



**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PENDINGINAN TERHADAP  
KAPASITAS PENYIMPANAN DARI HASIL PURIFIKASI BIOGAS  
SISTEM KOMPRESI**

**SKRIPSI  
TEKNIK MESIN KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AGUNG RUSDIYANTO  
NIM. 135060201111042**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG  
2017**



## LEMBAR PENGESAHAN

### **PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PENDINGINAN TERHADAP KAPASITAS PENYIMPANAN DARI HASIL PURIFIKASI BIOGAS SISTEM KOMPRESI**

#### **SKRIPSI**

#### **TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AGUNG RUSDIYANTO**  
**NIM. 135060201111042**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 16 juni 2017

**DOSEN PEMBIMBING I**

**DOSEN PEMBIMBING II**

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

Khairul Anam, ST., MSc.  
NIP. 201310 861127 1 001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1

Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT.  
NIP. 19750802 199903 2 002





## LEMBAR PENGESAHAN

### **PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PENDINGINAN TERHADAP KAPASITAS PENYIMPANAN DARI HASIL PURIFIKASI BIOGAS SISTEM KOMPRESI**

#### JURNAL

#### TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AGUNG RUSDIYANTO**  
**NIM. 135060201111042**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 16 juni 2017

**DOSEN PEMBIMBING I**

**DOSEN PEMBIMBING II**

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

Khairul Anam, ST., MSc.  
NIP. 201310 861127 1 001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1

Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT.  
NIP. 19750802 199903 2 002







## 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 di terbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis di kutip 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 ini dibatalkan, serta di proses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 19 Juni 2017

Mahasiswa,

Agung Rusdiyanto

Nim. 135060201111042

**JUDUL SKRIPSI :****PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PENDINGINAN TERHADAP KAPASITAS PENYIMPANAN DARI HASIL PURIFIKASI BIOGAS SISTEM KOMPRESI****Nama Mahasiswa : Agung Rusdiyanto****Nim : 135060201111042****Program Studi : Teknik Mesin****Konsentrasi : Teknik Konversi Energi****KOMISI PEMBIMBING****Dosen Pembimbing I : Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT.****Dosen Pembimbing II : Khairul Anam, ST., MSc.****TIM DOSEN PENGUJI****Dosen Penguji 1 : Prof.Dr.Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.****Dosen Penguji 2 : Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE.****Dosen Penguji 3 : Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.****Tanggal Ujian : 08 Juni 2017****SK Penguji : 675/UN10.6./SK/2017**



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat-Nya dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Temperatur Pendinginan Terhadap Kapasitas Penyimpanan Dari Hasil Purifikasi Biogas Sistem Kompresi” ini dapat terselesaikan dengan baik.

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

1. Bapak Dr.Eng.Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Purnami, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Ibu Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT., selaku Kepala Program Studi S1 Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Ibu Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT., selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Teknik Konversi Energi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT., selaku dosen pembimbing I skripsi dan Kepala Laboratorium Tenaga Surya dan Energi Alternatif yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Khairul Anam, ST.,MSc. selaku dosen pembimbing II skripsi dan dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
7. Segenap Staf Pengajar khususnya dosen-dosen dan jajaran Staf Karyawan Jurusan Teknik Mesin dan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Kedua orangtua yang saya cintai dan sayangi Bapak Mujianto dan Ibu Rusdiatul Amanah yang selalu memberi semangat dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Bapak Nardi selaku pemilik bengkel Dewista AC yang telah membantu dalam pembuatan instalasi penelitian.
10. Teman seperjuangan Beni, Thowil dan Fahmi yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini.



11. Rekan-rekan asisten Laboratorium Tenaga Surya dan Energi Alternatif : Yunus, Falih, Dwiki, Farhan, dan Imam.
12. Teman-teman mesin angkatan 2013 yang selalu memberikan semangat, motivasi dan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. Teman-teman Griya Mahasiswa Nusantara yang selalu memberikan semangat, motivasi dan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.
14. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis bersedia menerima kritik yang bersifat membangun di kemudian hari. Semoga dapat memunculkan ide-ide baru, semangat untuk mengembangkan energi alternatif dan bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, 19 Juni 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Biogas .....	6
2.3 Pemurnian Biogas.....	9
2.3.1 Natrium Hidroksida (NaOH).....	10
2.3.2 Zeolit .....	11
2.3.3 Arang Aktif .....	14
2.4 Penyimpanan Biogas .....	17
2.5 Kompresor .....	18
2.6 Teori Kompresi Gas .....	18
2.6.1 Hubungan Tekanan dan Volume .....	19
2.6.2 Hubungan Volume dan Temperatur .....	20
2.6.3 Hubungan Tekanan dan Temperatur .....	20
2.6.4 Persamaan Keadaan .....	21
2.7 Hipotesa .....	22
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Metode Penelitian .....	23
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	23



3.3 Variabel Penelitian.....	23
3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....	24
3.4.1 Alat .....	24
3.4.2 Bahan Penelitian.....	31
3.5 Skema Penelitian .....	33
3.6 Prosedur Penelitian .....	33
3.7 Metode Pengambilan Data .....	34
3.8 Diagram Alir Penelitian .....	36
<b>BAB IV GRAFIK DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hubungan Antara Purificator terhadap Penurunan CO <sub>2</sub> pada Laju Aliran 7,5 Liter/menit .....	37
4.2 Hubungan Antara Tekanan Terhadap Temperatur Biogas dengan Menggunakan Proses Pendinginan dan Tanpa Pendinginan .....	38
4.3 Hubungan Antara Tekanan Terhadap Temperatur Biogas Pada Variasi Temperatur Pendinginan.....	39
4.4 Grafik Hubungan Tekanan terhadap Waktu Penyimpanan Biogas pada Temperatur Pendinginan yang berbeda .....	40
4.5 Hubungan Antara Variasi Temperatur Pendinginan Terhadap Densitas Biogas Pada Tekanan 1652,64 kPa .....	41
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
4.1 Kesimpulan .....	43
4.2 Saran .....	44

**DAFTAR PUSTAKA****LAMPIRAN**





## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Komposisi Kandungan Biogas.....	8
Tabel 2.2	Properti gas metana (CH <sub>4</sub> ).....	9
Tabel 2.3	Properti gas karbondioksida (CO <sub>2</sub> ).....	9
Tabel 2.4	Zat Pengotor Biogas dan Efek yang Ditimbulkan .....	10
Tabel 2.5	Komposisi Zeolit Alam Tanpa Aktivasi dan dengan Aktivasi .....	14
Tabel 2.6	Klasifikasi arang aktif berdasarkan bentuknya.....	15
Tabel 2.7	Kesesuaian Penyimpanan Biogas .....	17





## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Natrium Hidroksida (NaOH) .....	11
Gambar 2.2	Mekanisme Pengikatan CO <sub>2</sub> .....	12
Gambar 2.3	Analisis SEM pada zeolit.....	13
Gambar 2.4	Foto SEM dan EDS karbon Aktif.....	16
Gambar 2.5	Adsorpsi Pada Karbon Aktif.....	16
Gambar 2.6	Hubungan molekul dan tekanan gas .....	19
Gambar 3.1	Tabung CNG.....	24
Gambar 3.2	Tabung gas CO <sub>2</sub> .....	25
Gambar 3.3	<i>Flowmeter</i> gas.....	26
Gambar 3.4	<i>Pressure gauge</i> .....	26
Gambar 3.5	Thermokopel.....	27
Gambar 3.6	Selenoid .....	27
Gambar 3.7	Kompresor.....	28
Gambar 3.8	Tabung purifikasi NaOH .....	28
Gambar 3.9	Tabung purifikasi zeolit.....	29
Gambar 3.10	Tabung purifikasi arang aktif.....	29
Gambar 3.11	Frezzer .....	30
Gambar 3.12	Stargas.....	30
Gambar 3.13	Pipa tembaga.....	28
Gambar 3.14	Skema alat penelitian .....	30
Gambar 4.1	Hubungan antara sistem purifikasi terhadap kandungan CO <sub>2</sub> pada laju aliran 7,5 liter/menit .....	37
Gambar 4.2	Hubungan antara tekanan terhadap temperatur biogas dengan menggunakan proses pendinginan dan tanpa pendinginan.....	38
Gambar 4.3	Hubungan antara tekanan terhadap temperatur biogas pada variasi temperatur pendinginan .....	39
Gambar 4.4	Hubungan Tekanan terhadap Waktu Penyimpanan Biogas pada Temperatur Pendinginan yang berbeda .....	40
Gambar 4.5	Hubungan antara variasi temperatur pendinginan terhadap densitas biogas pada tekanan 1652,64 kPa.....	41







