

**PENGARUH LAJU ALIRAN BIOGAS TERHADAP PURIFIKASI DAN
PENYIMPANAN CH₄ DENGAN SISTEM KOMPRESI**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



IKHE ATHIFIYAH SYAH PUTRA

NIM. 125060201111006

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH LAJU ALIRAN BIOGAS TERHADAP PURIFIKASI DAN
PENYIMPANAN CH₄ DENGAN SISTEM KOMPRESI**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



IKHE ATHIFIYAH SYAH PUTRA

NIM. 125060201111006

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pada tanggal 10 Mei 2016

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST.,MT.
NIP. 19750113 200012 1 001

Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng.
NIP. 19890102 201504 2 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 02

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2013, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 10 Mei 2016

Mahasiswa,

Ikhe Athifiyah Syah Putra

NIM. 125060201111006



JUDUL SKRIPSI :

Pengaruh Laju Aliran Biogas terhadap Purifikasi dan Penyimpanan CH₄ dengan Sistem Kompresi.

Nama Mahasiswa : Ikhe Athifiyah Syah Putra

NIM : 125060201111006

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Dr. Eng. Denny Widhiyanuriawan, ST.,MT.

Pembimbing 2 : Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng.

TIM DOSEN PENGUJI

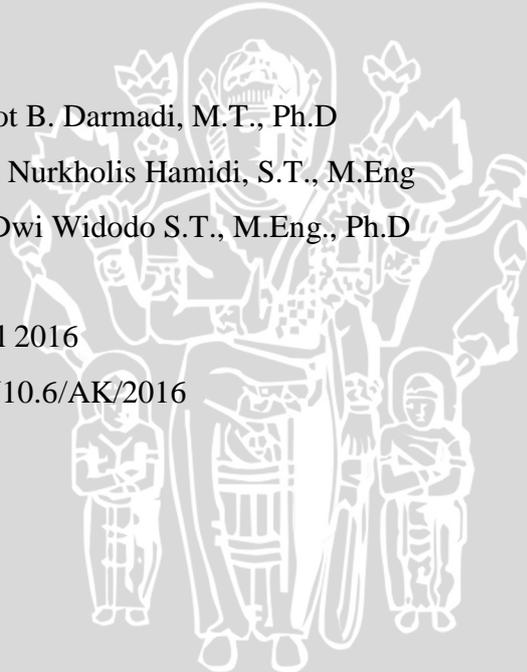
Dosen Penguji 1 : Ir. Djarot B. Darmadi, M.T., Ph.D

Dosen Penguji 2 : Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, S.T., M.Eng

Dosen Penguji 3 : Teguh Dwi Widodo S.T., M.Eng., Ph.D

Tanggal Ujian : 28 April 2016

SK Penguji : 554/UN10.6/AK/2016



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Yang Maha Esa atas segala berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul “Pengaruh Laju Aliran Biogas terhadap Purifikasi dan Penyimpanan CH₄ dengan Sistem Kompresi” ini dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan dan penyelesaian skripsi ini telah dibantu oleh banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini :

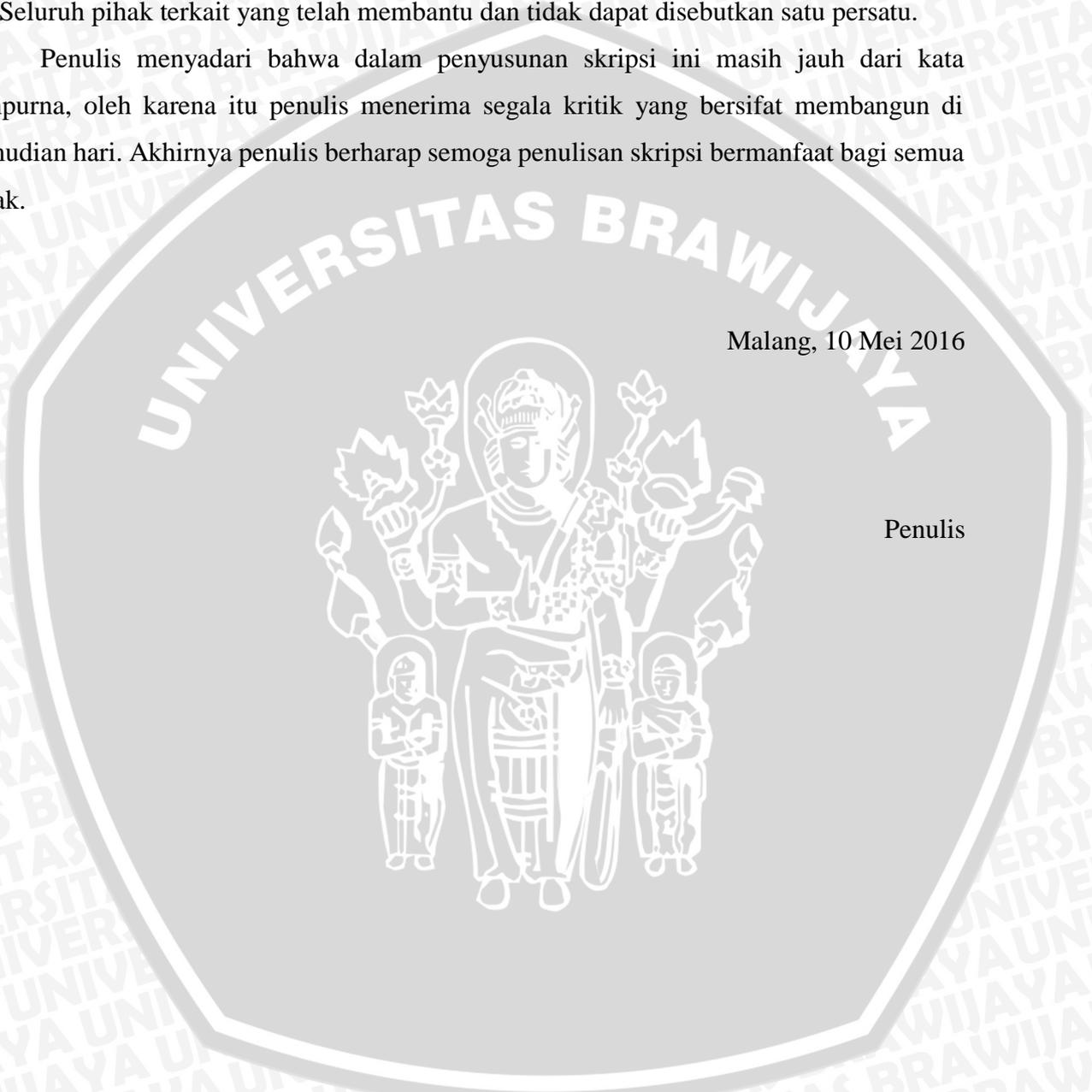
1. Dr. Eng Nurkholis Hamidi, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Purnami S.T., M.T, selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Dr.Eng Widya Wijayanti, S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Dr.Eng Denny Widhiyanuriyawan, S.T., M.T, selaku dosen pembimbing I skripsi dan Kepala Laboratorium Tenaga Surya dan Energi Alternatif yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, dan motivasi selama penyusunan laporan skripsi.
5. Haslinda Kusumaningsih S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing II skripsi yang telah memberikan pengarahan, bimbingan dan motivasi selama penyusunan laporan skripsi.
6. Bapak Hugeng Dwi Purnomo dan Ibu Sadyaswati Dyah Siwiasuti sebagai kedua orang tua saya atas kasih sayang, doa, dan motivasi, dukungan moral dan materil yang diberikan selama ini.
7. Seluruh Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan yang sangat mendukung selama penyusunan skripsi ini.
8. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi.
9. Semua Asisten Laboratorium Tenaga Surya dan Energi Alternatif yang telah banyak membantu.
10. Teman-teman mesin angkatan 2012 ADM12AL yang selalu memberikan semangat, motivasi, serta seluruh dukungan yang diberikan.
11. Saudara Safia Azzara Situmorang yang selalu membantu dan mendukung dalam menyelesaikan permasalahan yang ada dalam penelitian.

12. Saudara Pagan Binarbawa selaku teman seperjuangan dalam menyelesaikan skripsi yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan permasalahan.
13. Begundal62 selaku teman seperjuangan selama menempuh kuliah di jurusan Teknik Mesin yang selalu memberikan dukungan moril selama menjalani perkuliahan dan penyelesaian tugas akhir.
14. Seluruh pihak terkait yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis menerima segala kritik yang bersifat membangun di kemudian hari. Akhirnya penulis berharap semoga penulisan skripsi bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, 10 Mei 2016

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
RINGKASAN.....	ix
SUMMARY	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2 Biogas.....	5
2.2.1 Definisi Biogas	5
2.2.2 Reaksi Pembentukan Biogas.....	6
2.2.3 Purifikasi Biogas.....	7
2.3 Absorben	11
2.3.1 Larutan NaOH.....	11
2.3.2 Batu Zeolit	12
2.3.3 Arang Aktif	13
2.4 Sistem Penabungan Biogas	14
2.4.1 Kompresor.....	15
2.4.2 Kondensor	17
2.4.3 Efisiensi Sistem.....	18
2.4 Nilai Pembakaran.....	19
2.5 Hipotesa	20



BAB III METODOLOGI PENELITIAN21

3.1 Metode Penelitian21

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian21

3.3 Variabel Penelitian21

3.4 Alat dan Bahan Penelitian22

3.5 Skema Instalasi26

3.6 Prosedur Penelitian27

3.7 Metode Pengambilan Data27

3.8 Diagram Alir Penelitian28

BAB IV GRAFIK DAN PEMBAHASAN30

4.1 Analisa Grafik30

4.1.1 Hubungan purificator terhadap penurunan CO₂ pada laju yang berbeda..30

4.1.2 Hubungan tekanan terhadap massa jenis pada laju aliran yang berbeda...32

4.1.3 Energi Pembakaran.....33

4.1.4 Hubungan tekanan terhadap waktu pengisian pada laju yang berbeda34

4.1.5 Hubungan tekanan terhadap daya kompresor pada setiap laju aliran35

4.1.6 Hubungan penurunan kadar CO₂ akhir terhadap laju aliran pada proses penabungan36

4.1.7 Efisiensi Penabungan Biogas37

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN39

5.1 Kesimpulan.....39

5.2 Saran.....39

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No Tabel	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Komponen Penyusun Biogas	5
Tabel 2.2	Kesesuaian penyimpana biogas	15
Tabel 2.3	Perbedaan Kompresor Torak dan Rotari	16
Tabel 2.4	Nilai Kalor Pembakaran	19
Tabel 4.1	Perhitungan Massa Biogas, CO ₂ dan CH ₄	33
Tabel 4.2	Energi pembakaran pada tabung	34
Tabel 4.3	Perbandingan Hasil dan Waktu Pemurnian	37
Tabel 4.4	Efisiensi Penabungan	38
Tabel 4.5	Energi pembakaran pada tabung	38



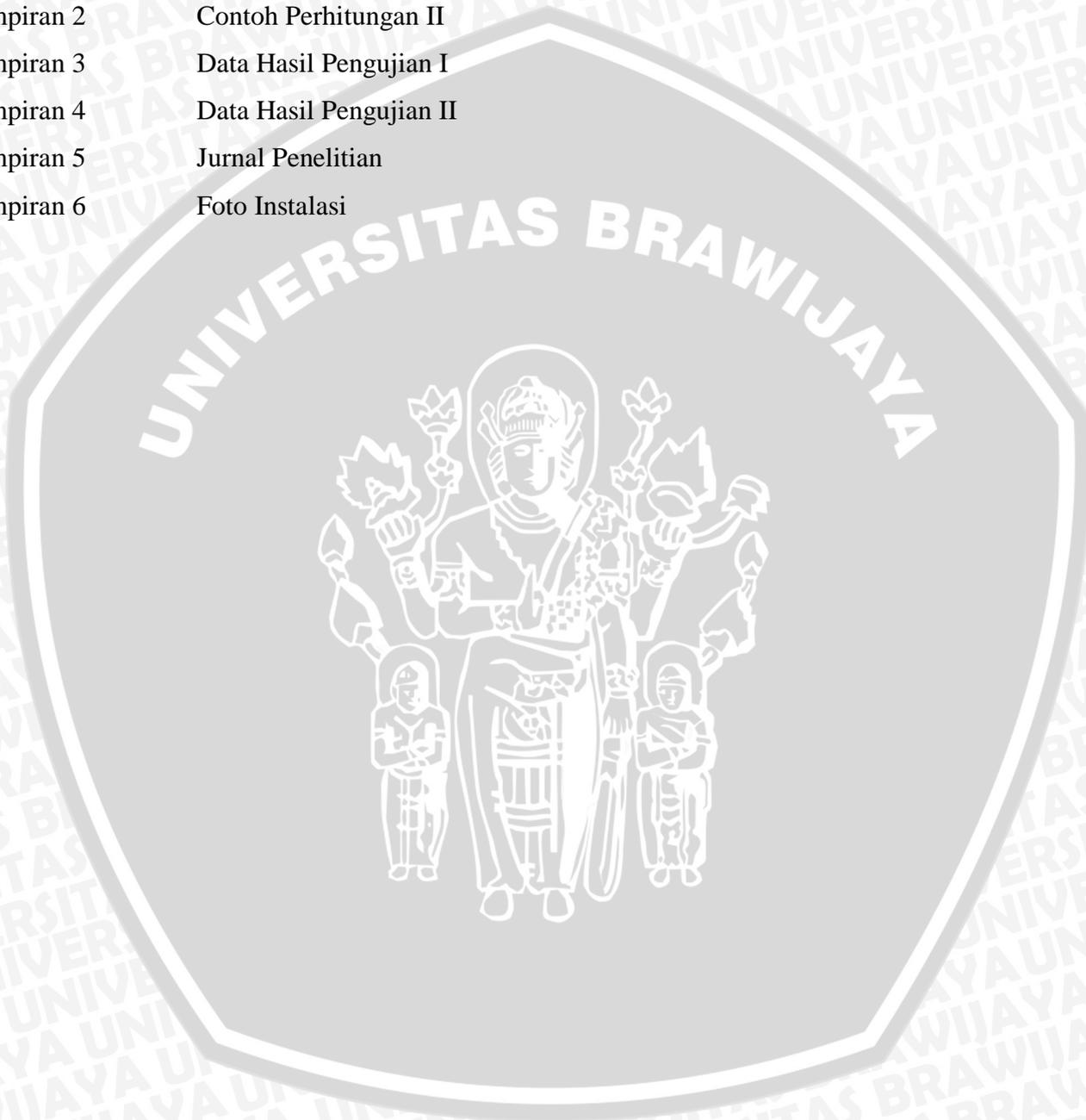
DAFTAR GAMBAR

No Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Proses Pemurnian <i>Scrubbing</i>	7
Gambar 2.2	Proses Pemurnian Kimiawi	8
Gambar 2.3	Proses Pemurnian <i>Swing Absorbption</i>	9
Gambar 2.4	Proses pemurnian membrane	10
Gambar 2.5	NaOH (Natrium Hidroksida)	11
Gambar 2.6	Temperatur larutan selama pencampuran 1 gram NaOH dalam air	12
Gambar 2.7	Mekanisme pengikatan CO ₂	13
Gambar 2.8	Pengikatan molekul gas dengan karbon aktif	14
Gambar 2.9	Bagian-bagian kompresor rotary	17
Gambar 2.10	Diagram P-h	17
Gambar 3.1	<i>Gas Analyzer (Biogas Detecting Alarm)</i>	23
Gambar 3.2	Kompresor Rotari	24
Gambar 3.3	Tabung Purifikasi	24
Gambar 3.4	Tabung penyimpanan (<i>Storage</i>)	25
Gambar 3.5	<i>Flowmeter</i>	25
Gambar 3.6	<i>Pressure Gauge</i>	26
Gambar 3.7	Skema Instalasi	26
Gambar 4.1	Hubungan purificator terhadap penurnunan CO ₂ pada laju yang berbeda	30
Gambar 4.2	(a) Arang sebelum pengujian (b) Arang setelah aktivasi dan pengujian	31
Gambar 4.3	(a) Zeolit sebelum pengujian. (b) Zeolit setelah aktivasi dan pengujian.	31
Gambar 4.4	Hubungan tekanan terhadap massa jenis pada laju aliran yang berbeda	32
Gambar 4.5	Hubungan tekanan terhadap waktu pengisian pada laju aliran yang berbeda.	34
Gambar 4.6	Hubungan tekanan terhadap daya kompresor pada setiap laju aliran	35



DAFTAR LAMPIRAN

No Lampiran	Judul
Lampiran 1	Contoh Perhitungan I
Lampiran 2	Contoh Perhitungan II
Lampiran 3	Data Hasil Pengujian I
Lampiran 4	Data Hasil Pengujian II
Lampiran 5	Jurnal Penelitian
Lampiran 6	Foto Instalasi



RINGKASAN

IKHE ATHIFIYAH SYAH PUTRA, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, April 2016, *Pengaruh Laju Aliran Biogas terhadap Purifikasi dan Penyimpanan CH₄ dengan Sistem Kompresi*, Dosen Pembimbing : Dr. Eng Denny Widhiyanuriyawan S.T., M.T; Haslinda Kusumaningsih S.T., M.Eng

Biogas merupakan salah satu energi alternatif yang sedang dikembangkan dimana penyusun utama biogas adalah gas CH₄ dan CO₂. Masalah utama pada energi alternatif ini adalah bagaimana cara untuk memurnikan dan menyimpan biogas dalam suatu wadah agar bisa digunakan pada waktu tertentu. Pada penelitian kali ini, menggabungkan sistem purifikasi dan sistem penabungan dengan menggunakan absorben dan adsorben untuk menurunkan CO₂ yang merupakan senyawa pengotor pada biogas. Pemurnian dilakukan menggunakan larutan NaOH 40% sebanyak 3 liter, 2x585 gram Zeolit coarse dan 25 gram arang untuk menurunkan kadar CO₂ mula-mula sebanyak 40%. Pemurnian dan penabungan dilakukan dengan memvariasikan laju aliran 7.5 L/menit, 10 L/menit, 12.5 L/menit hingga tekanan akhir gas sebesar 250 psi (1825.013 kPa abs). Hasil purifikasi terbaik didapatkan pada laju aliran yang rendah yaitu 7.5 L/menit didapatkan kadar akhir CO₂ sebesar 0% dan didapatkan massa CH₄ tersimpan dalam tabung sebesar 0.09672kg (96.72 gram) pada tekanan akhir 250 psi (1825.013 kPa). Meskipun efisiensi pada laju aliran 7.5 L/menit rendah dikarenakan waktu penabungan yang lama, dibandingkan laju lain yang lebih tinggi, laju 7.5L/menit mampu menurunkan CO₂ hingga 0%. Semakin kecil massa CO₂ yang ikut masuk mempengaruhi besarnya nilai kalor pembakaran sehingga dengan massa tersebut, didapatkan energi pembakaran 4837.4 kJ untuk LHV dan 5368.4 kJ untuk HHV.

