



**KARAKTERISASI BIOGAS BERBASISKAN LIMBAH PASAR
(SAYURAN) YANG SUDAH DIPURIFIKASI DENGAN KOH**

SKRIPSI

Oleh

I Made Aditya Iswara

121910101092

JURUSAN TEKNIK MESIN STRATA SATU

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

JEMBER

2016



**KARAKTERISASI BIOGAS BERBASISKAN LIMBAH PASAR
(SAYURAN) YANG SUDAH DIPURIFIKASI DENGAN KOH**

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

I Made Aditya Iswara

121910101092

JURUSAN TEKNIK MESIN STRATA SATU

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

JEMBER

2016

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Bapak dan Ibu saya yang telah berjuang mendidik dan senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tiada batas hingga saat ini, serta doa yang tiada hentinya beliau haturkan dengan penuh keikhlasan;
2. Kakak saya 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 Boy Arief F., S.T., M.T., PhD. dan Bapak Dr.Nasrul Iminnafik, 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 Ahmad Adip Rosyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga penyusunan Skripsi ini dapat menjadilebih baik;
7. Bapak Nurkoyim, S.T., M.T. yang telah rela meluangkan waktunya untuk mengajari dan membimbing dalam melakukan penelitian sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik;
8. Teman-temanku (Ivan, Abdi, Roni, Hemas, Josua, Busro, Aji, Dheny, Alvin, Adimas, dan Yusuf) yang telah meluangkan waktunya untuk bekerja sama, saling memikul berat-ringan permasalahan yang dihadapi dalam penyelesaian Skripsi ini, sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
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 : I Made Aditya Iswara

NIM : 121910101092

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Karakterisasi Biogas Berbasis Limbah Pasar (Sayuran) Yang Sudah Dipurifikasi Dengan 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, 24 Juni 2016

Yang menyatakan,

(I Made Aditya Iswara)

NIM 121910101092

SKRIPSI

**KARAKTERISASI BIOGAS BERBASISKAN LIMBAH PASAR
(SAYURAN) YANG SUDAH DIPURIFIKASI DENGAN KOH**

Oleh

I Made Aditya Iswara

NIM 121910101092

Pembimbing:

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

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Karakterisasi Biogas Berbasiskan Limbah Pasar (Sayuran) Yang Sudah Dipurifikasi Dengan KOH” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : 24 Juni 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

DPU,

DPA,

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

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

Penguji I,

Penguji II,

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

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

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

RINGKASAN

Karakterisasi Biogas Berbasis Limbah Pasar (Sayuran) Yang Sudah Dipurifikasi Dengan KOH; I Made Aditya Iswara, 121910101092; 2016; 64 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 pasar (sayuran) 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 dan 0,1% pada larutan KOH 4 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 menyala pada AFR 5:1-9:1. Kecepatan rambat api dan jumlah ion biogas tanpa purifikasi paling besar terjadi pada AFR 4:1 yaitu 3413,7 mm/s dan 21,256 volt, sedangkan pada biogas setelah purifikasi terjadi pada AFR 6:1 yaitu 7500 mm/s dan 45,532 volt.

SUMMARY

Characterization of (KOH) Purified Biogas From Traditional Market Organic Waste; I Made Aditya Iswara. 121910101092; 2016; 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 4 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 “Karakterisasi Biogas Berbasis Limbah Pasar (Sayuran) Yang Sudah Dipurifikasi Dengan KOH”. skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

1. Bapak Boy Arief F., S.T., M.T., PhD. dan Bapak Dr.Nasrul Ilminnafik, 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 Ahmad Adip Rosyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga penyusunan Skripsi ini dapat menjadi lebih baik;
3. Bapak Nurkoyim, S.T., M.T. yang telah meluangkan waktu untuk mengajari dan membimbing dalam melakukan penelitian sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik;
4. Teman-temanku (Ivan, Abdi, Roni, Hemas, Josua, Busro, Aji, Dheny, Alvin, Adimas, dan Yusuf) yang telah meluangkan waktunya untuk bekerja sama, saling memikul berat-ringan permasalahan yang dihadapi dalam penyelesaian Skripsi ini, sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
5. Saudaraku, Keluarga Besar Teknik Mesin'12 Universitas Jember, yang senantiasa menemani, membantu, memotivasi, memberi dukungan, dan semangat dalam menyelesaikan aktivitas akademik perguruan tinggi;

6. Civitas akademik baik dilingkungan Universitas Jember maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan, dan lembaga terkait;
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

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

Jember, 24 Juni 2016

I Made Aditya Iswara

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTO	iii
PERNYATAAN	iv
PEMBIMBING	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kebutuhan Energi	6
2.2 Sampah	8
2.3 Biogas	9
2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas	10
2.5 Absorpsi	12
2.6 <i>Air Fuel Ratio</i> (AFR)	15
2.7 Karakteristik Warna Api	16
2.8 Sensor Ion	18

2.9 Pengujian Rambat Api dan Perilaku Ion	19
2.10 Karakteristik Pembakaran	21
2.10.1 Kalor Pembakaran	21
2.10.2 Laju Rambat Api	22
2.10.3 Perilaku Ion	23
2.9 Hipotesa	25

BAB 3 METODOLOGI PRAKTIKUM

3.1 Metode Penelitian.....	27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	28
3.3 Variabel Penelitian	28
3.3.1 Variabel Bebas	28
3.3.2 Variabel Kontrol.....	28
3.3.3 Variabel Terikat	29
3.4 Metode Pengumpulan Data	29
3.5 Pengamatan yang Dilakukan	29
3.6 Proses Pembuatan Biogas	29
3.7 Peralatan Penelitian	30
3.7.1 Alat Purifikasi	30
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 Kalor Pembakaran	40
4.3 Cepat Rambat Api	44
4.4 Perilaku Ion	51
4.5 Hubungan Karakteristik Pembakaran Terhadap Kualitas Biogas	56

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran.....	63

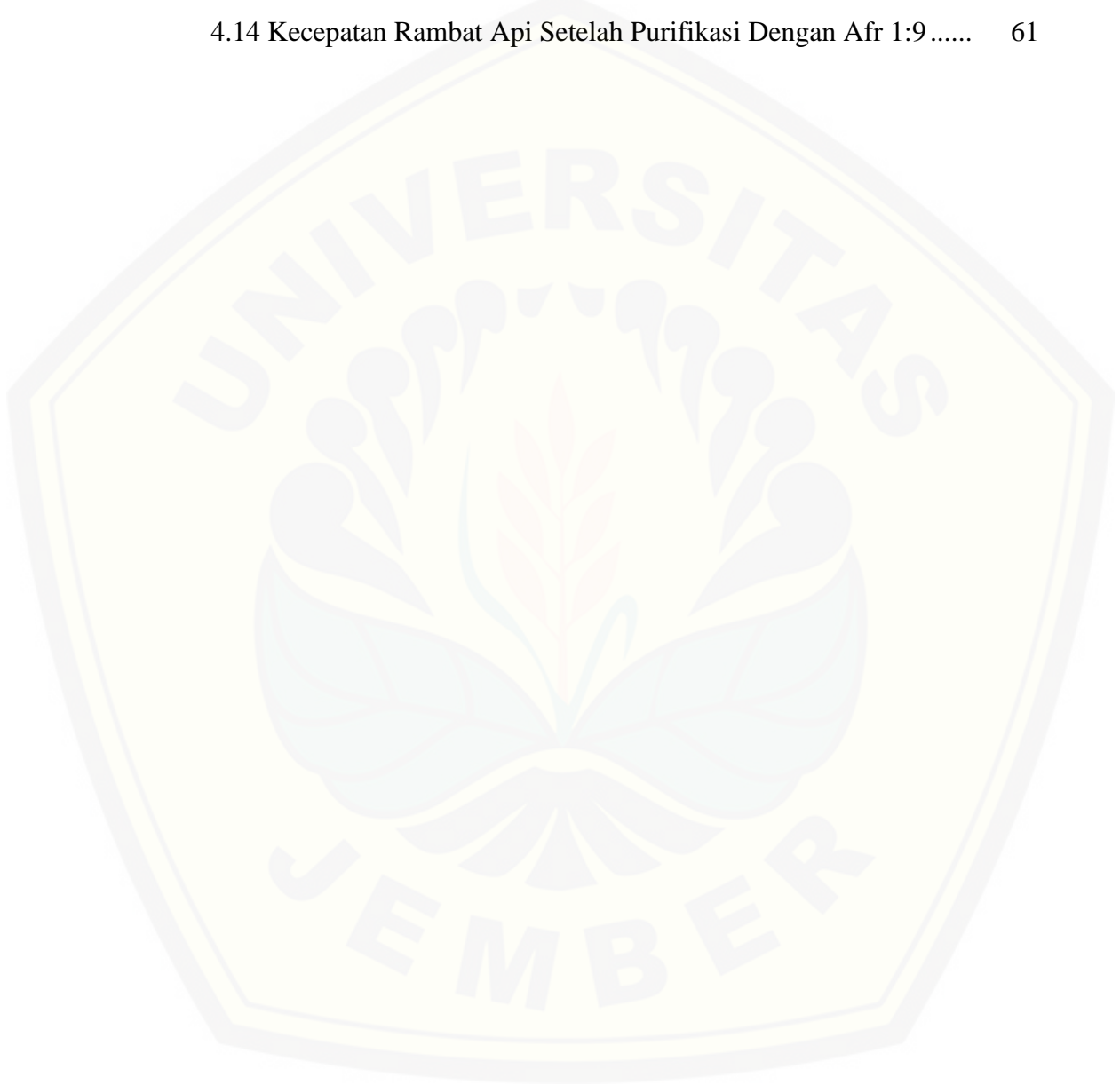
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

2.1	Kebutuhan Energi Primer Dunia.....	7
2.2	Nyala Api Merah.....	17
2.3	Nyala Api Biru.....	17
2.4	Nyala Api Hitam.....	18
2.5	Skema Sensor Ion Pada Mesin Hcci.....	19
2.6	<i>Helle Shaw-Cell</i>	20
2.7	Kecepatan Rambat Api Stoikiometri.....	23
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 Setelah Purifikasi.....	41
4.2	Perubahan Suhu Yang Terjadi Pada Pemanasan Air.....	44
4.3	Rambat Api Pembakaran Biogas Sebelum Purifikasi.....	45
4.4	Rambat Api Pembakaran Biogas Setelah Purifikasi.....	46
4.5	Kecepatan Rambat Api Biogas Sebelum & Sesudah Purifikasi.....	49
4.6	Perilaku Ion Pada Biogas Sebelum Purifikasi.....	52
4.7	Perilaku Ion Pada Biogas Yang Sudah Dipurifikasi.....	54
4.8	Kecepatan Rambat Api Sebelum Purifikasi Dengan Afr 1:4.....	57
4.9	Kecepatan Rambat Api Sebelum Purifikasi Dengan Afr 1:5.....	57
4.10	Kecepatan Rambat Api Setelah Purifikasi Dengan Afr 1:5.....	58

4.11 Kecepatan Rambat Api Setelah Purifikasi Dengan Afr 1:6	59
4.12 Kecepatan Rambat Api Setelah Purifikasi Dengan Afr 1:7	60
4.13 Kecepatan Rambat Api Setelah Purifikasi Dengan Afr 1:8	60
4.14 Kecepatan Rambat Api Setelah Purifikasi Dengan Afr 1:9	61



DAFTAR TABEL

2.1 Komposisi Pasar.....	9
2.2 Rasio C/N Berbagai Bahan Organik	11
2.3 Pembagian Temperatur Dan Waktu Pembentukan	12
2.4 Data Hasil Pengujian Sensor Ion	25
4.1 Persentase Komposisi Biogas	40
4.2 Perubahan Suhu Air Pada Biogas Sebelum Purifikasi	42
4.3 Perubahan Suhu Air Pada Biogas Setelah Purifikasi	42
4.4 Kalor Yang Diserap Air	43
4.5 Hasil Perhitungan Cepat Rambat Api Pembakaran Biogas	47
4.6 Kecepatan Rambat Api Pada Berbagai Penelitian	50
4.7 Besar Tegangan.....	55
4.8 Sinyal Ion Pada Berbagai Pengujian.....	55

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk Indonesia semakin hari semakin meningkat. 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). Pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin meningkat akan mempengaruhi perkembangan ekonomi. Hal ini juga akan menyebabkan kebutuhan terhadap energi ikut meningkat.

Energi adalah suatu kebutuhan pokok manusia yang sangat penting dalam menunjang kesejahteraan hidup manusia. Mayoritas penggunaan energi dunia adalah berasal dari bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil adalah bahan bakar yang berasal dari sisa-sisa makhluk hidup seperti tumbuh-tumbuhan, hewan yang terbentuk lewat proses alamiah berupa pembusukan dari organisme yang mati ratusan juta tahun lalu. Bahan bakar fosil meliputi batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui karena proses pembentukannya memerlukan waktu jutaan tahun.

Penggunaan energi fosil yang terus-menerus mengakibatkan semakin menipisnya cadangan energi fosil yang ada. Selain itu, penggunaan energi fosil juga mengakibatkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan makhluk hidup. Untuk mengatasi permasalahan akibat dari penggunaan energi fosil, maka diperlukan sumber energi baru terbarukan dan ramah lingkungan sebagai energi alternatif pengganti energi fosil. Salah satu energi alternatif yang dapat dikembangkan dengan teknologi tepat guna dan relatif sederhana adalah biogas.

Total konsumsi energi Indonesia meningkat dari 117 juta *tonne of oil equivalent* (TOE) pada tahun 2003 menjadi 174 juta TOE di 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. Jika keadaan ini tidak segera mungkin diatasi maka akan mengakibatkan terjadinya krisis energi yang melanda Indonesia.

Cadangan minyak bumi nasional mengalami peningkatan sebesar 1,9% selama periode 2012-2013 menjadi 7,5498 miliar barel (Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) diolah oleh DEN, 2013). Peningkatan cadangan minyak dikarenakan ditemukannya sumber minyak baru. Namun konsumsi BBM terus mengalami peningkatan sedangkan laju produksi dalam 18 tahun terus mengalami penurunan. Cadangan gas bumi mengalami penurunan sebesar 0,2% atau sebesar 0,31 *trillion standard cubic feet* (TSCF) pada tahun 2013 (Kementerian ESDM diolah oleh DEN, 2013). Sementara itu, tingkat produksi batubara yang mencapai 431 juta Ton pada tahun 2013, dan apabila diasumsikan bahwa tidak ada peningkatan cadangan terbukti, maka produksi batubara diperkirakan dapat bertahan dalam jangka waktu 50 tahun mendatang (Kementerian (ESDM) diolah oleh DEN, 2013).

Energi biogas sangat tepat dikembangkan di Indonesia, mengingat rata-rata penduduk Indonesia berprofesi sebagai petani. Bahan dasar biogas pada umumnya memanfaatkan kotoran ternak, misalnya sapi. Selain itu energi biogas dapat dihasilkan dengan memanfaatkan sampah organik seperti limbah sayur-sayuran maupun 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 sayur dan buah. Tingginya kandungan sampah organik yang dihasilkan membuat sampah pasar sangat berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biogas.

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, semakin cepat rambat api yang terjadi dan semakin banyak ion yang terbentuk selama proses pembakaran, maka semakin baik kualitas biogas yang dihasilkan.

Salah satu proses yang harus di perhatikan dari peningkatan biogas adalah proses purifikasi. Proses ini bertujuan untuk mengurangi kandungan CO_2 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).

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 penambahan KOH pada purifikasi terhadap rambat api biogas.
2. Bagaimana pengaruh penambahan KOH pada purifikasi terhadap perilaku ion biogas.
3. Bagaimana pengaruh penambahan KOH pada purifikasi terhadap kalor pembakaran biogas.
4. Bagaimana pengaruh AFR terhadap rambat api biogas yang sudah dipurifikasi.

5. Bagaimana pengaruh AFR terhadap perilaku ion biogas yang sudah dipurifikasi.

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Melakukan analisa kualitas (kalor pembakaran, perilaku ion, dan kecepatan rambat api pembakaran) biogas yang sudah dipurifikasi dengan menggunakan larutan KOH.
2. Mengetahui pengaruh AFR terhadap kecepatan rambat api dan perilaku ion biogas yang sudah dipurifikasi.

