



**EFEK PENURUNAN KADAR CO₂ PADA BIOGAS DENGAN
ABSORBSI KOH TERHADAP KECEPATAN RAMBAT API**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Afan Januar H
NIM 091910101073

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
PROGRAM STUDI TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa penguasa kehidupan dunia dan akhirat. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Kepada Allah SWT.
2. Rasulullah SAW. Terima kasih atas petunjuk dan keteladanan yang telah kau berikan hingga jiwa ini penuh dengan kedamaian dan keikhlasan.
3. Ibu saya Sus Hartina dan Ayah saya Abd Jamal tercinta yang selalu tiada lelah mendidik dan menasehati saya sejak kecil, adikku Lutfi yang tersayang,serta saudara-saudaraku dan teman-teman semua. Terimakasih atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, doa, pengorbanan, motivasi dan bimbingan kalian semua demi terciptanya insan manusia yang beriman, bertaqwa, berakhlak mulia, dan berguna bagi bangsa negara. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya serta membalas semua kebaikan yang telah kalian lakukan.
4. Staf pengajar semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya terutama Bapak Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama, Bapak Ir. Digdo Lityadi S., M.Sc. selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Ariz Zainul Muttaqin, S.T., M.T., selaku dosen penguji I, dan Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T., selaku dosen penguji II.
5. Semua guru-guruku dari Taman Kanak-Kanak sampai PerguruanTinggi yang saya hormati, yang telah memberikan ilmu, mendidik, dan membimbingku dengan penuh rasa sabar.
6. Almamater Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
7. Seluruh teman-teman angkatan 2009 (Nine-Gine) yang telah memberikan kontribusi, dukungan, ide yang inspiratif, dan kritikan yang konstruktif. Terimakasih atas semua kontribusi yang kalian berikan.

MOTTO

“Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.” (Q.S. Al-Mujadalah: 11)

"Apabila seorang keturunan Adam meninggal dunia maka terputuslah amalnya kecuali dari tiga hal: shadaqah jariyyah, atau ilmu yang bermanfaat, atau seorang anak shalih yang mendo'akannya." (HR. Muslim no.1631)

"Kerja keras bukan untuk sukses tetapi untuk sebuah nilai." (Albert Einstein)

“Tidak ada yang tidak mungkin di dunia ini,jika kita mau berusaha,ikhtiar dan berdoa.Percayalah dengan kekuatan doa.” (Afan Januar H)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Afan Januar H**

NIM : **091910101073**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “Penurunan Kadar CO₂ pada Biogas dengan Absorpsi KOH terhadap Kecepatan Rambat Api” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta 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 adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Juni 2015
Yang menyatakan,

Afan Januar H
NIM. 091910101073

SKRIPSI

**EFEK PENURUNAN KADAR CO₂ PADA BIOGAS DENGAN
ABSORBSI KOH TERHADAP KECEPATAN RAMBAT API**

Oleh

Afan Januar H

091910101073

Pembimbing :

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

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Digdo Listiyadi S., M.Sc.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Efek Penurunan Kadar CO₂ pada Biogas dengan Absorpsi KOH terhadap Kecepatan Rambat Api” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : 30 juni 2015

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

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

Anggota I,

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.
NIP. 19681207 199512 1 002

Sekretaris,

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.
NIP. 19680617 199502 1 001

Anggota II,

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.
NIP. 19700228 199702 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Ir. Widiono Hadi, M.T.
NIP. 19610414 198902 1 001

PRAKATA

Alhamdulillah, pujisyukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam yang selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW karena Beliau adalah panutan seluruh umat di dunia maupun akhirat.

Skripsi ini berjudul "Efek Penurunan Kadar CO₂ pada Biogas dengan Absorpsi KOH terhadap Kecepatan Rambat Api". Penyusunan skripsi ini digunakan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan arahan kepada penulis selama penyusunan laporan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Ibunda dan Ayahanda tercinta yang selalu tiada henti dan tiada lelah mendidik dan menasehati, nenek serta saudara-saudaraku semua yang telah memberikan doa dan motivasi kepada saya.
2. Bapak Dr. Nasrul Ilminafik, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama, Bapak Ir Digdo Listyadi S., M.Sc. selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberikan ide, saran, dan motivasi, serta meluangkan waktunya untuk membimbing saya selama proses penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini.
3. Bapak Ariz Zainul Muttaqin, S.T., M.T., selaku dosen penguji I, dan Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T., selaku dosen penguji II yang memberikan saran dan kritikan bersifat konstruktif untuk penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh staf pengajar dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan membimbing saya selama saya duduk di bangku perkuliahan.
5. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Jember.
6. Seluruh teman-teman angkatan 2009 (Nine-Gine) telah memberikan banyak dukungan, Hefa (Cakji-mukeji), Heru (Paimo), Jrenk, Tower, Gendut, Alvin,

Viktor, Ucup, Wape, Dana, Uwik (Bogang), Sandi (Tompel), Dimas, Luqman, Dedi, Manda, Memed, Brian, Resha, Hanry, Ifan, Febri, Imam, Dimas Sugiono, Tuwek, Ade, Erfani, Teguh, Ongky, Yudi, Derry, FebriCengel, Justin, Beslin, Poncol, FirmanKenyeh, FirmanWahyu, Erik, Arip, Faqih, Bobmilanisti, Antok, Beta, Rio, Sugeng, Riyan, Badrul, Dani, Khoiril (Jisung), Cemot, Rio, Hendri dan teman-teman lain yang telah banyak membantu selama 4 tahun perkuliahan.

7. Semua pihak yang telah membantu proses penelitian dan penyusunan skripsi ini dari awal hingga akhir.

Penulis menyadari sebagai manusia yang tak lepas dari kekhilafan dan kekurangan, oleh karena itu diharapkan adanya kritik, saran, dan ide yang bersifat konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini dan penelitian berikutnya yang berkaitan dengan skripsi ini. Semoga hasil dari penelitian pada skripsi ini dapat memberikan manfaat khususnya bagi penulis dan peneliti-peneliti berikutnya.

Jember, Juni 2015

Penulis

RINGKASAN

Efek penurunan Kadar CO₂ pada Biogas dengan Absorpsi KOH terhadap Kecepatan Rambat Api; Afan Januar H , 091910101073: 77 Halaman; Program Studi Strata Satu Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari dekomposisi bahan organik secara anaerobik (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan suatu gas yang sebagian besar berupa metan (yang memiliki sifat mudah terbakar) dan karbon dioksida.

Dalam penelitian ini, difokuskan tentang purifikasi biogas dengan variasi konsentrasi dan waktu kontak larutan KOH. Dengan bervariasi konsentrasi dan waktu kontak didapat perbandingan cepat rambat api dan gambar rambat api. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah konsentrasi KOH 25%, 35%, dan 45% dengan waktu kontak 20 menit, 40 menit dan 60 menit.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember untuk membuat alat purifikasi, lalu pemurnian biogas dilakukan di *biogas plant* Pulsit Kakau Desa Rambli Puji Jember. Dan uji karakteristik api di rumah bapak Muh. Nurkhoyim K. S.T., M.T.

Dari hasil penelitian didapat bahwa semakin besar konsentrasi dan semakin lama waktu kontak maka semakin cepat rambat api. Hal ini di dapat dilihat mulai dari sebelum dipurifikasi kecepatan rambat api sesaatnya adalah 907,4 cm/detik dan setelah dipurifikasi dengan konsentrasi KOH 25% cepat rambat api sesaatnya dapat mencapai 1886.5 cm/detik pada lama kontak 60 menit. Sedangkan dengan konsentrasi KOH 35% kecepatan rambat api sesaat sebesar 1859.4 cm/detik pada lama kontak 60 menit. Dan pada larutan KOH 45% dalam waktu kontak 60 menit dengan kecepatan rambat api sesaatnya adalah 1873.0 cm/detik.

SUMMARY

Decreased effect Levels of CO₂ in the Biogas with KOH Absorption Creep Speed Railway; Afan Januar H, 091910101073: 77 Pages; Mechanical Engineering Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Biogas is gas produced from the anaerobic decomposition of organic material (closed from free air) to produce a gas which is mostly methane (which has a flammability) and carbon dioxide .

In this study, focused on the purification of biogas with various concentration of NaOH solution and contact time. With vary the concentration and contact time comparisons obtained the propagation of fire and flame propagation images. Variations used in this study is the concentration of KOH 25 %, 35 %, and 45 % with a contact time of 20 minutes, 40 minutes and 60 minutes.

This research was conducted at the Energy Conversion Laboratory Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember to make a tool of purification, the purification of biogas plant conducted in the Village District of Pulsit Kakau Rambli Puji Jember. And test characteristics of a fire in the home Muh. Nurkhoyim K. S.T., M.T. From the results of the study found that the greater the concentration and the longer the contact time the faster propagation of fire. It can be seen at the start of the purified before fire instantaneous velocity is 907,4 cm/sec and after purified with a 25 % concentration of KOH instantaneous flame propagation speed can reach 1886.5 cm/sec at 60 minutes contact time . While the concentration of KOH 35 % fire instantaneous velocity of 1859.4 cm/sec at 60 minutes contact time. And the 45 % KOH solution in a 60 minute contact time with the fire instantaneous velocity is 1873.0 cm/sec.

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PEMBIMBING	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Biogas	5
2.2 Pemanfaatan Biogas	6
2.3 Digester Biogas	8
2.4 Proses Pembentukan Biogas	10
2.4.1 Hidrolisis	11
2.4.2 Acidogenesis	11
2.4.3 Acetogenesis	11
2.4.4 Methanogenesis.....	12

2.5	Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas	12
2.5.1	Temperatur	12
2.5.2	pH.....	12
2.5.3	Nutrisi.....	13
2.5.4	Ion Kuat dan Salinitas	13
2.5.5	Kandungan Racun dan Hambatan.....	13
2.5.6	Faktor Konsentrasi Padatan.....	14
2.6	Teori Absorpsi	17
2.7	Pemurnian Biogas Menggunakan KOH.	18
2.8	Proses Dan Reaksi Pembakaran	19
2.9	Karakteristik Nyala api	20
2.9.1	<i>Premixed Flame</i>	20
2.9.2	<i>Diffusion Flame (Non-premixed)</i>	21
2.9.3	Api Laminer	22
2.9.4	Api Turbulen	22
2.9.5	Api Merah	23
2.9.6	Api Biru	23
2.9.7	Api Putih.....	24
2.9.8	Api Hitam	24
2.10	AFR	26
2.11	Hipotesa	27
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1	Metode Penelitian	28
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2.1	Tempat Penelitian	28
3.2.2	Waktu Penelitian	28
3.3	Alat dan Bahan	29
3.3.1	Alat.....	29
3.4	Variabel Penelitian	30

3.4.1 Variabel Bebas	30
3.4.2 Variabel Terikat	30
3.4.3 Variabel Kontrol	30
3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data	30
3.6 Pengamatan yang Dilakukan	31
3.7 Tahapan Penelitian dan Prosedur Pengujian	31
3.7.1 Tahap Pembuatan Alat Purifikasi Biogas	31
3.7.2 Tahap Penyiapan KOH	31
3.7.3 Tahap Pemurnian Biogas	31
3.7.4 Pengujian Karakteristik Api Biogas	33
3.7.5 Akhir Pengambilan Data	35
3.8 Rekap Pengambilan Data	35
3.9 Diagram Alir Penelitian	37
3.10 Jadwal Kegiatan Penelitian	39
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Hasil Penelitian	40
4.1.2 Cepat Rambat Api Sesaat.....	45
4.1.3 Cepat Rambat Api Total.....	48
4.2 Pembahasan Hasil Penelitian	51
4.2.1 Gambar Rambat Api	51
4.2.2 Cepat Rambat Api Sesaat.....	53
4.2.3 Cepat Rambat Api Total.....	65
BAB 5. PENUTUP	77
4.1 Kesimpulan	77
4.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	81

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
2.1 Tipe digester biogas	10
2.6 Alat absosbsi.....	14
2.7 Daya yang di hasilkan biogas	15
2.8 Pola rambat api pada berbagai campuran CO ₂ 10%, 20% dan 30% pada AFR 7,5 : 1	16
2.9 Pola rambat api pada berbagai campuran CO ₂ 10%, 20% dan 30% pada AFR 10 : 1	16
2.12 Nyala api.....	21
2.12 Arus laminer dan arus turbulen.....	22
2.13 Nyala api merah.....	23
2.14 Nyala api biru.....	24
2.15 Nyala api putih.....	24
2.16 Nyala api bunsen burner.....	25
2.17 Nyala api lilin	26
3.1 Manometer pipa U.....	32
3.2 Skema pemurnian biogas.....	32
3.3 Skema pencampuran biogas dan udara	33
3.4 Skema perekaman rambat api	34
3.5 Diagram alir pengujian dan pemurnian biogas.....	37
4.1 Gambar rambat api sebelum perlakuan	40
4.2 Gambar rambat api dengan purifikasi KOH 25%,lama kontak 20 menit.....	41
4.3 Gambar rambat api dengan purifikasi KOH 25%,lama kontak 40 menit.....	41
4.4 Gambar rambat api dengan purifikasi KOH 25%,lama kontak 60 menit.....	42

4.5	Gambar rambat api dengan purifikasi KOH 35%, lama kontak 20 menit.....	42
4.6	Gambar rambat api dengan purifikasi KOH 35%, lama kontak 40 menit.....	43
4.7	Gambar rambat api dengan purifikasi KOH 35%, lama kontak 60 menit.....	43
4.8	Gambar rambat api dengan purifikasi KOH 45%, lama kontak 20 menit	44
4.9	Gambar rambat api dengan purifikasi KOH 45%, lama kontak 40 menit	44
4.10	Gambar rambat api dengan purifikasi KOH 45%, lama kontak 60 menit	45
4.11	Grafik cepat rambat api sesaat sebelum perlakuan.....	53
4.12	Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 20 menit	54
4.13	Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 40 menit	55
4.14	Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 60 menit	56
4.15	Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 20 menit	58
4.16	Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 40 menit	59
4.17	Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 60 menit.....	60
4.18	Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 20 menit.....	62
4.19	Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 40 menit	63

4.20	Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 60 menit.....	64
4.21	Grafik cepat rambat api total sebelum perlakuan.....	66
4.22	Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 20 menit	67
4.23	Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 40 menit.....	68
4.24	Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 60 menit.....	69
4.25	Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 20 menit	70
4.26	Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 40 menit.....	71
4.27	Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 60 menit.....	72
4.28	Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 20 menit.....	73
4.29	Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 40 menit	74
4.30	Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 60 menit.....	75

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
2.1 Kesetaraan nilai kalor biogas terhadap bahan bakar lain.....	6
2.2 Komposisi biogas.....	7
2.3 Produksi Metana dari berbagai macam material.....	8
2.4 Konsentrasi kation ringan <i>Stimulatory</i>	14
2.5 Nilai dalam kandungan kering bahan bakar biogas.....	14
3.1 Parameter Pengukuran Cepat rambat api sesaat.....	36
3.2 Parameter Pengukuran Cepat rambat api total	36
3.3 Parameter Pengukuran Cepat rambat api maksimal.....	37
3.4 Tabel jadwal penelitian	39
4.1 Cepat rambat api sesaat sebelum perlakuan	45
4.2 Cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 20 menit	46
4.3 Cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 20 menit	47
4.4 Cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 20 menit	47
4.5 Rata-rata cepat rambat api sesaat	48
4.6 Cepat rambat api total sebelum perlakuan.....	48
4.7 Cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 20 menit	49
4.8 Cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 20 menit	50
4.9 Cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 20 menit	50
4.10 Cepat rambat api total	51

DAFTAR LAMPIRAN

HALAMAN

A	TABEL PENELITIAN	81
	A.1 Hasil Pengujian Cepat Rambat Api Sesaat.....	81
	A.2 Hasil Pengujian Cepat Rambat Api Total	98
B	PERHITUNGAN.....	114
	B.1 Perhitungan panjang gambar	115
	B.2 Perhitungan waktu per frame.....	116
	B.3 Perhitungan cepat rambat api	117
	B.4 Pembuatan larutan KOH	117
C	Foto Penelitian.....	118

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi sangat diperlukan dalam menjalankan aktivitas perekonomian Indonesia, baik untuk kebutuhan konsumsi maupun untuk aktivitas produksi berbagai sektor perekonomian. Dari aspek penyediaan, Indonesia merupakan negara yang kaya dengan sumber daya energi baik energi yang bersifat *unrenewable resources* maupun yang bersifat *renewable resources*. Namun demikian, eksplorasi sumber daya energi lebih banyak difokuskan pada energi fosil yang bersifat *unrenewable resources* sedangkan energi yang bersifat *renewable* relatif belum banyak dimanfaatkan. Kondisi ini menyebabkan ketersediaan energi fosil, khususnya minyak mentah, semakin langka yang menyebabkan Indonesia saat ini menjadi net importir minyak mentah. Bioenergi yang terus dikembangkan salah satunya adalah biogas. Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang dihasilkan secara *anaerobic digestion* atau fermentasi anaerob dari bahan organik seperti sampah, sisa-sisa makanan, kotoran ternak dan limbah industri makanan. Pemanfaatan limbah organik sebagai bahan baku biogas tentu akan memberikan efek ganda dalam menyediakan energi yang dapat diperbaharui ramah lingkungan dan dapat menciptakan lingkungan peternakan yang lebih bersih dan sehat (Sugiarto, 2013a:1).

Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari dekomposisi bahan organik secara anaerobik (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan suatu gas yang sebagian besar berupa metan (yang memiliki sifat mudah terbakar) dan karbon dioksida. Gas yang terbentuk disebut gas rawa atau biogas. Proses dekomposisi anaerobik dibantu oleh sejumlah mikroorganisme, terutama bakteri metan. Suhu yang baik untuk proses fermentasi adalah 30-55°C. Pada suhu tersebut mikroorganisme dapat bekerja secara

optimal merombak bahan-bahan organik. Pembentukan dilakukan dengan fermentasi feses (kotoran) ternak, misalnya sapi, kerbau, kuda, babi, dll dalam suatu ruangan yang disebut “digester”. Di dalam digester tersebut kotoran dicerna dan difermentasi oleh bakteri yang menghasilkan gas metana serta gas-gas lain. Adapun unsur-unsur yang terkandung dalam biogas yaitu 55-75 % gas metana (CH_4), 25-45 % gas karbon dioksida (CO_2), 0-3 % gas hidrogen sulfida (H_2S), 0-0,3 % gas nitrogen (N_2), 1-5 % gas hidrogen (H_2) dan 0,1-0,5 % gas oksigen (O_2) (Arifin, 2008:3).

Dari kandungan biogas di atas masih terdapat banyak zat pengotor (*inhibitor*) dalam biogas yang mempengaruhi kualitas dari biogas, salah satunya adalah CO_2 (25 – 45%). Karbon dioksida merupakan molekul yang dapat menghambat dan menurunkan laju reaksi pembakaran, karena karbon dioksida akan mengganggu rantai reaksi kimia pembakaran, sehingga reaksi kimia pembakaran terhambat. Oleh sebab itu perlu dilakukan pemurnian biogas yang bertujuan untuk mengurangi kandungan gas CO_2 . Pemurnian tersebut dilakukan dengan cara menyerap CO_2 yang terdapat dalam biogas menggunakan KOH serpihan yang telah dilarutkan dalam air. Kemudian larutan KOH tersebut digunakan untuk mengikat CO_2 yang ada dalam biogas.

Salah satu usaha yang dilakukan untuk menurunkan kadar CO_2 dalam biogas adalah dengan cara mengikat CO_2 dengan larutan KOH. Faktor yang dapat mempengaruhi absorpsi adalah konsentrasi dari larutan penyerap, semakin tinggi konsentrasi larutan penyerap, maka penyerapan CO_2 akan semakin maksimal (Mara, 2012).

1.2 Rumusan Masalah

Pada beberapa penelitian sebelumnya tentang penggunaan KOH dalam proses pemurnian biogas yaitu menurut Maarif, (2008) dengan memvariasikan laju aliran KOH sangat berpengaruh yaitu lama kontak *absorben* terhadap biogas. Dan menurut Prasetya, (2012) semakin besar konsentrasi KOH dalam larutan maka akan semakin banyak CO_2 yang diikat oleh larutan KOH. Penelitian ini menjadi penting dan

menarik untuk dikaji karena selain menggunakan KOH tetapi juga digunakan variasi konsentrasi KOH dan waktu kontak dalam proses pemurnian biogas sehingga dapat diketahui perbandingan efektifitas KOH dalam menyerap kandungan gas CO₂. Permasalahan yang akan dibahas nantinya adalah rambat api pada hasil pembakaran biogas dengan memvariasikan konsentrasi KOH dan waktu kontak untuk menurunkan gas CO₂ dengan sistem kontinyu.

1.3 Tujuan

Berdasarkan uraian pada latar belakang, tujuan pengujian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi konsentrasi KOH terhadap penurunan kadar CO₂ yang ditunjukkan jarak antar *frame*
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi KOH terhadap penurunan kadar CO₂ yang ditunjukkan cepat rambat api.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat penelitian ini dilakukan, yaitu :

- a. Mahasiswa dapat mempelajari proses pembentukan dari biogas
- b. Memberikan pengetahuan tentang pemilihan absorber yang akan digunakan pada biogas.
- c. Memberi tambahan kreatifitas dan ide dalam pengembangan produk industri dengan pendayagunaan.
- d. Memberikan dampak positif kepada masyarakat sehingga mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan meberdayagunakan energi biogas sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis..

1.5 Batasan Masalah

Ada beberapa faktor yang tidak terkontrol sehingga dapat mempengaruhi pengambilan data dan analisa. Untuk itu perlu diberikan batasan dan asumsi agar mempermudah menganalisa terhadap permasalahan di atas yaitu :

1. Struktur dan reaksi kimia pembakaran dari bahan bakar tidak termasuk dalam pembahasan.
2. Kondisi suhu dan kelembapan ruangan dianggap tetap dan pengaruh angin diabaikan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biogas

Biogas adalah campuran gas-gas yang dihasilkan dari suatu proses fermentasi bahan organik oleh bakteri dalam keadaan tanpa oksigen (*anaerobic process*). Atau biogas merupakan bahan bakar gas yang dapat diperbaharui (*renewable fuel*) yang dihasilkan secara *anaerobic digestion* atau fermentasi anaerob dari bahan organik dengan bantuan bakteri metana seperti *Methanobacterium sp.* Gas yang dihasilkan adalah gas metana (CH_4), gas karbon dioksida (CO_2), gas hydrogen (H_2), gas nitrogen (N_2) dan gas hidrogen sulfida (H_2S) (Sugiarto, 2013:3).

Pada umumnya biogas merupakan campuran 50-70% gas metana [CH_4], 30-40% gas karbondioksida [CO_2], 5-10% gas hidrogen [H_2] dan sisanya berupa gas lain. Biogas memiliki berat 20% lebih ringan dibandingkan dengan udara dan memiliki nilai panas pembakaran antara 4800-6200 kkal/m³. Nilai ini sedikit lebih rendah dari nilai pembakaran gas metana murni yang mencapai 8900 kkal/m³. (Wahyudi, 2009).

Beberapa hal yang menarik dari pada teknologi biogas adalah kemampuannya untuk membentuk biogas dari limbah organik yang jumlahnya berlimpah dan tersedia secara bebas. Variasi dari sifat-sifat biokimia menyebabkan produksi biogas juga bervariasi. Sejumlah bahan organik dapat digunakan bersama-sama dengan beberapa persyaratan produksi gas atau pertumbuhan normal bakteri metan yang sesuai. Beberapa sifat bahan organik tersebut mempunyai dampak/pengaruh yang nyata pada tingkat produksi biogas (Waskito, 2011).

Pembentukan gas metana secara biologis terjadi di alam dengan adanya bahan organik basah dengan ketiadaan oksigen, misalnya dalam saluran pencernaan

sapi, kompos basah, tempat pembuangan sampah (*landfill*) atau persawahan yang tergenang (Wittmaier, 2005:34).

2.2 Pemanfaatan Biogas

Berbagai manfaat dapat dipetik dari limbah ternak, apalagi limbah tersebut dapat diperbaharui (*renewable*) selama ada hewan ternak. Limbah ternak masih mengandung nutrisi atau zat padat yang potensial untuk dimanfaatkan. Limbah ternak kaya akan nutrient (zat makanan) seperti protein, lemak, bahan ekstrak tanpa nitrogen (BETN), vitamin, mineral, mikroba atau biota, dan zat-zat yang lain (*Unidentified Substances*). Limbah ternak dapat dimanfaatkan untuk bahan makanan ternak, pupuk organik, energi dan media berbagai tujuan (Wahyudi, 2009).

Biogas adalah sumber energi yang memiliki banyak manfaat untuk kehidupan, tergantung pada sifat dari sumber biogas dan permintaan lokal. Umumnya, biogas dapat digunakan dalam produksi panas oleh pembakaran langsung, produksi listrik oleh sel bahan bakar atau mikro-turbin,

Tabel 2.1 Kesetaraan nilai kalor biogas terhadap bahan bakar lain.

Bahan Bakar	Kesetaraan Energi	Nilai Kalor (kkal)
	Dengan 1 m ³ Biogas	
Biogas	1 m ³	4700/m ³
Listrik	4.70 kWh	860/kWh
Minyak Tanah	0.62 kg	9100/L
Arang	1.46 kg	6900/kg
Butana	0.43 kg	10900/kg
Kayu Bakar	3.47 kg	3500/kg

(Sumber : ESCAP, 1984.dalam Jonata, Khairul, 2006)

Van Buren (1979), mengemukakan bahwa biogas sebanyak 1m³ dapat digunakan untuk menyalakan lampu setara dengan lampu pijar 60 watt selama 6-7 jam. Biogas

juga dapat dipergunakan sebagai bahan bakar penggerak mesin dan generator. Untuk energi gerak 1m^3 biogas dapat disetarakan dengan tenaga 1 hp selama 2 jam atau sebanding dengan 0.6 – 0.7 kg minyak tanah. Biogas sebanyak 1m^3 dapat pula menghasilkan listrik sebesar 1.25 kW. Dalam industri kimia gas metana dapat dipergunakan sebagai bahan produksi monoklorometana, diklorometana, khloroform, metanol dan sebagainya.

Komposisi dan sifat biogas bervariasi untuk beberapa derajat tergantung pada jenis bahan baku, sistem pencernaan, suhu, waktu retensi dan lain sebagainya. Tabel 2.2 berisi tentang beberapa nilai komposisi rata-rata biogas yang ditemukan di sebagian besar literatur. Mengingat biogas dengan kandungan metana standar 50%, nilai kalor 21 MJ/Nm^3 , kepadatan $1,22\text{ kg/Nm}^3$ dan massa yang mirip dengan udara $1,29\text{ kg/Nm}^3$ (Al Seadi, 2008:40).