Kata kunci: Adsorpsi CO₂, massa CH₄, purifikasi biogas.

SUMMARY

IKHE ATHIFIYAH SYAH PUTRA, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, April 2016, The Effect of Biogas Flowrate to Purification and CH₄ Storage by Compression System, Academic Supervisor: Dr. Eng Denny Widhiyanuriyawan S.T., M.T; Haslinda Kusumaningsih S.T., M.Eng

Biogas is one of the alternative energy being developed in which the main constituent of biogas is CH₄ and CO₂. The main problem in this alternative energy is how to purify and store the biogas in a container to be used at certain times. In the present study, combining purification system and the system of savings by using absorbent and adsorbent to reduce CO₂ which is a compound impurities in biogas. Purification is done using a solution of NaOH 40% as much as 3 liters, 2x585 gram and 25 gram of zeolite coarse charcoal to reduce levels of CO₂ initially as much as 40%. Purification and savings done by varying the flow rate of 7.5 L / min, 10 L / min, 12.5 L / min until the end of the gas pressure of 250 psi (1825.013 kPa abs). Best purification results was obtained at a low flow rate is 7.5 L / min obtained final concentration of 0% CO₂ and CH₄ mass obtained is stored in a tube of 0.09672kg (96.72 grams) in the final pressure of 250 psi (1825.013 kPa). Although efficiency at a flow rate of 7.5 L / min lower due time saving of time, compared to other, higher rate, the rate of 7.5L / min can lower CO₂ up to 0%. The smaller the mass of CO₂ that go in influencing the magnitude of the calorific value of combustion so that the mass of the combustion energy obtained 4837.4 kJ to LHV and 5368.4 kJ for HHV.

Keywords: adsorption of CO₂, CH₄ mass, biogas purificati

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara yang memiliki banyak penduduk. Secara wilayahnya, penduduk Indonesia terbagi menjadi dua yaitu masyarakat kota (*urban*) dan masyarakat desa (*village*). Dari kedua kondisi tersebut terdapat beberapa perbedaan yang timbul karena perbedaan kondisi masyarakat, kondisi lingkungan dan kondisi ekonomi. Contoh perbedaan tersebut seperti terdapat perbedaan cara mereka mengambil sikap dan respon dalam memecahkan suatu permasalahan yang timbul. Masyarakat kota yang kebanyakan bersifat modern cenderung konsumtif dalam pemecahan masalah. Sebaliknya masyarakat desa cenderung kreatif dalam pemecahan masalah yang timbul.

Sebagai contoh, permasalahan yang timbul dalam beberapa tahun terakhir ini adalah mahalnya untuk mendapatkan energi. Oleh karena itu, kreatifitas masyarakat desa timbul untuk membuat salah satu energi alternatif yaitu biogas dari kotoran ternak. Penelitian tentang biogas oleh *German Agency for Technical Cooperation* melakukan uji coba apabila biogas dikonversi dengan bahan bakar fosil, maka 1 m³ biogas setara dengan : 0,62 liter minyak tanah; 0,5 liter minyak diesel; 0,8 liter bensin; 1,4 kg batubara; 0,48 kg bahan bakar gas LPG; 5,5 kg kayu bakar dan 1,64 kg arang (GTZ reports vol III, 1997).

Kreatifitas masyarakat desa seperti membuat biogas dari kotoran ternak sebagai pengganti elpiji dan kayu bakar untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari muncul akibat permasalahan yang timbul. Namun, karena keterbatasan ilmu, efisiensi pembakaran dari biogas masih rendah dikarenakan sistem pemurnian dari biogas masih kurang baik. Kualitas gas CO₂ yang masih tinggi menyebabkan efisiensi pembakaran rendah. Selain itu sistem penyimpanan (*storage*) dari biogas sendiri masih belum sempurna. Oleh karena itu kreativitas penduduk desa perlu didukung dengan pengembangan teknologi oleh masyarakat kota yang tingkat pendidikannya lebih tinggi untuk bagaimana cara memaksimalkan pemurnian dan penyimpanan biogas.

Sistem pemurnian biogas yang kandungan senyawa terbesarnya adalah gas CH₄ dan untuk menurunkan kadar CO₂ (Karbon Dioksida) dalam biogas adalah dengan sistem absorpsi dan adsorpsi. Absorpsi merupakan penyerapan CO₂ dengan menggunakan larutan sedangkan adsorpsi menggunakan zat padat. Pada penelitian sebelumnya, Hotma (2014)

melaksanakan penelitian tentang pengaruh konsentrasi NaOH terhadap penurunan kadar CO₂ dalam CH₄. Selain itu, Trimandoko dkk (2014) juga melaksanakan penelitian tentang pengaruh Zeolit dalam purifikasi adsorpsi CO₂ dalam CH₄. Penelitian lain tentang purifikasi Heru dkk (2013) melaksanakan penelitian tentang pengaruh karbon aktif terhadap penurunan CO₂ dalam CH₄.

Pada penelitian kali ini menerapkan penggabungan dari ketiga sistem tersebut untuk selanjutnya menyimpan CH₄ dalam sebuah tabung (*storage*). Sistem penyimpanan dalam tabung dengan sistem kompresi dengan cara meningkatkan tekanan dari gas menggunakan kompresor dan menurunkan temperatur dari biogas untuk meningkatkan volume yang masuk ke dalam tabung.

Berdasarkan tekanan penyimpanan, penyimpanan biogas terbagi menjadi 3, *Low Pressure Storage*, *Medium Pressure Storage* dan *High Pressure Storage*. Untuk penelitian aplikatif sistem penabungan biogas lebih ditekankan pada *medium pressure storage* untuk kebutuhan konvensional pada kisaran tekanan 2-250 psi. Pada tekanan tersebut dapat dikatakan aman untuk penggunaan biogas dalam tabung.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah yang dapat disimpulkan pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh laju aliran gas CH₄ dan CO₂ pada efisiensi sistem dan efektifitas absorpsi gas CO₂ pada purifikasi CH₄ dan CO₂ dengan sistem kompresi.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah di sini supaya permasalahan yang dibahas pada penelitian ini tidak meluas. Berikut ini adalah batasan masalah pada penelitian ini :

1. Gas yang digunakan adalah campuran CH₄ dan CO₂ sebagai kandungan utama penyusun biogas.
2. Sistem penyimpanan yang digunakan adalah :
 - a. Kompresor yang digunakan adalah kompresor jenis rotary 1 pk.
 - b. Kondensor yang digunakan adalah jenis *air cooling condenser* dengan temperatur fluida pendingin adalah temperature ruangan.
 - c. Tabung penyimpanan yang digunakan adalah tabung LPG 3 kg.
 - d. Tekanan maksimal penyimpanan hingga tekanan 250 Psi.

3. Absorben yang digunakan adalah :
 - a. NaOH cair yang dibuat dengan akuades dan NaOH padatan dengan kadar 40% dengan volume 3 Liter.
 - b. Batu Zeolite yang digunakan adalah jenis coarse yang diletakkan pada 2 tabung dengan berat masing masing 585 gram.
 - c. Arang aktif yang digunakan diletakkan pada 1 tabung dengan berat 25 gram
4. Jalur purifikasi biogas yaitu : melalui tabung pertama berisi NaOH cair, kemudian melalui 2 tabung berisi batu zeolite, selanjutnya melewati tabung berisi arang aktif. Setelah itu, gas kemudian dikompresi untuk meningkatkan tekanan dan melewati *heat exchanger* untuk menurunkan temperatur sebelum memasuki tabung penyimpanan.
5. Persentase CH₄ dan CO₂ yang dipurifikasi adalah persentase volume 40% : 60%
6. Laju Aliran Biogas dianggap konstan sepanjang jalur purifikasi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh laju aliran gas CH₄ dan CO₂ terhadap efisiensi sistem dan efektifitas absorpsi gas CO₂ pada purifikasi dan penabungan biogas. Purifikasi menggunakan larutan NaOH, padatan zeolite dan arang aktif untuk selanjutnya dikompresi dengan laju yang sesuai sehingga mendapatkan efisiensi sistem dan hasil purifikasi yang baik.

1.5 Manfaat penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh laju aliran gas CH₄ dan CO₂ pada efektifitas purifikasi dan efisiensi penabungan CH₄ dan CO₂.
2. Sebagai sumbangan ilmu pengetahuan bagi masyarakat luas mengenai pemurnian biogas yang kandungan utamanya adalah CH₄ dan CO₂.
3. Mengetahui titik optimum untuk mendapatkan hasil pemurnian maksimal dengan konsumsi energi yang rendah.
4. Menambah wawasan pengetahuan tentang ilmu yang dipelajari di Teknik Mesin, khususnya yang berhubungan dengan konsentrasi Konversi Energi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian yang dilakukan untuk sistem pemurnian dan sistem penabungan biogas. Sistem pemurnian yang sering kali dilakukan adalah dengan menggunakan NaOH dan Zeolit serta menggunakan arang aktif. Adsorben dan Absorben yang digunakan untuk menurunkan kadar CO₂ dilakukan dalam berbagai variasi bentuk untuk memaksimalkan sistem pemurnian biogas.

Apriyanti dkk (2013) melakukan penelitian berjudul Karbon Aktif dari Limbah Cangkang Sawit Sebagai Adsorben Gas dalam Biogas Hasil Fermentasi Anaerobik Sampah Organik. Proses pemurnian biogas dengan penggunaan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit yang dibandingkan dengan karbon aktif komersial. Didapatkan hasil dengan menggunakan karbon aktif yang berasal dari cangkang kulit kelapa sawit menghasilkan peningkatan persentase kadar CH₄ sebesar 7% dan penurunan kadar CO₂ sebesar 6,1%, sedangkan karbon aktif komersial menghasilkan peningkatan kadar CH₄ sebanyak 11,5% dan besarnya penurunan kadar CO₂ sebanyak 12,9%.

Suryo dkk (2014) melakukan penelitian pemurnian biogas menggunakan Air. Air dapat digunakan sebagai absorben CO₂. Hasil penelitian didapatkan air dapat menurunkan kadar CO₂ dari kadar awal sebesar 20% menjadi 5,42%.

Eny dkk (2015) meneliti tentang adsorpsi CO₂ menggunakan zeolite pada pemurnian biogas. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi, laju alir dan berat zeolit berpengaruh pada proses adsorpsi (penyerapan) CO₂. Proses adsorpsi CO₂ dilakukan pada temperatur 31°C, tekanan 1 atm dengan proses kontinyu selama 60 menit menghasilkan konsentrasi CO₂ 19,71 % mol dan laju alir CO₂ 2 liter/menit, zeolit menyerap CO₂ sebanyak 0,00156% mol. Hasil dari proses menunjukkan bahwa zeolit dapat digunakan untuk menurunkan kadar CO₂ sebanyak 18,70 % sehingga kadar kemurnian CH₄ naik sebanyak 30,4 %.

Hotma dkk (2015) meneliti tentang pengaruh konsentrasi NaOH terhadap kandungan CH₄ dan CO₂ pada purifikasi sistem kontinyu. Variasi NaOH yang digunakan adalah 10%, 20%, dan 30%. Hasil terbaik yang diperoleh pada kadar NaOH sebanyak 30% dan kadar CO₂ yang tertinggal sebesar 12,5% dari 20% mula-mula.

Trimandoko dkk (2015) Melakukan penelitian purifikasi CH_4 dan CO_2 dengan memvariasikan massa zeolite. Sebanyak 150 gram zeolite mampu menurunkan kadar CO_2 sebanyak 1.61%.

Proses penabungan biogas juga pernah dilakukan di Kebun Percobaan Gowa BPTP Sulawesi Selatan. Proses penabungan dilakukan dengan menabungkan biogas ke dalam tabung 3 kg. Sistem pemurnian biogas menggunakan plastik penampungan dengan menyalakan kompresor untuk memurnikan gas metana dan menarik gas metan murni ke dalam kompresor. Selain itu fungsi kompresor berguna untuk mendorong biogas ke dalam tabung.

2.2 Biogas

2.2.1 Definisi Biogas

Biogas adalah suatu campuran gas yang bisa terbakar karena penyusun utama biogas adalah Metana (CH_4) dan Karbon dioksida (CO_2) dan proses pembentukan berasal dari dekomposisi bakteri anaerobik dari senyawa organik (tanpa oksigen). Gas yang terbentuk adalah produk limbah dari respirasi mikroorganisme dekomposer dan komposisi gas tergantung pada substansi yang terdekomposisi (Jørgensen, 2009).

Sesuai pengertian, kandungan penyusun biogas tergantung dari bahan utama dan komposisi zat penyusunnya. Meskipun kandungan utama adalah CH_4 dan CO_2 , terdapat gas gas lain penyusun biogas. Gas-gas tersebut terdapat pada biogas dalam jumlah yang sedikit. Tabel dibawah menunjukkan berbagai macam komposisi kandungan biogas dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Komponen Penyusun Biogas

No	Gas	%
1.	Metana (CH_4)	55-70
2.	Karbon Dioksida (CO_2)	30-45
3.	Hidrogen Sulfida (H_2S)	1-2
4.	Hidrogen (H_2)	1-2
5.	Amonia (NH_3)	1-2
6.	Karbon Monoksida (CO)	Trace
7.	Nitrogen (N_2)	Trace
8.	Oksigen (O_2)	Trace

Sumber : (Jørgensen, 2009)

2.2.2 Reaksi Pembentukan Biogas

Biogas tidak secara langsung terbentuk dengan sendirinya dari kotoran ternak. Biogas terbentuk dari beberapa tahap dalam proses reaksi kimia. Tahapan dalam proses reaksi kimia juga di bantu dengan bantuan bakteri. Secara sederhana proses pembentukan biogas seperti reaksi di bawah ini :



Reaksi kimia pembentukan biogas ada 3 tahap.

1. Reaksi Hidrolisis / Tahap Pelarutan



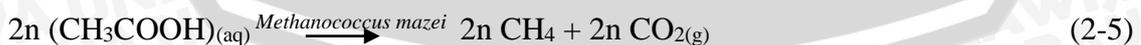
Dalam proses hidrolisis bahan organik pada kotoran hewan dilarutkan menjadi senyawa kimia yang lebih sederhana.

2. Reaksi Asidogenik (Pengasaman)



Pada kondisi anaerob, reaksi asidogenik menghasilkan asam asetat. Reaksi asidogenik berlangsung pada kondisi suhu 25C.

3. Reaksi Metanogenik / Tahap Gasifikasi



Tahap terakhir adalah kelanjutan reaksi asidogenik. Pada akhir reaksi asidogenik, asam asetat yang telah terbentuk kemudian diuraikan menjadi metana dan karbon dioksida. Proses Metanogenik berlangsung secara anaerob selama kurang lebih 14 hari. Tahap akhir ini menghasilkan CH₄, CO₂, dan H₂S dimana CO₂ yang terbentuk sekitar 30-40 % yang merupakan pengotor dalam biogas.

2.2.3 Purifikasi Biogas

a. Scrubbing

1. Water Scrubbing

- Digunakan untuk menghilangkan CO_2 dan H_2S (lebih larut dalam air dibandingkan CH_4)
- Proses penyerapan dilakukan dengan cara fisik.

2. PEG Scrubbing (*Polyethylene Glycol*)

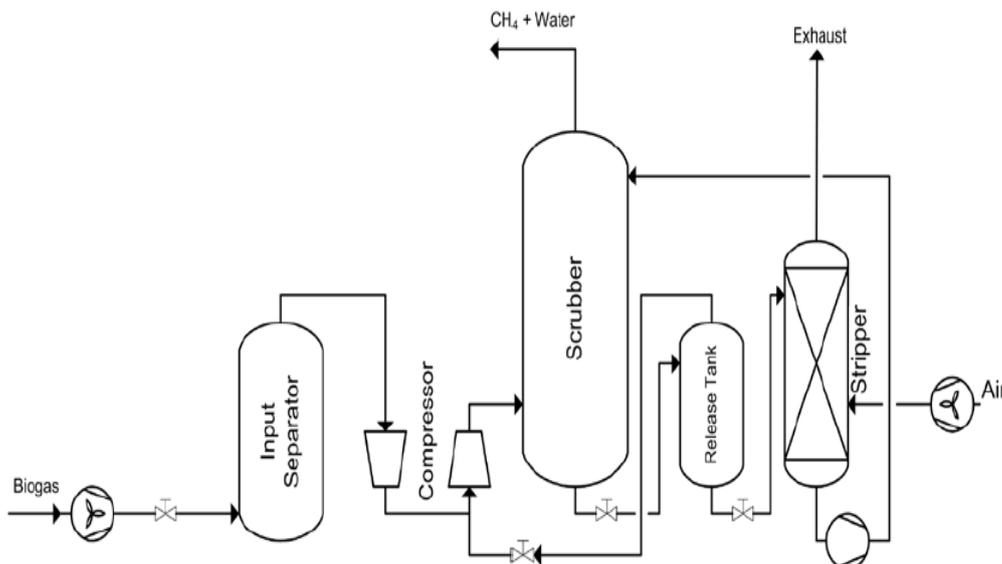
- Proses PEG Scrubbing sama dengan *water scrubbing*. Perbedaan hanya terletak pada zat pelarutnya saja.
- Perbedaan antara *Water Scrubbing* dan PEG Scrubbing terletak pada kemampuan melarutkan CO_2 dan H_2S yang lebih tinggi dibandingkan dengan air.