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 pasar 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



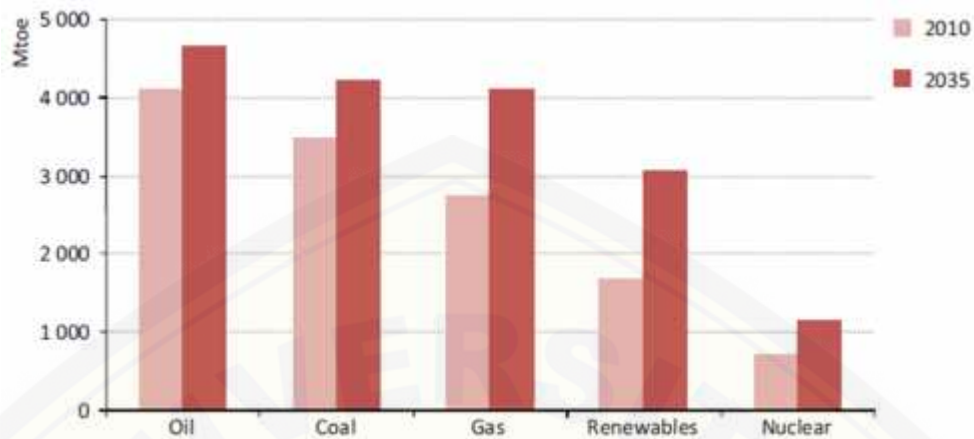
BAB. 2 TINJAUAN PUSTAKA

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.

Pada 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).

Salah satu penyumbang sampah terbesar dalam kehidupan adalah pasar tradisional. Begitu besarnya transaksi perbelanjaan di pasar mengakibatkan besarnya limbah pasar yang dihasilkan per harinya. Sampah pasar didominasi oleh sampah organik yang berasal dari sampah sayur dan buah. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Ramahdhani dan Tarigan (2014), sampah pasar terdiri dari 68,90% sampah organik dan 31,10% sampah anorganik, seperti yang ditunjukkan pada Tabel

2.1. Tingginya kandungan sampah organik yang dihasilkan membuat sampah pasar sangat berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan kompos ataupun bahan baku pembuatan biogas. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Felix et al. (2012), meneliti pemanfaatan sampah pasar (sayur) yang dicampur dengan rumen sapi sebagai starter dengan salah satu perbandingan yang digunakan yaitu konsentrasi *slurry* 9% (berat kering/volume) serta komposisi perbandingan berat sampah sayuran dan kotoran sapi yaitu 1 : 0,5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampah pasar dapat dijadikan bahan baku pembuatan biogas.

Tabel 2.1 Komposisi pasar

No.	Jenis Sampah	Berat sampah		Persentase (%)	
		a	b	a	b
1.	Organik	359,4169 kg	670,478 kg	68,90	76,369
	- Sayuran	203,7565 kg	494,319 kg	39,06	55,67
	- Buah	120,3968 kg	176,158 kg	23,08	20,699
	- Ikan, ayam, daging	35,2636 kg		6,76	
2.	Non organik	164,705 kg	207,467 kg	31,10	23,631
	- Plastik	74,4916 kg		14,28	
	- Kertas	50,1306 kg		9,61	
	- Kaca	12,1544 kg		2,33	
	- Kayu	25,6130 kg		4,91	
	Total	521.65 kg	877,946 kg	100	100

Keterangan: (a) Pasar setia budi, Medan; (b) Pasar sore padang bulan, Medan

Sumber: (a) Ramahdhani dan Tarigan (2014); (b) Gurning et al. (2013)

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 CH₄ (55-70%), CO₂ (25-50%),

H₂O (1,5%), N₂ (0-0,5%), dan NH₃ (0-0,05%) (Deublein dan Steinhauser, 2008). Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH₄). 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 (CH₄) 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 metana berlangsung pada keadaan tanpa udara, itu sebabnya biodigester harus tetap dijaga dalam keadaan anaerobik. Udara (O₂) yang memasuki biodigester menyebabkan penurunan produksi gas metana 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, R.R. & Putri, D.A. (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 2.2 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 2.3 Pembagian temperatur dan waktu pembentukan

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

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 Steinhauser (2008), kandungan yang terdapat dalam biogas merupakan campuran gas metana CH₄ (55-70%), CO₂ (25-50%), H₂O (1,5%), N₂ (0-0,5%), dan NH₃ (0-0,05%). Kandungan gas selain metan merupakan zat

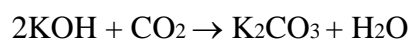
pengotor (*inhibitor*) yang menghambat dan menurunkan laju reaksi pembakaran pada biogas, yang salah satunya adalah karbon dioksida (CO₂). Karbon dioksida akan terurai dan bekerja dengan mengganggu rantai reaksi kimia pembakaran, sehingga reaksi kimia pembakaran terhambat. Biogas dapat terbakar apabila 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 di hasilkan sangat sedikit atau gas yang di hasilkan sebagian besar adalah CO₂ dapat terjadi. Bila kadar CO₂ tinggi maka akan mengakibatkan nilai kalor biogas tersebut rendah, sebaliknya jika kadar CH₄ tinggi maka biogas tersebut akan memiliki nilai kalor yang tinggi (Hamidi, 2011). Maka dari itu, untuk meningkatkan nilai kalor biogas, kadar gas CO₂ harus rendah. Usaha yang dapat dilakukan untuk menurunkan kandungan CO₂ yaitu dengan cara melakukan pemurnian biogas. Pemurnian tersebut dilakukan dengan cara menyerap CO₂ 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 CO_2 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 CO_2 semakin besar. Sedangkan, semakin tinggi suhu operasi menyebabkan penyerapan CO_2 semakin kecil. Sehingga didapatkan bahwa metode pemurnian biogas dengan metode absorpsi menggunakan larutan Ca(OH)_2 dapat mengurangi konsentrasi CO_2 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 dititrasi 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 :

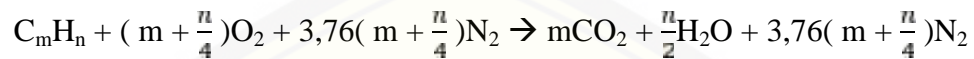
1. Absorpsi dengan menggunakan larutan penyerap.
2. Absorpsi menggunakan padatan.
3. Permeasi melalui membran.
4. Konversi kimia menjadi senyawa lain.
5. Kondensasi.

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 & 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:

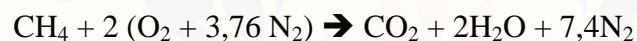


Maka AFR metana berbasis volume:

$$AFR_v = \frac{2(1+3,7)}{1} = 9,52$$

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

$$\begin{aligned} \text{Stokiometri AFR Metana murni berbasis massa : } \frac{U}{B} &= \frac{2(3 + 1,2)}{1 + 4} \\ &= \frac{2,5}{1} = 17,16 \end{aligned}$$

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 $1000^{\circ}C$. 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.



Gambar 2.3 Nyala api biru pada kompor gas

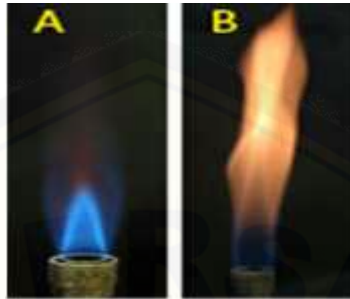
3. Api Putih

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

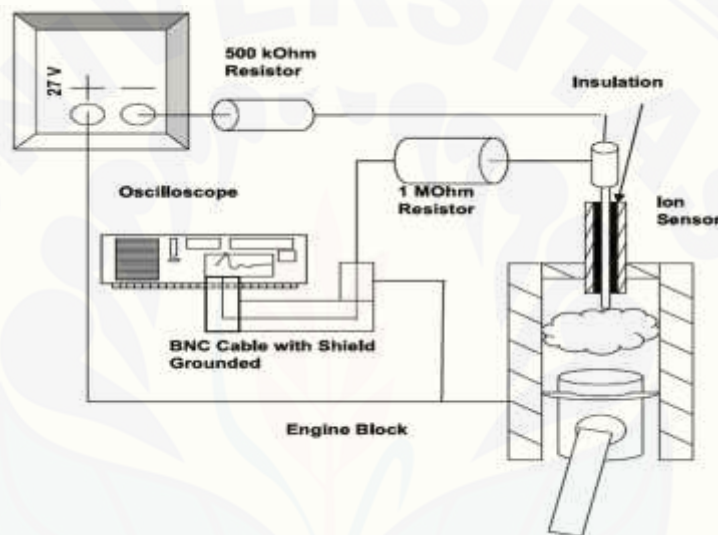
Warna api hitam pada Gambar 2.4 yaitu pada bagian pangkal api. Terlihat bahwa pada bagian tersebut terdapat warna api yang nyaris terlihat transparan, warna tersebut merupakan warna api hitam. Karena definisi warna hitam pada spektrum warna cahaya adalah sebenarnya ketiadaan cahaya, jadi kelihatannya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

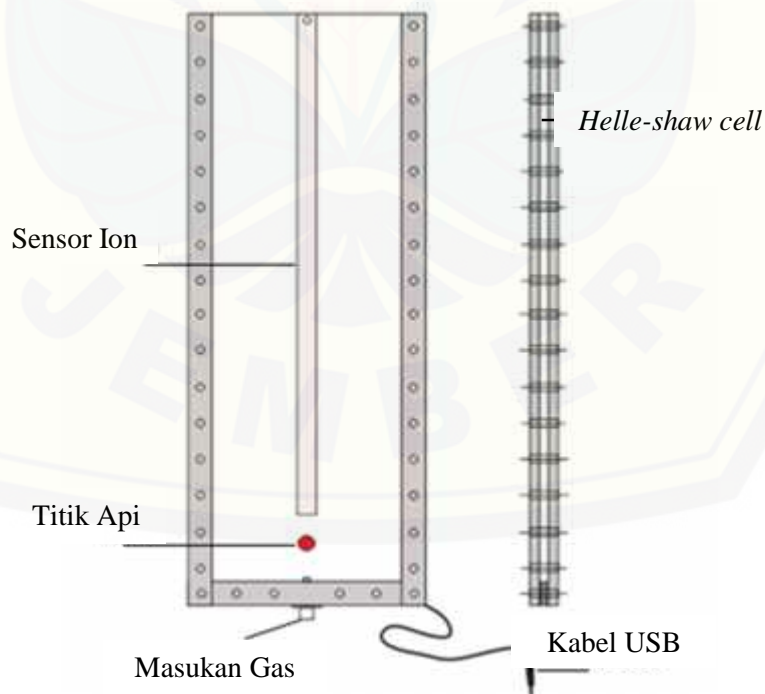


Gambar 2.5 Skema sensor ion pada mesin HCCI (Mehresh et al., 2005)

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:

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

Dengan:

Q = Kalor yang diterima suatu zat (kJ)

m = Massa zat (gram)

c = Kalor jenis zat (joule/gram^oC)

T = perubahan suhu (°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:

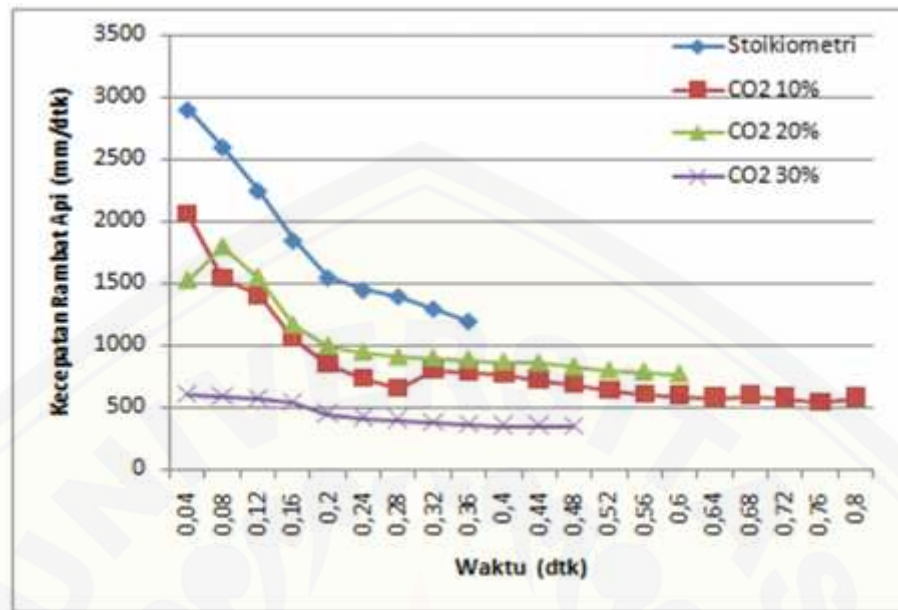
M_r = Berat molekul bahan bakar

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 ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kecepatan rambat api stoikiometri dengan berbagai kadar CO₂ pada penyalaaan atas (Sumber: Wahyudi et al., 2012)

Pada percobaan yang dilakukan, dengan melihat perubahan rambat api yang terjadi didapatkan bahwa kadar CO₂ dan N₂ berpengaruh pada karakteristik pembakaran gas metan. Kecepatan rambat api cenderung menurun setelah dilakukannya penambahan CO₂ maupun N₂. Hal ini membuktikan bahwa kandungan gas pengotor yang terdapat didalam biogas seperti CO₂ dan N₂ 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 $CH + O \rightarrow CHO^+ + e^-$ diikuti dengan cepat oleh reaksi pertukaran muatan $CHO^+ + H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + CO$. 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 4 M selama 15 menit pada proses pembakaran biogas di ruang bakar *helle-shaw cell*, dimana AFR pada biogas yang belum dipurifikasi adalah 4:1 sedangkan AFR pada biogas yang telah dipurifikasi adalah 5:1. Hasil penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 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).

2.9 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 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.



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 sebelum dipurifikasi dan biogas yang telah dipurifikasi menggunakan larutan KOH dengan konsentrasi sebesar 1 dan 4 molaritas, 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 (CO_2) menggunakan KOH. Biogas disirkulasikan sebanyak tiga kali pengulangan kelarutan purifikasi. Kemudian dilakukan pengecekan kandungan CO_2 pada kedua gas yang telah disirkulasikan kedalam larutan KOH dengan konsentrasi berbeda. Gas dengan konsentrasi CO_2 paling rendah 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* yang terdiri dari lima tahap penelitian, yaitu:

- I. Pada tahap ini dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan KOH pada proses purifikasi terhadap kalor pembakaran biogas dengan cara memanaskan air. Alat uji yang digunakan adalah kompor biogas.
- II. Pada tahap ini dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan KOH pada proses purifikasi terhadap perilaku ion dari nyala api biogas yang dilakukan pada ruang bakar *helle-shaw cell* yang telah dipasang sensor ion.
- III. Pada tahap ini dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan KOH pada proses purifikasi terhadap laju rambat api pembakaran biogas yang dilakukan pada ruang bakar *helle-shaw cell*.

- IV. Pada tahap ini dilakukan 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.
- V. Pada tahap ini dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan KOH pada proses purifikasi terhadap laju rambat api pembakaran biogas yang dilakukan pada ruang bakar *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 5 bulan pada bulan Januari 2015-Mei 2016

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga jenis variabel penelitian, yaitu:

3.3.1 Variabel Bebas

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

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

3.3.2 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang besarnya sudah ditentukan oleh peneliti.

Variabel kontrol pada penelitian ini, yaitu:

1. Perbandingan air : sampah pasar : kotoran sapi : jerami padi adalah 3 : 4,5 : 2 : 0,5 dalam satuan volume.

2. Larutan purifikasi menggunakan KOH dengan kandungan 1 M dan 4 M.

3.3.3 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebas dan variabel kontrolnya. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang meliputi data-data yang diperoleh pada pengujian kalor pembakaran, rambat api, dan perilaku ion pada biogas sebelum dan sesudah purifikasi, dan juga data dari pengujian rambat api dan perilaku ion pada variasi AFR.

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

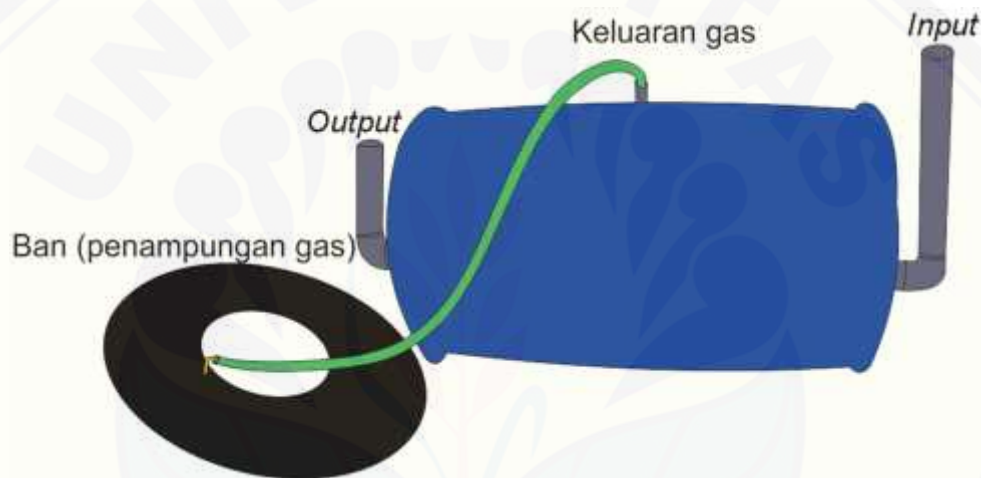
Terdapat tiga jenis penelitian yang akan diamati, yaitu:

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

3.6 Proses Pembuatan Biogas

Bahan utama biogas adalah sampah pasar organik yang diberi starter berupa kotoran sapi dan tambahan jerami padi untuk meningkatkan rasio C/N dengan perbandingan 3 : 4,5 : 2: 0,5 dalam satuan volume. Reaktor biogas terbuat dari drum plastik berbentuk pejal dengan tinggi 93 cm dan diameter lingkaran 58 cm. Drum

dirancang sedemikian rupa, yaitu dengan melakukan penambahan saluran *input* sebagai tempat masuknya bahan biogas, saluran *output* sebagai tempat keluaran pembuangan bahan biogas dengan menggunakan pipa berdiameter 2 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 kontinyu dan gas yang dihasilkan setelah 15 hari dari pertamakali pengisian bahan biogas disimpan dalam ban.