Tabel 2.2 Komposisi Biogas

No	Komponen	Satuan	Konsentrasi			
			(a)	(b)	(c)	(d)
1	Metana (CH_4)	%	50-75	40-70	50-75	55-65
2	Karbon dioksida (CO_2)	%	25-45	30-60	25-40	35-45
3	Uap air (H_2O)	%	2(20°C)–7(40 °C)			
4	Oksigen (O_2)	Ppm	< 2	-	< 2	-
5	Nitrogen (N_2)	%	< 2	-	< 2	0-3
6	Ammonia (NH_3)	%	< 1			
7	Hidrogen (H_2)	%	< 1	0-1	< 1	0-1
8	Hidrogen sulfida (H_2S)	Ppm	< 1	0-3	< 2	0-1

Keterangan : (a) Al Seadi, 2008; (b) Muryanto, 2006; (c) Hambali, 2007; (d) Arifin, 2008

Komposisi biokimia dari jenis bahan baku biogas yang bervariasi mempengaruhi produksi metana secara teoritis, seperti yang tersaji pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Produksi Metana dari Berbagai Macam Material

Feedstock	Methane yield [%]	Biogas yield [m³/tFF*]
Liquid cattle manure	60	25
Liquid pig manure	65	28
Distillers grains with solubles	61	40
Cattle manure	60	45
Pig manure	60	60
Poultry manure	60	80
Beet	53	88
Organic waste	61	100
Sweet sorghum	54	108
Forage beet	51	111
Grass silage	54	172
Corn silage	52	202

2.3 Digester Biogas

Untuk memperoleh biogas dari bahan organik, diperlukan alat yaitu digester biogas/biodigester, yang bekerja dengan prinsip menciptakan suatu tempat penampungan bahan organik pada kondisi anaerob (bebas oksigen) sehingga bahan organik tersebut dapat difermentasi oleh bakteri metanogen untuk menghasilkan biogas. Biogas yang timbul kemudian dialirkan ke tempat penampungan biogas sedangkan lumpur sisa aktifitas fermentasi dikeluarkan lalu dijadikan pupuk alami yang dapat dimanfaatkan untuk usaha pertanian maupun perkebunan.

Digester biogas memiliki tiga (3) macam tipe dengan keunggulan dan kelemahannya masing-masing. Ketiga tipe biogas tersebut adalah:

1. Tipe *fixed domed plant* (Gambar 2.1a)

Terdiri dari digester yang memiliki penampung gas di bagian atas digester. Ketika gas mulai timbul, gas tersebut menekan lumpur sisa fermentasi (*slurry*) ke bak *slurry*. Jika pasokan kotoran ternak terus menerus, gas yang timbul akan terus menekan *slurry* hingga meluap keluar dari bak *slurry*. Gas yang timbul digunakan/dikeluarkan lewat pipa gas yang diberi katup/kran.

- Keunggulan : tidak ada bagian yang bergerak, awet (berumur panjang), dibuat di dalam tanah sehingga terlindung dari berbagai cuaca atau gangguan lain dan tidak membutuhkan ruangan (di atas tanah).
- Kelemahan : rawan terjadi kertakan di bagian penampung gas, tekanan gas tidak stabil karena tidak ada katup gas.

2. Tipe *floating drum plant* (Gambar 2.1b)

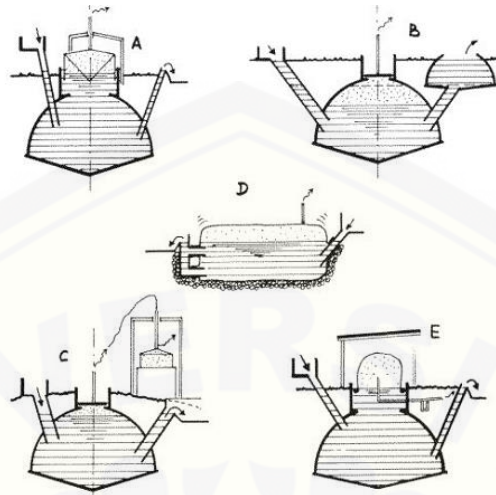
Terdiri dari satu digester dan penampung gas yang bisa bergerak. Penampung gas ini akan bergerak ke atas ketika gas bertambah dan turun lagi ketika gas berkurang, seiring dengan penggunaan dan produksi gasnya

- Kelebihan : konstruksi alat sederhana dan mudah dioperasikan. Tekanan gas konstan karena penampung gas yang bergerak mengikuti jumlah gas. Jumlah gas bisa dengan mudah diketahui dengan melihat naik turunnya drum.
- Kelemahan : digester rawan korosi sehingga waktu pakai menjadi pendek.

3. Tipe *baloon plant* (Gambar 2.1d)

Konstruksi sederhana, terbuat dari plastik yang pada ujung-ujungnya dipasang pipa masuk untuk kotoran ternak dan pipa keluar peluapan *slurry*. Sedangkan pada bagian atas dipasang pipa keluar gas.

- Kelebihan : biaya pembuatan murah, mudah dibersihkan, mudah dipindahkan
- Kelemahan : waktu pakai relatif singkat dan mudah mengalami kerusakan



Gambar 2.1. Tipe digester biogas: (a) *floating drum plant*; (b) *fixed dome plant*; (c) *fixed dome plant* dengan gas holder terpisah; (d) *baloon plant*; (e) *chanel-typed digester* dengan pelindung matahari dan lapisan plastik (Werner Kossmann, 2008).

2.4 Proses Pembentukan Biogas

Seperti yang dinyatakan sebelumnya, *anaerobic digestion* (AD) adalah proses mikrobiologis dekomposisi bahan organik dalam ketiadaan oksigen. Produk utama dari proses ini adalah biogas dan *digestate*. Biogas adalah gas yang mudah terbakar, yang terutama terdiri dari metana dan karbon dioksida. *Digestate* adalah substrat membusuk, akibat produksi biogas. Selama proses AD, hanya sedikit panas yang dihasilkan sangat berbeda dengan dekomposisi aerobik (dengan oksigen). Peristiwa itu dinamakan pengomposan.

Proses pembentukan biogas merupakan hasil dari beberapa proses terkait, dimana bahan awal terus dipecah menjadi unit yang lebih kecil dengan melibatkan kelompok mikroorganisme tertentu dalam setiap langkah tersebut. Organisme ini berturut-turut menguraikan produk dari langkah sebelumnya yang disederhanakan dalam bentuk diagram proses AD, terdiri dari empat langkah proses utama: hidrolisis, acidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis.

Proses langkah yang tersaji berjalan secara paralel dipengaruhi ruang dan waktu dalam tangki digester. Kecepatan proses dekomposisi total ditentukan oleh lambatnya reaksi dari rantai. Dalam kasus pembangkit biogas, pengolahan substrat sayuran yang mengandung selulosa, hemi-selulosa dan lignin, hidrolisis merupakan proses penentuan kecepatannya. Selama hidrolisis jumlah biogas yang dihasilkan relatif kecil. Produksi biogas mencapai puncaknya selama metanogenesis.

2.4.1 Hidrolisis

Hidrolisis adalah langkah pertama AD, dimana bahan organik kompleks (polimer) didekomposisi menjadi unit yang lebih kecil (monomer dan oligomer). Selama hidrolisis, polimer seperti karbohidrat, lipid, asam nukleat dan protein diubah menjadi glukosa, gliserol, purin dan pyridines. Mikroorganisme hidrolitik mengeluarkan enzim hidrolitik, mengubah biopolimer menjadi senyawa sederhana dan larut.

Berbagai mikroorganisme yang berperan dalam hidrolisis seperti *exoenzymes*, diproduksi oleh mikroorganisme yang menguraikan bahan partikel larut. Produk yang dihasilkan dari hidrolisis selanjutnya diurai oleh mikroorganisme yang terlibat dan digunakan untuk proses metabolismenya sendiri.

2.4.2 Acidogenesis

Selama acidogenesis, produk hidrolisis yang dikonversi oleh bakteri *acidogenic* (fermentasi) ke substrat metanogen. Gula sederhana, asam amino dan asam lemak terdegradasi menjadi asetat, karbon dioksida dan hidrogen (70%) serta menjadi asam lemak volatil (VFA) dan alkohol (30%).

2.4.3 Acetogenesis

Produk dari acidogenesis yang tidak dapat langsung diubah menjadi metana oleh bakteri metanogen diubah menjadi substrat metanogen selama asetogenesis. Asam lemak volatil (VFA) dan alkohol dioksidasi menjadi substrat metanogen seperti asetat, hidrogen dan karbon dioksida. VFA dengan rantai karbon lebih dari dua unit dan alkohol dengan rantai karbon lebih dari satu unit, dioksidasi menjadi asetat dan

hidrogen. Produksi hidrogen meningkatkan tekanan parsial hidrogen. Hal ini dapat dianggap sebagai produk limbah dari asetogenesis karena menghambat metabolisme bakteri acetogenic. Selama methanogenesis, hidrogen diubah menjadi metana. Asetogenesis dan metanogenesis biasanya berjalan paralel sebagai simbiosis dua kelompok organisme.

2.4.4 Methanogenesis

Produksi metana dan karbon dioksida yang dilakukan oleh bakteri metanogen 70% dari metana yang terbentuk berasal dari asetat, sedangkan sisanya 30% dihasilkan dari konversi hidrogen (H) dan karbon dioksida (CO₂), sesuai dengan persamaan berikut:

Metanogenesis merupakan langkah penting dalam seluruh proses *anaerobic digestion* karena proses reaksi biokimianya paling lambat. Methanogenesis ini sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi seperti komposisi bahan baku pakan yang diberikan, suhu, dan pH adalah contoh faktor yang mempengaruhi proses metanogenesis sementara digester yang *overloading*, perubahan suhu atau besarnya masukan oksigen dapat mengakibatkan penghentian produksi metana.

2.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas

2.5.1 Temperatur

Gabungan bakteri anaerob bekerja dibawah tiga kelompok temperatur utama. Temperatur krioofilik yakni kurang dari 20°C, mesofilik berlangsung pada temperatur 20-45°C (optimum pada 30-45°C) dan termofilik terjadi pada temperatur 40-80°C (optimum pada 55-75°C). Produksi biogas akan menurun secara cepat akibat perubahan temperatur yang mendadak di dalam instalasi pengolahan biogas (Simamora, 2006).

2.5.2 pH

Pada dekomposisi anaerob faktor pH sangat berperan, karena pada rentang pH yang tidak sesuai mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum dan bahkan dapat menyebabkan kematian yang pada akhirnya dapat menghambat perolehan gas

metana. Derajat keasaman yang optimum bagi kehidupan mikroorganisme adalah 6,8-7,8 (Simamora, 2006).

2.5.3 Nutrisi

Mikroorganisme membutuhkan beberapa vitamin esensial dan asam amino. Zat tersebut dapat disuplai ke media kultur dengan memberikan nutrisi tertentu untuk pertumbuhan dan metabolismenya. Berdasarkan nilai *chemical oxygen demand* (COD), perbandingan COD: N : P adalah 400: 7: 1 dan 1000: 7: 1 dikatakan sebagai kebutuhan untuk substrat tinggi dan rendah. Selain itu juga dibutuhkan mikronutrien untuk meningkatkan aktivitas mikroorganisme misalnya besi, magnesium, kalsium, natrium, barium, selenium, kobalt dan lain-lain (Malina, 1992).

2.5.4 Ion kuat dan Salinitas

Salinitas (kandungan garam) NaCl 0,2 M memiliki pengaruh yang minimal/sedikit terhadap populasi metanogenik, namun salinitas yang lebih besar dapat bersifat inhibitor. Tabel 2.6 menyajikan pengaruh beberapa ion logam ringan pada proses anaerob.

Tabel 2.4 Konsentrasi Kation Ringan *Stimulatory*

Kation	Konsentrasis dalam mg/l		
	Stimulatory	Moderately inhibitor	Strongly inhibitor
Natrium (Na)	100-200	3500-5500	8000
Kalium (K)	200-400	2500-4500	12000
Kalsium (Ca)	100-200	2500-4500	8000
Magnesium (Mg)	75-150	1000-1500	3000

Sumber : Grady dan Henry, 1980

2.5.5 Kandungan Racun dan Hambatan

Kandungan racun (*toxicity*) dan hambatan (*inhibition*) proses anaerob dapat disebabkan oleh berbagai hal misalnya produk antar asam lemak lebih mudah menguap (*volatile*) yang dapat mempengaruhi pH. Pertumbuhan mikroba metanogenik terbatas jika jumlah asam lemaknya berlebihan. Amonia, hidrogen

sulfida dan asam lemak volatil berasal dari reduksi sulfat dan nitrat oleh bakteri yang juga dapat membentuk asam lemah dan basa lemah pada sistem penyangga (*buffer*). Zat-zat penghambat lain terhadap aktivitas mikroorganisme pada proses anaerob diantaranya kandungan logam berat sianida.

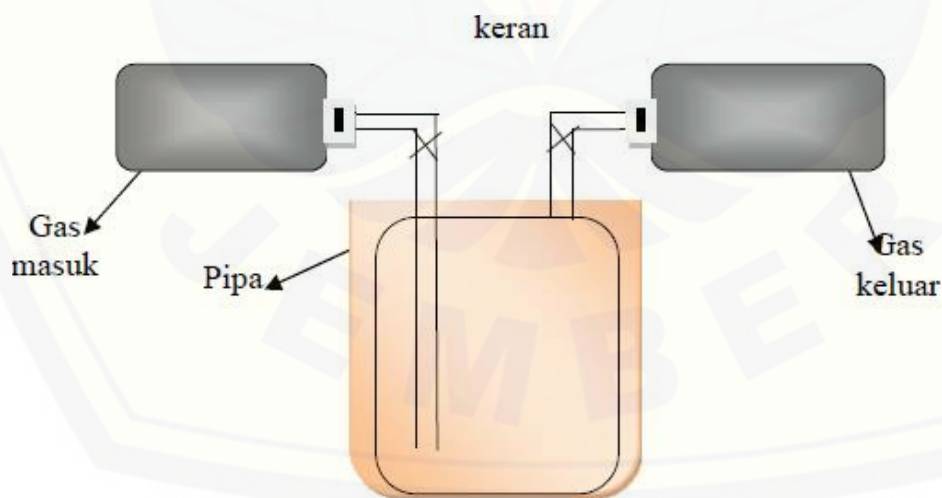
2.5.6 Faktor Konsentrasi Padatan

Konsentrasi ideal padatan yang diperlukan untuk memproduksi biogas adalah 7-9% kandungan kering. Kondisi ini dapat membuat proses digester anaerob berjalan dengan baik. Berikut ini nilai dalam kandungan kering (Total Solid, % TS) beberapa bahan baku biogas.

Tabel 2.5 Nilai dalam Kandungan Kering Bahan Baku Biogas

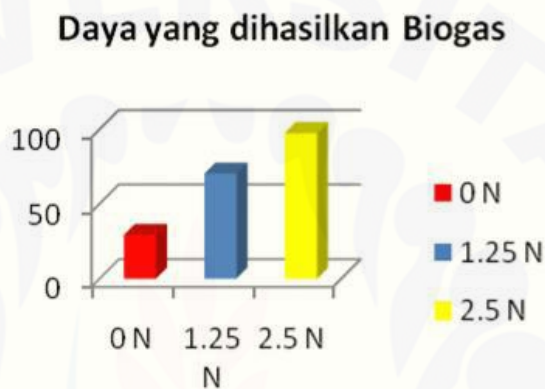
Bahan baku	Kandungan kering (%)
Kotoran manusia	11
Sapi	18
Babi	11
Ayam	25

Sumber : Peter john maynel, 1981



Gambar 2.6 Alat Absorpsi (Sumber: Mara, 2012)

Cara kerja alat absorpsi di atas pada dasarnya sama dengan alat ukur volume, mula-mula tabung bagian dalam diangkat dengan posisi keran gas masuk terbuka, kemudian gas akan masuk ke dalam tabung sehingga terjadi kontak antara larutan KOH dengan gas. Proses ini disebut absorpsi. Setelah absorpsi dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan menguji kualitas biogas dengan cara memanaskan air.

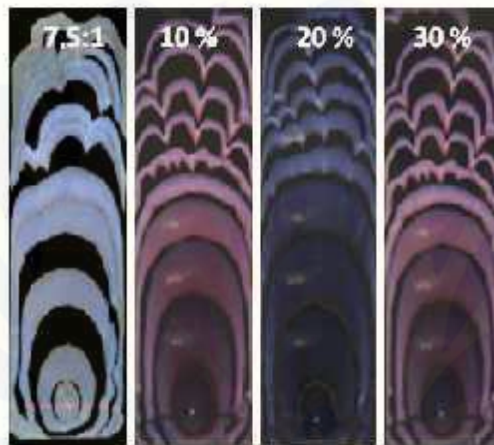


Gambar 2.7 Daya yang dihasilkan biogas (Sumber: Mara, 2012)

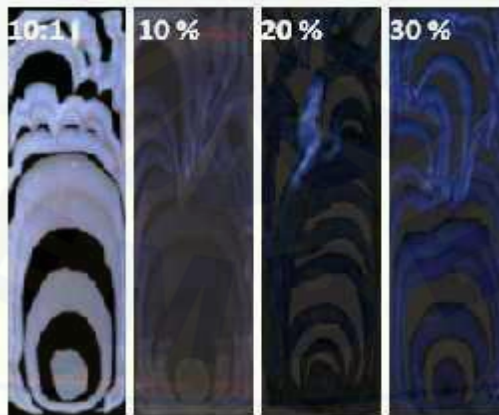
Dari Grafik di atas menunjukkan semakin tinggi konsentrasi KOH yang diberikan maka semakin tinggi daya yang dihasilkan, hal ini disebabkan oleh penurunan kadar karbondioksida (CO_2) dalam gas, penurunan kadar CO_2 ini disebabkan karena reaksinya dengan larutan KOH, CO_2 akan diikat oleh KOH melalui proses absorpsi, sehingga terjadi pemurnian gas metana (CH_4). Hal ini juga terlihat pada pengurangan volume yang terjadi setelah dilakukan proses absorpsi, pengurangan volume tersebut terjadi karena pengikatan CO_2 oleh KOH sedangkan gas metan (CH_4) tidak bereaksi dengan larutan KOH.

Dan penelitian tentang laju rambat api oleh (Uwar *et al*, 2012) yang meneliti laju rambat api dengan memvariasikan penambahan CO_2 dalam CH_4 . Metode penelitian yang digunakan adalah mengamati proses pembakaran yang terjadi pada helle-shaw cell dengan penyalaan dari bawah. Variabel yang diamati dalam penelitian

ini adalah kecepatan rambat api *premixed* pada ruang bakar. Perlakuan yang diberikan adalah variasi campuran bahan bakar/udara tanpa dan dengan CO₂ pada berbagai bahan bakar-udara (AFR) yang diberikan dari 7,5:1 sampai 10:1 dengan interval kenaikan bahan bakar sebesar 0.5 %. Penambahan CO₂ pada berbagai perbandingan bahan bakar udara sebesar 10%, 20% dan 30%. Hasil penelitian untuk pola rambatan api pada berbagai campuran AFR tanpa dan dengan penambahan CO₂ ditunjukkan pada Gambar 2.8. Pola Rambatan api CH₄ tanpa dan dengan penambahan CO₂.



Gambar 2.8. Pola rambat api pada berbagai campuran CO₂ 10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bb/mol udara) 7,5 : 1 (Sumber : Uwar *et al*, 2012)



Gambar 2.9. Pola rambat api pada berbagai campuran CO₂ 10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bb/mol udara) 10 : 1 (Sumber : Uwar *et al*, 2012)

Dari percobaan ini dapat dilihat Gambar 2 dari bentuk *frame* menunjukkan jarak rambatan api pada AFR 7,5:1 bahwa jarak rambatan apinya merapat kemudian pada AFR 8,5:1 sampai 10:1 jarak rambatan apinya merenggang. Hal ini disebabkan karena pada AFR 7,5:1 pada *frame* pertama dan kedua laju rambat api pembakaran rendah sehingga terjadi kerapatan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan CO₂ dapat berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran CH₄. Dalam kesempurnaan pembakaran ada tiga hal yang mempengaruhinya seperti perbandingan udara dan bahan bakar (Air Fuel Ratio / AFR), kehomogenan campuran, dan temperature pembakaran. Pada air fuel ratio (AFR) terdapat campuran kaya dan campuran kurus, campuran kaya adalah campuran dimana jumlah bahan bakar lebih banyak dibandingkan dengan udara, sedangkan campuran kurus adalah campuran yang kekurangan bahan bakar atau kelebihan udara. Antara campuran kaya dan campuran kurus terdapat campuran stoichiometry, dimana perbandingan antara udara dengan bahan bakar dalam keadaan setimbang. Setiap perbandingan volume udara dengan bahan bakar menghasilkan emisi gas buang yang berbeda – beda. Perbandingan udara dengan bahan bakar yang kurang sempurna akan berdampak terhadap gas buang dari proses pembakaran.

Menurut Wardana (1995) pada pembakaran premixed sering kali gagal atau tidak sempurna, karena tidak sesuai dengan syarat – syarat pembakaran seperti oksigen yang dipergunakan tidak cukup atau perbandingan campuran udara dengan bahan bakar tidak tepat, campuran antara udara dengan bahan bakar yang kurang sempurna dan temperatur udara dengan bahan bakar terlalu rendah untuk membantu pembakaran. Pembakaran yang tidak sempurna ini akan berdampak terhadap energy yang diperoleh tidak akan maksimal bahkan akan dapat menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan atau polusi udara.

2.6 Teori Absorpsi

Absorpsi merupakan salah satu proses separasi dalam industri kimia dimana suatu campuran gas dikontakkan dengan suatu cairan penyerap tertentu

sehingga satu atau lebih komponen gas tersebut larut dalam cairannya. Pada awal absorpsi sendiri ada 2 proses, yaitu :

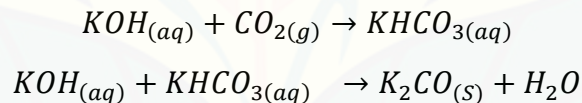
1. Absorpsi fisik

Absorpsi fisik merupakan absorpsi dimana gas terlarut dalam larutan penyerap tidak disertai dengan reaksi kimia. Contoh reaksi ini adalah absorpsi gas H₂S dengan air, methanol, propilen karbonase. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik (Anggiriawan, 2012).

2. 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 MEA, KOH, K₂CO₃ dan sebagainya .Aplikasi dari absorpsi kimia dapat dijumpai pada proses penyerapan gas CO₂ pada pabrik Amonia.

Penggunaan absorpsi kimia dalam fase cair sering digunakan untuk mengeluarkan zat pelarut secara lebih sempurna dalam campuran gasnya. Pada absorpsi CO₂ dengan larutan KOH terjadi reaksi :



(Anggiriawan, 2012).

2.7 Pemurnian Biogas Menggunakan KOH

Teknologi pemisahan yang digunakan untuk pemurnian biogas tergantung pada komposisi dan tujuan penggunaannya. Tujuan penggunaan biogas masyarakat memiliki komposisi standar tertentu sehingga diperlukan pemurnian bahan baku sehingga sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan. Sebagai contoh agar mempunyai nilai kalor yang tinggi maka dapat dilakukan dengan cara mengurangi konsentrasi karbon dioksida dan hidrogen sulfida. Gas metan murni memiliki nilai kalor 9100 kkal/m³ pada 15,5°C dan 1 atm. Sedangkan nilai kalor biogas bervariasi 4800 sampai 6200 kkal/m³. Untuk mencapai komposisi standar maka perlu dilakukan

adanya pemurnian. 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).

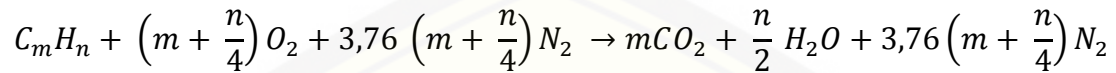
2.8 Proses dan Reaksi Pembakaran

Secara umum, pembakaran dapat didefinisikan sebagai proses atau reaksi oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar (*fuel*) dan oksidator dengan menimbulkan panas atau nyala dan panas. Bahan bakar merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Sementara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen (misalnya udara) yang akan bereaksi dengan bahan bakar (Taufiq, 2008).

Dalam proses pembakaran fenomena-fenomena yang terjadi antara lain interaksi proses-proses kimia dan fisika, pelepasan panas yang berasal dari energi ikatan-ikatan kimia, proses perpindahan panas, proses perpindahan massa, dan gerakan fluida.

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, proses pembakaran akan terjadi jika unsur-unsur bahan bakar teroksidasi. Proses ini akan menghasilkan panas sehingga akan disebut sebagai proses oksidasi eksotermis. Jika oksigen yang dibutuhkan untuk proses pembakaran diperoleh dari udara, dimana udara terdiri dari 21% oksigen dan

78% nitrogen, maka reaksi stoikiometri pembakaran hidrokarbon murni C_mH_n dapat ditulis dengan persamaan:



2.9 Karakteristik Nyala Api

Dalam proses pembakaran, bahan bakar dan udara bercampur dan terbakar dan pembakarannya dapat terjadi baik dalam mode nyala api ataupun tanpa mode nyala api. Berdasarkan buku *an introduction to combustion concept and application*, definisi api adalah pengembangan yang bertahan pada suatu daerah pembakaran yang dialokasikan pada kecepatan subsonic. Warna api dipengaruhi oleh 2 hal yaitu kandungan bahan bakar dan campuran udara yang ikut terbakar.

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

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

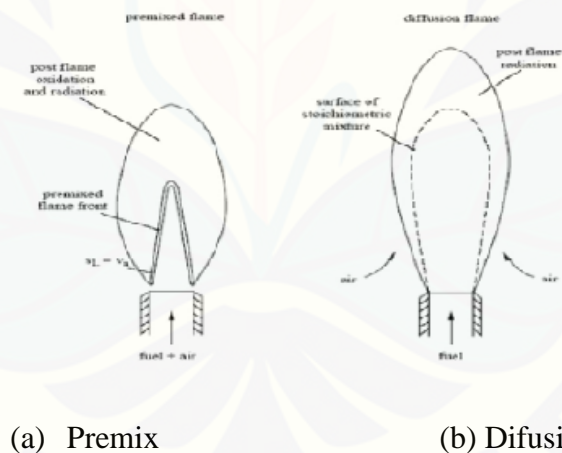
2.9.1 Premixed Flame

Premixed flame adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar bercampur dengan oksigen yang telah tercampur sempurna sebelum pemberian sumber api.

Umumnya indikasi premixed flame dapat dilihat dari warna api yang berwarna biru. Laju pertumbuhan api tergantung dari komposisi kimia bahan bakar yang digunakan.

