tegangan			Rata-rata
		1	2	3	
0	0	0.2487	0.0381	0.0137	0.1002
8.333	1	0.6760	0.3448	0.5020	0.5076
16.667	2	0.2914	0.5203	0.5432	0.4517
25.000	3	0.4211	0.3555	0.2792	0.3520
33.333	4	0.2548	0.3372		0.2960
41.667	5	0.4883	0.2869		0.3876
50.000	6	0.0443	0.1602		0.1022

58.333	7		0.3265		0.3265
--------	---	--	--------	--	--------

2. Sesudah Purifikasi

a. AFR 5:1

Frame	Waktu	Tegangan			Rata-rata
		1	2	3	
0	0	0.0626	0.0427	0.1144	0.0732
1	8.333	7.9498	8.4015	8.7891	8.3801
2	16.667	9.7870	10.1349	11.8576	10.5932
3	25.000	13.2385	13.2446	16.4291	14.3041
4	33.333	15.8691	15.6342	18.2877	16.597
5	41.667	20.43	19.4351	22.7051	20.8567
6	50.000	26.384	25.6607	28.8864	26.9770
7	58.333	26.8509	30.1254		28.4882

b. AFR 6:1

Frame	Waktu	Tegangan			Rata-rata
		1	2	3	
0	0	0.0580	0.1038	0.1663	0.1094
1	8.333	7.5287	8.0963	6.9092	7.5114
2	16.667	10.1227	11.2305	9.4696	10.2743
3	25.000	13.6719	16.301	14.0778	14.6836
4	33.333	17.8421	19.7952	16.3971	18.0115
5	41.667	21.6202	24.9084	20.8237	22.4508
6	50.000	28.3401	32.7026	26.944	29.3289

c. AFR 7:1

Frame	Waktu	Tegangan			Rata-rata
		1	2	3	
0	0	0.2319	0.1083	0.1160	0.1521
1	8.333	5.6946	5.8441	5.7663	5.7683
2	16.667	7.6309	7.5623	7.6172	7.6035
3	25.000	9.7305	10.3058	9.7549	9.9304
4	33.333	12.0682	12.0239	12.0041	12.0321
5	41.667	14.4974	15.1917	14.1327	14.6073
6	50.000	18.9774	20.3659	17.8497	19.0643

7	58.333	22.9614	25.1862	21.3776	23.1751
---	--------	---------	---------	---------	---------

d. AFR 8:1

Frame	Waktu	Tegangan			Rata-Rata
		1	2	3	
0	0	0.1129	0.0839	0.0900	0.0956
1	8.333	2.4719	2.3483	2.1957	2.3387
2	16.667	2.4735	3.4439	2.5391	2.8188
3	25.000	2.8320	4.1245	3.2349	3.3971
4	33.333	3.1860	4.1489	3.5568	3.6306
5	41.667	3.5934	4.3091	3.9887	3.9637
6	50.000	4.0070	5.2033	4.4327	4.5476
7	58.333	4.5136	6.2027	5.3421	5.3528
8	66.667	5.0644	7.1472	6.1005	6.1040
9	75.000	5.8579	8.0704	7.6691	7.1991
10	83.333	6.7520	10.2203	8.7128	8.5617
11	91.667	7.6096			7.6096

e. AFR 9:1

Frame	Waktu	Tegangan			Rata-Rata
		1	2	3	
0	0	0.0748	0.0031	0.0977	0.0585
1	8.333	1.0620	1.2741	2.4780	1.6047
2	16.667	1.1047	1.0178	2.7222	1.6149
3	25.000	0.9644	1.0574	2.6138	1.5452
4	33.333	1.0025	1.0101	2.8580	1.6235
5	41.667	0.8087	1.2207	3.4119	1.8138
6	50.000	0.8911	1.1948	3.7216	1.9358
7	58.333	1.1093	1.2070	4.2252	2.1805
8	66.667	0.9583	1.2589	4.7119	2.3097
9	75.000	1.0574	1.4725	6.0669	2.8656
10	83.333	1.2985	1.4008	6.4056	3.0350
11	91.667	1.297	1.6251	8.2871	3.7364
12	100.000	1.4603	3.4973		2.4788
13	108.333	1.6373	2.5894		2.1133
14	116.667	1.7273	2.5436		2.1355
15	125.000	1.7517	2.5543		2.1530
16	133.333	2.0660	3.5812		2.8236
17	141.667	2.0706			2.0706