## DAFTAR LAMPIRAN

- | No.         | Judul  |
|-------------|--|
| Lampiran 1. | Data temperatur pada temperatur pendinginan $-5^{\circ}\text{C}$   |
| Lampiran 2. | Data temperatur pada temperatur pendinginan $-4^{\circ}\text{C}$   |
| Lampiran 3. | Data temperatur pada temperatur pendinginan $-3^{\circ}\text{C}$   |
| Lampiran 4. | Data temperatur rata-rata pada variasi temperatur pendinginan $-3^{\circ}\text{C}$ , $-4^{\circ}\text{C}$ , $-5^{\circ}\text{C}$ |
| Lampiran 5. | Contoh Perhitungan Densitas dan Massa Biogas dengan Interpolasi Tabel Properties $\text{CH}_4$ pada 1.6 MPa dan 1.8 MPa          |
| Lampiran 6. | Hasil purifikasi $\text{CO}_2$ pada laju aliran 7,5 L/menit  |

## RINGKASAN

**Agung Rusdiyanto**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2017, *Pengaruh Variasi Temperatur Pendinginan terhadap Kapasitas Penyimpanan dari Hasil Purifikasi Biogas Sistem Kompresi*, Dosen Pembimbing : Denny Widhiyanuriyawan dan Khairul Anam.

Pada saat ini, pemerintah dan masyarakat mengembangkan energi terbarukan (*renewable energy*) sebagai pengganti energi fosil yang menimbulkan polusi. Salah satu contoh energi alternatif yang diperoleh dari pengolahan biomassa adalah biogas. Biogas merupakan bahan bakar organik yang dihasilkan melalui proses fermentasi limbah organik secara anaerob. Akan tetapi, biogas masih mengandung gas CO<sub>2</sub> yang menyebabkan menurunnya nilai kalor pembakaran. Selain itu, proses penyimpanan biogas yang masih belum praktis dan maksimal. Dari permasalahan yang timbul akibat penggunaan biogas, maka dilakukan penelitian tentang penyimpanan biogas dari hasil proses purifikasi.

Pada penelitian ini akan diuji bagaimana pengaruh variasi temperatur pendinginan terhadap kapasitas penyimpanan dari hasil purifikasi biogas sistem kompresi. Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini pertama variabel bebas berupa temperatur pendinginan sebesar -3°C, -4°C, -5°C. Kemudian variabel terkontrol berupa bahan purifikasi NaOH, zeolite, dan arang aktif. Selain itu tekanan maksimalnya 225 psi dan laju alirannya 7,5 L/menit. Kemudian dilakukan pengukuran bagaimana pengaruh temperatur pendinginan terhadap massa penyimpanan biogas, kandungan kadar CO<sub>2</sub> biogas dan lama waktu proses penyimpanan biogas.

Hasil yang didapat dari proses pemurnian dengan kandungan awal CO<sub>2</sub> 40% setelah melewati larutan NaOH kadar CO<sub>2</sub> berkurang menjadi 3%, kemudian melewati zeolit kadar CO<sub>2</sub> menjadi 0,33% dan setelah melewati arang aktif kadar CO<sub>2</sub> menjadi 0. Adapun temperatur akhir saat tidak menggunakan media pendinginan sebesar 35, 2°C. akan tetapi, ketika menggunakan variasi temperatur -3°C, -4°C, dan -5°C menghasilkan temperatur akhir sebesar 23.3°C, 22.5°C, dan 21.6°C. Waktu yang dibutuhkan pada proses penyimpanan biogas sampai tekanan 225 psi dengan variasi temperatur pendinginan -3°C, -4°C, dan -5°C sebesar 6751 detik atau 01 jam 52 menit 31 detik, 7238 detik atau 2 jam 00.38 detik, 7699 atau 2 jam 08 menit 19 detik. Kemudian densitas biogas pada variasi temperatur pendinginan -3°C, -4°C, dan -5°C setelah melakukan perhitungan interpolasi pada tabel propertis didapatkan 11.087 kg/m<sup>3</sup>, 11.120 kg/m<sup>3</sup>, 11.158 kg/m<sup>3</sup> dan massa penyimpanan berturut-turut sebesar 88.699 gram, 88.965 gram, 89.264 gram.

Kata kunci : Biogas, fermentasi, CO<sub>2</sub>, NaOH, zeolit, densitas gas.



## SUMMARY

**Agung Rusdiyanto**, *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, May 2017, The Cooling Temperature Effect of Biogas Storage Compressed System, Academic Supervisor : Denny Widhiyanuriyawan and Khairul Anam.*

*At the moment, governments and communities were developing renewable energy as a replacement for fossil energy that causes pollution. One example of alternative energy obtained from biomass processing was biogas. Biogas was an organic fuel produced by anaerobic organic fermentation process. However, biogas still contains CO<sub>2</sub> gas which causes a decrease in burning calorific value. In addition, the biogas storage process was still not practical and maximal. From the problems using of biogas, then do research on biogas storage from the purification process.*

*This research would be tested how the influence of cooling temperature variation to the storage capacity of purification biogas compression system. The variables used in this research were free variables of cooling temperature -3°C, -4°C, -5°C. The controlled variables in this research were NaOH, zeolite, and activated charcoal. The maximum pressure 225 psi and the flow rate 7.5 L/min. The next activity was measured of the effect of cooling temperature toward biogas storage mass, CO<sub>2</sub> content in the biogas and duration of biogas storage process.*

*The results obtained from the purification process with the content of CO<sub>2</sub> 40% after passing the NaOH, content of CO<sub>2</sub> decreased to 3%. The next passed the zeolite, content of CO<sub>2</sub> 0.33% and passed through the activated charcoal content of CO<sub>2</sub> 0. The final temperature when not using Cooling was 35,2°C. However, when using a cooling temperature were -3°C, -4°C, and -5°C, it produces a final temperature were 23.3°C, 22.5°C, and 21.6°C. The time required for the biogas storage process to a pressure 225 psi with variations of cooling temperature were -3°C, -4°C, and -5°C at 6751 seconds or 01 hours 52 minutes 31 seconds, 7238 seconds or 2 hours 00.38 Second, 7699 seconds or 2 hours 08 minutes 19 seconds. The density of biogas at variation of cooling temperature were -3°C, -4°C, and -5°C. The density value after performing interpolation on table properties were found 11.087 kg/m<sup>3</sup>, 11.120 kg/m<sup>3</sup>, 11.158 kg/m<sup>3</sup> and mass in the storage 88,699 grams, 88,965 grams, 89,264 grams.*

**Keyword:** *Biogas fermentation, CO<sub>2</sub>, NaOH, zeolite, density.*



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Pada saat ini, pemerintah dan masyarakat mengembangkan energi terbarukan (renewable energy) sebagai pengganti energi fosil yang menimbulkan polusi. Energi terbarukan ialah energi yang memanfaatkan sumber daya alam yang bisa diperbarui. Contoh sumber daya alam yang dapat diperbarui adalah air, angin, sinar matahari, dan limbah organik. Adapun kelebihan energi terbarukan ini adalah murah, mudah dalam pengadaan, hemat, tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan serta bisa diproduksi massal dalam skala rumah tangga. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian ESDM, dalam beberapa tahun terakhir pertumbuhan konsumsi energi Indonesia mencapai 7% per tahun. Angka tersebut berada di atas pertumbuhan konsumsi energi dunia yaitu 2,6% per tahun. Konsumsi energi Indonesia tersebut terbagi untuk sektor industri (50%), transportasi (34%), rumah tangga (12%) dan komersial (4%) (ESDM, 2012). Maka dari itu, perlu adanya suatu energi alternatif yang bisa dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia. Salah satu energi alternatif yang mudah ditemukan di masyarakat adalah biogas. Biogas merupakan energi yang digunakan sebagai pengganti bahan bakar gas. Adapun proses pembuatan menggunakan bahan baku kotoran organik atau kotoran sapi. Kotoran sapi dimasukkan ke dalam digester yang kedap udara atau anaerob. Kemudian kotoran sapi terfermentasi selama beberapa hari. Sehingga kotoran sapi menghasilkan gas metana atau biogas.

