



**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN BIOGAS LIMBAH BUAH
DENGAN PEMURNIAN MENGGUNAKAN KALIUM HIDROKSIDA**

SKRIPSI

Oleh

**DENI TRI KURNIAWAN
NIM 121910101098**

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



**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN BIOGAS LIMBAH BUAH DENGAN
PEMURNIAN MENGGUNAKAN KALIUM HIDROKSIDA**

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

**DENI TRI KURNIAWAN
NIM 121910101098**

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

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Bapak saya Supardi dan Ibu saya Iswanjatun yang telah berjuang mendidik dan senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tiada batas hingga saat ini, serta doa yang tiada hentinya beliau haturkan dengan penuh keikhlasan;
2. Kakak saya Dewi lastiana dan Rina handayani yang selalu setia menasehati, menyemangati serta memberi motivasi setiap saat;
3. Keluarga besar yang selalu memberi semangat serta doa yang tiada hentinya kepada saya dalam melangkah dan mencapai cita-cita;
4. Bapak dan ibu guru yang telah mendidik saya mulai dari Taman Kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
5. Bapak Ahmad Adib Rosyadi,S.T.,M.T. dan Bapak Dedi Dwilaksana,S.T,M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dalam penyusunan Skripsi ini;
6. Bapak Ir. FX. Kristianta, M.Eng. dan Bapak Muh. Nurkoyim K, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga penyusunan Skripsi ini dapat menjadilebih baik;
7. Bapak Dr.Nasrul Iminnafik, S.T., M.T. yang telah rela meluangkan waktunya untuk mengajari dan membimbing dalam melakukan penelitian sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik;
8. Teman-temanku (Ivan, Abdi, Roni, Hemas, Josua, Busro, Aji, made, Alvin, Adimas, dan Yusuf) yang telah meluangkan waktunya untuk bekerja sama, saling memikul berat-ringan permasalahan yang dihadapi dalam penyelesaian Skripsi ini, sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
9. Civitas akademik baik dilingkungan Universitas Jember maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan, dan lembaga terkait;
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

MOTTO

Hidup adalah pencarian, carilah apa yang ingin kau temukan. Ulangi proses dari awal ketika engkau belum menemukannya

(Emha Ainun Najib)

Pendidikan merupakan senjata paling ampuh yang bisa kamu gunakan untuk merubah dunia

(Nelson Mandela)

Keberhasilan adalah kemampuan untuk melewati dan mengatasi dari satu kegagalan ke kegagalan berikutnya tanpa kehilangan semangat”

(Winston Churchill)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Deni tri kurniawan

NIM : 121910101098

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Karakteristik pembakaran Biogas Limbah Buah dengan pemurnian KOH” 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, 17 Juli 2018

Yang menyatakan,

DENI TRI KURNIAWA
NIM 121910101098

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN BIOGAS LIMBAH BUAH DENGAN
PEMURNIAN MENGGUNAKAN KOH**

Oleh

Deni Tri kurniawan
NIM 121910101099

Pembimbing:

Dosen pembimbing Utama	: Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota	: Dedi Dwilaksana, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Karakteristik Pembakaran Biogas Limbah Buah Dengan Pemurnian Menggunakan KOH” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : 20 Juli 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

DPU,

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

Penguji I,

Ir. FX. Kristianta, M.Eng.
NIP 19650120 200112 1 001

DPA,

Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T.
NIP 196912011996021001

Penguji II,

Muh.Nurkoyim K, S.T., M.T.
NIP 196911221997021001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Karakteristik Pembakaran Biogas Limbah Buah Dengan Pemurnian Menggunakan KOH; Deni Tri kurniawan, 121910101098; 2018: 56 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pertumbuhan jumlah penduduk yang terus bertambah menyebabkan produksi sampah dan kebutuhan energi meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan energi dan menangani permasalahan sampah yang semakin meningkat, maka diperlukan suatu langkah tepat. Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam keadaan tanpa udara (*anaerobik*). Biogas merupakan penyelesaian yang tepat untuk mengatasi permasalahan sampah dan memenuhi kebutuhan energi masyarakat. Pada umumnya gas yang terbentuk dari penguraian bahan organik oleh mikroorganisme terdiri dari campuran gas CH_4 , CO_2 , H_2O , N_2 , dan NH_3 . Kandungan gas pengotor (CO_2 , H_2O , N_2 , dan NH_3) dalam biogas sangat merugikan, oleh karena itu diperlukan suatu perlakuan untuk mengurangi kandungan gas pengotor, terutama kandungan gas CO_2 yang memiliki persentase gas pengotor terbesar.

Dalam penelitian ini, melakukan pengamatan karakteristik pembakaran biogas yang meliputi kalor pembakaran, kecepatan rambat api, dan perilaku ion untuk mengetahui kualitas biogas sampah buah sebelum dan setelah purifikasi dengan menggunakan larutan KOH. Penelitian ini dilakukan dengan memanaskan air untuk mengetahui nilai kalor pembakaran, melakukan pengujian dengan variasi AFR untuk mengetahui kecepatan rambat api dan jumlah ion, dan membandingkan hasil yang didapatkan pada masing-masing pengujian karakteristik pembakaran biogas sebelum dan sesudah purifikasi untuk mengetahui kualitas kedua jenis biogas.

Hasil penelitian diperoleh kualitas biogas yang sudah dipurifikasi dengan menggunakan larutan KOH lebih baik dibandingkan dengan biogas yang belum dipurifikasi. Persentase CO_2 setelah dipurifikasi sebanyak 3 kali pengulangan

mengalami penurunan menjadi 6,4% pada larutan KOH 1 M. Pada pengujian menggunakan *helle-shaw cell* didapatkan bahwa biogas tanpa purifikasi dapat menyala pada AFR 4:1 dan 5:1, sedangkan pada biogas setelah purifikasi dapat nyala pada AFR 5:1-9:1. Kecepatan rambat api dan jumlah ion biogas tanpa purifikasi paling besar terjadi pada AFR 4:1 yaitu 5,69mm/detik dan 14,59 volt, sedangkan pada biogas setelah purifikasi terjadi pada AFR 6:1 yaitu 9,279 mm/s dan 15,100 volt.



SUMMARY

Characteristic of Biogas Burning Fruit Waste with Coloring Using KOH; Deni tri kurniawan, 121910101098; 2018: 64 pages; Mechanical Engineering Department of Engineering Faculty, University of Jember.

As the number of human population in the world increases, the waste production and energy demand increase. To fulfill and to overcome the waste production is to use the waste as raw material for energy production. This work is to propose using traditional market organic waste for biogas production. Mostly, CO₂ is also produce in biogas. This will reduce the quality of biogas. To attack this problem, This work is also to check the effectiveness of KOH as CO₂ adsorbent. Further, the characterization of purified biogas is observed qualitatively and quantitatively.

The waste is poured into anaerob tank fulfilled with microorganism. After 2 months, the produced biogas is fed into accumulated tank. Then, the characterization of biogas such as ion behaviour, heating value and flame velocity is conducted carefully in helle-shaw cell.

This work concludes that purified biogas using KOH 1 M give better performance than non-purified biogas. It is shown by its performance.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Karakteristik pembakaran Biogas Limbah Buah dengan pemurnian KOH”. skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

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

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

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

Jember, 6 Juli 2018

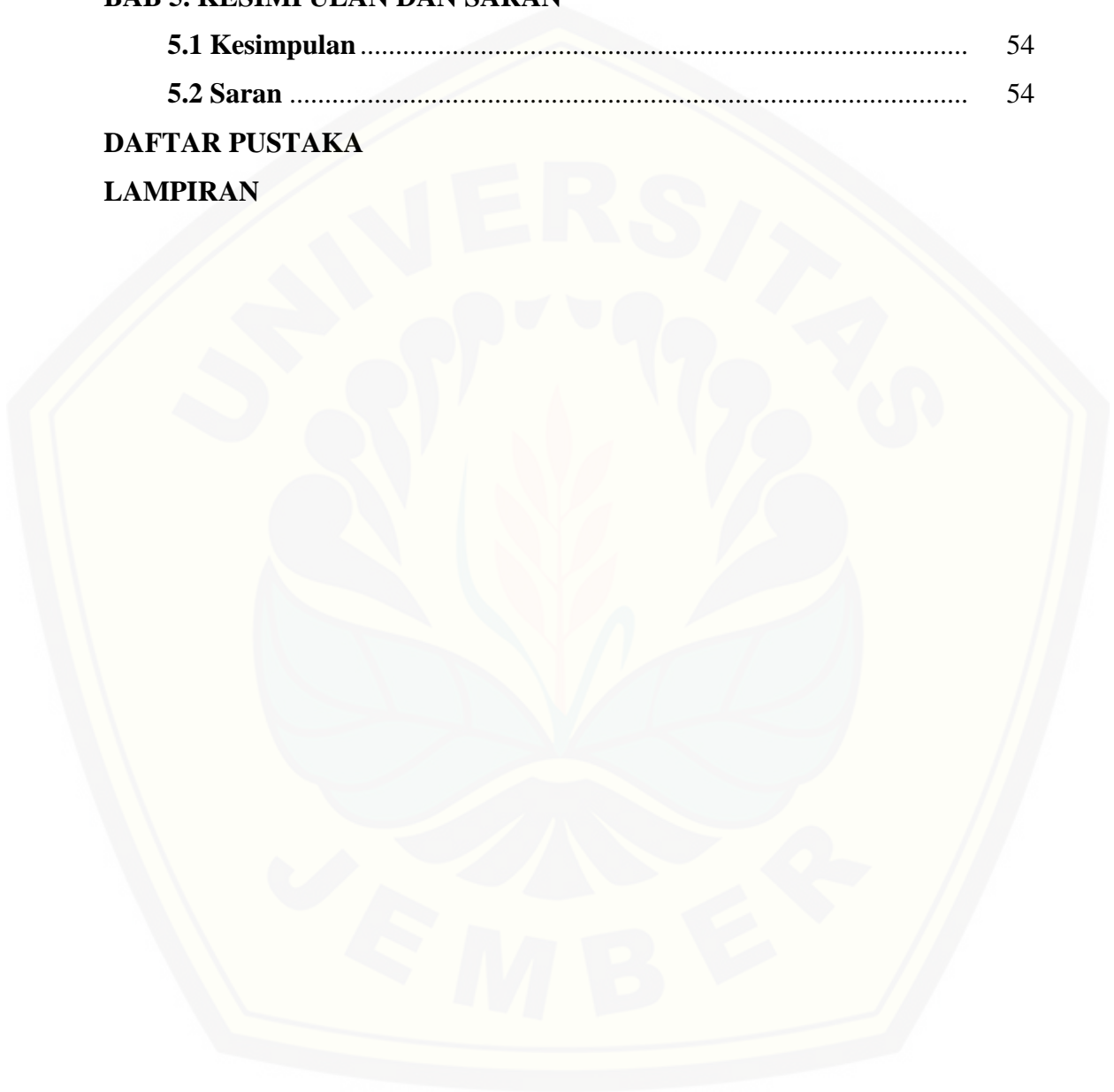
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTO	iii
PERNYATAAN	iv
PEMBIMBING	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kebutuhan Energi	5
2.2 Sampah	7
2.3 Biogas	11
2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas	11
2.5 Absorpsi	14
2.6 Air Fuel Ratio (AFR)	16
2.7 Karakteristik Warna Api	18

2.8 Sensor Ion	19
2.9 Pengujian Rambat Api dan Perilaku Ion	21
2.10 Karakteristik Pembakaran	22
2.10.1 Kalor Pembakaran	22
2.10.2 Kecepatan Rambat Api	23
2.10.3 Perilaku Ion	25
2.11 Hipotesa	27
BAB 3 METODOLOGI PRAKTIKUM	
3.1 Metode Penelitian	28
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	28
3.3 Variabel Penelitian	28
3.3.1 Variabel Bebas	28
3.3.2 Variabel Terikat	29
3.3.3 Variabel Kontrol.....	29
3.4 Metode Pengumpulan Data	29
3.5 Pengamatan yang Dilakukan	30
3.6 Proses Pembuatan Biogas	30
3.7 Peralatan Penelitian	31
3.7.1 Alat Purifikasi	31
3.7.2 Kompor Biogas	31
3.7.3 <i>Helle-Shaw Cell</i>	32
3.8 Tahap Penelitian dan Prosedur Pengujian	32
3.8.1 Tahap Pemurnian Biogas	32
3.8.2 Pengujian Kalor Pembakaran.....	34
3.8.3 Pengujian Rambat Api dan Perilaku Ion.....	35
3.9 Diagram Alir	39
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Komposisi Biogas	40
4.2 Uji Kalor Pembakaran	41

4.3 Cepat Rambat Api	44
4.4 Perilaku Ion	49
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Komposisi Buah Pepaya	8
2.2 Komposisi Buah Jambu	9
2.3 Komposisi Buah Nanas.....	10
2.4 Rasio C/N Berbagai Bahan Organik	13
2.5 Pembagian Temperatur Waktu Pembentukan.....	13
2.6 Data Hasil Pengujian Sensor Ion	24
4.1 Persentase Komposisi Biogas	41
4.2 Perubahan Suhu Air Biogas dengan Purifikasi	41
4.3 Perubahan Suhu Air Biogas dengan Purifikasi	42
4.4 Kalor Yang Diserap Air	43
4.5 Hasil Perhitungan Cepat Rambat Api Pembakaran Biogas	48
4.6 Perilaku Ion tanpa Purifikasi.....	50
4.7 Besar Tegangan.....	53

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Kebutuhan Energi Primer Dunia.....	6
2.2 Nyala Api Merah.....	18
2.3 Nyala Api Biru	18
2.4 Nyala Api Hitam	19
2.5 Skema Sensor Ion Pada Mesin Hcci	20
2.6 <i>Helle Shaw-Cell</i>	22
2.7 Kecepatan Rambat Api Stoikiometri	24
3.1 Reaktor Biogas	30
3.2 Alat Purifikasi	31
3.3 Kompor Biogas	31
3.4 <i>Helle-Shaw Cell</i>	32
3.5 Skema Pemurnian Biogas	33
3.6 Skema Pengujian Kalor Pembakaran	34
3.7 Proses Pencampuran Biogas Dan Udara	36
3.8 Skema Perilaku Ion Dan Perekaman Rambat Api	36
3.9 Diagram Alir Pada Pemurnian Biogas	39
4.1 Kandunga Co ₂ dengan Purifikasi	41
4.2 Kalor yang Diserap tanpa dan dengan Purifikasi	43
4.3 Rambat Api Pembakaran Biogas tanpa Purifikasi	44
4.4 Grafik rambat api Biogas tanpa Purifikasi	45
4.5 Rambat Api Pembakaran Biogas dengan Purifikasi	46
4.6 Grafik rambat api Biogas dengan Purifikasi	47
4.7 Grafik Perilaku Ion Pada Biogas tanpa purifikasi.....	50
4.8 Grafik Perilaku Ion pada biogas dengan purifikasi.....	52

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk menyebabkan penambahan jumlah sampah. Semakin banyak jumlah penduduk dalam suatu kota, maka semakin kompleks pula kegiatan dan usahanya, sehingga akan semakin besar pula permasalahan sampah yang harus ditanggulangi (Iriani, 1994). Berdasarkan data penduduk (Badan Pusat Statistik (BPS) dan Sensus Nasional Tahunan), jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2000 adalah 206,3 juta jiwa dan pada tahun 2010 jumlah penduduk Indonesia naik menjadi 237,6 juta jiwa atau rata-rata naik sebesar 1,43% per tahunnya. Sedangkan pada tahun 2015, jumlah penduduk Indonesia mencapai 255 juta jiwa (Dewan Energi Nasional (DEN), 2014).

Sampah adalah bahan buangan padat atau semi padat yang dihasilkan dari aktifitas manusia atau hewan yang dibuang karena tidak diinginkan atau tidak digunakan lagi (*tchobanoglous, dkk,1993*). Menurut petunjuk Teknis Perencanaan Pembangunan dan Pengelolaan Bidang ke-PLP-an perkotaan dan pedesaan, sampah adalah limbah yang bersifat padat terdiri dari sampah organik, sampah anorganik dan sampah B3 yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan dan melindungi investasi pembangunan (*dep.PU Ditjen Cipta Karya, 1999*).

Paasar Tanjung adalah pasar induk yang terletak di pusat kota jember pasar ini terdiri dari 1.251 pedagang toko tertutup 858 pedagang toko terbuka dan 556 pedagan toko lesehan (Dinas Pasar Pemkab Jember,2014)). tinnnginya aktivitas jual beli di pasar ini juga berdampak pada jumlah sampah yang di hasilkan terutama sampah organik yang sudah membusuk sehingga menimbulkan bau tidak sedap . Salah satu cara untuk melihat potensi limbah yang di hasilkan adalah produksi pertanian jember merupakan salah satu produksi buah di jawa timur (Sunarjo, 2006:148). Semakin banyak produksi buah maka semakin banyakpula limbah yang di hasilkan oleh karna itu limbah buah tergolong banyak maka perlu di manfaatkan lebih lanjutnya agar tidak terbuang begitu saja (Haryani, 2011:49)

Kebutuhan energi Indonesia yang terus meningkat dan keterbatasan persediaan energi mendorong pemanfaatan energi terbarukan. Salah satu energi terbarukan adalah biogas. (Rousta 2008) meneliti sistem manajemen pengolahan limbah domestik menjadi biogas di Sobacken *Biogas Plant*, Borås, Swedia. Kapasitas limbah domestik 220.000 ton/tahun (sampah organik 12%), menghasilkan biogas 1 juta Nm³/tahun. Biogas yang dihasilkan dimurnikan dan digunakan untuk kebutuhan listrik dan panas, serta bahan bakar gas untuk kendaraan. Pengembangan bioenergi seperti biogas merupakan salah satu langkah untuk mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap sumber-sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Biogas adalah salah satu energi yang dapat dikembangkan mengingat bahan bakunya cukup tersedia dan terbarukan, sehingga sangat mungkin untuk menggantikan LPG (*Liquefied Petroleum Gas*), premium, minyak tanah, minyak solar, minyak diesel yang harganya semakin mahal yang membebani masyarakat menengah kebawah.

Energi biogas sangat tepat dikembangkan di Indonesia, mengingat rata-rata penduduk Indonesia berprofesi sebagai petani. Selain itu energi biogas dapat dihasilkan dengan memanfaatkan sampah organik seperti limbah buah yang busuk yang berasal dari pasar atau pertanian. Salah satu penyumbang sampah terbesar dalam kehidupan adalah pasar tradisional. Sampah pasar didominasi oleh sampah organik yang berasal dari sampah buah. Tingginya kandungan sampah organik yang dihasilkan membuat sampah pasar sangat berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biogas.

Salah satu proses yang harus di perhatikan dari peningkatan biogas adalah proses purifikasi. Proses ini bertujuan untuk mengurangi kandungan CO₂ dalam biogas. Salah satu caranya adalah dengan penggunaan KOH. Perlakuan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh purifikasi terhadap karakteristik pembakaran biogas.