18	150.000	2.0798			2.0798
19	158.333	1.4252			1.4252

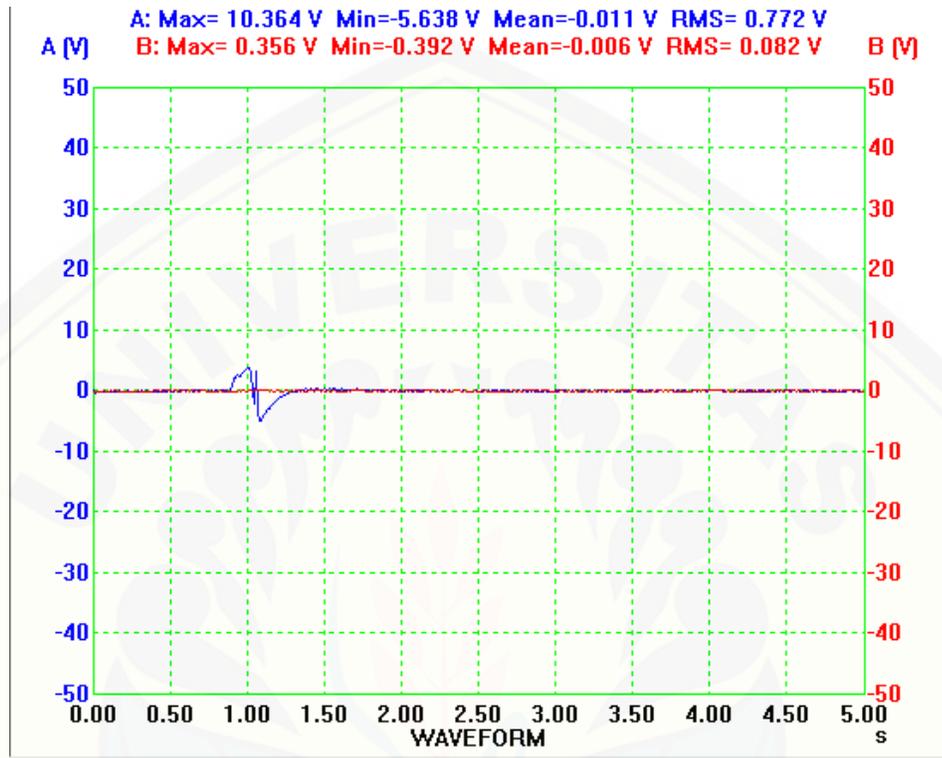


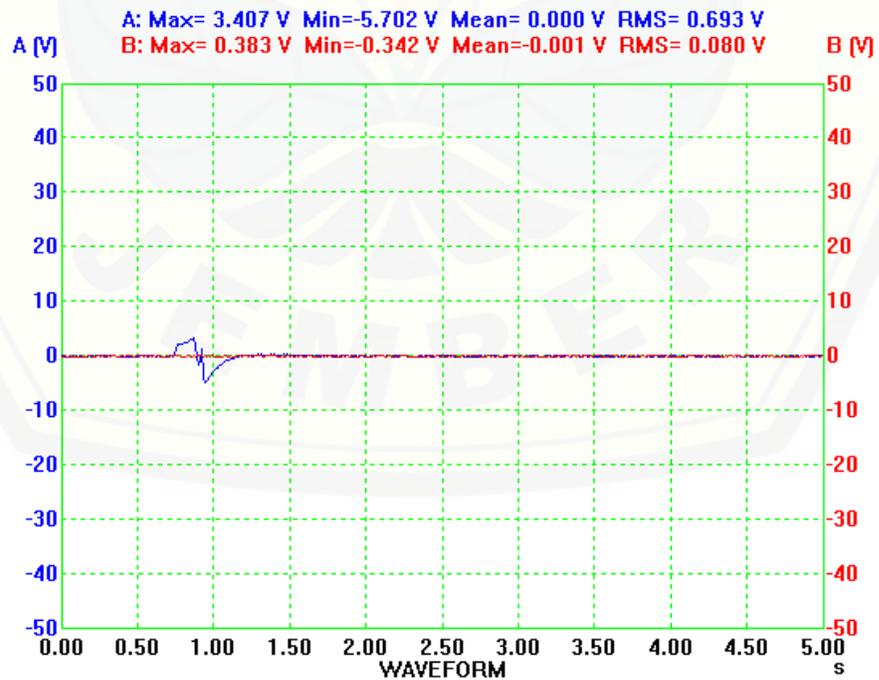
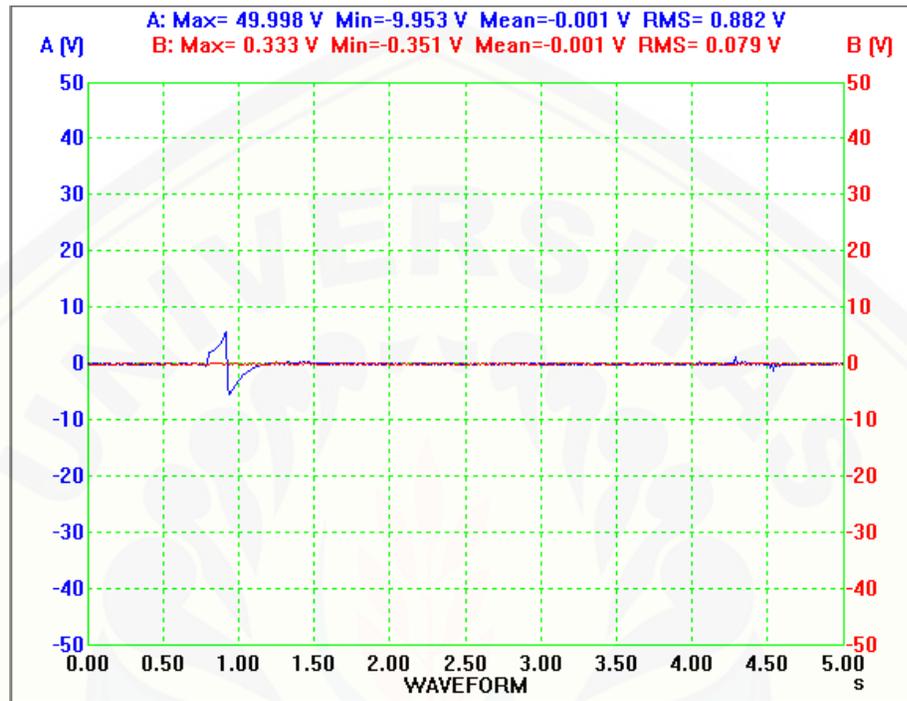
Lampiran E : Grafik Tegangan Ion