Keuntungan :

- Tidak ada bahan kimia khusus yang digunakan kecuali dalam pemurnian dengan menggunakan PEG untuk mengangkat H_2S dan CO_2 .

Kerugian :

- Membutuhkan jumlah air yang besar meskipun air bisa diregenerasi.
- Menyebabkan karat pada peralatan karena terdapat H_2S .



Gambar 2.1 Proses Pemurnian *Scrubbing*

Sumber : Calli, 2015

b. *Chemical Absorption* (Penyerapan Kimiawi)

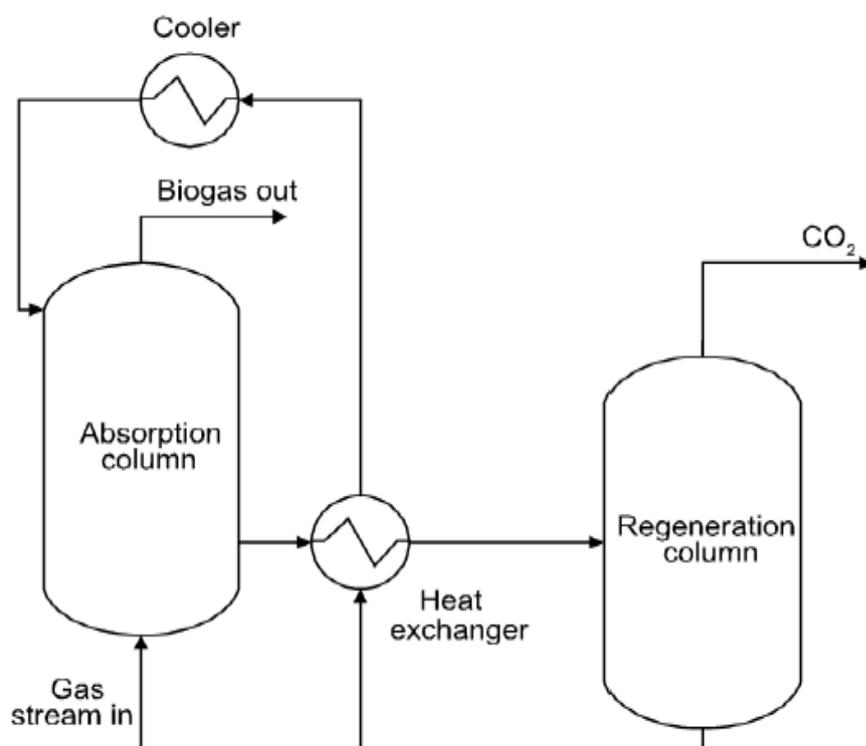
- Penyerapan kimia melibatkan pembentukan ikatan antara pelarut dan zat pelarut.
- Zat pelarut umumnya menggunakan zat amina atau basa alkali (NaOH, $\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Keuntungan :

- Menghilangkan senyawa H_2S dengan lebih baik.
- Tingkat efisiensi dan kecepatan penyerapan lebih baik dibandingkan dengan proses *Scrubbing*.
- Bisa dilakukan pada tekanan yang rendah.

Kerugian :

- Penambahan penggunaan zat kimia.
- Memerlukan pengolahan limbah zat kimia karena dari proses pemurnian menghasilkan zat kimia.



Gambar 2.2 Proses Pemurnian Kimiawi
Sumber : Calli, 2015

c. *Pressure Swing Absorption* (Penyerapan dengan Tekanan)

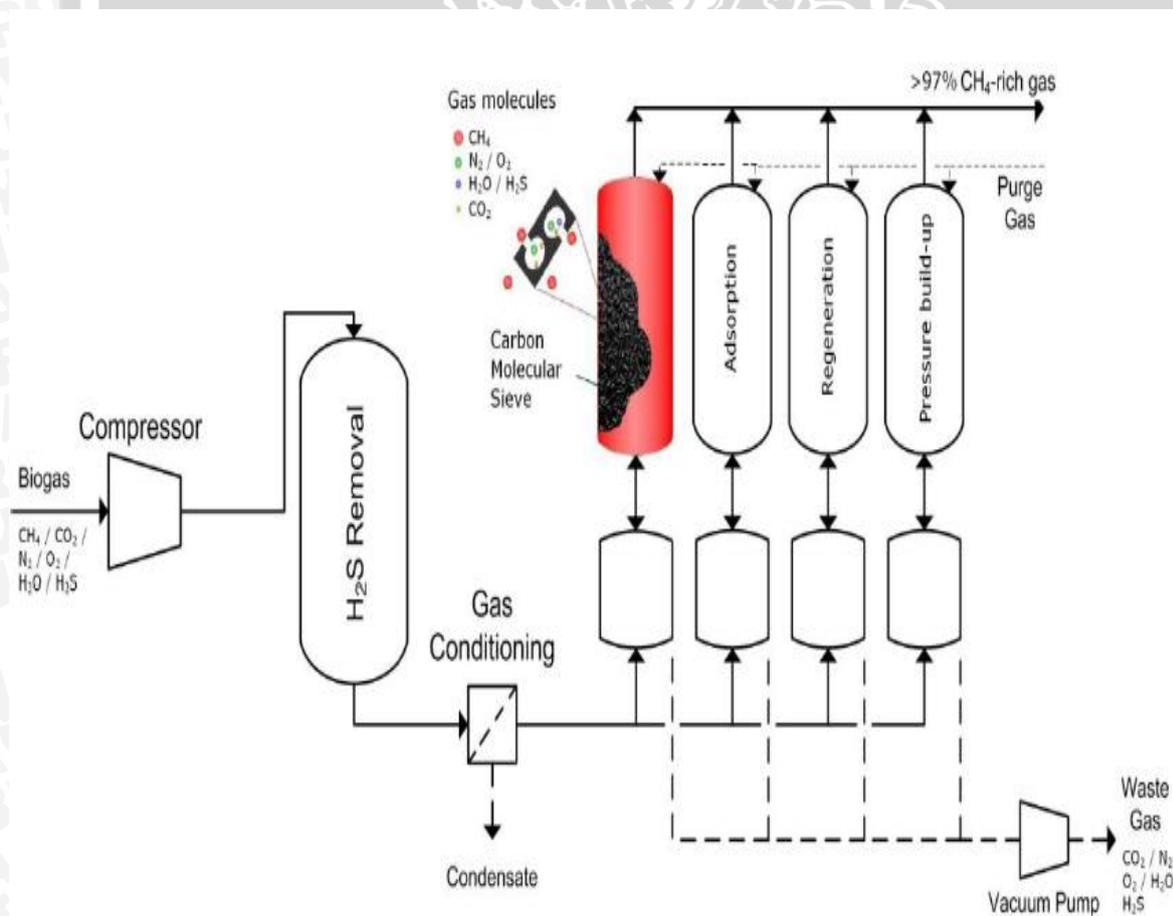
- Digunakan untuk memisahkan berbagai macam gas yang terdapat dalam biogas berdasarkan karakteristik dan afinitas terhadap material adsorben.
- Proses dilakukan mendekati suhu lingkungan .
- Adsorben khusus yang digunakan seperti zeolite digunakan sebagai saringan molekuler pada tekanan tinggi.
- Proses selanjutnya diturunkan ke tekanan rendah untuk menarik adsorben.

Keuntungan :

- Kadar CH_4 yang dihasilkan sekitar 97 %.
- Mampu mengilangkan Nitrogen dan Oksigen.

Kerugian :

- Relatif lebih mahal.
- Gas yang dihasilkan dari gas buang perlu dilakukan perlakuan agar tidak berbahaya.



Gambar 2.3 Proses pemurnian *Pressure Swing Absorption*
Sumber : Calli, 2015

d. Membrane Purification (Pemurnian dengan membran)

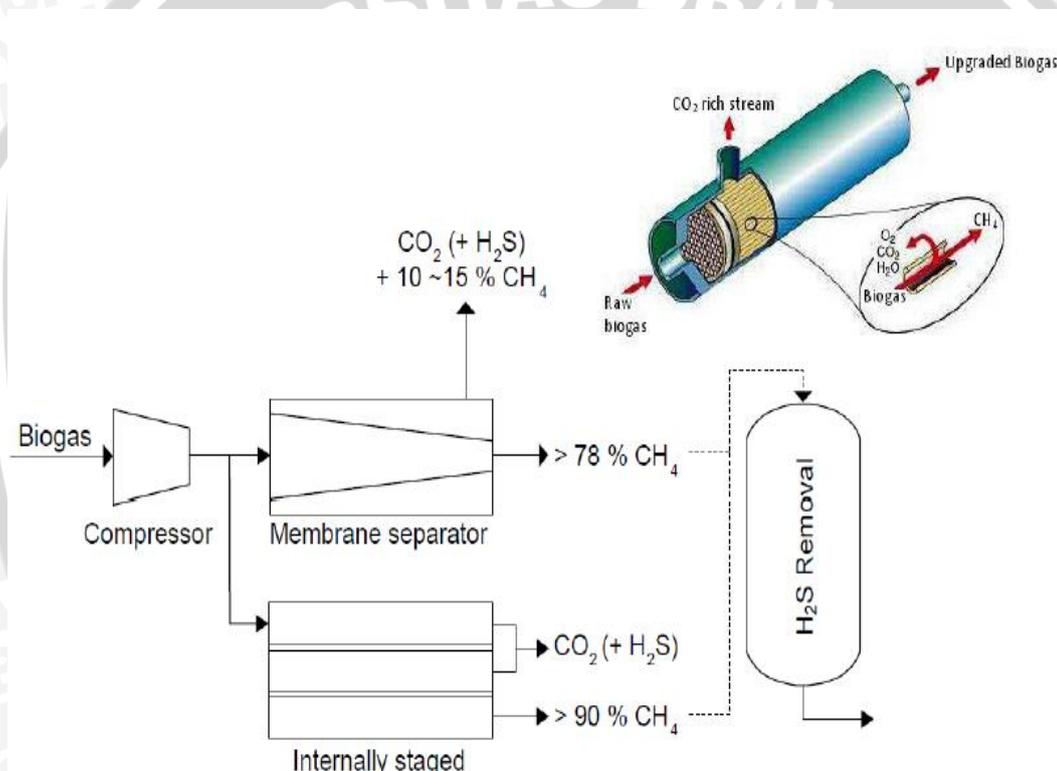
- Pemisahan gas pada tekanan tinggi untuk memisahkan H_2S , CO_2 dari CH_4
- Menghasilkan sekitar 96% CH_4

Keuntungan :

- Alat yang digunakan kompak dan ringan.
- Energi yang dibutuhkan rendah
- Perawatan mudah

Kerugian :

- Harga membran yang mahal



Gambar 2.4 Proses pemurnian membran
Sumber : Calli, 2015

e. Proses biologis

- Menggunakan bakteri (*Thiobacillus Genus*)
- Bakteri *Thiobacillus* kebanyakan autotrof, menyerap CO_2 dan mengumpulkan energi kimia dari proses oksidasi dan mengurangi senyawa organik seperti H_2S
- SO_4^{2-} dan S merupakan sisa hasil dari proses

2.3 Absorben

2.3.1 Larutan NaOH

NaOH murni memiliki fase padat kepingan berwarna putih. Sodium Hidroksida atau bisa dikatakan Natrium Hidroksida adalah basa kuat alkali. Berbagai macam penelitian sering menggunakan NaOH sebagai larutan kimia. NaOH memiliki sifat higroskopis (kemampuan yang baik untuk mengikat dan menahan molekul air). NaOH dalam bentuk larutan akan cepat bereaksi dengan zat lain dibandingkan NaOH padatan.

Campuran NaOH dan air diiringi pelepasan kalor ke lingkungan sehingga pada komposisi tertentu larutan NaOH dapat menyebabkan temperature yang tinggi ketika dilarutkan dengan konsentrasi yang tinggi pula. Dari alasan tersebut dapat dijelaskan bahwa karena penambahan NaOH dengan konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan naiknya temperatur larutan sehingga dalam sistem pemurnian biogas, konsentrasi NaOH dapat ditentukan batas amannya. Penentuan batas aman pelarutan NaOH dilakukan berfungsi agar tingginya temperature NaOH tidak merusak wadah pelarut.

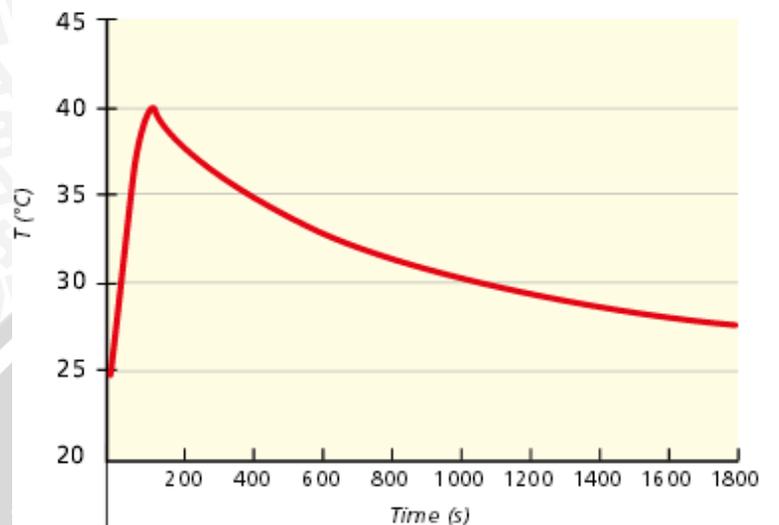


Gambar 2.5 NaOH (Natrium Hidroksida)

Sumber : Bisakimia Store, 2015

Nama	: Natrium Hidroksida/Sodium Hidroksida
Kondisi	: Kepingan padat
Warna	: Putih
Rumus	: NaOH
Kelarutan Maks	: 50%
Massa Molar	: 40 gr/mol
Nomor CAS	: 1310-73-2
Nomor ICSC	: 0360

Titik Lebur : 318°C (591 K)
 Titik Didih : 1390°C (1663 K)
 Massa Jenis : 2.1 gr/cm³



Gambar 2.6 Temperatur larutan selama pencampuran 1 gram NaOH dalam air
 Sumber : prevor.com

Campuran NaOH dan air akan disertai dengan pelepasan kalor ke lingkungan. Grafik menunjukkan peningkatan temperature pada saat pencampuran NaOH dengan air. NaOH memiliki kemampuan mengikat CO₂ (Karbon dioksida). Reaksi absorpsi gas CO₂ pada biogas dengan larutan NaOH dapat dituliskan dengan reaksi :

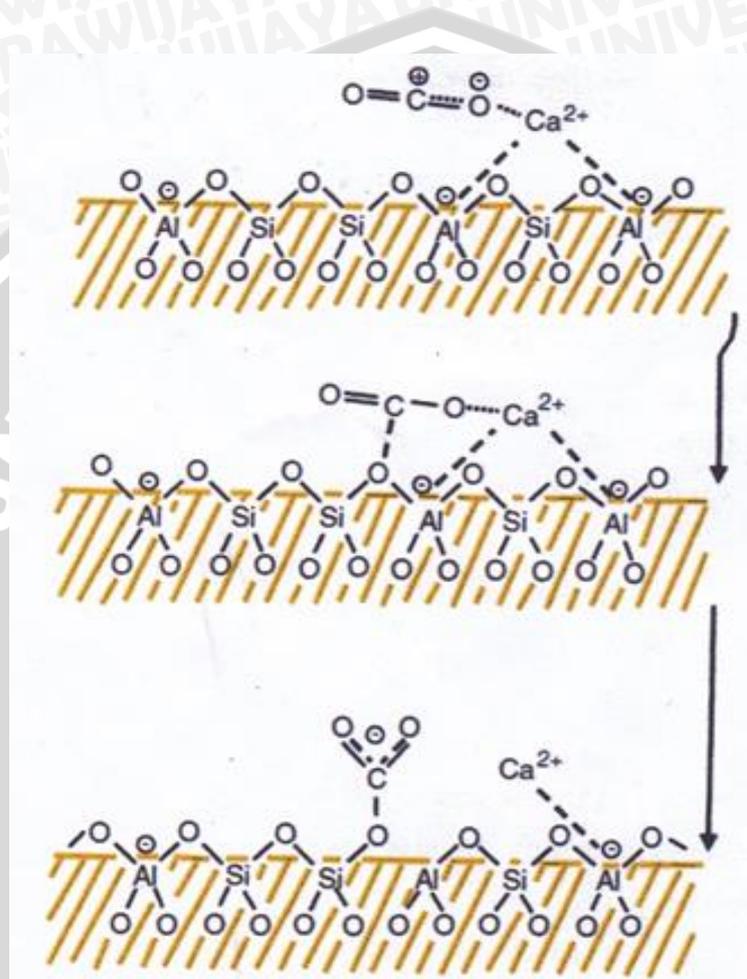


2.3.2 Batu Zeolit

Zeolit merupakan senyawa aluminosilikat yang terdiri dari ikatan SiO₄ dan AlO₄ tetrahedra yang dihubungkan oleh atom oksigen untuk membentuk kerangka. Pada struktur senyawa zeolit, tiap atom Al bersifat negatif dan akan dinetralkan oleh ikatan dengan kation yang mudah dipertukarkan yang akan berpengaruh dalam proses adsorpsi dan sifat-sifat thermal zeolit (Ozkan dan Ulku, 2008).