Perbandingan AFR antara udara dan bahan bakar juga berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran biogas. Perbandingan yang ideal akan menghasilkan pembakaran yang efektif. Semakin tinggi kecepatan reaksi maka laju rambat api juga akan semakin cepat. Tumbukan efektif yang terjadi antar

molekul reaktan menyebabkan banyak terjadi pelepasan elektron sehingga terbentuk banyak ion bermuatan positif dan juga elektron bermuatan negatif (elektron bebas).

Beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas biogas antara lain, kalor pembakaran, kecepatan rambat api, dan perilaku ion. Semakin besar kalor pembakaran, menunjukkan bahwa semakin besar energi (kalor) yang dibebaskan selama berlangsungnya proses pembakaran, sehingga kualitas biogas dapat ditentukan dengan meneliti besar-kecilnya kalor pembakaran yang terjadi, Begitu pula dengan kecepatan rambat api dan perilaku ion.

1.2 Rumusan Masalah

Kualitas biogas ditentukan oleh kalor pembakaran, perilaku ion, dan kecepatan rambat api pembakaran. Berdasarkan hal tersebut, perumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pengulangan purifikasi dengan KOH terhadap rambat api, perilaku ion, dan kalor pembakaran biogas?
2. Bagaimana pengaruh AFR terhadap pembakaran biogas berpurifikasi?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Untuk mengetahui kualitas (kalor pembakaran, perilaku ion, dan kecepatan rambat api pembakaran) biogas tanpa purifikasi dengan purifikasi menggunakan larutan KOH.
2. Untuk Mengetahui perbedaan pengaruh AFR terhadap kecepatan rambat api dan perilaku ion biogas tanpa purifikasi dengan purifikasi.

1.4 Manfaat Penelitian

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

1. Dapat memberikan informasi mengenai pemanfaatan sampah buah sebagai bahan baku pembuatan biogas
2. Memberikan informasi mengenai cara peningkatan unjuk kerja biogas
3. Memberikan dampak positif kepada masyarakat sehingga mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan memberdayakan energi biogas sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis.

1.5 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 dianggap tidak mempengaruhi komposisi biogas.
2. Komposisi bahan biogas setiap kali pengisian dianggap sama
3. Kondisi suhu dan kelembapan ruangan dianggap tetap.
4. Komposisi biogas dan udara setiap pengujian dianggap sama.
5. Kalor yang hilang selama proses pengujian diabaikan
- 6.

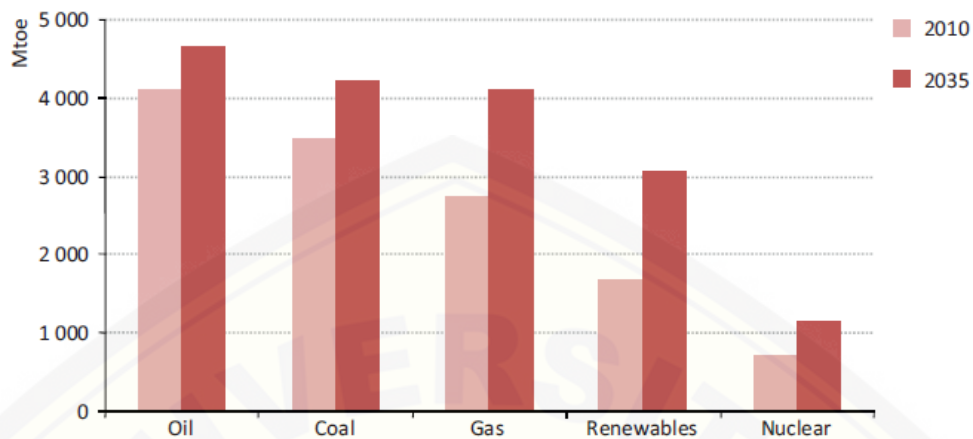
BAB. 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kebutuhan Energi

Energi adalah suatu kebutuhan pokok manusia yang sangat penting dalam menunjang kesejahteraan hidup manusia. Mayoritas penggunaan energi adalah berasal dari bahan bakar fosil yang merupakan bahan bakar tidak terbarukan dan tidak ramah lingkungan. Ketergantungan penggunaan bahan bakar fosil yang terus-menerus menyebabkan semakin menipisnya persediaan bahan bakar fosil yang ada. Jika keadaan ini tidak segera mungkin diatasi maka akan mengakibatkan terjadinya krisis energi.

Kebutuhan energi primer dunia diperkirakan akan meningkat cukup tinggi seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan ekonomi dunia (*World Energy Outlook*, 2012). Pada tahun 2011, permintaan minyak global sebesar 87,4 juta barel per hari dan naik hingga mencapai 99,7 juta barel per hari pada tahun 2035. Peningkatan permintaan batubara naik sebesar 45% dari tahun 2001 hingga 2011. Diprediksi kebutuhan batubara akan terus meningkat hingga tahun 2020. Permintaan gas alam naik 7,8% pada tahun 2010 setelah sempat mengalami penurunan pada tahun 2009. Pertumbuhan kebutuhan energi primer dunia dari tahun 2010-2035 dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Gambar 2.1 terlihat bahwa kebutuhan energi dunia setiap tahunnya mengalami kenaikan. Kebutuhan listrik global meningkat 67% selama periode 2011-2035 atau naik menjadi 32.150 kilo watt *hour* (TWh) pada tahun 2035 dengan pertumbuhan rata-rata sebesar 2,2% per tahun (Dewan Energi Nasional (DEN), 2014:19). Dari sisi penyediaan produksi listrik dunia meningkat dari 22.113 TWh pada tahun 2011 menjadi 37.100 TWh pada tahun 2035 atau tumbuh rata-rata 2,2% per tahun (DEN, 2014:21).



Gambar 2.1 Kebutuhan energi primer dunia dalam skenario kebijakan baru (Sumber: *World Energy Outlook*, 2012)

Walaupun terlihat bahwa penyediaan energi listrik adalah 37.100 TWh lebih besar daripada kebutuhan listrik dunia yang sebesar 32.150 TWh pada tahun 2035 tapi, bahan bakar fosil tetap paling dominan dalam penyediaan tenaga listrik yang berarti kebutuhan dunia akan energi fosil masih tinggi sedangkan ketersediaannya semakin menipis.

Konsumsi Energi Indonesia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun sejalan dengan meningkatnya laju pembangunan dan meningkatnya pola hidup masyarakat. Peningkatan ini terjadi hampir pada semua sektor yang mencakup sektor industri, transportasi, komersial, rumah tangga, dan pembangkit listrik (DEN, 2014). Konsumsi energi mengalami pertumbuhan rata-rata sebesar 4,1% per tahun. Total konsumsi energi meningkat dari 117 juta TOE pada tahun 2003 menjadi 174 juta TOE di tahun 2013 (DEN, 2014:36). Perkembangan produksi dan pasokan minyak bumi selama 2003 - 2013 mengalami penurunan yaitu sebesar 419,26 juta barel pada tahun 2003 dan menjadi sekitar 300,83 juta barel pada tahun 2013. Tingginya konsumsi BBM di dalam negeri dan penurunan produksi minyak bumi telah menyebabkan ekspor minyak bumi menurun, sebaliknya impor minyak bumi dan BBM terus meningkat.

2.2 Sampah

Definisi sampah menurut undang-undang No. 18 Tahun 2008, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Kurangnya perhatian masyarakat maupun pemerintah menjadikan masalah sampah semakin meningkat seiring dengan semakin bertambahnya jumlah penduduk, tingkat aktivitas, pola kehidupan, tingkat sosial ekonomi, serta kemajuan teknologi. Berdasarkan data dari DPU Cipta Karya dan Tata Ruang Kabupaten Jember, produksi sampah di Kabupaten Jember cenderung meningkat setiap tahun. Timbunan sampah pada tahun 2010 sebanyak 1.169.068 m³, dan pada tahun 2011 meningkat menjadi 1.208.241 m³ (Widyasari *et al.*, 2013). Timbunan sampah yang dihasilkan di Kabupaten Jember mencapai 3.287,51 m³/hari dengan komposisi sampah organik sebesar 81,9%, sampah non-organik sebesar 13,6% dan sampah yang bersifat beracun sebesar 4,5% (Widyasari *et al.*, 2013). Sampah yang tidak dikelola dengan baik akan menjadi penyebab gangguan dan ketidak seimbangan lingkungan. Sampah yang menumpuk dan berserakan akan mengganggu nilai estetika lingkungan, menimbulkan bau busuk, penyebab terjadinya banjir, pencemaran udara, pencemaran air, dan menjadi sarang penyakit. Sampah akan menjadi sangat bermanfaat dan tidak menimbulkan masalah jika dapat dimanfaatkan dengan baik. Sampah an-organik seperti plastik, logam, kertas/kardus, kaleng, seng, dan sampah an-organik lainnya dapat dimanfaatkan kembali atau di daur ulang menjadi sesuatu yang memiliki nilai ekonomis. Sementara sampah organik seperti sampah rumah tangga, industri, dan pertanian dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan pupuk organik, bahan baku pembuatan biogas, makanan ternak dan ikan (bokashi).

Paasar Tanjung adalah pasar induk yang terletak di pusat kota jember. pasar ini terdiri dari 1.251 pedagang toko tertutup 858 pedagang toko terbuka dan 556 pedagan toko lesehan (Dinas Pasar Pemkab Jember,2014). tinnginya aktivitas jual beli di pasar ini juga berdampak pada jumlah sampah yang di hasilkan terutama sampah organik yang sudah membusuk sehingga menimbulkan bau tidak sedap. Salah satu cara untuk melihat potensi limbah yang di hasilkan adalah produksi

pertanian jember merupakan salah satu produksi buah di jawa timur (sunarjo,2006:148). Semakin banyak produksi buah maka semakin banyak pula limbah yang di dihasilkan. oleh karna itu limbah buah tergolong banyak maka perlu di manfaatkan lebih lanjutnya agar tidak terbuang begitu saja (haryani,2011:49) Menurut obserasi pada bulan Februari 2015, pasar tanjung meng hasilkan volume limbah organik berupa sayur buah buahan sebanya 1 bak truk setiap hariya. tempat pembungan sampah tersebut berada di pakusari . Dinas pekerjaan umum cipta karya dan tata ruang kabupaten jember ,jawa timur mencatat volume sampah di wilayah jember pada tahun 2014 mencapai 1.300 m³, sampah ini 750m³ di antaranya di buang petuga ketempat pembuangan akhir (TPA) pakusari sedangkan 550 m³ sampah sisahnya di kelolah sendidri oleh masyarakat dan di hancurkan secara swadaya (surya Online,2014) sehingga di prediksi dalam 5 tahun ke depan TPA pakusari tidak mampu menampung sampah warga jemeber (Antara News jawa timur ,2014)

Meski semakin banyak jenis dan ragam buah impor,pepaya tetap populer di Indonesia.selain murah zat gizi yang di kandungpun lengkap,biji daun batang dan akarnya sangat bermanfaat sebagai obat ,buang matang pepa sangat unggul dalam hal betakorin (276mikrogram/100g) betacyptoxanthin (761 mikrogram/100g),sumber vitamin yang sangat menonjol adalah vitamin C (62-78mg/100g) dan folat (38mikrogram/100g) kadar serat per 100 gram buah masak 1,8 gram dan komposisi mineral padaa buah pepaya matang sangat bagus yaitu dominat potasium (257mg/100g)dan sangat sedikit sodium (3mg/100g)

Tabel 2.1 Komposisi buah pepaya

Kandungan	Buah pepaya masak	Buah pepaya muda
Energi (kkal)	46	26
Protein (g)	0,5	2,1
Lemak (g)	0	0,1
Karbonhidrat (g)	12,2	4,9

Kalsium (mg)	23	50
Fosfor (mg)	12	16
Besi (mg)	1,7	0,4
Vitamin A(mg)	365	50
Vitamin B1 (mg)	0,04	0,02
Vitamin C (mg)	78	19
Air (g)	86,7	92,3

Jambu biji memiliki buah yang berwarna hijau (agak kekuninga jika telah matang) dengan daging buah berwarna putih atau merah yang berasa asam manis. Di antara berbagai macam jenis buah jambu biji mengandung vitamin C yang paling tinggi dan cukup mengandung vitamin A. Dibanding buah lain lainnya seperti jeruk manis yang mempunyai kandungan vitamin C 49 mg/100gram bahan kandungan jambu biji 2 kali lipat lebih banyak, berikut adalah kandungan zat dalam 100gram jambu biji

Tabel 2.2 Komposisi buah jambu biji

kandungan	jumlah	Kandungan	Jumlah
Energi	49,00 kal	Vitamin A	25 SI
Protein	0,90 gr	Vitamin B1	0,05 mg
Lemak	0,30 gr	Vitamin B2	0,04 mg
Karbonhidrat	12,20 gr	Vitamin C	87,00 mg
Kalsium	14,00mg	Niacin	1,10 mg
Fosfor	28,00 mg	Serat	5,60 mg

Zat besi	1,10 mg	Air	89 gram
----------	---------	-----	---------

Komposisi gula dalam limbah buah nanas terdiri dari sukrosa 23,58g/l dan fruktosa 36,86 g/L selain itu limbah buah nanas mengandung total karbon organik 53,92 g/L (Andriani,*et al.*,2013:195).hal ini menimbulkan banyah gas mengandung metana Buah yang mempunyai nama atin (*Ananas comosus* (L) merr) ini berasal dari Brasil ,Bolivia dan paraguay.Tumbuhan ini termasuk dalam familia nanas nanasan (familia bromeliaceae).

Tabel 2.3 Komposisi buah nanas

kandungan	Jumlah
Energi	52 kal
Protein	0,4 g
Lemak	0,2 g
Fosfor	11 mg
Zat besi	0,3 mg
Vitamin A	130 IU
Serat	0,4 g
Kalsium	16 mg
Vitamin C	24 mg
Karbonhidrat	13,7 g
Vitamin B1	0,08 mg
Air	85 g

2.3 Biogas

Secara umum biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam keadaan tanpa udara (*anaerobik*). Sumber bahan baku untuk menghasilkan biogas adalah kotoran hewan seperti sapi, kambing, kerbau, dan unggas, dapat juga berasal dari sampah organik seperti limbah pasar, limbah pertanian, limbah rumah tangga.

Pada umumnya gas yang terbentuk dari penguraian bahan organik oleh mikroorganisme terdiri dari campuran gas metana CH_4 (55-70%), CO_2 (25-50%), H_2O (1,5%), N_2 (0-0,5%), dan NH_3 (0-0,05%) (Deublein dan Steinhauser, 2008). Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH_4). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana semakin kecil nilai kalor. Biogas dapat terbakar apabila terdapat kadar gas metana minimal 60% (Hessami *et al.*, 1996). Kandungan gas metana (CH_4) yang tinggi menjadikan biogas sebagai salah satu sumber energi alternatif baru terbarukan yang dapat dikembangkan dengan teknologi tepat guna yang proses pembuatannya relatif sederhana. Manfaat energi biogas adalah sebagai pengganti bahan bakar khususnya minyak tanah dan kayu bakar untuk keperluan memasak, sebagai sumber pembangkit tenaga listrik. Dalam skala besar, biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik. Selain itu, dari proses produksi biogas akan dihasilkan sisa kotoran ternak yang dapat dipergunakan sebagai pupuk organik pada tanaman.

2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas

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

- a. Lingkungan tanpa udara (*anaerobik*)

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

b. Kandungan Air

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

c. Derajat Keasaman (pH)

Pada dekomposisi anaerob faktor pH sangat berperan. Bakteri tidak dapat berkembang dengan baik dan bahkan dapat menyebabkan kematian pada keadaan pH yang tidak sesuai. Setiap kelompok mikroba yang terlibat dalam degradasi anaerobik memiliki rentang pH tertentu untuk pertumbuhan yang optimal. Untuk bakteri asidogen, pH optimalnya sekitar 6, sedangkan untuk bakteri asetonogen dan metanogen, pH optimal sekitar 7 (Rahayu *et al.*, 2015).

d. Rasio Carbon dan Nitrogen

Rasio C/N yang ideal untuk anaerobik biodigester berkisar antara 20:1 dan 30:1, tetapi rasio ini akan bervariasi untuk bahan baku yang berbeda dan terkadang untuk bahan baku yang sama (Marchaim dalam Mifthah & Dwi, 2012: 144). Oleh sebab itu, saat proses pembuatan campuran bahan baku biogas di usahakan rasio ideal C/N terpenuhi. Rasio C/N dari beberapa bahan organik dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.4 Rasio C/N berbagai bahan organik

Jenis Kotoran	Rasio C/N
Sapi	18
Kerbau	18
Kuda	25
Babi	25
Kambing	30

Sumber: Syamsuddin (2005)

Sedangkan menurut Herawati dan Wibawa (2010), rasio C/N jerami padi sebesar 64,86 dan rasio C/N sawi hijau adalah 18,44. Perbandingan C/N yang terlalu rendah akan menghasilkan biogas dengan kandungan CH₄ rendah, CO₂ tinggi, H₂ rendah dan N₂ tinggi, karena pada kandungan C/N yang rendah, bakteri yang berperan dalam menghasilkan gas metan kekurangan unsur karbon untuk bisa berkembang dan melangsungkan gas metan. Perbandingan C/N yang terlalu tinggi akan menghasilkan biogas dengan kandungan CH₄ rendah, CO₂ tinggi, H₂ tinggi, dan N₂ rendah. Perbandingan C/N yang seimbang akan menghasilkan biogas dengan CH₄ tinggi, CO₂ sedang, H₂ dan N₂ rendah (Fry, 1794).

e. Temperatur

Aktifitas mikroorganisme dalam berkembang biak dan mencerna bahan organik akan berlangsung baik pada suhu yang ideal. Menurut Seadi (2008), Terdapat tiga pembagian temperatur pada sistem pembentukan biogas, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.5 Pembagian temperatur waktu pembentukan

<i>Thermal Stage</i>	<i>Process temperatures</i>	<i>Minimum retention time</i>
<i>Psychrophilic</i>	<20°C	70 to 80 days
<i>Mesophilic</i>	30 to 42°C	30 to 40 days
<i>thermophilic</i>	43 to 55°C	15 to 20 days

Sumber: Seadi (2008)

Suhu optimal untuk berbagai desain tabung pencerna termasuk indonesia adalah 35°C (Sahirman, 1994). Produksi biogas akan menurun secara drastis jika terjadi perubahan temperatur yang mendadak di dalam reaktor biogas.