2.9.2 Diffusion Flame (Non-premixed)

Diffusion Flame adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar dan oksigen bercampur dan penyalaan dilakukan secara bersamaan. Laju difusi reaktan bisa dipengaruhi oleh energi yang dimiliki oleh bahan bakar. Umumnya pada nyala api difusi pengaruh udara dari luar sebagai oksidator pembakaran kan berpengaruh pada nyala api yang dihasilkan. Pemunculan dari nyala api akan tergantung pada sifat dari bahan bakar dan kecepatan pemancaran bahan bakar terhadap udara sekitarnya. Laju pencampuran bahan bakar dengan udara lebih rendah dari laju reaksi kimia. Nyala api difusi pada suatu pembakaran cenderung mengalami pergerakan nyala lebih lama dan menghasilkan asap lebih banyak daripada nyala *premix*. Nyala difusi berupa nyala laminar (*Laminar Flame*) atau nyala turbulen (*Turbulen Flame*). Model nyala api ditampilkan pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 Nyala api (Turns. 1996)

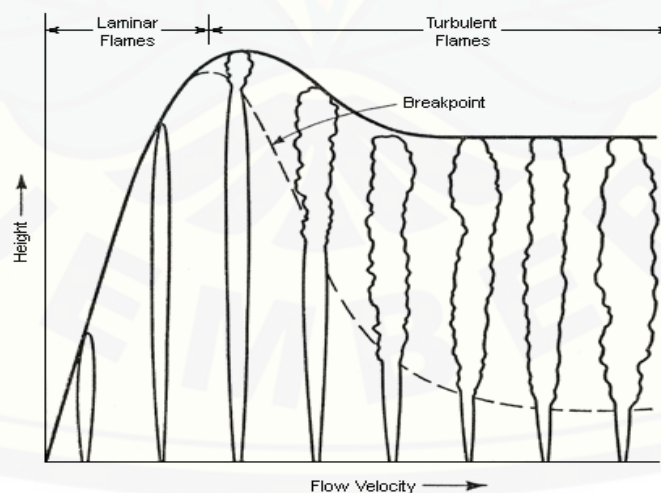
Selain itu kedua tipe di atas nyala api juga dibedakan berdasarkan jenis aliran yang terjadi, yaitu :

2.9.3 Api Laminer

Visualisasi api yang terlihat pada api tipe ini berbentuk secara laminar atau teratur. Api jenis ini memiliki bentuk mengikuti streamline aliran tanpa membentuk turbulensi atau gerakan tidak beraturan.

2.9.4 Api Turbulen

Api turbulen menunjukkan pola aliran nyala api yang tidak beraturan atau acak yang member indikasi aliran yang bergerak sangat aktif. Pada pembakaran gas hasil gasifikasi menunjukkan indikasi diskontinuitas atau produksi yang cenderung tidak konstan membuat api yang terbentuk juga mengalami hambatan dalam pertumbuhannya. Gas sebagai reaktan akan direaksikan bersama oksigen bersamaan dengan saat penyalaan. Kualitas dari nyala api juga tak lepas dari nilai kalor yang terkandung dalam syngas yang dihasilkan oleh proses gasifikasi. Semakin tinggi kandungan zat yang flammable maka kualitas api juga akan semakin tinggi. Turbulen aliran - aliran tiga dimensi yang tidak teratur terdiri dari pusaran (Transport panas, massa, dan momentum yang beberapa kali lipat lebih besar daripada molekul konduktivitas, difusivitas, dan viskositas). Model Arus *laminar* vs arus *turbulent* pada nyala api ditampilkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Arus *laminar* vs arus *turbulent* (Turns, 1996)

Aliran laminar adalah aliran ketika uap kecepatan rendah pada bahan bakar dilepaskan dari kompor. Meningkatnya turbulensi akan meningkatkan propagasi api. Tapi intensitas turbulensi terlalu banyak menyebabkan tingkat propagasi menurun dan menyebabkan api padam. Turbulensi di pengaruhi aliran bahan bahan bakar yang menguap, kecepatan aliran bahan bakar, dan media penguapan bahan bakar (Bangkeju, 2012). Berikut ini beberapa penjelasan mengenai warna dan jenis api:

2.9.5 Api Merah

Api berwarna merah / kuning ini biasanya bersuhu dibawah 1000 derajat celcius. 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 2.13.



Gambar 2.13 Nyala api merah (Sumber: Bangkeju, 2012)

2.9.6 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 derajat celcius. Api ini berbahan bakar gas dan mengalami pembakaran sempurna. Jadi tingkatan api biru diatas merah. Nyala api biru ditampilkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Nyala api biru pada kompor gas (Bangkeju, 2012)

2.9.7 Api Putih

Nyala api ini merupakan api paling panas yang ada di bumi. Warna putihnya itu dikarenakan suhunya melebihi 2000 derajat celsius. Api inilah 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. Nyala api putih ditampilkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Nyala api putih pada proses produksi pabrik (Bangkeju, 2012)

2.9.8 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 2.16.



(a) laminar (b) turbulen

Gambar 2.16 Nyala api *bunsen burner* (Bangkeju, 2012)

Bisa dilihat kalau di bagian pangkal api ada bagian kecil yang warnanya nyaris transparan, itulah yang disebut dengan api hitam. Karena definisi warna hitam pada spektrum warna cahaya adalah sebenarnya ketiadaan cahaya, jadi kelihatannya transparan. Ini adalah bagian yang paling panas, sehingga kalau mau memanaskan reaksi kimia, tabung uji harus ditempatkan di bagian ini.

Gambar 2.17 di bawah ini adalah contoh untuk simulasi yang lebih jelas. Bisa dilihat kalau apinya seolah menggantung di atas sumbu lilin, bagian transparan itulah yang disebut api hitam.



Gambar 2.17 Nyala api lilin (Bangkeju, 2012)

Warna dari api juga bisa dibuat dengan pembakaran bahan kimia atau unsur golongan alkali / alkali tanah, contoh:

1. *Red Strontium* adalah api merah (pakai Stronsium).
2. *Orange Calcium Chloride* adalah api oranye (pakai Kalsium).
3. *Yellow Sodium Chloride* adalah api kuning (pakai Sodium).
4. *Green Copper Sulfate* adalah api hijau.
5. *Blue Copper Chloride* adalah api biru.
6. *Violet 3 parts Potassium Sulfate 1 part Potassium Nitrate* adalah api ungu.
7. *White Magnesium Sulfate* adalah api putih (pakai Magnesium).

2.10 AFR (Air Fuel Ratio)

Untuk dapat berlangsung pembakaran bahan bakar, maka dibutuhkan oksigen yang diambil dari udara. Udara mengandung 21 sampai 23% oksigen dan kira-kira 78% nitrogen, lainnya sebanyak 1% Argon dan beberapa unsur yang dapat diabaikan. Untuk keperluan pembakaran, oksigen tidak dipisahkan dari unsur lainnya tapi disertakan bersama-sama. Yang ikut bereaksi pada pembakaran hanyalah oksigen, sedangkan unsur lainnya tidak beraksi dan tidak memberikan pengaruh apapun. Nitrogen akan keluar bersama gas sisa pembakaran dalam jumlah dan bentuk yang

sama seperti semula. Pembakaran yang terjadi adalah tidak lain dari suatu reaksi kimia yang berlangsung dalam waktu yang amat pendek, dan dari reaksi tersebut dihasilkan sejumlah panas. Karena itu untuk sejumlah tertentu bahan bakar dibutuhkan pula sejumlah oksigen. Perbandingan antara jumlah udara dan bahan bakar tersebut dapat dihitung dengan persamaan reaksi pembakaran (Tompul, 2012).

Persamaan reaksi pembakaran stokiometri pada metana berbasis volume:



Maka AFR stokiometri metana berbasis volume

$$\text{AFR}_v = \frac{2(1+3.76)}{1} = 9.52$$

2.11 Hipotesa

Dari tinjauan pustaka di atas dapat diambil hipotesa sebagai berikut:

1. Waktu kontak semakin lama dan konsentrasi KOH yang semakin tinggi akan meningkatkan penurunan kandungan karbondioksida (CO_2) dalam proses pemurnian biogas yang ditunjukkan jarak antar flame yang semakin renggang pada rambat api.
2. Waktu kontak semakin lama dan konsentrasi KOH yang semakin tinggi akan meningkatkan penurunan kandungan karbondioksida (CO_2) dalam proses pemurnian biogas yang ditunjukkan semakin cepat rambat apinya.

BAB 3. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menguji pengaruh variasi konsentrasi KOH dan waktu kontak terhadap kualitas pemurnian biogas dengan menggunakan larutan KOH, dalam penelitian ini, proses pemurnian biogas dilakukan dengan sistem penyerapan absorpsi kandungan gas karbon dioksida (CO₂) menggunakan KOH yang telah divariasikan konsentrasinya. Biogas disirkulasikan ke alat purifikasi sistem kontinyu untuk menyerap gas CO₂ menggunakan larutan KOH.

Biogas hasil purifikasi (*purified biogas*) digunakan sebagai bahan bakar pada alat uji cepat rambat api. Pengujian tahap ini adalah untuk mengetahui pengaruh *purified biogas* terhadap cepat rambat api. Metode penelitian dilakukan dengan merekam proses nyala api secara visual menggunakan *camera high speed*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat penelitian

a. Pembuatan Alat Purifikasi Biogas

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

b. Penelitian Pemurnian Biogas dan Uji Karakteristik Api Biogas

Penelitian pemurnian biogas dilakukan dengan memanfaatkan instalasi biogas di *biogas Plan* Desa Ajung Jenggawah di Pusat Penelitian Kopi dan Kakau

3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih 1 bulan pada bulan Desember 2014 - Januari 2015.

3.3 Alat dan bahan penelitian

3.3.1 Alat

a. Pembuatan Alat Purifikasi Biogas

Alat yang digunakan yaitu:

- Mesin bor
- Gergaji besi
- Penggaris
- Pisau

Bahan yang digunakan yaitu:

- Pipa PVC ½"
- Water Mur
- Akuarium 15 cm x 15cm x 25cm.
- Larutan KOH

b. Penelitian Karakteristik Api

Alat yang digunakan yaitu:

- Ruang Bakar Model *Helle-Shaw Cell* 1cm x 20cm x 60cm
- *Cylinder Pneumatic* diameter 5cm dan panjang 30cm
- Manometer pipa U
- Stopwatch
- Pemantik api
- Alat pertukangan
- Kamera Fuji film *high speed* 60 *frame/s* 1.280x720 , 120 *frame/s* 640x480, 240 *frame/s* 224x168, 480 *frame/s* 224x168, dan 1000 *frame/s* 224x64.
- Komputer
- Kabel pemantik
- Selang ¼"

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

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

1. Pengujian pemurnian biogas ini menggunakan konsentrasi KOH sebesar 25%, 35%, dan 45%..

3.4.2 Variabel Terikat

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

1. Gambar rambat api.
2. Cepat rambat api.

3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang besarnya sebagai pengendali dalam proses penelitian, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebas dan variabel terikat. Penelitian ini mempunyai variabel kontrol waktu pengukuran (t).

3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang dipergunakan dalam pengujian ini meliputi:

- a. Data primer, merupakan data yang diperoleh langsung dari pengukuran pengujian rambat api pada masing-masing pengujian.
- b. Data sekunder, merupakan data yang diperoleh dari literatur perhitungan maupun hasil pengujian properti rambat api.

3.6 Pengamatan yang Dilakukan

Pada penelitian ini yang akan diamati adalah:

1. Gambar rambat api.
2. Kecepatan rambat api.

3.7 Tahapan Penelitian dan Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi dan waktu kontak terhadap pemurnian biogas dengan KOH Tahap prosedur yang dilakukan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

3.7.1 Tahap Pembuatan Alat Purifikasi Biogas

Tahap pembuatan alat purifikasi biogas dilakukan dengan memodifikasi akuarium 5.5 L kemudian selang $\frac{1}{4}$ " dipasang di dalamnya sebagai keluaran dan masukan biogas.

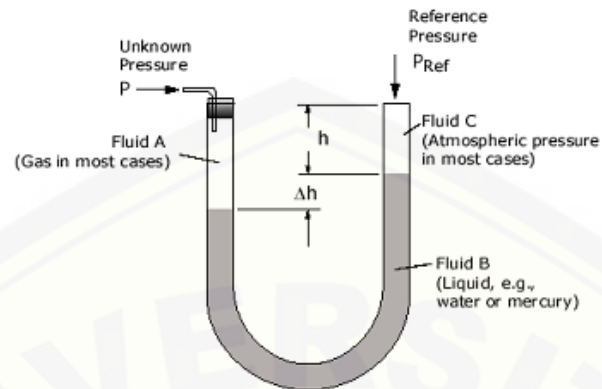
3.7.2 Tahap Penyiapan KOH

Tahap penyiapan KOH dilakukan dengan membeli di toko kimia dan membuat larutan KOH dengan variasi konsentrasi 25%, 35%, dan 45% berbasis volume.

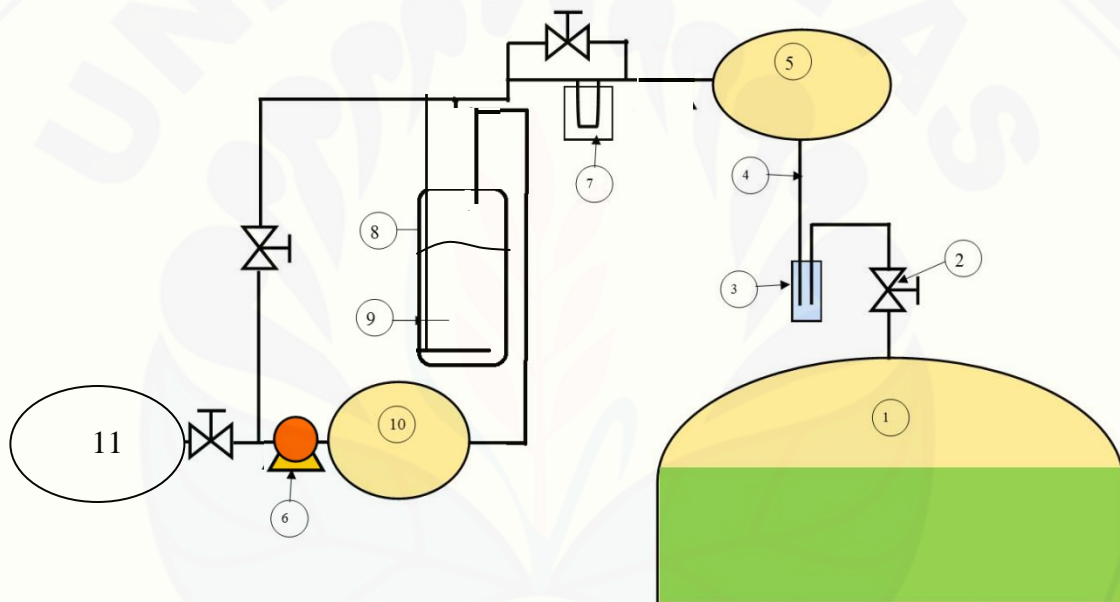
3.7.3 Tahap Pemurnian Biogas

Tahap pembuatan *purifier biogas* ini terpusat pada ukuran tabung, panjang tabung serta metode sirkulasi biogas yang kontinyu, berikut langkah pembuatannya:

1. Mengukur tekanan biogas dengan menggunakan manometer pipa U (Gambar. 3.1).
2. Mendesain sirkulasi alat purifikasi biogas dengan sistem kontinyu (Gambar. 3.2).
3. Memasukkan KOH konsentrasi 25% ke dalam alat purifikasi
4. Memasang alat purifikasi.
5. Mengecek kebocoran pada alat purifikasi.



Gambar. 3.1 Manometer pipa U



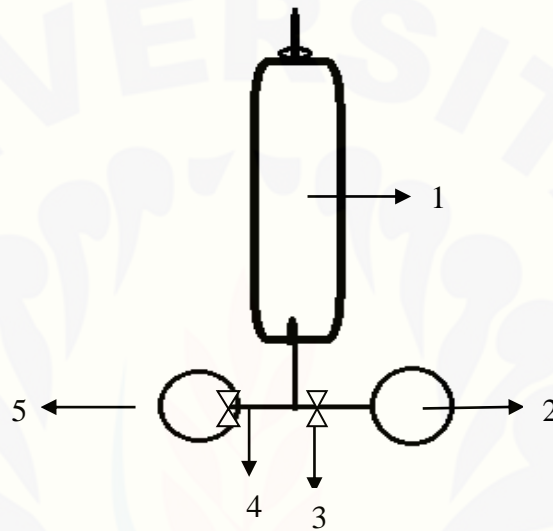
Gambar 3.2 Skema pemurnian biogas

Keterangan gambar:

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 1. Digester biogas | 7. Manometer pipa U |
| 2. <i>Stopkran</i> | 8. Alat purifikasi |
| 3. <i>Watertrap/safety valve</i> | 9. KOH |
| 4. Pipa PVC | 10. <i>Purified Gas holder</i> |
| 5. <i>Gas holder</i> | 11. Kantong biogas |
| 6. <i>Pump</i> | |

3.7.4 Pengujian Karakteristik Api Biogas

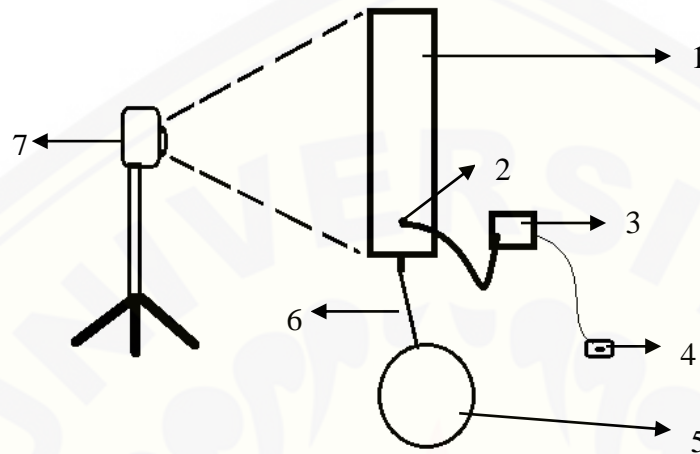
Tahap pengamatan karakteristik nyala api pada biogas ini terpusat pada perekaman nyala api biogas dengan menggunakan kamera video dan *Helle-Shaw Cell* (Gambar 3.3 dan Gambar 3.4).



Gambar 3.3 Skema pencampuran biogas dan udara

Keterangan gambar:

1. *Cylinder Pneumatic* diameter 5cm dan panjang 30cm
2. Kantong biogas
3. *Stop kran*
4. Selang 1/4"
5. Kantong pencampur biogas



Gambar 3.4 Skema perekaman rambat api

Keterangan gambar:

1. *Helle-Shaw Cell* 1cm x 20cm x 60cm
2. Titik api
3. Pemantik
4. Saklar pemantik
5. Kantong biogas
6. Selang 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.

Untuk langkah pengamatan menyiapkan campuran Biogas yang telah dimurnikan dengan udara menggunakan Cylinder Pneumatic dan AFR 8,10,12Lalu 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 maka percikan api dengan menggunakan pemantik sehingga terjadi pembakaran pada helle-shaw cell. Dan secara bersamaan merekam dengan menggunakan kamera, hasil pembakaran pada helle-shaw cell yang terekam dari

kamera video dipindah ke komputer menjadi file AVI dengan program *DVD Video Soft Free Studio* kemudian potong video sehingga mendapatkan video yang lebih pendek dengan menggunakan *Kate's Video Splitter 7.0*. dari hasil potongan video diekstraksi menjadi gambar diam dalam sejumlah frame yang tersusun berurutan dari saat menyala pertama sampai padam menggunakan program *DVD Video Soft Free Studio*. Setelah mendapatkan gambar maka dihitung jumlah *Frame* dari titik nyala sampai titik Diana api telah sampai di ujung alat. Setelah diketahui jumlah *Frame* maka buka tiap *frame* pada program Paint. *Frame* awal nyala dan *Frame* terakhir dijadikan pedoman jarak *frame*. Perbesar tampilan Paint hingga 600x, lalu ukur titik nyala sampai titik dimana api berhenti dan ukur *pixel* yang ada di atas gambar. Dari satuan *pixel* tersebut diubah menjadi satuan cm. Dan ulangi dari *frame* titik awal nyala sampai *frame* terakhir.

3.7.5 Akhir Pengambilan Data

Setelah proses pengujian dan pengambilan data selesai, langkah selanjutnya adalah merekap dan simpan data pengujian rambat api.

3.8 Rekap Pengambilan Data

Untuk mencatat data hasil pengujian pemurnian biogas menggunakan KOH dengan variasi konsentrasi 25%, 35%, dan 45% dan waktu kontak 20, 40 dan 60 menit harus terlebih dahulu melakukan pengambilan data karakteristik rambat api biogas sebelum dilakukan proses pemurnian.

Proses pemurnian biogas menggunakan variasi konsentrasi KOH untuk mengetahui karakteristik rambat api, biogas disirkulasikan melalui alat purifikasi biogas dengan variasi waktu kontak 20, 40, dan 60 menit kemudian dilakukan perekaman gambar rambat api.

Untuk mengetahui cepat rambat api sesaat menggunakan KOH dengan variasi konsentrasi 25%, 35%, dan 45% dan waktu kontak 20, 40 dan 60 menit ,data tersebut disajikan pada Tabel 3.1.

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat(cm/detik)
1				
2				
3				
4				
5				
Dst				

Untuk mengetahui cepat rambat api total menggunakan KOH dengan variasi konsentrasi 25%, 35%, dan 45% dan waktu kontak 20, 40 dan 60 menit ,data tersebut disajikan pada Tabel 3.2.

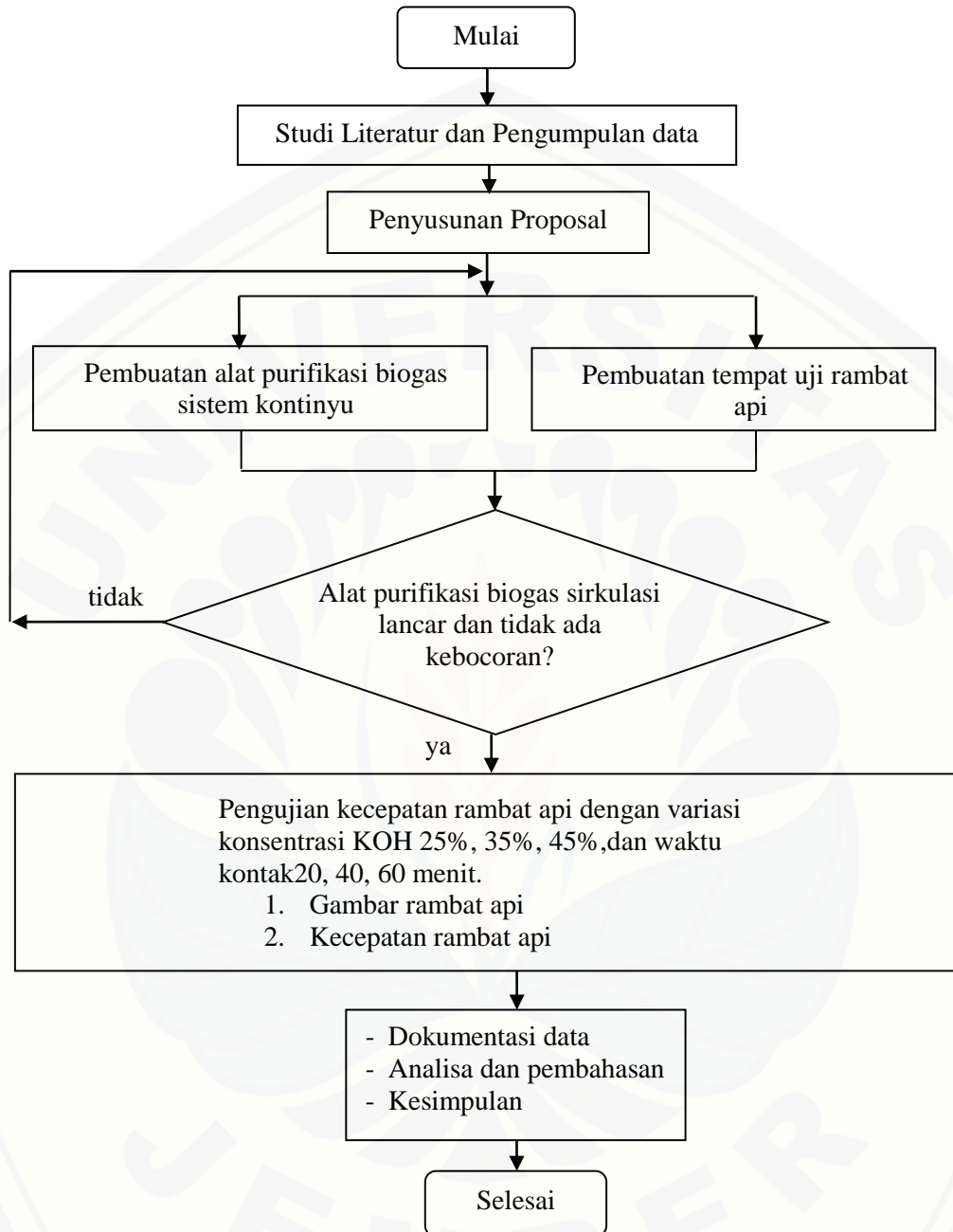
<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api(cm/detik)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
dst				

Dan untuk mengetahui cepat rambat api maksimal disajikan pada Tabel 3.3.

No	Konsentrasi AFR	Waktu Kontak	Cepat Rambat Api (mm/detik)
		20,40,60	
1	Sebelum purifikasi	-	
2	25%	20 menit	
3		40 menit	
4		60 menit	
5	35%	20 menit	
6		40 menit	
7		60 menit	
8	45%	20 menit	
9		40 menit	
10		60 menit	

3.9 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ukuran mesh dan waktu kontak terhadap pemurnian biogas dengan menggunakan KOH adalah sebagai berikut:



Gambar 3.5 Diagram alir pengujian pada pemurnian biogas

3.10 Jadwal Kegiatan Penelitian

Berikut adalah skema jadwal kegiatan penelitian yang akan dilaksanakan:

Tabel 3.4 Tabel jadwal penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan															
		Januari				Februari				Maret				April			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur	■	■														
2	Penyusunan proposal	■	■	■	■												
3	Pembuatan alat			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
4	Seminar proposal													■			
5	Pelaksanaan penelitian													■			
6	Pengolahan dan analisa data													■	■	■	
7	Seminar hasil															■	■

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian.

Dari penelitian cepat rambat api dihasilkan berbagai data hasil penelitian cepat rambat api total, cepat rambat api sesaat, dan gambar rambat api. Dari berbagai data tersebut dapat dibandingkan pengaruh variasi konsentrasi KOH dan lama kontak terhadap cepat rambat api. Untuk membahas tentang gambar rambat api, dan kecepatan rambat api.