Zeolit mampu menurunkan kadar CO₂ yang merupakan zat pengotor dari biogas. Selain itu zeolite dapat menghilangkan bau yang terdapat dalam biogas. Zeolit yang teraktivasi dapat dengan efektif mampu meyerap molekul-molekul gas seperti CO, CO₂ dan H₂S.

Batu zeolit dapat menyerap kadar CO_2 dengan efektif apabila diaktivasi terlebih dahulu. Aktivasi zeolite dapat dilakukan dengan dua cara yaitu aktivasi menggunakan pemansan dengan memanaskan zeolite hingga temperature 200 C – 400 C selama 2 jam. Selain itu aktivasi dapat dilakukan dengan merendam zeolite pada larutan asam HCl atau H_2SO_4 maupun basa.



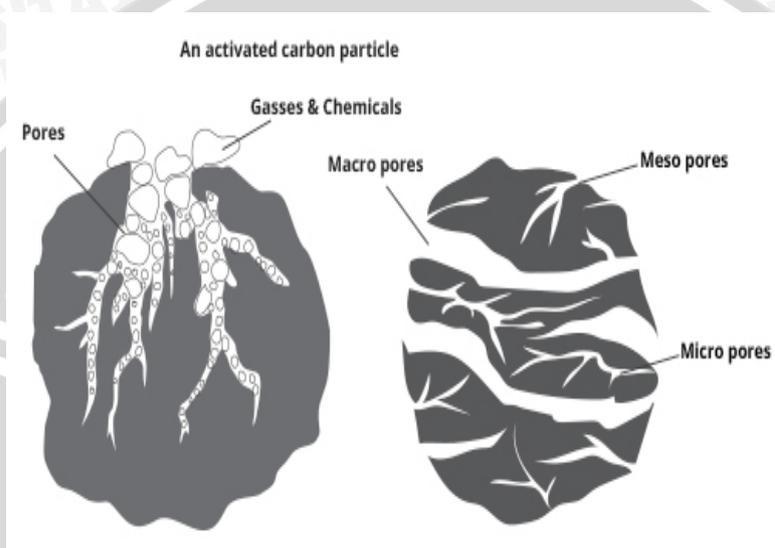
Gambar 2.7 Mekanisme Pengikatan CO_2
Sumber : Bonenfant, 2008

2.3.3 Arang Aktif

Karbon atau disebut arang dengan rumus kimia (C) sering digunakan sebagai bahan bakar. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu yang sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan sehingga arang bisa juga digunakan sebagai absorben dalam pemurnian biogas. Untuk digunakan sebagai absorben, arang diberi perlakuan khusus atau perlakuan aktivasi sehingga menjadi arang aktif. Arang aktif adalah arang yang secara kimia atau fisika diaktivasi sehingga daya serapnya tinggi dengan kadar karbon yang bervariasi. Permukaan arang aktif

relatif telah bebas dari hidrokarbon dan mampu melakukan adsorpsi karena luas permukaannya lebih luas dan pori-porinya telah terbuka (Baker, et al 1997). Beberapa metode yang dapat digunakan dalam proses pembuatan arang aktif adalah:

- a. Aktivasi Kimia : Proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan penggunaan bahan-bahan kimia.
- b. Aktivasi Fisika : Proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap dan CO₂



Gambar 2.8 Pengikatan molekul gas dengan karbon aktif
Sumber : Aquacache, 2015

2.4 Sistem Penabungan Biogas

Dalam sistem penabungan gas perlu diperhatikan beberapa faktor. Faktor tersebut antara lain adalah sifat dan karakteristik gas yang akan disimpan, tekanan penyimpanan, material penyimpanan dan jangka waktu. Biogas dapat disimpan dan digunakan untuk kegiatan konvensional. Kebanyakan biogas digunakan ketika biogas diproduksi saat itu atau dalam artian langsung digunakan. Penyimpanan biogas biasanya dalam waktu yang sementara hanya ketika jumlah produksi melebihi jumlah konsumsi. Pemilihan storage disesuaikan dengan tekanan yang terdapat dalam biogas.

Tabel 2 menunjukkan kesesuaian penyimpanan biogas sesuai dengan tekanan yang diinginkan. Semakin tinggi tekanan penyimpanan, dibutuhkan material yang semakin kuat. Untuk penyimpanan dengan tekanan tinggi menggunakan material logam sebagai bahan penyimpanan. Selain itu dari segi tujuan penyimpanan terbagi menjadi dua jenis yaitu penyimpanan dalam jangka waktu pendek dan menengah atau jangka waktu panjang.

Tabel 2.2 Kesesuaian Penyimpanan Biogas

Tujuan Penyimpanan	Tekanan (Psi)	Alat Penyimpanan	Material	Ukuran (ft ³)
Penyimpanan jangka waktu pendek dan menengah (konvensional)	<0,1	<i>Floating Cover</i>	Karet atau Plastik yang diperkuat atau tanpa penguat.	Volume yang bisa berubah, biasanya produksi kurang dari satu hari.
	<2	Kantong Gas	Karet atau Plastik yang diperkuat atau tanpa penguat.	150-11.000
	2-6	<i>Water Sealed Gas Holder</i>	Baja	3.500
		Kantong Gas Berat	Karet atau Plastik yang diperkuat atau tanpa penguat.	880-28.000
Penyimpanan jangka waktu lama (non-konvensional)	10-2.900	<i>Floating roof</i>	Plastik atau plastic yang diperkuat	Volume yang bisa berubah, biasanya produksi kurang dari satu hari.
	>2.900	Tangki Propana atau Butana Tabung gas komersial	Baja Baja Paduan	2000 350

Sumber : Walsh et all, 1996.

2.4.1 Kompresor

Secara teori bagian terkecil dari suatu gas disebut molekul. Sifat molekul gas lebih bebas bergerak dibandingkan molekul zat padat dan cair. Sehingga molekul gas memiliki gaya yang disebut tekanan. Komponen penting yang terdapat dalam gas yaitu volume, temperature dan tekanan. Saat gas dipanaskan dengan volume yang tetap maka tekanannya akan meningkat. Peningkatan temperatur disebabkan oleh gerakan molekul yang cepat sehingga terjadi tabrakan antar molekul. Jika volume gas dikurangi maka temperature dan tekanan gas akan meningkat. Tekanan meningkat dikarenakan intensitas tabrakan antar molekul semakin banyak.

Kompresor adalah sebuah alat mekanik yang digunakan untuk meningkatkan tekanan udara, gas atau uap dalam proses pemindahan dari suatu tempat ke tempat yang lain (Gimpaolo).

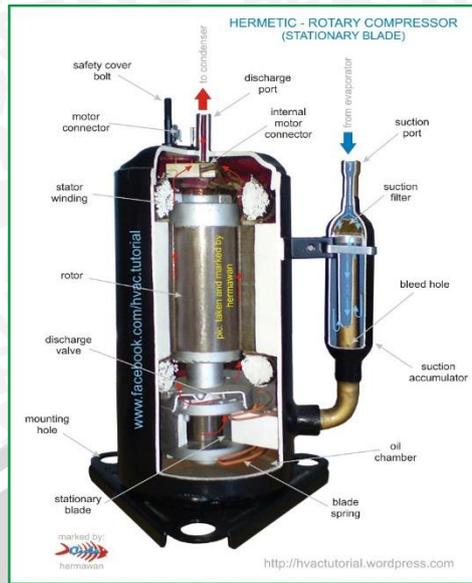
Salah satu jenis kompresor adalah kompresor rotari. Kompresor putar atau kompresor rotari dibagi menjadi 2 jenis, yaitu jenis daun berputar dan jenis daun stasioner (diam). Pada jenis pertama, daun terletak pada rotor yang berputar tetapi dapat bergerak dalam arah radial. Jenis ini banyak digunakan sebagai kompresor untuk penyegar udara berkapasitas rendah.

Konstruksi kompresor rotari lebih sederhana dan jumlah komponennya lebih sedikit dibandingkan dengan kompresor torak bolak balik. Hal ini disebabkan karena pada kompresor putar tidak terdapat bagian yang bergerak bolak balik. Namun, bagian bagian yang bergesekan harus dibuat dengan ketelitian tinggi serta dari material yang tidak mudah aus. Cara tersebut digunakan untuk mendapatkan perbandingan kompresi dan efisiensi yang tinggi. (Arismunandar dan Saito. 1981)

Tabel 2.3 Perbedaan Kompresor Torak dan Rotari

No.	Kompresor Torak	Kompresor Rotari
1.	Tekanan buang maksimum dapat mencapai 1000 kg/cm ²	Tekanan buang maksimum hanya 10 kg/cm ²
2.	Kapasitas udara maksimum yang dikompresi sekitar 300m ³ /menit	Kapasitas udara maksimum dapat mencapai 3000m ³ /menit
3.	Cocok untuk kapasitas udara rendah dan tekanan tinggi	Cocok untuk kapasitas besar pada tekanan rendah
4.	Suplai udara dari kompresor terputus putus	Suplai udara dari kompresor kontinyu
5.	Ukuran kompresor besar dengan kapasitas yang sama	Ukuran kompresor kecil dengan kapasitas yang sama
6.	Balancing merupakan masalah utama	Tidak ada permasalahan balancing
7.	Sistem pelumasan rumit	Sistem pelumasan sederhana
8.	Udara yang dilepas kurang bersih karena kontak dengan minyak pelumas	Udara yang dilepaskan bersih karena tidak kontak dengan minyak pelumas

Sumber : Yunus, 2015

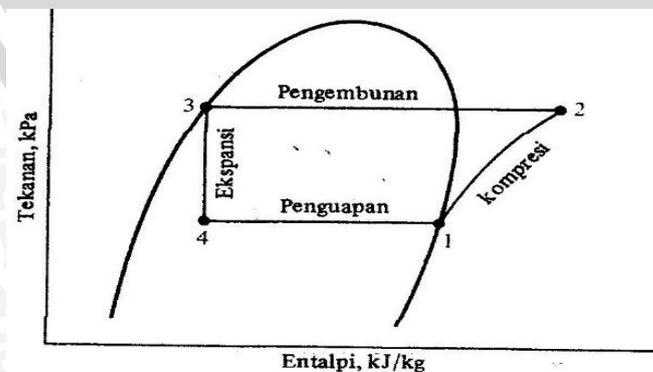


Gambar 2.9 Bagian – Bagian Kompressor Rotari
 Sumber : brighthubengineering, 2016

2.4.2 Kondensor (*Heat Exchanger*)

Perubahan fase dari air ke uap disebut dengan vaporisasi sedangkan sebaliknya perubahan uap ke cair disebut kondensasi. Perubahan fase dari fase cair ke uap atau sebaliknya terjadi pada satu temperature yaitu temperature kesetimbangan (*saturation or equilibrium temperature*).

Penggunaan *Heat Exchanger* pada sistem penabungan bertujuan untuk mendinginkan gas yang akan masuk ke dalam tabung penyimpanan (*storage*). Dengan penurunan temperature dalam kondensor diharapkan meningkatkan kapasitas penyimpanan dan dapat mengubah fase gas menjadi cair dalam tabung. Proses yang dilakukan oleh *Heat Exchanger* pada gambar 2.8 ditunjukkan pada nomor 2 ke 3. Pada proses terjadi penurunan temperatur namun tidak diiringi dengan penurunan tekanan.



Gambar 2.10 Diagram P-h
 Sumber : Stoecker, 1996.

Keterangan :

- 1 – 2 : Proses kompresi adiabatik reversibel di kompresor
- 2 – 3 : Proses pelepasan panas pada tekanan konstan
- 3 – 4 : Proses ekspansi pada ekspansion valve secara isoenthalphi
- 4 – 1 : Proses penyerapan panas secara isobaris dan penguapan *refrigerant*

Salah satu kondensor yang sering ditemui adalah kondensor pendinginan udara atau biasa yang disebut *Air Cooler Condensor* yang terdiri dari koil pipa pendingin bersirip pelat (pipa tembaga dengan sirip alumunium). Aliran udara mengalir dengan arah tegak lurus terhadap bidang pendingin. Jarak antar sirip dari pipa pendingin sebesar 20 hingga 35 mm. Ukuran diameter luar dari pipa pendingin yang sering kali digunakan adalah 15.9 mm dengan ketebalan 0.6-1.2 mm. (Arismunandar dan Saito. 1981).

2.4.3 Efisiensi Sistem

Pada sistem alat terjadi proses isokhorik atau volume konstan, karena volume awal dan akhir proses sama sehingga perubahan volume adalah 0. Pada proses isokhorik semua energi yang diberikan diubah menjadi energi dalam sistem (*Internal energy*).

Suatu gas yang berada dalam suhu tertentu dikatakan memiliki energi dalam. Meskipun gas tidak melakukan atau menerima usaha, gas tersebut dapat memiliki energi yang tidak tampak tetapi terkandung dalam gas tersebut yang hanya dapat ditinjau secara mikroskopik. Berdasarkan teori kinetik gas, gas terdiri atas partikel-partikel yang berada dalam keadaan gerak yang acak. Gerakan partikel ini disebabkan energi kinetik rata-rata dari seluruh partikel yang bergerak.

$$W_{in} = V \times I \times t \quad (2-7)$$

$$W_{out} = W = P (\Delta V) \quad (2-8)$$

$$= P (0) \quad (2-9)$$

$$= 0 \quad (2-10)$$

$$Q = W + \Delta U \quad (2-11)$$

$$Q = \Delta U \quad (2-12)$$

$$\eta = \frac{W_{out}}{W_{in}} \times 100\%$$

Dimana :

η : Efisiensi Sistem (%)

W_{in} : Energi Kompresor dan Fan (Joule)

W_{out} : *Internal Energy* (Joule)

2.5 Nilai Pembakaran

Nilai Panas (Nilai Pembakaran) atau disebut HV (*Heating Value*) merupakan jumlah panas yang dikeluarkan oleh 1 kg bahan bakar bila bahan bakar tersebut dibakar. Setelah bahan bakar dibakar, pada gas hasil pembakaran terdapat H₂O dalam bentuk uap atau cairan. Dengan demikian nilai pembakaran bila H₂O yang terbentuk berupa uap akan lebih kecil bila dibandingkan dengan H₂O yang terbentuk sebagai cairan. Terdapat 2 jenis nilai pembakaran yaitu nilai pembakaran atas atau HHV dan nilai pembakaran bawah atau LHV.

1. HHV (*Higher Heating Value*)

Nilai pembakaran yang dihasilkan apabila di dalam gas hasil pembakaran terdapat H₂O berebentuk cairan

2. LHV (*Lower Heating Value*)

Nilai pembakaran yang dihasilkan apabila didalam gas hasil pembakaran terdapat H₂O berbentuk gas.

Tabel 2.4 Nilai Kalor Pembakaran

Komponen	HHV		LHV	
	(Kkal/m ³)	(Kkal/kg)	(Kkal/m ³)	(Kkal/kg)
Hydrogen (H)	2842.21	33903.61	2402.62	28661.13
Karbon Monoksida (CO ₂)	2811.95	2414.31	2811.95	2414.31
Metana (CH ₄)	8851.43	13265.91	7973.13	11953.76
Natural Gas	9165.55	12943.70	8320.18	11749.33

Sumber : Price dan Cheremisnoff, 1981

2.5 Hipotesis

Semakin lambat laju aliran biogas akan meningkatkan kapasitas penyimpanan massa CH_4 di dalam tabung penyimpanan hal ini dikarenakan semakin lambat laju aliran akan menyebabkan hasil pemurnian yang baik begitupun sebaliknya.

Semakin lambat laju aliran biogas akan menurunkan efisiensi dikarenakan waktu pengisian biogas semakin lama sehingga energi yang dibutuhkan semakin tinggi begitupun sebaliknya.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian, metode penelitian yang dipakai adalah metode penelitian eksperimental. Metode ini melakukan pengujian tentang pengaruh dari suatu perlakuan terhadap fenomena proses yang terjadi. Dari berbagai perlakuan pada percobaan tersebut akan dibandingkan hasilnya sehingga diperoleh hasil yang paling baik. Penelitian ini akan diuji pengaruh laju aliran gas CH_4 dan CO_2 sehingga didapatkan efisiensi dan efektifitas penyerapan CO_2 pada tabung gas bertekanan.

3.2 Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2015 - Maret 2016. Tempat penelitian yang dipakai adalah Bengkel AC Mobil Dewista AC dan Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Variabel bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan ditentukan sebelum penelitian dilakukan. Dalam hal ini variabel bebas adalah:

- a. Laju aliran 7.5, 10, 12.5 L/menit
- b. Tekanan kompresi 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250 Psi

2. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan oleh peneliti dan dibuat agar kondisinya konstan atau tetap. Dalam penelitian kali ini variabel terkontrol adalah :

- a. Larutan NaOH yang digunakan dengan konsentrasi 40% dengan volume 3 Liter.
- b. 2 tabung zeolit yang digunakan dengan massa 585 gram tiap tabung.
- c. 1 tabung arang aktif yang digunakan dengan massa 25 gram

d. Gas yang digunakan merupakan campuran CH_4 dan CO_2 dengan komposisi campuran gas 60% : 40%

3. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat yang diamati pada penelitian ini adalah :

- a. Tegangan dan Arus yang mengalir pada kompresor dan fan kondensor (Volt dan Ampere)
- b. Tekanan dan Temperatur tabung penyimpanan.
- c. Waktu pengisian
- d. Kadar CO_2
- e. Kadar CH_4

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

A. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah :

1. Gas CH_4

Gas CH_4 atau yang disebut metana adalah bahan utama yang nantinya akan dicampur dengan gas CO_2 (karbon dioksida) yang akan diserap oleh absorben dan dikompresi untuk selanjutnya dikondensasi dan masuk ke dalam tabung penyimpanan (*storage*)

2. Gas CO_2

Gas CO_2 (karbon dioksida) adalah gas yang akan dicampurkan dengan gas metana CH_4 . Gas CO_2 merupakan zat inhibitor dalam biogas yang akan diturunkan kadarnya menggunakan sistem purifikasi.