2.5 Absorpsi

Menurut Deublein dan Steinhäuser (2008), kandungan yang terdapat dalam biogas merupakan campuran gas metana CH_4 (55-70%), CO_2 (25-50%), H_2O (1,5%), N_2 (0-0,5%), dan NH_3 (0-0,05%). Kandungan gas selain metana merupakan zat pengotor (*inhibitor*) yang menghambat dan menurunkan laju reaksi pembakaran pada biogas, yang salah satunya adalah karbon dioksida (CO_2). Karbon dioksida akan terurai dan bekerja dengan mengganggu rantai reaksi kimia pembakaran, sehingga reaksi kimia pembakaran terhambat. Biogas dapat terbakar apabila terdapat kadar metana minimal 60% (Hessami *et al.*, 1996). Pada proses pembuatan biogas, sangat dipengaruhi oleh lingkungan, dan kandungan dalam biogas. Keadaan yang tidak sesuai menyebabkan pembentukan biogas tidak maksimal, dimana gas yang dihasilkan sangat sedikit atau gas yang dihasilkan sebagian besar adalah CO_2 dapat terjadi. Bila kadar CO_2 tinggi maka akan mengakibatkan nilai kalor biogas tersebut rendah, sebaliknya jika kadar CH_4 tinggi maka biogas tersebut akan memiliki nilai kalor yang tinggi (Hamidi, 2011). Maka dari itu, untuk meningkatkan nilai kalor biogas, kadar gas CO_2 harus rendah. Usaha yang dapat dilakukan untuk menurunkan kandungan CO_2 yaitu dengan cara melakukan pemurnian biogas. Pemurnian tersebut dilakukan dengan cara menyerap CO_2 yang terdapat dalam biogas, sehingga kadarnya dapat berkurang. Besar kecilnya absorpsi dipengaruhi jenis absorben, jenis zat yang akan diabsorpsi, konsentrasi absorben, luas permukaan, temperatur, dan tekanan (Cundari *et al.*, 2014: 54). Ada dua macam proses absorpsi, yaitu:

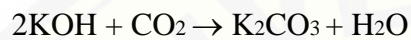
a. Absorpsi fisik

Absorpsi fisik adalah proses penyerapan gas-cair yang disebabkan oleh Gaya Van Der Waals (penyebab terjadinya kondensasi untuk membentuk cairan yang

ada pada permukaan absorben), contoh reaksi ini adalah absorpsi gas H₂S dengan pelarut air, metanol atau propilen (Cundari *et al.*, 2014: 54).

b. Absorpsi Kimia

Absorpsi kimia merupakan absorpsi dimana gas terlarut dalam larutan penyerap disertai dengan adanya reaksi kimia. Contoh absorpsi ini adalah absorpsi gas CO₂ dengan larutan Ca(OH)₂, NaOH, dan KOH . Misalnya reaksi kimia absorpsi yang terjadi pada larutan KOH yaitu :



Penelitian tentang purifikasi telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Seperti yang dilakukan oleh Haryandi (2011), menelitian menggunakan larutan Ca(OH)₂ untuk menurunkan kadar CO₂ dalam biogas. Larutan Ca(OH)₂ dihasilkan dari reaksi CaO dengan air. Penelitian dilakukan dengan mengalirkan campuran biogas dan larutan Ca(OH)₂ dalam kolom bahan isian dengan aliran berlawanan arah. Variabel penelitian adalah konsentrasi absorben, kecepatan alir cairan, kecepatan alir gas, tinggi kolom dan suhu operasi. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi laju alir absorben menyebabkan penyerapan CO₂ semakin besar. Sedangkan, semakin tinggi suhu operasi menyebabkan penyerapan CO₂ semakin kecil. Sehingga didapatkan bahwa metode pemurnian biogas dengan metode absorpsi menggunakan larutan Ca(OH)₂ dapat mengurangi konsentrasi CO₂ didalam biogas.

Maryana *et al.* (2008) melakukan penelitian tentang pemurnian metana dari biogas menggunakan larutan NaOH dan KOH dengan konsentrasi masing-masing sebesar 0,5 M, 1 M, 1,5 M, dan 2 M selama 5 menit, 10 menit, 15 menit. Kemudian hasilnya dititrisasi menggunakan HCl untuk mengetahui pengurangan konsentrasi NaOH dan KOH. Hasil pada penelitian ini didapatkan bahwa konsentrasi NaOH 1 M dan KOH 1 M mengalami penurunan konsentrasi lebih stabil dibandingkan dengan konsentrasi lain. Konsentrasi NaOH 5 menit 0,8850 M; 10 menit 0,6645 M; 15 menit 0,5155 M. Analisis menggunakan Gas Kromatografi dengan menyerap KOH 1 M selama 10 menit menunjukkan Kenaikan kadar metan dari 62,5% menjadi 77,4%.

Hamidi et al., (2011) melakukan penelitian untuk mengetahui peningkatan kualitas bahan bakar biogas melalui proses pemurnian dengan zeolit alam. Pemurnian dilakukan dengan sistem penyerapan menggunakan Zeolit alam yang telah di aktivasi menggunakan KOH dengan prosentase 0%, 5%, 10%, dan 15%. Campuran zeolit dan KOH kemudian dilakukan proses heat treatment dengan temperatur sebesar 300°C selama 2 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama waktu pengujian dan kadar senyawa KOH pada zeolit berpengaruh terhadap nilai kalor biogas. Dimana semakin tinggi kadar senyawa KOH yang digunakan, kemampuan adsorpsi zeolit semakin meningkat sehingga mengakibatkan nilai kalor biogas semakin tinggi. Selain itu kemampuan absorpsi zeolit akan menurun jika digunakan terus menerus yang diakibatkan oleh terbentuknya lapisan film pada permukaan zeolit.

Selain contoh-contoh di atas, upaya pemurnian biogas dapat dilakukan dengan berbagai macam metode seperti penyerapan gas CO₂, penyerapan gas H₂S, *siloxane removal* dan lain sebagainya (Hamidi *et al.*, 2011).

Pada umumnya, proses pemurnian biogas dapat dilakukan dengan pertimbangan antara lain :

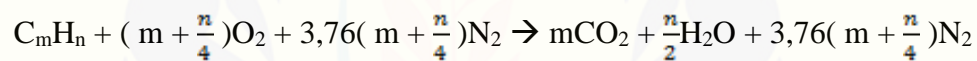
1. Absorpsi dengan menggunakan larutan penyerap.
2. Absorpsi menggunakan padatan.
3. Permeasi melalui membran.
4. Konversi kimia menjadi senyawa lain.
5. Kondensasi.

Proses pemurnian biogas bisa terdiri dari dehidrasi sederhana sampai pemisahan secara sempurna kandungan H₂O, H₂S, CH₄, dan CO₂. Penyerapan menggunakan bahan penyerap padat atau cair baik dilakukan secara kimia maupun fisika (Prasetya, 2012).

2.6 *Air Fuel Ratio (AFR)*

Dalam suatu proses pembakaran terdapat beberapa hal penting yang perlu diperhatikan antara lain kandungan bahan bakar, kandungan udara (oksigen), kalor,

dan reaksi kimia. Perbandingan campuran bahan bakar dan udara memegang peranan yang penting dalam menentukan hasil proses pembakaran. Penelitian yang dilakukan oleh Buffam dan Cox (2008), didapatkan bahwa pada campuran bahan bakar dan udara atau *Air Fuel Ratio* (AFR) stoikiometri menghasilkan kecepatan pembakaran dengan nilai tertinggi. Hal itu disebabkan karena pada campuran stoikiometri, perbandingan udara dan bahan bakar berada pada perbandingan yang sesuai sehingga pembakaran sempurna dapat terjadi. Pembakaran yang terjadi berasal dari reaksi kimia yang terjadi dalam waktu yang pendek, dan dari reaksi tersebut dihasilkan sejumlah panas. Perbandingan antara jumlah udara dan bahan bakar tersebut dapat dihitung dengan persamaan reaksi pembakaran. Jika oksigen yang dibutuhkan dalam melakukan proses pembakaran diperoleh dari udara, dimana udara terdiri dari 78% nitrogen dan 21% oksigen, maka pembakaran stoikiometri hidrokarbon C_mH_n dapat ditulis dengan persamaan :



Persamaan reaksi pembakaran stoikiometri pada metana:

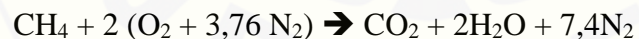


Maka AFR metana berbasis volume:

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

Untuk menghitung AFR biogas dengan cara sebagai berikut:

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



Udara : 21% O_2 dan 79% N_2

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

Berdasarkan Penelitian yang dilakukan oleh Pranoto *et al.* (2013), didapatkan bahwa penambahan AFR meningkatkan kecepatan api, mempengaruhi pola warna api.

Perubahan AFR juga memberikan pengaruh pada perubahan temperatur api walaupun perubahannya tidak signifikan.

2.7 Karakteristik Warna Api

Warna yang terdapat pada api menunjukkan besar suhu yang terkandung di dalamnya. Terdapat beberapa warna pada api yaitu sebagai berikut:

1. Api Merah

Api berwarna merah ini biasanya bersuhu dibawah 1000°C . Api jenis ini termasuk api yang "kurang panas" dikarenakan jarang atau kurang sering digunakan di pabrik-pabrik industri baja/material. Kalau pada matahari, api ini berada pada bagian paling luarnya, yaitu bagian yang paling dingin. Nyala api merah ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Nyala api merah

2. Api Biru

Api berwarna biru merupakan api yang mungkin sering kita jumpai di dapur. Biasanya api ini sering kita lihat di kompor gas. Rata-rata suhu api yang berwarna biru kurang dari 2000°C . Api ini berbahan bakar gas dan mengalami pembakaran sempurna. Jadi tingkatan api biru diatas merah. Nyala api biru ditampilkan pada Gambar 2.3.



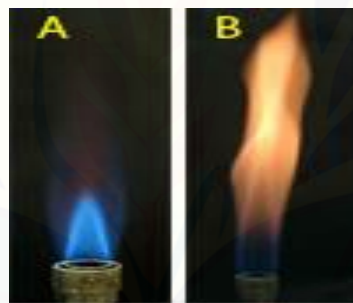
Gambar2.3 Nyala api biru pada kompor gas

3. Api Putih

Nyala api putih merupakan api paling panas yang ada di bumi. Warna putihnya pada api dikarenakan suhunya yang melebihi 2000°C . Api ini yang berada di dalam inti matahari dan muncul akibat reaksi fusi oleh matahari. Api ini paling banyak digunakan di pabrik-pabrik yang memproduksi material besi dan sejenisnya.

4. Api Hitam

Nyala api yang paling panas itu berwarna hitam dan api hitam murni yang sesungguhnya sangat jarang ditemukan di bumi. Api hitam itu bisa saja disimulasikan. Misalnya kita lihat nyala api lilin atau kompor *bunsen* dengan seksama, maka ada perbedaan spektrum warna di dalamnya. Nyala *bunsen burner* ditampilkan pada Gambar 2.4.



(a) (b)

(a) Nyala api laminar; (b) Nyala api turbulan

Gambar 2.4 Nyala api Hitam

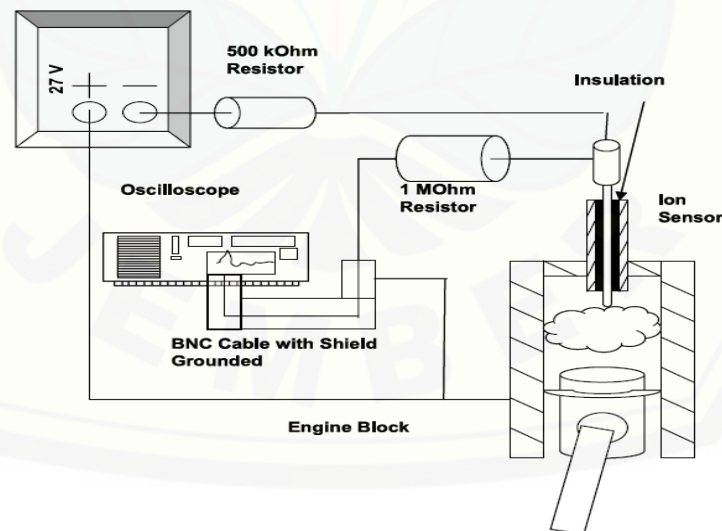
Warna api hitam pada Gambar 2.4 yaitu pada bagian pangkal api. Terlihat bahwa pada bagian tersebut terdapat warna api yang nyaris terlihat transparan, warna tersebut merupakan warna api hitam. Karena definisi warna hitam pada spektrum warna cahaya adalah sebenarnya ketiadaan cahaya, jadi kelihatannya transparan.

2.8 Sensor Ion

Sensor ion digunakan untuk mendeteksi perilaku ion dalam nyala api yang terjadi pada proses pembakaran. Tumbukan efektif partikel gas yang terjadi akibat

tingginya temperatur ruang berisi bahan bakar (gas) mengakibatkan besarnya energi kinetik gas menyebabkan banyaknya terjadi pelepasan elektron sehingga terbentuk banyak ion bermuatan positif dan elektron bebas yang dimana proses ini disebut sebagai termal ionisasi (Ilminnafik, 2012). Menurut Alex (2002), banyaknya elektron bebas menyebabkan konduktivitas listrik dari gas meningkat. Dengan banyaknya elektron bebas pada ruang bakar, sensor ion yang berupa konduktor listrik akan dialiri arus listrik akibat dari aliran elektron. Besarnya arus listrik yang mengalir pada konduktor menyebabkan perubahan resistansi (hambatan). Semakin besar arus listrik yang mengalir pada konduktor maka semakin kecil hambatan konduktor tersebut dan begitu pula sebaliknya. Besar perubahan arus listrik sebanding dengan perubahan resistansi (hambatan) yang terjadi menjadikan konduktor listrik dapat digunakan sebagai sensor untuk mengetahui besar ion yang terbentuk pada proses pembakaran.

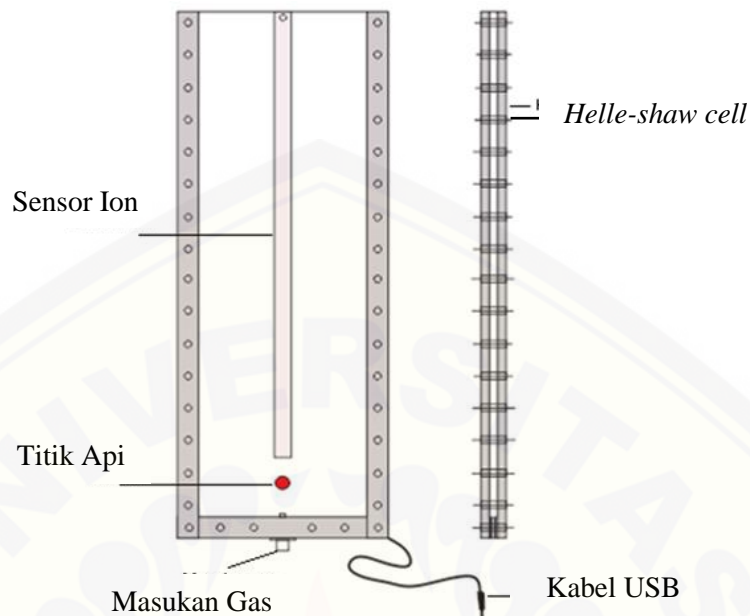
Mehresh *et al.* (2005) melakukan penelitian mengamati karakteristik pembakaran pada *internal combustion* dengan menggunakan sensor ion berupa busi untuk menggantikan fungsi dari *pressure transducer*. Gambar 2.5 menunjukkan skema sensor ion pada mesin HCCI.



Gambar 2.5 Skema sensor ion pada mesin HCCI (Mehresh *et al.*, 2005)

2.9 Pengujian Rambat Api dan Perilaku Ion

Kecepatan rambat api yang tinggi, sehingga diperlukan kamera dengan kecepatan yang sangat tinggi agar dapat menangkap gambar rambat api. Maka dari itu diperlukan suatu alat yang dapat membuat rambat api terlihat bergerak lambat sehingga gambar rambat api bisa tertangkap kamera dengan hasil yang baik. *Helle-shaw cell* merupakan ruang bakar yang terdiri dari dua buah bidang transparan (*acylic* atau kaca). *Helle-shaw cell* digunakan untuk mempermudah meneliti kecepatan rambat api. Gesekan yang terjadi pada dinding *helle shaw cell* akan mengurangi kecepatan rambat api pada dinding. Pengujian rambat api dan perilaku ion dapat dilakukan dengan menggunakan alat *helle-shaw cell*. *Helle-shaw cell* biasanya digunakan untuk meneliti cepat rambat api perbandingan udara dan bahan bakar pada proses pembakaran. *Helle-shaw cell* juga dapat digunakan untuk mendeteksi perilaku ion dengan cara memasang sensor ion pada bagian dalam *helle-shaw cell*. Sensor ion yaitu berupa lempengan aluminium yang dipasang sepanjang ruang *helle-shaw cell*. Pengujian dengan menggunakan *helle-shaw cell* dilakukan dengan cara memasukkan biogas dan udara ke dalam ruang pembakaran dengan volume biogas dan udara yang sudah ditentukan. Setelah biogas dimasukkan pada ruang bakar, biogas dipercikkan api agar terjadi ledakan api pada ruang pembakaran. Pada saat ledakan terjadi, kamera dengan resolusi tinggi yang telah disiapkan merekam laju rambat api yang terjadi. Aluminium yang berada pada dinding tengah *helle-shaw cell* berfungsi sebagai sensor yang mendeteksi perilaku ion pada api. Aluminium tersebut terhubung dengan kabel yang nantinya akan dihubungkan dengan komputer atau laptop sehingga pada saat terjadi ledakan didalam *helle-shaw cell*, perilaku ion pada api dapat ditangkap dan terbaca pada komputer atau laptop dalam bentuk grafik. Berikut merupakan *helle-shaw cell* diperlihatkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Helle Shaw-Cell

2.10 Karakteristik Pembakaran

Secara umum, pembakaran dapat didefinisikan sebagai proses atau reaksi oksidasi yang terjadi pada campuran bahan bakar (*fuel*) dan oksidator dengan melepas sejumlah panas atau nyala dan panas. Bahan bakar merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi. Sementara oksidator adalah segala substansi yang dapat direaksikan dengan bahan bakar dan melepas sejumlah panas pada reaksi pembentukan unsur barunya, misalnya oksigen yang terkandung di dalam udara. Dalam proses pembakaran fenomena-fenomena yang terjadi antara lain interaksi proses-proses kimia dan fisika, pelepasan panas yang berasal dari energi ikatan-ikatan kimia, proses perpindahan panas, proses perpindahan massa, dan gerakan fluida.