Kotoran sapi merupakan suatu bahan pokok pembuatan biogas. Selama ini kotoran sapi belum banyak dimanfaatkan oleh masyarakat. Rata-rata masyarakat masih belum mengetahui cara pengelolaan limbah kotoran sapi menjadi produk yang bermanfaat. Ketika kotoran sapi tidak dimanfaatkan secara maksimal maka akan mengakibatkan pencemaran lingkungan. Berdasarkan hasil Pendataan Sapi Potong, Sapi Perah, dan Kerbau (PSPK) 2011 yang dilaksanakan serentak di seluruh Indonesia mulai 1-30 Juni 2011, populasi sapi potong mencapai 14,8 juta ekor; sapi perah 597,1 ribu ekor dan kerbau 1,3 juta ekor. Maka dari itu perlu adanya pengelolaan limbah kotoran sapi dengan baik. Sehingga kotoran sapi bisa dimanfaatkan oleh masyarakat dan tidak menjadi pencemaran lingkungan.



Selain itu bisa mengurangi pemanasan global akibat emisi dari gas metana. Gas metana adalah salah satu penyusun utama biogas. Biogas dengan kandungan gas metan ( $\text{CH}_4$ ) sebesar 54 % - 70 %, dan beberapa gas ikutan seperti karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) sebesar 27 % - 45 %,  $\text{N}_2$  3 % - 5 %,  $\text{H}_2$  1 % - 0 %,  $\text{O}_2$  0.1 %,  $\text{CO}$  0.1 % dan sejumlah kecil  $\text{H}_2\text{S}$  (Widarto dan Sudarto, 1997).

Gas metana adalah salah satu gas yang mudah terbakar. Semakin banyak kandungan gas metana maka nilai kalor pembakarannya semakin baik. Tetapi biogas masih mempunyai kandungan gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang dapat mengurangi nilai kalor pembakaran. Maka dari itu, perlu adanya proses pemurnian biogas agar hasil pembakarannya lebih maksimal. Proses pemurnian biogas dibedakan menjadi 2 yaitu dengan sistem adsorpsi dan sistem absorpsi. Pemurnian sistem adsorpsi adalah dengan menggunakan zat padat seperti arang aktif dan zeolit. Adapun pemurnian sistem absorpsi adalah dengan menggunakan larutan seperti larutan  $\text{NaOH}$ .

Proses penyimpanan gas metana menjadi kendala bagi para pemilik digester. Saat ini, penerapan penggunaan biogas dari digester hanya melalui pipa saluran gas. Sistem penyaluran gas melalui pipa akan beresiko kebocoran. Selain itu, proses penyimpanan biogas menggunakan plastik yang juga beresiko kebocoran. Sehingga perlu adanya penyimpanan gas metana yang lebih efisien dan tidak beresiko. Sistem penyimpanan gas yang efisien yaitu dengan cara di simpan didalam tabung gas. Untuk mendapatkan penyimpanan yang maksimal perlu adanya sistem kompresi dan pendinginan pada aliran gas. Sehingga gas metana bisa tersimpan didalam tabung dengan maksimal.

Penelitian tentang proses pemurnian biogas dan penyimpanan biogas ini berdasarkan penelitian sebelumnya. Pada proses pemurnian, menurut Hotma dkk (2015) dengan metode absorber larutan  $\text{NaOH}$  terhadap biogas pada proses purifikasi sistem kontinyu. Adapun hasilnya dengan menambah konsentrasi  $\text{NaOH}$  maka semakin banyak kadar  $\text{CO}_2$  yang dapat diserap. Kemudian menurut Widhiyanuriyawan dan sugiaro (2014) meneliti tentang purifikasi biogas menggunakan zeolit dan  $\text{NaOH}$ . Adapun hasilnya larutan  $\text{NaOH}$  kemampuannya menyerap  $\text{CO}_2$  lebih cepat dari pada zeolit. Trimandoko dkk (2015) dengan metode adsorber pengaruh massa zeolit terhadap kandungan biogas pada proses purifikasi biogas. Adapun hasilnya jika massa zeolit semakin banyak maka kandungan  $\text{CO}_2$  akan berkurang, hal ini dikarenakan luasan bidang kontak zeolit terhadap gas  $\text{CO}_2$  semakin bertambah. Menurut putra dkk(2011) dengan mengkombinasikan purifikasi zeolit dan arang aktif didapatkan semakin besar kandungan zeolit dan arang aktif maka penyerapan gas  $\text{CO}_2$  semakin maksimal. Menurut Iriani dan Heryadi dengan massa arang aktif semakin banyak

maka menyebabkan penurunan kadar CO<sub>2</sub> dan peningkatan kadar CH<sub>4</sub>. Menurut Ikhe (2016) melakukan penelitian bahwa NaOH, Zeolit, dan Arang aktif memiliki kemampuan untuk menurunkan kadar CO<sub>2</sub> yang merupakan inhibitor dalam biogas.

Penelitian sebelumnya yang membahas tentang penyimpanan biogas menurut Daniel, dkk (2014) melakukan penelitian penabungan biogas dari kotoran ternak sapi dengan tabung LPG 12 kg dihasilkan biogas sebesar 0,0859 m<sup>3</sup> dan tabung LPG 3 kg sebesar 0,0342 m<sup>3</sup>. Sriyanto (2009) melakukan penelitian tentang rekayasa mesin kompresi biogas. Dimana dengan tekanan 8 kg/cm<sup>2</sup> kedalam tabung LPG 3 kg gas metana yang tersimpan sebesar 102,9 gram. Pagan (2016) massa penyimpanan dari biogas dapat ditingkatkan dengan cara menurunkan temperaturnya sehingga nilai densitasnya akan semakin besar. Pada tabung penyimpanan biogas dengan volume sebesar 8 liter pada tekanan 1825.02 kPa, tanpa penggunaan *heat exchanger* didapatkan massa penyimpanan sebesar 91.08 gram. Sedangkan dengan menggunakan *heat exchanger* pada kecepatan fluida pendingin 2 m/s, 5 m/s, 7 m/s menghasilkan massa penyimpanan berturut-turut sebesar 99.66 gram, 100.25 gram, dan 100.61 gram.