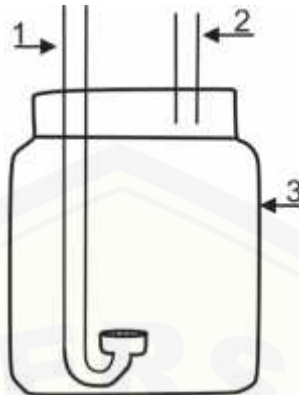


Gambar 3.1 Reaktor biogas

3.7 Peralatan Penelitian

3.7.1 Alat Purifikasi

Alat purifikasi yang digunakan terbuat dari toples kaca yang dimodifikasi dengan penambahan 2 selang ¼" 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

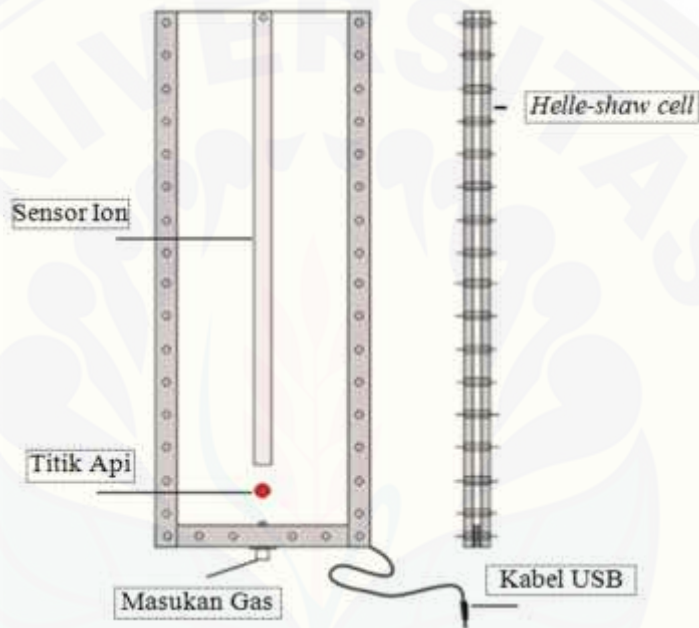
Kompor biogas yang digunakan merupakan kompor khusus untuk bahan bakar biogas yang diproduksi oleh BiogasBCL. Standart kompor biogas yang digunakan yaitu SNV seperti pada Gambar 3.3



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 dan 4 molaritas pada air jernih. Sesuai dengan rumus untuk menentukan molaritas yaitu:

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

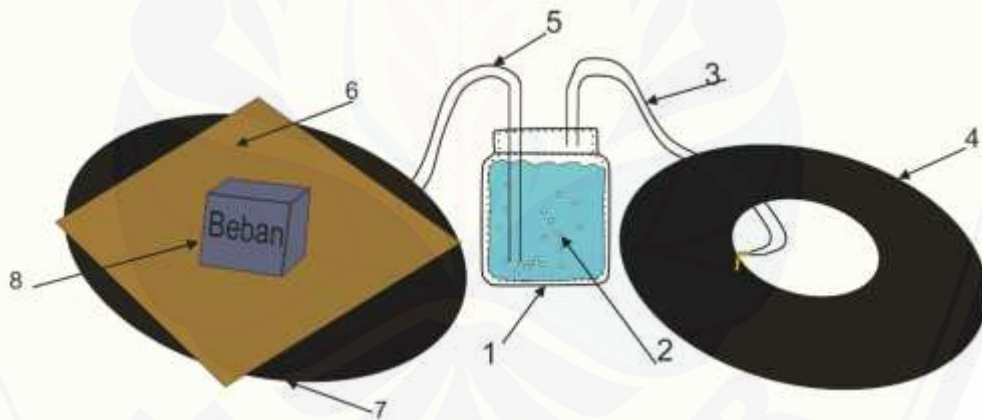
Dengan: M = Molaritas; V = Volume larutan (liter); n = Mol;
m = Massa (gram); Mr = Molekul relatif.

Dimana diketahui Mr untuk KOH adalah 56.

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

Maka, jika diasumsikan volume larutan adalah 1 liter maka dapat diketahui massa KOH dengan konsentrasi 1 molaritas adalah 56 gram dan untuk 4 molaritas adalah 224 gram.

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



Gambar 3.5 Skema pemurnian biogas

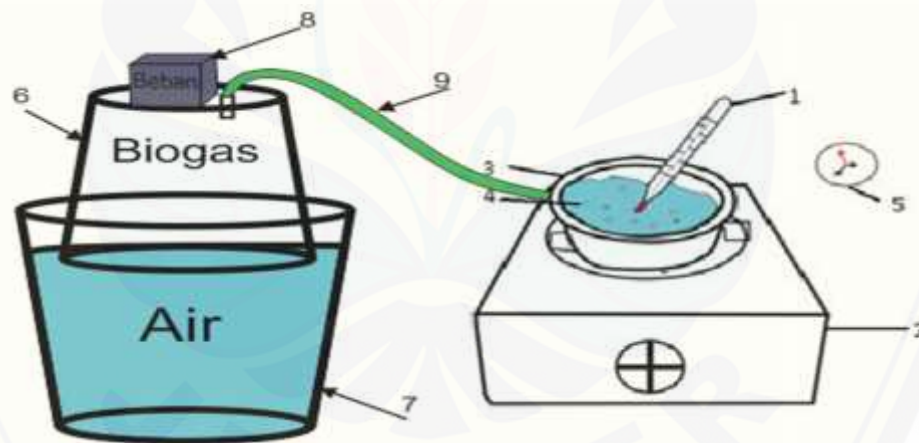
Keterangan gambar:

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

Selama proses purifikasi dilakukan pengukuran komposisi biogas setiap satu kali gas melewati larutan purifikasi dengan menggunakan alat gas analyzer. Pada proses ini didapatkan kemampuan pemurnian gas CO_2 pada larutan purifikasi KOH dengan konsentrasi 1 M dan 4 M.

3.8.2 Pengujian Kalor Pembakaran

Pada pengujian kalor pembakaran menggunakan biogas yang belum dipurifikasi dan biogas yang sudah dipurifikasi dengan kandungan CO_2 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:

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

Dengan:

Q = Kalor yang diterima suatu zat (kJ)

m = Massa zat (kilogram)

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

T = perubahan suhu (^oC)

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:

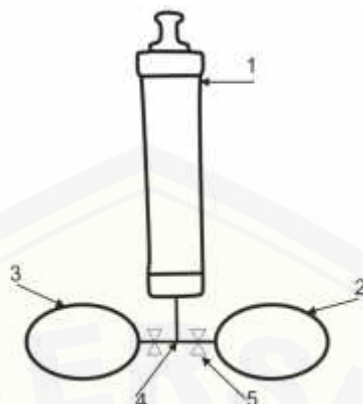
Mr = Berat molekul bahan bakar

m₁ = Massa awal bahan bakar (gram)

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

3.8.3 Pengujian Rambat Api dan Perilaku Ion

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.

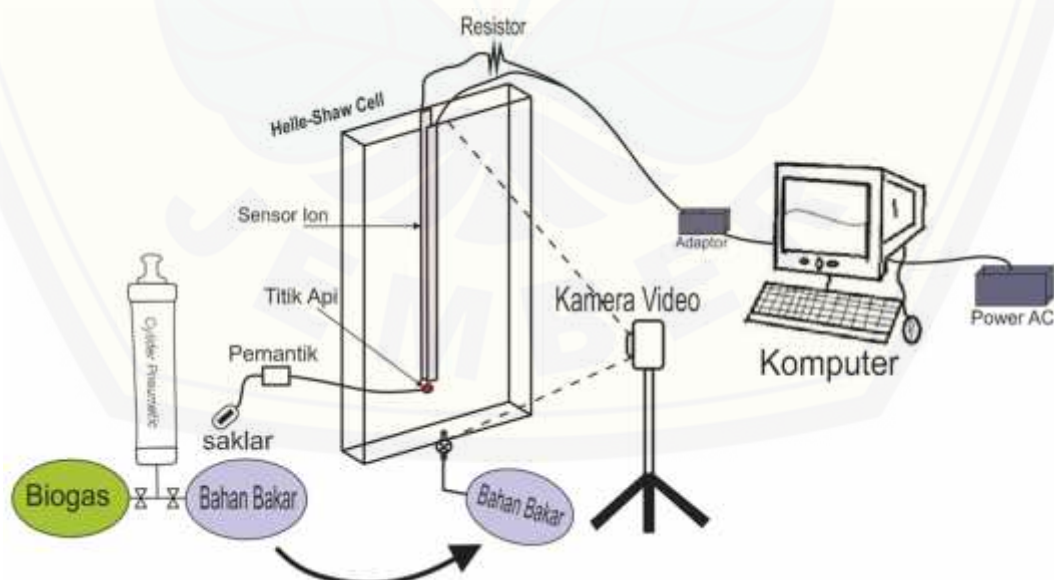


Gambar 3.7 Proses pencampuran biogas dan udara

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 1/4"
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 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/s* 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.

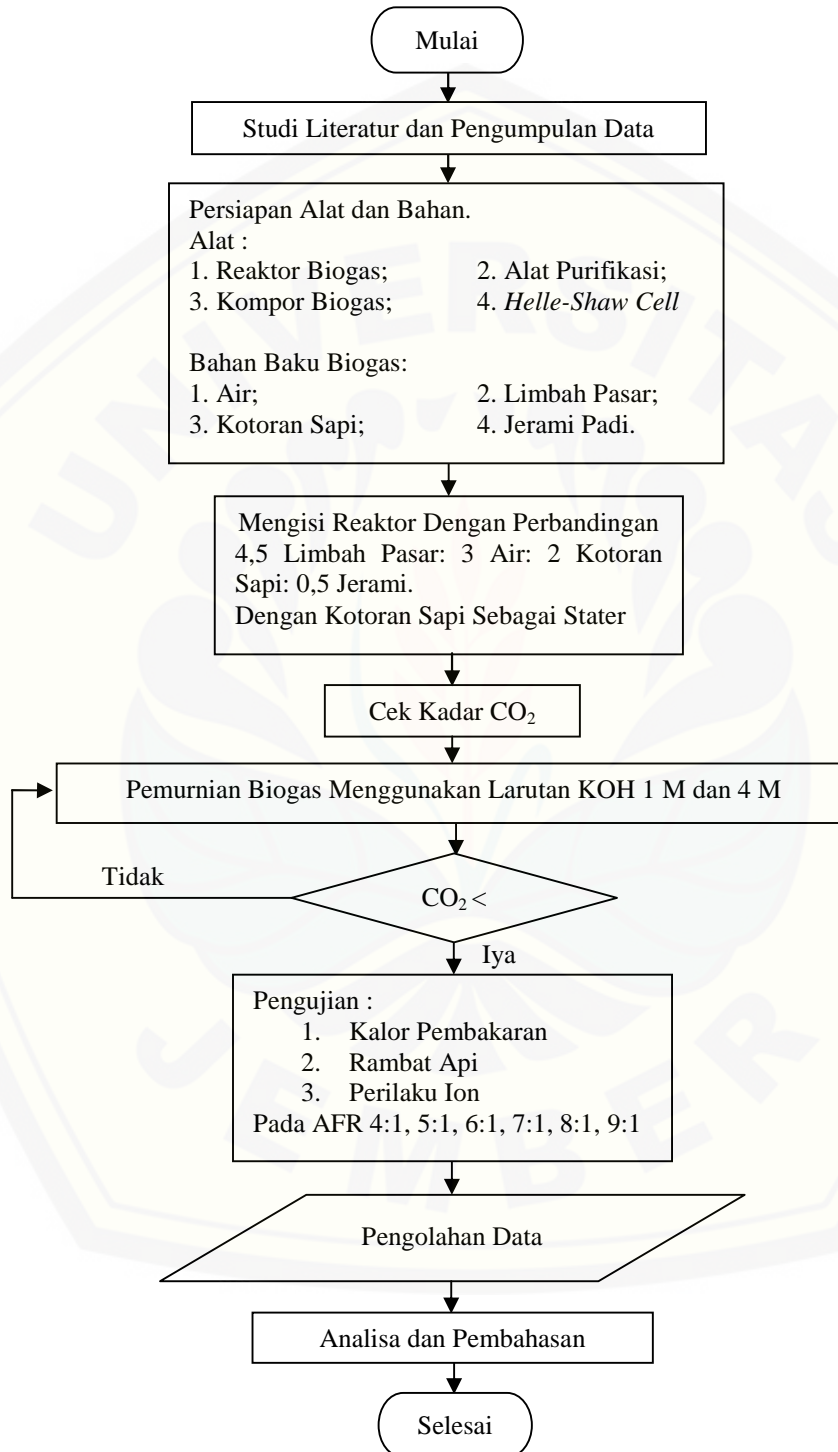
a. Hasil uji rambat api

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

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 sebelum purifikasi dan sesudah dipurifikasi. 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

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada skripsi yang berjudul Karakterisasi Biogas Berbasis Limbah Pasar (Sayuran) yang Sudah Dipurifikasi dengan KOH dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penambahan KOH pada purifikasi 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. 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. Penambahan KOH pada purifikasi menyebabkan terjadinya perbedaan titik nyala api pada ruang bakar *helle shaw cell*, dimana pada biogas yang belum dipurifikasi dapat nyala pada perbandingan AFR 4:1 dan 5:1, sedangkan pada biogas yang telah dipurifikasi dapat nyala pada AFR 5:1-9:1.

5.2 Saran

Adapun saran yang perlu disampaikan 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. Tekanan gas pada proses purifikasi sebaik konstan, sehingga debit gas yang mengalir melewati larutan purifikasi setiap waktunya sama.
3. 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.

4. Pengujian kalor pembakaran sebaiknya dilakukan di dalam ruang bakar yang terisolasi sehingga kalor yang hilang dapat dikurangi.
5. Dalam pengujian kalor pembakaran sebaiknya menggunakan termometer dengan ketelitian yang tinggi.
6. Disarankan dalam melakukan pengujian perilaku ion terlebih dahulu dipastikan noise yang terdapat pada osiloskop serendah mungkin.



DAFTAR PUSTAKA

- Al Seadi et al., 2008. *Biogas Handbook*. Denmark: University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10 DK-6700 Esbjerg.
- 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., R.J. Gill. 1994. Development of the kinetics for an ionic mechanism of soot formation in flame. Eastern section of the Combustion Institute. Fall Technical Meeting.
- 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.
- Deublein, D. & Steinhauser, A. 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resources*. ISBN 978-3-527-318414. Jerman: Strauss GmbH, Mörlenbach.
- Dewan Energi Nasional. 2014. *Outlook Energi Indonesia 2014*. Dewan Energi Nasional Republik Indonesia.
- 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.
- Franke, A. 2002. *Characterization of an Electrical Sensor for Combustion Diagnostics*. [Thesis]. Division of Combustion Physics. Lund Institute of Technology. ISSN 1102-8718.
- Fry. 1973. *Methane Digesters for Fuel Gas and Fertilizer*. The New Alchemy *Gas Dari Kotoran Ternak*. Jakarta: AgroMedia Pustaka.
- Gurning, N.H., Tarigan, A.P.M., dan Nasution, Z.P., 2013. *Studi Pengolahan Sampah Pasar Kota Medan (Studi Kasus: Pasar Sore Padang Bulan, Medan)*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Haryandi. 2011. *Penurunan Konsentrasi Gas CO_2 Pada Biogas dengan Metode Absorpsi Menggunakan Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$* . Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.