4.1.1 Gambar rambat api

Hasil penelitian tentang gambar rambat api dengan berbagai variasi konsentrasi KOH dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.10 sebagai berikut



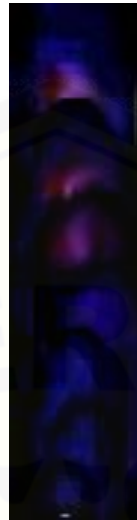
Gambar 4.1 Gambar rambat api dengan purifikasi sebelum perlakuan



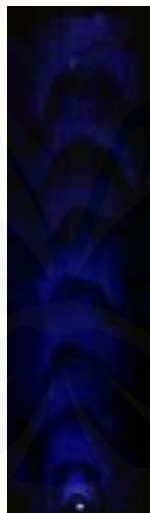
Gambar 4.2 Gambar rambut api dengan purifikasi KOH 25%, lama kontak
20 menit



Gambar 4.3 Gambar rambut api dengan purifikasi KOH 25%, lama kontak
40 menit



Gambar 4.4 Gambar rambut api dengan purifikasi KOH 25%, lama kontak
60 menit



Gambar 4.5 Gambar rambut api dengan purifikasi KOH 35%, lama kontak
20 menit



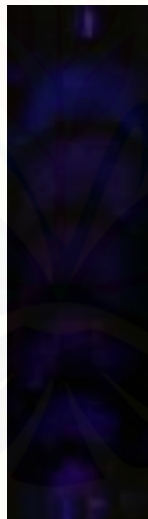
Gambar 4.6 Gambar rambat api dengan purifikasi KOH 35%, lama kontak
40 menit



Gambar 4.7 Gambar rambat api dengan purifikasi KOH 35%, lama kontak
60 menit



Gambar 4.8 Gambar rambut api dengan purifikasi KOH 45%, lama kontak
20 menit



Gambar 4.9 Gambar rambut api dengan purifikasi KOH 45%, lama kontak
40 menit



Gambar 4.10 Gambar rambat api dengan purifikasi KOH 45%, lama kontak
60 menit

4.1.2 Cepat rambat api sesaat

Hasil penelitian tentang cepat rambat api sesaat dengan berbagai variasi konsentrasi KOH dan waktu lama kontak dapat dilihat pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.4 sebagai berikut

Tabel 4.1 Cepat rambat api sesaat sebelum perlakuan

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	3	0,98	0,002	488,6
2	7	2,28	0,004	651,5
3	9	2,93	0,006	325,7
4	11	3,58	0,008	325,7
5	14	4,56	0,010	488,6
6	17	5,54	0,012	488,6
7	21	6,84	0,014	651,5
8	23	7,49	0,016	325,7
9	33	10,75	0,018	1628,7
10	36	11,73	0,020	488,6
11	40	13,03	0,022	651,5

12	44	14,33	0,024	651,5
13	52	16,94	0,026	1302,9
14	57	18,57	0,028	814,3
15	62	20,20	0,030	814,3
16	69	22,48	0,032	1140,1
17	73	23,78	0,034	651,5
18	77	25,08	0,036	651,5
19	80	26,06	0,038	488,6
20	84	27,36	0,040	651,5
21	87	28,34	0,042	488,6
22	90	29,32	0,044	488,6
23	93	30,29	0,046	488,6
24	99	32,25	0,048	977,2
25	113	36,81	0,050	2280,1
26	129	42,02	0,052	2605,9
27	140	45,60	0,054	1791,5
28	156	<u>50,81</u>	<u>0,056</u>	<u>2605,9</u>

Tabel 4.2 Cepat rambat api sesaat dengan KOH 25%, lama kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	3	0,98	0,002	488,6
2	7	2,28	0,004	651,5
3	11	3,58	0,006	651,5
4	13	4,23	0,008	325,7
5	24	7,82	0,010	1791,5
6	34	11,07	0,012	1628,7
7	44	14,33	0,014	1628,7
8	64	20,85	0,016	3257,3
9	84	27,36	0,018	3257,3
10	100	32,57	0,020	2605,9
11	110	35,83	0,022	1628,7
12	120	39,09	0,024	1628,7
13	130	42,35	0,026	1628,7
14	140	45,60	0,028	1628,7
15	149	48,53	0,030	1465,8

16	154	50,16	0,032	814,3
----	-----	-------	-------	-------

Tabel 4.3 Cepat rambat api sesaat dengan KOH 35%, lama kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	8	2,61	0,002	1302,9
2	15	4,89	0,004	1140,1
3	21	6,84	0,006	977,2
4	25	8,14	0,008	651,5
5	36	11,73	0,010	1791,5
6	41	13,36	0,012	814,3
7	53	17,26	0,014	1954,4
8	59	19,22	0,016	977,2
9	69	22,48	0,018	1628,7
10	85	27,69	0,020	2605,9
11	98	31,92	0,022	2117,3
12	117	38,11	0,024	3094,5
13	125	40,72	0,026	1302,9
14	145	47,23	0,028	3257,3

Tabel 4.4 Cepat rambat api sesaat dengan KOH 45%, lama kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	4	1,30	0,002	651,5
2	8	2,61	0,004	651,5
3	9	2,93	0,006	162,9
4	15	4,89	0,008	977,2
5	25	8,14	0,010	1628,7
6	36	11,73	0,012	1791,5
7	47	15,31	0,014	1791,5
8	67	21,82	0,016	3257,3
9	81	26,38	0,018	2280,1
10	104	33,88	0,020	3745,9
11	128	41,69	0,022	3908,8
12	154	50,16	0,024	4234,5

Tabel 4.5 Rata-rata cepat rambat api sesaat

No	Konsentrasi KOH	Waktu Kontak	Rata-rata Cepat Rambat Api Sesaat (cm/detik)
1	Sebelum Purifikasi	-	907.4
2	25%	20 menit	1567.6
		40 menit	1628.7
		60 menit	1886.5
3	35%	20 menit	1686.8
		40 menit	1779.0
		60 menit	1859.4
4	45%	20 menit	2090.1
		40 menit	1913.7
		60 menit	1873.0

4.1.3 Cepat rambat api total

Hasil penelitian tentang cepat rambat api total dengan berbagai variasi konsentrasi KOH dan waktu lama kontak dapat dilihat pada tabel 4.6 sampai tabel 4.10 sebagai berikut

Tabel 4.6 Cepat rambat api total sebelum perlakuan

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	3	0,98	0,002	488,6
2	7	2,28	0,004	570,0
3	9	2,93	0,006	488,6
4	11	3,58	0,008	447,9
5	14	4,56	0,010	456,0
6	17	5,54	0,012	461,5
7	21	6,84	0,014	488,6
8	23	7,49	0,016	468,2

9	33	10,75	0,018	597,2
10	36	11,73	0,020	586,3
11	40	13,03	0,022	592,2
12	44	14,33	0,024	597,2
13	52	16,94	0,026	651,5
14	57	18,57	0,028	663,1
15	62	20,20	0,030	673,2
16	69	22,48	0,032	702,4
17	73	23,78	0,034	699,4
18	77	25,08	0,036	696,7
19	80	26,06	0,038	685,8
20	84	27,36	0,040	684,0
21	87	28,34	0,042	674,7
22	90	29,32	0,044	666,3
23	93	30,29	0,046	658,5
24	99	32,25	0,048	671,8
25	113	36,81	0,050	736,2
26	129	42,02	0,052	808,1
27	140	45,60	0,054	844,5
28	156	50,81	0,056	907,4

Tabel 4.7 Cepat rambat api total dengan KOH 25%, lama kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	3	0,98	0,002	488,6
2	7	2,28	0,004	570,0
3	11	3,58	0,006	597,2
4	13	4,23	0,008	529,3
5	24	7,82	0,010	781,8
6	34	11,07	0,012	922,9
7	44	14,33	0,014	1023,7
8	64	20,85	0,016	1302,9
9	84	27,36	0,018	1520,1
10	100	32,57	0,020	1628,7
11	110	35,83	0,022	1628,7
12	120	39,09	0,024	1628,7

13	130	42,35	0,026	1628,7
14	140	45,60	0,028	1628,7
15	149	48,53	0,030	1617,8
16	154	50,16	0,032	1567,6

Tabel 4.8 Cepat rambat api total dengan KOH 35%, lama kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	8	2,61	0,002	1302,9
2	15	4,89	0,004	1221,5
3	21	6,84	0,006	1140,1
4	25	8,14	0,008	1017,9
5	36	11,73	0,010	1172,6
6	41	13,36	0,012	1112,9
7	53	17,26	0,014	1233,1
8	59	19,22	0,016	1201,1
9	69	22,48	0,018	1248,6
10	85	27,69	0,020	1384,4
11	98	31,92	0,022	1451,0
12	117	38,11	0,024	1587,9
13	125	40,72	0,026	1566,0
14	145	47,23	0,028	1686,8

Tabel 4.9 Cepat rambat api total dengan KOH 45%, lama kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	4	1,30	0,002	651,5
2	8	2,61	0,004	651,5
3	9	2,93	0,006	488,6
4	15	4,89	0,008	610,7
5	25	8,14	0,010	814,3
6	36	11,73	0,012	977,2
7	47	15,31	0,014	1093,5
8	67	21,82	0,016	1364,0
9	81	26,38	0,018	1465,8

10	104	33,88	0,020	1693,8
11	128	41,69	0,022	1895,2
12	154	50,16	0,024	2090,1

Tabel 4.10 Cepat rambat api total

No	Konsentrasi KOH	Waktu Kontak	Cepat Rambat Api Total (cm/detik)
1	Sebelum Purifikasi	-	907.4
2	25%	20 menit	1567.6
		40 menit	1628.7
		60 menit	1886.5
3	35%	20 menit	1686.8
		40 menit	1779.0
		60 menit	1859.4
4	45%	20 menit	2090.1
		40 menit	1913.7
		60 menit	1873.0

4.2 Pembahasan Hasil Penelitian

Pembahasan hasil penelitian ini menjelaskan tentang hasil pengolahan data dan studi eksperimen selama penelitian yang ditampilkan dalam bentuk gambar, grafik, dan tabel cepat rambat api. Dalam pembahasan ini akan menjelaskan tentang pengaruh variasi konsentrasi KOH dan lama kontak untuk purifikasi terhadap karakteristik cepat rambat api.

4.2.1 Gambar Rambat Api

Hasil penelitian tentang gambar rambat api dengan berbagai variasi konsentrasi KOH dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.10 gambar rambat api sebelum dan sesudah dipurifikasi.

Pada Gambar 4.1 rambat api sebelum purifikasi terlihat jarak antar *flame* sangat berdekatan. Pada Gambar 4.2 rambat api setelah dipurifikasi dengan KOH 25% dengan lama waktu kontak 20 menit mulai ada beberapa *flame* dengan jarak yang berjauhan walau masih sedikit. Pada Gambar 4.3 rambat api setelah dipurifikasi dengan KOH 25% dengan lama waktu kontak 40 menit mulai ada beberapa *flame* dengan jarak yang berjauhan lebih banyak dibanding dengan lama waktu kontak 20 menit di konsentrasi yang sama. Pada Gambar 4.4 rambat api setelah dipurifikasi dengan KOH 25% dengan lama waktu kontak 60 menit jarak antar *flame* berjauhan lebih banyak dibanding dengan lama waktu kontak 40 menit di konsentrasi yang sama. Hal ini dikarenakan dikarenakan kadar CO₂ masih tinggi dan dapat mengganggu pembakaran pada biogas yang belum terpurifikasi (Wardana, 2008). Kadar CO₂ telah terserap dengan baik oleh KOH 25% dengan lama kontak 60 menit terlihat dari mulai banyak jarak antar *flame* yang berjauhan.

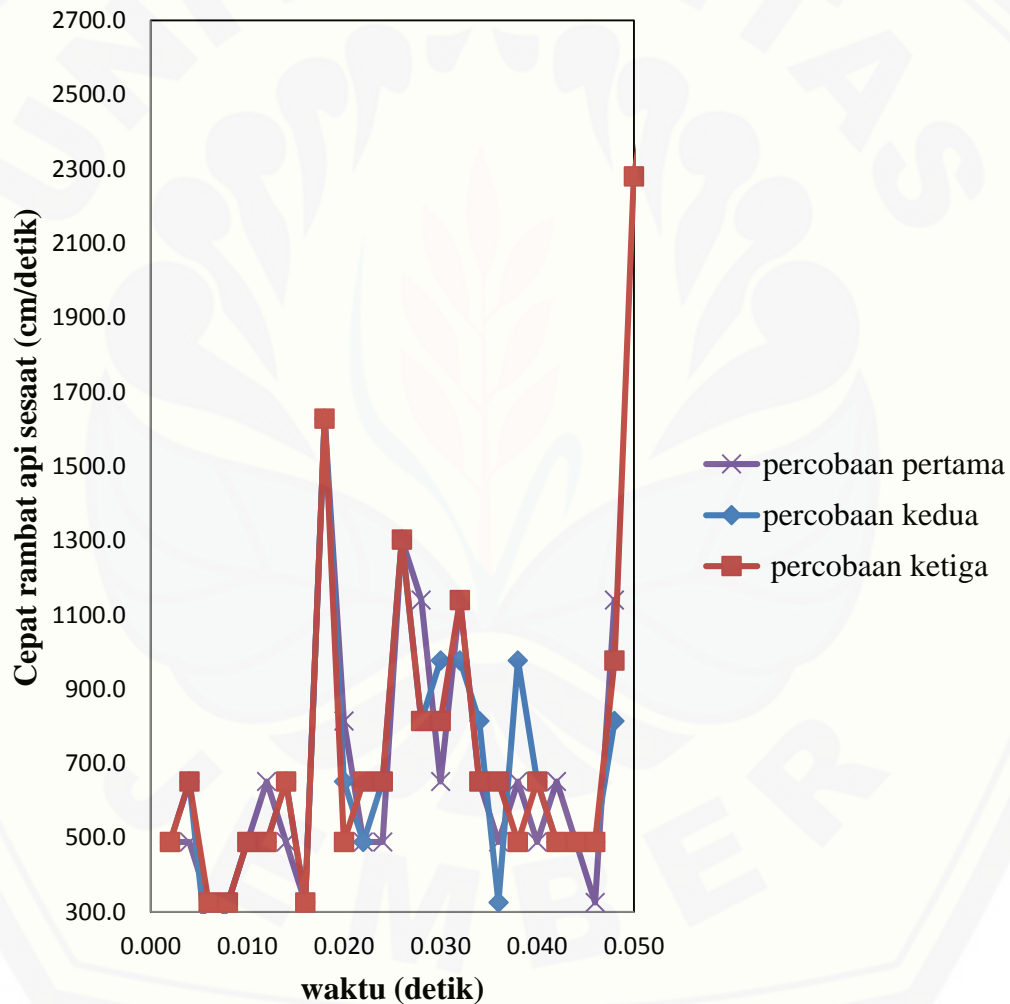
Pada Gambar 4.5 rambat api setelah dipurifikasi dengan KOH 35% dengan lama waktu kontak 20 menit mulai ada beberapa *flame* dengan jarak yang berjauhan walau masih sedikit. Pada Gambar 4.6 rambat api setelah dipurifikasi dengan KOH 35% dengan lama waktu kontak 40 menit mulai ada beberapa *flame* dengan jarak yang berjauhan lebih banyak dibanding dengan lama waktu kontak 20 menit di konsentrasi yang sama. Pada Gambar 4.7 rambat api setelah dipurifikasi dengan KOH 35% dengan lama waktu kontak 60 menit jarak antar *flame* berjauhan lebih banyak dibanding dengan lama waktu kontak 40 menit di konsentrasi yang sama. Hal ini dikarenakan dikarenakan kadar CO₂ dapat mengganggu pembakaran (Wardana, 2008). Kadar CO₂ telah terserap dengan baik oleh KOH 35% dengan lama kontak 60 menit terlihat dari mulai banyak jarak antar *flame* yang berjauhan.

Pada Gambar 4.8, Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 rambat api setelah dipurifikasi dengan KOH 45% dengan lama waktu kontak 20 menit, 40 menit dan 60 menit jarak antar *flame* telah berjauhan. Hal ini dikarenakan CO₂ telah terpurifikasi dengan baik mulai variasi menit pertama dan dapat dikatakan bahwa KOH 45% telah

jenuh pada waktu 20 menit. Semakin sedikit kadar CO_2 maka semakin baik pembakarannya (Wardana, 2008).

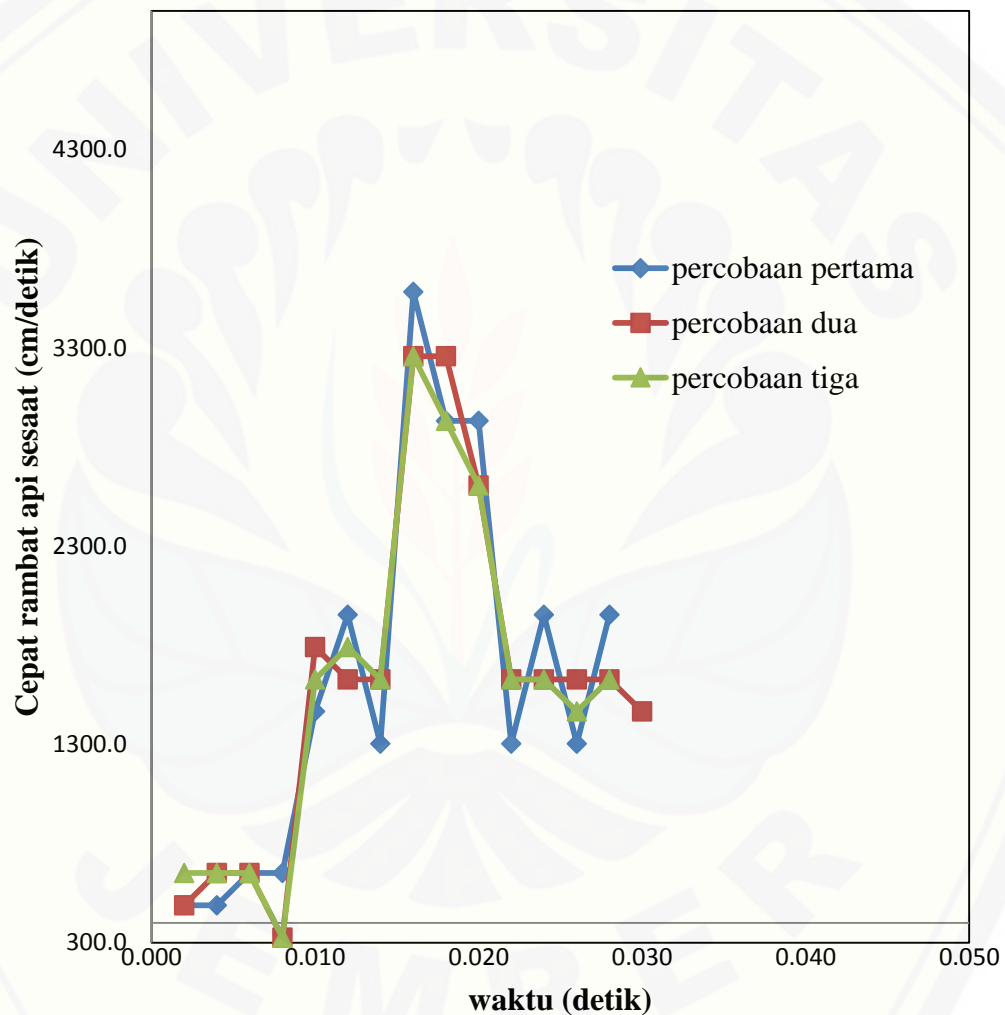
4.2.2 Cepat Rambat Api sesaat

Untuk dapat mengetahui kecepatan rambat api sesaat. Maka dalam subbab ini akan ditampilkan bagaimana grafik cepat rambat api sesuai dengan konsentrasi KOH dan lama waktu kontak yang dapat disajikan pada Gambar 4.11 sampai Gambar 4.21 dengan data dapat dilihat pada Lampiran A.1.



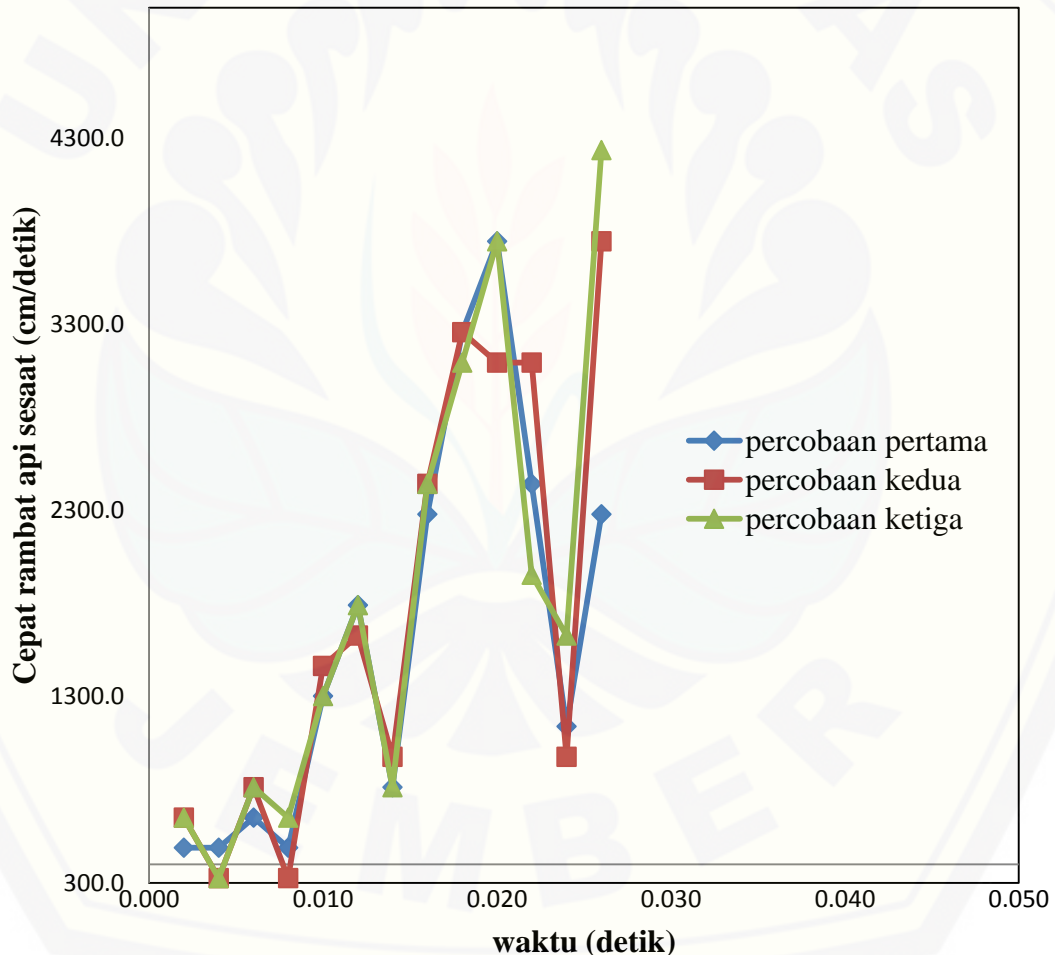
Gambar 4.11 Grafik cepat rambat api sesaat sebelum perlakuan

Kecepatan rambat api sesaat sebelum purifikasi menunjukkan grafik yang naik turun. Hal ini disebabkan karena masih banyak kadar CO_2 sehingga membuat pembakaran terhambat dan tidak stabil. Cepat rambat tersebut menunjukkan bahwa kadar CO_2 pada biogas masih besar sehingga perlu dipurifikasi agar mendapatkan gas yang lebih bersih dari CO_2 . Rata-rata cepat rambat api sesaatnya adalah 907.4 cm/detik.



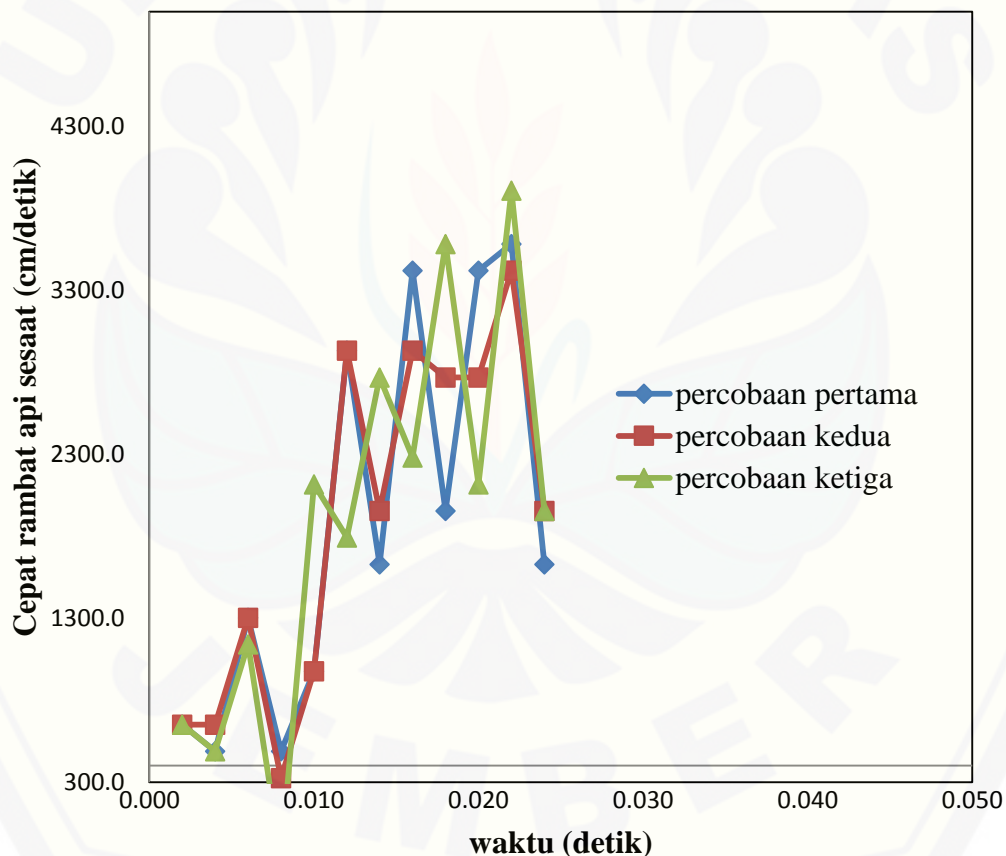
Gambar 4.12 Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 20 menit

Pada Gambar 4.12 grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dengan lama waktu kontak 20 menit menunjukkan masih ada kadar CO₂ yang menghambat cepat rambat api. Rata-rata cepat rambat api sesaatnya adalah 1567.6 cm/detik. Hal ini dapat dilihat masih banyak penurunan cepat rambat api pada grafik. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.