Oleh karena itu pentingnya penelitian ini untuk mengatasi masalah tentang kualitas kandungan biogas dan proses penyimpanan biogas yang selama ini masih kurang maksimal. Salah satu alternatifnya yaitu dengan menambah temperatur pendinginan dengan bantuan *freezer* agar kapasitas penyimpanan biogas lebih besar. Biogas disimpan dalam tabung (*storage*) dengan sistem kompresi. Kemudian biogas yang masih mempunyai kandungan CO<sub>2</sub> harus dimurnikan dengan menggunakan NaOH, Zeolit, dan Arang aktif. Sehingga biogas bersih dari gas pengotor dan volume penyimpanan biogas lebih maksimal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang sudah dijelaskan diatas, maka rumusan masalah yang dapat disimpulkan dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi temperatur pendinginan terhadap kapasitas penyimpanan dari hasil purifikasi biogas sistem kompresi.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini difungsikan supaya permasalahan penelitian tidak meluas dalam berbagai topik. Berikut ini batasan masalah yang terdapat pada penelitian ini:

1. Biogas yang digunakan adalah campuran gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> dengan perbandingan 60% CH<sub>4</sub> dan 40% CO<sub>2</sub>.
2. Aliran biogas dianggap konstan pada setiap variasi pengujian yaitu 7,5 liter/menit.



3. Temperatur lingkungan mempengaruhi terhadap perubahan temperatur penyimpanan biogas kedalam tabung bertekanan.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbedaan variasi temperatur pendinginan terhadap penyimpanan hasil purifikasi biogas didalam tabung bertekanan dengan menggunakan sistem kompresi. Selain itu, penelitian ini juga memiliki tujuan untuk mengetahui kemampuan penyerapan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dengan menggunakan larutan NaOH, zeolit, dan arang aktif.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk memperoleh kapasitas penyimpanan biogas yang maksimal sehingga biogas bisa digunakan dalam jangka waktu yang lama.
2. Untuk memperoleh kandungan biogas murni tanpa kandungan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) sehingga nilai kalor pembakaran biogas maksimal.
3. Untuk menambah inovasi tentang teknologi tepat guna dalam mengembangkan energi baru terbarukan.
4. Untuk menambah wawasan masyarakat tentang pemanfaatan energi alternatif biogas agar masalah pencemaran lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah organik dapat terselesaikan.
5. Untuk menerapkan teori ilmu teknik mesin khususnya di bidang konversi energi.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang biogas sudah banyak dilakukan oleh beberapa orang. Adapun penelitian sebelumnya yang membahas tentang pemurnian dan penabungan biogas diantaranya yaitu, Pagan (2016) meneliti tentang pengaruh kecepatan fluida pendingin pada heat exchanger terhadap kapasitas penyimpanan biogas sistem kompresi. Pada penelitian ini, variable bebas yang digunakan adalah kecepatan fluida pendingin pada heat exchanger yaitu 2 m/s, 5 m/s, dan 7 m/s. Adapun hasilnya semakin tinggi kecepatan fluida pendingin maka semakin besar massa penyimpanan biogas. Dengan volume tabung penyimpanan biogas sebesar 8 liter pada tekanan 1825,02 kPa dengan kecepatan fluida pendingin 2 m/s, 5 m/s, dan 7 m/s menghasilkan massa penyimpanan berturut-turut sebesar 99.6 gram, 100.25 gram, dan 100.61 gram.

Ikhe (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh laju aliran biogas terhadap purifikasi dan penyimpanan CH<sub>4</sub> dengan sistem kompresi. Dalam penelitian ini dengan variasi laju aliran dalam proses pemurnian biogas yaitu sebesar 7.5 liter/menit, 10 liter/menit, 12.5 liter/menit. Dengan pemurnian CO<sub>2</sub> menggunakan larutan NaOH, zeolit, dan arang aktif. Hasil penelitian ini adalah semakin rendah laju aliran yang digunakan dalam pemurnian biogas maka semakin banyaknya CO<sub>2</sub> yang terserap. Pada laju aliran 7.5 liter/menit menghasilkan kadar akhir CO<sub>2</sub> sebesar 0%. Hal ini dikarenakan laju aliran yang rendah mampu menyerap gas CO<sub>2</sub> dengan sempurna. Adapun pada laju aliran 10 liter/menit dan 12.5 liter/menit menghasilkan kadar akhir CO<sub>2</sub> sebesar 1,25% dan 2%.

Daniel, dkk (2014) melakukan penelitian tentang analisis sifat dan proses penabungan biogas dari kotoran ternak sapi. Dalam penelitian ini, dengan menggunakan metode pemurnian atau absorpsi CO<sub>2</sub> didalam air. Tujuan dari penelitian ini untuk meningkatkan konsentrasi gas metan (CH<sub>4</sub>). Adapun hasil dari penelitian ini adalah hasil persentase tertinggi gas metan (CH<sub>4</sub>) yang telah diabsorpsi adalah 68,1%. Hasil penabungan biogas pada tabung LPG 12 kg dengan volume rata-rata gas metan yang masuk sebesar 0,0859 m<sup>3</sup>, membutuhkan waktu rata-rata pembakaran 25,38 menit dan pada tabung LPG 3 kg dengan volume rata-rata gas metan yang masuk sebesar 0,0342 m<sup>3</sup>, membutuhkan waktu



rata-rata pembakaran 3,01 menit menunjukkan bahwa penggunaan biogas yang ada dalam tabung LPG belum efektif dan belum cukup digunakan untuk memasak.

Sriyanto (2009) melakukan penelitian tentang rekayasa mesin kompresi biogas. Pada penelitian ini biogas yang dikompresi belum dilakukan proses pemurnian dari gas H<sub>2</sub>O dan uap air. Tempat penyimpanan pada penelitian ini menggunakan tabung LPG 3 kg. Adapun hasil dari penelitian ini adalah dengan menggunakan tekanan 8 kg/cm<sup>2</sup> kedalam tabung LPG 3 kg kapasitas gas metana yang tersimpan sebesar 102.9 gram.

Fadli, dkk (2013) melakukan penelitian tentang kaji eksperimental sistem penyimpanan biogas dengan metode pengkompresian dan pendinginan untuk menghasilkan gas methane (CH<sub>4</sub>) sebagai bahan bakar pengganti gas LPG. Dalam percobaan ini menggunakan variasi perbedaan temperatur sebesar 7<sup>0</sup>C dan 10<sup>0</sup>C dengan tekanan konstan 6 bar (87 psi). Adapun hasil dari percobaan ini adalah pada temperatur 7<sup>0</sup>C jumlah massa yang tersimpan sebesar 0,0364 kg atau 36.4 gram. Kemudian pada temperatur 10<sup>0</sup>C jumlah massa yang tersimpan sebesar 0,036 kg atau 36 gram.

## 2.2 Biogas

Biogas adalah salah satu sumber energi alternatif yang dapat dihasilkan dengan menggunakan teknologi sederhana. Biogas diperoleh dengan mengolah limbah organik atau biomassa di dalam alat kedap udara yang disebut digester. Biogas merupakan gas campuran metana (CH<sub>4</sub>), Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan gas lainnya yang didapatkan dari hasil penguraian material organik seperti kotoran hewan, kotoran manusia, tumbuhan oleh bakteri pengurai metanogen pada sebuah digester. Proses penguraian material organik terjadi secara anaerob (tanpa oksigen). Biogas terbentuk pada hari ke 4 – 5 sesudah digester terisi penuh, dan mencapai puncak pada hari ke 20 – 25. Biogas yang dihasilkan oleh digester sebagian besar terdiri dari 54–70 (% Volume) metana (CH<sub>4</sub>), 27–45 (% Volume) karbondioksida (CO<sub>2</sub>), dan gas lainnya dalam jumlah kecil (Rahmanta, 2010). Adapun kegunaan biogas untuk kebutuhan sehari-hari adalah biogas digunakan untuk memasak sebagai pengganti bahan bakar LPG, biogas digunakan sebagai lampu penerangan. Selain itu, saat ini biogas dikonversi menjadi listrik dengan bantuan genset. Kemudian sisa pembuangan limbah organik sisa dari produksi biogas masuk kedalam slurry. Lubang *slurry* adalah tempat untuk memisahkan antara limbah organik padatan dengan limbah organik berupa cairan. Dari lubang *slurry* bisa digunakan sebagai pupuk organik untuk tanaman. Jadi proses pembuatan

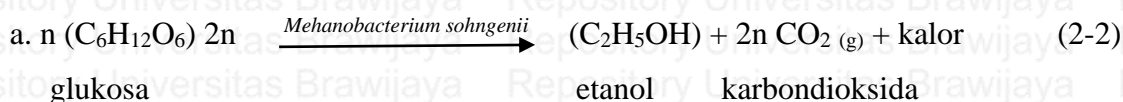
biogas dengan digester menghasilkan limbah yang bersih karena semua limbah organik terpakai untuk sesuatu yang lebih bermanfaat.