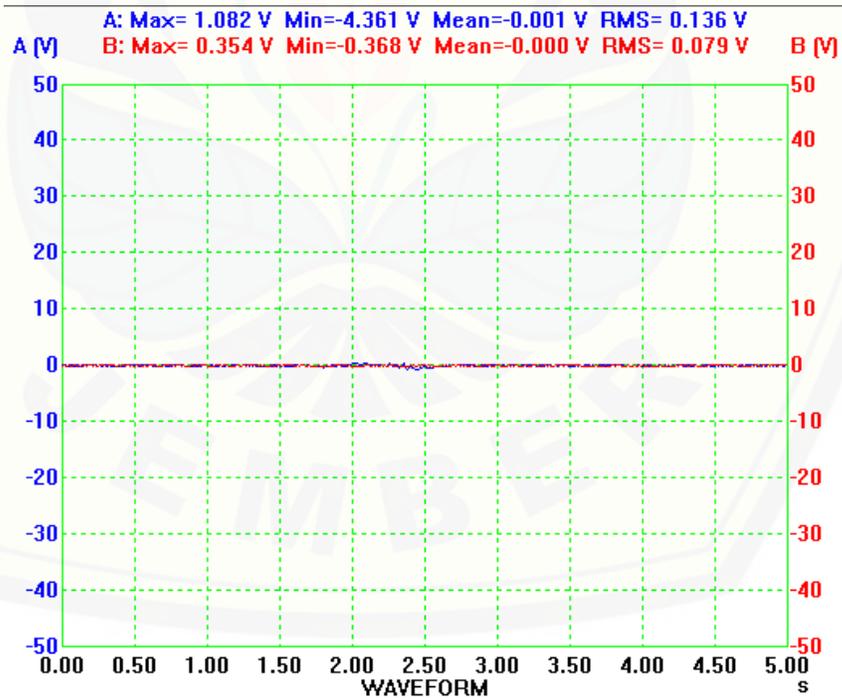
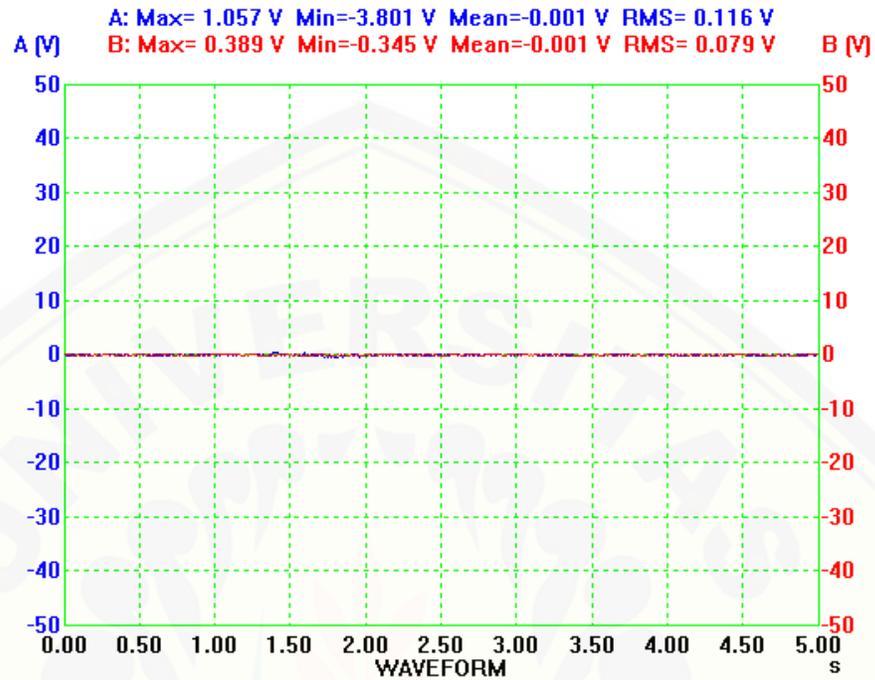
1. Sebelum Purifikasi