3. Pelumas Kompresor

Pelumas Kompresor digunakan untuk memaksimalkan kinerja kompresor dan menjaga kompresor tetap bekerja dengan baik.

4. NaOH larutan

NaOH larutan digunakan sebagai bahan yang berfungsi mengabsorpsi CO_2 pada pemurnian biogas.

5. Batu Zeolit

Zeolit padat kasar digunakan sebagai bahan yang berfungsi menurunkan kadar CO_2 yang merupakan zat pengotor pada biogas.

6. Karbon aktif

Karbon aktif digunakan sebagai bahan yang berfungsi menurunkan kadar CO_2 pada pemurnian gas CH_4 . Arang karbon juga bisa digunakan sebagai absorben H_2S yang merupakan zat berbau yang terdapat dalam biogas.

7. Akuades

Akuades dipakai untuk melarutkan NaOH dengan konsentrasi sesuai yang dipakai dalam variabel.

B. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Gas Analyzer



Gambar 3.1 Gas Analyzer (Biogas Detecting Alarm)

Gas Analyzer adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi penurunan kadar CO_2 dalam biogas. Gas analyzer bekerja berdasarkan % volume yang mengalir dalam jalur aliran biogas.

Buatan : China

Vendor : Beijing Shi An Technology Instrument Co. Ltd

Tahun Pembuatan : 2014

Tegangan : 3.7 V

Daya Baterai : 1500mAh

Kadar Deteksi : CH_4 0-100% vol

CO_2 0-100% vol

H_2S 0-1000ppm

2. Kompresor Rotari



Gambar 3.2 Kompresor Rotari

Berfungsi untuk mengkompresi gas ke dalam tabung gas penyimpanan hingga tekanan tertentu.

Tipe	: Kompresor Rotari
Merk	: Matsushita Electric
Buatan	: China
Daya	: 1 Pk
Frekuensi	: 50 Hz/220Volt
Debit maks	: 16 L/menit

3. Tabung purifikasi

Tabung purifikasi diisi dengan absorben zeolit dan arang aktif. Tabung purifikasi memiliki mesh khusus untuk menyaring butiran halus masuk ke dalam kompresor.



Gambar 3.3 Tabung Purifikasi

4. Tabung penyimpanan (*Storage*)

Tabung penyimpanan yang digunakan adalah tabung 3 kg. Tabung penyimpanan dihunakan untuk mengkompresi gas hingga tekanan yang ditentukan.



Gambar 3.4 Tabung penyimpanan (*Storage*)

5. *Flowmeter* Gas



Gambar 3.5 *Flowmeter*

Flowmeter digunakan untuk mengatur laju aliran CH_4 dan CO_2 saat proses pemurnian dan penabungan biogas berlangsung.

Spesifikasi

Merk : ZYIA

Buatan : Taiwan

Kapasitas : a.) 4-20 L/menit

b.) 1-12 L/menit

6. Pressure gauge



Gambar 3.6 Pressure Gauge

7. Multimeter

8. Heat Exchanger

10. Selenoid (Katup Searah)

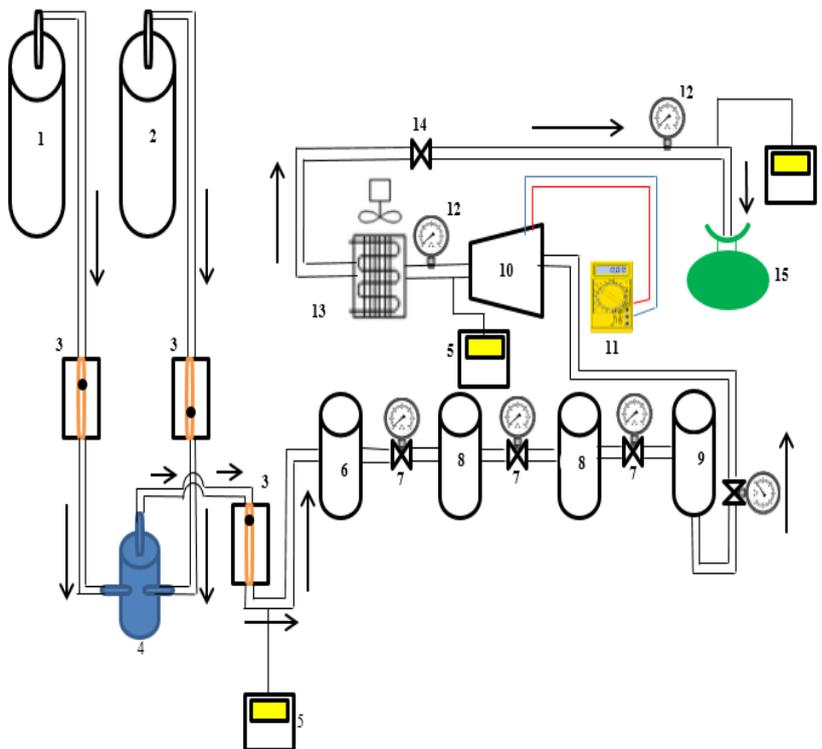
11. Regulator tabung LPG

12. Elbow

13. Pipa Kuningan

14. Pipa PVC

3.5 Skema Instalasi



Keterangan :

1. Tabung CH₄
2. Tabung CO₂
3. Flowmeter
4. Gas Mixer
5. Thermocouple
6. Tabung NaOH
7. Katup Sampling
8. Tabung Zeolit
9. Tabung Arang
10. Kompresor
11. Multimeter Digital
12. Pressure Gauge
13. Kondensor
14. Selenoid
15. Storage

Gambar 3.7 Skema Instalasi

3.6 Prosedur Penelitian

1. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk mencari sumber-sumber atau dasar teori yang menguatkan hipotesa dan berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan untuk selanjutnya memperkuat hasil analisa dari data penelitian.

2. Perencanaan Kebutuhan

Perencanaan dilakukan untuk studi dan mencari alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian.

3. Desain Instalasi

Desain instalasi digambar untuk merencanakan skema instalasi yang akan digunakan dalam penelitian sehingga memudahkan pengambilan dan analisa data.

4. Pembuatan Instalasi

Pembuatan Instalasi dimulai dengan pemasangan *heat exchanger* dan kompresor pada sistem. Kemudian dilanjutkan dengan pemasangan tabung berisi NaOH, Zeolit, dan Arang aktif serta pemasangan termokopel, voltmeter, dan pressure gauge untuk pengambilan data.

5. Pengujian Alat (*Dry Run*) dan Pengambilan data

Pengujian alat memastikan sistem menyala dengan sempurna dan indikator menunjukkan perubahan. Data yang diambil meliputi tekanan, temperature, tegangan, arus, serta sampel gas yang akan diuji kadar penurunan CO₂ nya.

6. Pembahasan

Pembahasan dilakukan setelah semua data terkumpul. Kemudian data di analisa dan dibandingkan serta disesuaikan dengan dasar teori dan hipotesa untuk selanjutnya dibuat dalam bentuk grafik.

3.7 Metode Pengambilan Data

1. Persiapkan semua alat dan bahan sesuai instalasi untuk pengambilan data.

2. Periksa sambungan sambungan dan katup dalam keadaan tertutup semua.

3. Masukkan selang untuk tabung gas CO₂ dan CH₄ ke dalam konektor gas Mixer.

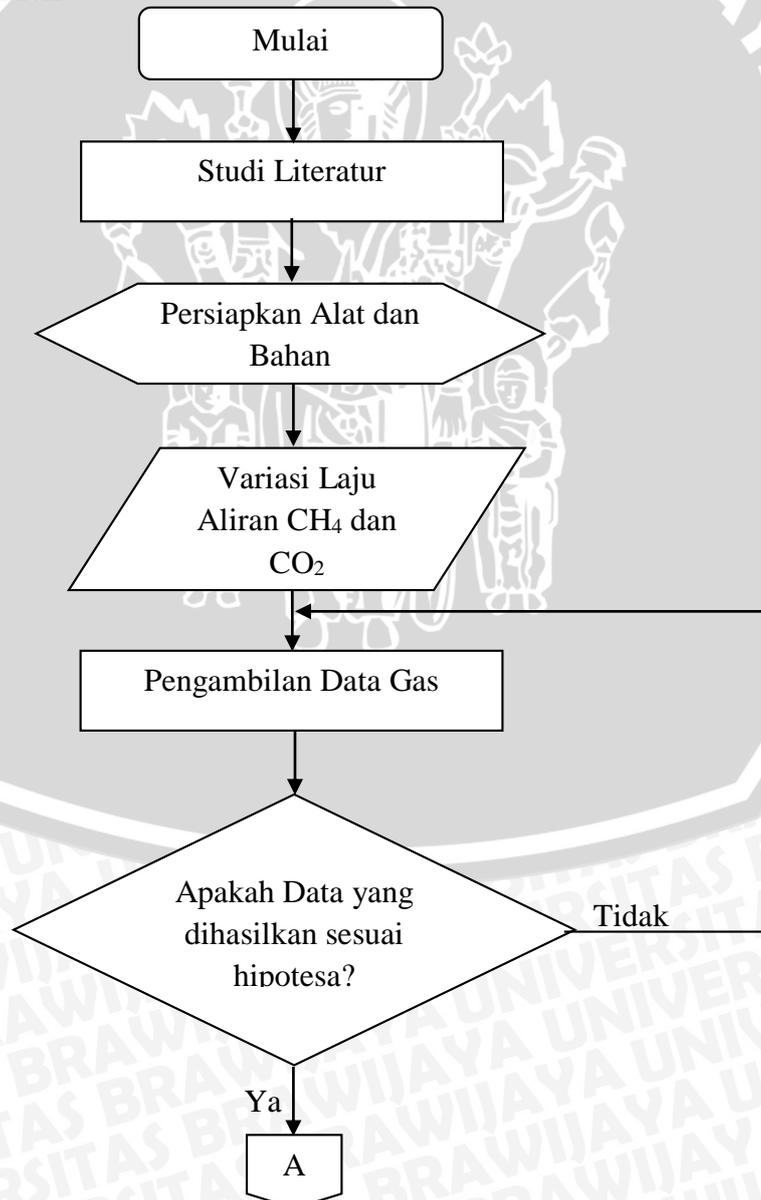
4. Masukkan selang gas mixer, kabel instalasi utama dan kabel *fan heat exchanger* ke dalam stop kontak.

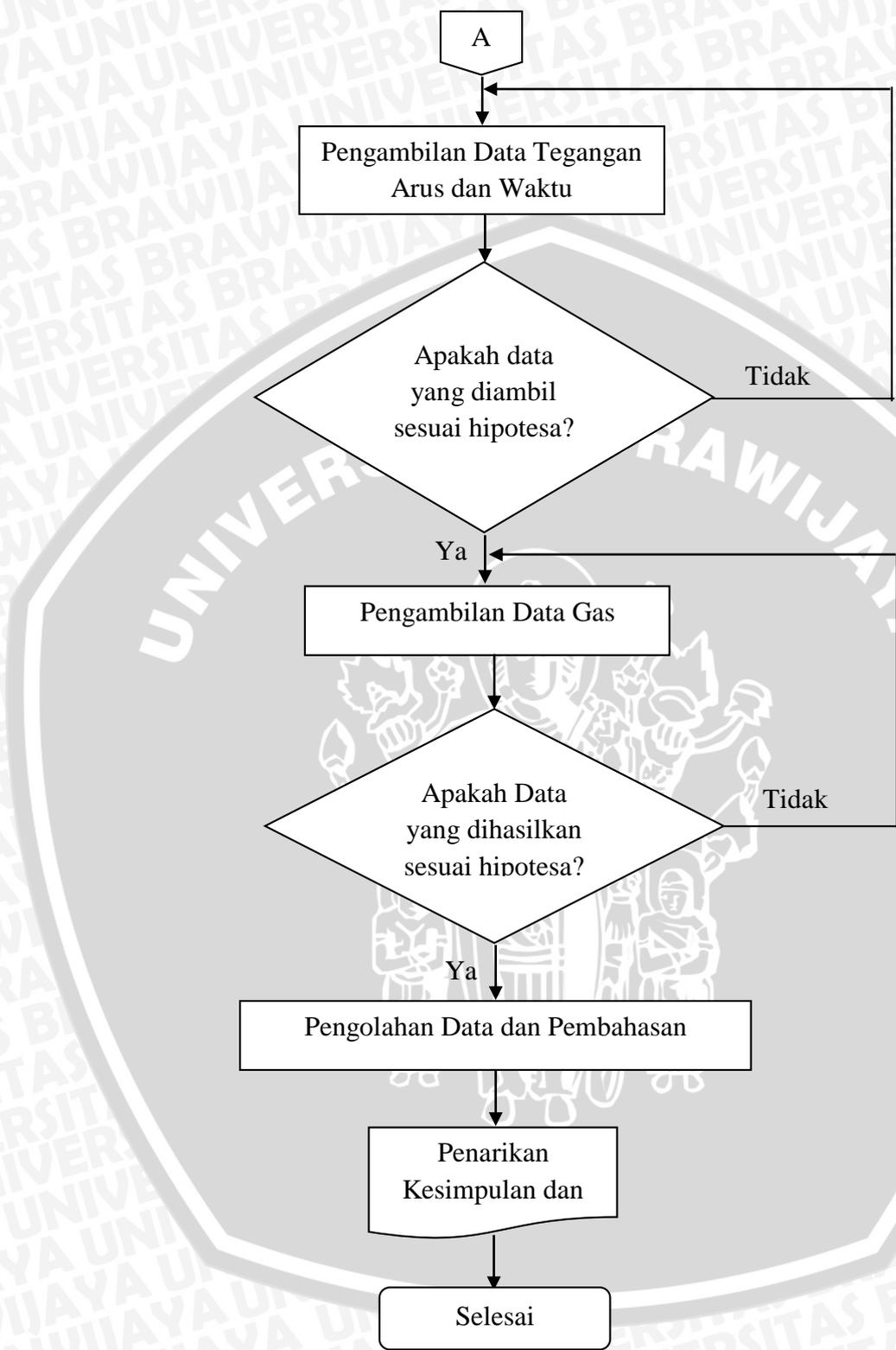
5. Untuk pengambilan data pertama, buka katup pada regulator CO₂ dan CH₄ sehingga flowmeter menunjukkan perubahan.

6. Atur flowmeter supaya laju CO₂ menjadi 3L/menit dan laju CH₄ sebesar 4.5L/menit.

7. Atur flowmeter untuk variasi pertama sebesar 7.5 L/menit.
8. Ambil sampel melalui katup *pressure gauge* pada setiap tabung purifikasi menggunakan *Gas Analyzer* untuk diuji kadar CO₂ yang masih tersisa pada setiap tabung
9. Pasang regulator tabung menuju tabung.
10. Nyalakan kompresor
11. Catat tegangan dan voltase tiap 25 Psi mulai dari 0-250 Psi
12. Catat temperatur tiap 25 Psi mulai dari 0-250 Psi
13. Catat waktu pengisian tiap 25 Psi mulai dari 0-250 Psi.
14. Ambil sampel melalui katup *pressure gauge* pada setiap tabung purifikasi menggunakan *gas analyzer* untuk diuji kadar CO₂ yang masih tersisa pada setiap tabung
15. Ulangi percobaan diatas untuk variasi laju 10 L/menit dan 12.5 L/menit

3.8 Diagram Alir Penelitian





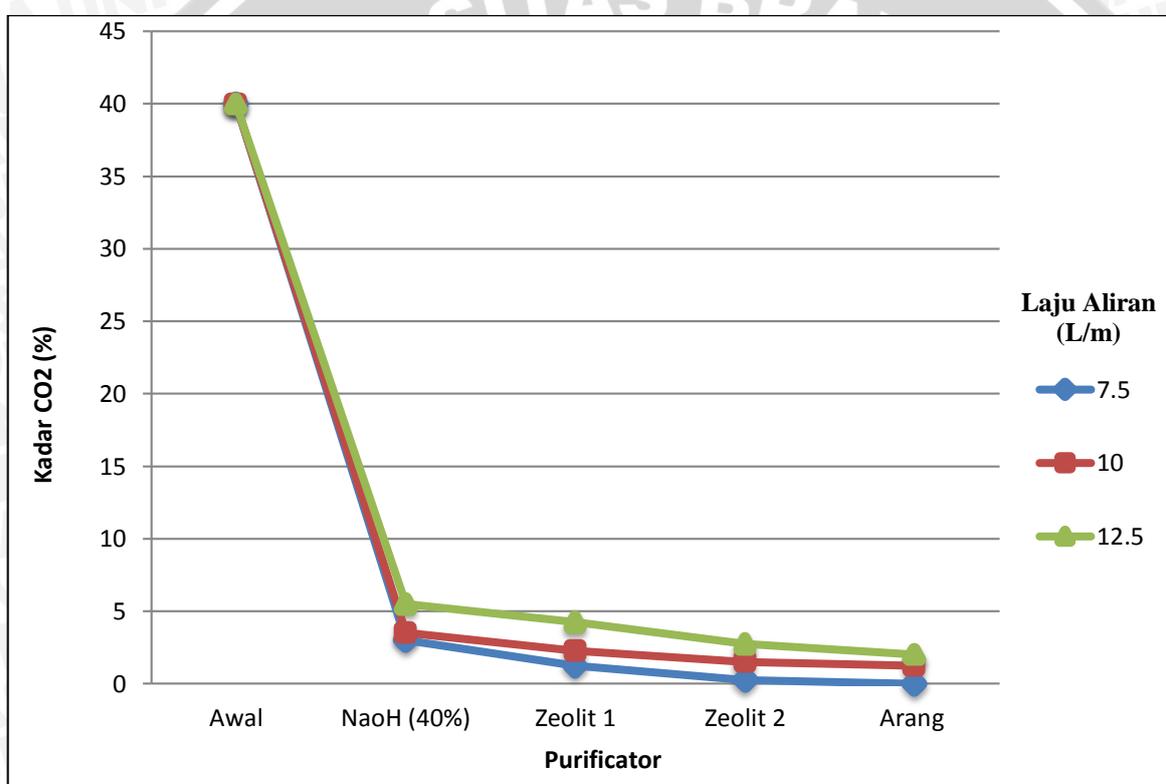
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Grafik

4.1.1 Grafik hubungan purificator terhadap penurunan CO₂ pada laju yang berbeda

Grafik hubungan setiap tabung purifikasi terhadap penurunan kadar CO₂ dalam persen volume (%) dengan variasi laju yang berbeda dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hubungan purificator terhadap penurunan CO₂ pada laju yang berbeda

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa semakin rendah laju aliran yang digunakan dalam pemurnian biogas berdampak pada semakin banyaknya CO₂ yang terserap. Secara keseluruhan proses pemurnian dengan laju aliran 7.5 L/menit mampu menyerap CO₂ hingga kadar akhir sebesar 0%. Laju aliran 7.5 L/menit menunjukkan daya serap CO₂ yang paling maksimal yaitu sebanyak 40%.