Biogas terbentuk karena limbah organik dimasukkan dalam digester yang kedap udara (*anaerob*). Secara umum, proses pencernaan atau pembuatan biogas dari limbah organik sampai menghasilkan biogas dimulai dari proses fermentasi anaerob dan mengalami proses biokimia. Proses secara kimia pembuatan biogas dibantu oleh kelompok bakteri anaerob dengan 3 tahap. Adapun 3 tahap proses kimia pembuatan biogas yaitu hidrolisis (*liquefaction*), asidifikasi (*acyd production*), dan metanogenesis (*biogas production*).

Proses hidrolisis adalah proses dimana bahan yang tidak bisa terlarut seperti lemak, protein, asam nukleat dan lain-lain menjadi bahan yang mudah larut. Pada tahap ini polimer-polimer seperti selulosa, polisakarida, dan lipid menjadi monosakarida. Adapun reaksi proses hidrolisis ini adalah



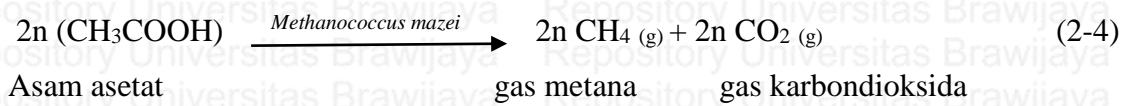
Proses asidifikasi (*acyd production*) atau tahap pengasaman. Pada proses ini bakteri anaerobic dapat tumbuh dan berkembang menghasilkan asam. Pembentukan asam dalam kondisi anaerob sangat penting digunakan dalam proses selanjutnya. Tahap pengasaman ini mikroorganisme menjadi asam-asam organik misalnya asam asetat ( $CH_3COOH$ ). Adapun reaksi proses asidifikasi ini adalah:



Proses Metanogenik atau tahap pembentukan gas metana. Pada tahap ini bakteri penghasil asam dan gas metana saling bekerja secara simbiosis. Dimana bakteri penghasil asam membentuk keadaan atmosfer yang ideal untuk bakteri penghasil metana, sedangkan bakteri pembentuk gas metana memanfaatkan asam yang dihasilkan dari bakteri penghasil asam. Proses ini berlangsung selama 14 hari dengan suhu  $25^{\circ}C$  hingga  $35^{\circ}C$  didalam digester. Pada proses ini dihasilkan 70% kandungan  $CH_4$ , 30% kandungan karbondioksida ( $CO_2$ ), dan sedikit  $H_2S$  dan  $H_2$  (Price dan Cheremisinoff, 1981). Adapun reaksi dari proses metanogenik



yang mana bakteri *methanococcus mazei* mengubah asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) menjadi gas metana dan karbondioksida.



Jadi berdasarkan proses kimia pembentukan biogas diatas gas yang paling utama sebagai penyusun biogas adalah gas metana dan gas karbondioksida. Dimana gas metana kandungannya lebih besar daripada gas karbondioksida. Akan tetapi, ada beberapa gas yang terkandung didalam biogas contohnya gas nitrogen, hidrogen, oksigen dan hydrogen sulfida.

Adapun presentase kandungan beberapa gas yang terdapat di biogas dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1  
Komposisi Kandungan Biogas

Komponen	Persentase (% Volume)
<b>Metana (CH<sub>4</sub>)</b>	55-75
<b>Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>)</b>	25-45
<b>Nitrogen (N<sub>2</sub>)</b>	0-0.3
<b>Hidrogen (H<sub>2</sub>)</b>	1-5
<b>Hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S)</b>	0-3
<b>Oksigen (O<sub>2</sub>)</b>	0.1-0.5

Sumber : Hermawan. B, dkk. 2007

Metana ( $\text{CH}_4$ ) adalah hidrokarbon paling sederhana dan paling ringan. Beberapa kelebihan bahan bakar gas metana dibanding bahan bakar yang lain adalah bahan bakar ini dapat terbakar tanpa adanya asap dan bau polutan. Jadi gas metana adalah gas yang ramah lingkungan. Selain itu proses pembakarannya juga bisa mendekati sempurna dengan persentase udara yang sangat kecil. Adapun sifat gas metana dapat dilihat dalam tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2.2  
Properti gas metana ( $\text{CH}_4$ )

BESARAN	HARGA BESARAN
Massa molar	16,04 kg/kmol
Densitas pada suhu 25 °C ( $\rho$ )	0,6604 kg/m <sup>3</sup>
Konstanta gas (R)	0,5182 kJ/(kg.°K)
Kalor spesifik pada tekanan konstan ( $C_p$ )	2,226 kJ/(kg.°K)
Kalor spesifik pada volume konstan ( $C_v$ )	1,708 kJ/(kg.°K)

Sumber : Cengel and Cimbula "Fluid Mechanics fundamental and Application" Table A-1 Page 886, Table A-10 Page 895)

Sedangkan gas  $\text{CO}_2$  yang kandungannya hampir 40% dalam biogas mempunyai pengaruh dalam nilai kalor pembakaran biogas. Karbondioksida sangat merugikan dan bisa menurunkan kualitas dari biogas. Karbondioksida adalah suatu gas yang dianggap sebagai gas rumah kaca karena mempunyai emisi gas buang yang tinggi. Karbondioksida harus dikurangi dalam biogas dengan cara melakukan pemurnian (*purification*) biogas. Adapun sifat gas karbondioksida dapat dilihat pada table 2.3.

Tabel 2.3  
Properti gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ )

BESARAN	HARGA BESARAN
Massa molar	44,01 kg/kmol
Densitas pada suhu 25 °C ( $\rho$ )	1,153 kg/m <sup>3</sup>
Konstanta gas (R)	0,1889 kJ/(kg.°K)
Kalor spesifik pada tekanan konstan ( $C_p$ )	0,8439 kJ/(kg.°K)
Kalor spesifik pada volume konstan ( $C_v$ )	0,6550 kJ/(kg.°K)

Sumber : Cengel and Cimbula "Fluid Mechanics fundamental and Application" Table A-1 Page 886, Table A-10 Page 895)

### 2.3 Pemurnian Biogas

Pada saat ini biogas masih memiliki kualitas yang kurang bagus. Dalam lapangan biogas masih banyak memiliki kandungan gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dan gas hidrogen sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Beberapa gas tersebut merupakan termasuk gas pengotor yang terdapat di biogas. Gas pengotor ini akan merugikan dan menurunkan kualitas nilai kalor biogas. Berikut ini tabel 2.4 adalah zat atau gas pengotor yang terdapat dalam kandungan biogas dan efek yang ditimbulkan:



Tabel 2.4  
Zat Pengotor Biogas dan Efek yang Ditimbulkan

Zat Pengotor	Efek yang Ditimbulkan
<b>Air</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Korosi dalam kompresor, tangki penyimpanan gas dan mesin karena reaksi dengan H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> dan CO<sub>2</sub> untuk membentuk asam.</li> <li>Kondensasi atau pembekuan karena tekanan tinggi.</li> </ul>
<b>Debu</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menyumbat karena menimbulkan endapan dalam kompresor, dan gas tangki penyimpanan.</li> </ul>
<b>H<sub>2</sub>S</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Korosi dalam kompresor, tangki penyimpanan gas dan mesin.</li> <li>Beracun bila konsentrasi H<sub>2</sub>S (&gt; 5cm<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup>).</li> <li>SO<sub>2</sub> dan SO<sub>3</sub> yang terbentuk akibat pembakaran, lebih beracun dari H<sub>2</sub>S dan menyebabkan korosi dengan air.</li> </ul>
<b>CO<sub>2</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nilai kalor rendah.</li> </ul>
<b>NH<sub>3</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Korosi bila larut dalam air.</li> </ul>
<b>O<sub>2</sub> / udara</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mudah meledak jika kandungan O<sub>2</sub> dalam biogas tinggi.</li> </ul>

Sumber : Ryckebosch, E *et. al.* 2011: 2

Dari tabel diatas menunjukkan banyak kandungan gas yang merugikan pada biogas. Oleh karena itu, perlu adanya proses pemurnian biogas yang maksimal. Proses pemurnian biogas terbagi menjadi dua yaitu metode absorpsi kimia dan adsorpsi fisika (padatan). Proses pemurnian (*purifikasi*) dengan metode absorpsi kimia menggunakan larutan NaOH. Sedangkan proses pemurnian metode adsorpsi fisika dengan menggunakan padatan seperti zeolit dan arang aktif.

### 2.3.1 Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida (NaOH) juga dikenal sebagai soda kaustik atau sodium hidroksida merupakan jenis basa logam kaustik. Natrium hidroksida terbentuk dari oksida basa natrium oksida yang dilarutkan dalam air. Natrium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan dalam air. Natrium hidroksida digunakan di dalam berbagai macam bidang industri. Kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses industri bubur kayu, kertas, tekstil, air minum, sabun, dan deterjen. Selain itu natrium hidroksida juga merupakan basa yang paling umum digunakan dalam laboratorium kimia.

Natrium hidroksida murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pelet, serpihan, butiran, dan larutan jenuh 50%. NaOH bersifat lembap cair dan secara spontan menyerap karbon dioksida dari udara bebas. NaOH juga sangat larut dalam air dan akan

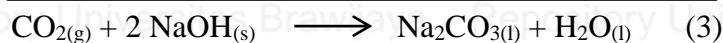
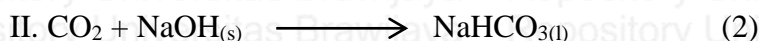
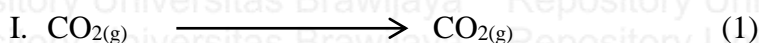
melepaskan kalor ketika dilarutkan dalam air. Larutan NaOH meninggalkan noda kuning pada kain dan kertas. Adapun fisika NaOH sebagai berikut :

- a. Penampilan : zat padat putih
- b. Densitas : 2,1 gr/cm<sup>3</sup> (padat)
- c. Titik lebur : 318 °C (591 K)
- d. Titik didih : 1390 °C (1663 K)
- e. Kelarutan dalam air : 111 g/100 ml (20 °C)



Gambar 2.1 Natrium Hidroksida (NaOH)  
Sumber : Bisakimia.com.2015

Natrium hidroksida dapat digunakan untuk menyerap kandungan CO<sub>2</sub> yang terkandung dalam biogas. Reaksi CO<sub>2</sub> dengan NaOH dalam biogas dapat dituliskan sebagai berikut.



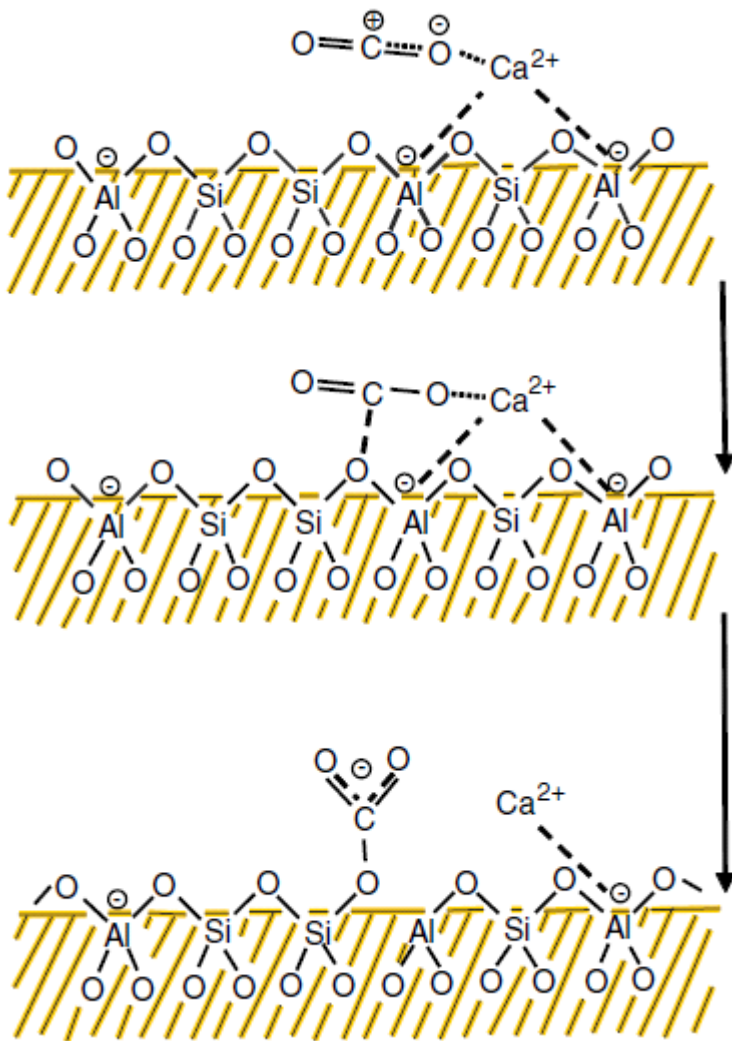
Dari proses pemurnian ini biogas masih mengandung H<sub>2</sub>O sehingga pemurnian lanjutan.

### 2.3.2 Zeolit

Zeolit adalah suatu batuan yang termasuk alumina silikat terhidrat berasal yang tersusun atas tetrahedral-tetrahedral alumina (AlO<sub>4</sub>)<sup>5-</sup> dan silika (SiO<sub>4</sub>)<sup>4-</sup> yang membentuk struktur bermuatan negatif dan berongga/berpori. Pada umumnya zeolit dibedakan menjadi dua, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetik. Zeolit alam mengandung kation-kation K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> atau Mg<sup>2+</sup> sedangkan zeolit sintetik mengandung kation-kation K<sup>+</sup> atau Na<sup>+</sup>. Sebelum digunakan sebagai purifikasi zeolit alam perlu diaktivasi terlebih dahulu. Hal ini dikarenakan



adanya adanya molekul air dalam pori dan oksida bebas di permukaan seperti  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  dapat menutupi pori-pori sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalisis dari zeolit tersebut. Adapun aktivasi zeolit alam dibedakan menjadi dua cara. Cara pertama yaitu secara fisika, dimana aktivasi dilakukan dengan pemanasan pada suhu  $300\text{-}400^\circ\text{C}$  untuk melepaskan molekul air. Sedangkan cara kedua yaitu secara kimia, dilakukan melalui pencucian zeolit dengan larutan  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  atau larutan asam maupun basa seperti  $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$  dan  $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$  untuk menghilangkan oksida-oksida pengotor yang menutupi permukaan pori.