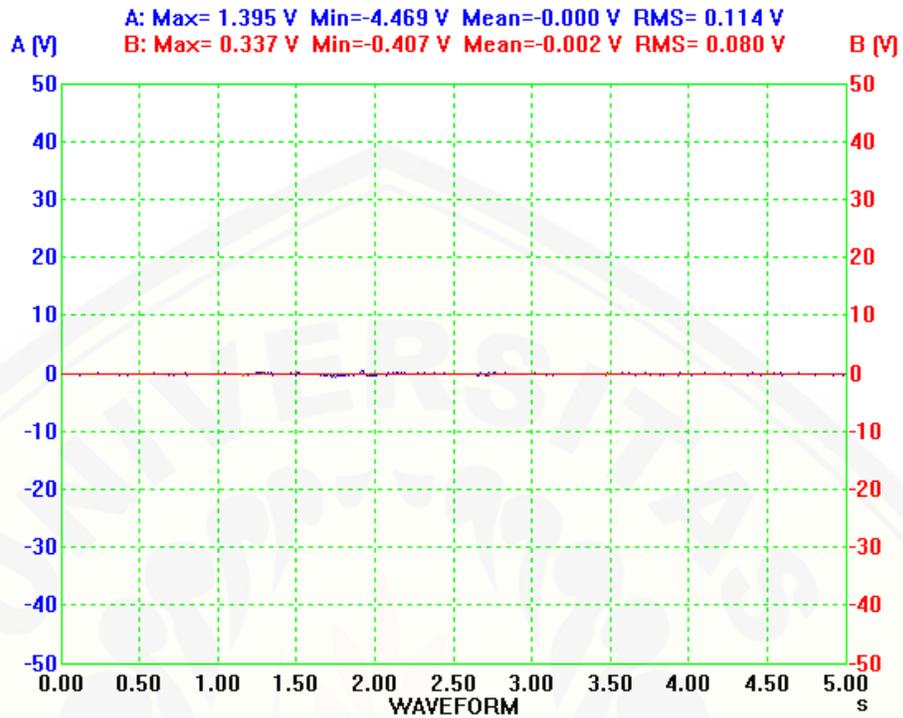
a. AFR 4:1





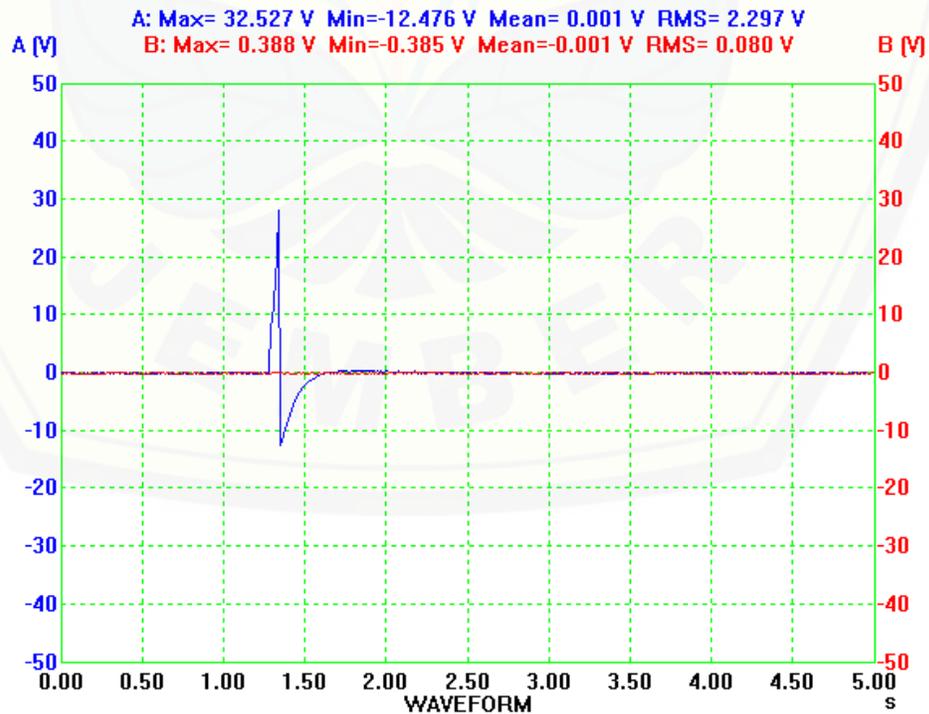
b. AFR 5:1

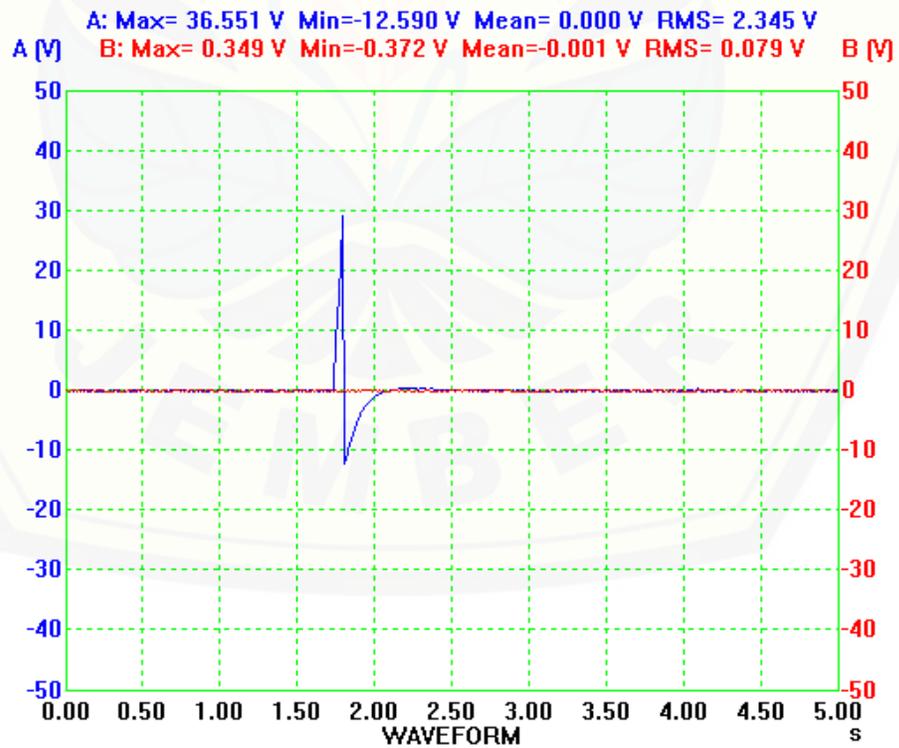