- Herawati, D.A. dan Wibawa, A.A. 2010. "Pengaruh *Pretreatment* Jerami Padi pada Produksi Biogas dari Jerami Padi dan Sampah Sayur Sawi Hijau Secara *Batch*". *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol. 4 (1): 25-29.
- Hessami, M.A., Christensen S. and Gani R. 1996. Anaerobic digestion of household.
- 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.
- Ilminnafik, N. 2012. *Pengaruh Karbon Dioksida Terhadap Perilaku Hambatan Pembakaran Refrigeran Liquefied Petroleum Gas (Lpg)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- International Energy Agency. 2012. *World Energy Outlook 2012*. ISBN: 978 92-64-18084-0.
- Law, C.K. 2006. *Combustion Physics*, Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge Cb2 2ru, UK, First Published.
- 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.
- Natarajan, J. 2008. *Experimental and Numerical Investigation of Laminar Flame Speed of H₂/CO/CO₂/N₂ Mixtur*. Disertasion. Georgia Institute of Technology.
- Nur, M. 2011. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro Semarang. ISBN: 978-979-097-093-9.

- Pranoto, B., Wardana, I.N.G., dan Hamidi, N. 2013. *Pengaruh Variasi Air Fuel Ratio (Afr) Terhadap Karakteristik Api Pembakaran Premixed Minyak Kapuk Pada Burner*. Malang: Universitas Brawijaya.
- 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 Limbahm Peternakan*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Simamora, S. et al. 2006. *Membuat Biogas Pengganti Bahan Bakar Minyak Dan Gas DariKotoran Ternak*. Jakarta: AgroMedia Pustaka.
- Utami, Saputro, Mahardiani, Yamtinah, dan Mulyani. 2009. *Kimia 2 : Untuk SMA/MA Kelas XI*. Program Ilmu Alam. Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- 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.

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





Lampiran A: Perhitungan Kalor
Pembakaran

Pengambilan data kalor pembakaran dilakukan dengan memanaskan air dan mengukur suhu air pada setiap kelipatan waktu 30 detik sampai dengan 150 detik 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)	Suhu (°C)	Suhu (°C)	Suhu (°C)	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 setelah purifikasi

Pengujian	30 detik	60 detik	90 detik	120 detik	150 detik
	Suhu (°C)	Suhu (°C)	Suhu (°C)	Suhu (°C)	Suhu (°C)
1	31	46	57	66	71
2	32	48	57	67	72,5
3	31	46	56,5	66	72
Rata-rata	31,33	46,7	56,83	66,3	71,83

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)
- T = perubahan suhu (°C/K)
- c = kalor jenis (J/g. °C)
- C = kapasitas kalor (J/°C)

Diketahui :

m air = 240 mililiter atau 0,24 kg

c air = 2400 j / kg

temperatur awal air = 25,5°C

Sebelum Purifikasi:

1. $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$
 $= 0,24 \cdot 4200 \cdot (29,16-25,5)$
 $= 1008 \cdot 3,66$
 $= 3.689,28 \text{ J}$
 $= 3,68 \text{ kJ}$
2. $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$
 $= 0,24 \cdot 4200 \cdot (35-25,5)$
 $= 1008 \cdot 9,5$
 $= 9.576 \text{ J}$
 $= 9,576 \text{ kJ}$
3. $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$
 $= 0,24 \cdot 4200 \cdot (42,3-25,5)$
 $= 1008 \cdot 16,83$
 $= 16.968 \text{ J}$
 $= 16,968 \text{ kJ}$
4. $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$
 $= 0,24 \cdot 4200 \cdot (47,16-25,5)$
 $= 1008 \cdot 21,66$
 $= 21.833 \text{ J}$
 $= 21,833 \text{ kJ}$
5. $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$
 $= 0,24 \cdot 4200 \cdot (49,83-25,5)$
 $= 1008 \cdot 24,33$
 $= 24.524 \text{ J}$
 $= 24,524 \text{ kJ}$

Sesudah Purifikasi:


$$\begin{aligned} 1. \quad Q &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (31,3-25,5) \\ &= 1008 \cdot 5,8 \\ &= 5.876,4 \text{ J} \\ &= 5,876 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (46,7-25,5) \\ &= 1008 \cdot 21,2 \\ &= 21.369,4 \text{ J} \\ &= 21,369 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (56,8-25,5) \\ &= 1008 \cdot 31,3 \\ &= 31.580 \text{ J} \\ &= 31,58 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (66,3-25,5) \\ &= 1008 \cdot 40,8 \\ &= 41.126,4 \text{ J} \\ &= 41,126 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5. &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= 0,24 \cdot 4200 \cdot (71,8-25,5) \\ &= 1008 \cdot 46,3 \\ &= 4.6700,4 \text{ J} \\ &= 46,7 \text{ kJ} \end{aligned}$$



Lampiran B: Data perhitungan kecepatan
rambat api

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

Biogas Tanpa Purifikasi

- Pada AFR 4:1

Pengujian ke 1		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	0.710945274
2	16.66666667	1.013681592
3	25	1.184742952
4	33.33333333	1.217661692
5	41.66666667	1.32159204
6	50	1.478689884
7	58.33333333	1.605970149
8	66.66666667	1.707960199
9	75	1.839966833
10	83.33333333	2.008756219
11	91.66666667	2.108548168
12	100	2.354063018
13	108.3333333	2.521316494
14	116.6666667	2.67217484
15	125	2.795920398
16	133.3333333	2.963401741
17	141.6666667	3.142171495
18	150	3.333333333

Pengujian ke 2		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	1.057363301
2	16.66666667	1.380744717
3	25	1.501211376
4	33.33333333	1.602146931
5	41.66666667	1.665213016
6	50	1.770248612
7	58.33333333	1.916391112
8	66.66666667	2.108800179
9	75	2.247915812
10	83.33333333	2.434932349
11	91.66666667	2.661136694
12	100	2.881173357
13	108.3333333	3.074652285
14	116.6666667	3.321640229
15	125	3.579887435
16	133.3333333	3.75

Pengujian ke 3		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	0.7999083
2	16.66666667	1.043795685
3	25	1.116803188
4	33.33333333	1.229488683
5	41.66666667	1.297205788
6	50	1.444896088
7	58.33333333	1.518420035
8	66.66666667	1.664557855

9	75	1.772048472
10	83.3333333	1.930783949
11	91.6666667	2.065756451
12	100	2.145565323
13	108.333333	2.337990015
14	116.666667	2.514942228
15	125	2.653346618
16	133.333333	2.781460238
17	141.666667	2.907665425
18	150	3.069636344
19	158.333333	3.157894737

21	175	0.718636392
22	183.333333	0.735916254
23	191.666667	0.749692293
24	200	0.769962854
25	208.333333	0.795972129
26	216.666667	0.802298836
27	225	0.825149262
28	233.333333	0.826752384
29	241.666667	0.839295531
30	250	0.860150428
31	258.333333	0.912157561
32	266.666667	0.91226885
33	275	0.931785147
34	283.333333	0.939394515
35	291.666667	0.943948767
36	300	0.958420814
37	308.333333	0.977067901
38	316.666667	1.004369066
39	325	1.013827093
40	333.333333	1.013667143
41	341.666667	1.020208625
42	350	1.011178276
43	358.333333	1.028121276
44	366.666667	1.033888245
45	375	1.051611564
46	383.333333	1.048657373
47	391.666667	1.039982407
48	400	1.030717186
49	408.333333	1.019019148
50	416.666667	1.007795953
51	425	0.998811125
52	433.333333	0.986644547
53	441.666667	0.972899804
54	450	0.956882695
55	458.333333	0.948325513
56	466.666667	0.937113754
57	475	0.92258569
58	483.333333	0.912997923

- Pada AFR 5:1

Pengujian ke 1		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	Api tidak terlihat
2	16.6666667	Api tidak terlihat
3	25	Api tidak terlihat
4	33.3333333	Api tidak terlihat
5	41.6666667	Api tidak terlihat
6	50	0.151408532
7	58.3333333	0.221044097
8	66.6666667	0.422343285
9	75	0.494966507
10	83.3333333	0.529358835
11	91.6666667	0.564671238
12	100	0.553693791
13	108.333333	0.583298874
14	116.666667	0.597229409
15	125	0.615393489
16	133.333333	0.638468149
17	141.666667	0.653413062
18	150	0.665447708
19	158.333333	0.67741771
20	166.666667	0.695250675

Pengujian ke 2		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	0.39082802
2	16.6666667	0.39082802
3	25	0.39082802
4	33.3333333	0.39082802
5	41.6666667	0.39082802
6	50	0.39082802
7	58.3333333	0.39082802
8	66.6666667	0.39082802
9	75	0.407999725
10	83.3333333	0.414456287
11	91.6666667	0.482899583
12	100	0.536758898
13	108.333333	0.538372598
14	116.666667	0.564826459
15	125	0.562613763
16	133.333333	0.581970568
17	141.666667	0.621231905
18	150	0.606905315
19	158.333333	0.634738541
20	166.666667	0.655255114
21	175	0.664087095
22	183.333333	0.683465104
23	191.666667	0.702143576
24	200	0.728724257
25	208.333333	0.743191419
26	216.666667	0.754802134
27	225	0.767231807
28	233.333333	0.796619954
29	241.666667	0.809888692
30	250	0.832862065
31	258.333333	0.852902
32	266.666667	0.860323916
33	275	0.870043491
34	283.333333	0.879201428

35	291.666667	0.890426529
36	300	0.908602643
37	308.333333	0.942986534
38	316.666667	0.975560747
39	325	0.966855086
40	333.333333	0.974485707
41	341.666667	0.990614755
42	350	1.012460117
43	358.333333	1.024839338
44	366.666667	1.026329428
45	375	1.015633884
46	383.333333	1.011338801
47	391.666667	1.009148257
48	400	1.063121759
49	408.333333	1.056971047
50	416.666667	1.064913626
51	425	1.045224885
52	433.333333	1.026544375
53	441.666667	1.01491908
54	450	1.012952554
55	458.333333	1.011057538
56	466.666667	0.99949139
57	475	0.998694348

Pengujian ke 3		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	Api tidak terlihat
2	16.6666667	Api tidak terlihat
3	25	Api tidak terlihat
4	33.3333333	Api tidak terlihat
5	41.6666667	Api tidak terlihat
6	50	Api tidak terlihat
7	58.3333333	Api tidak terlihat
8	66.6666667	Api tidak terlihat
9	75	Api tidak terlihat
10	83.3333333	Api tidak terlihat
11	91.6666667	Api tidak terlihat

12	100	0.345282559
13	108.3333333	0.403794882
14	116.6666667	0.401290169
15	125	0.429858445
16	133.3333333	0.454877468
17	141.6666667	0.485071427
18	150	0.511910501
19	158.3333333	0.523799755
20	166.6666667	0.52988226
21	175	0.544513253
22	183.3333333	0.55119237
23	191.6666667	0.567321867
24	200	0.578259051
25	208.3333333	0.584640942
26	216.6666667	0.599392243
27	225	0.611347004
28	233.3333333	0.619149408
29	241.6666667	0.620056319
30	250	0.630126801
31	258.3333333	0.645494815
32	266.6666667	0.655578564
33	275	0.672042599
34	283.3333333	0.676682943
35	291.6666667	0.686325681
36	300	0.700563626
37	308.3333333	0.706553009
38	316.6666667	0.709796727
39	325	0.727064918
40	333.3333333	0.731933852
41	341.6666667	0.752316456
42	350	0.749772013
43	358.3333333	0.764504203
44	366.6666667	0.774376647
45	375	0.78380257
46	383.3333333	0.790818498
47	391.6666667	0.799500907
48	400	0.803973362
49	408.3333333	0.817680286

50	416.6666667	0.814235677
51	425	0.81815613
52	433.3333333	0.834344995
53	441.6666667	0.832516935
54	450	0.830763035
55	458.3333333	0.849191736
56	466.6666667	0.840612042
57	475	0.835567855
58	483.3333333	0.833882311
59	491.6666667	0.835378726
60	500	0.83067397
61	508.3333333	0.82367815
62	516.6666667	0.815778138
63	525	0.806674008
64	533.3333333	0.79604646
65	541.6666667	0.801890203
66	550	0.793943654

Biogas Dengan Dipurifikasi

- Pada AFR 5:1

Pengujian ke 1		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	4.079655374
2	16.66666667	3.932431793
3	25	4.312404336
4	33.33333333	4.893882253
5	41.66666667	5.768797437
6	50	6.853076231
7	58.33333333	7.591786498
8	66.66666667	7.5

Pengujian ke 2		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	2.674066518

2	16.6666667	3.299573518
3	25	3.857132531
4	33.3333333	4.90104974
5	41.6666667	5.96091786
6	50	6.943705976
7	58.3333333	7.918935137
8	66.6666667	7.5

Pengujian ke 3		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	2.584167585
2	16.6666667	2.654288864
3	25	2.819669239
4	33.3333333	3.339889746
5	41.6666667	3.789512679
6	50	4.303594267
7	58.3333333	4.969047094
8	66.6666667	5.555589857
9	75	6.120690922
10	83.3333333	6

- Pada AFR 6:1

Pengujian ke 1		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	2.758270054
2	16.6666667	3.107358995
3	25	3.677037377
4	33.3333333	4.678013219
5	41.6666667	5.955521296
6	50	7.154232201
7	58.3333333	8.270944282
8	66.6666667	7.5

Pengujian ke 2		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	2.024842146
2	16.6666667	3.005692327
3	25	3.438197589
4	33.3333333	4.097399388
5	41.6666667	5.037183494
6	50	5.853450475
7	58.3333333	6.879515822
8	66.6666667	7.5

Pengujian ke 3		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	2.536491791
2	16.6666667	2.301703085
3	25	2.728642933
4	33.3333333	3.61395675
5	41.6666667	4.497013758
6	50	5.464217492
7	58.3333333	6.511560963
8	66.6666667	7.5

- Pada AFR 7:1

Pengujian ke 1		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.33333333	1.332657348
2	16.6666667	1.441780739
3	25	1.610616193
4	33.3333333	1.758890418
5	41.6666667	2.077883199
6	50	2.269138843
7	58.3333333	2.638551183
8	66.6666667	3.067224355
9	75	3.599408781
10	83.3333333	4.095410541

11	91.6666667	4.733523399
12	100	5

Pengujian ke 2		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	1.540297054
2	16.66666667	1.96201607
3	25	2.14544274
4	33.33333333	2.623813002
5	41.66666667	3.15558802
6	50	3.767794822
7	58.33333333	4.379908866
8	66.66666667	5.201363526
9	75	5.840326813
10	83.33333333	6

Pengujian ke 3		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	2.112161372
2	16.66666667	2.474176574
3	25	2.723640616
4	33.33333333	3.235236796
5	41.66666667	3.7225687
6	50	4.477278633
7	58.33333333	5.108374864
8	66.66666667	5.775068213
9	75	6.494131532

- Pada AFR 8:1

Pengujian ke 1		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	1.034380801
2	16.66666667	1.29950556
3	25	1.518307407

4	33.33333333	1.627585131
5	41.66666667	1.836654237
6	50	2.095536902
7	58.33333333	2.345713488
8	66.66666667	2.574001676
9	75	2.816827373
10	83.33333333	3.03710761
11	91.66666667	3.561085169
12	100	3.916257371
13	108.3333333	4.216787697
14	116.6666667	4.285714286

Pengujian ke 2		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	1.630157248
2	16.66666667	1.897140118
3	25	1.92069014
4	33.33333333	2.014394434
5	41.66666667	2.3592659
6	50	2.534478057
7	58.33333333	2.725215521
8	66.66666667	3.040431668
9	75	3.343937729
10	83.33333333	3.704790157
11	91.66666667	4.107349034
12	100	4.486568225
13	108.3333333	4.615384615

Pengujian ke 3		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	2.104389126
2	16.66666667	2.073749938
3	25	2.052576515
4	33.33333333	2.140882143

5	41.66666667	2.378298487
6	50	2.564143016
7	58.33333333	2.894531445
8	66.66666667	3.20005148
9	75	3.525527121
10	83.33333333	3.911154657
11	91.66666667	4.250626899
12	100	4.610409021
13	108.3333333	4.615384615