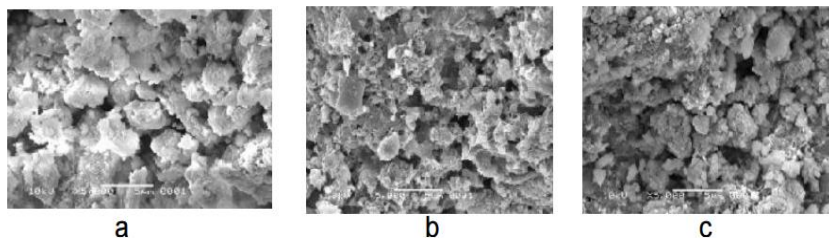
Gambar 2.2 Mekanisme Pengikatan  $\text{CO}_2$   
Sumber : Bonenfant. 2008

Zeolit memiliki kemampuan untuk menyerap kandungan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  dalam biogas karena zeolit memiliki pori - pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan atau menyaring molekul dengan ukuran tertentu (Denny, dkk, 2011; Persson, 2003). Menurut Wahyudi (2016) melakukan penelitian tentang pemurnian biogas menggunakan

zeolit. Dimana zeolit direndam pada larutan basa KOH dengan konsentrasi 15%. Kemudian zeolit diaktivasi terlebih dahulu dengan cara memanaskan zeolit pada suhu 200°C selama 2 jam. Adapun hasilnya zeolit mampu menyerap gas CO<sub>2</sub> hingga kandungannya turun menjadi 2,75% dari yang semula sebesar 20%. Adapun fisika KOH sebagai berikut :

Titik lebur	: 406 °C
Titik didih	: 1327 °C
Densitas	: 2.044 gr/cm <sup>3</sup>
Kelarutan dalam air	: 1210 g/L (25 °C) 1780 g/L (100 °C)
Wujud	: Padatan putih, deliquescent

Hasil analisa SEM untuk zeolit alam sebelum dan sesudah mengalami perlakuan dapat dilihat pada Gambar 2.3, sedangkan analisa komposisinya dapat dilihat pada Tabel 2.5. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa setelah mengalami perlakuan atau aktivasi terjadi perubahan struktur zeolit. Ukuran kristal zeolit setelah mengalami aktivasi berubah menjadi lebih kecil, dikarenakan terjadi peningkatan volume pori. Hal ini merupakan salah satu faktor yang menyebabkan peningkatan kemampuan adsorpsi zeolit setelah mengalami aktivasi. Namun pada aktivasi dengan panas (fisis) ukuran kristal zeolit relatif kurang seragam bila dibandingkan dengan zeolit yang diaktivasi dengan NaOH, sehingga menyebabkan kemampuan adsorpsi zeolit ini lebih rendah.



Gambar 2.3 Analisis SEM pada (a) Zeolit alam tanpa aktivasi, (b) Zeolit alam dengan aktivasi KOH, (c) Zeolit alam dengan aktivasi panas/fisis

Sumber : djaeni,dkk. 2015



Tabel 2.5  
Komposisi Zeolit Alam Tanpa Aktivasi dan dengan Aktivasi

Komponen	Tanpa Aktivasi (%)	Aktivasi KOH (%) <sup>a</sup>	Aktivasi Fisis (%) <sup>b</sup>
Na <sub>2</sub> O	0,75	4,10	0,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,68	10,55	10,63
SiO <sub>2</sub>	74,88	61,95	75,08
K <sub>2</sub> O	4,98	7,11	6,76
CaO	3,55	10,53	1,88

Keterangan:

<sup>a</sup> = Zeolit aktivasi KOH adalah zeolit alam yang diaktivasi dengan KOH pada suhu 70<sup>o</sup>C




<sup>b</sup> = Zeolit aktivasi fisis adalah zeolit yang diaktivasi dengan panas 300<sup>o</sup>C selama 3 jam

Sumber : djaeni,dkk. 2015

### 2.3.3 Arang Aktif

Arang aktif berasal dari arang yang telah mengalami perubahan sifat-sifat fisika dan kimia akibat diberi perlakuan khusus yang bertujuan untuk aktivasi menggunakan aktivator dari bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi, sehingga kemampuan arang sebagai adsorben dapat meningkat. Sifat yang dimiliki arang aktif yaitu mempunyai kemampuan tinggi sebagai adsorben bahan kimia dalam fase gas atau cairan tergantung dari ukuran pori. Adsorpsi adalah proses pengumpulan substansi terlarut yang ada dalam larutan oleh permukaan benda penyerap dimana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dan penyerapnya. Proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai proses molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat penyerap akibat ikatan fisika dan kimia. Permukaan padatan yang kontak dengan suatu larutan cenderung untuk menghimpun lapisan dari molekul- molekul zat terlarut permukaannya akibat ketidakseimbangan gaya-gaya pada permukaan.

Tabel 2.6  
Klasifikasi arang aktif berdasarkan bentuknya

Jenis Karbon	Ukuran (mm)	Kegunaan	Bentuk
<i>Powdered Activated Carbon (PAC)</i>	<0.18	Digunakan pada fasa cair	
<i>Granular Activated Carbon (GAC)</i>	0.2-5	Digunakan pada fasa cair dan gas	
<i>Extruded Activated Carbon (EAC)</i>	0.8-5	Digunakan pada fasa gas	

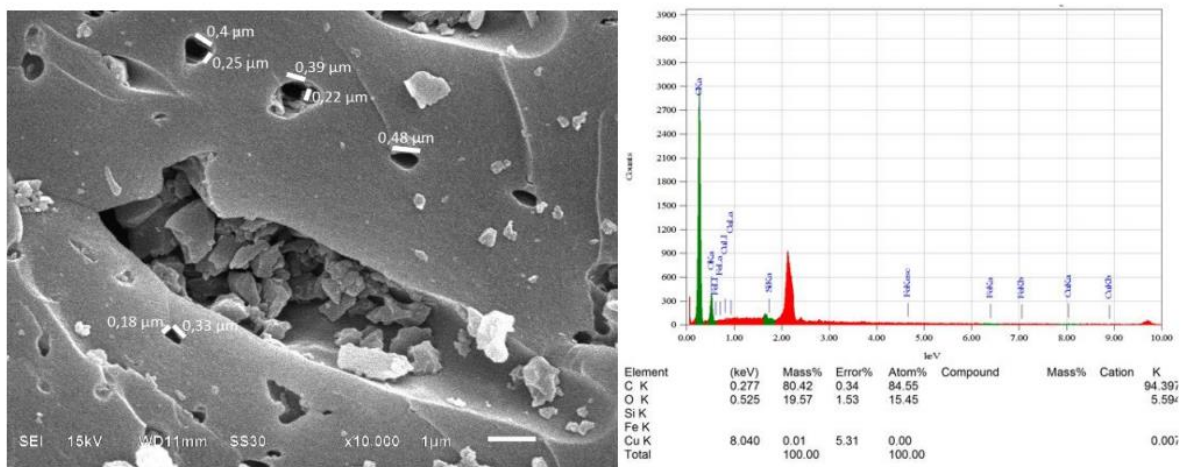
Sumber : Martiin, 2008

Untuk meningkatkan kemampuan adsorbsinya, arang harus di aktivasi terlebih dahulu. Pada aktivasi fisika, karbon dipanaskan pada suhu sekitar 800-1000°C. Setelah proses pemanasan dialirkan gas pengoksidasi seperti uap air, oksigen atau CO<sub>2</sub>. Gas pengoksidasi akan bereaksi dengan karbon dan melepaskan karbon monoksida dan hidrogen untuk gas pengoksidasi berupa uap air. Senyawa-senyawa produk samping pun akan terlepas pada proses ini sehingga akan memperluas pori dan meningkatkan daya adsorpsi.