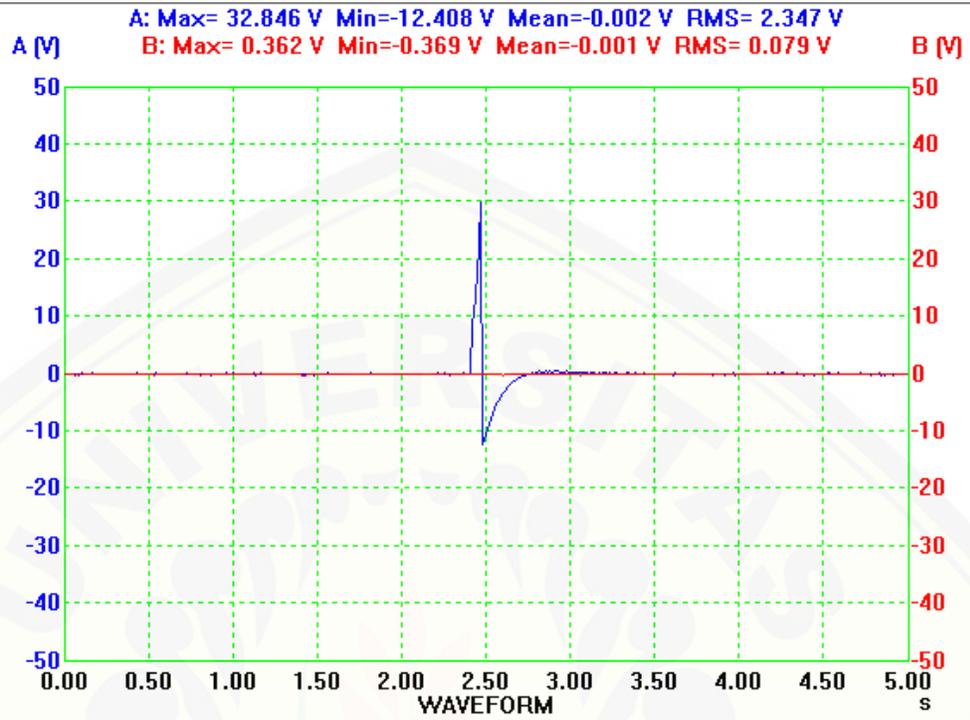




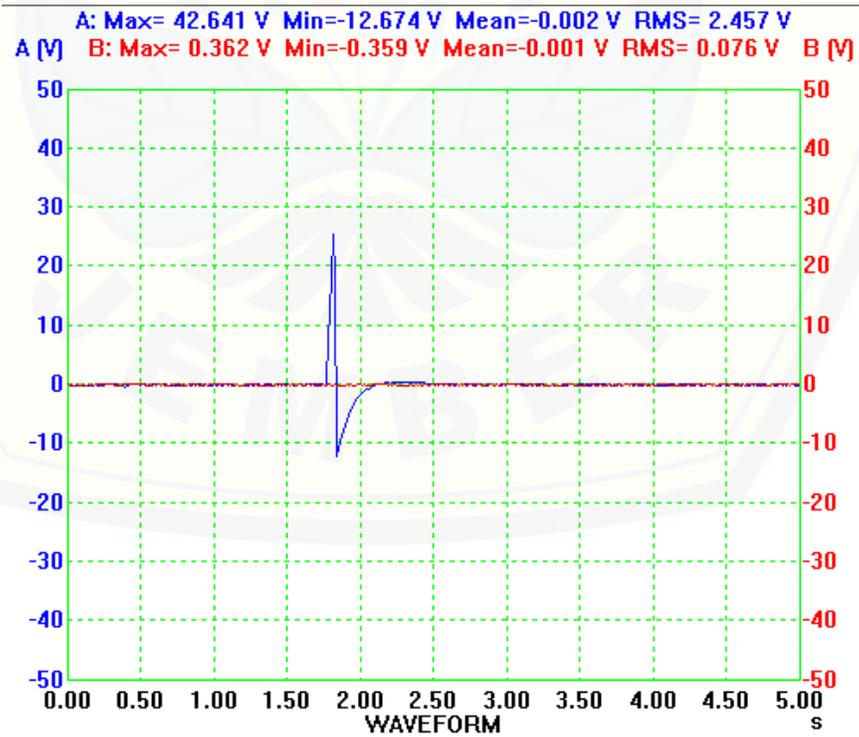
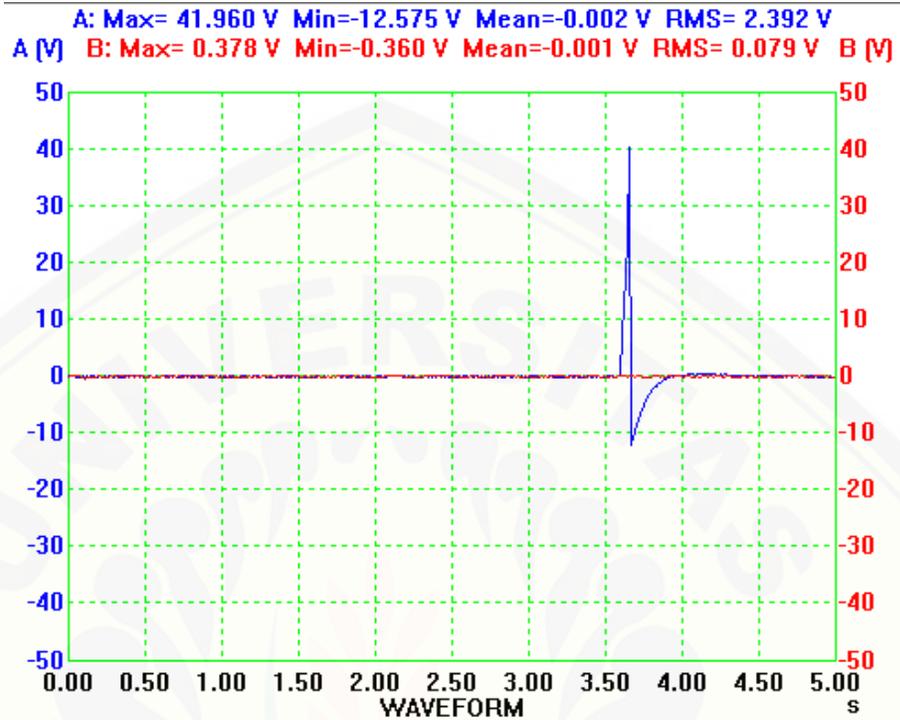
2. Sesudah Purifikasi