Pada laju aliran 10 L/menit menghasilkan kadar akhir CO₂ sebanyak 1.25%. Sedangkan kadar CO₂ akhir tertinggal pada laju 12.5 L/menit sebanyak 2% dari kadar CO₂

mula-mula sebanyak 40%. Laju aliran tercepat yaitu 12.5 L/menit menyebabkan kemampuan penyerapan total kurang baik yaitu hanya 38%.

Perbedaan hasil penyerapan pada setiap laju aliran disebabkan NaOH, Zeolit dan Arang memiliki kemampuan tertentu dalam proses absorpsi CO₂. Dengan laju aliran yang tinggi, besarnya CO₂ yang terabsorpsi lebih sedikit karena volume CO₂ yang harus diserap lebih besar dan lebih cepat. Dibandingkan dengan laju aliran yang rendah, volume CO₂ yang mengalir pada setiap absorben dan adsorben jauh lebih sedikit dan mengalir dengan kecepatan yang rendah sehingga kemampuan penyerapan dari absorben dan adsorben terlihat jauh lebih baik.

Dari grafik dapat dilihat bahwa sistem pemurnian dengan absorben cair (NaOH) lebih baik daripada pemurnian dengan adsorben padatan. Pada purifikasi menggunakan larutan NaOH mampu menyerap CO₂ sebanyak 37% pada laju 7.5 L/menit, 36.5% pada laju aliran 10 L/menit serta 34.5% pada laju 12.5 L/menit. Hal ini lebih baik dibandingkan adsorben zeolite dan arang yang rentang daya serapnya 1-2% (hasil pengujian terlampir). Namun NaOH memiliki kelemahan setelah beberapa kali pengujian terdapat endapan yang timbul dan menghalangi saluran pemurnian. Sedangkan zeolite dan arang warnanya tetap lebih putih dari sebelum pengujian dikarenakan aktivasi zeolite dan arang dilakukan perendaman dalam larutan NaOH dan dikeringkan dalam media pemanas.

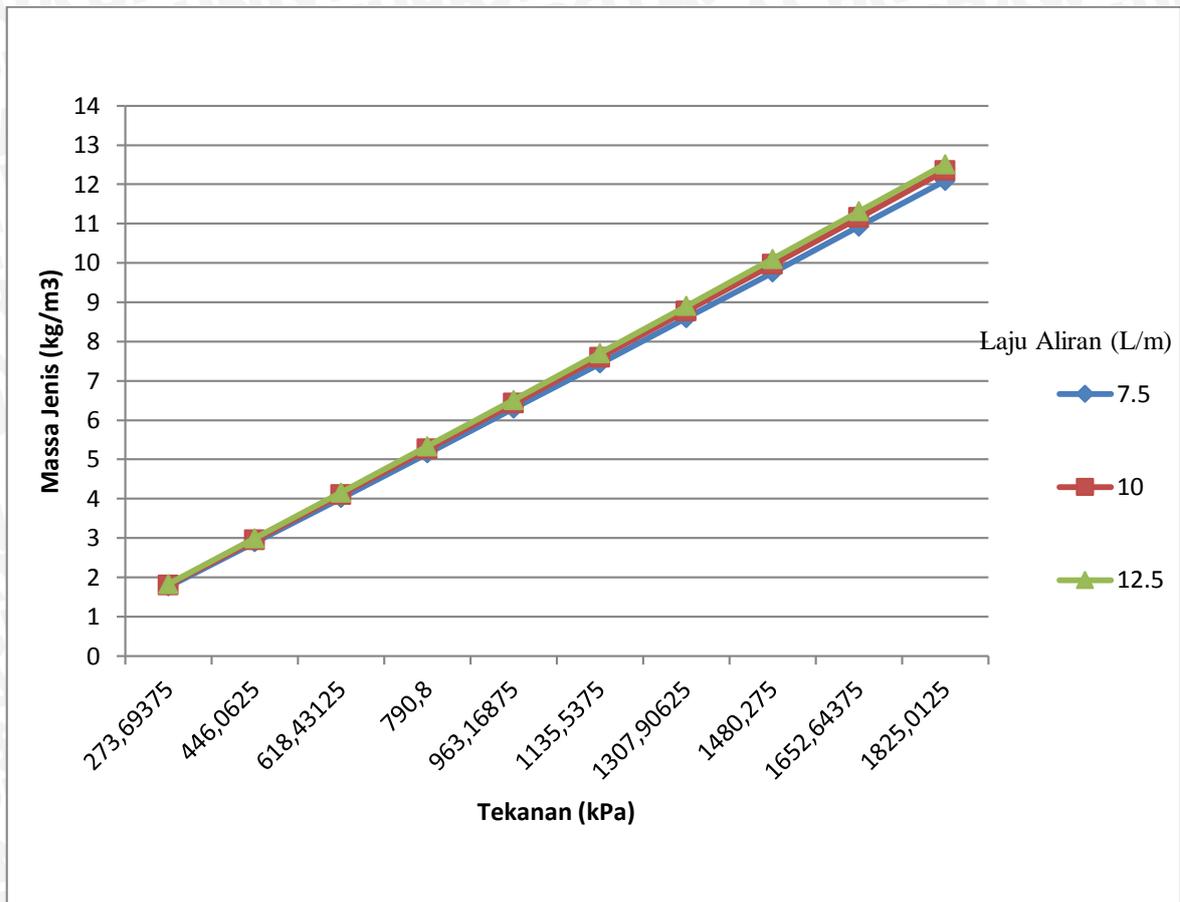


Gambar 4.2 (a) Arang sebelum pengujian
(b) Arang setelah aktivasi dan pengujian



Gambar 4.3 (a) Zeolit sebelum pengujian.
(b) Zeolit setelah aktivasi dan pengujian.

4.1.2 Grafik hubungan tekanan terhadap massa jenis pada laju aliran yang berbeda



Gambar 4.4 Hubungan tekanan terhadap massa jenis pada laju aliran yang berbeda

Fluida compressible adalah jenis fluida yang dapat dimampatkan atau dapat ditekan pada wadah dengan volume yang tetap. Ketika suatu tabung tertutup dengan volume tetap diisi dengan fluida *compressible* secara kontinu menyebabkan meningkatnya tekanan dalam tabung. Peningkatan tekanan tersebut disebabkan oleh penambahan fluida compressible secara kontinu menyebabkan massa di dalam tabung juga meningkat. Dengan semakin banyaknya massa gas yang masuk sehingga dengan volume yang konstan menyebabkan nilai massa jenis meningkat sesuai dengan rumus :

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4-1)$$

Selain itu, terdapat perbedaan massa jenis pada setiap laju aliran yang berbeda. Hingga tekanan akhir 1.825.01 kPa laju aliran 7.5 /menit memiliki massa jenis 12.09 kg/m³,

laju aliran 10 L/menit sebesar 12.35 kg/m^3 , dan laju aliran 12.5 L/menit massa jenisnya sebesar 12.511 kg/m^3

Massa jenis dipengaruhi juga oleh komposisi gas di dalamnya pada pengujian dengan laju aliran yang berbeda. Massa jenis CH_4 lebih rendah dibandingkan dengan massa jenis CO_2 . Laju aliran 7.5 L/menit memiliki massa jenis paling rendah dibandingkan dengan laju aliran 10 L/menit dan 12.5 L/menit. Hal ini dikarenakan komposisi pada laju aliran 7.5 L/menit pada tekanan 1825.01 kPa berisi CH_4 yang memiliki kadar lebih banyak yaitu 100% dibandingkan dengan laju yang lain. Sedangkan pada laju aliran 12.5 L/menit memiliki massa jenis paling tinggi dikarenakan sebanyak 2% dari kadar CO_2 tertinggal ikut masuk ke dalam tabung akibat proses purifikasi yang kurang sempurna.

Oleh karena itu pada laju yang berbeda, hasil terbaik yaitu dengan massa paling rendah dengan komposisi CH_4 murni dengan laju aliran 7.5 L/menit. Massa didapatkan dari perkalian antara massa jenis dan volume tabung. Mengacu pada volume tabung penyimpanan yang tetap sebesar 0.008 m^3 didapatkan hasil perhitungan massa biogas, massa CO_2 , dan massa CH_4 pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Perhitungan Massa Biogas, CO_2 , dan CH_4

No	Laju Aliran [L/menit]	CH_4 [%]	CO_2 [%]	Massa Jenis [kg/m ³]	Massa Biogas [gr]	Massa CO_2 ($\rho \text{CO}_2 \times V \times \% \text{CO}_2 \times 1000$) [gr]	Massa CH_4 [gr]
1.	7.5	100	0	12.09	96.72	0	96.72
2.	10	98.75	1.25	12.35	98.80	3.40	95.40
3.	12.5	98	2	12.511	100.08	5.44	94.64

Massa CH_4 digunakan sebagai acuan untuk mencari besar nilai energi LHV dan HHV pada tabung penyimpanan. Massa CH_4 didapatkan dari Massa biogas dikurangi dengan massa CO_2 sehingga didapatkan massa CH_4 .

$$m \text{ CH}_4 = m \text{ biogas} - m \text{ CO}_2 \quad (4-2)$$

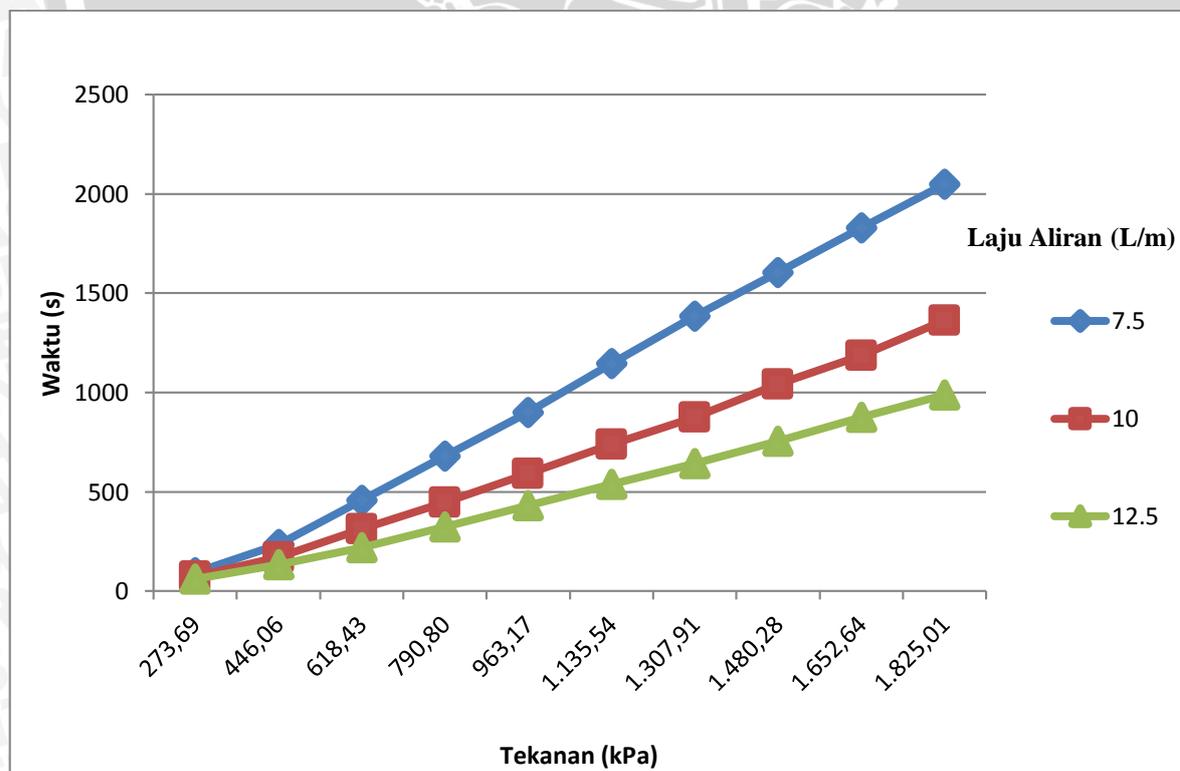
4.1.3 Energi Pembakaran

Setelah purifikasi diketahui kadar CH_4 yang digunakan sebagai acuan dalam menghitung besar energi yang dapat dihasilkan pada proses pembakaran. Energi pembakaran yang dihasilkan berbeda sesuai hasil pemurnian. Pada laju aliran 7.5 L/menit menghasilkan massa CH_4 yang lebih besar dibandingkan dengan 10 L/menit dan 12.5 L/menit sehingga energi pembakarannya lebih besar. Tabel 4.2 menunjukkan energi pembakaran yang dapat dihasilkan dari proses pemurnian dan penabungan dari variasi laju aliran.

Tabel 4.2 Energi pembakaran pada tabung

No	Laju Aliran [L/menit]	CH_4 [%]	CO_2 [%]	m CH_4 [gr]	LHV [kJ/kg]	HHV [kJ/kg]	Energi Pembakaran	
							(m CH_4 x LHV) [kJ]	(m CH_4 x HHV) [kJ]
1.	7.5	100	0	96.72	50014.5	55504.5	4837.4	5368.4
2.	10	98.75	1.25	95.40	49389.3	54810.7	4711.7	5228.9
3.	12.5	98	2	94.64	49014.2	54394.4	4639.0	5148.0

4.1.4 Grafik hubungan tekanan terhadap waktu pengisian pada laju yang berbeda



Gambar 4.5 Hubungan tekanan terhadap waktu pengisian pada laju aliran yang berbeda.

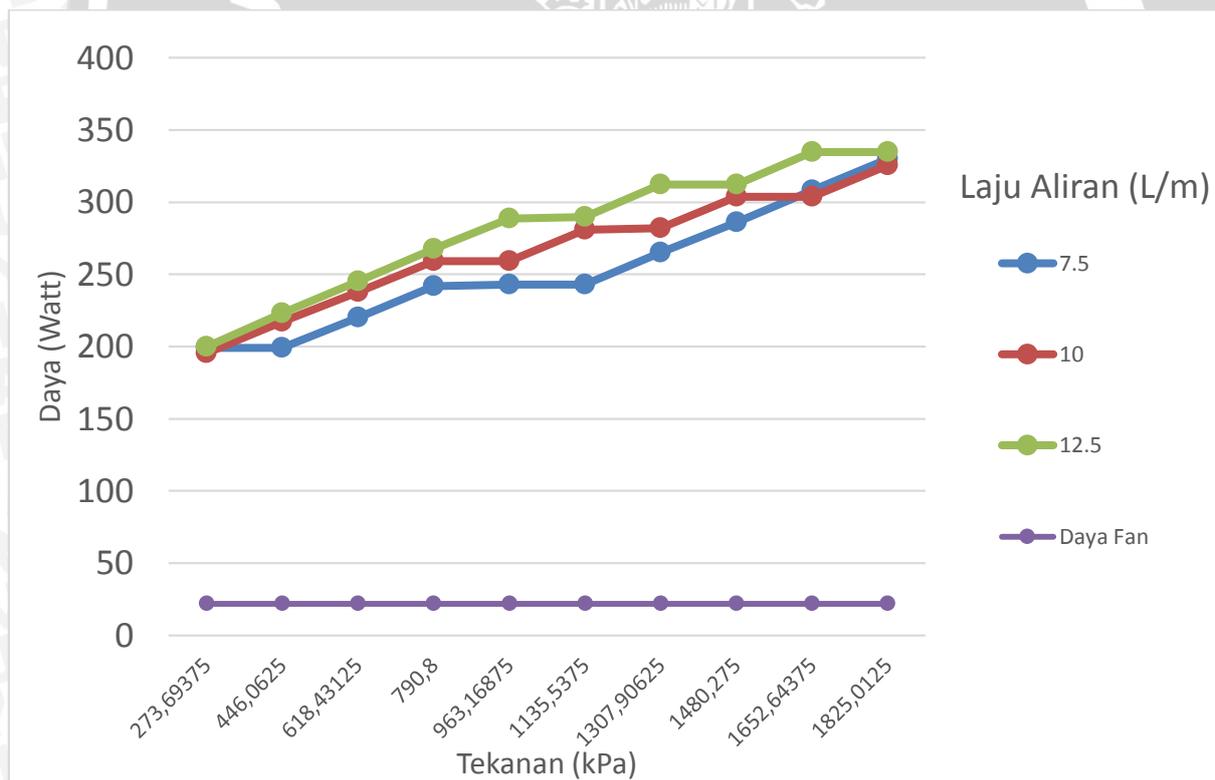
Gambar 4.5 diatas menunjukkan bahwa semakin kecil laju aliran menyebabkan waktu pengisian semakin lama. Untuk mencapai tekanan 1825.01 kPa laju 7.5L/menit memiliki waktu pengisian terlama yaitu sebesar 2049.3 detik atau sekitar 34 menit 9 detik.