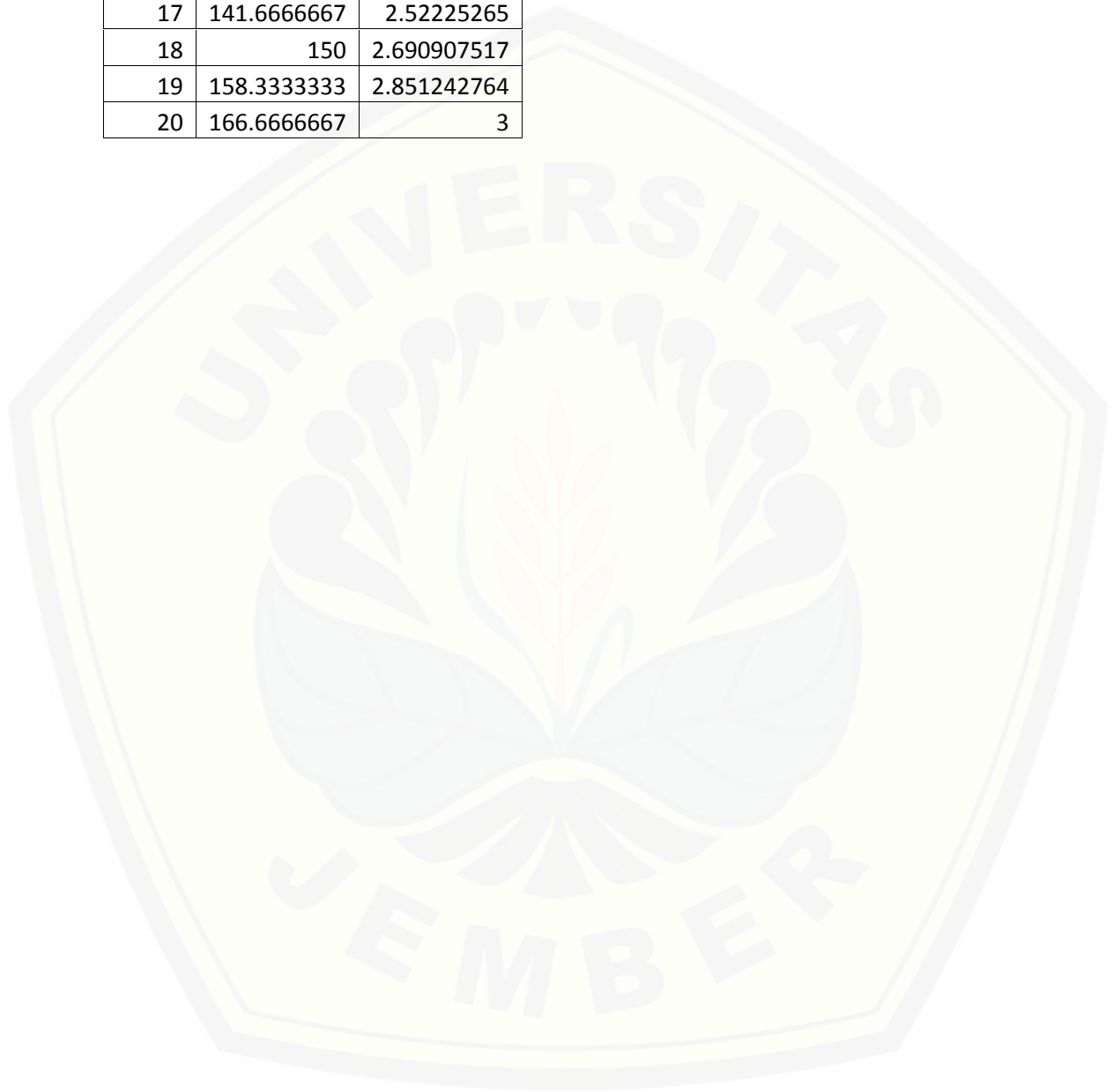
- Pada AFR 9:1

Pengujian ke 1		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	0.731474755
2	16.66666667	0.751055667
3	25	0.793452597
4	33.33333333	1.028764076
5	41.66666667	1.093261896
6	50	1.173833091
7	58.33333333	1.231432593
8	66.66666667	1.336524927
9	75	1.433284901
10	83.33333333	1.528741373
11	91.66666667	1.553594426
12	100	1.660631584
13	108.3333333	1.778916008
14	116.6666667	1.857802851
15	125	1.968216491
16	133.3333333	2.08170632
17	141.6666667	2.171247676
18	150	2.265880403
19	158.3333333	2.350533867
20	166.6666667	2.462750863
21	175	2.551421177
22	183.3333333	2.727272727

Pengujian ke 2		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	0.682222762
2	16.66666667	0.672050455
3	25	0.855491068
4	33.33333333	0.937208606
5	41.66666667	1.113121712
6	50	1.215421218
7	58.33333333	1.266064778
8	66.66666667	1.455445293
9	75	1.592794992
10	83.33333333	1.68022786
11	91.66666667	1.804783142
12	100	2.084249312
13	108.3333333	2.262086462
14	116.6666667	2.420912327
15	125	2.570519522
16	133.3333333	2.774327356
17	141.6666667	3.080813
18	150	3.333333333

Pengujian ke 3		
Frame ke	Waktu (ms)	Kecepatan (mm/ms)
1	8.333333333	0.441146575
2	16.66666667	0.590397777
3	25	0.621625895
4	33.33333333	0.880853154
5	41.66666667	0.98705699
6	50	1.057859547
7	58.33333333	1.143670316
8	66.66666667	1.348089042
9	75	1.417444076
10	83.33333333	1.486379345
11	91.66666667	1.57536947
12	100	1.727965259
13	108.3333333	1.877778994

14	116.6666667	2.05101211
15	125	2.21309661
16	133.3333333	2.377325168
17	141.6666667	2.52225265
18	150	2.690907517
19	158.3333333	2.851242764
20	166.6666667	3

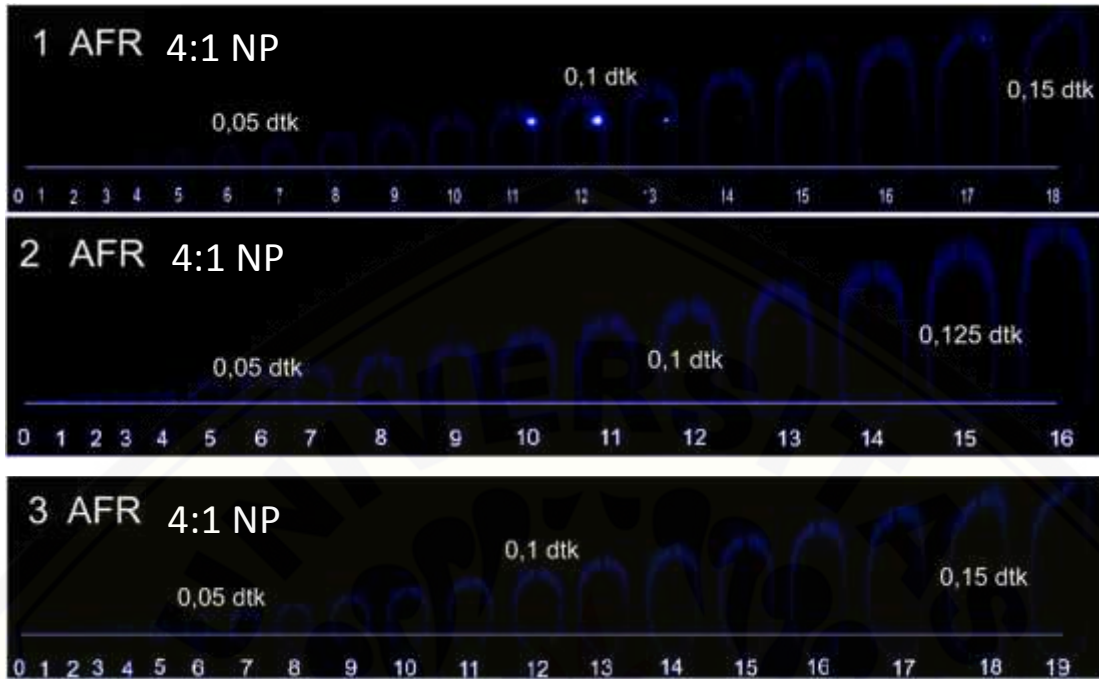




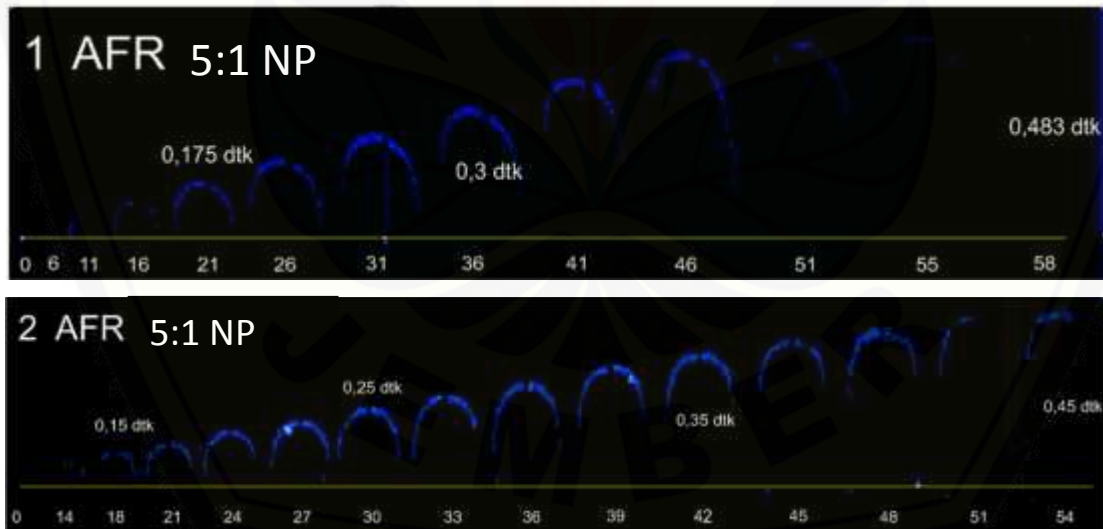
Lampiran : Data rambat api

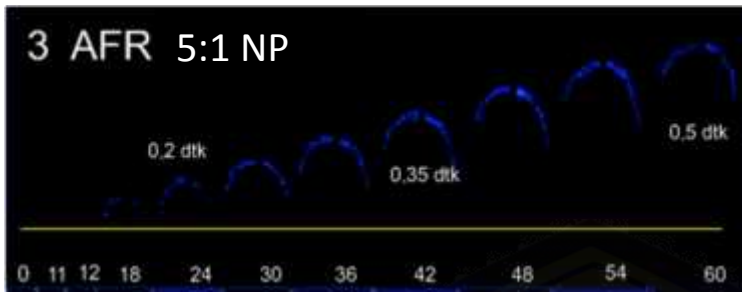


Nyala api pada biogas sebelum purifikasi dengan AFR 4:1

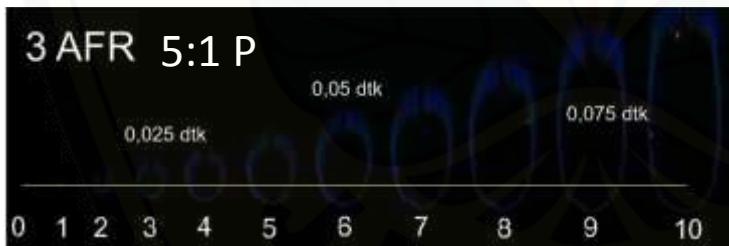
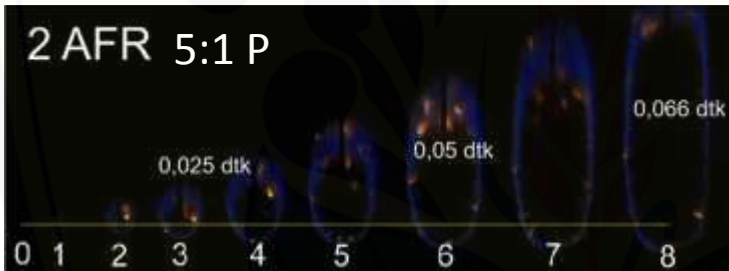


Nyala api pada biogas sebelum purifikasi dengan AFR 5:1

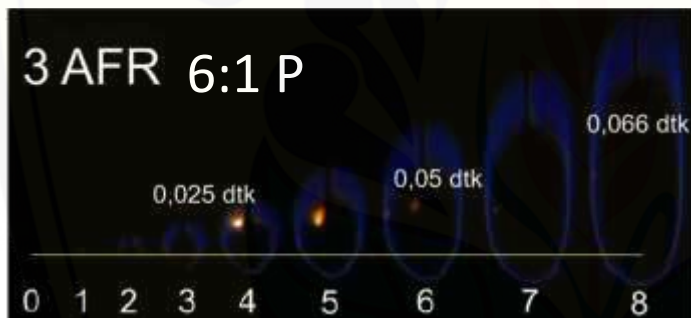
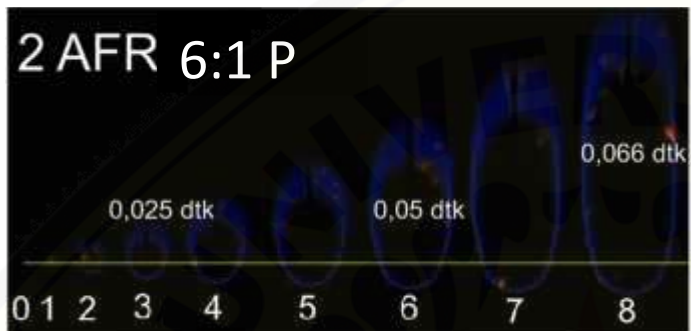
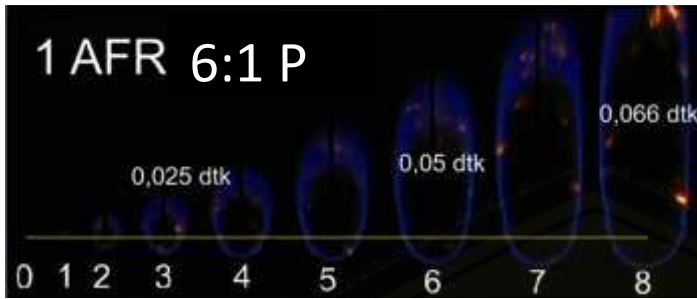




Nyala api pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 5:1

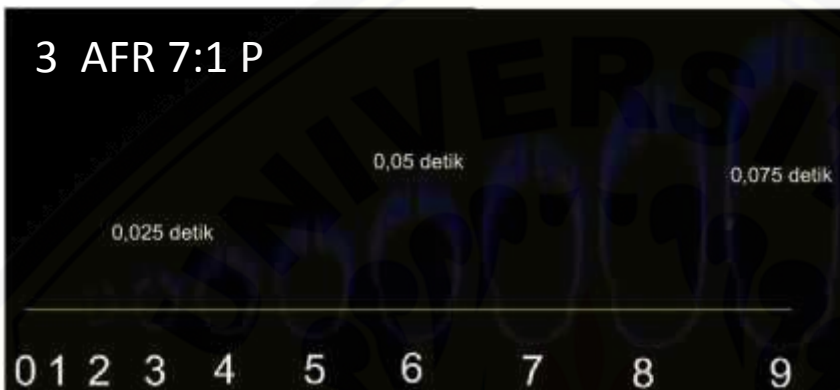
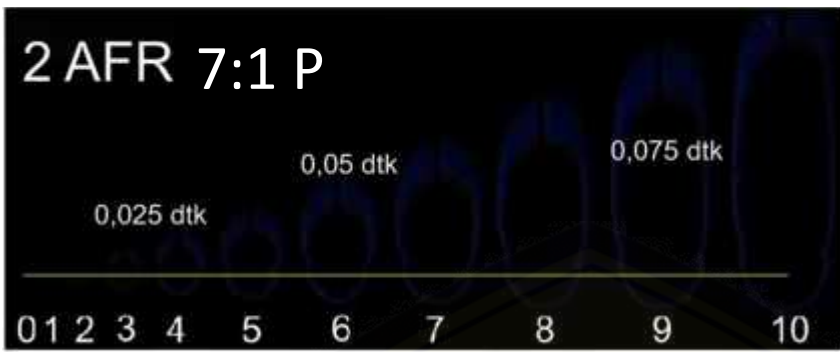