Gambar 4.13 Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 40 menit

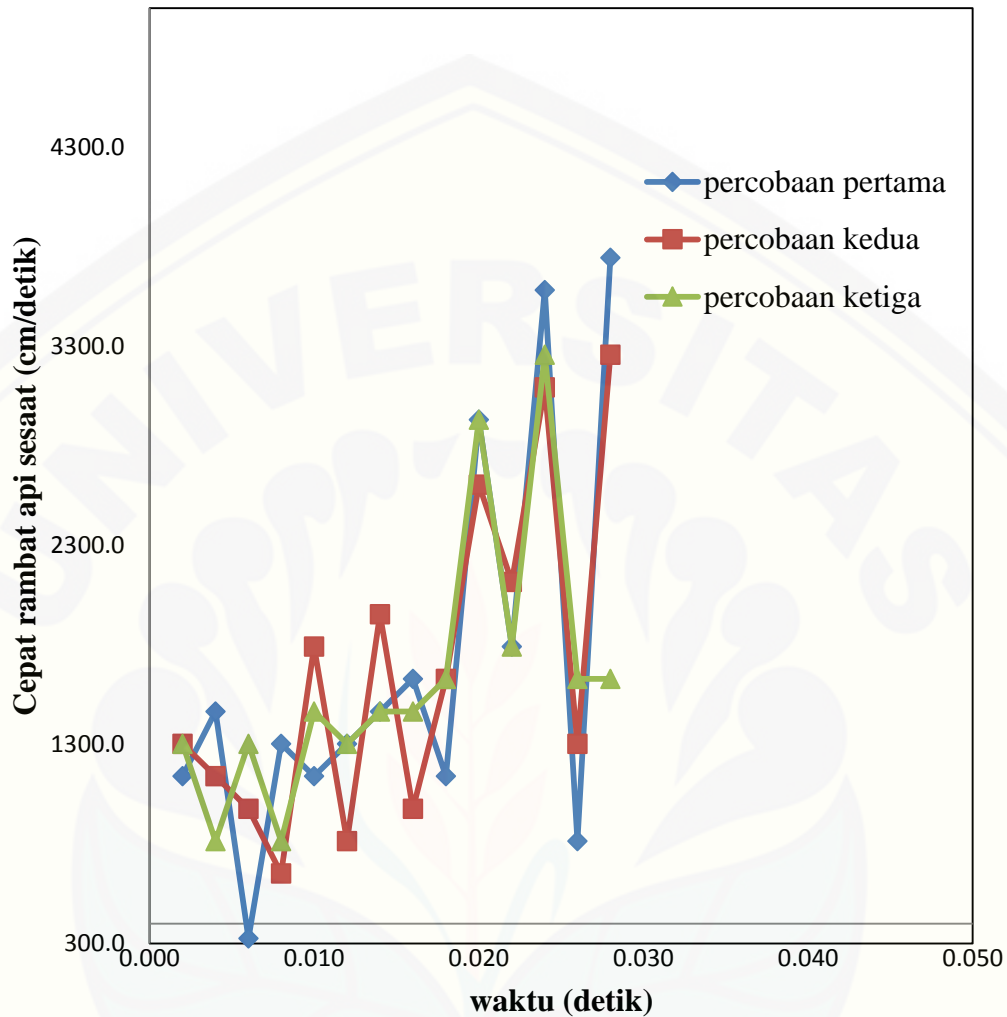
Pada Gambar 4.13 grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dengan lama waktu kontak 40 menit menunjukkan masih ada kadar CO_2 yang menghambat cepat rambat api. Rata-rata cepat rambat apinya adalah 1628.7 cm/detik. Pada grafik terdapat peningkatan cepat rambat api dibandingkan pada Gambar 4.12. Tetapi masih ada penurunan cepat rambat api pada grafik. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.



Gambar 4.14 Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu 60 menit

Pada Gambar 4.14 grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dengan lama waktu kontak 60 menit menunjukkan rata-rata cepat rambat api sesaatnya adalah 1886.5 cm/detik. Pada grafik terdapat peningkatan cepat rambat api dibandingkan pada Gambar 4.13. Tetapi masih ada penurunan cepat rambat api pada grafik karena masih ada sedikit kadar CO₂ yang menghambat cepat rambat api. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.

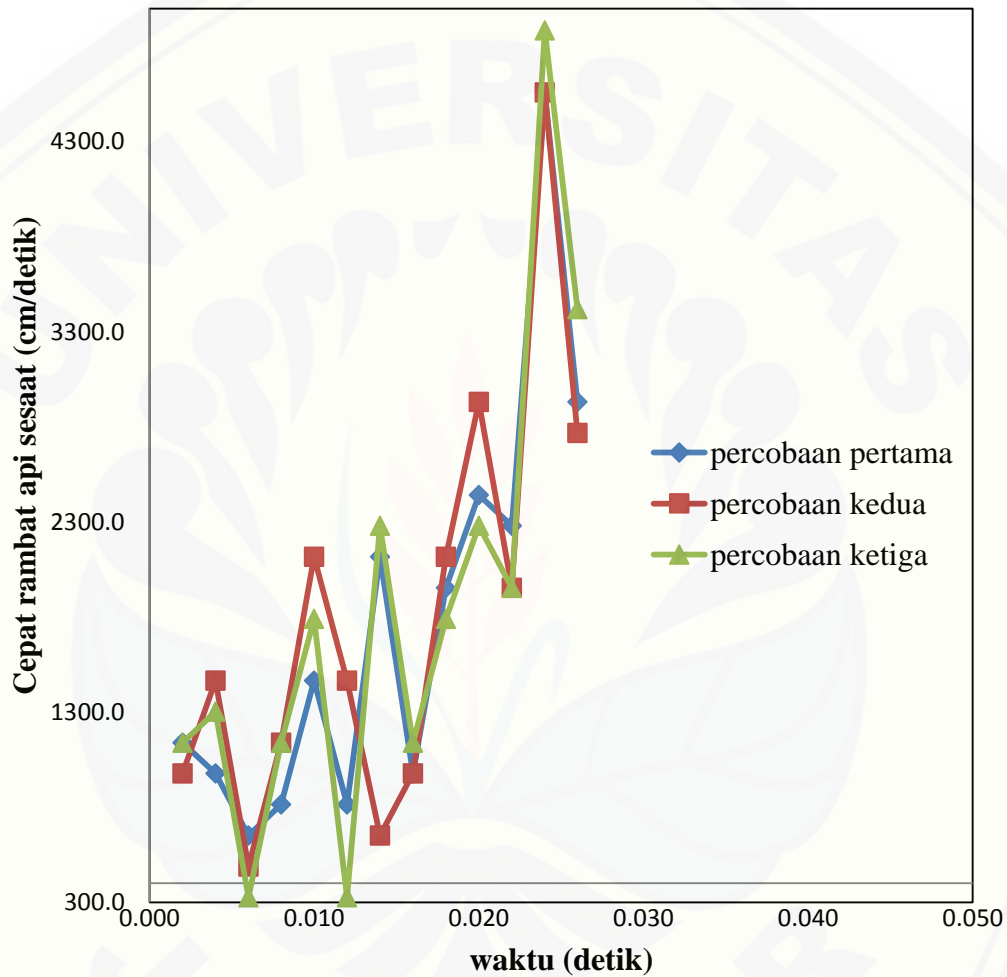
Dari Gambar 4.12 sampai Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa rata-rata kecepatan rambat api sesaat pada konsentrasi KOH 25% dan lama kontak 20 menit adalah 1567.6 cm/detik. Rata-rata kecepatan rambat api sesaat pada konsentrasi KOH 25% dan lama kontak 40 menit adalah 1628.7 cm/detik. Rata-rata kecepatan rambat api sesaat pada konsentrasi KOH 25% dan lama kontak 60 menit adalah 1886.5 cm/detik. Dari data tersebut menunjukkan bahwa purifikasi pada konsentrasi KOH 25% terjadi peningkatan pada setiap kenaikan 20 menit waktu kontak terhadap biogas. Dan purifikasi terbaik pada konsentrasi KOH 25% dengan waktu kontak 60 menit.



Gambar 4.15 Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 20 menit

Pada Gambar 4.15 grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dengan lama waktu kontak 20 menit menunjukkan rata-rata cepat rambat api sesaatnya adalah 1686.8 cm/detik. Pada grafik terdapat peningkatan cepat rambat api dibandingkan pada Gambar 4.12. Tetapi masih ada penurunan cepat rambat api pada grafik karena masih ada sedikit kadar CO_2 yang menghambat cepat rambat api. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang

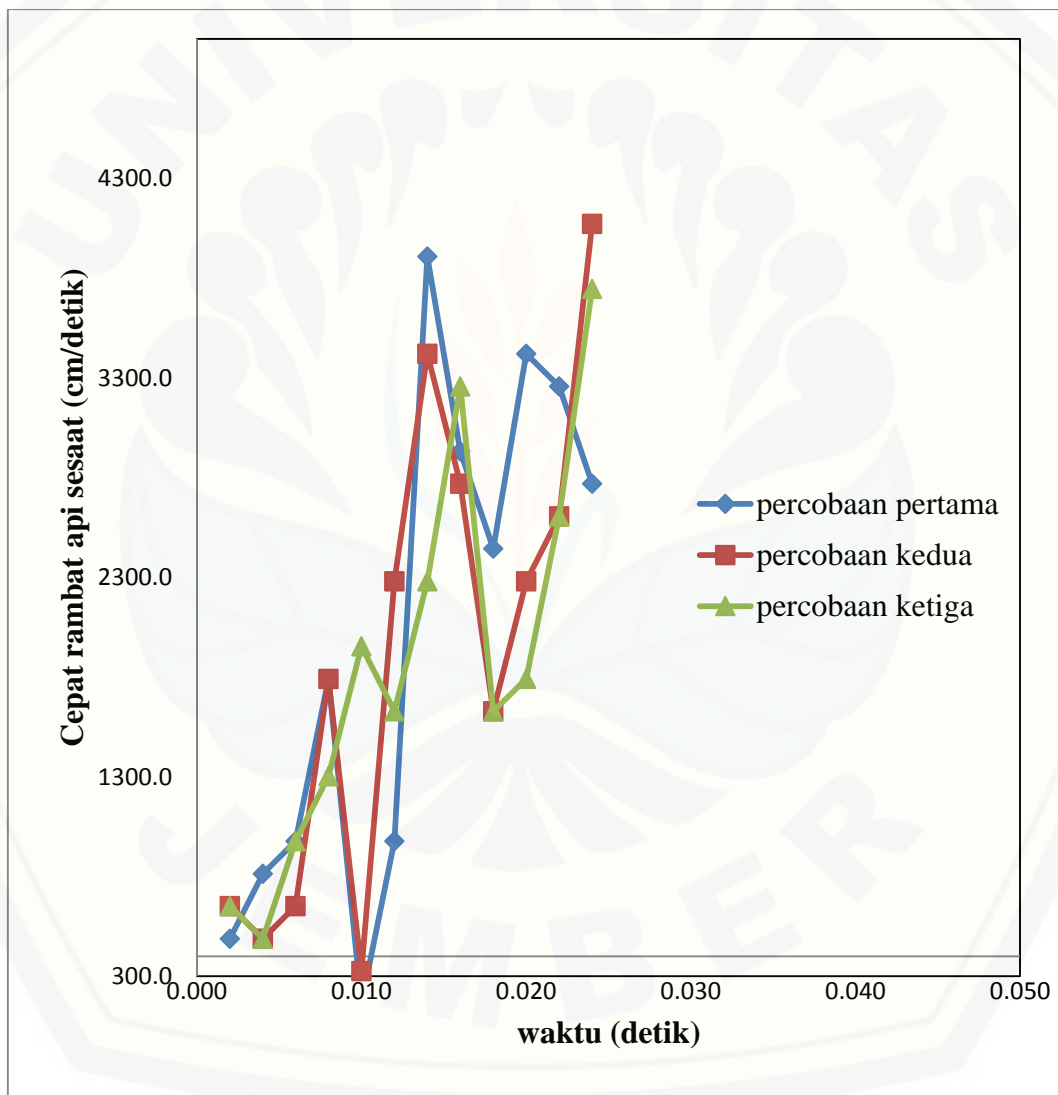
memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.



Gambar 4.16 Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 40 menit

Pada Gambar 4.16 grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dengan lama waktu kontak 40 menit menunjukkan rata-rata cepat rambat api sesaatnya adalah 1779.0 cm/detik. Pada grafik terdapat peningkatan cepat rambat api

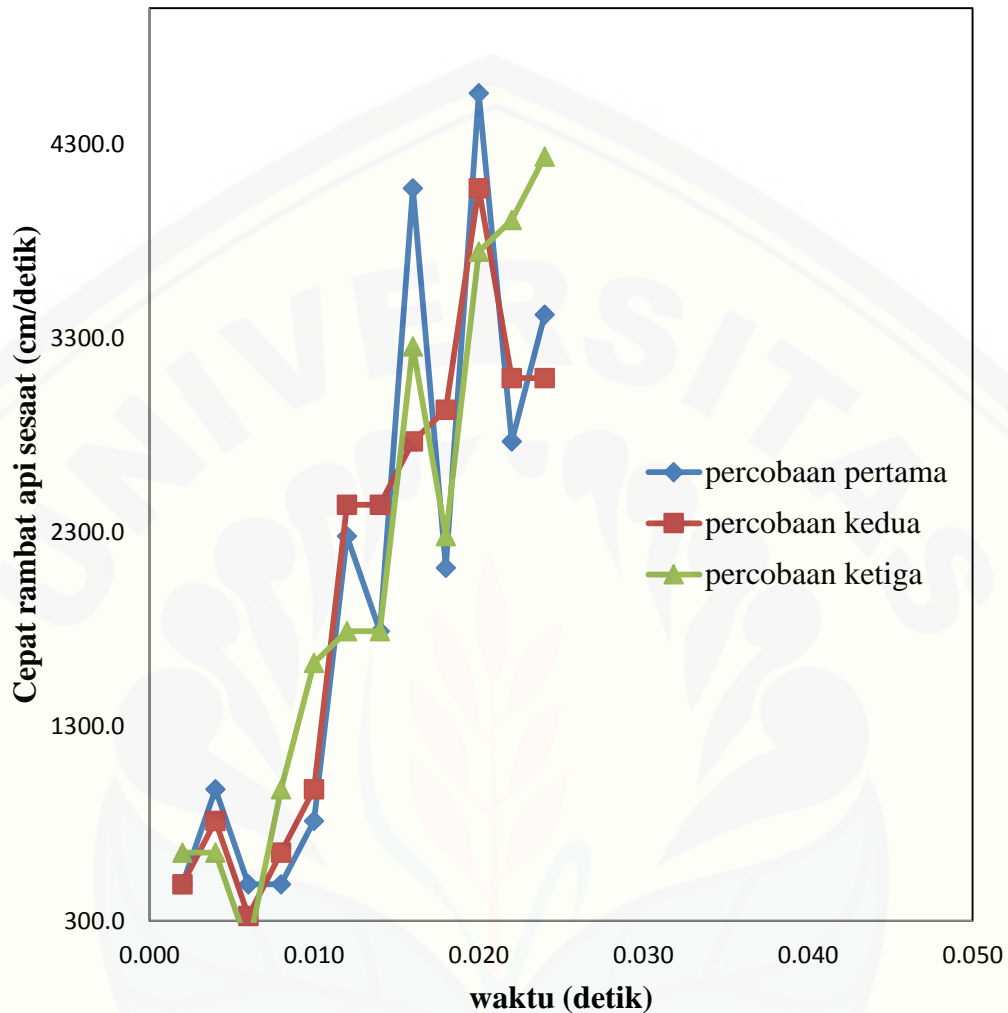
dibandingkan pada Gambar 4.15. Tetapi masih ada penurunan cepat rambat api pada grafik karena masih ada sedikit kadar CO_2 yang menghambat cepat rambat api. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.



Gambar 4.17 Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 60 menit

Pada Gambar 4.17 grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dengan lama waktu kontak 60 menit menunjukkan rata-rata cepat rambat api sesaatnya adalah 1859.4 cm/detik. Pada grafik terdapat peningkatan cepat rambat api dibandingkan pada Gambar 4.16. Tetapi masih ada penurunan cepat rambat api pada grafik karena masih ada sedikit kadar CO₂ yang menghambat cepat rambat api. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.

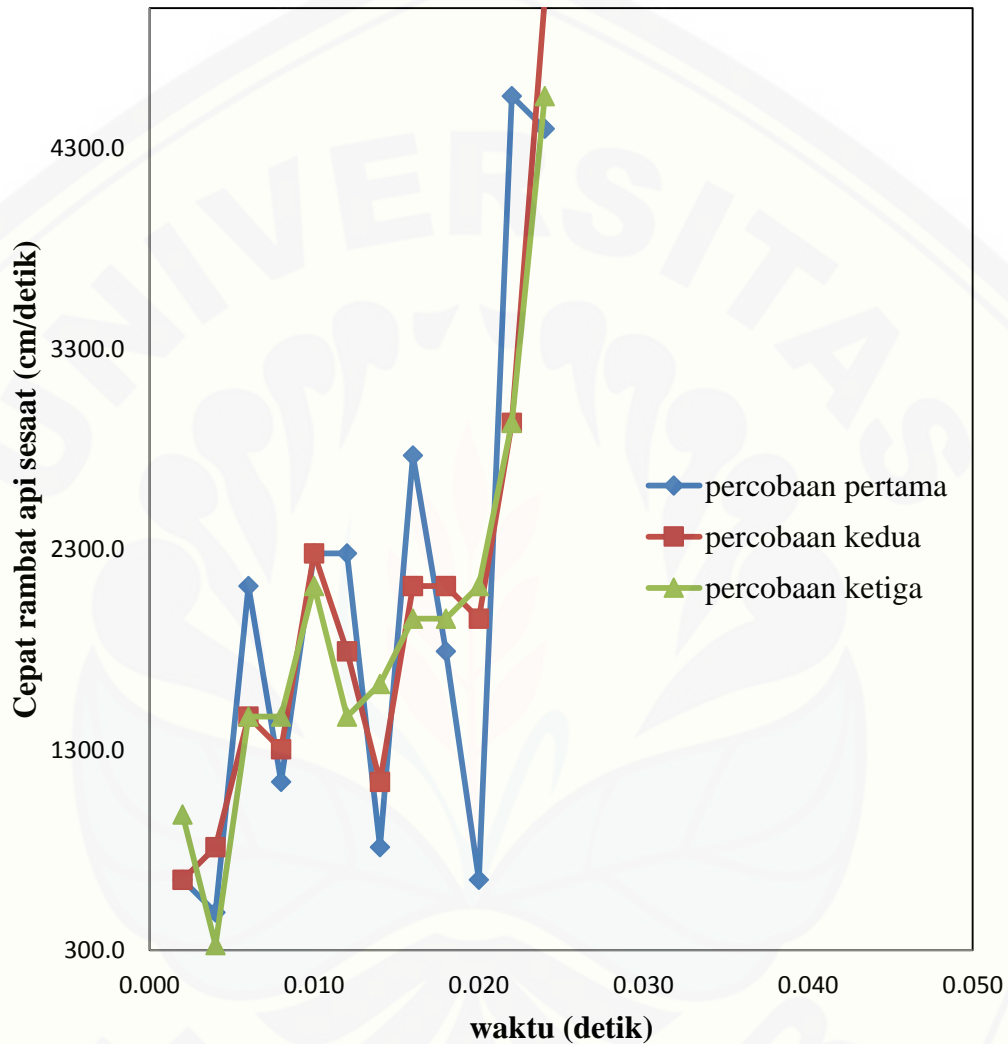
Dari Gambar 4.15 sampai Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa rata-rata kecepatan rambat api sesaat pada konsentrasi KOH 35% dan lama kontak 20 menit adalah 1686.8 cm/detik. Rata-rata kecepatan rambat api sesaat pada konsentrasi KOH 35% dan lama kontak 40 menit adalah 1779.0 cm/detik. Rata-rata kecepatan rambat api sesaat pada konsentrasi KOH 35% dan lama kontak 60 menit adalah 1859.4 cm/detik. Dari data tersebut menunjukkan bahwa purifikasi pada konsentrasi KOH 35% terjadi peningkatan pada setiap kenaikan 20 menit waktu kontak terhadap biogas. Dan purifikasi terbaik pada konsentrasi KOH 35% dengan waktu kontak 60 menit.



Gambar 4.18 Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 20 menit

Pada Gambar 4.18 grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dengan lama waktu kontak 20 menit menunjukkan rata-rata cepat rambat api sesaatnya adalah 2090.1 cm/detik. Pada grafik terdapat peningkatan cepat rambat api dibandingkan pada Gambar 4.17. Hanya mengalami sedikit penurunan cepat rambat api sesaat pada grafik. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi

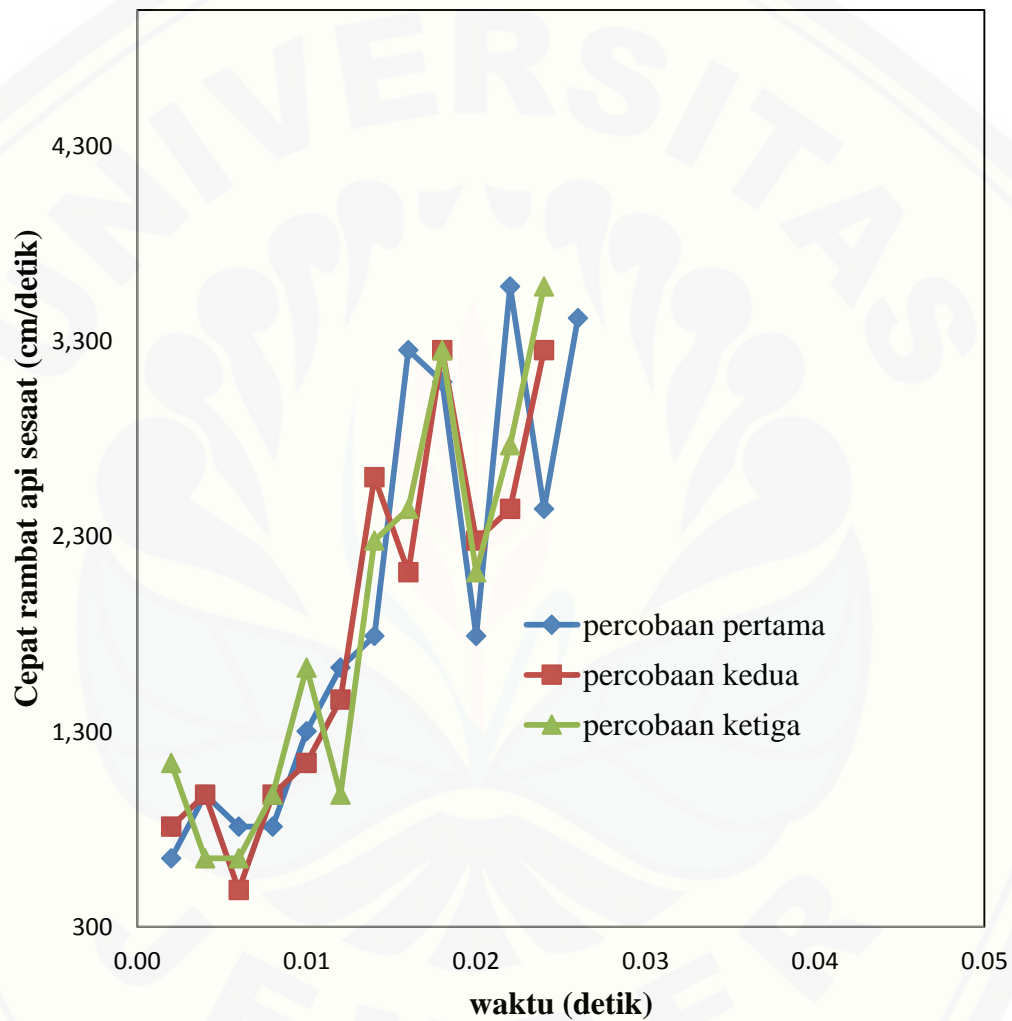
ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.



Gambar 4.19 Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 40 menit

Pada Gambar 4.19 grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dengan lama waktu kontak 40 menit menunjukkan rata-rata cepat rambat api sesaatnya adalah 1913.7 cm/detik. Pada grafik terdapat sedikit penurunan cepat rambat api dibandingkan pada Gambar 4.18. Hanya mengalami sedikit penurunan cepat rambat

api sesaat pada grafik. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.



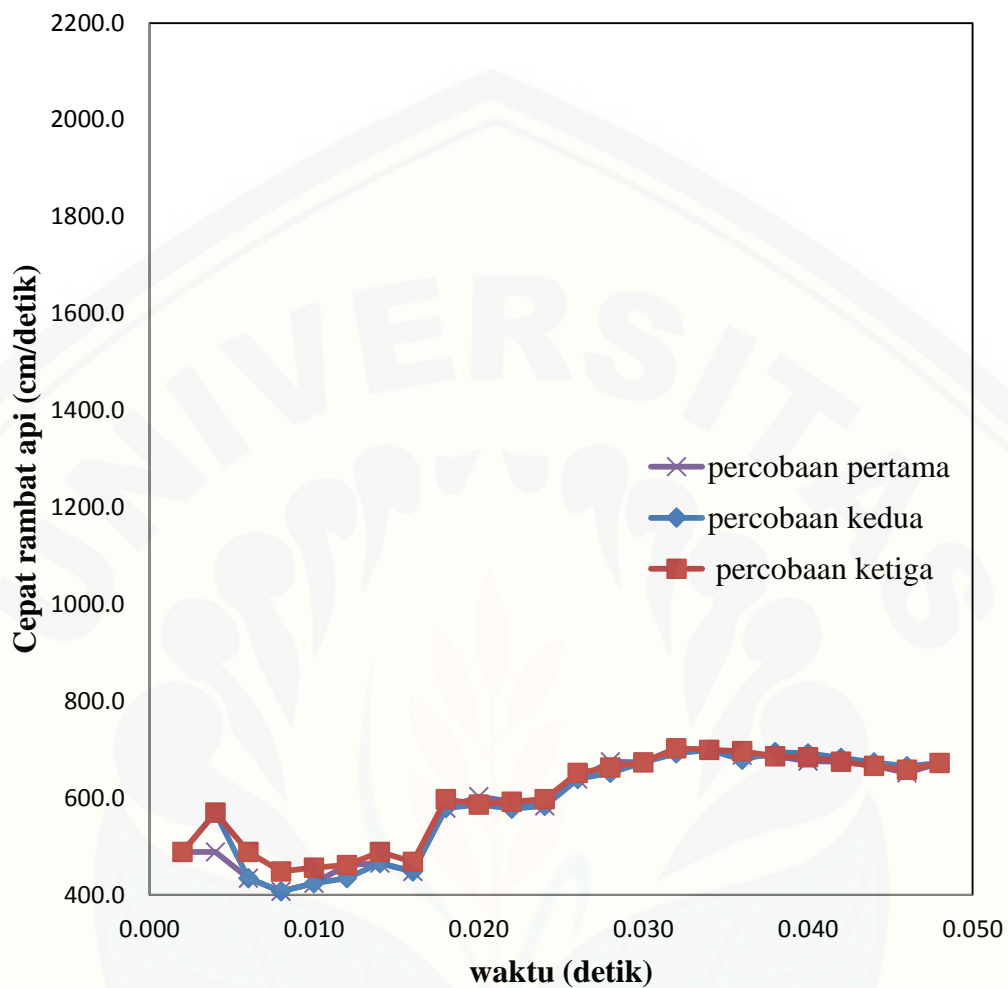
Gambar 4.20 Grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 60 menit

Pada Gambar 4.20 grafik cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dengan lama waktu kontak 60 menit menunjukkan rata-rata cepat rambat api sesaatnya adalah 1873.0 cm/detik. Pada grafik terdapat peningkatan cepat rambat api dibandingkan pada Gambar 4.19. Hanya mengalami sedikit penurunan cepat rambat api sesaat pada grafik. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.

Dari Gambar 4.18 sampai Gambar 4.20 dapat dilihat bahwa rata-rata kecepatan rambat api sesaat pada konsentrasi KOH 45% dan lama kontak 20 menit adalah 2090.1 cm/detik. Rata-rata kecepatan rambat api sesaat pada konsentrasi KOH 45% dan lama kontak 40 menit adalah 1913.7 cm/detik. Rata-rata kecepatan rambat api sesaat pada konsentrasi KOH 45% dan lama kontak 60 menit adalah 1873.0 cm/detik. Dari data tersebut menunjukkan bahwa purifikasi pada konsentrasi KOH 45% rata-rata cepat rambat apinya tidak jauh berbeda sehingga dapat dikatakan bahwa KOH telah jenuh pada 20 menit.