2.10.1 Kalor Pembakaran

Kalor pembakaran adalah kalor yang dibebaskan pada proses pembakaran 1 mol bahan bakar dalam oksigen berlebih. Kalor pembakaran memegang peranan

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

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

Dengan:

Q = Kalor yang diterima suatu zat (kJ)

m = Massa zat (gram)

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

ΔT = perubahan suhu ($^{\circ}$ C)

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

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

Dengan:

M_r = Berat molekul bahan bakar

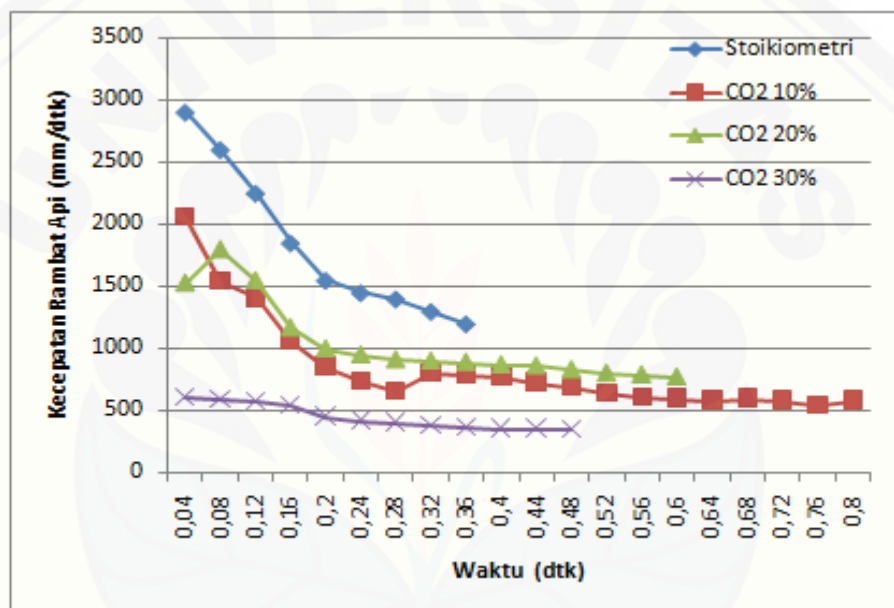
m_1 = Massa awal bahan bakar (gram)

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

2.10.2 Kecepatan Rambat Api

Salah satu sifat penting dari nyala *premixed* adalah kecepatan rambat api pembakaran. Kecepatan rambat api memegang peranan penting dalam menentukan beberapa aspek penting dari proses pembakaran. Kecepatan rambat api juga dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan kualitas biogas. Semakin cepat rambat api yang terjadi, semakin baik kualitas biogas yang dihasilkan. Kadar CO_2 sangat mempengaruhi pola rambat api, hal ini dikarenakan CO_2 sebagai inhibitor atau penghambat pada saat proses pembakaran berlangsung. Penelitian yang dilakukan

oleh Ilminnafik (2012) menunjukkan bahwa dengan melakukan penambahan CO_2 pada ruang bakar tipe silinder dan *helle shaw cell*, menurunkan kecepatan rambat api LPG. Hal yang sama dilakukan oleh Wahyudi *et al.* (2012), meneliti kecepatan rambat api dengan melakukan penambahan prosentase campuran CO_2/N_2 kedalam gas metan dengan kandungan 98,4% CH_4 pada ruang bakar *helle-shaw cell* dengan titik penyalan dari atas dan bawah. Hasil penelitian untuk kecepatan rambat api penyalan atas pada berbagai kadar CO_2 ditunjukan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.6 Kecepatan rambat api stoikiometri dengan berbagai kadar CO_2 pada penyalan atas (Sumber: Wahyudi *et al.*, 2012)

Pada percobaan yang dilakukan, dengan melihat perubahan rambat api yang terjadi didapatkan bahwa kadar CO_2 dan N_2 berpengaruh pada karakteristik pembakaran gas metan. Kecepatan rambat api cenderung menurun setelah dilakukannya penambahan CO_2 maupun N_2 . Hal ini membuktikan bahwa kandungan gas pengotor yang terdapat didalam biogas seperti CO_2 dan N_2 merupakan gas yang dapat menurunkan kualitas biogas dengan menghambat laju reaksi pembakaran biogas.

2.10.3 Perilaku Ion

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

Ionisasi pembakaran merupakan ion-ion yang terbentuk dari hasil pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar. Menurut Nur, M. (2011), aliran elektron yang bergerak dari katoda menuju anoda yang disebabkan oleh kedua elektroda yang dipasang sejajar diberi tegangan listrik menyebabkan terjadinya loncatan listrik diantara elektroda. Pergerakan elektron tersebut akan menumbuk molekul-molekul atau atom-atom gas diantara kedua elektroda. Untuk terjadinya ionisasi berantai, tahapan pertama yang harus dilalui adalah terjadinya ionisasi yang menghasilkan elektron primer. Dengan menaikkan tegangan, elektron-elektron yang bergerak menuju anoda memiliki energi yang cukup untuk mengionisasi partikel gas yang ditumbuknya. Ion-ion yang dihasilkan akan dipercepat oleh medan listrik dan pada akhirnya akan menumbuk katoda. Tumbukan ion tersebut menghasilkan elektron yang dipancarkan oleh katoda melalui efek fotolistrik, elektron hasil tumbukan itu disebut elektron sekunder.

Tumbukan antar molekul reaktan dalam reaksi pembakaran menyebabkan elektron terlepas dari atom sehingga menghasilkan elektron bebas dan atom bermuatan positif (Ilminnafik, 2012: 33). Selain menghasilkan elektron bebas dan atom bermuatan positif, produk dari reaksi pembakaran juga menghasilkan atom bermuatan negatif. Ion-ion bermuatan negatif terbentuk karena di dalam udara terdapat molekul elektronegatif (O_2) yang mempunyai sifat sangat mudah menangkap

elektron (Nur, M., 2011). 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 (Calcote, 1994). Pelepasan molekul reaktan menjadi ion-ion penyusunnya dan diikuti reaksi pembentukan molekul baru melibatkan pergerakan elektron disertai dengan pelepasan energi. Pergerakan ion yang terjadi pada proses pembentukan molekul baru, menghasilkan arus listrik pada proses pembakaran.

Semakin efektif tumbukan partikel gas yang terjadi menyebabkan banyaknya terjadi pelepasan elektron sehingga terbentuk banyak ion bermuatan positif dan elektron bebas. Semakin baik tumbukan partikel gas menunjukkan bahwa semakin baik pembakaran yang terjadi. Dengan begitu, besar kecil ion yang terbentuk pada proses ionisasi pembakaran menunjukkan baik tidaknya pembakaran yang terjadi, dimana semakin besar ion yang terbentuk maka semakin baik pembakaran yang terjadi. Untuk mengetahui besarnya ionisasi pembakaran dalam ruang bakar digunakan ion probe yang dihubungkan dengan oscilloscope.

Penelitian perilaku ion yang telah dilakukan oleh Rofik (2015) pada biogas sebelum dan setelah purifikasi menggunakan larutan KOH 1 M selama 15 menit pada proses pembakaran biogas di ruang bakar *helle-shaw cell*, dimana AFR pada biogas yang belum dipurifikasi adalah 4:1 sedangkan AFR pada biogas yang telah dipurifikasi adalah 5:1. Hasil penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.6 Data hasil pengujian sensor ion

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

Sumber: Rofik (2015).

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa terjadi kenaikan tegangan sebanyak 18,395 volt pada biogas yang telah dipurifikasi dengan KOH 4M. Hal ini menunjukkan ion-

ion yang terbentuk dari hasil pembakaran dalam ruang bakar lebih banyak pada biogas yang setelah dipurifikasi dengan KOH 4M (Rofik, 2015).

2.11 Hipotesa

Purifikasi biogas menggunakan larutan KOH yang bersifat higroskopis akan menurunkan kadar konsentrasi CO₂. Dengan turunnya kadar CO₂ maka kualitas biogas yang dihasilkan akan semakin baik. Dengan meningkatnya kualitas biogas maka kalor pembakaran semakin besar, kemampuan laju rambat api akan semakin cepat dan tegangan ion semakin besar yang disebabkan karena kandungan zat penghambat reaksi pembakaran (*inhibitor*) terutama gas CO₂ 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.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Metode ini digunakan untuk menguji kalor pembakaran, cepat rambat api pembakaran dan perilaku ion pada biogas tanpa dipurifikasi dan biogas dengan purifikasi menggunakan larutan KOH dengan konsentrasi sebesar 1 M, dan juga menguji rambat api pembakaran dan perilaku ion pada perbandingan volume bahan-udara bakar (AFR). Dalam penelitian ini, proses pemurnian biogas dilakukan dengan sistem penyerapan absorpsi kandungan zat pengotor terutama gas karbon dioksida (CO₂) menggunakan KOH. Biogas disirkulasikan sebanyak tiga kali pengulangan kelarutan purifikasi, kemudian digunakan sebagai bahan bakar pada pengujian kalor pembakaran, rambat api, dan perilaku ion. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan kompor biogas dan *helle-shaw cell*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

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 4 bulan pada bulan Januari 2017- April 2017

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga jenis variabel penelitian, yaitu:

3.3.1 Variabel Bebas

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

1. Biogas tanpa purifikasi

2. Biogas dengan purifikasi dengan KOH 1M.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang meliputi data-data yang diperoleh pada pengujian pemurnian biogas menggunakan KOH 1M dan pengujian karakteristik api dengan menganalisa data-datanya yang meliputi:

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

3.3.3 Variabel Kontrol

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

1. Perbandingan air : limbah buah : kotoran sapi adalah 25% : 50% : 25% dalam satuan volume.
2. Larutan purifikasi menggunakan KOH dengan kandungan 1M.

3.4 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang dipergunakan dalam pengujian ini meliputi:

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

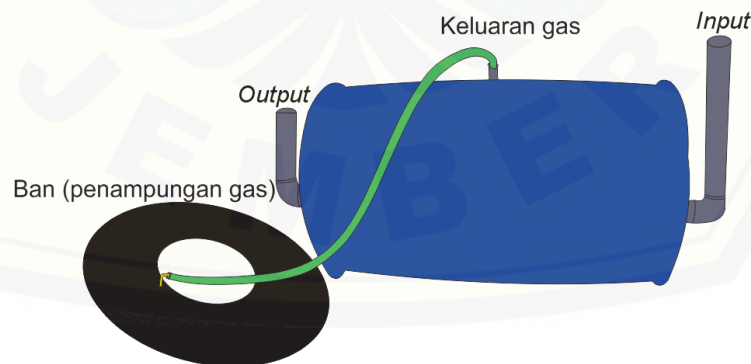
3.5 Pengamatan yang Dilakukan

Terdapat tiga jenis penelitian yang akan diamati, yaitu:

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

3.6 Proses Pembuatan Biogas

Bahan utama biogas adalah limbah buah yang diberi starter berupa kotoran sapi dan tambahan jerami padi untuk meningkatkan rasio C/N dengan Perbandingan air : limbah buah : kotoran sapi adalah 25% : 50% : 25% dalam satuan volume. Reaktor biogas terbuat dari drum plastik berbentuk pejal dengan tinggi 93 cm dan diameter lingkaran 58 cm. Drum dirancang sedemikian rupa, yaitu dengan melakukan penambahan saluran *input* sebagai tempat masuknya bahan biogas, saluran *output* sebagai tempat keluaran pembuangan bahan biogas dengan menggunakan pipa berdiameter 2 *inchi*, dan saluran keluaran gas dengan menggunakan pipa ½ *inchi*, seperti pada Gambar 3.1. Volume penampungan bahan biogas dirancang sebesar 200 liter dengan cara mengatur ketinggian *output*. Proses pengisian bahan baku biogas dilakukan secara kontinu dan gas yang dihasilkan setelah 15 hari dari pertamakali pengisian bahan biogas disimpan dalam ban.

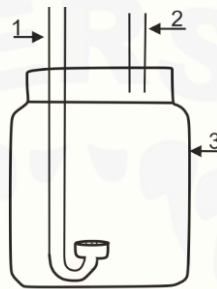


Gambar 3.1 Reaktor biogas

3.7 Peralatan Penelitian

3.7.1 Alat Purifikasi

Alat purifikasi yang digunakan terbuat dari toples kaca yang dimodifikasi dengan penambahan 2 selang $\frac{1}{4}$ inchi pada penutupnya yang digunakan sebagai saluran sirkulasi keluar-masuknya gas purifikasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Alat purifikasi

Keterangan Gambar :

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

3.7.2 Kompor Biogas

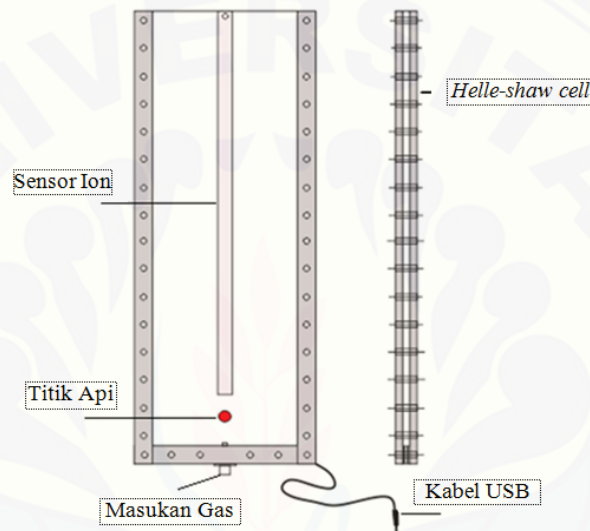
Kompor biogas yang digunakan merupakan kompor khusus untuk bahan bakar biogas yang diproduksi oleh BiogasBCL. Standart kompor biogas yang digunakan yaitu SNV seperti pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Kompor biogas

3.7.3 *Helle-shaw Cell*

Penelitian laju rambat api dan perilaku ion menggunakan alat *helle-shaw cell* yang telah dilengkapi dengan sensor ion ditunjukkan pada Gambar 3.4. *Helle-shaw cell* terdiri dari 3 lempeng akrilik dengan dimensi 600 mm x 200 mm x 10 mm dengan volume *helle-shaw cell* adalah 1,2 liter. Titik api terletak pada 100 mm dari dasar *helle shaw cell*.



Gambar 3.4 *Helle-shaw cell*

3.8 Tahap Penelitian dan Prosedur Pengujian

Tahapan penelitian dan prosedur pengujian dibagi menjadi beberapa tahap. Berikut merupakan tahapan penelitian yang disertai dengan prosedur penelitian yang dilakukan.

3.8.1 Tahap Pemurnian Biogas

Pembuatan *purifier* biogas dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

1. Mendesain sirkulasi alat purifikasi biogas dengan sistem kontinyu dan tidak boleh terdapat kebocoran, seperti yang terlihat pada Gambar 3.5.
2. Melarutkan KOH dengan konsentrasi sebesar 1 molaritas pada air jernih. Sesuai dengan rumus untuk menentukan molaritas yaitu:

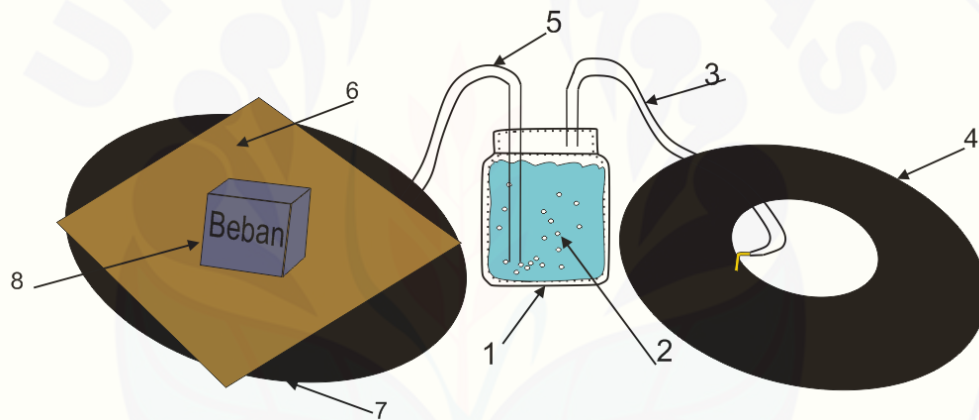
$$M = \frac{n}{V}; \quad n = \frac{m}{Mr}$$

Dengan: M = Molaritas; V = Volume larutan (liter); n = Mol;
m = Massa (gram); Mr = Molekul relatif.

Dengan Mr untuk KOH adalah 56.

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

Maka, jika diasumsikan volume larutan adalah 1 liter maka dapat diketahui massa KOH dengan konsentrasi 1 molaritas adalah 56 gram. Memasang alat purifikasi, sehingga sirkulasi gas dapat berjalan dengan baik tanpa ada kebocoran.



Gambar 3.5 Skema pemurnian biogas

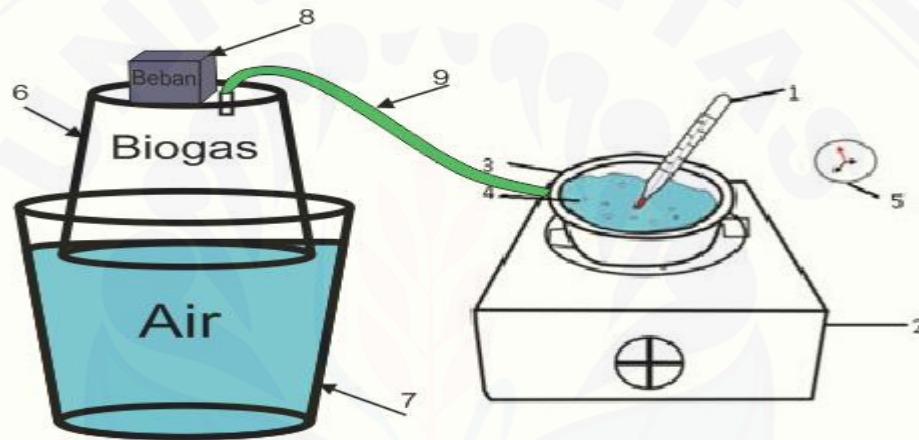
Keterangan gambar:

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

Selama proses purifikasi dilakukan pengukuran komposisi biogas setiap satu kali gas melewati larutan purifikasi dengan menggunakan alat gas analyzer. Pada proses ini didapatkan kemampuan pemurnian gas CO₂ pada larutan purifikasi KOH dengan konsentrasi 1 M

3.8.2 Pengujian Kalor Pembakaran

Pada pengujian kalor pembakaran menggunakan biogas yang tanpa dipurifikasi dan biogas dengan dipurifikasi dengan kandungan CO₂ paling sedikit. Pengujian dilakukan dengan cara memanaskan air pada kompor biogas. Data pengujian didapat dengan mencatat perubahan suhu yang terjadi setiap 30 detik hingga detik ke-150. Pengujian dilakukan dengan pengulangan sebanyak tiga kali pada volume air yang tetap. Suhu air dihitung dengan menggunakan termometer. Skema pengujian kalor pembakaran ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Skema pengujian kalor pembakaran

Keterangan gambar:

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

Setelah pengujian selesai dilakukan kemudian mengrekap data perubahan suhu pada setiap 30 detik pemanasan air. Untuk memperoleh besar kalor pembakaran yang diserap oleh air, menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Dengan:

Q = Kalor yang diterima suatu zat (kJ)

m = Massa zat (kilogram)

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

ΔT = perubahan suhu ($^{\circ}$ C)

Setelah kalor yang diserap oleh air diketahui kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan kalor pembakaran untuk 1 mol bahan bakar dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

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

Dengan:

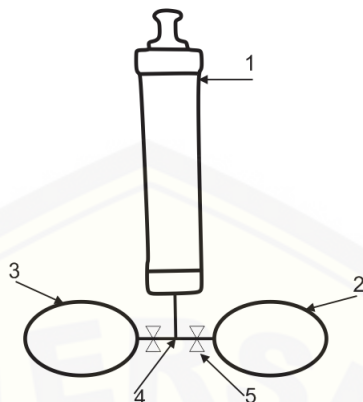
M_r = Berat molekul bahan bakar

m_1 = Massa awal bahan bakar (gram)

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

3.8.3 Pengujian Rambat Api dan Perilaku Ion

Tahap pengamatan karakteristik pembakaran pada biogas ini terpusat pada perekaman rambat api biogas dan pengamatan perilaku ion. Tahap awal dalam penelitian ini yaitu melakukan pencampuran bahan bakar dan udara kedalam kantong plastik dengan volume yang sudah ditentukan dengan menggunakan *cylinder pneumatic* dengan diameter 5 cm dan panjang 30 cm seperti yang terlihat pada Gambar 3.7.