Untuk laju aliran 10 L/menit membutuhkan waktu pengisian selama 1363.8 detik atau sekitar 22 menit 43 detik untuk mencapai tekanan 1825.01 kPa. Waktu tersebut lebih singkat dibandingkan dengan laju aliran 7.5 L/menit.

Waktu paling singkat sebesar 987.52 detik atau sekitar 16 menit 27 detik untuk mencapai tekanan 1825.01 kPa dengan laju aliran 12.5 L/menit. Semakin singkat waktu yang ditempuh makan semakin rendah energi yang dibutuhkan sesuai dengan rumus.

$$W = V I t \tag{4-3}$$

4.1.5 Grafik hubungan tekanan terhadap daya kompresor pada setiap laju aliran



Gambar 4.6 Hubungan tekanan terhadap daya kompresor pada setiap laju aliran

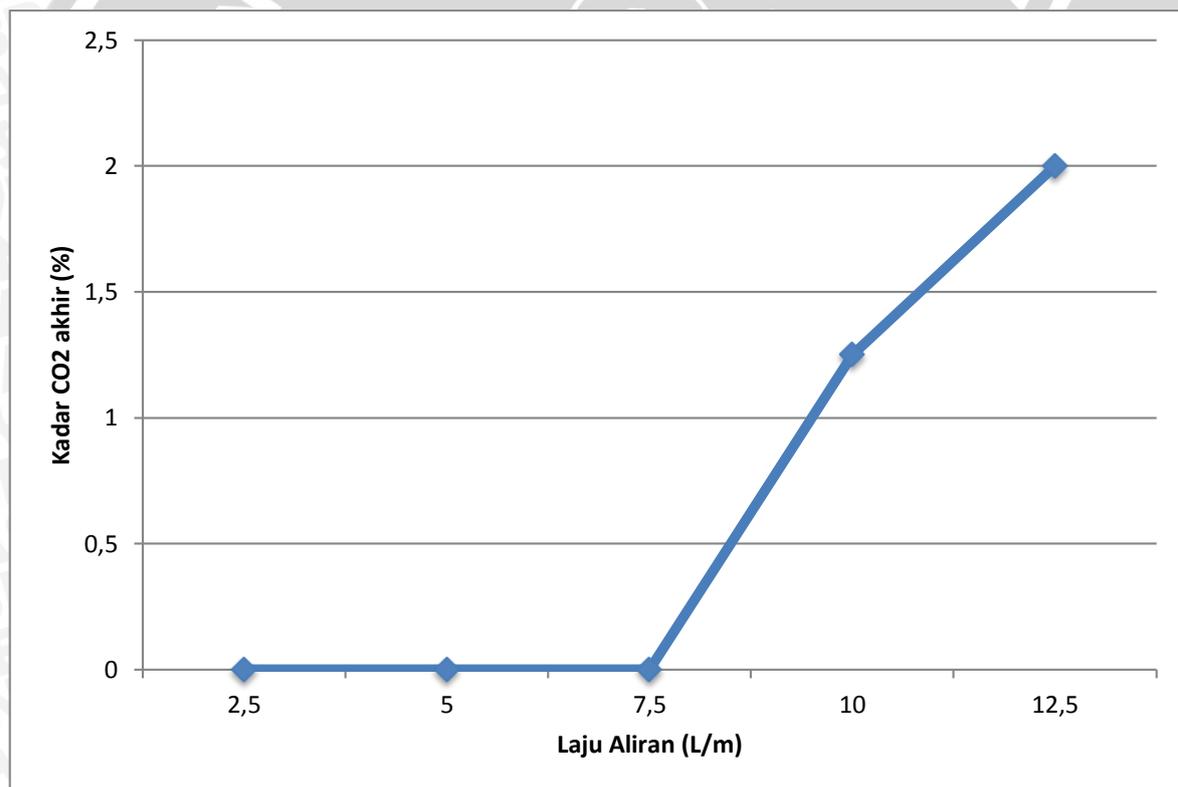
Gambar 4.6 menunjukan bahwa pada setiap tekanan daya fan konstan dikarenakan fan berputar pada kecepatan yang konstan sehingga arus dan tegangan yang mengalir juga

konstan. Selain itu putaran fan tidak dipengaruhi tekanan dikarenakan fan berputar konstan dan independen (tidak dipengaruhi laju aliran).

Pada setiap tekanan daya kompresor cenderung meningkat dikarenakan motor kompresor harus bekerja lebih berat untuk menekan udara masuk ke dalam tabung penyimpanan sehingga motor kompresor membutuhkan daya yang besar.

Pada laju aliran yang tinggi, motor pada kompresor berputar lebih cepat sehingga menyebabkan arus tinggi menghasilkan daya yang tinggi. Sedangkan pada laju yang lambat memberikan tahanan pada motor dengan tegangan tetap membuat arus lebih rendah daripada dengan laju aliran yang cepat.

4.1.6 Grafik penurunan kadar CO₂ akhir terhadap laju aliran pada proses penabungan



Gambar 4.7 Hubungan penurunan kadar CO₂ akhir terhadap laju aliran pada proses penabungan

Gambar 4.7 di atas menunjukkan hasil purifikasi pada setiap laju aliran yang berbeda. Hasil pemurnian terbaik untuk mendapatkan kadar CH₄ murni dengan penyerapan 40% CO₂ terdapat pada laju 2.5 – 7.5 L/menit. Sedangkan untuk laju 10 – 12.5 L/menit terdapat kadar

CO₂ tersisa dalam proses pemurnian yaitu sebesar 1.25% dan 2% dari kadar penyerapan CO₂ maksimal yaitu 40%.

Dari grafik tersebut semakin lambat laju aliran akan menyebabkan waktu pengisian juga semakin lama sehingga energi yang dibutuhkan juga semakin besar. Titik optimum untuk mendapatkan CH₄ murni dalam proses adalah pada laju 7.5 L/menit dimana waktu yang dibutuhkan lebih singkat dibandingkan dengan laju aliran yang lain untuk mendapatkan tingkat kemurnian yang sama.

Tabel 4.3 Perbandingan Hasil dan Waktu Pemurnian

No	Laju Aliran [L/m]	Waktu	Hasil Pemurnian
1.	2.5	1 Jam 30 Menit	0%
2.	5	1 Jam 7 Menit	0%
3.	7.5	34 Menit 9 Detik	0%
4.	10	22 Menit 43 Detik	1.25
5.	12.5	16 Menit 27 Detik	2

4.1.7 Efisiensi penabungan biogas

Efisiensi didapatkan berdasarkan analisa energi yang dihasilkan dan energi yang dibutuhkan.

$$W_{out} = U \text{ (Internal Energy CH}_4 \text{ dan CO}_2 \text{ tabel properties)} \quad (4-4)$$

$$W_{in} = \sum[(P \text{ comp} + P \text{ fan})] \times \Delta t \quad (4-5)$$

$$W_{in} = \sum[(V \text{ comp} \times I \text{ comp}) + (V \text{ fan} \times I \text{ fan})] \times \Delta t \quad (4-6)$$

Dengan

$V \text{ comp}$: Tegangan Kompresor [Volt]

$I \text{ comp}$: Arus pada kompresor [A].

$I \text{ fan}$: Arus fan dengan kec 5 m/s [0.1 A]

t : Waktu [s]

$$\eta = \frac{W_{out}}{W_{in}} \times 100\% \quad (4-7)$$

W_{in} didasarkan pada energi yang dibutuhkan untuk mengkompresi hingga tekanan 1825.01 kPa. Sedangkan W_{out} didasarkan pada *internal energy* dari proses isokhorik (volume konstan).

Efisiensi tertinggi terdapat pada laju aliran 12.5 L/menit dikarenakan waktu yang ditempuh lebih singkat dibandingkan dengan laju yang lain. Namun, walaupun demikian pada laju 12.5 L/menit hasil nilai pembakarannya lebih rendah dikarenakan efektifitas pemurniannya rendah.

Tabel 4.3 Efisiensi penabungan

No	Laju Aliran [L/menit]	w_{in} [J]	w_{out} [J]	η [%]
1.	7.5	575,925.3	44,607.5	7.74
2.	10	404,467.7	43,768.0	10.82
3.	12.5	306,920.5	37,967.1	12.37

Pada tekanan akhir 1825.01 kPa, efisiensi pada laju aliran 12.5 sebesar 12.37 % sedangkan pada laju 10 L/menit sebesar 10.82% dan laju 7.5 L/menit sebesar 7.74 %. Laju aliran tersebut mempengaruhi efisiensi. Semakin cepat laju aliran semakin cepat pula waktu pengisian sehingga memperkecil nilai W_{in} membuat nilai efisiensi semakin besar.

Meskipun efisiensi pada laju 7.5 L/menit rendah, pada laju 7.5 L/menit dikompensasi dengan kemampuan laju aliran rendah meningkatkan nilai kalor energi pembakaran dengan optimal seperti pada Tabel 4.4 dikarenakan proses purifikasi berlangsung sempurna sehingga mendapatkan kadar CH_4 yang maksimal.

Tabel 4.4 Energi pembakaran pada tabung

No	Laju Aliran [L/menit]	CH_4 [%]	CO_2 [%]	m CH_4 [gr]	LHV [kJ/kg]	HHV [kJ/kg]	Energi Pembakaran	
							(m CH_4 x LHV) [kJ]	(m CH_4 x HHV) [kJ]
1.	7.5	100	0	96.72	50014.5	55504.5	4837.4	5368.4
2.	10	98.75	1.25	95.40	49389.3	54810.7	4711.7	5228.9
3.	12.5	98	2	94.64	49014.2	54394.4	4639.0	5148.0

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis grafik serta pembahasan, maka kesimpulan yang bisa ditarik dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. NaOH, Zeolit, dan Arang memiliki karakteristik kemampuan masing-masing untuk menurunkan kadar CO₂ yang merupakan inhibitor dalam biogas.
2. NaOH memiliki kemampuan yang paling baik dibandingkan dengan Zeolit dan Arang. Kemampuan NaOH dalam menurunkan kadar CO₂ sebesar 34.5-37% dari volume awal 40% sedangkan Zeolit dan Arang memiliki kemampuan penyerapan CO₂ sebesar 1-2%.
3. Proses penabungan dan pemurnian biogas hingga tekanan 250 psi (1825.01 kPa abs) yang merupakan batas aman dalam proses penabungan biogas dengan menggunakan tabung gas 3 kg.
4. Proses penabungan dan pemurnian biogas dipengaruhi oleh laju aliran dimana laju aliran rendah memiliki tingkat kemurnian yang lebih baik. Laju aliran yang optimum sebesar 7.5 L/menit pada komposisi 40% CO₂ : 60% CH₄ dengan menggunakan 40% NaOH, 2x585 gram zeolite dan 25 gram arang didapatkan kadar CO₂ akhir 0%.
5. Energi kalor terbesar pada laju aliran 7.5 L/menit dengan 4837.4 kJ (LHV) dan 5368.4 kJ (HHV) pada massa CH₄ 96.72 gr dikarenakan kadar CH₄ yang sangat tinggi yaitu 100%.

5.2 Saran

Setelah penelitian dilakukan, maka saran yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut

- a. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya digunakan kompresor yang lebih rendah dayanya agar tidak membutuhkan daya inputan yang tinggi.
- b. Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk menggunakan biogas asli sebagai gas spesimen uji untuk mendapatkan kadar gas gas lain yang terdapat dalam biogas seperti H₂S.
- c. Pada penelitian selanjutnya dianjurkan untuk membuat sistem regenerasi NaOH agar endapan tidak menyumbat jalur pada proses pemurnian.

DAFTAR PUSTAKA

Apriyanti, Eny. 2012. *Adsrobsi CO₂ Menggunakan Zeolit : Aplikasi pada Pemurnian Biogas*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pandanaran.

Arismunandar, W; Saito, H. 1981. *Penyegaran Udara*. P.T. PRADNYA PARAMITA : Jakarta.

Baker, F.S., Miller, C.E., Repik, A.J and E.D Tollens. 1997. *Activated carbon. Encyclopedia of separation technology*. John Wiley and Sons, New York.

Bonenfant, Danieller, Kharoune, Mourad, Niquitte Patrick. 2008 *Advances in Principal Factor Influencing Carbon Dioxide Adsorption on Zeolite*. STEPPE- Ecole de Technologie Superieure, Departement de Genie de la Construction, 1100, Notre Dame Ouest, Montreal, QC, H3C 1K3, Canada

Dietzel, Fritz. 1990. *Turbin, Pompa, dan Kompresor*. Erlangga : Jakarta.

Gimpaolo, Tony. 2010. *Compressor Handbook Principles and Practice*. The Fairmont Press : United States of America

Hotma, Lambert; Widhiyanuriyawan, Denny; Hamidi, Nurkholis. 2015. *Pengaruh Jumlah Lubang Bubble Generator dan Konsentrasi NaOH terhadap Kandungan CH₄ dan CO₂ pada Purifikasi Bertingkat Sistem Kontinyu*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

<http://www.brighthubengineering.com/hvac/51468-types-of-refrigeration-and-air-conditioning-compressors/> (13 Maret 2016)

Jørgensen, Peter Jacob. 2009. *Biogas-Green Energy*, Digisource Danmark A/S : Denmark.

Kosman, W.1997. *Biogas Digest (Vol IV) Biogas Country Report*, ISAT & GTZ

Prasetya, Andhika; Widhiyanuriyawan, Denny; Sugiarto. 2012. *Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Kandungan Gas CO₂ dalam Proses Purifikasi Biogas Sistem Kontinyu*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Price, E.C and Cheremisnoff, P.N 1981. *Biogas Production and Utilization*. Ann Arbor Science Publiseher, Inc United States of Amreica.

Ozkan F.C., and Ulku S., 2008. *Diffusion Mechanism of Water Vapour in A Zeolitic Tuff Rich in Clinoptilolite*, Thermal Analysis and Calorimetry 94:699-702

Stoecker,. W.F. 1989. *Refrigrasi dan Pengkondisian Udara*. Erlangga : Jakarta

- Suryo Pranowo, Pandu; Widhiyanuriyawan, Denny; Nur Sasongko, Mega. 2014. *Efektivitas Absorben dengan Variasi Tinggi Tubing Dalam Penyerapan Gas Karbon Dioksida (CO₂) pada Sistem Purifikasi Gas Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.*
- Trimandoko, Candra; Widhiyanuriyawan, Denny; Hamidi, Nurkholis. 2015. *Pengaruh Massa Zeolit terhadap Kandungan Gas CH₄ dan CO₂ pada Purifikasi Bertingkat Sistem Kontinyu.* Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
- Walsh, J.L; Ross C.C; Smith, M.S; Harper, S.R; Wilkins, W.A. 1988. *Handbook on Biogas Utilization.* the Environment, Health, and Safety Division Georgia Tech Research Institute Atlanta. Georgia
- Widyastuti, Apriyanti; Sitorus, Berlian; Jayuska, Afghani. 2013. *Karbon Aktif dari Limbah Cangkang Sawit Sebagai Adsorben Gas dalam Biogas Hasil Fermentasi Anaerobik Sampah Organik.* Universitas Tanjung Pura, Pontianak, Kalimantan Barat



LAMPIRAN 1
CONTOH PERHITUNGAN I

Parameter Laju Aliran 12.5 L/menit

- CH₄ : 98%
- CO₂ : 2%
- P : 1825.01 kPa abs
- Temp : 27.3°C (300 K)

a. Massa jenis
(Ineterpolasi Tabel Properties CH₄ at 1.8 MPa)