a. AFR 5:1

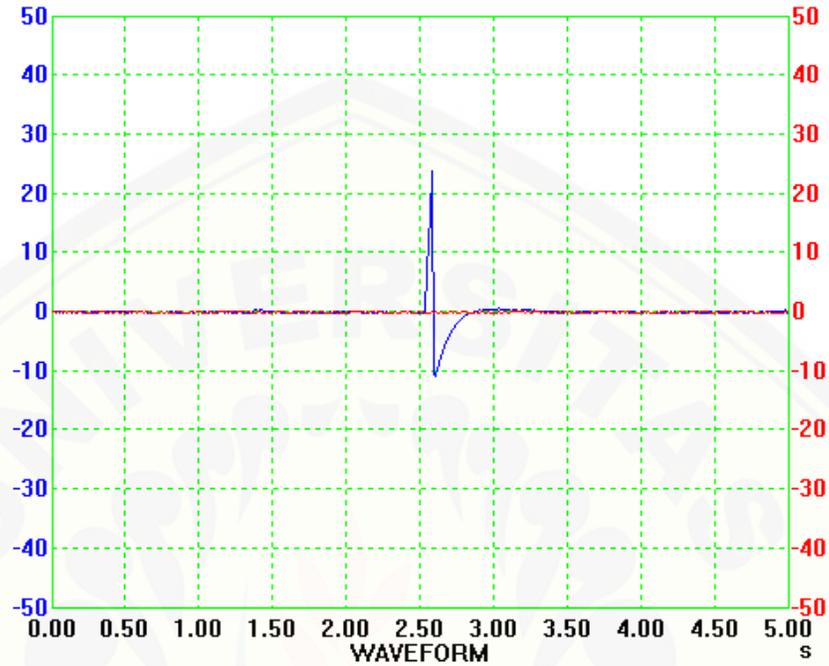




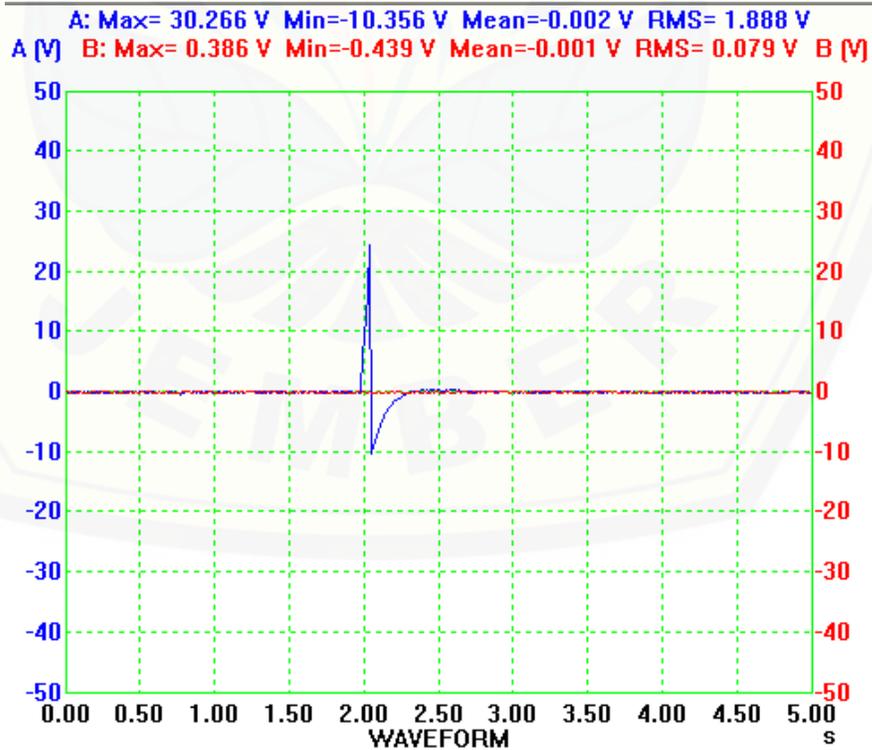
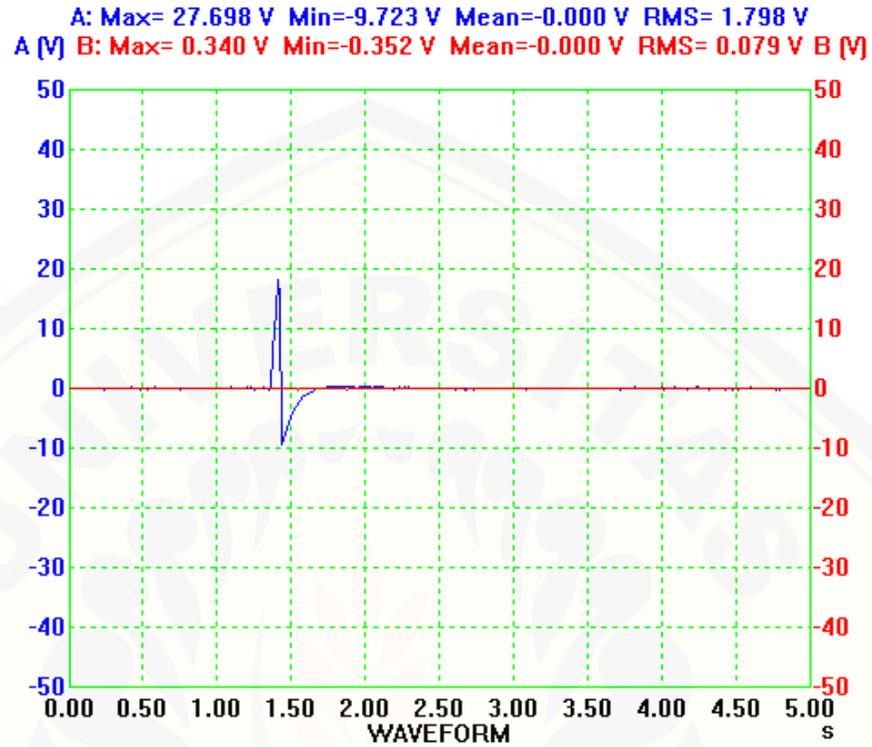
b. AFR 6:1