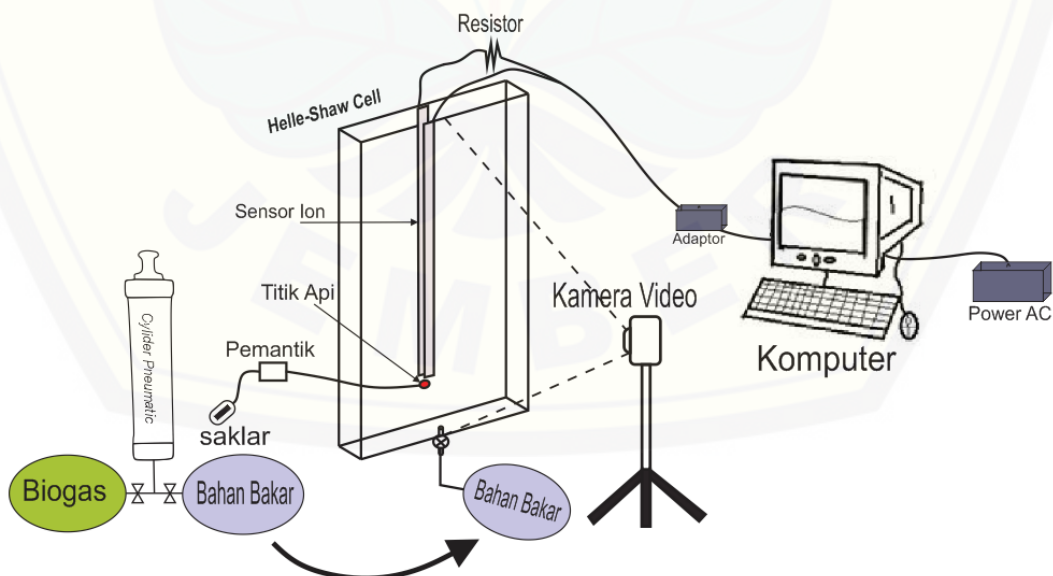


Gambar 3.7 Proses pencampuran biogas dan udara

Keterangan gambar:

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

Perekaman rambat api dilakukan dengan menggunakan kamera resolusi tinggi dan pengamatan perilaku ion yang diperoleh dari sensor pada ruang bakar *helle-shaw cell* yang telah terhubung dengan komputer, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.



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 100 mm dari dasar *helle-shaw cell*
3. Pemantik api 20.000 Volt
4. Saklar pemantik
5. Kantong campuran bahan bakar dan udara
6. Pipa ¼"
7. Kamera Fujifilm *high speed* 60 *frame/detik* 1.280x720 , 120 *frame/detik* 640x480, 240 *frame/detik* 224x168, 480 *frame/detik* 224x168, dan 1000 *frame/detik* 224x64.
8. Sensor Ion
9. Komputer

Pengujian dengan menggunakan *helle-shaw cell* yang tertera pada Gambar 3.8 yaitu dilakukan dengan cara memasukkan campuran biogas yang telah dicampur dengan variasi AFR udara-biogas yang digunakan adalah 4:1; 5:1; 6:1; 7:1; 8:1; 9:1. Lalu Mengisi ruang bakar *helle-shaw cell* dengan campuran udara dan biogas dengan cara menekan kantong gas sehingga gas masuk ke dalam ruang bakar. Setelah terisi penuh, kemudian api dipercikkan dengan menekan pemantik sehingga terjadi pembakaran pada *helle-shaw cell*.

Pembakaran pada *helle-shaw cell* direkam menggunakan kamera video dengan kecepatan 120 *frame/detik* 640x480, maka waktu yang diperlukan untuk satu *frame* adalah 1/120 detik. Rekaman yang diperoleh dipindahkan ke komputer dan dipotong menjadi *video* yang lebih pendek dengan menggunakan program *Free Video Cutter Joiner*. Hasil potongan video diekstraksi menjadi gambar diam dalam sejumlah *frame* yang tersusun secara berurutan dari saat api baru menyala sampai api padam menggunakan *DVD Video Soft Free Studio*. Setelah gambar didapatkan, kemudian menghitung jumlah *frame* dari titik nyala sampai titik dimana api telah sampai pada bagian paling atas alat *helle-shaw cell*. *Frame* yang diperoleh kemudian diukur jarak titik dimana api mulai menyala sampai titik dimana api padam

menggunakan CorelDRAW. Dengan membagi jarak panjang nyala api dari titik awal api nyala dengan waktu, maka akan diperoleh kecepatan rambat apinya.

Pada *helle-shaw cell* terdapat lempengan aluminium yang berfungsi untuk memunculkan tahanan yang terjadi pada proses pembakaran. Kemudian dengan menggunakan aplikasi *Virtins sound card instrument* tahanan yang terdapat pada lempengan aluminium dikonversi menjadi *voltage* oleh komputer dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Kemudian data tersebut dianalisa dan dibandingkan antara perilaku ion dari biogas yang belum dan yang sudah dipurifikasi dan pada perbandingan bakar dan udara yang sama. Setelah pengujian selesai, kemudian dilakukan mengrekap data hasil pengujian rambat api maupun perilaku ion.

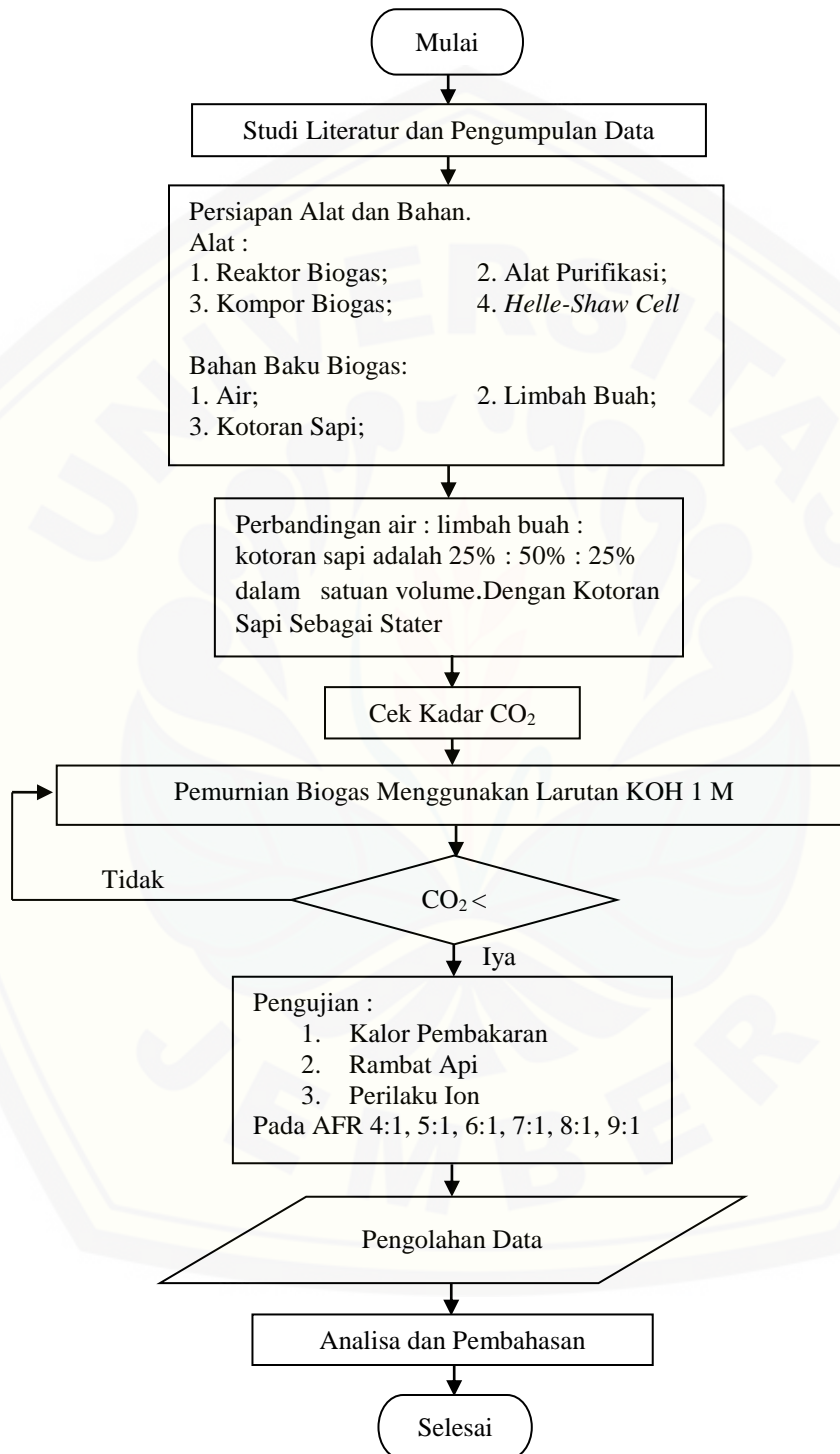
a. Hasil uji rambat api

Mencatat data hasil pengujian rambat api biogas dengan menggunakan AFR 4:1; 5:1; 6:1; 7:1; 8:1; 9:1 tanpa purifikasi dan dengan purifikasi.

b. Hasil uji perilaku ion

Mencatat data hasil pengujian perilaku ion biogas dengan menggunakan AFR 4:1; 5:1; 6:1; 7:1; 8:1; 9:1 tanpa purifikasi dan dengan purifikasi. Hasil rekap pengujian perilaku ion di tunjukkan pada Tabel 3.5.

3.9 Diagram Alir



Gambar 3.9 Diagram alir pada pemurnian biogas

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.2 Kesimpulan

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

1. Pengulangan purifikasi menggunakan KOH dapat menurunkan kandungan CO₂ yang terdapat di dalam biogas. Dengan melakukan purifikasi menggunakan larutan KOH menyebabkan kecepatan rambat api yang dihasilkan pada pembakaran biogas semakin tinggi. Biogas tanpa dipurifikasi memiliki kecepatan rambat api tertinggi pada AFR 4:1 yaitu sebesar 5,69 mm/s, Pada biogas yang sudah dipurifikasi terlihat bahwa kecepatan tertinggi berada pada AFR 6:1 yaitu sebesar 9,279 mm/s. Begitu juga pada perilaku ion dan kalor pembakaran, dimana dengan melakukan purifikasi pada biogas menyebabkan jumlah ion yang terbentuk di dalam proses pembakaran tinggi dan menyebabkan kalor pembakaran yang dihasilkan tinggi.
2. Pengulangan pada saat purifikasi dengan KOH menyebabkan terjadinya perbedaan titik nyala api pada ruang bakar *helle shaw cell*, dimana pada biogas tanpa dipurifikasi dapat nyala pada perbandingan AFR 4:1 dan 5:1, sedangkan pada biogas yang telah dipurifikasi dapat nyala pada AFR 5:1-8:1.

5.2 Saran

Saran yang perlu disampaikan dalam penelitian ini adalah:

1. Sebelum memasang ban pada *output* gas reaktor biogas dan pada *output* alat purifikasi sebaiknya kandungan udara yang terdapat didalam ban dipastikan sudah tidak ada.
2. Sebaiknya dalam menguji komposisi gas menggunakan kromatografi atau alat yang memang khusus untuk mengetahui kandungan gas yang terdapat di dalam biogas, sehingga kandungan gas yang sebenarnya dapat diketahui.

3. Dalam pengujian kalor pembakaran sebaiknya menggunakan termometer dengan ketelitian yang tinggi.



DAFTAR PUSTAKA

- Buffam, J. & Cox, K. 2008. *Measurement of Laminar Burning Velocity of Methane-Air Mixtures Using a Slot and Bunsen Burner*. Worcester Polytechnic Institute.
- Cundari, Selpiana, Wijaya, dan Sucia. 2014. Pengaruh Penggunaan Solven Natrium Karbonat (Na_2CO_3) Terhadap Absorpsi CO_2 Pada Biogas Kotoran Sapi Dalam Spray Column. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol.20 (4): 52-58.
- Dewan Energi Nasional. 2014. *Outlook Energi Indonesia 2014*. Dewan Energi Nasional Republik Indonesia.
- Deublein, D. & Steinhauser, A. 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resources*. ISBN 978-3-527-318414. Jerman: Strauss GmbH, Mörlenbach
- Felix, S., A., Paramitha S.B.U., Ikhsan, D. 2012. "Pembuatan Biogas Dari Sampah Sayuran". *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Vol. 1 (1): 103-108.
- Haryandi. 2011. Penurunan Konsentrasi Gas CO_2 Pada Biogas dengan Metode Absorpsi Menggunakan Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Himidi, N., Wadana, ING., dan Widhiyanuriyawan, D. 2011. "Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam". *Jurnal Rekayasa Mesin*. ISSN 0216-468X. Vol. 2 (3):227-231.
- Iminnafik, N. 2012. *Pengaruh Karbon Dioksida Terhadap Perilaku Hambatan Pembakaran Refrigeran Liquefied Petroleum Gas (Lpg)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Maryana, R., Satriyo K.W., dan Kismurtono, M. 2008. "Proses Pemurnian Metana Dari Biogas Menggunakan Larutan NaOH dan KOH ". *Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia*. ISSN 1410-5667.
- Mehresh, Souder, Flowers, Riedel, dan Dibble. 2005. "Combustion timing in HCCI engines determined by ion-sensor: experimental and kinetic modeling". *Proceedings of the Combustion Institute*. 30: 2701-2709.

- Mifthah P., E., & Dwi S., H. 2012. "Peningkatan Kualitas Biogas Dengan Pengaturan Rasio Nutrisi Dan pH". *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Vol. 2 (3): 143-147
- 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.
- Prasetya, A., Widhiyanuriyawan, D., dan Sugiarto. (Tanpa Tahun). *Pengaruh Konsentrasi Naoh Terhadap Kandungan Gas Co₂ Dalam Proses Purifikasi Biogas Sistem Kontinue*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Rahayu, Karsiwulan, Yuwono, Trisnawati, Rahardjo, Hokermin, dan Paramita. 2015. *Konveksi POME Menjadi Biogas*.
- Ramadhani, A. & Tarigan, A.P.M. 2014. *Studi Pengelolaan Sampah Pasar Kota Medan*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Ratnaningsih. 2009. *Potensi Pemebentukan Biogas Pada Proses Biodegradasi Campuran Sampah Organik Segar Dan Kotoran Sapi Dalam Batch reaktor Anaerob*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Trisakti: Jakarta
- Rofik, A. 2015. *Karakteristik Api Biogas Yang Dipurifikasi Larutan Koh 4(Empat) Molaritas Dibandingkan Dengan Biogas Tanpa Purifikasi*. Jember: Universitas Jember.
- Sadaka, S.S. dan Engler, C.R. 2003. "Effects of Initial Total Solids on Composting of Raw Manure with Biogas Recovery". *Compost Science & Utilization*. Vol. 11 (4): 361-369.
- Sahirman, S. 1994. *Kajian Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit untuk Memproduksi Gasbio*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Saputro, R.R. & Putri, D.A. (2009). *Pembuatan Biogas dari Limbah Peternakan*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Utami, Saputro, Mahardiani, Yamtinah, dan Mulyani. 2009. *Kimia 2 : Untuk SMA/MA Kelas XI*. Program Ilmu Alam. Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Widyasari, N., Moelyaningrum, A.D., dan Pujiati, R.S. 2013. *Analisa Potensi Pencemaran Timbal (Pb) Pada Tanah, Air Lindi dan Air Tanah (Sumur Monitoring) di TPA Pakusari Kabupaten Jember*. Jember: Universitas Jemb

Lampiran A

LampiranA.1 Kalor pembakaran

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

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

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

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

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

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

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

Diketahui :

m air = 240 mililiter atau 0,24 kg

c air = 2400 j / kg

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

sebelum purifikasi

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

$$= 1008 \cdot 5,27$$

$$= 5,31 \text{ KJ/kg}$$

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

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

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

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

dengan Purifikasi

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

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

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

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

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

Lampiran B

Lampiran b.1 AFR 4:1

NO Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)	NO Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	3,83724	1	8,333333	6.27912
2	16.66666667	3,31398	2	16,66667	4.0116
3	25	3,2558	3	25	3.60464
4	33.33333333	3,05232	4	33,33333	4.88373
5	41.66666667	3,209304	5	41,66667	4.95348
6	50	3,8838	6	50	5.05814
7	58.33333333	3,737537	7	58,33333	5.431886
8	66.66666667	4,055235	8	66,66667	5.930235
9	75	4,45736	9	75	6.279067
10	83.33333333	5,058144	10	83,33333	6
11	91.66666667	5,39112			

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8,333333	7.36848
2	16,66667	4.91226
3	25	4.5614
4	33,33333	4.56141
5	41,66667	4.49124
6	50	4.61988
7	58,33333	4.912286
8	66,66667	5.394735
9	75	5.847947
10	83,33333	5.964912

Lampiran B.2 Pada AFR 1:5

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	6,98628
2	16.6666667	3,49314
3	25	3,01368
4	33.3333333	2,67123
5	41.6666667	2,794512
6	50	2,87672
7	58.3333333	2,99413714
8	66.6666667	3,184935
9	75	3,424653333
10	83.3333333	4,273968
11	91.6666667	4,52055273
12	100	4,86301

Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	4.18608
2	16.6666667	3.02328
3	25	3.41084
4	33.3333333	3.25581
5	41.6666667	3.162792
6	50	3.25582
7	58.3333333	4.0531154
8	66.6666667	4.18605
9	75	4.39276
10	83.3333333	4.744188
11	91.6666667	4.904858
12	100	4.92248

Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	2,91672
2	16.6666667	5,20832
3	25	3,88888
4	33.3333333	3,43749
5	41.6666667	3,416664
6	50	4,16666
7	58.3333333	4,345234
8	66.6666667	4,531245
9	75	4,722227
10	83.3333333	4,833336
11	91.6666667	5,113636
12	100	4,96528