Nyala api pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 6:1

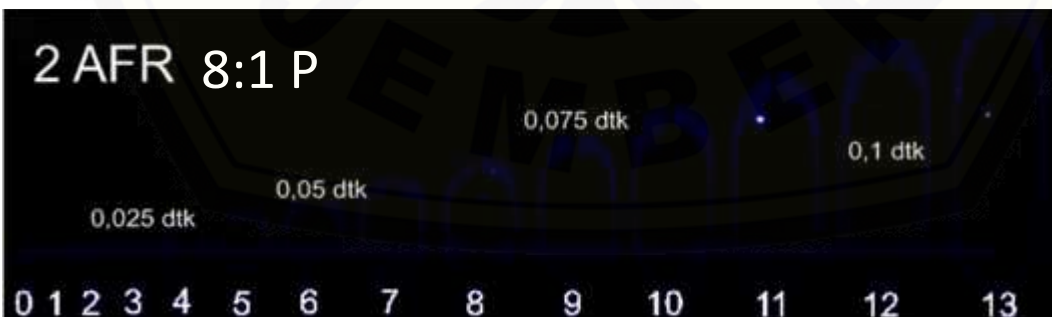


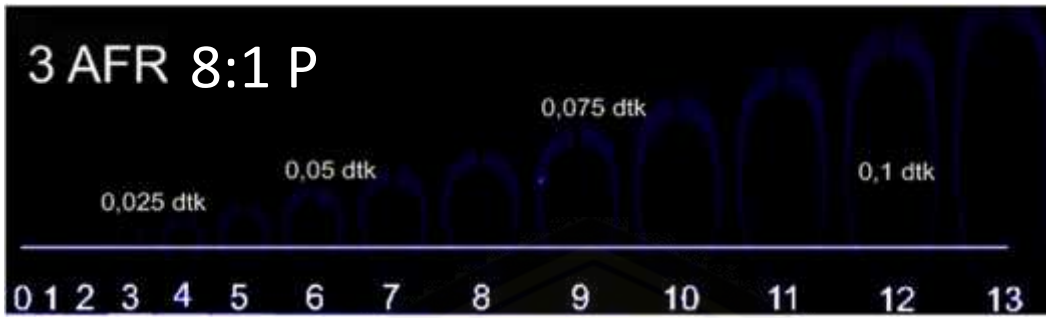
Nyala api pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 7:1



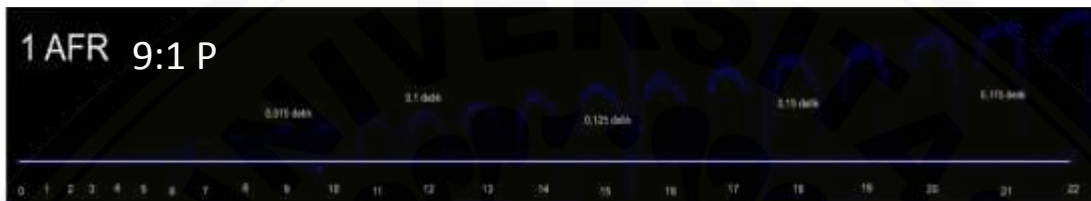


Nyala api pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 8:1





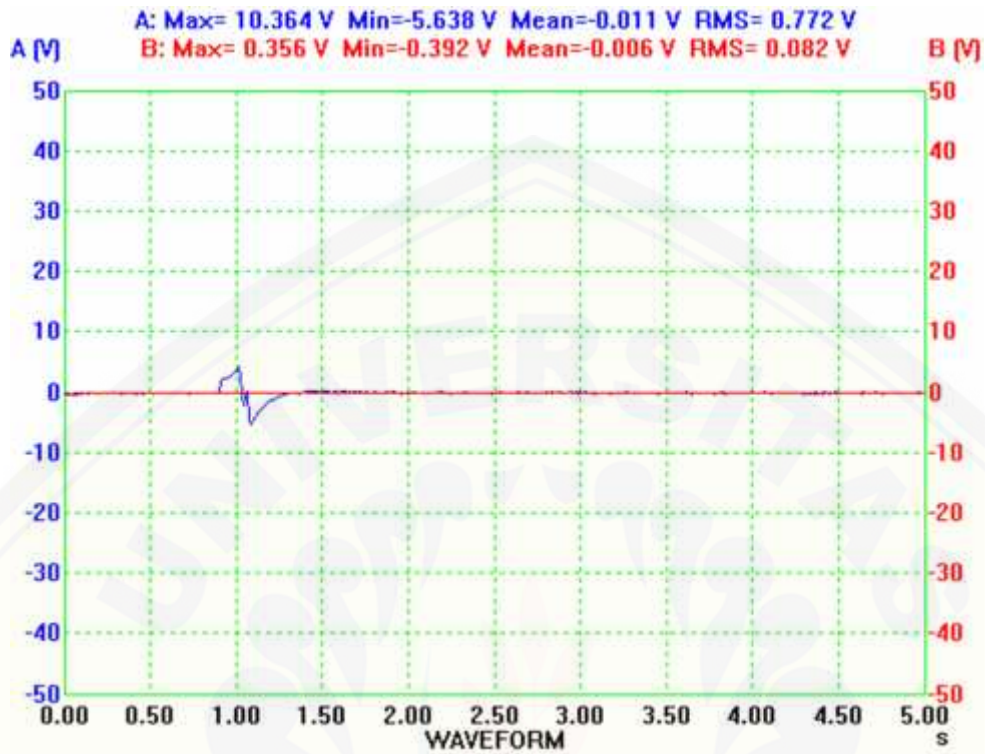
Nyala api pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 9:1

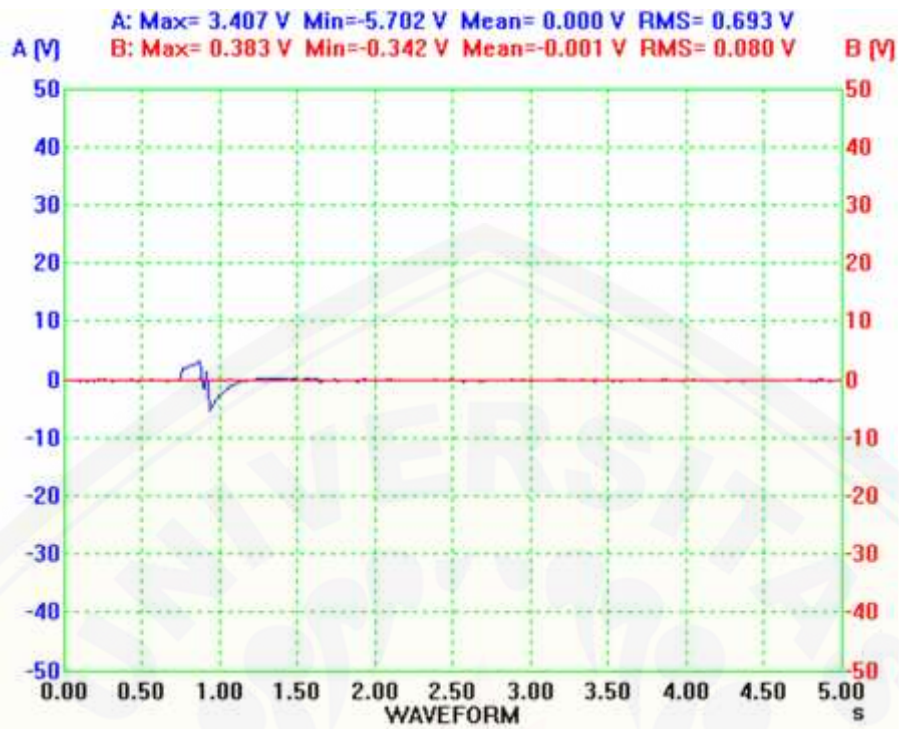


Lampiran C: Perilaku ion

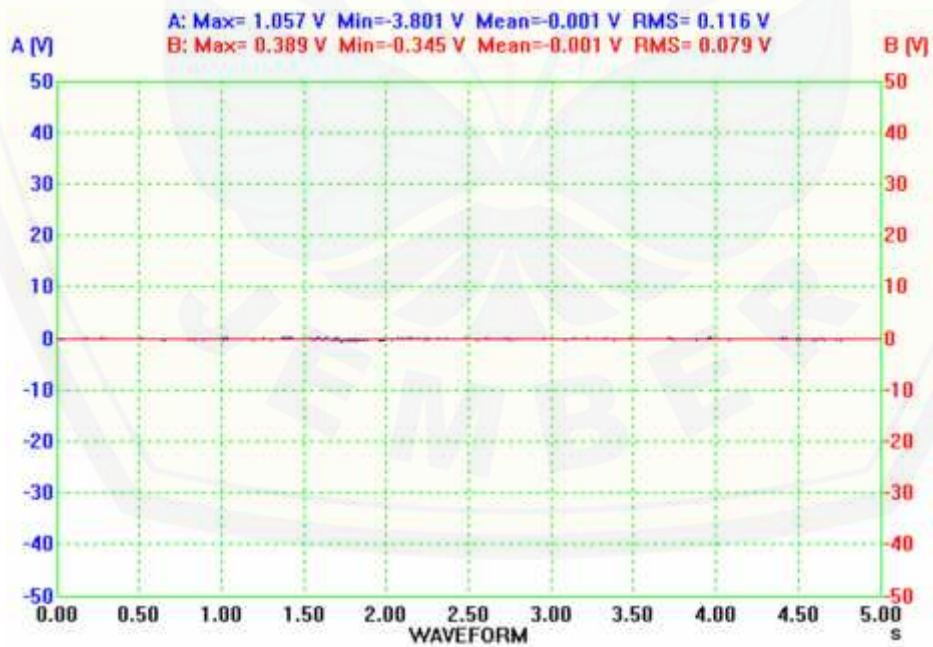


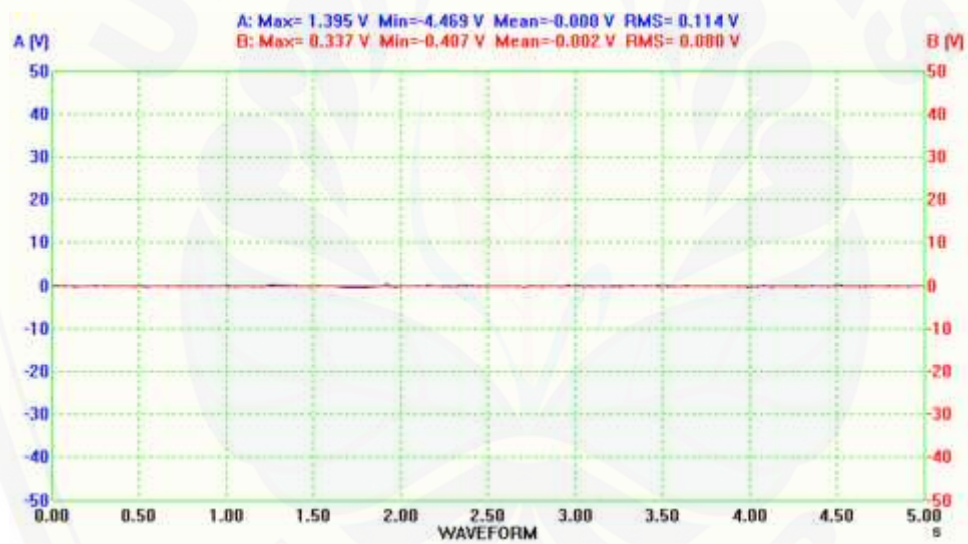
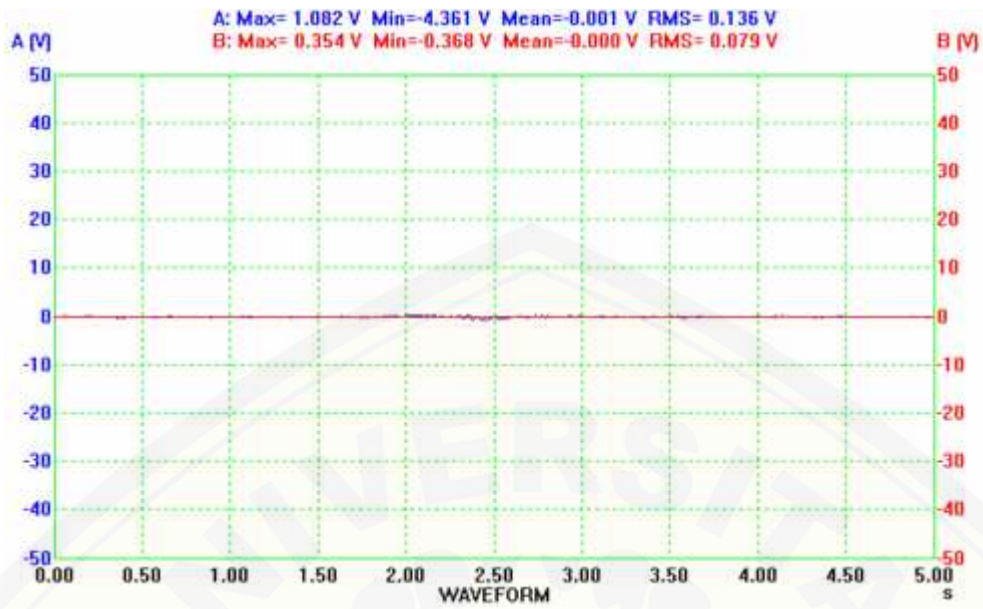
Perilaku ion pada biogas sebelum purifikasi dengan AFR 4:1



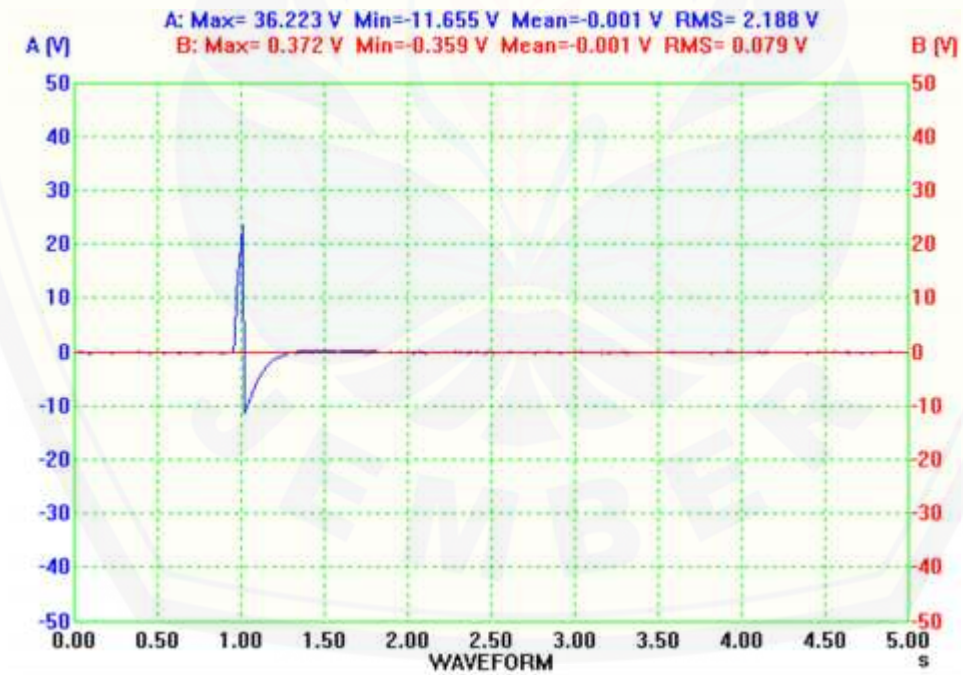
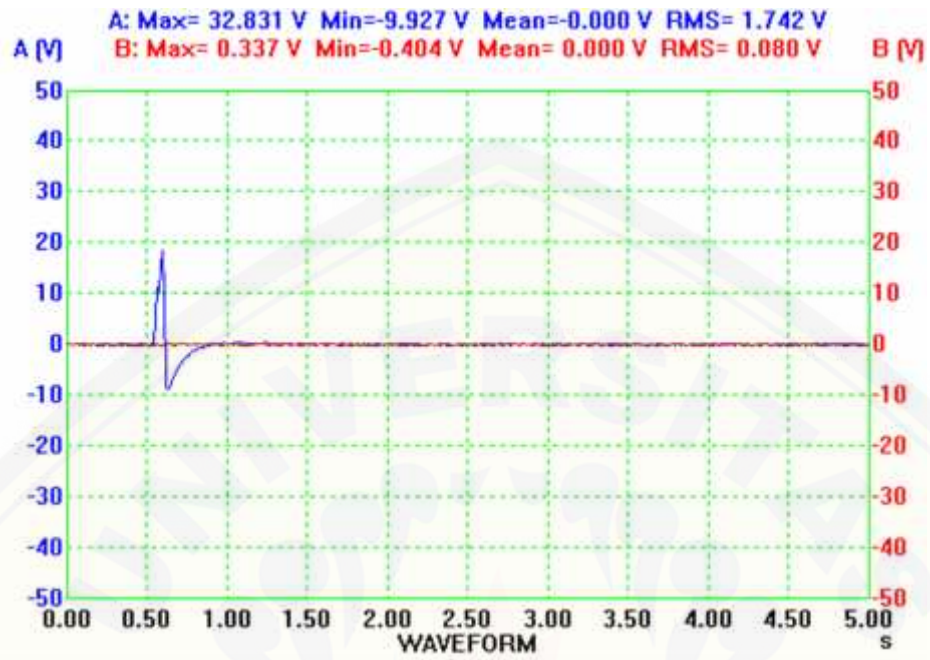