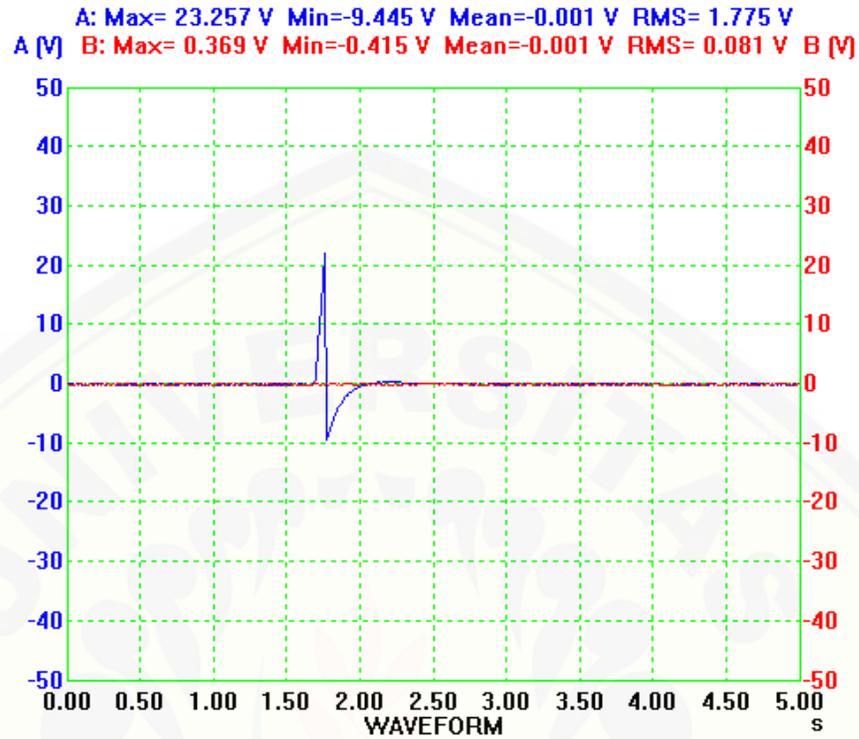


A: Max= 35.107 V Min=-11.375 V Mean= 0.002 V RMS= 2.132 V
A (V) B: Max= 0.359 V Min=-0.394 V Mean=-0.001 V RMS= 0.080 V B (V)