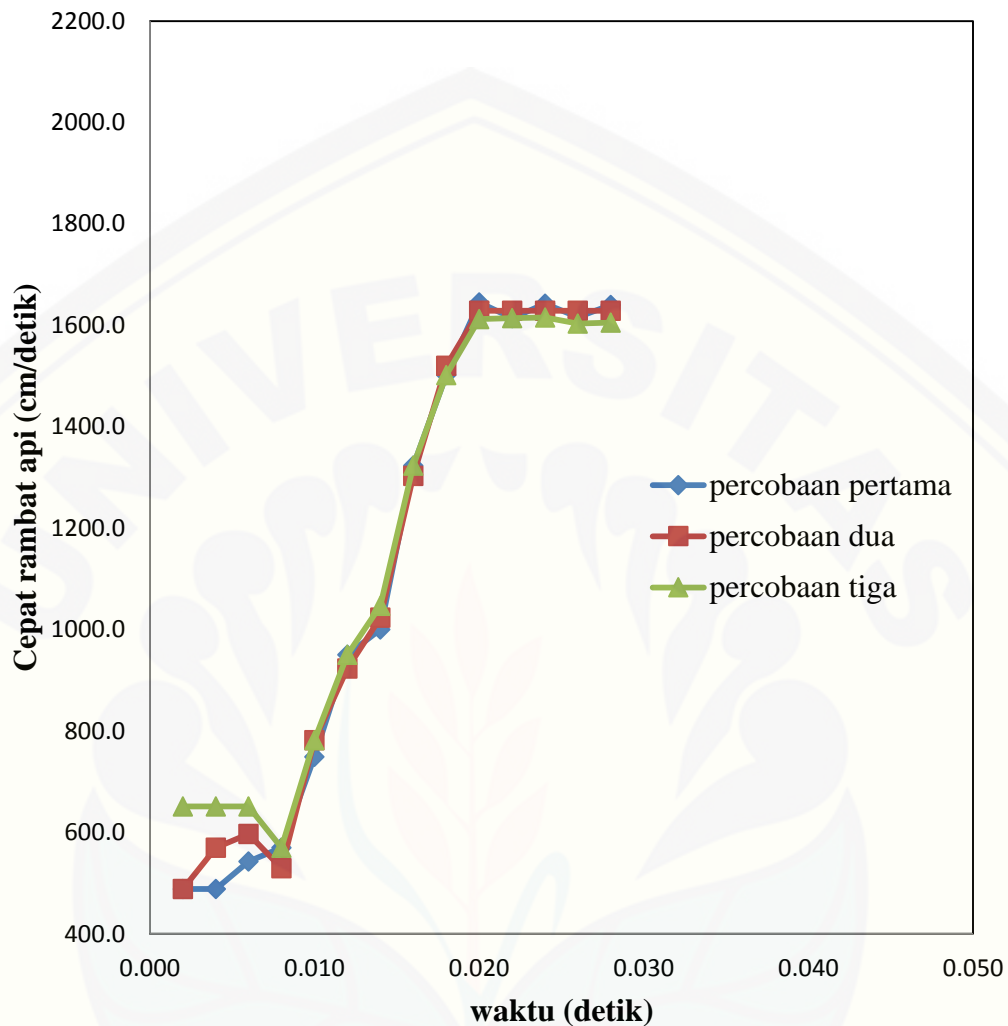
4.2.3 Cepat rambat api total

Untuk dapat mengetahui kecepatan rambat api total. Maka dalam subbab ini akan ditampilkan bagaimana grafik cepat rambat api total sesuai dengan konsentrasi NaOH dan lama waktu kontak yang dapat disajikan pada Gambar 4.21 sampai Gambar 4.30 dengan data dapat dilihat pada Lampiran A.2.



Gambar 4.21 Grafik cepat rambat api total sebelum perlakuan

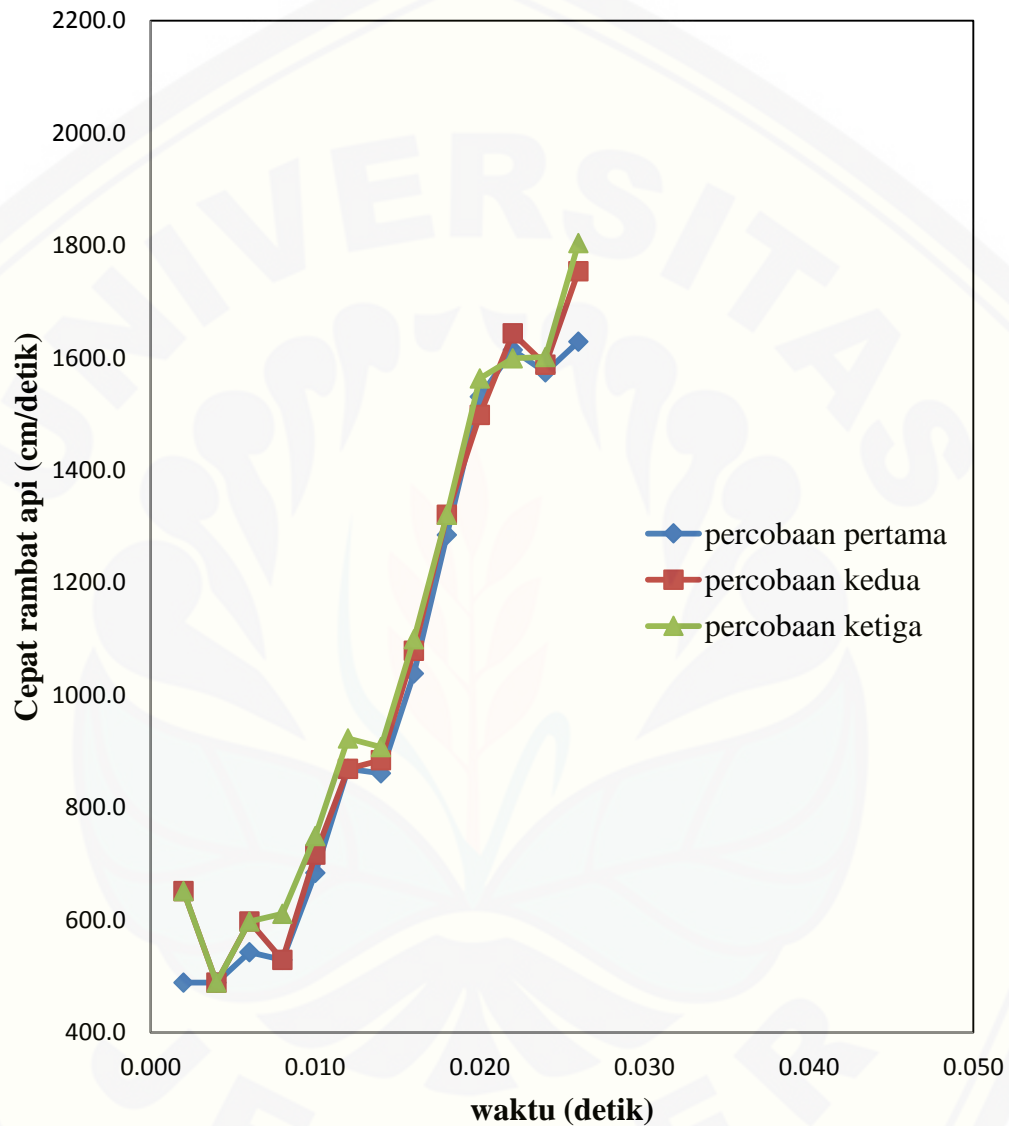
Kecepatan rambat api total sebelum purifikasi menunjukkan grafik yang rapat. Hal ini disebabkan karena masih banyak kadar CO_2 sehingga membuat pembakaran terhambat dan tidak stabil. Cepat rambat tersebut menunjukkan bahwa kadar CO_2 pada biogas masih besar sehingga perlu dipurifikasi agar mendapatkan gas yang lebih bersih dari CO_2 . Cepat rambat api totalnya adalah 907.4 cm/detik.



Gambar 4.22 Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 20 menit

Pada Gambar 4.22 grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dengan lama waktu kontak 20 menit menunjukkan masih ada kadar CO_2 yang menghambat cepat rambat api. Rata-rata cepat rambat api totalnya adalah 1567.6 cm/detik. Hal ini dapat dilihat masih banyak penurunan cepat rambat api pada grafik. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar

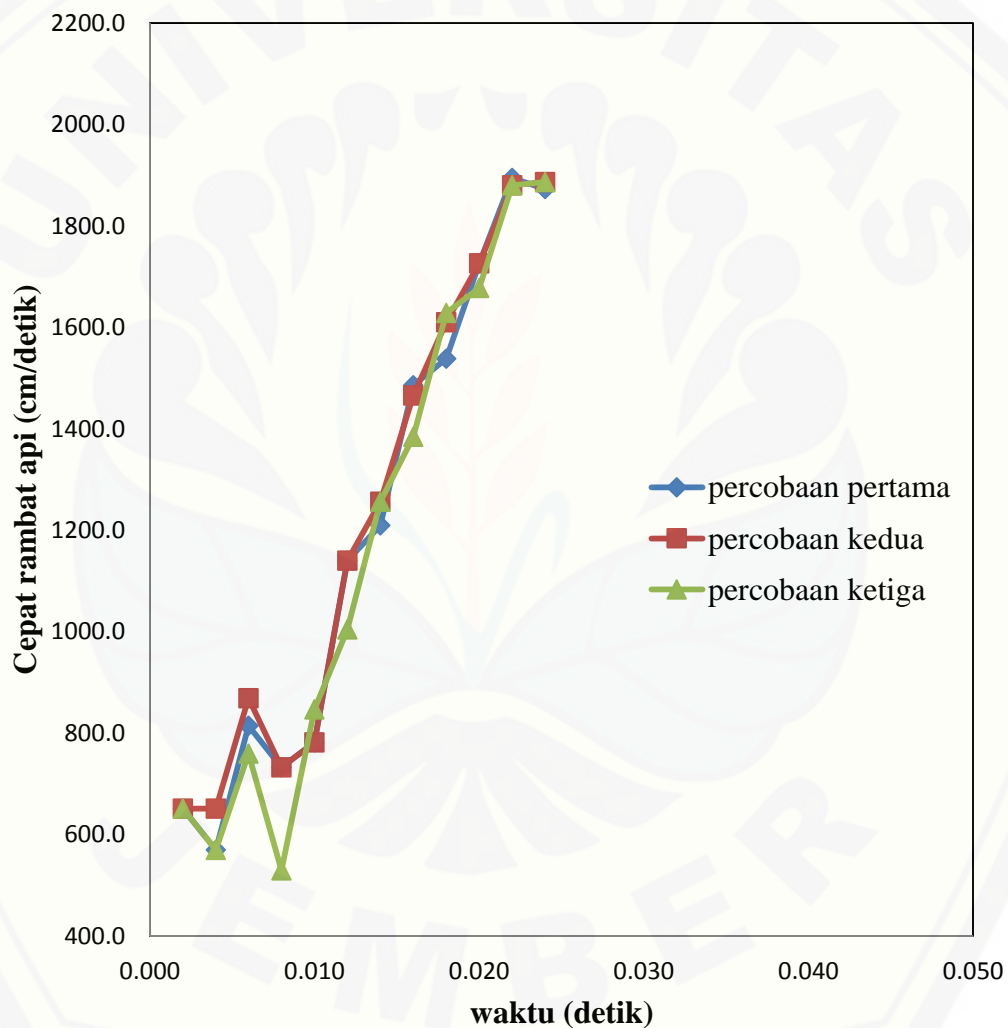
yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.



Gambar 4.23 Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 40 menit

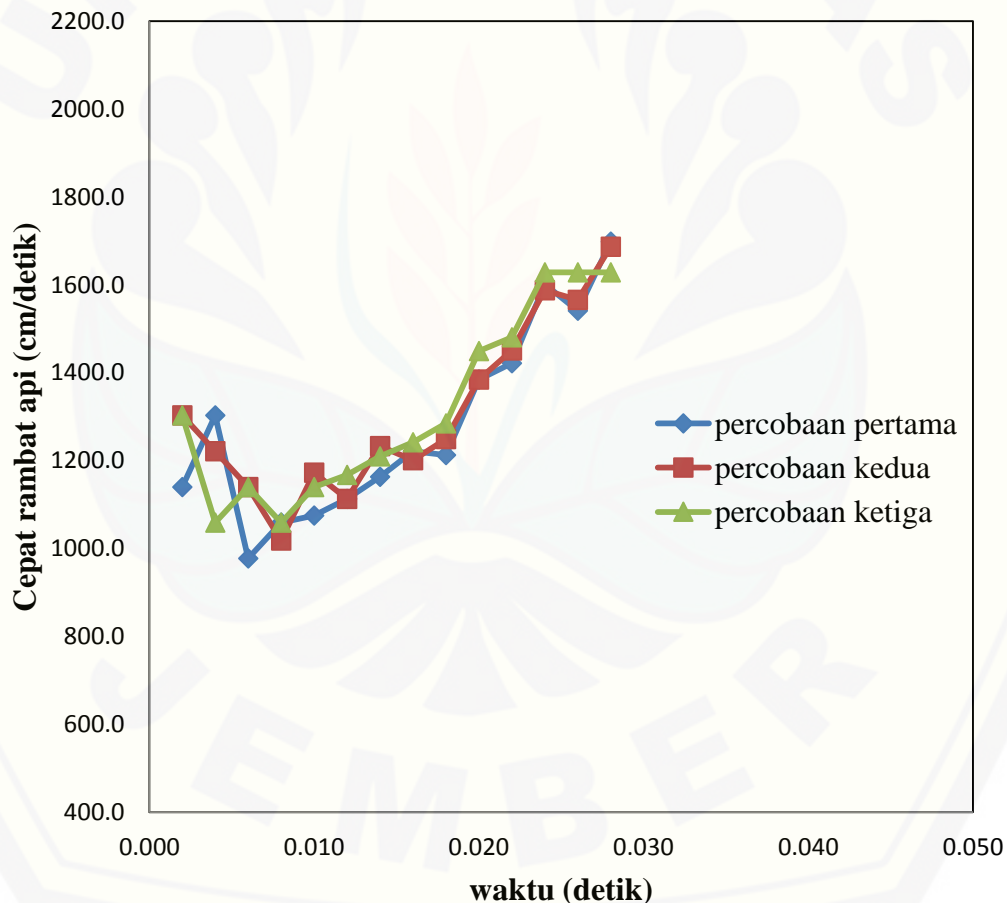
Pada Gambar 4.23 grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dengan lama waktu kontak 40 menit menunjukkan cepat rambat api totalnya adalah

1628.7 cm/detik. Pada grafik terdapat sedikit penurunan cepat rambat api dibandingkan pada Gambar 4.22. Hanya mengalami sedikit penurunan cepat rambat api pada grafik. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.



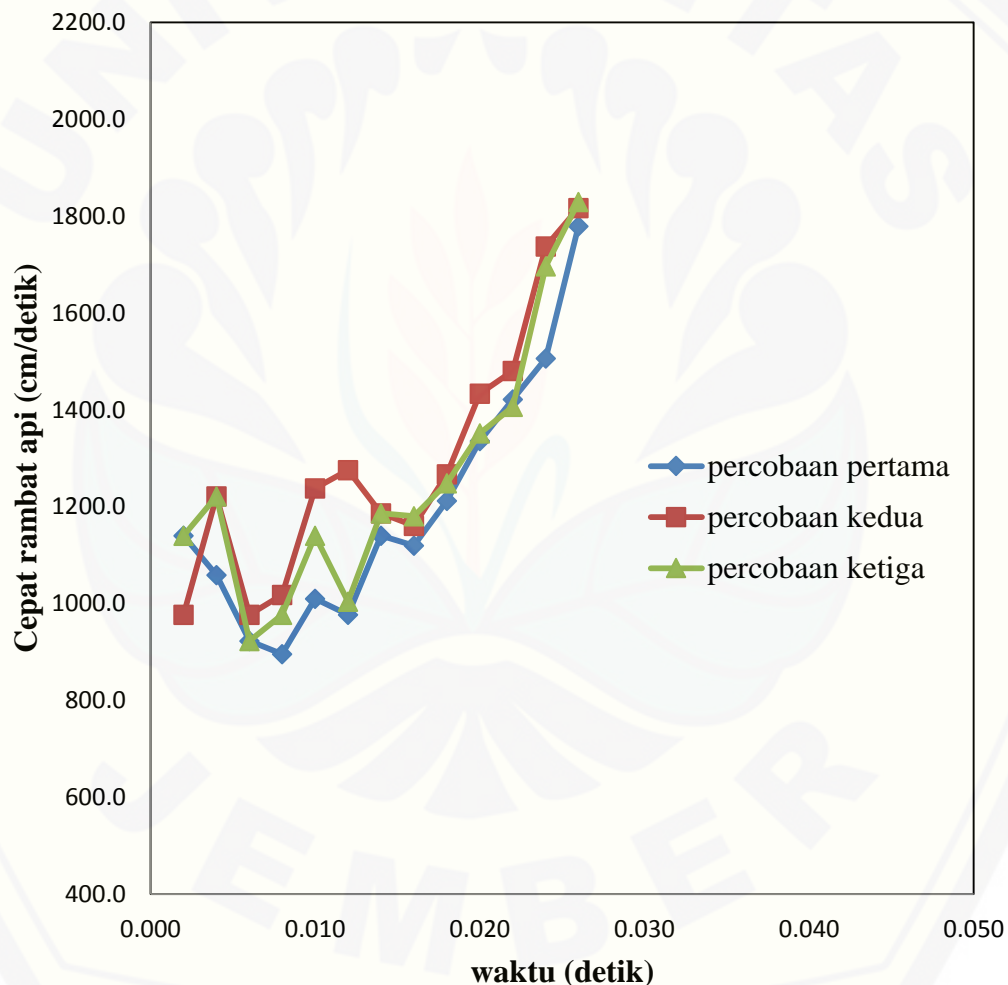
Gambar 4.24 Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 60 menit

Pada Gambar 4.24 grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dengan lama waktu kontak 60 menit menunjukkan cepat rambat api totalnya adalah 1886.5 cm/detik. Pada grafik terdapat sedikit penurunan cepat rambat api dibandingkan pada Gambar 4.23. Hanya mengalami sedikit penurunan cepat rambat api pada grafik. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.



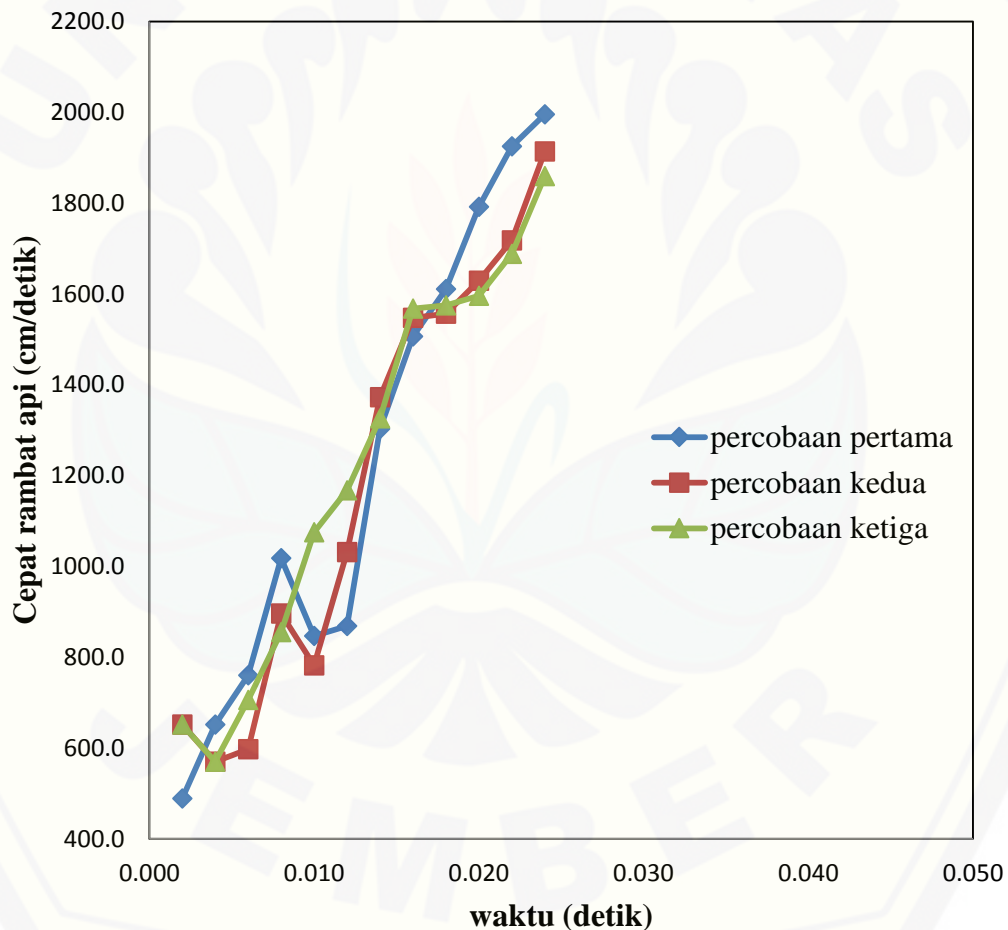
Gambar 4.25 Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 20 menit

Pada Gambar 4.25 grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dengan lama waktu kontak 20 menit menunjukkan cepat rambat api totalnya adalah 1686.8 cm/detik.. Hanya mengalami sedikit penurunan cepat rambat api pada grafik. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.



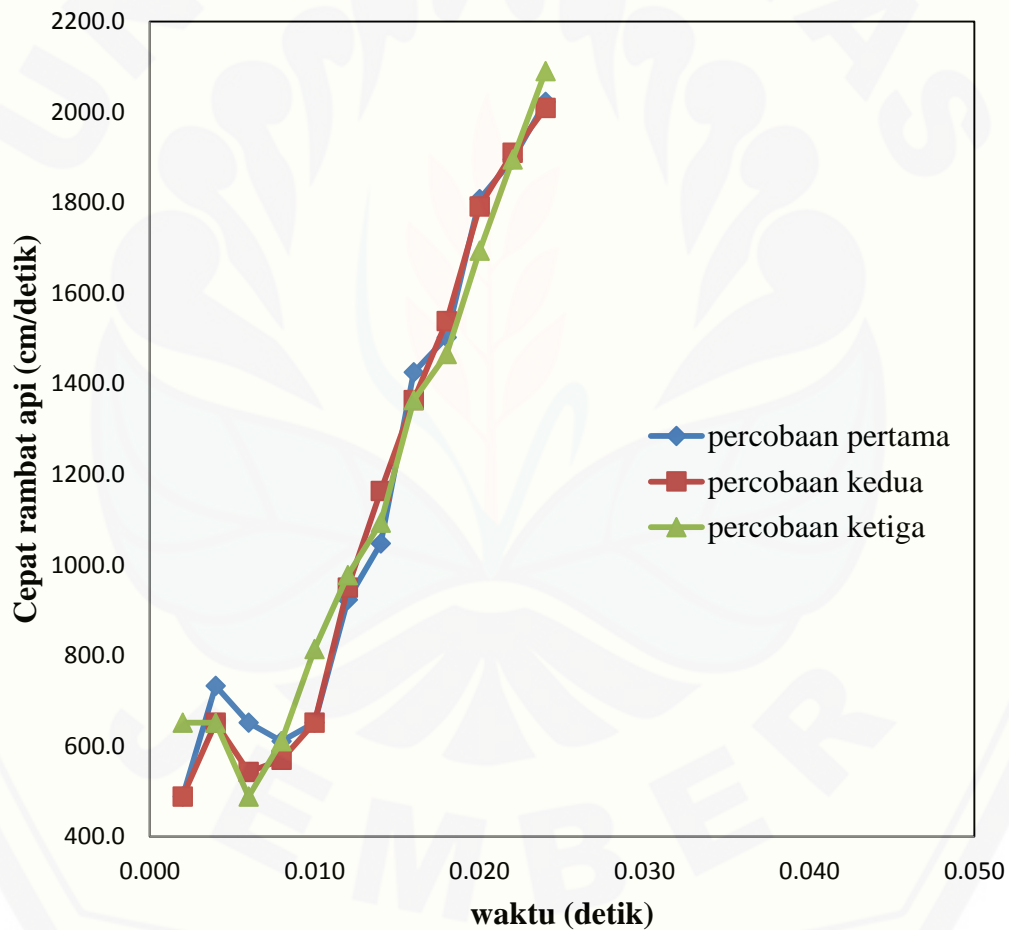
Gambar 4.26 Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 40 menit

Pada Gambar 4.26 grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dengan lama waktu kontak 40 menit menunjukkan cepat rambat api totalnya adalah 1779.0 cm/detik. Pada grafik terdapat sedikit penurunan cepat rambat api dibandingkan pada Gambar 4.25. Hanya mengalami sedikit penurunan cepat rambat api pada grafik. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.



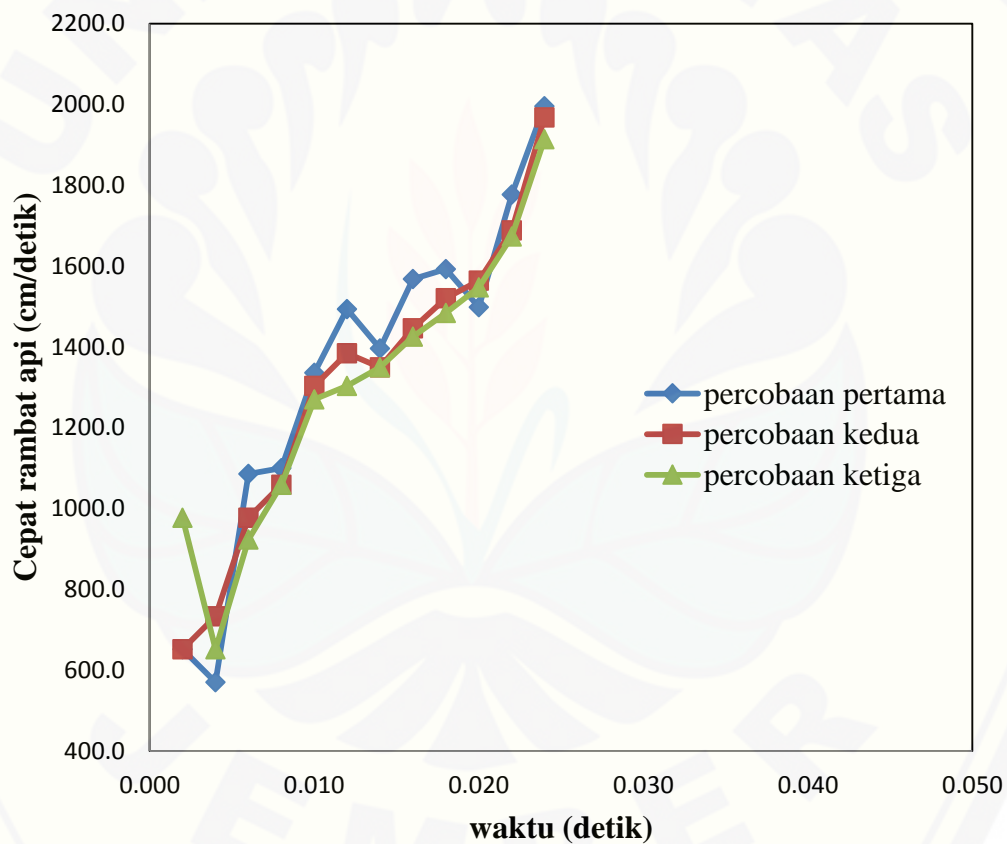
Gambar 4.27 Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 60 menit

Pada Gambar 4.27 grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dengan lama waktu kontak 60 menit menunjukkan cepat rambat api totalnya adalah 1859.4 cm/detik. Pada grafik terdapat sedikit penurunan cepat rambat api dibandingkan pada Gambar 4.26. Hanya mengalami sedikit penurunan cepat rambat api pada grafik. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.