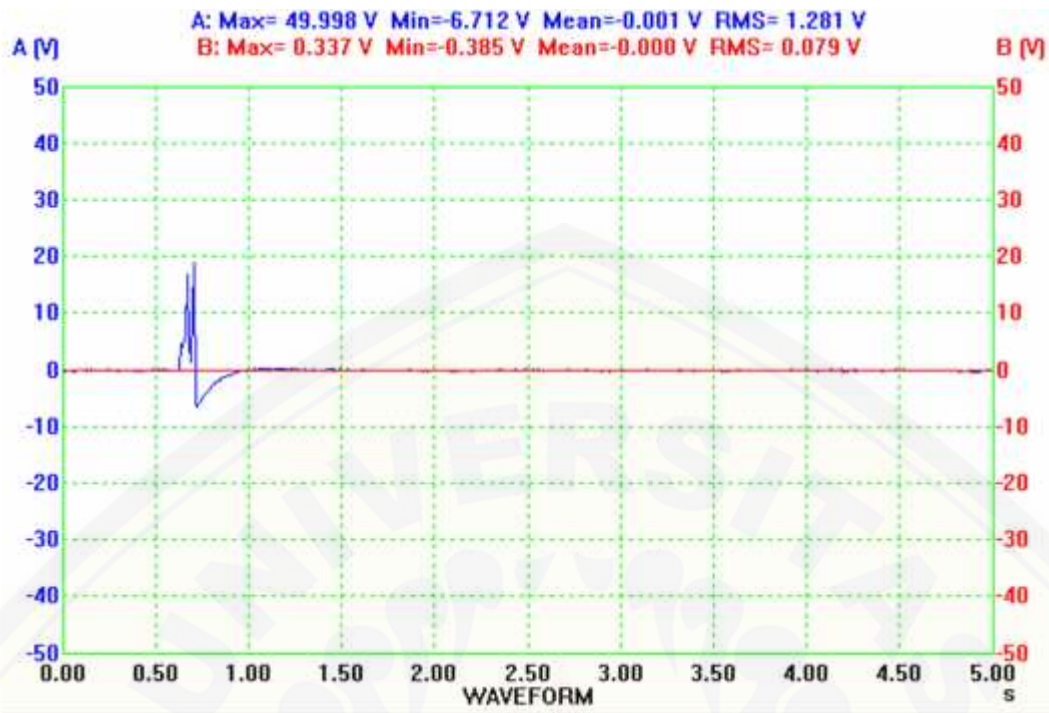
Perilaku ion pada biogas sebelum purifikasi dengan AFR 5:1



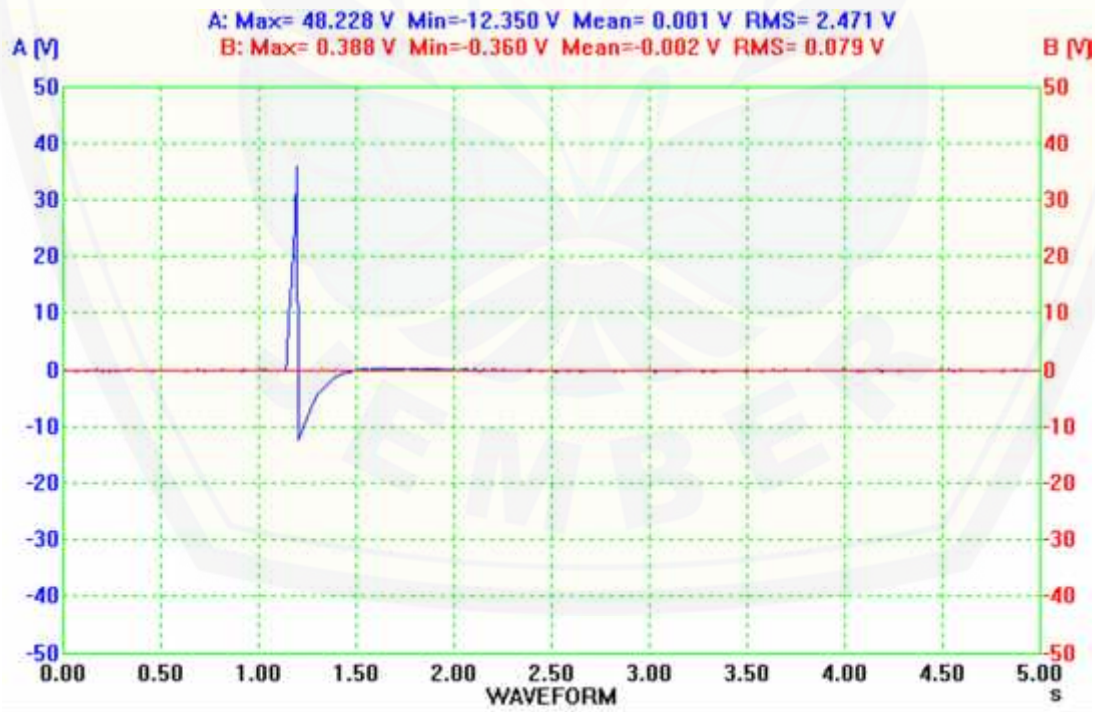


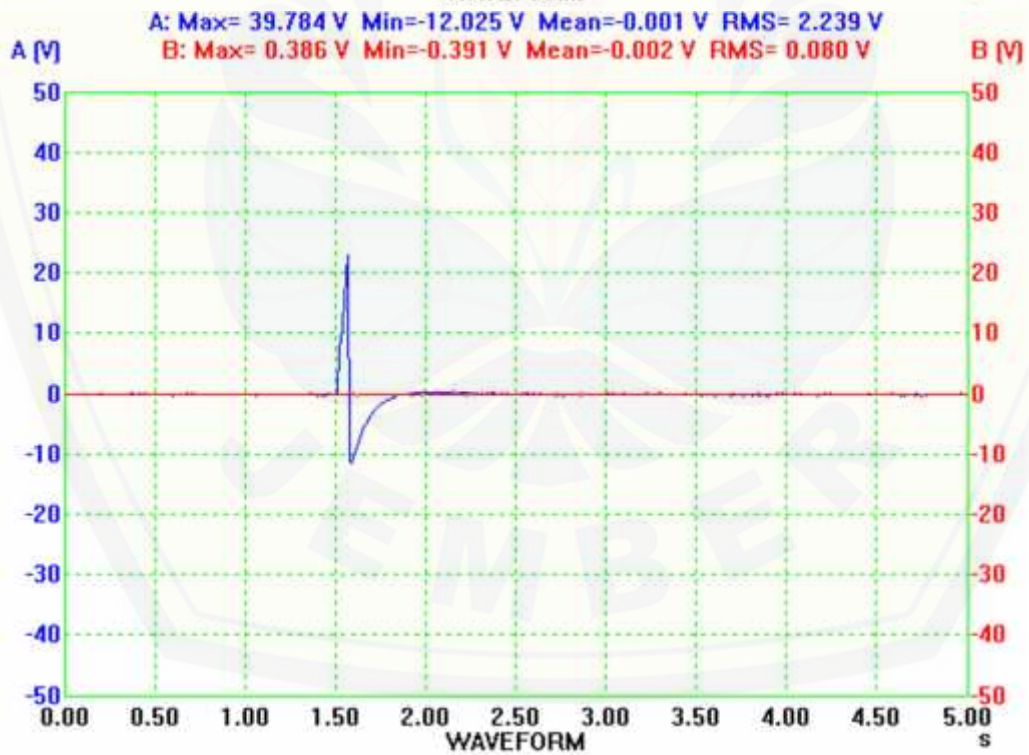
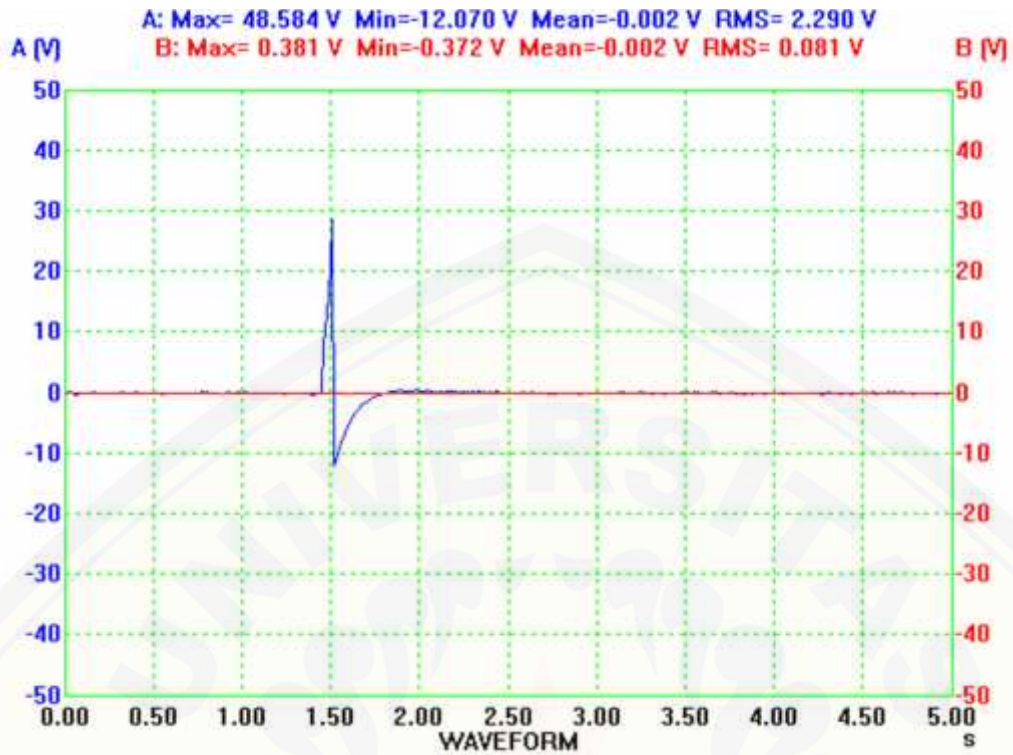
Perilaku ion pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 5:1



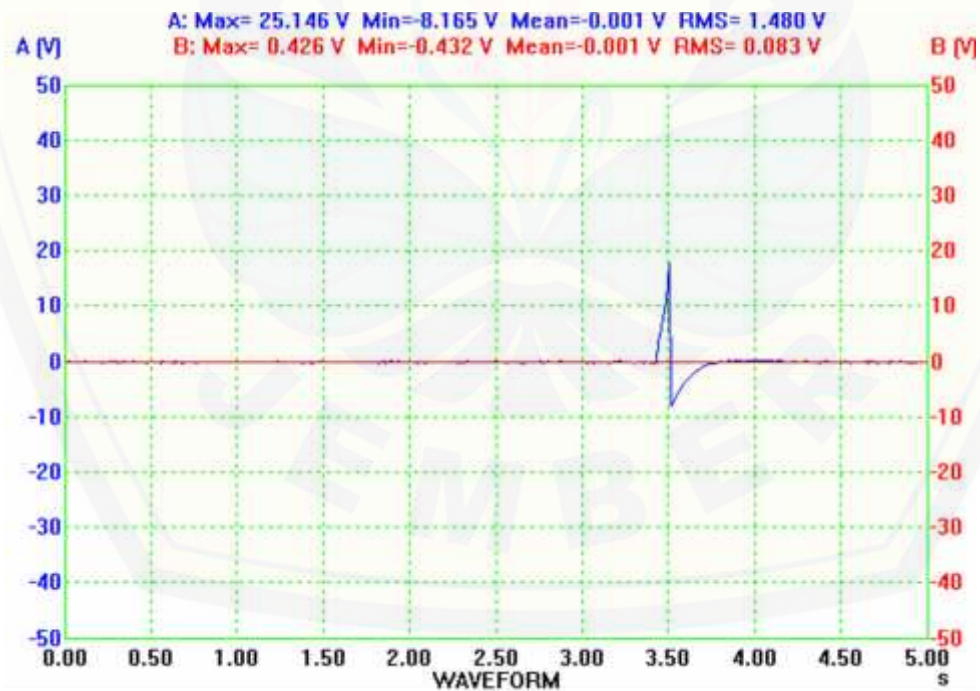
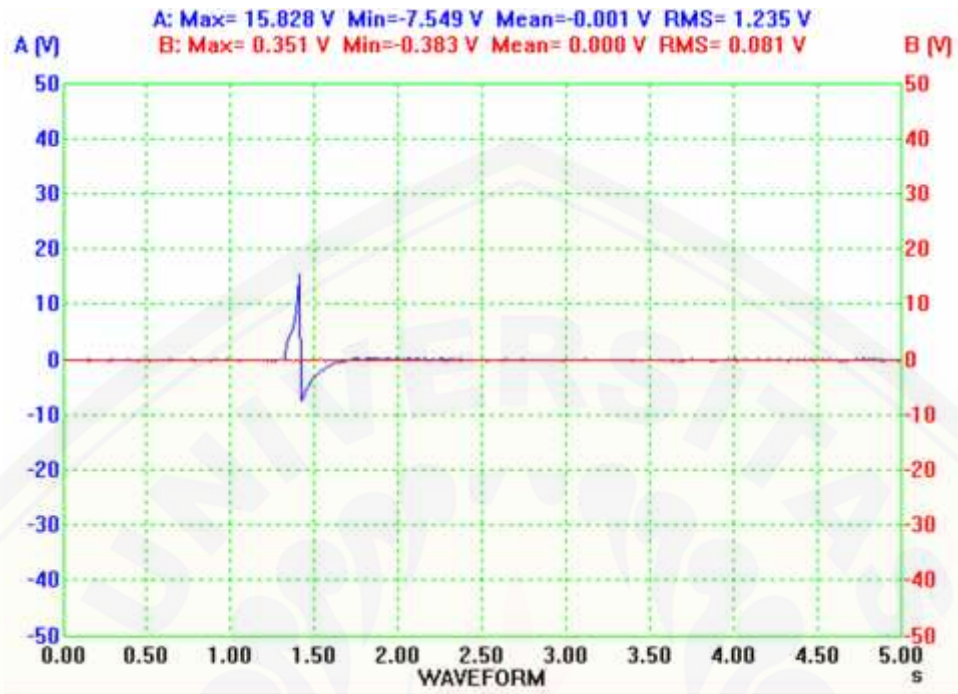


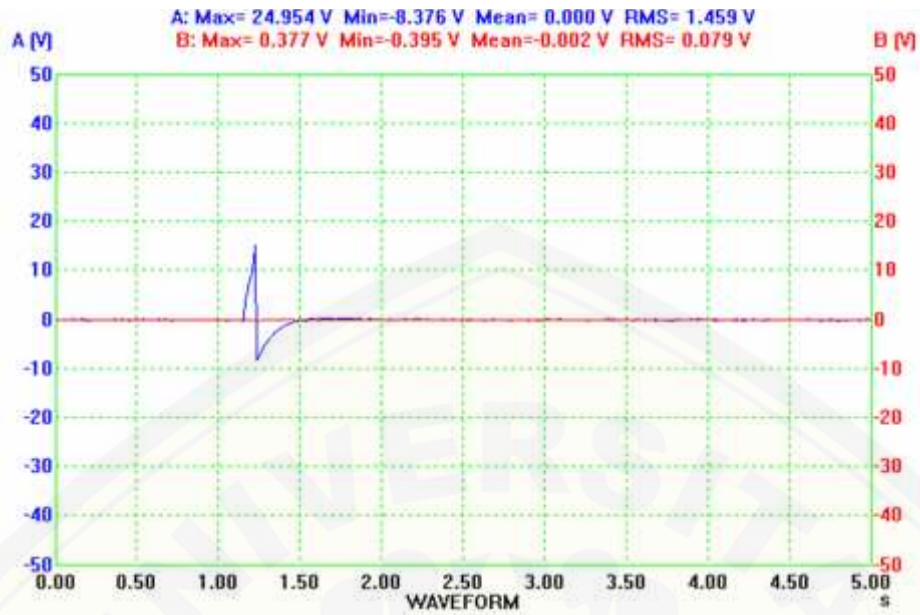
Perilaku ion pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 6:1