Lampiran B.3 Biogas dengan Purifikasi Pada AFR 1:5

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	8,10816
2	16.6666667	6,68916
3	25	7,0946
4	33.3333333	8,36148
5	41.6666667	9,324336
6	50	9,96622

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	9.77772
2	16.6666667	6.77778
3	25	8.96296
4	33.3333333	9.44445
5	41.6666667	10.222224
6	50	9.85186

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	8.57148
2	16.6666667	6.27552
3	25	8.16328
4	33.3333333	8.80101
5	41.6666667	9.551016
6	50	9.89796

Lampiran B.4 Biogas dengan Purifikasi Pada AFR 1:6

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	10.17852
2	16.6666667	7.76784
3	25	8.75
4	33.3333333	8.70537
5	41.6666667	9.053568
6	50	8.52678
7	58.3333333	8.38009714

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	8.6598
2	16.6666667	7.42266
3	25	6.80412
4	33.3333333	8.11857
5	41.6666667	8.721648
6	50	9.17526
7	58.3333333	8.6598

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	7.42572
2	16.6666667	5.04948
3	25	5.24752
4	33.3333333	6.46041
5	41.6666667	7.900992
6	50	8.66336
7	58.3333333	8.359269

Lampiran B.5 Biogas dengan Purifikasi Pada AFR 1:7

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	8.34432
2	16.6666667	4.56954
3	25	6.3576
4	33.3333333	6.35763
5	41.6666667	5.880792
6	50	5.43046
7	58.3333333	5.619686
8	66.6666667	5.76159
9	75	6.136867
10	83.3333333	5.721852

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	4,04148
2	16.6666667	7,77204
3	25	6,63212
4	33.3333333	5,96892
5	41.6666667	6,11398
6	50	6,217611
7	58.3333333	6,878235

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	5.3658
2	16.6666667	6.34146
3	25	6.17888
4	33.3333333	6.09756
5	41.6666667	6.439032
6	50	5.85366
7	58.3333333	6.48084
8	66.6666667	6.09756
9	75	5.962053
10	83.3333333	5.65854
11	91.6666667	5.099782

Lampiran B.6 Biogas dengan Purifikasi Pada AFR 1:8

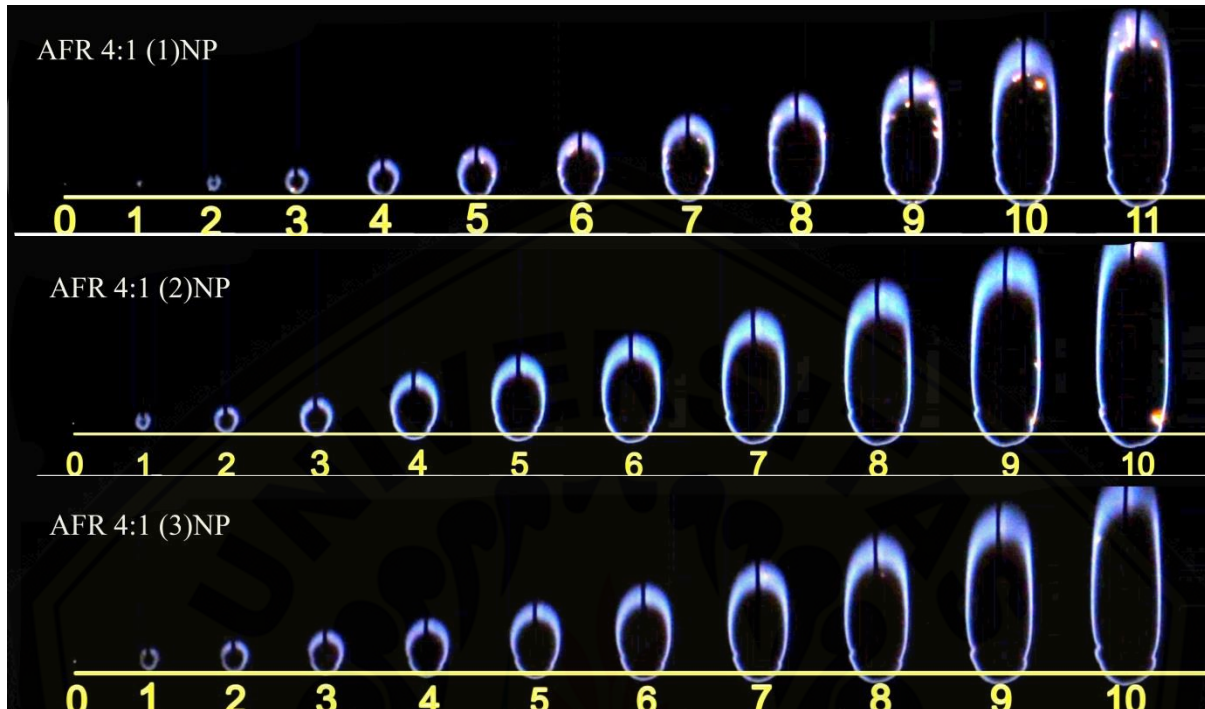
Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	5.07696
2	16.66666667	3.69228
3	25	4.76924
4	33.33333333	7.38462
5	41.66666667	7.2
6	50	6.84616
7	58.33333333	6.197794
8	66.66666667	6.69231
9	75	6.461533
10	83.33333333	6.046152
11	91.66666667	8.056339

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	5.55552
2	16.66666667	4.72224
3	25	6.29628
4	33.33333333	6.11112
5	41.66666667	6.11112
6	50	6.11112
7	58.33333333	6.190474
8	66.66666667	6.111105
9	75	6.049387
10	83.33333333	5.777772
11	91.66666667	5.454545455

Frame	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	3,66912
2	16.66666667	4,74822
3	25	10,28776
4	33.33333333	10,52157
5	41.66666667	10,92086
6	50	10

Lampiran C

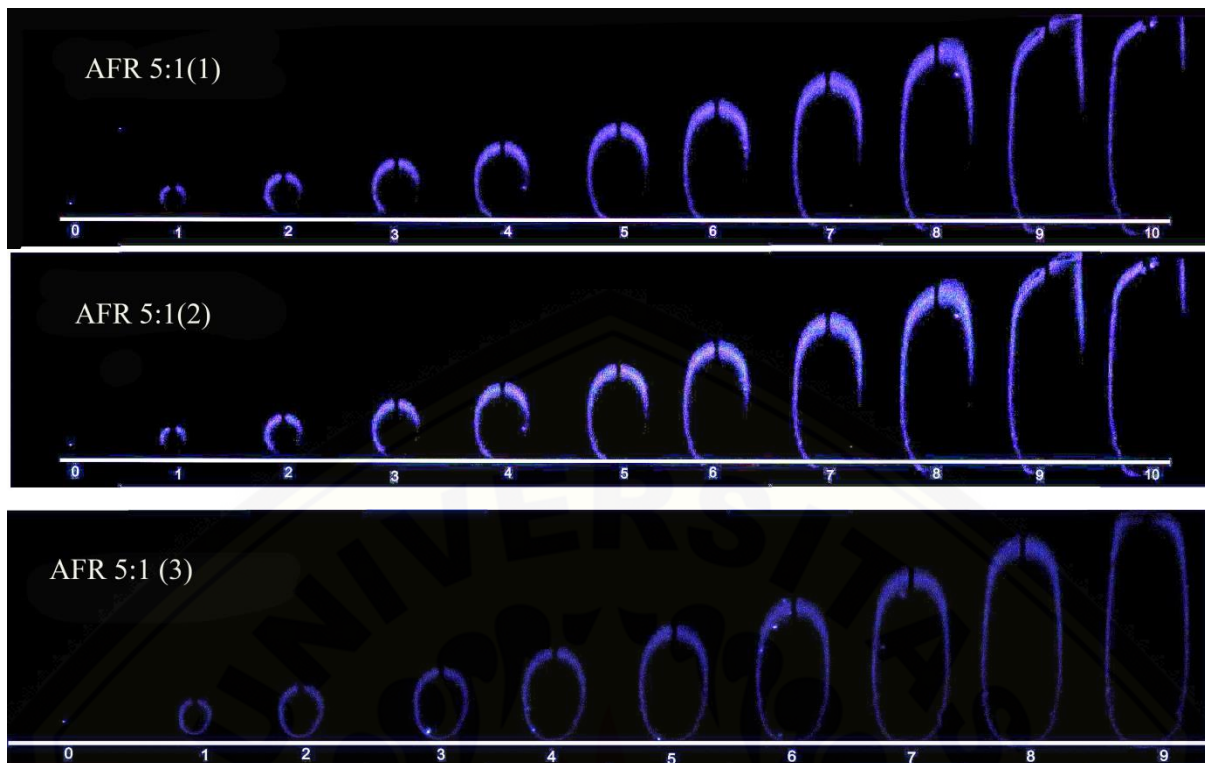
Lampiran C.1 Nyala api pada biogas tanpa purifikasi dengan AFR 4:1



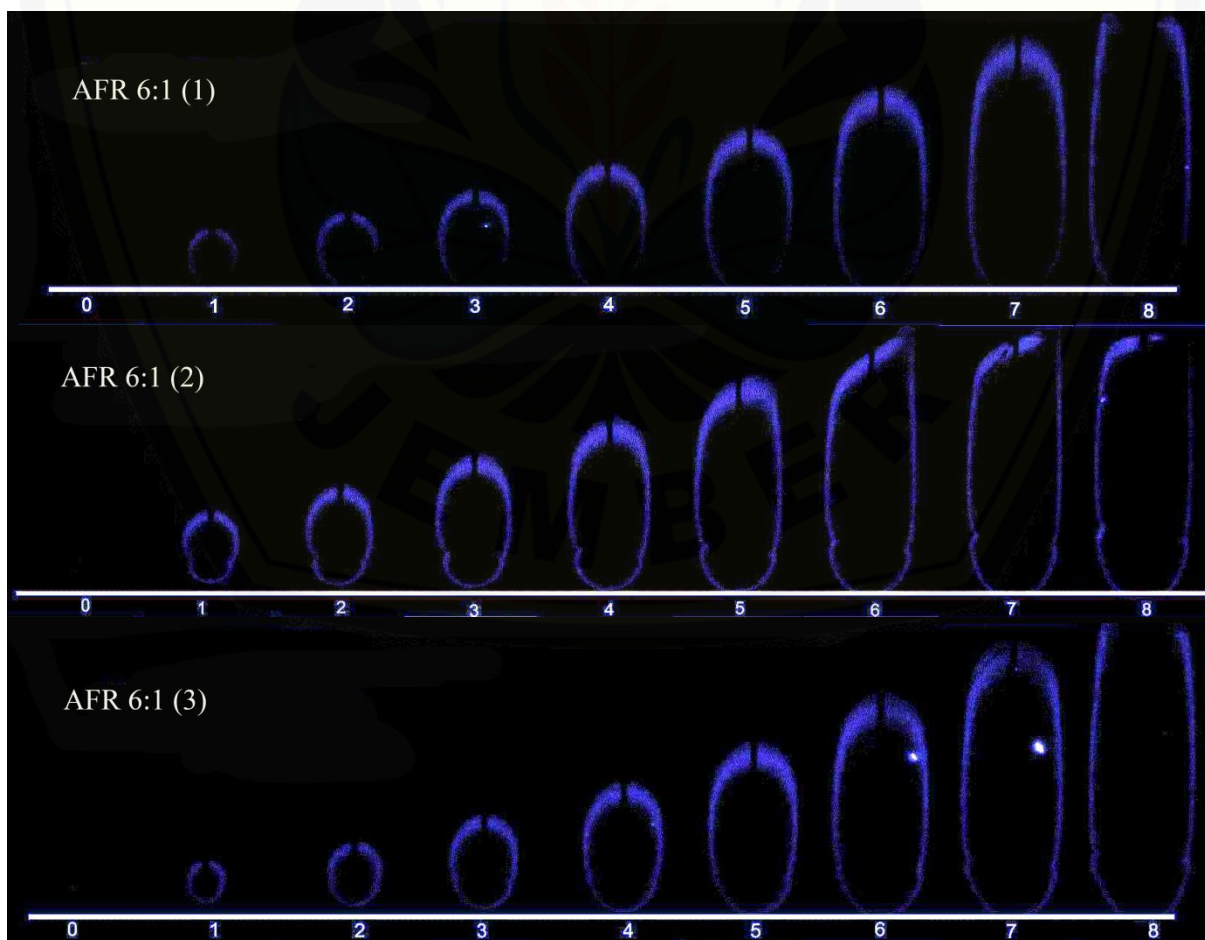
Lampiran C.2 Nyala api pada biogas tanpa purifikasi dengan AFR 5:1



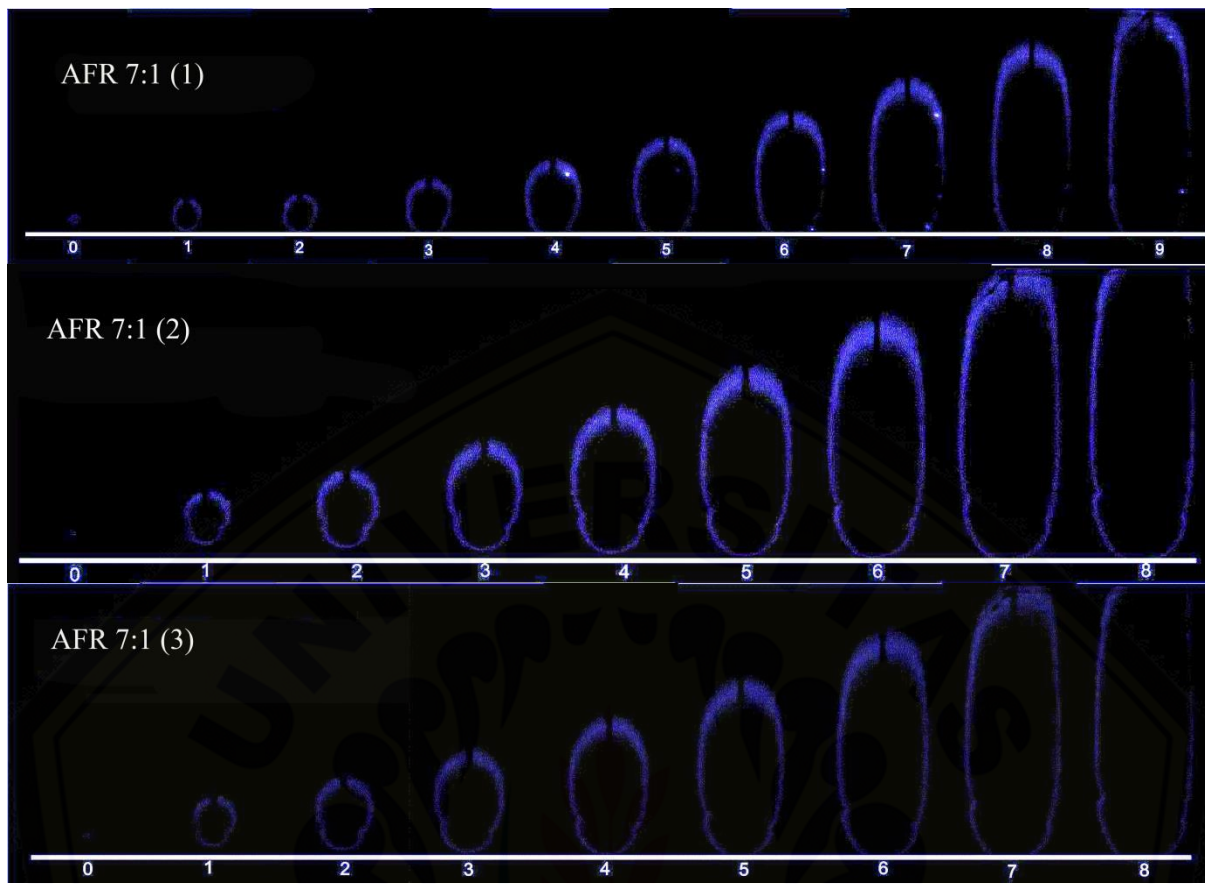
Lampiran C.3 Nyala api pada biogas dengan purifikasi dengan AFR 5:1



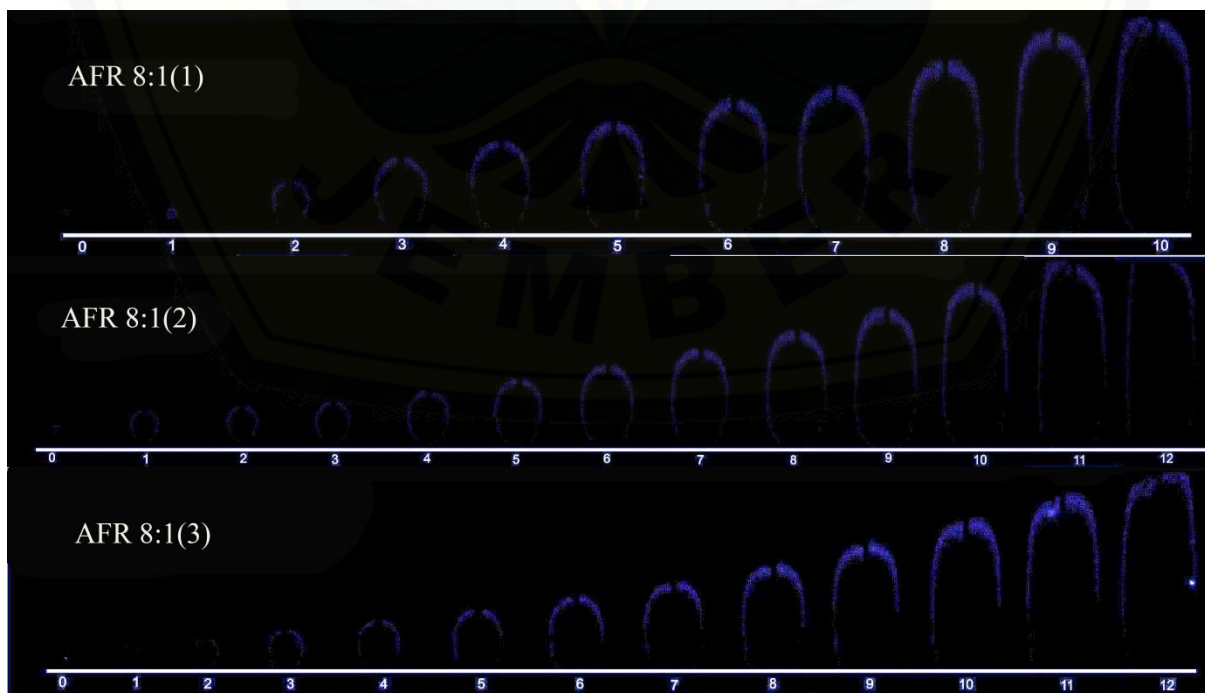
Lampiran C.4 Nyala api pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 6:1



Lampiran C.5 Nyala api pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 7:1