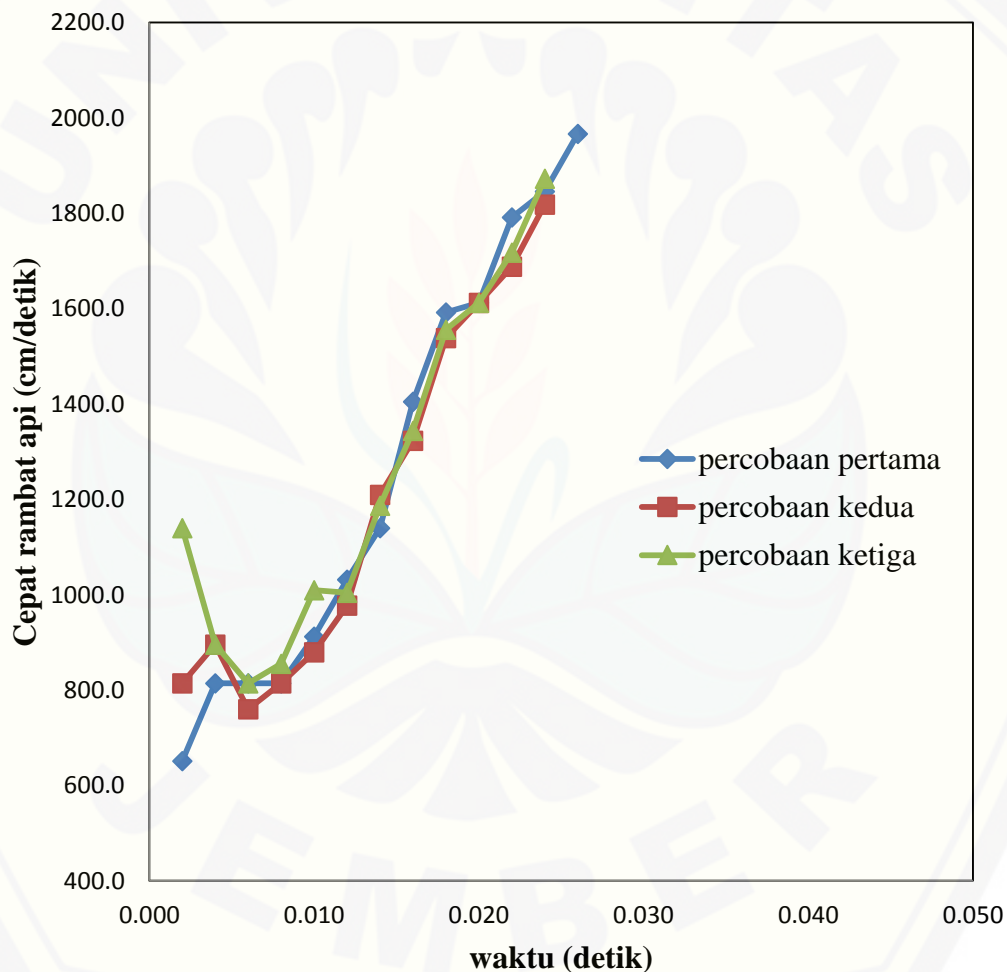
Gambar 4.28 Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 20 menit

Pada Gambar 4.28 grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dengan lama waktu kontak 20 menit menunjukkan cepat rambat api totalnya adalah 2090.1 cm/detik. Pada grafik terdapat sedikit penurunan cepat rambat api dibandingkan pada Gambar 4.27. Hanya mengalami sekali penurunan cepat rambat api pada grafik. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.



Gambar 4.29 Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 40 menit

Pada Gambar 4.29 grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dengan lama waktu kontak 40 menit menunjukkan cepat rambat api totalnya adalah 1913.7 cm/detik. Pada grafik terdapat sekali penurunan cepat rambat api yang signifikan pada grafik. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.



Gambar 4.30 Grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 60 menit

Pada Gambar 4.30 grafik cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dengan lama waktu kontak 60 menit menunjukkan cepat rambat api totalnya adalah 1873.0 cm/detik. Pada grafik terdapat sekali penurunan cepat rambat api yang signifikan. Penurunan cepat rambat api juga disebabkan bentuk dari ruang bakar yang memungkinkan terjadinya perlambatan cepat rambat api karena dimensi ruang bakar yang terbatas sehingga pada saat tertentu akan terjadi peningkatan tekanan dan menghambat kecepatan rambat api.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian penurunan kadar CO₂ pada purifikasi biogas dengan larutan KOH terhadap kecepatan rambat api yaitu:

1. Semakin besar konsentrasi KOH akan mengalami pengurangan kadar CO₂ yang ditunjukkan oleh jarak antar api. Pada gambar rambat api sebelum perlakuan jarak antar api sangat berdekatan, pada konsentrasi KOH 25% dengan lama kontak 20 menit, 40 menit dan 60 menit menunjukkan tingkat kerapatan antar *flame* pada waktu kontak 60 menit dengan jarak antar *flame* semakin berjauhan pada konsentrasi KOH 35% dengan lama kontak 20 menit, 40 menit dan 60 menit menunjukkan tingkat kerapatan antar *flame* yang semakin berjauhan. Waktu kontak 40 menit dan 60 menit pada jarak tersebut cenderung sama jarak antar apinya. Pada konsentrasi 45% dengan lama kontak 20 menit, 40 menit dan 60 menit menunjukkan jarak antar *flame* telah berjauhan. Hal ini dikarenakan larutan KOH 45% telah jenuh pada 20 menit pertama.
2. Penurunan kadar CO₂ oleh larutan KOH dapat mempercepat rambat api. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan kecepatan rambat api mulai dari sebelum dipurifikasi kecepatan rambat api sesaatnya adalah 907.4 cm/detik dan setelah dipurifikasi dengan konsentrasi KOH 25% cepat rambat api sesaatnya dapat mencapai 1886.5 cm/detik pada lama kontak 60 menit. Sedangkan dengan konsentrasi KOH 35% kecepatan rambat api sesaat sebesar 1859.4 cm/detik pada lama kontak 60 menit. Dan pada larutan KOH 45% dalam waktu kontak 60 menit dengan kecepatan rambat api sesaatnya adalah 1873.0 cm/detik.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis dari hasil penelitian ini yaitu antara lain:

1. Dalam pembuatan alat purifikasi sebaiknya melihat tingkat kekentalan larutan dengan lubang udara masuk agar tidak menyumbat saluran gas.
2. Dalam percobaan menggunakan *Helle-Shaw Cell* sebaiknya dilakukan di ruang yang gelap agar terlihat rambat api oleh kamera.
3. Pemilihan kamera *high speed* dapat berpengaruh dengan kualitas gambar.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Seadi. 2008. *Biogas Handbook*. Denmark: University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10 DK-6700 Esbjerg.
- Amaru, Khasristya, 2004, *Rancang Bangun dan Uji Kinerja Biodigester Plastik Polyethylene Skala Kecil* (Studi Kasus Ds. Cidatar Kec. Cisarupan, Kab. garut), Tugas Akhir, Fakultas Pertanian, UNPAD, Indonesia.
- Anggiriawan, Rendy. 2010, *Kinetika Absorpsi*, http://rendy.student.umm.ac.id/download-aspdf/umm_blog_article_35.pdf. (diakses pada tanggal, 08 April 2012).
- Arifin, R., F.F.P.Perdana dan S.R.Juliastuti, (2008), *Pengaruh Enzim α -Amilase dan EM-4 terhadap Pembentukan Biogas dari Limbah Padat Tapioka*, Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2008 ISSN : 1411 – 4216, Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang.
- Bangkeju. 2012. *Belajar Tentang Nyala Api dan Macam-macam Warna Api*. <http://bangkeju.blogspot.com/2012/07/macam-macam-warna-api.html>. [02 Desember 2012].
- Grady, Jr and Hendry C. Lim. *Biological Waste Water Treatment*, Water Chemistry by Vernon L. Snoeyink and David Jenkins, John Wiley & Sons, 1980
- Kossmann and Pönitz. 2008. *Biogas Digest Volume I Biogas Basics*. ISAT and GTZ, GmbH.
- Maarif, Fuad. 2008. *Absorpsi Gas CO₂ dengan Larutan KOH Secara Kontinyu*, Universitas Brawijaya. Malang
- Malina, J. F., Jr, Pohland, F. G., 1992, *Design of Anaerobic Process for Treatment of Industrial and Municipal Wastes*, *Water Quality Management Library, Volume 7*, Technomic Publishing Company, Inc., USA.
- Simamora.S. 2006. *Membuat Biogas Pengganti Bahan Bakar Minyak & Gas dari Kotoran Ternak*, Suhut Simamora, Salundik, Sri Wahyuni dan Surajudin ; Jakarta.

- Sugiarto, 2013. *Purifikasi Biogas Sistem Kontinyu Menggunakan Zeolit*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.4, No.1 Tahun 2013 1-10. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Turns,S.R. 1996, *An Introduction To Combustion Concepts and Application*. Mc Graw Hill.
- Uwar, Aini. 2012, Karakteristik Pembakaran CH₄ Dengan Penambahan CO₂ Pada Model *Helle-Shaw Cell* Pada Penyalaan Bawah, Jurnal Rekayasa Mesin Vol.3, No. 1.
- Wahyudi. 2012, Pengaruh Kadar Karbon dioksida (CO₂) dan Nitrogen (N₂) Pada Karakteristik Pembakaran Gas Metana, Jurnal Rekayasa Mesin Vol.3 No. 1
- Waskito, didit. 2011. *Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi di Kawasan Usaha Peternakan Sapi*. Universitas Indonesia. Salemba.
- Wittmaier, M. 2005. *Handbook Decision Support System (Dss) for The Application of Renewable Energy (RE) from Biogas and Biomass Combustion Under Particular Consideration of Framework Condition in Vietnam and Thailand*. Version 1.0. co-funded by European Commission Within The Framework Of The Asean-Eu University Network Progamme (AEUNP).
- Sriharti; 1989: *Pengaruh Penambahan Karbon Aktif dan Pemakaian Scrubber CO₂ Terhadap Kualitas Dan Kuantitas Biogas*; Agritech; Vol. 9. No 2:1-14
- Nurkholis Hamidi, ING. Wardana, Denny Widhiyanuriyawan. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.2, No. 3 Tahun 2011 : 227-231

LAMPIRAN A. TABEL PENELITIAN**A.1 Hasil Pengujian Cepat Rambat Api Sesaat**

1. Pengujian pertama cepat rambat api sesaat sebelum perlakuan

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	3	0,98	0,002	488,6
2	7	2,28	0,004	651,5
3	9	2,93	0,006	325,7
4	11	3,58	0,008	325,7
5	14	4,56	0,010	488,6
6	17	5,54	0,012	488,6
7	21	6,84	0,014	651,5
8	23	7,49	0,016	325,7
9	33	10,75	0,018	1628,7
10	36	11,73	0,020	488,6
11	40	13,03	0,022	651,5
12	44	14,33	0,024	651,5
13	52	16,94	0,026	1302,9
14	57	18,57	0,028	814,3
15	62	20,20	0,030	814,3
16	69	22,48	0,032	1140,1
17	73	23,78	0,034	651,5
18	77	25,08	0,036	651,5
19	80	26,06	0,038	488,6
20	84	27,36	0,040	651,5
21	87	28,34	0,042	488,6
22	90	29,32	0,044	488,6
23	93	30,29	0,046	488,6
24	99	32,25	0,048	977,2
25	113	36,81	0,050	2280,1
26	129	42,02	0,052	2605,9
27	140	45,60	0,054	1791,5
28	156	50,81	0,056	2605,9

2. Pengujian kedua cepat rambat api sesaat sebelum perlakuan

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	8	2.61	0.004	651.5
3	11	3.58	0.006	488.6
4	13	4.23	0.008	325.7
5	16	5.21	0.010	488.6
6	19	6.19	0.012	488.6
7	22	7.17	0.014	488.6
8	25	8.14	0.016	488.6
9	32	10.42	0.018	1140.1
10	36	11.73	0.020	651.5
11	39	12.70	0.022	488.6
12	42	13.68	0.024	488.6
13	51	16.61	0.026	1465.8
14	57	18.57	0.028	977.2
15	64	20.85	0.030	1140.1
16	71	23.13	0.032	1140.1
17	85	27.69	0.034	2280.1
18	89	28.99	0.036	651.5
19	100	32.57	0.038	1791.5
20	114	37.13	0.040	2280.1
21	130	42.35	0.042	2605.9
22	144	46.91	0.044	2280.1
23	156	50.81	0.046	1954.4

3. Pengujian ketiga cepat rambat api sesaat sebelum perlakuan

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	7	2.28	0.004	488.6
3	10	3.26	0.006	488.6
4	12	3.91	0.008	325.7
5	15	4.89	0.010	488.6

<i>Pixel</i>	<i>Frame</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
6	18	5.86	0.012	488.6
		7.17	0.014	651.5
7	22	Jarak	Waktu	Cepat rambat api sesaat
		(cm)	(detik)	(cm/detik)
8	25	8.14	0.016	488.6
9	34	11.07	0.018	1465.8
10	37	12.05	0.020	488.6
11	41	13.36	0.022	651.5
12	45	14.66	0.024	651.5
13	55	17.92	0.026	1628.7
14	58	18.89	0.028	488.6
15	64	20.85	0.030	977.2
16	71	23.13	0.032	1140.1
17	85	27.69	0.034	2280.1
18	89	28.99	0.036	651.5
19	100	32.57	0.038	1791.5
20	114	37.13	0.040	2280.1
21	130	42.35	0.042	2605.9
22	144	46.91	0.044	2280.1
23	156	50.81	0.046	1954.4

4. Pengujian pertama cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	3	0,98	0,002	488,6
2	7	2,28	0,004	651,5
3	11	3,58	0,006	651,5
4	13	4,23	0,008	325,7
5	24	7,82	0,010	1791,5
6	34	11,07	0,012	1628,7
7	44	14,33	0,014	1628,7
8	64	20,85	0,016	3257,3
9	84	27,36	0,018	3257,3
10	100	32,57	0,020	2605,9
11	110	35,83	0,022	1628,7

12	120	39,09	0,024	1628,7
		42,35	0,026	1628,7
13	130	Jarak	Waktu	Cepat rambat api sesaat
Frame	Pixel	(cm)	(detik)	(cm/detik)
14	140	45,60	0,028	1628,7
15	149	48,53	0,030	1465,8
16	154	50,16	0,032	814,3

5. Pengujian kedua cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	3	0.98	0.002	488.6
2	7	2.28	0.004	651.5
3	11	3.58	0.006	651.5
4	14	4.56	0.008	488.6
5	25	8.14	0.010	1791.5
6	35	11.40	0.012	1628.7
7	45	14.66	0.014	1628.7
8	65	21.17	0.016	3257.3
9	85	27.69	0.018	3257.3
10	101	32.90	0.020	2605.9
11	120	39.09	0.022	3094.5
12	130	42.35	0.024	1628.7
13	140	45.60	0.026	1628.7
14	149	48.53	0.028	1465.8
15	154	50.16	0.030	814.3

6. Pengujian ketiga cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	3	0.98	0.002	488.6
2	7	2.28	0.004	651.5
3	13	4.23	0.006	977.2

4	16	5.21	0.008	488.6
5	24	7.82	0.010	1302.9
6	33	10.75	0.012	1465.8
7	44	14.33	0.014	1791.5
8	67	21.82	0.016	3745.9
9	87	28.34	0.018	3257.3
10	102	33.22	0.020	2443.0
11	119	38.76	0.022	2768.7
12	131	42.67	0.024	1954.4
13	141	45.93	0.026	1628.7
14	150	48.86	0.028	1465.8
15	156	50.81	0.030	977.2

7. Pengujian pertama cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	3	0.98	0.002	488.6
2	6	1.95	0.004	488.6
3	10	3.26	0.006	651.5
4	14	4.56	0.008	651.5
5	22	7.17	0.010	1302.9
6	33	10.75	0.012	1791.5
7	38	12.38	0.014	814.3
8	52	16.94	0.016	2280.1
9	72	23.45	0.018	3257.3
10	95	30.94	0.020	3745.9
11	110	35.83	0.022	2443.0
12	116	37.79	0.024	977.2
13	130	42.35	0.026	2280.1

8. Pengujian kedua cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
--------------	--------------	------------	---------------	------------------------------------

1	4	1.30	0.002	651.5
2	7	2.28	0.004	488.6
3	10	3.26	0.006	488.6
4	15	4.89	0.008	814.3
5	27	8.79	0.010	1954.4
6	38	12.38	0.012	1791.5
7	43	14.01	0.014	814.3
8	57	18.57	0.016	2280.1
9	77	25.08	0.018	3257.3
10	98	31.92	0.020	3420.2
11	107	34.85	0.022	1465.8
12	111	36.16	0.024	651.5
13	140	45.60	0.026	4723.1

9. Pengujian ketiga cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	6	1.95	0.004	325.7
3	11	3.58	0.006	814.3
4	15	4.89	0.008	651.5
5	23	7.49	0.010	1302.9
6	34	11.07	0.012	1791.5
7	39	12.70	0.014	814.3
8	54	17.59	0.016	2443.0
9	73	23.78	0.018	3094.5
10	96	31.27	0.020	3745.9
11	109	35.50	0.022	2117.3
12	114	37.13	0.024	814.3
13	144	46.91	0.026	4886.0

10. Pengujian pertama cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	7	2.28	0.004	488.6
3	16	5.21	0.006	1465.8
4	17	5.54	0.008	162.9
5	26	8.47	0.010	1465.8
6	40	13.03	0.012	2280.1
7	54	17.59	0.014	2280.1
8	72	23.45	0.016	2931.6
9	89	28.99	0.018	2768.7
10	106	34.53	0.020	2768.7
11	126	41.04	0.022	3257.3
12	134	43.65	0.024	1302.9

11. Pengujian kedua cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	8	2.61	0.004	651.5
3	17	5.54	0.006	1465.8
4	19	6.19	0.008	325.7
5	25	8.14	0.010	977.2
6	41	13.36	0.012	2605.9
7	55	17.92	0.014	2280.1
8	73	23.78	0.016	2931.6
9	90	29.32	0.018	2768.7
10	107	34.85	0.020	2768.7
11	128	41.69	0.022	3420.2
12	139	45.28	0.024	1791.5

12. Pengujian ketiga cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	7	2.28	0.004	488.6
3	15	4.89	0.006	1302.9
4	16	5.21	0.008	162.9
5	25	8.14	0.010	1465.8
6	39	12.70	0.012	2280.1
7	53	17.26	0.014	2280.1
8	70	22.80	0.016	2768.7
9	88	28.66	0.018	2931.6
10	105	34.20	0.020	2768.7
11	125	40.72	0.022	3257.3
12	138	44.95	0.024	2117.3

13. Pengujian pertama cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	8	2,61	0,002	1302,9
2	15	4,89	0,004	1140,1
3	21	6,84	0,006	977,2
4	25	8,14	0,008	651,5
5	36	11,73	0,010	1791,5
6	41	13,36	0,012	814,3
7	53	17,26	0,014	1954,4
8	59	19,22	0,016	977,2
9	69	22,48	0,018	1628,7
10	85	27,69	0,020	2605,9
11	98	31,92	0,022	2117,3
12	117	38,11	0,024	3094,5
13	125	40,72	0,026	1302,9
14	145	47,23	0,028	3257,3

14. Pengujian kedua cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	8	2.61	0.002	1302.9
2	15	4.89	0.004	1140.1
3	21	6.84	0.006	977.2
4	25	8.14	0.008	651.5
5	36	11.73	0.010	1791.5
6	41	13.36	0.012	814.3
7	53	17.26	0.014	1954.4
8	59	19.22	0.016	977.2
9	69	22.48	0.018	1628.7
10	85	27.69	0.020	2605.9
11	98	31.92	0.022	2117.3
12	117	38.11	0.024	3094.5
13	125	40.72	0.026	1302.9
14	145	47.23	0.028	3257.3

15. Pengujian ketiga cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	8	2.61	0.002	1302.9
2	15	4.89	0.004	1140.1
3	20	6.51	0.006	814.3
4	24	7.82	0.008	651.5
5	34	11.07	0.010	1628.7
6	40	13.03	0.012	977.2
7	50	16.29	0.014	1628.7
8	59	19.22	0.016	1465.8
9	69	22.48	0.018	1628.7
10	86	28.01	0.020	2768.7
11	98	31.92	0.022	1954.4
12	118	38.44	0.024	3257.3
13	128	41.69	0.026	1628.7

14	149	48.53	0.028	3420.2
----	-----	-------	-------	--------

16. Pengujian pertama cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	7	2.28	0.002	1140.1
2	14	4.56	0.004	1140.1
3	18	5.86	0.006	651.5
4	23	7.49	0.008	814.3
5	32	10.42	0.010	1465.8
6	37	12.05	0.012	814.3
7	50	16.29	0.014	2117.3
8	56	18.24	0.016	977.2
9	68	22.15	0.018	1954.4
10	83	27.04	0.020	2443.0
11	97	31.60	0.022	2280.1
12	112	36.48	0.024	2443.0
13	142	46.25	0.026	4886.0

17. Pengujian kedua cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	7	2.28	0.002	1140.1
2	14	4.56	0.004	1140.1
3	19	6.19	0.006	814.3
4	23	7.49	0.008	651.5
5	33	10.75	0.010	1628.7
6	38	12.38	0.012	814.3
7	51	16.61	0.014	2117.3
8	57	18.57	0.016	977.2
9	69	22.48	0.018	1954.4
10	84	27.36	0.020	2443.0

11	98	31.92	0.022	2280.1
12	114	37.13	0.024	2605.9
13	144	46.91	0.026	4886.0

18. Pengujian ketiga cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	6	1.95	0.002	977.2
2	13	4.23	0.004	1140.1
3	17	5.54	0.006	651.5
4	21	6.84	0.008	651.5
5	31	10.10	0.010	1628.7
6	37	12.05	0.012	977.2
7	50	16.29	0.014	2117.3
8	56	18.24	0.016	977.2
9	66	21.50	0.018	1628.7
10	83	27.04	0.020	2768.7
11	93	30.29	0.022	1628.7
12	111	36.16	0.024	2931.6
13	140	45.60	0.026	4723.1

19. Pengujian pertama cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	3	0.98	0.002	488.6
2	6	1.95	0.004	488.6
3	10	3.26	0.006	651.5
4	20	6.51	0.008	1628.7
5	31	10.10	0.010	1791.5
6	42	13.68	0.012	1791.5
7	57	18.57	0.014	2443.0
8	73	23.78	0.016	2605.9

9	87	28.34	0.018	2280.1
10	102	33.22	0.020	2443.0
11	128	41.69	0.022	4234.5
12	144	46.91	0.024	2605.9

20. Pengujian kedua cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	7	2.28	0.004	488.6
3	12	3.91	0.006	814.3
4	22	7.17	0.008	1628.7
5	33	10.75	0.010	1791.5
6	43	14.01	0.012	1628.7
7	59	19.22	0.014	2605.9
8	76	24.76	0.016	2768.7
9	86	28.01	0.018	1628.7
10	100	32.57	0.020	2280.1
11	116	37.79	0.022	2605.9
12	141	45.93	0.024	4071.7

21. Pengujian ketiga cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	7	2.28	0.004	488.6
3	13	4.23	0.006	977.2
4	22	7.17	0.008	1465.8
5	34	11.07	0.010	1954.4
6	44	14.33	0.012	1628.7
7	58	18.89	0.014	2280.1
8	78	25.41	0.016	3257.3
9	88	28.66	0.018	1628.7

10	99	32.25	0.020	1791.5
11	114	37.13	0.022	2443.0
12	137	44.63	0.024	3745.9

22. Pengujian pertama cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	4	1,30	0,002	651,5
2	8	2,61	0,004	651,5
3	9	2,93	0,006	162,9
4	15	4,89	0,008	977,2
5	25	8,14	0,010	1628,7
6	36	11,73	0,012	1791,5
7	47	15,31	0,014	1791,5
8	67	21,82	0,016	3257,3
9	81	26,38	0,018	2280,1
10	104	33,88	0,020	3745,9
11	128	41,69	0,022	3908,8
12	154	50,16	0,024	4234,5

23. Pengujian kedua cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	8	2.61	0.004	651.5
3	10	3.26	0.006	325.7
4	15	4.89	0.008	814.3
5	25	8.14	0.010	1628.7
6	35	11.40	0.012	1628.7
7	49	15.96	0.014	2280.1
8	67	21.82	0.016	2931.6
9	82	26.71	0.018	2443.0
10	104	33.88	0.020	3583.1

11	129	42.02	0.022	4071.7
12	155	50.49	0.024	4234.5

24. Pengujian ketiga cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	8	2.61	0.004	651.5
3	9	2.93	0.006	162.9
4	16	5.21	0.008	1140.1
5	26	8.47	0.010	1628.7
6	36	11.73	0.012	1628.7
7	48	15.64	0.014	1954.4
8	68	22.15	0.016	3257.3
9	82	26.71	0.018	2280.1
10	105	34.20	0.020	3745.9
11	129	42.02	0.022	3908.8
12	154	50.16	0.024	4071.7

25. Pengujian pertama cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	6	1.95	0.002	977.2
2	9	2.93	0.004	488.6
3	18	5.86	0.006	1465.8
4	27	8.79	0.008	1465.8
5	40	13.03	0.010	2117.3
6	49	15.96	0.012	1465.8
7	59	19.22	0.014	1628.7
8	72	23.45	0.016	2117.3
9	83	27.04	0.018	1791.5
10	95	30.94	0.020	1954.4
11	113	36.81	0.022	2931.6

12	140	45.60	0.024	4397.4
----	-----	-------	-------	--------

26. Pengujian kedua cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	6	1.95	0.002	977.2
2	10	3.26	0.004	651.5
3	18	5.86	0.006	1302.9
4	28	9.12	0.008	1628.7
5	40	13.03	0.010	1954.4
6	48	15.64	0.012	1302.9
7	58	18.89	0.014	1628.7
8	71	23.13	0.016	2117.3
9	84	27.36	0.018	2117.3
10	96	31.27	0.020	1954.4
11	114	37.13	0.022	2931.6
12	141	45.93	0.024	4397.4

27. Pengujian ketiga cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	6	1.95	0.002	977.2
2	8	2.61	0.004	325.7
3	18	5.86	0.006	1628.7
4	27	8.79	0.008	1465.8
5	40	13.03	0.010	2117.3
6	49	15.96	0.012	1465.8
7	59	19.22	0.014	1628.7
8	71	23.13	0.016	1954.4
9	83	27.04	0.018	1954.4
10	96	31.27	0.020	2117.3
11	114	37.13	0.022	2931.6
12	141	45.93	0.024	4397.4