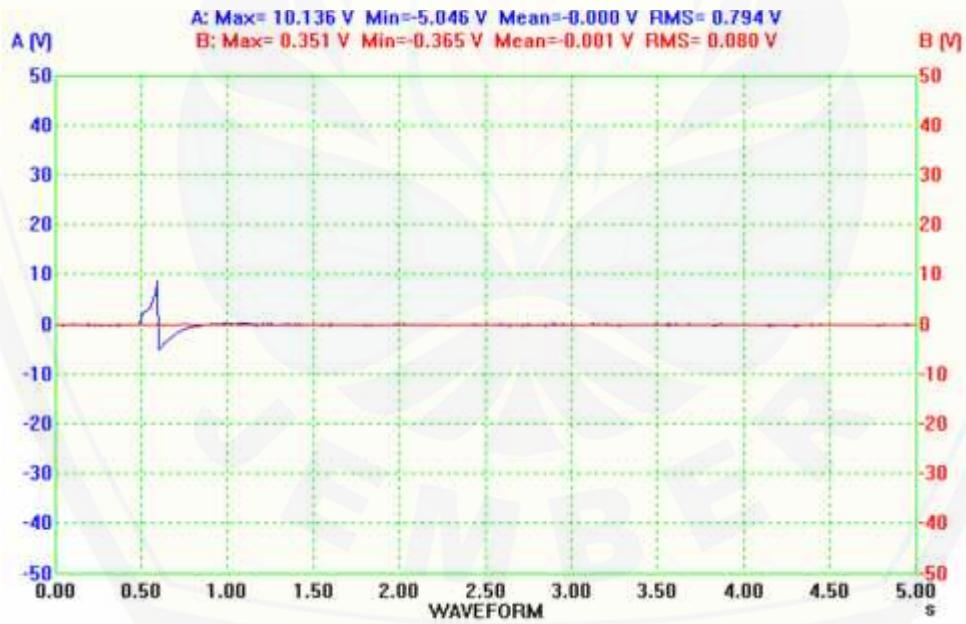


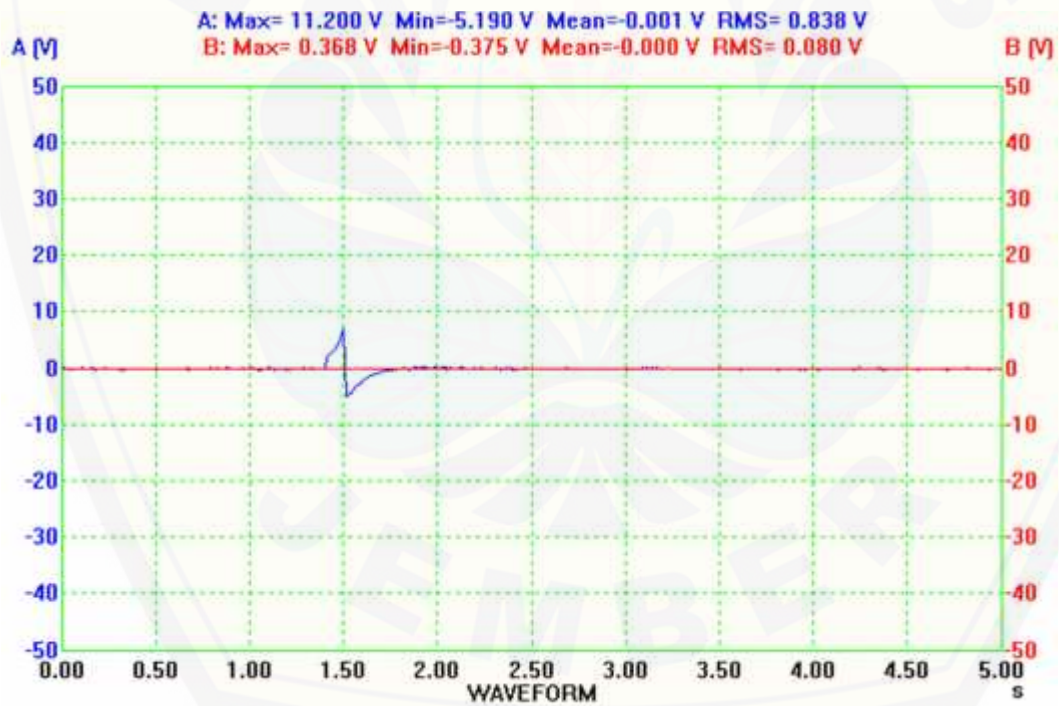
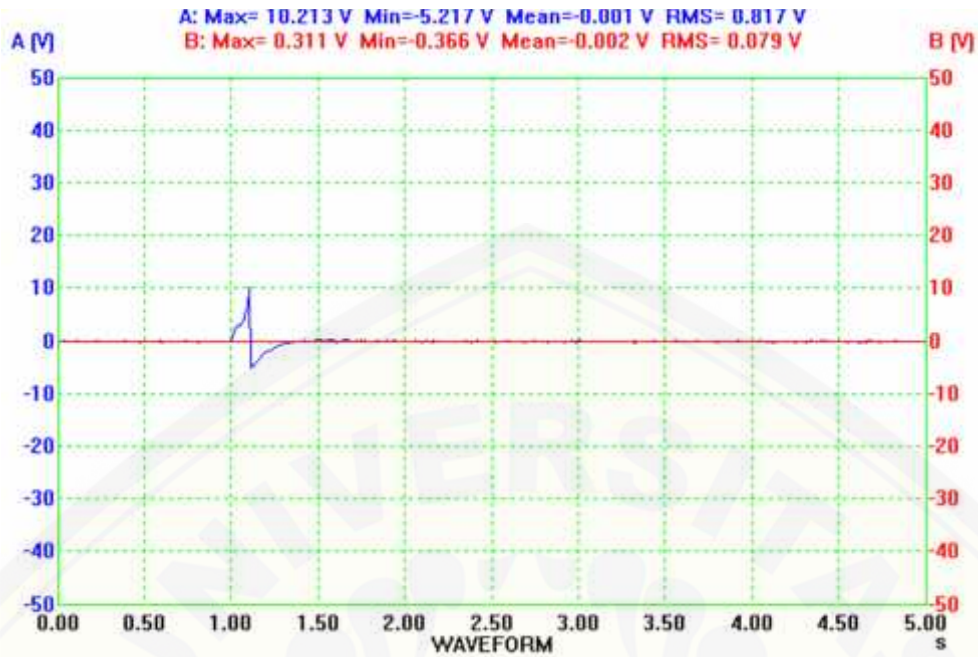
Perilaku ion pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 7:1



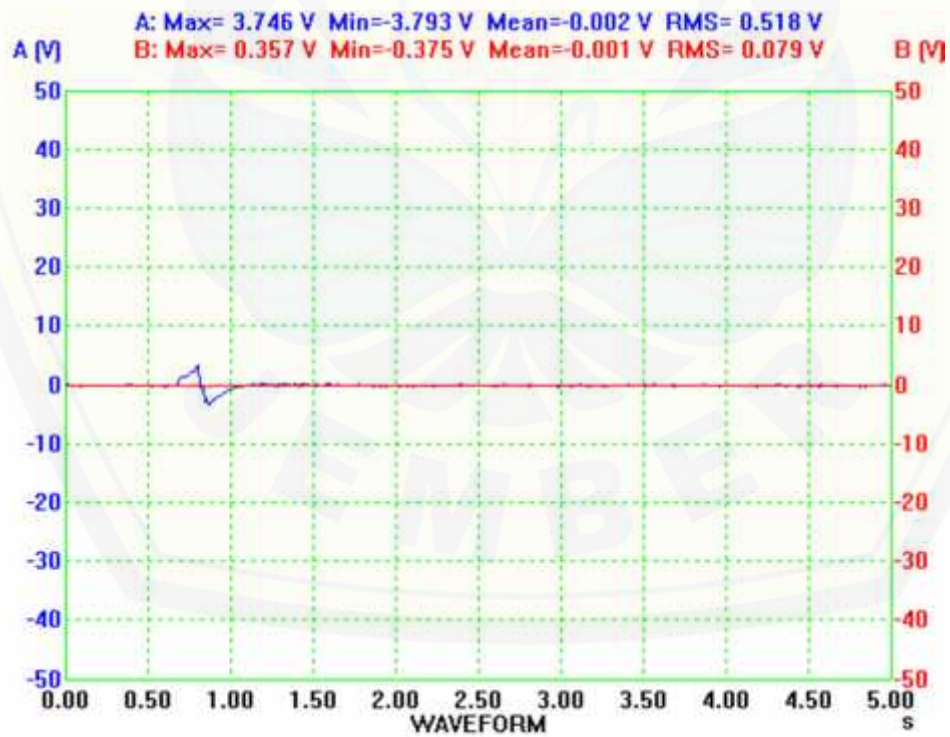
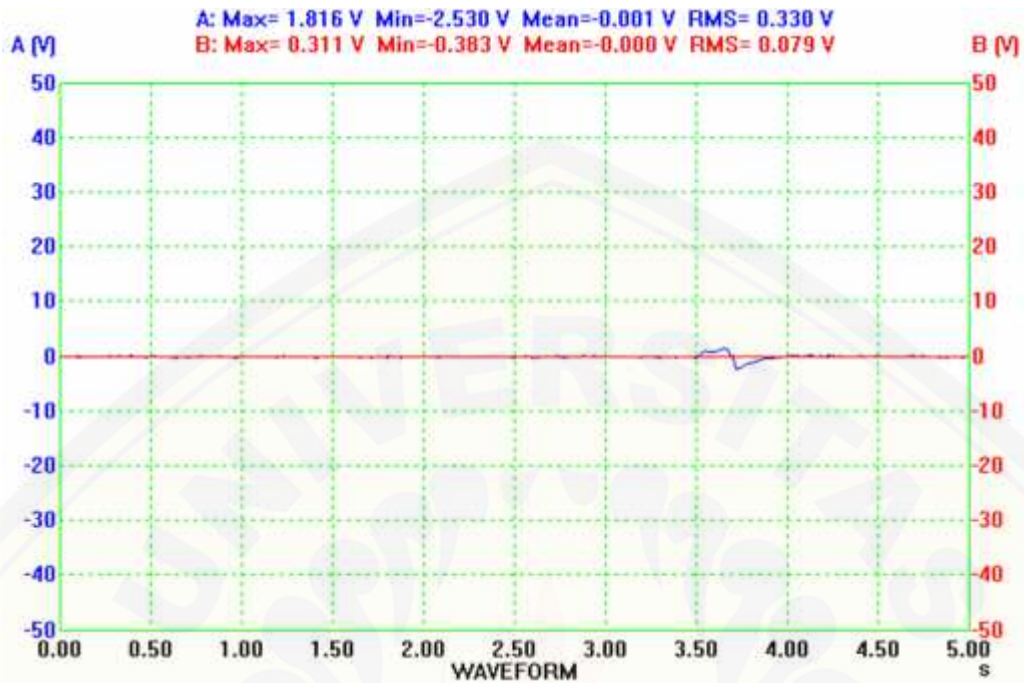


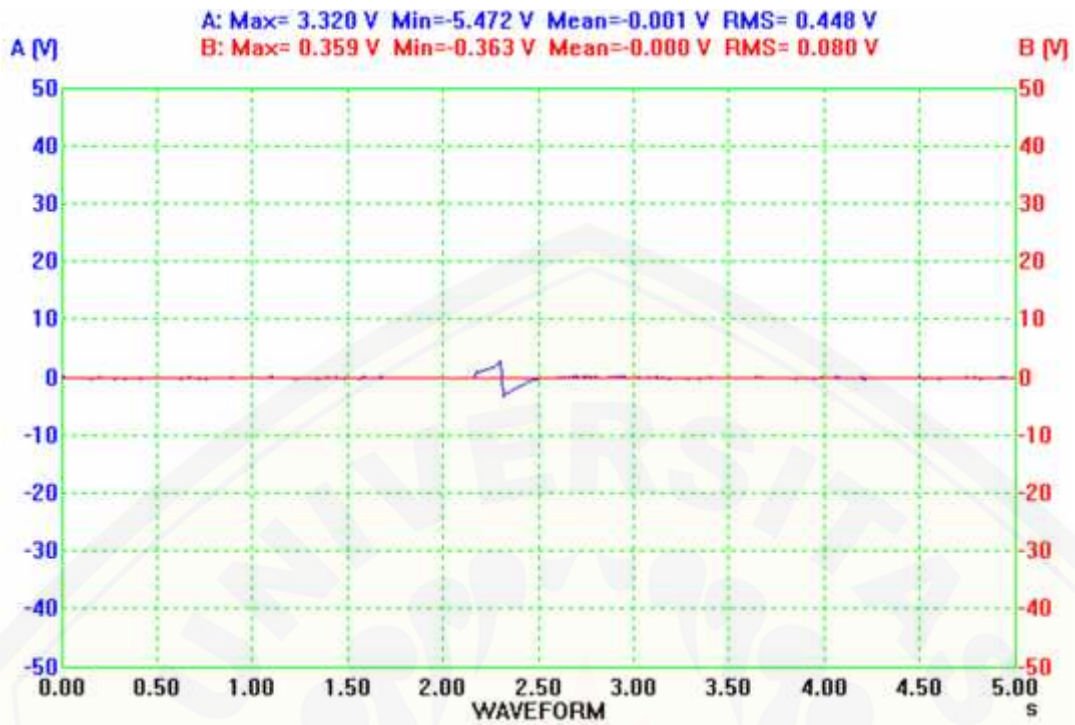
Perilaku ion pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 8:1



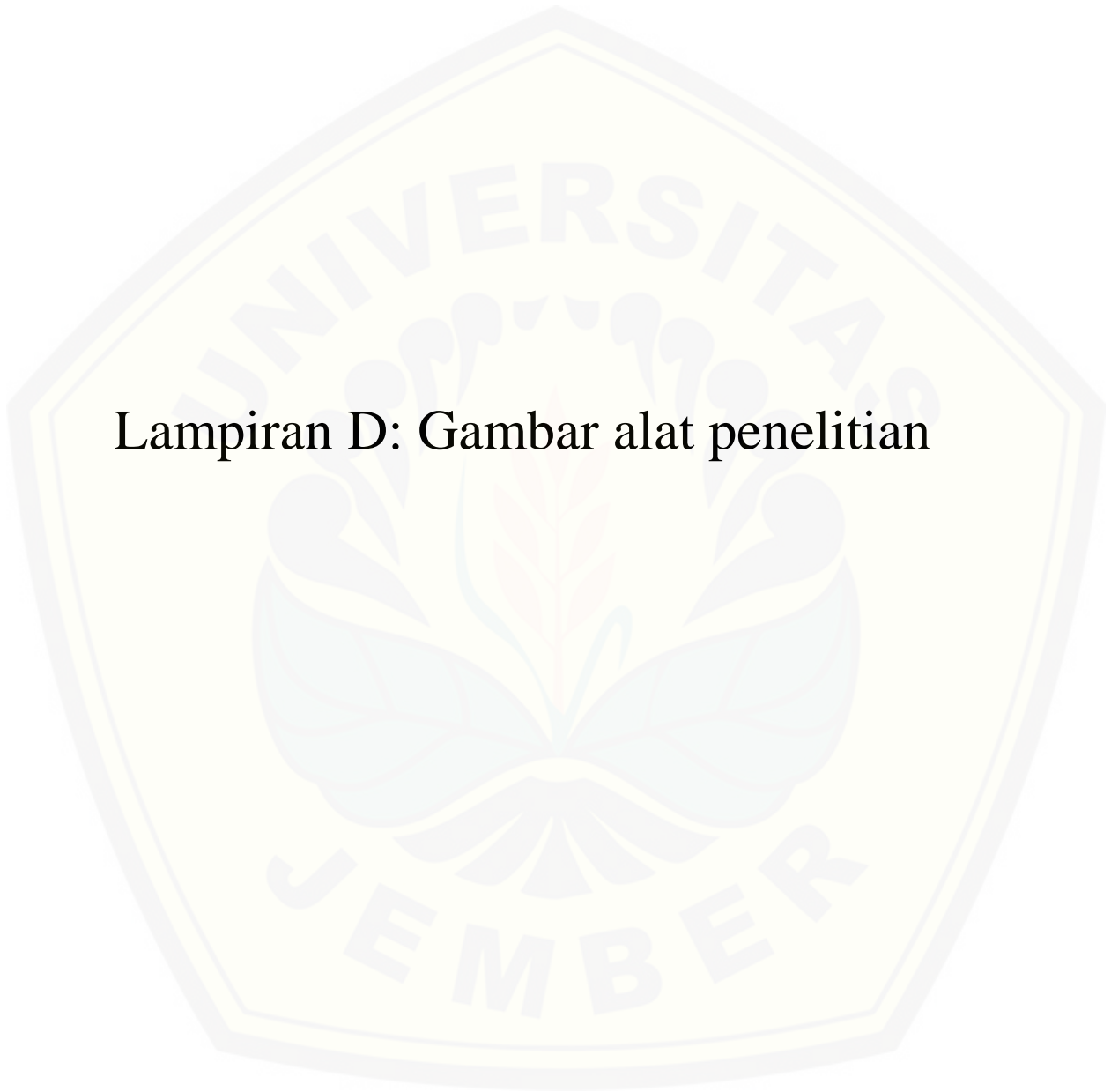


Perilaku ion pada biogas setelah purifikasi dengan AFR 9:1





Lampiran D: 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