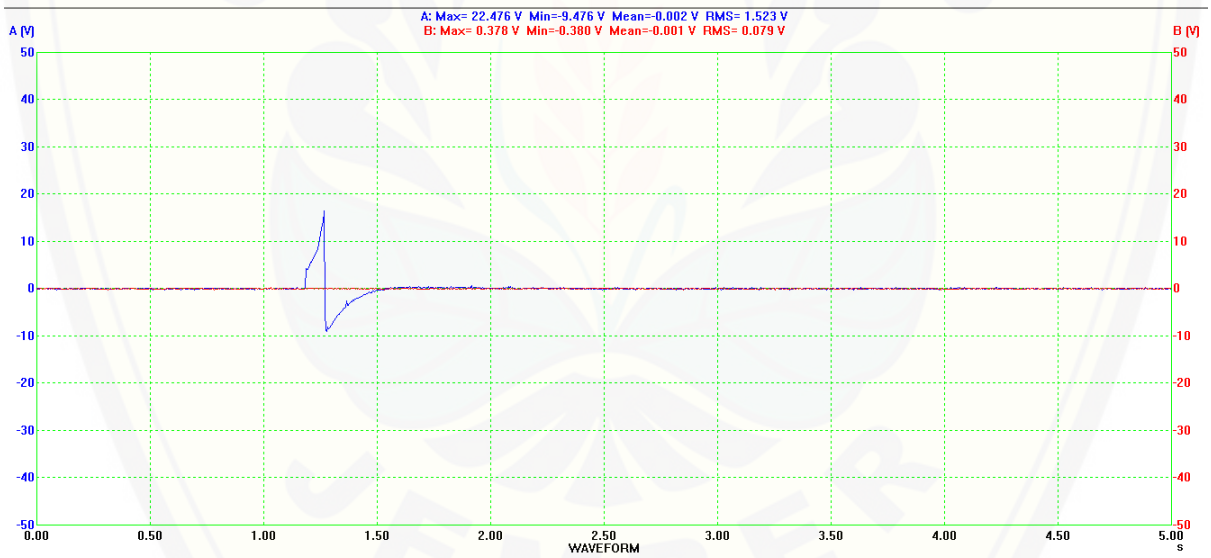
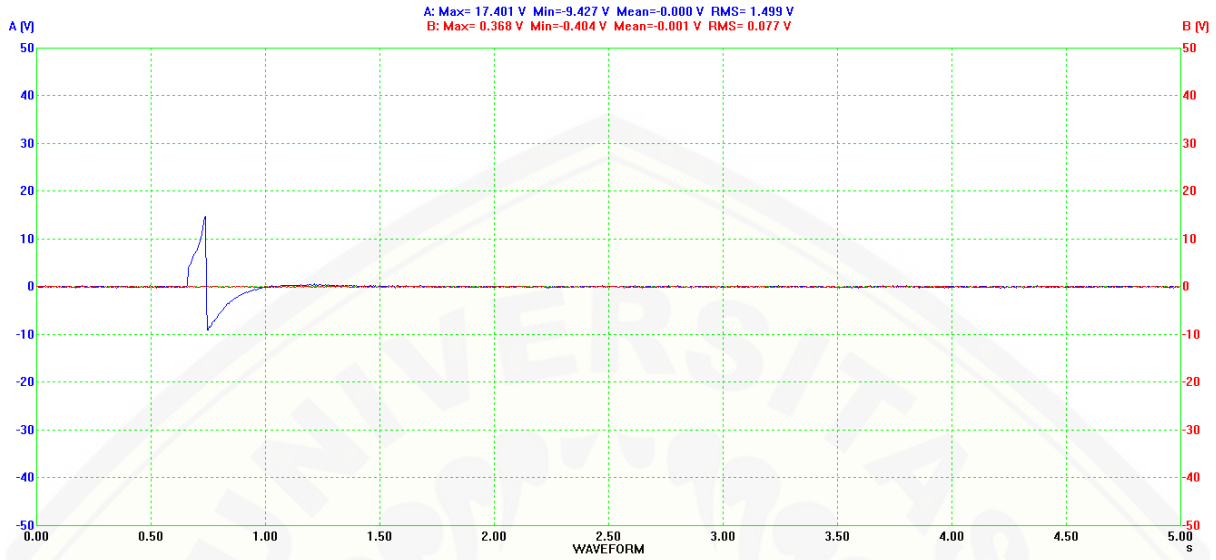


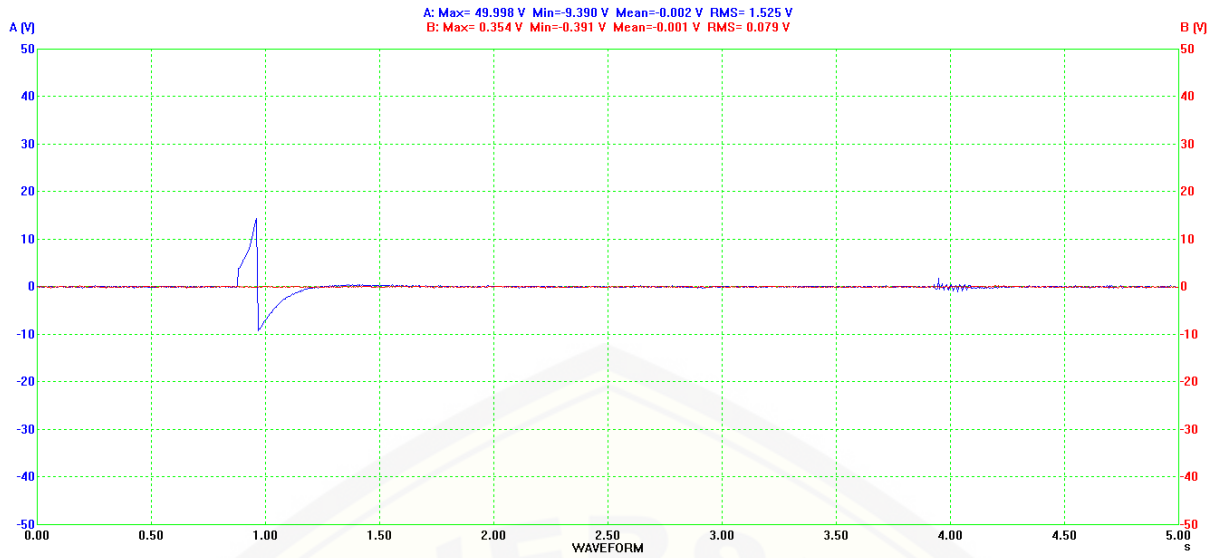
Lampiran C.6 Nyala api pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 8:1



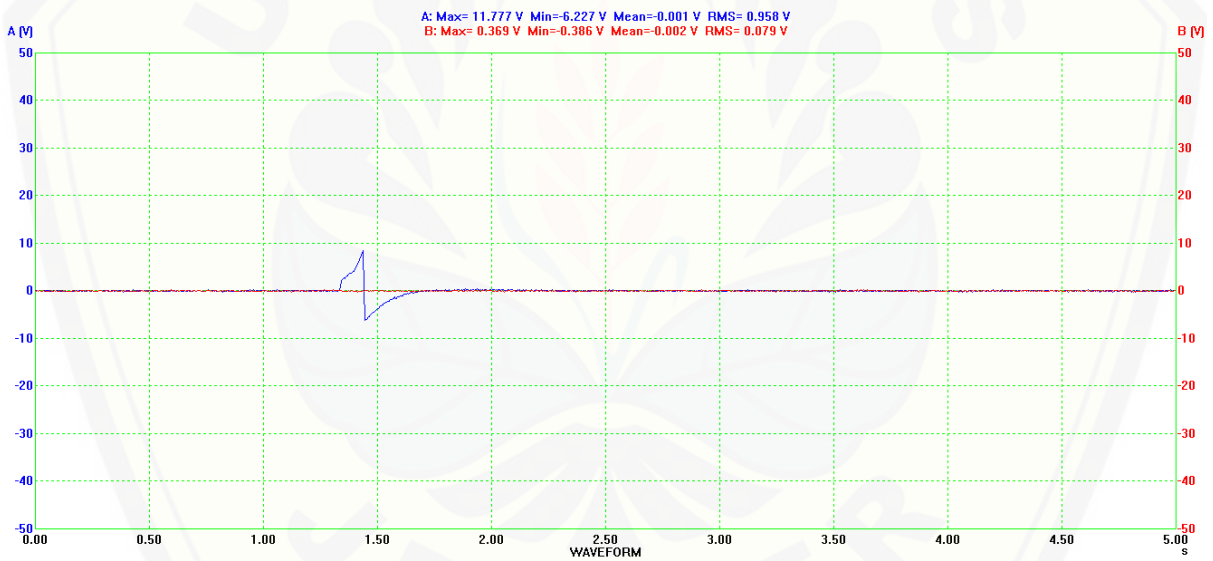
Lampiran D

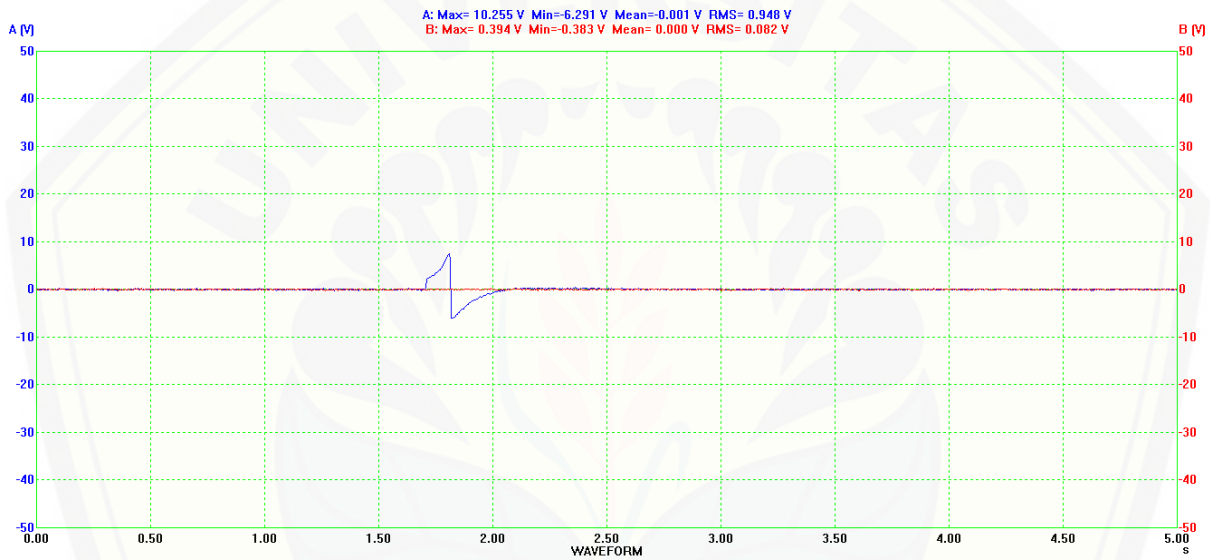
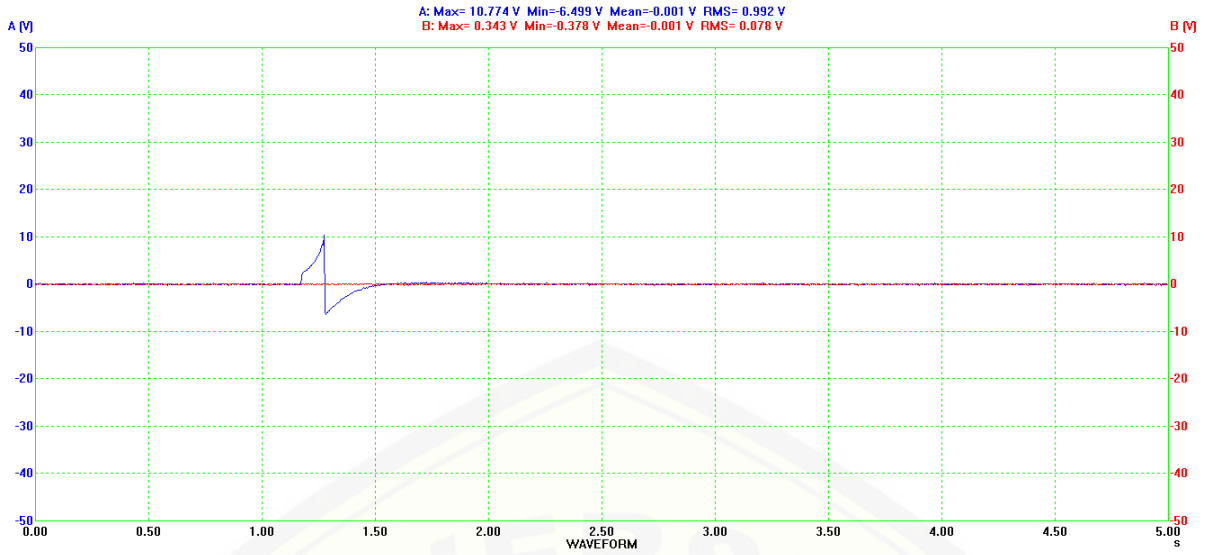
Lampiran D.1 Perilaku ion pada biogas sebelum purifikasi dengan AFR 4:1



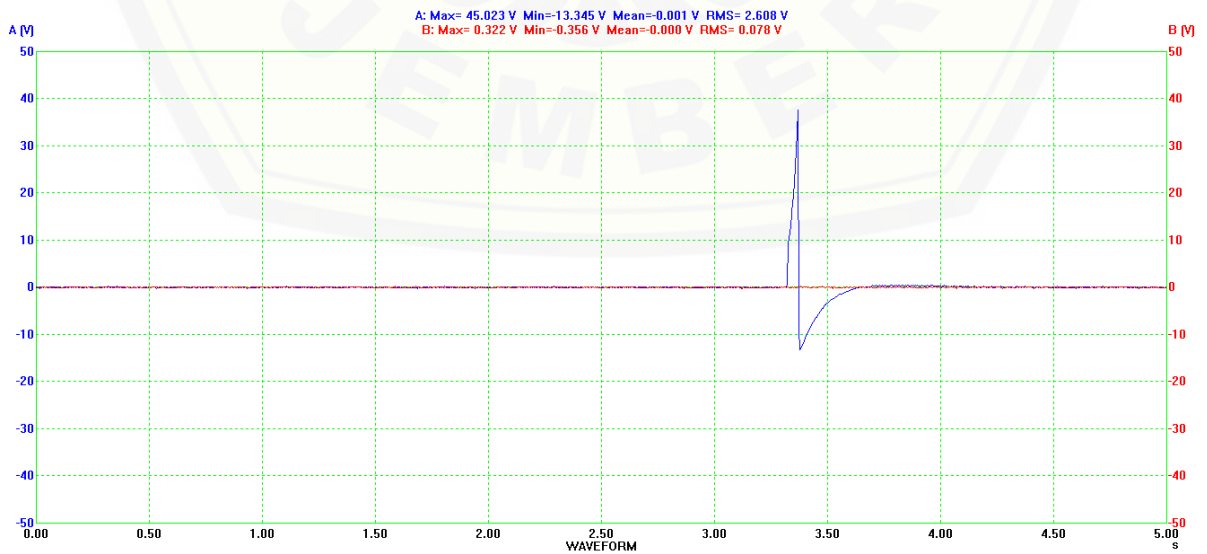
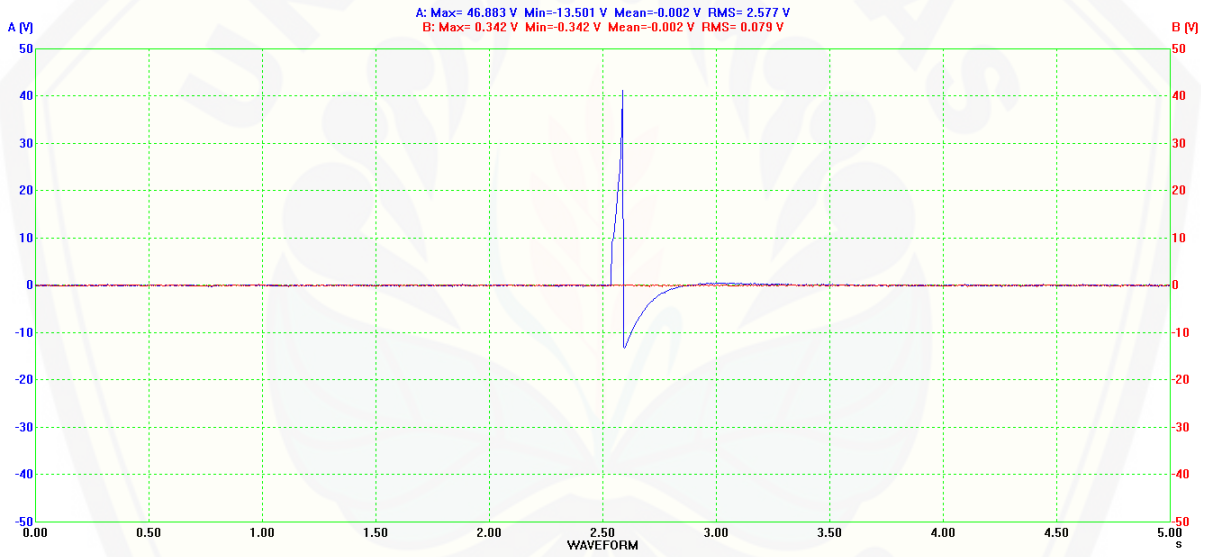
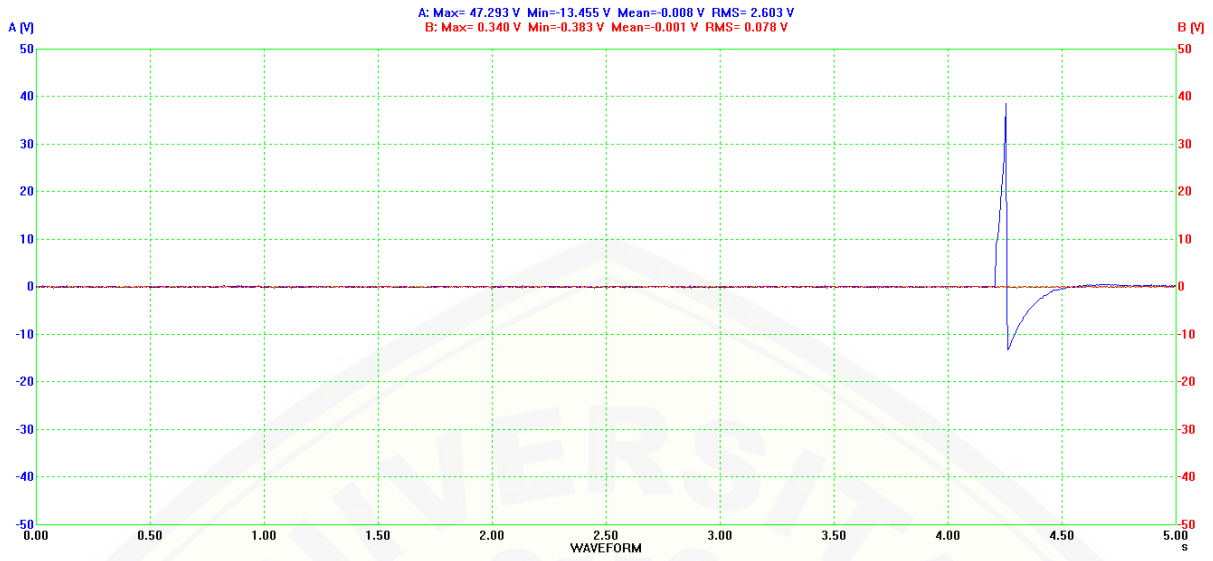