28. Pengujian pertama cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	6	1.95	0.002	977.2
2	10	3.26	0.004	651.5
3	13	4.23	0.006	488.6
4	18	5.86	0.008	814.3
5	28	9.12	0.010	1628.7
6	35	11.40	0.012	1140.1
7	49	15.96	0.014	2280.1
8	64	20.85	0.016	2443.0
9	84	27.36	0.018	3257.3
10	99	32.25	0.020	2443.0
11	113	36.81	0.022	2280.1
12	136	44.30	0.024	3745.9
13	163	53.09	0.026	4397.4

29. Pengujian kedua cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	7	2.28	0.002	1140.1
2	11	3.58	0.004	651.5
3	14	4.56	0.006	488.6
4	19	6.19	0.008	814.3
5	29	9.45	0.010	1628.7
6	36	11.73	0.012	1140.1
7	50	16.29	0.014	2280.1
8	65	21.17	0.016	2443.0
9	85	27.69	0.018	3257.3
10	99	32.25	0.020	2280.1
11	114	37.13	0.022	2443.0
12	134	43.65	0.024	3257.3

30. Pengujian ketiga cepat rambat api sesaat dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api sesaat (cm/detik)
1	7	2.28	0.002	1140.1
2	11	3.58	0.004	651.5
3	15	4.89	0.006	651.5
4	21	6.84	0.008	977.2
5	31	10.10	0.010	1628.7
6	37	12.05	0.012	977.2
7	51	16.61	0.014	2280.1
8	66	21.50	0.016	2443.0
9	86	28.01	0.018	3257.3
10	99	32.25	0.020	2117.3
11	116	37.79	0.022	2768.7
12	138	44.95	0.024	3583.1

A.2 Hasil Pengujian Cepat Rambat Api Total

1. Pengujian pertama cepat rambat api total sebelum perlakuan

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	3	0,98	0,002	488,6
2	7	2,28	0,004	570,0
3	9	2,93	0,006	488,6
4	11	3,58	0,008	447,9
5	14	4,56	0,010	456,0
6	17	5,54	0,012	461,5
7	21	6,84	0,014	488,6
8	23	7,49	0,016	468,2
9	33	10,75	0,018	597,2
10	36	11,73	0,020	586,3
11	40	13,03	0,022	592,2
12	44	14,33	0,024	597,2
13	52	16,94	0,026	651,5
14	57	18,57	0,028	663,1
15	62	20,20	0,030	673,2
16	69	22,48	0,032	702,4
17	73	23,78	0,034	699,4
18	77	25,08	0,036	696,7
19	80	26,06	0,038	685,8
20	84	27,36	0,040	684,0
21	87	28,34	0,042	674,7
22	90	29,32	0,044	666,3
23	93	30,29	0,046	658,5
24	99	32,25	0,048	671,8
25	113	36,81	0,050	736,2
26	129	42,02	0,052	808,1
27	140	45,60	0,054	844,5
28	156	50,81	0,056	907,4

2. Pengujian kedua cepat rambat api total sebelum perlakuan

<i>F rame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	8	2.61	0.004	651.5
3	11	3.58	0.006	597.2
4	13	4.23	0.008	529.3
5	16	5.21	0.010	521.2
6	19	6.19	0.012	515.7
7	22	7.17	0.014	511.9
8	25	8.14	0.016	509.0
9	32	10.42	0.018	579.1
10	36	11.73	0.020	586.3
11	39	12.70	0.022	577.4
12	42	13.68	0.024	570.0
13	51	16.61	0.026	638.9
14	57	18.57	0.028	663.1
15	64	20.85	0.030	694.9
16	71	23.13	0.032	722.7
17	85	27.69	0.034	814.3
18	89	28.99	0.036	805.3
19	100	32.57	0.038	857.2
20	114	37.13	0.040	928.3
21	130	42.35	0.042	1008.2
22	144	46.91	0.044	1066.0
23	156	50.81	0.046	1104.7

3. Pengujian ketiga cepat rambat api total sebelum perlakuan

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	7	2.28	0.004	570.0
3	10	3.26	0.006	542.9
4	12	3.91	0.008	488.6
5	15	4.89	0.010	488.6
6	18	5.86	0.012	488.6
7	22	7.17	0.014	511.9

8	25	8.14	0.016	509.0
9	34	11.07	0.018	615.3
10	37	12.05	0.020	602.6
11	41	13.36	0.022	607.0
12	45	14.66	0.024	610.7
13	55	17.92	0.026	689.1
14	58	18.89	0.028	674.7
15	64	20.85	0.030	694.9
16	71	23.13	0.032	722.7
17	85	27.69	0.034	814.3
18	89	28.99	0.036	805.3
19	100	32.57	0.038	857.2
20	114	37.13	0.040	928.3
21	130	42.35	0.042	1008.2
22	144	46.91	0.044	1066.0
23	156	50.81	0.046	1104.7

4. Pengujian pertama cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	3	0,98	0,002	488,6
2	7	2,28	0,004	570,0
3	11	3,58	0,006	597,2
4	13	4,23	0,008	529,3
5	24	7,82	0,010	781,8
6	34	11,07	0,012	922,9
7	44	14,33	0,014	1023,7
8	64	20,85	0,016	1302,9
9	84	27,36	0,018	1520,1
10	100	32,57	0,020	1628,7
11	110	35,83	0,022	1628,7
12	120	39,09	0,024	1628,7
13	130	42,35	0,026	1628,7
14	140	45,60	0,028	1628,7

15	149	48,53	0,030	1617,8
16	154	50,16	0,032	1567,6

5. Pengujian kedua cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	3	0.98	0.002	488.6
2	7	2.28	0.004	570.0
3	11	3.58	0.006	597.2
4	14	4.56	0.008	570.0
5	25	8.14	0.010	814.3
6	35	11.40	0.012	950.1
7	45	14.66	0.014	1047.0
8	65	21.17	0.016	1323.3
9	85	27.69	0.018	1538.2
10	101	32.90	0.020	1645.0
11	120	39.09	0.022	1776.7
12	130	42.35	0.024	1764.4
13	140	45.60	0.026	1753.9
14	149	48.53	0.028	1733.4
15	154	50.16	0.030	1672.1

6. Pengujian ketiga cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	3	0.98	0.002	488.6
2	7	2.28	0.004	570.0
3	13	4.23	0.006	705.8
4	16	5.21	0.008	651.5
5	24	7.82	0.010	781.8
6	33	10.75	0.012	895.8
7	44	14.33	0.014	1023.7
8	67	21.82	0.016	1364.0

9	87	28.34	0.018	1574.4
10	102	33.22	0.020	1661.2
11	119	38.76	0.022	1761.9
12	131	42.67	0.024	1778.0
13	141	45.93	0.026	1766.5
14	150	48.86	0.028	1745.0
15	156	50.81	0.030	1693.8

7. Pengujian pertama cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	3	0.98	0.002	488.6
2	6	1.95	0.004	488.6
3	10	3.26	0.006	542.9
4	14	4.56	0.008	570.0
5	22	7.17	0.010	716.6
6	33	10.75	0.012	895.8
7	38	12.38	0.014	884.1
8	52	16.94	0.016	1058.6
9	72	23.45	0.018	1302.9
10	95	30.94	0.020	1547.2
11	110	35.83	0.022	1628.7
12	116	37.79	0.024	1574.4
13	130	42.35	0.026	1628.7

8. Pengujian kedua cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
--------------	--------------	------------	---------------	-----------------------------

1	4	1.30	0.002	651.5
2	7	2.28	0.004	570.0
3	10	3.26	0.006	542.9
4	15	4.89	0.008	610.7
5	27	8.79	0.010	879.5
6	38	12.38	0.012	1031.5
7	43	14.01	0.014	1000.5
8	57	18.57	0.016	1160.4
9	77	25.08	0.018	1393.4
10	98	31.92	0.020	1596.1
11	107	34.85	0.022	1584.2
12	111	36.16	0.024	1506.5
13	140	45.60	0.026	1753.9

9. Pengujian ketiga cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	6	1.95	0.004	488.6
3	11	3.58	0.006	597.2
4	15	4.89	0.008	610.7
5	23	7.49	0.010	749.2
6	34	11.07	0.012	922.9
7	39	12.70	0.014	907.4
8	54	17.59	0.016	1099.3
9	73	23.78	0.018	1321.0
10	96	31.27	0.020	1563.5
11	109	35.50	0.022	1613.9
12	114	37.13	0.024	1547.2
13	144	46.91	0.026	1804.1

10. Pengujian pertama cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	7	2.28	0.004	570.0
3	16	5.21	0.006	868.6
4	17	5.54	0.008	692.2
5	26	8.47	0.010	846.9
6	40	13.03	0.012	1085.8
7	54	17.59	0.014	1256.4
8	72	23.45	0.016	1465.8
9	89	28.99	0.018	1610.6
10	106	34.53	0.020	1726.4
11	126	41.04	0.022	1865.6
12	134	43.65	0.024	1818.7

11. Pengujian kedua cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	8	2.61	0.004	651.5
3	17	5.54	0.006	922.9
4	19	6.19	0.008	773.6
5	25	8.14	0.010	814.3
6	41	13.36	0.012	1112.9
7	55	17.92	0.014	1279.7
8	73	23.78	0.016	1486.2
9	90	29.32	0.018	1628.7
10	107	34.85	0.020	1742.7
11	128	41.69	0.022	1895.2
12	139	45.28	0.024	1886.5

12. Pengujian ketiga cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 25% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	7	2.28	0.004	570.0
3	15	4.89	0.006	814.3
4	16	5.21	0.008	651.5
5	25	8.14	0.010	814.3
6	39	12.70	0.012	1058.6
7	53	17.26	0.014	1233.1
8	70	22.80	0.016	1425.1
9	88	28.66	0.018	1592.5
10	105	34.20	0.020	1710.1
11	125	40.72	0.022	1850.8
12	138	44.95	0.024	1873.0

13. Pengujian pertama cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	8	2,61	0,002	1302,9
2	15	4,89	0,004	1221,5
3	21	6,84	0,006	1140,1
4	25	8,14	0,008	1017,9
5	36	11,73	0,010	1172,6
6	41	13,36	0,012	1112,9
7	53	17,26	0,014	1233,1
8	59	19,22	0,016	1201,1
9	69	22,48	0,018	1248,6
10	85	27,69	0,020	1384,4
11	98	31,92	0,022	1451,0
12	117	38,11	0,024	1587,9
13	125	40,72	0,026	1566,0
14	145	47,23	0,028	1686,8

14. Pengujian kedua cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	8	2.61	0.002	1302.9
2	15	4.89	0.004	1221.5
3	21	6.84	0.006	1140.1
4	25	8.14	0.008	1017.9
5	36	11.73	0.010	1172.6
6	41	13.36	0.012	1112.9
7	53	17.26	0.014	1233.1
8	59	19.22	0.016	1201.1
9	69	22.48	0.018	1248.6
10	85	27.69	0.020	1384.4
11	98	31.92	0.022	1451.0
12	117	38.11	0.024	1587.9
13	125	40.72	0.026	1566.0
14	145	47.23	0.028	1686.8

15. Pengujian ketiga cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	8	2.61	0.002	1302.9
2	15	4.89	0.004	1221.5
3	20	6.51	0.006	1085.8
4	24	7.82	0.008	977.2
5	34	11.07	0.010	1107.5
6	40	13.03	0.012	1085.8
7	50	16.29	0.014	1163.3
8	59	19.22	0.016	1201.1
9	69	22.48	0.018	1248.6
10	86	28.01	0.020	1400.7
11	98	31.92	0.022	1451.0
12	118	38.44	0.024	1601.5
13	128	41.69	0.026	1603.6
14	149	48.53	0.028	1733.4

16. Pengujian pertama cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	7	2.28	0.002	1140.1
2	14	4.56	0.004	1140.1
3	18	5.86	0.006	977.2
4	23	7.49	0.008	936.5
5	32	10.42	0.010	1042.3
6	37	12.05	0.012	1004.3
7	50	16.29	0.014	1163.3
8	56	18.24	0.016	1140.1
9	68	22.15	0.018	1230.5
10	83	27.04	0.020	1351.8
11	97	31.60	0.022	1436.2
12	112	36.48	0.024	1520.1
13	143	46.58	0.026	1791.5

17. Pengujian kedua cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	7	2.28	0.002	1140.1
2	14	4.56	0.004	1140.1
3	19	6.19	0.006	1031.5
4	23	7.49	0.008	936.5
5	33	10.75	0.010	1074.9
6	38	12.38	0.012	1031.5
7	51	16.61	0.014	1186.6
8	57	18.57	0.016	1160.4
9	69	22.48	0.018	1248.6
10	84	27.36	0.020	1368.1
11	98	31.92	0.022	1451.0
12	114	37.13	0.024	1547.2
13	144	46.91	0.026	1804.1

18. Pengujian ketiga cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	6	1.95	0.002	977.2
2	13	4.23	0.004	1058.6
3	17	5.54	0.006	922.9
4	21	6.84	0.008	855.0
5	31	10.10	0.010	1009.8
6	37	12.05	0.012	1004.3
7	50	16.29	0.014	1163.3
8	56	18.24	0.016	1140.1
9	66	21.50	0.018	1194.4
10	83	27.04	0.020	1351.8
11	93	30.29	0.022	1377.0
12	111	36.16	0.024	1506.5
13	140	45.60	0.026	1753.9

19. Pengujian pertama cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	3	0.98	0.002	488.6
2	6	1.95	0.004	488.6
3	10	3.26	0.006	542.9
4	20	6.51	0.008	814.3
5	31	10.10	0.010	1009.8
6	42	13.68	0.012	1140.1
7	57	18.57	0.014	1326.2
8	73	23.78	0.016	1486.2
9	97	31.60	0.018	1755.3
10	102	33.22	0.020	1661.2
11	128	41.69	0.022	1895.2
12	144	46.91	0.024	1954.4

20. Pengujian kedua cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	7	2.28	0.004	570.0
3	12	3.91	0.006	651.5
4	22	7.17	0.008	895.8
5	33	10.75	0.010	1074.9
6	43	14.01	0.012	1167.2
7	59	19.22	0.014	1372.7
8	76	24.76	0.016	1547.2
9	86	28.01	0.018	1556.3
10	100	32.57	0.020	1628.7
11	116	37.79	0.022	1717.5
12	141	45.93	0.024	1913.7

21. Pengujian ketiga cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 35% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	7	2.28	0.004	570.0
3	13	4.23	0.006	705.8
4	22	7.17	0.008	895.8
5	34	11.07	0.010	1107.5
6	44	14.33	0.012	1194.4
7	58	18.89	0.014	1349.5
8	78	25.41	0.016	1587.9
9	88	28.66	0.018	1592.5
10	99	32.25	0.020	1612.4
11	114	37.13	0.022	1687.9
12	137	44.63	0.024	1859.4

22. Pengujian pertama cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	4	1,30	0,002	651,5
2	8	2,61	0,004	651,5
3	9	2,93	0,006	488,6
4	15	4,89	0,008	610,7
5	25	8,14	0,010	814,3
6	36	11,73	0,012	977,2
7	47	15,31	0,014	1093,5
8	67	21,82	0,016	1364,0
9	81	26,38	0,018	1465,8
10	104	33,88	0,020	1693,8
11	128	41,69	0,022	1895,2
12	154	50,16	0,024	2090,1

23. Pengujian kedua cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	8	2.61	0.004	651.5
3	10	3.26	0.006	542.9
4	15	4.89	0.008	610.7
5	25	8.14	0.010	814.3
6	35	11.40	0.012	950.1
7	49	15.96	0.014	1140.1
8	67	21.82	0.016	1364.0
9	82	26.71	0.018	1483.9
10	104	33.88	0.020	1693.8
11	129	42.02	0.022	1910.0
12	155	50.49	0.024	2103.7

24. Pengujian ketiga cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 20 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	4	1.30	0.002	651.5
2	8	2.61	0.004	651.5
3	9	2.93	0.006	488.6
4	16	5.21	0.008	651.5
5	26	8.47	0.010	846.9
6	36	11.73	0.012	977.2
7	48	15.64	0.014	1116.8
8	68	22.15	0.016	1384.4
9	82	26.71	0.018	1483.9
10	105	34.20	0.020	1710.1
11	129	42.02	0.022	1910.0
12	154	50.16	0.024	2090.1

25. Pengujian pertama cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	6	1.95	0.002	977.2
2	9	2.93	0.004	732.9
3	18	5.86	0.006	977.2
4	27	8.79	0.008	1099.3
5	40	13.03	0.010	1302.9
6	49	15.96	0.012	1330.1
7	59	19.22	0.014	1372.7
8	72	23.45	0.016	1465.8
9	83	27.04	0.018	1502.0
10	95	30.94	0.020	1547.2
11	113	36.81	0.022	1673.1
12	140	45.60	0.024	1900.1

26. Pengujian kedua cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	6	1.95	0.002	977.2
2	10	3.26	0.004	814.3
3	18	5.86	0.006	977.2
4	28	9.12	0.008	1140.1
5	40	13.03	0.010	1302.9
6	48	15.64	0.012	1302.9
7	58	18.89	0.014	1349.5
8	71	23.13	0.016	1445.4
9	84	27.36	0.018	1520.1
10	96	31.27	0.020	1563.5
11	114	37.13	0.022	1687.9
12	141	45.93	0.024	1913.7

27. Pengujian ketiga cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 40 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	6	1.95	0.002	977.2
2	8	2.61	0.004	651.5
3	18	5.86	0.006	977.2
4	27	8.79	0.008	1099.3
5	40	13.03	0.010	1302.9
6	49	15.96	0.012	1330.1
7	59	19.22	0.014	1372.7
8	71	23.13	0.016	1445.4
9	83	27.04	0.018	1502.0
10	96	31.27	0.020	1563.5
11	114	37.13	0.022	1687.9
12	141	45.93	0.024	1913.7

28. Pengujian pertama cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	6	1.95	0.002	977.2
2	10	3.26	0.004	814.3
3	13	4.23	0.006	705.8
4	18	5.86	0.008	732.9
5	28	9.12	0.010	912.1
6	35	11.40	0.012	950.1
7	49	15.96	0.014	1140.1
8	64	20.85	0.016	1302.9
9	84	27.36	0.018	1520.1
10	99	32.25	0.020	1612.4
11	113	36.81	0.022	1673.1
12	136	44.30	0.024	1845.8

29. Pengujian kedua cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	7	2.28	0.002	1140.1
2	11	3.58	0.004	895.8
3	14	4.56	0.006	760.0
4	19	6.19	0.008	773.6
5	29	9.45	0.010	944.6
6	36	11.73	0.012	977.2
7	50	16.29	0.014	1163.3
8	65	21.17	0.016	1323.3
9	85	27.69	0.018	1538.2
10	99	32.25	0.020	1612.4
11	114	37.13	0.022	1687.9
12	134	43.65	0.024	1818.7

30. Pengujian ketiga cepat rambat api total dengan konsentrasi KOH 45% dan waktu kontak 60 menit

<i>Frame</i>	<i>Pixel</i>	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Cepat rambat api (cm/detik)
1	7	2.28	0.002	1140.1
2	11	3.58	0.004	895.8
3	15	4.89	0.006	814.3
4	21	6.84	0.008	855.0
5	31	10.10	0.010	1009.8
6	37	12.05	0.012	1004.3
7	51	16.61	0.014	1186.6
8	66	21.50	0.016	1343.6
9	86	28.01	0.018	1556.3
10	99	32.25	0.020	1612.4
11	116	37.79	0.022	1717.5
12	138	44.95	0.024	1873.0

LAMPIRAN B. PERHITUNGAN

B.1 Perhitungan AFR

Berikut untuk perhitungan AFR:

Persamaan reaksi pembakaran stokiometri pada metana berbasis volume:

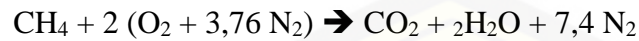


Maka AFR stokiometri metana berbasis volume

$$\text{AFR}_v = \frac{2(1+3.76)}{1} = 9.52$$

Untuk menghitung AFR biogas dengan cara sebagai berikut:

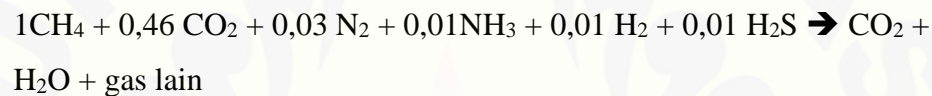
$$S = 32,06 ; O = 16 ; N = 14 ; C = 12 ; H = 1$$



Udara : 21% O₂ dan 79% N₂

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

Stokiometri AFR Biogas berbasis masa:



$$1,52 \text{ kg } (CH_4 + CO_2 + N_2 + NH_3 + H_2 + H_2S)$$

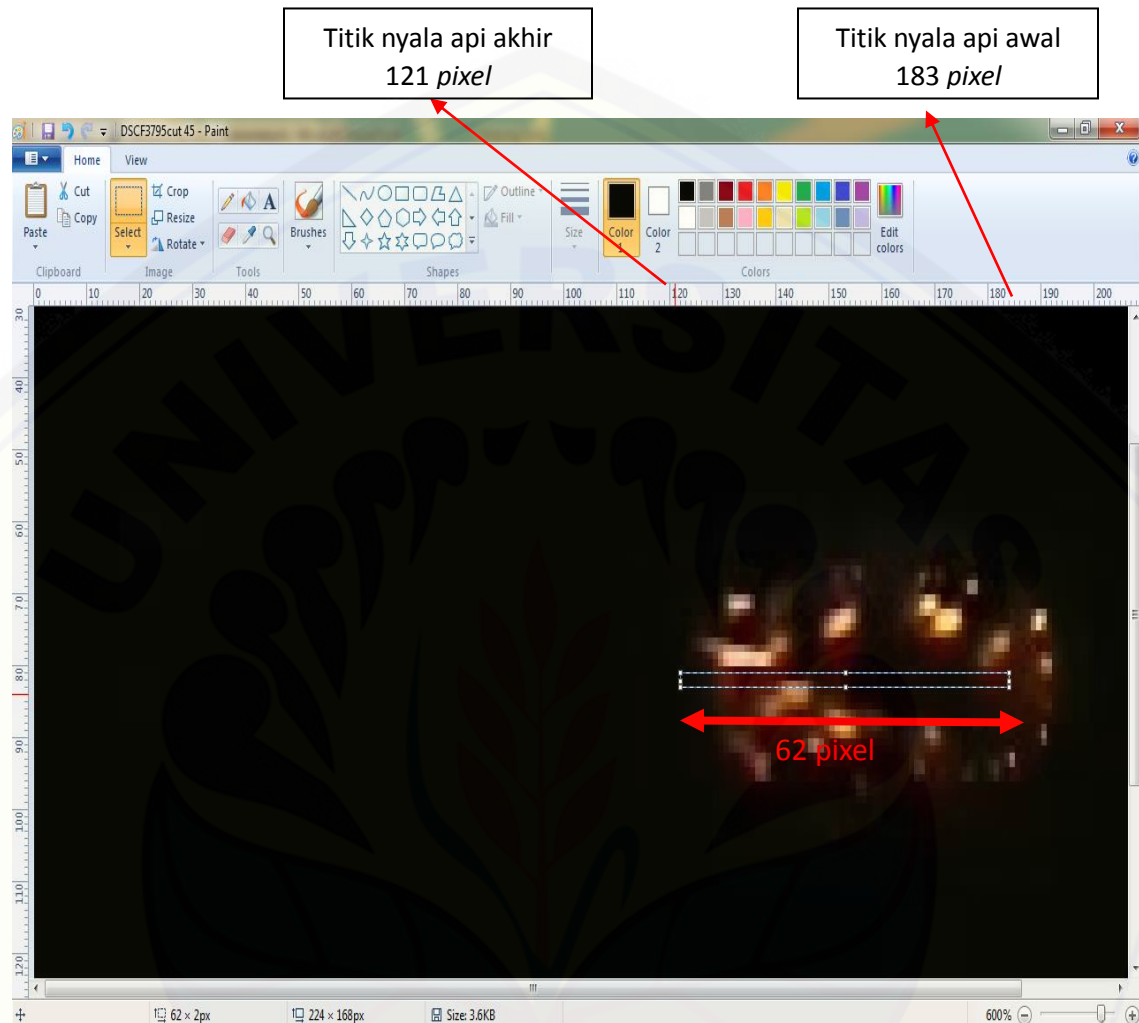
$$\text{AFR Biogas} = \frac{274,56}{16 (1,52)} = 11,28$$

2. Perhitungan panjang gambar (S)

Untuk perhitungan panjang gambar rambat api menggunakan program paint dengan melihat jumlah pixel lalu dirubah menjadi satuan cm. Titik nyala api awal berada di 183 *pixel*, dan titik terakhir di 20 *pixel* jadi jarak maksimal gambar rambat api adalah 163 *pixel* sedangkan jarak rambat api (s) pada *Helle-Shaw Cell* adalah 53 cm. Jadi dapat dihitung dengan:

$$\frac{163 \text{ Pixel}}{53 \text{ cm}} = 3.07 \text{ pixel/cm}$$

$$\text{Jadi } 1 \text{ cm} = 3.07 \text{ pixel}$$



Jika panjang gambar di program Paint ditunjukkan dari 183 pixel sampai 121 pixel. Berarti panjang gambar adalah 62 pixel. Dan diubah kesatuan cm dengan membagi 3.07 pixel/cm sehingga panjang gambar adalah 20,19 cm.

3. Perhitungan waktu per frame

Untuk perhitungan waktu per *frame* proses perhitungannya:

Kamera yang digunakan memiliki kecepatan 480 *frame*/detik, Jadi waktu yang digunakan dalam 1 *frame* adalah $\frac{1 \text{ frame}}{480 \text{ frame/detik}} = 0.002 \text{ detik}$.

4. Perhitungan cepat rambat api

Untuk perhitungan cepat rambat api berikut adalah proses perhitungannya:

$$v = \frac{s}{t}$$

Dimana : s : jarak gambar (cm)

t : waktu (detik)

Jadi cepat rambat api adalah hasil bagi jarak gambar dengan waktu (cm/detik)

5. Pembuatan Larutan KOH

$$\text{Konsentrasi \%} = \frac{\text{zat terlarut}}{\text{zat terlarut} + \text{zat pelarut}} \times 100\%$$

$$= \frac{\text{zat terlarut}}{\text{larutan}} \times 100\%$$

- Konsentrasi KOH 25%

Larutkan 250 g KOH kedalam air

$$\text{Sehingga } \frac{250g}{1000ml} \times 100\% = 25\%$$

- Konsentrasi KOH 35%

Larutkan 350 g KOH kedalam air

$$\text{Sehingga } \frac{350g}{1000ml} \times 100\% = 35\%$$

- Konsentrasi KOH 45%

Larutkan 450 g KOH kedalam air

$$\text{Sehingga } \frac{450g}{1000ml} \times 100\% = 45\%$$

LAMPIRAN C. FOTO PENELITIAN



Gambar Helle-Shaw Cell



Gambar kamera fuji high speed 1000 frame/sec



Gambar pneumatic hydrolic



Gambar kantong biogas



Gambar Manometer U



Gambar Alat Purifikasi



Gambar Gas Holder