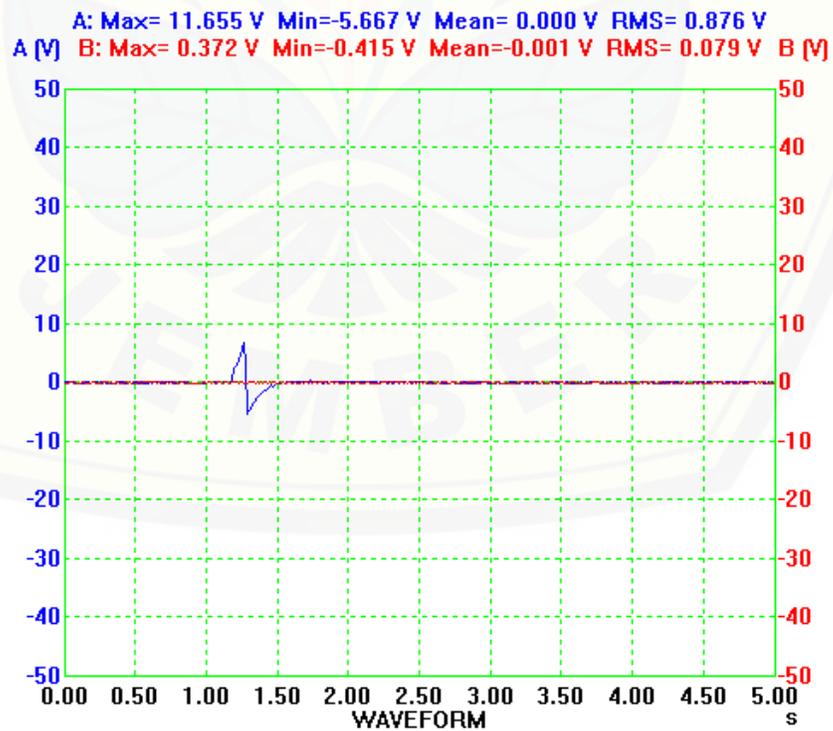


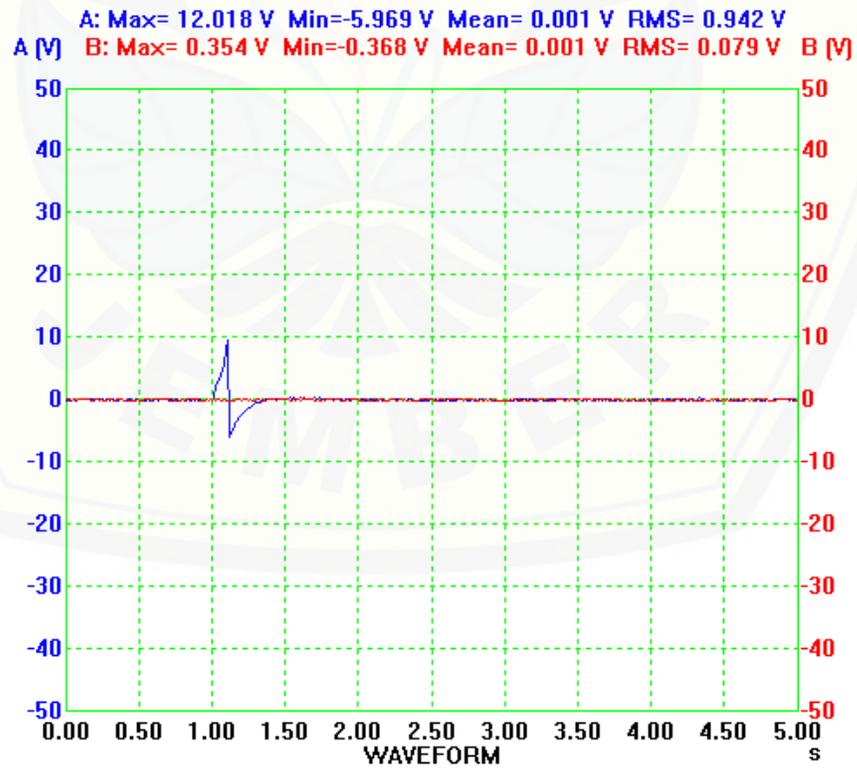
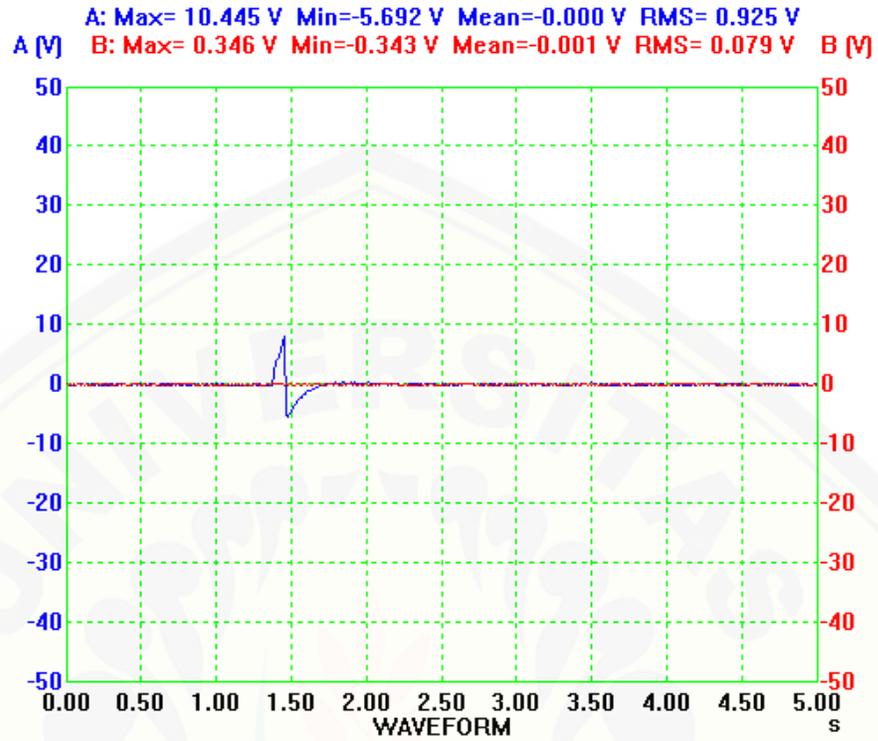
c. AFR 7:1





d. AFR 8:1





e. AFR 9:1