Lampiran D.2 Perilaku ion pada biogas tanpa purifikasi dengan AFR 5:1

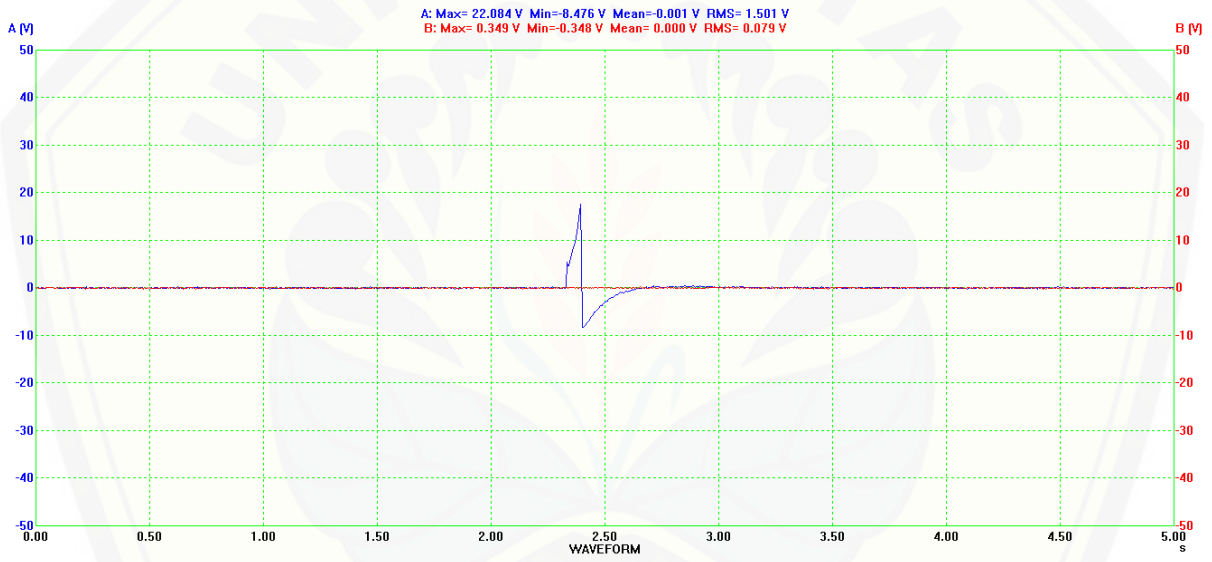
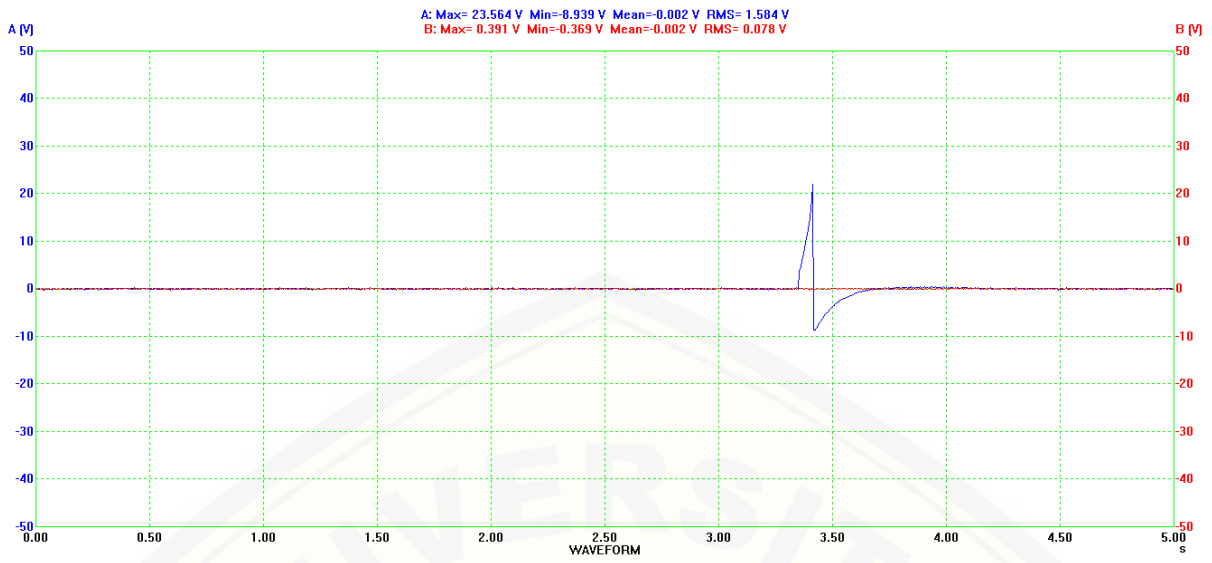




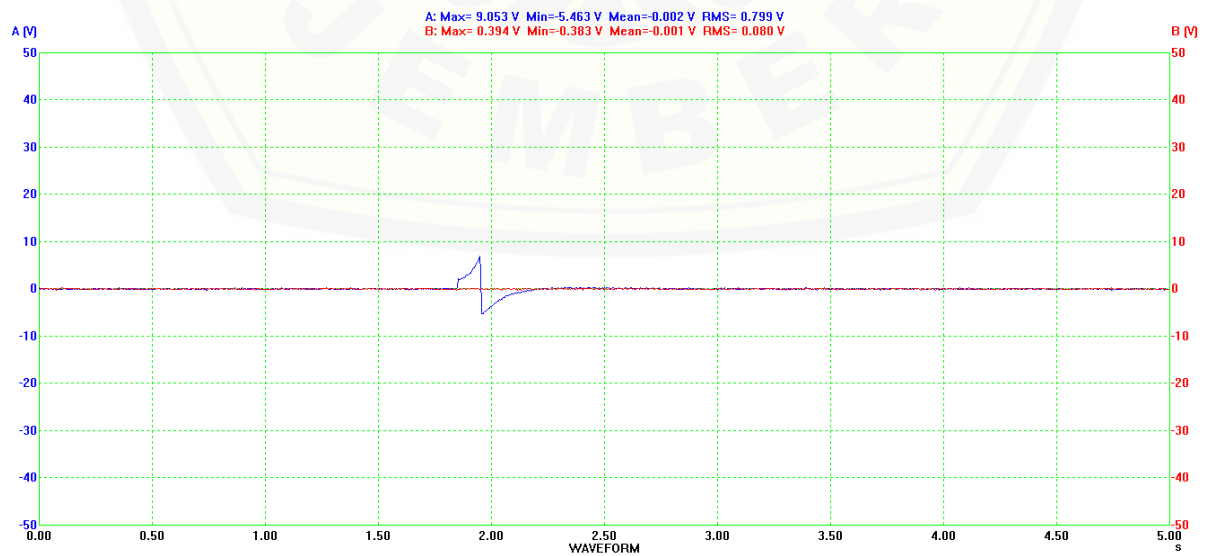
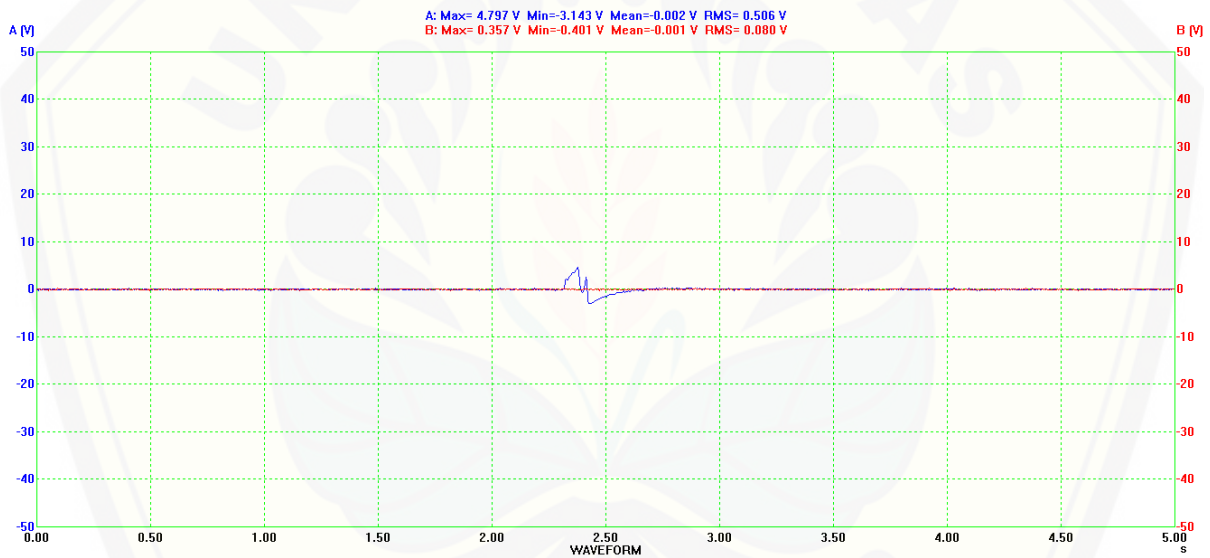
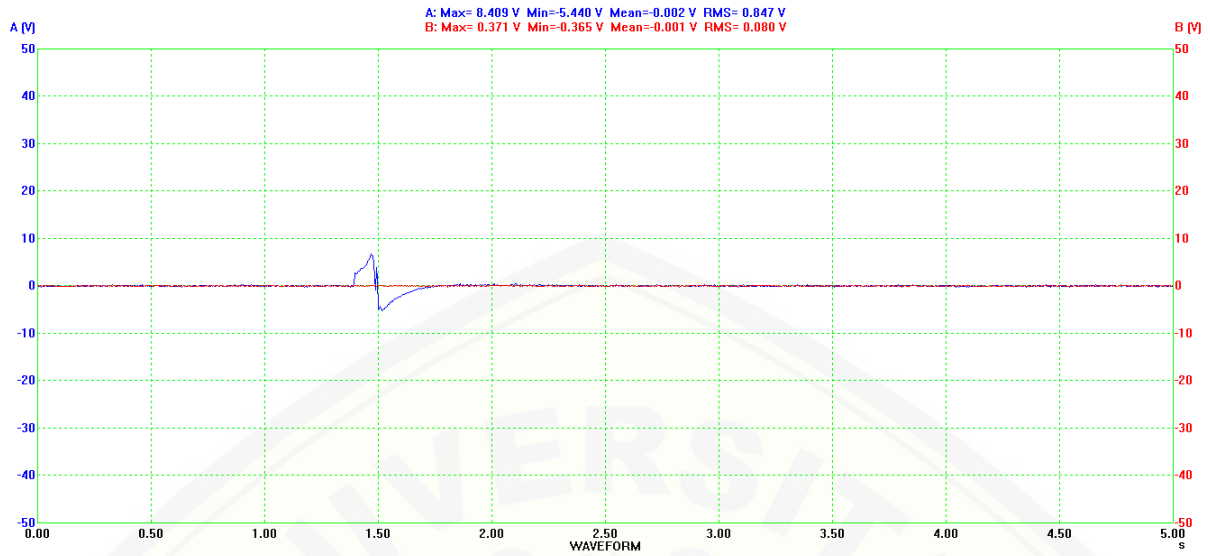
Lampiran D.3 Perilaku ion pada biogas dengan purifikasi dengan AFR 5:1



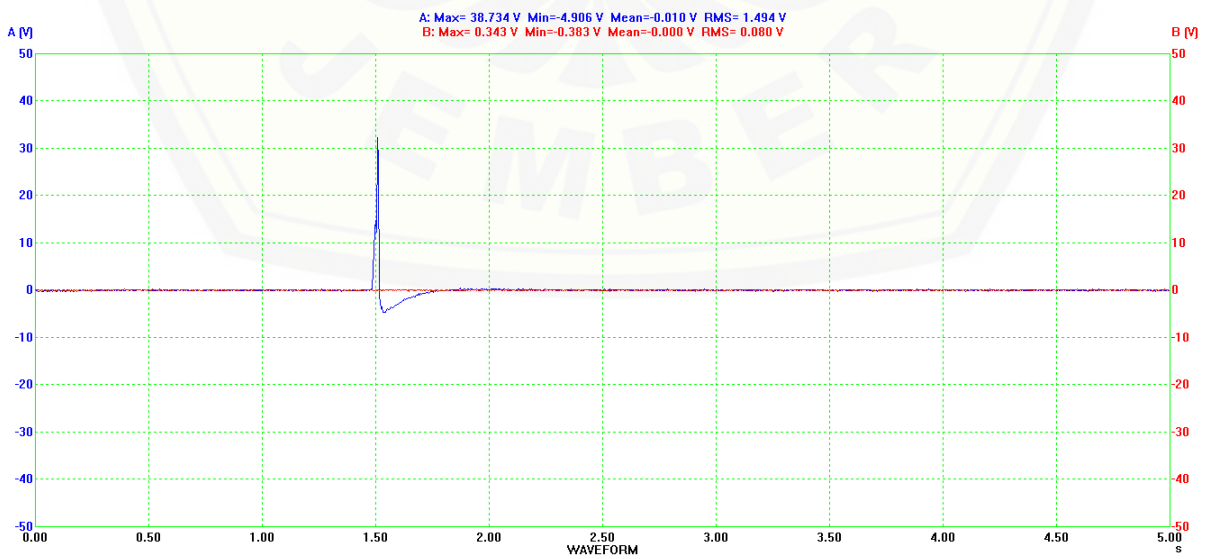
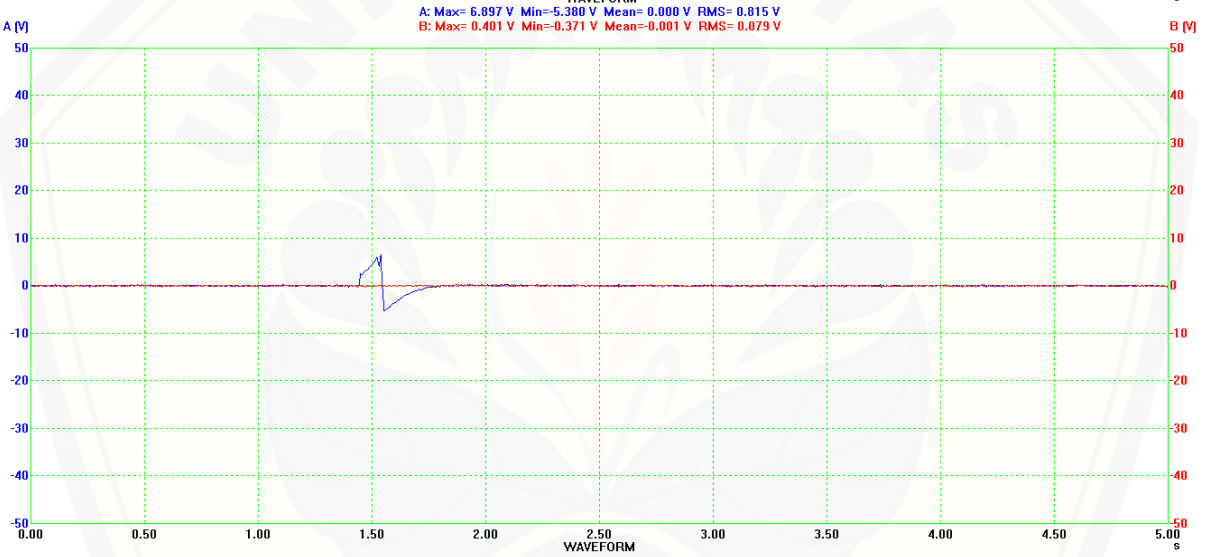
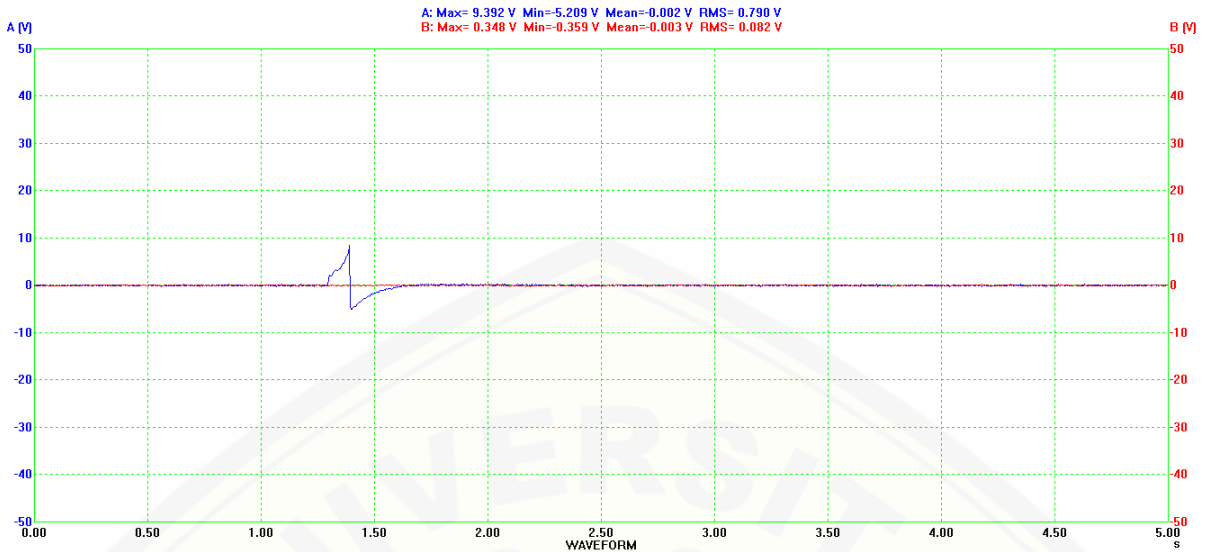
Lampiran D.4 Perilaku ion pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 6:1



Lampiran D.5 Perilaku ion pada biogas dengan purifikasi dengan AFR 7:1



Lampiran D.6 Perilaku ion pada biogas dengan purifikasi dengan AFR 8:1



Lampiran E

Lampiran E.1 Gambar alat penelitian



Reaktor Biogas



Gambar Alat Purifikasi



Gambar *cylinder Pneumatic*



Gambar Ruang Bakar *Helle-Shaw Cell*



Gambar Pengujian Rambut Api dan Perilaku Ion



Gambar Kompor Biogas



Gambar Sistem Keluaran Gas Pada Pengujian Kalor Pembakaran



Gambar Pengujian Kalor Pembakaran