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF FLUIDS 599

Thermophysical properties of methane - Continued

T K	Density kg/m ³	Density mol/dm ³	E J/mol	H J/mol	S J/(mol·K)	C _v J/(mol·K)	C _p J/(mol·K)	Sound m/s	Visc. μPa·s	Therm. W/(m·K)	Diel. Const.
140.0	379.3	23.64	-2995.0	-2918.0	91.97	31.60	60.50	1050.0	68.0	0.146	1.55159
150.0	360.1	22.45	-2377.0	-2296.0	96.26	31.11	64.20	931.9	56.6	0.132	1.51937
155.0	349.4	21.78	-2052.0	-1969.0	98.41	30.90	66.95	868.2	51.5	0.124	1.50146
160.0	337.5	21.03	-1711.0	-1625.0	100.6	30.72	70.83	799.8	46.7	0.116	1.48177
163.084 ^b	328.3	20.46	-1473.0	-1385.0	102.1	30.65	74.96	746.5	43.4	0.111	1.46671
163.084 ^b	28.74	1.791	3339.0	4343.0	137.2	29.40	56.90	282.0	7.08	0.0730	1.03555
165.0	28.19	1.757	3408.0	4433.0	137.7	29.13	54.98	286.2	7.14	0.0231	1.03487
170.0	26.31	1.640	3598.0	4696.0	139.3	28.43	50.46	297.2	7.29	0.0235	1.03252
175.0	24.79	1.545	3775.0	4940.0	140.7	27.91	47.42	307.0	7.44	0.0241	1.03062
180.0	23.51	1.465	3943.0	5171.0	142.0	27.51	45.23	315.9	7.60	0.0251	1.02903
185.0	22.41	1.397	4104.0	5393.0	143.2	27.19	43.59	324.2	7.76	0.0271	1.02765
190.0	21.44	1.337	4261.0	5608.0	144.4	26.95	42.31	331.9	7.93	0.0577	1.02645
195.0	19.81	1.235	4563.0	6021.0	146.5	26.60	40.48	346.1	8.26	0.0266	1.02443
200.0	19.11	1.191	4710.0	6222.0	147.5	26.49	39.82	352.7	8.42	0.0263	1.02356
205.0	18.47	1.151	4856.0	6419.0	148.5	26.40	39.27	359.0	8.59	0.0264	1.02276
210.0	17.88	1.115	4999.0	6614.0	149.4	26.34	38.81	365.0	8.75	0.0267	1.02203
220.0	17.34	1.081	5142.0	6808.0	150.3	26.31	38.44	370.8	8.92	0.0270	1.02136
225.0	16.83	1.049	5283.0	6999.0	151.1	26.29	38.13	376.5	9.09	0.0274	1.02073
230.0	16.36	1.020	5424.0	7189.0	152.0	26.30	37.87	381.9	9.25	0.0278	1.02015
235.0	15.92	0.9923	5564.0	7378.0	152.8	26.32	37.67	387.2	9.42	0.0283	1.01961
240.0	15.51	0.9665	5703.0	7566.0	153.6	26.35	37.50	392.3	9.58	0.0288	1.01909
250.0	14.75	0.9193	5981.0	7939.0	155.1	26.47	37.27	402.2	9.91	0.0298	1.01816
260.0	14.07	0.8771	6259.0	8311.0	156.5	26.63	37.16	411.5	10.2	0.0308	1.01732
270.0	13.46	0.8391	6538.0	8683.0	157.9	26.85	37.14	420.4	10.6	0.0319	1.01657
280.0	12.91	0.8046	6817.0	9054.0	159.3	27.10	37.20	428.9	10.9	0.0331	1.01588
290.0	12.40	0.7731	7099.0	9427.0	160.6	27.40	37.32	437.0	11.2	0.0343	1.01526
300.0	11.94	0.7442	7382.0	9801.0	161.9	27.73	37.51	444.8	11.5	0.0355	1.01469
310.0	11.51	0.7175	7669.0	10180.0	163.1	28.09	37.75	452.4	11.8	0.0368	1.01416
320.0	11.11	0.6928	7958.0	10560.0	164.3	28.48	38.03	459.6	12.1	0.0382	1.01367
330.0	10.75	0.6699	8251.0	10940.0	165.5	28.90	38.36	466.7	12.4	0.0396	1.01322
340.0	10.40	0.6486	8548.0	11320.0	166.6	29.35	38.72	473.5	12.7	0.0410	1.01280
350.0	10.09	0.6286	8849.0	11710.0	167.8	29.82	39.11	480.1	13.0	0.0424	1.01240
360.0	9.785	0.6099	9155.0	12110.0	168.9	30.31	39.53	486.5	13.3	0.0439	1.01203
370.0	9.504	0.5924	9465.0	12500.0	170.0	30.81	39.98	492.8	13.6	0.0454	1.01169
380.0	9.239	0.5759	9780.0	12910.0	171.0	31.33	40.44	498.9	13.9	0.0470	1.01136
390.0	8.989	0.5603	10100.0	13310.0	172.1	31.87	40.93	504.9	14.2	0.0485	1.01105

(Interpolasi table Tabel Properties CO₂ at 1.8 MPa)

1568

R. SPAN AND W. WAGNER

TABLE 35. Thermodynamic properties of carbon dioxide—Continued

Temperature (K)	Density (kg/m ³)	Internal energy (kJ/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy [kJ/(kg K)]	c_v [kJ/(kg K)]	c_p [kJ/(kg K)]	Speed of sound (m/s)
1.00 MPa Isobar							
360	15.105	-18.406	47.797	-0.28033	0.72664	0.94206	289.00
370	14.659	-10.970	57.245	-0.25444	0.73442	0.94763	293.05
380	14.241	-3.4677	66.750	-0.22909	0.74217	0.95345	297.02
390	13.848	4.1027	76.315	-0.20425	0.74988	0.95944	300.91
400	13.477	11.741	85.939	-0.17988	0.75751	0.96555	304.72
410	13.127	19.449	95.626	-0.15596	0.76505	0.97174	308.47
420	12.796	27.224	105.37	-0.13247	0.77251	0.97798	312.16
430	12.482	35.068	115.19	-0.10939	0.77986	0.98423	315.79
440	12.183	42.979	125.06	-0.08669	0.78710	0.99049	319.37
450	11.899	50.957	135.00	-0.06436	0.79424	0.99673	322.89
460	11.629	59.001	144.99	-0.04238	0.80126	1.0029	326.37
470	11.371	67.112	155.05	-0.02075	0.80817	1.0091	329.79
480	11.125	75.287	165.18	0.00056	0.81497	1.0152	333.18
490	10.889	83.526	175.36	0.02156	0.82166	1.0213	336.52
500	10.664	91.829	185.60	0.04225	0.82823	1.0273	339.81
525	10.141	112.86	211.47	0.09273	0.84418	1.0420	347.90
550	9.6675	134.26	237.70	0.14154	0.85946	1.0563	355.76
575	9.2375	156.02	264.28	0.18879	0.87408	1.0700	363.42
600	8.8449	178.14	291.19	0.23462	0.88808	1.0833	370.90
625	8.4849	200.58	318.44	0.27910	0.90149	1.0961	378.20
650	8.1535	223.35	345.99	0.32233	0.91432	1.1084	385.36
675	7.8474	246.42	373.85	0.36438	0.92660	1.1202	392.37
700	7.5638	269.79	402.00	0.40533	0.93835	1.1315	399.24
800	6.6102	365.98	517.26	0.55918	0.98053	1.1725	425.54
900	5.8718	465.99	636.29	0.69934	1.0159	1.2071	450.22
1000	5.2826	569.20	758.50	0.82807	1.0455	1.2362	473.59
1100	4.8014	675.12	883.39	0.94708	1.0704	1.2608	495.84
2.00 MPa Isobar							
216.908 ^b	1180.41	-427.40	-425.70	-2.2187	0.97612	1.9443	981.71
220	1169.23	-421.39	-419.68	-2.1911	0.97160	1.9517	959.33
225	1150.73	-411.63	-409.89	-2.1471	0.96458	1.9667	923.07
230	1131.64	-401.78	-400.01	-2.1037	0.95796	1.9858	886.59
235	1111.85	-391.82	-390.02	-2.0607	0.95178	2.0100	849.70

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{gas}} &= (\rho_{\text{CH}_4} \times 98\%) + (\rho_{\text{CO}_2} \times 2\%) \\
 &= (12.07 \times 0.98) + (34.5 \times 0.02) \\
 &= 11.82 + 0.69 \\
 &= 12.51 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

b. Massa gas dalam Tabung

$$\begin{aligned}
 m &= \rho \times V \\
 &= 12.51 \times 0.008 \text{ m}^3 \\
 &= 100.088 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Energi LHV dan HHV

$$\begin{aligned}\text{Massa CO}_2 &= \rho \text{CO}_2 \times V \\ &= 0.68 \times 0.008 \\ &= 5.44 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa CH}_4 &= m_{\text{biogas}} - m_{\text{CO}_2} \\ &= 100.088 - 5.44 \\ &= 94.64 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{LHV biogas setelah pemurnian} &= 11,953.76 \text{ kkal/kg} \times \% \text{CH}_4 \times 4.184 \\ &= 49,014.24 \text{ J/kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{HHV biogas setelah pemurnian} &= 13,265.91 \text{ kkal/kg} \times \% \text{CH}_4 \times 4.184 \\ &= 54,394.4 \text{ J/kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Energi LHV} &= m_{\text{CH}_4} \times \text{LHV} \\ &= 94.64 \text{ gram} \times 49014.24 \\ &= 4,639.0 \text{ J}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Energi HHV} &= m_{\text{CH}_4} \times \text{HHV} \\ &= 94.64 \text{ gram} \times 54394.47 \\ &= 5,148.3 \text{ J}\end{aligned}$$





LAMPIRAN 2
CONTOH PERHITUNGAN II

Parameter Laju Aliran 12.5 L/menit

No	P	Volt	Ampere Kompresor	Ampere Fan	Daya Total	Time	Time (s)	Δ Time	Ein1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	273.69375	222	0.9	0.1	222.1	01.01.38	61.38	61.38	13632.498
3	446.0625	223	1	0.1	245.3	02.13.24	133.24	71.86	17627.258
4	618.43125	223	1.1	0.1	267.6	03.38.87	218.87	85.63	22914.588
5	790.8	223	1.2	0.1	289.9	05.23.03	323.03	104.16	30195.984
6	963.16875	222	1.3	0.1	310.9	07.10.44	430.44	107.41	33393.769
7	1135.5375	223	1.3	0.1	312.2	08.57.49	537.49	107.05	33421.01
8	1307.90625	223	1.4	0.1	334.5	10.42.36	642.36	104.87	35079.015
9	1480.275	223	1.4	0.1	334.5	12.34.32	754.32	111.96	37450.62
10	1652.64375	223	1.5	0.1	356.8	14.34.81	874.81	120.49	42990.832
11	1825.0125	223	1.5	0.1	356.8	16.27.52	987.52	112.71	40214.928
Σ									306920.502

$$\begin{aligned}
 \text{Energi at 273.69} &= (V_{\text{comp}} \times I_{\text{comp}}) + (V_{\text{fan}} \times I_{\text{fan}}) \times \Delta t \\
 &= [(222 \times 0.9) + (222 \times 0.1)] \times 61.38 \\
 &= (199.8 + 22.2) \times 61.38 \\
 &= 13632.498 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

$$\text{Energi total (Win)} = \Sigma(V_{\text{comp}} \times I_{\text{comp}}) + (V_{\text{fan}} \times I_{\text{fan}}) \times \Delta t = 306920.502 \text{ J}$$



Efisiensi Penabungan**CO₂ : 2% CH₄ : 98%****E CH₄ at 1,825 kPa = 7379.25 J/mol****E CO₂ at 1,825 kPa = - 67.861 kJ/kg**

$$W_{out} = \left(\frac{m_{CH_4}}{m_{rCH_4}} \times E \left(\frac{J}{mol} \right) \right) + \left(m_{CO_2} \times E \left(\frac{kJ}{kg} \right) \times 1000 \right)$$

$$W_{out} = \left(\frac{94.64 \text{ gr}}{16} \times 7379.25 \left(\frac{J}{mol} \right) \right) + \left(0.00544 \times (-67.861) \left(\frac{kJ}{kg} \right) \times 1000 \right)$$

$$W_{out} = 38335.20 \text{ J} + (-368.1)$$

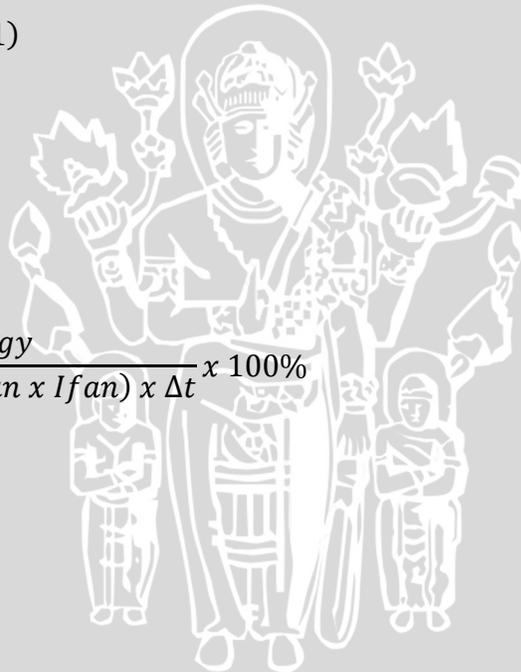
$$W_{out} = 37,967.1$$

$$\eta = \frac{W_{out}}{W_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{\text{Internal Energy}}{\Sigma(V_{comp} \times I_{comp}) + (V_{fan} \times I_{fan}) \times \Delta t} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{37,961.1}{306920.502} \times 100\%$$

$$\eta = 12.37 \%$$



LAMPIRAN 3
DATA HASIL PENGUJIAN I

Laju Aliran : 7.5 L/menit

Pengujian 1

No	Purificator	CO2 Inlet [%]	CO2 Outlet [%]
1	Awal		40
2	NaoH (40%)	40	3
3	Zeolit 1	3	1
4	Zeolit 2	1	0
5	Arang	0	0

Pengujian 3

No	Purificator	CO2 Inlet [%]	CO2 Outlet [%]
1	Awal		40
2	NaoH (40%)	40	3
3	Zeolit 1	3	2
4	Zeolit 2	2	1
5	Arang	1	0

Pengujian 2

No	Purificator	CO2 Inlet [%]	CO2 Outlet [%]
1	Awal		40
2	NaoH (40%)	40	3
3	Zeolit 1	3	1
4	Zeolit 2	1	0
5	Arang	0	0

Pengujian 4

No	Purificator	CO2 Inlet [%]	CO2 Outlet [%]
1	Awal		40
2	NaoH (40%)	40	3
3	Zeolit 1	3	1
4	Zeolit 2	1	0
5	Arang	0	0

Laju Aliran : 10 L/menit

Pengujian 1

No	Purificator	CO2 Inlet [%]	CO2 Outlet [%]
1	Awal		40
2	NaoH (40%)	40	3
3	Zeolit 1	3	2
4	Zeolit 2	2	2
5	Arang	2	1

Pengujian 3

No	Purificator	CO2 Inlet [%]	CO2 Outlet [%]
1	Awal		40
2	NaoH (40%)	40	4
3	Zeolit 1	4	2
4	Zeolit 2	2	1
5	Arang	1	1

Pengujian 2

No	Purificator	CO2 Inlet [%]	CO2 Outlet [%]
1	Awal		40
2	NaoH (40%)	40	3
3	Zeolit 1	3	2
4	Zeolit 2	2	1
5	Arang	1	1

Pengujian 4

No	Purificator	CO2 Inlet [%]	CO2 Outlet [%]
1	Awal		40
2	NaoH (40%)	40	4
3	Zeolit 1	4	3
4	Zeolit 2	3	2
5	Arang	2	2

Laju Aliran : 12.5 L/menit

Pengujian 1

No	Purificator	CO2 Inlet [%]	CO2 Outlet [%]
1	Awal		40
2	NaoH (40%)	40	5
3	Zeolit 1	5	3
4	Zeolit 2	3	2
5	Arang	2	2

Pengujian 3

No	Purificator	CO2 Inlet [%]	CO2 Outlet [%]
1	Awal		40
2	NaoH (40%)	40	6
3	Zeolit 1	6	5
4	Zeolit 2	5	3
5	Arang	3	2

Pengujian 2

No	Purificator	CO2 Inlet [%]	CO2 Outlet [%]
1	Awal		40
2	NaoH (40%)	40	5
3	Zeolit 1	5	4
4	Zeolit 2	4	3
5	Arang	3	2

Pengujian 4

No	Purificator	CO2 Inlet [%]	CO2 Outlet [%]
1	Awal		40
2	NaoH (40%)	40	6
3	Zeolit 1	6	5
4	Zeolit 2	5	3
5	Arang	3	2



Laju Aliran 10 L/menit

No	P	Volt	Ampere Kompresor	Ampere Fan	Daya Total	Time	Time (s)	Δ Time	Ein1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	273.69375	217	0.9	0.1	217	01.15.70	75.7	75.7	16426.9
3	446.0625	217	1	0.1	238.7	02.52.09	172.09	96.39	23008.293
4	618.43125	216	1.1	0.1	259.3	05.11.83	311.83	135.85	35225.905
5	790.8	216	1.2	0.1	280.9	07.27.68	447.68	144.53	40598.477
6	963.16875	216	1.2	0.1	280.9	09.52.21	592.21	144.42	40567.578
7	1135.5375	216	1.3	0.1	302.5	12.18.24	738.24	146.03	44174.075
8	1307.90625	217	1.3	0.1	303.8	14.35.93	875.93	137.69	41830.222
9	1480.275	217	1.4	0.1	325.5	17.22.15	1042.15	166.22	54104.61
10	1652.64375	217	1.4	0.1	325.5	19.47.57	1187.57	145.42	47334.21
11	1825.0125	217	1.5	0.1	347.2	22.43.83	1363.83	176.26	61197.472
Σ									404,467.742

Laju Aliran : 12.5 L/menit

No	P	Volt	Ampere Kompresor	Ampere Fan	Daya Total	Time	Time (s)	Δ Time	Ein1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	273.69375	222	0.9	0.1	222.1	01.01.38	61.38	61.38	13632.498
3	446.0625	223	1	0.1	245.3	02.13.24	133.24	71.86	17627.258
4	618.43125	223	1.1	0.1	267.6	03.38.87	218.87	85.63	22914.588
5	790.8	223	1.2	0.1	289.9	05.23.03	323.03	104.16	30195.984
6	963.16875	222	1.3	0.1	310.9	07.10.44	430.44	107.41	33393.769
7	1135.5375	223	1.3	0.1	312.2	08.57.49	537.49	107.05	33421.01
8	1307.90625	223	1.4	0.1	334.5	10.42.36	642.36	104.87	35079.015
9	1480.275	223	1.4	0.1	334.5	12.34.32	754.32	111.96	37450.62
10	1652.64375	223	1.5	0.1	356.8	14.34.81	874.81	120.49	42990.832

11	1825.0125	223	1.5	0.1	356.8	16.27.52	987.52	112.71	40214.928
Σ									306,920.502



LAMPIRAN 6
FOTO INSTALASI