Sedangkan aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan cara merendam arang dengan bahan pengaktif seperti H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>, KOH, dan NaOH berfungsi untuk menghilangkan atau mengeluarkan kotoran-kotoran yang terdapat pada permukaan arang berupa senyawa-senyawa hidrokarbon atau tar yang melapisi permukaan. Kualitas dari arang aktif juga dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain bahan baku yang digunakan,



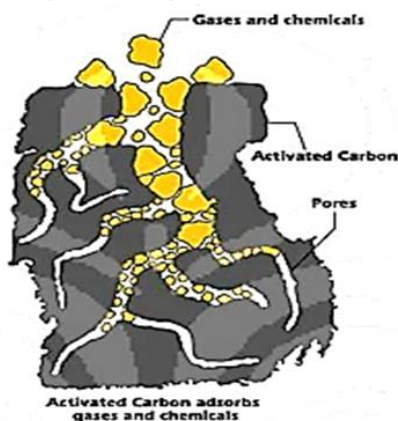
bahan pengaktif, suhu dan cara pengaktifannya (Darwawan, 2008). Dibawah ini adalah uji SEM pada karbon aktif.



Gambar 2.4 (a) Foto SEM karbon aktif dengan perbesaran 10.000x dan (b) EDS karbon aktif

Sumber : Astuti, 2015

Dari Gambar 2.4 (a) terlihat distribusi pori karbon aktif hampir merata, dimana ukuran pori hampir sama antara satu dengan yang lainnya. Ukuran pori yang didapat memiliki panjang rata-rata 4 μm dan lebar rata-rata 2 μm. Proses aktivasi yang telah dilakukan dengan temperatur 600°C menyebabkan pori-pori pada permukaan karbon aktif banyak yang terbuka. Hal ini dikarenakan larutan pengaktivasi  $H_3PO_4$  dapat mengurangi hidrokarbon yang melapisi permukaan karbon aktif. Gambar 2.4 (b) merupakan EDS karbon aktif yang telah diaktivasi dengan  $H_3PO_4$  2,5%, dimana terdeteksi unsur C, O dan Cu. Unsur karbon yang terdapat pada karbon aktif sebesar 80,42%, oksigen 19,57% dan Cu 0,01%. Hal tersebut telah memenuhi persyaratan standar karbon aktif SII 0258 – 79 dengan syarat kualitas karbon aktif murni dalam bentuk serbuk minimal 65%.



Gambar 2.5 Adsorpsi Pada Karbon Aktif  
Sumber : Khairunisa, 2008

## 2.4 Penyimpanan Biogas

Metana sebagai komponen utama biogas, merupakan gas yang tidak dapat dimampatkan dalam bentuk cair ke dalam tangki seperti halnya sumber energi berupa gas yang lain (LPG dan LNG), sehingga sebagai sumber energi menemui kesulitan untuk dapat dipergunakan disemua tempat dan setiap saat karena sulit disimpan. Kesulitan penyimpanan tersebut terjadi karena sifat gas yang memuai apabila terjadi kenaikan suhu dan mempunyai tekanan semakin besar, sehingga memerlukan tangki penyimpanan berdinding tebal agar tidak meledak jika terjadi kenaikan suhu secara mendadak. Gas juga memiliki massa jenis yang kecil, sehingga memerlukan tangki yang cukup besar untuk menampung sejumlah gas untuk memenuhi kebutuhan energi dalam waktu yang lama. (Wahono.KS ; 2015)

Tabel 2.5  
Kesesuaian Penyimpanan Biogas

Tujuan Penyimpanan	Tekanan (psi)	Alat Penyimpanan	Material	Ukuran (ft <sup>3</sup> )
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	Tangki Propana atau Butana	Baja	2000
	>2.900	Tabung gas komersial	Baja Paduan	350

Sumber : Walsh et all, 1996.



## 2.5 Kompresor

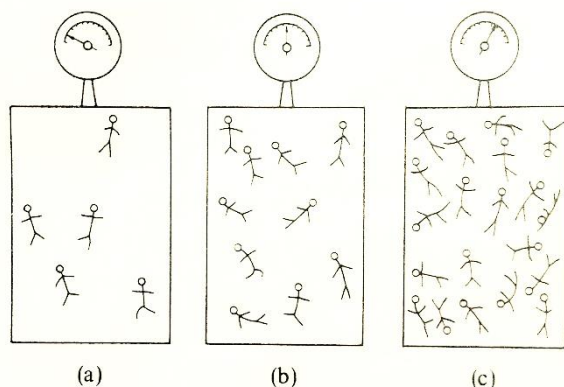
Kompresor adalah mesin atau alat mekanik yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan atau memampatkan fluida gas atau udara. Kompresor biasanya menggunakan motor listrik, mesin diesel atau mesin bensin sebagai tenaga penggerakannya. Adapun prinsip kerja kompresor adalah dari energi mekanik yang berasal dari gerakan motor diubah menjadi energi tekan. Tujuan dari proses kompresi ini untuk memindahkan fluida gas dari tekanan rendah ke tekanan yang lebih tinggi. Udara bertekanan hasil dari kompresor biasanya diaplikasikan atau digunakan pada pengecatan dengan teknik spray/ air brush, untuk mengisi angin ban, pembersihan, pneumatik, penyimpanan gas dan lain sebagainya.

Salah satu jenis kompresor yang digunakan untuk memampatkan gas adalah kompresor rotary. Kompresor Rotari Baling-baling Luncur Secara eksentrik rotor dipasang berputar dalam rumah yang berbentuk silindris, mempunyai lubang-lubang masuk dan keluar. Keuntungan dari kompresor jenis ini adalah mempunyai bentuk yang pendek dan kecil, sehingga menghemat ruangan. Bahkan suaranya tidak berisik, dapat menghantarkan dan menghasilkan udara secara terus menerus. Baling-baling luncur dimasukkan ke dalam lubang yang tergabung dalam rotor dan ruangan dengan bentuk dinding silindris. Ketika rotor mulai berputar, energi gaya sentrifugal baling-balingnya akan melawan dinding. Karena bentuk dari rumah baling-baling itu sendiri yang tidak sepusat dengan rotornya maka ukuran ruangan dapat diperbesar atau diperkecil menurut arah masuknya (mengalirnya) udara.

## 2.6 Teori Kompresi Gas

Fluida dibedakan menjadi dua yaitu fluida tak mampu mampat (*Incompressible*) dan fluida mampu mampat (*compressible*). Fluida yang tak mampu mampat (*Incompressible*) adalah zat cair misalkan air, dan minyak. Fluida yang mampu mampat adalah gas. Udara adalah salah satu gas yang biasanya sebagai fluida kerja pada kompresor, sehingga diperoleh udara yang mampu dimampatkan atau fluida mampu mampat (*compressible*). Pada teori kompresi gas ketika tekanan dan temperatur yang masuk dalam kompresor berubah maka mengakibatkan massa jenis gas juga berubah. Proses pemampatan akan menaikkan tekanan dan temperatur, sehingga terjadi perubahan volume dan densitas gas tersebut berubah.

Pada teori kompresi gas atau udara ketika menempati suatu bejana tertutup maka pada bejana tersebut akan bekerja suatu gaya. Gaya per satuan luas dinding ini yang dinamakan dengan tekanan. Jika tekanan dinaikkan maka molekul-molekul gas akan semakin rapat pada bejana tersebut. Jika temperatur dinaikkan maka gerakan molekul-molekul gas akan menjadi semakin cepat. Jadi dengan volume bejana yang tetap maka tekanan akan menjadi lebih besar dan molekul-molekul gas juga semakin besar. Hal ini dijelaskan pada gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 Hubungan molekul dan tekanan gas  
Sumber: Sularso, 1985

Dari gambar diatas, dijelaskan bejana berisi gas yang bertemperatur rendah dimana molekul-molekul yang mengalami tumbukan sangat sedikit. Jika temperatur dinaikkan dengan volume tetap maka tumbukan antar molekul gas semakin banyak, sehingga tekanan gas semakin naik. Adapun penjelasan teori tentang perubahan volume gas jika ditambah temperatur dan tekanannya dijelaskan dalam teori persamaan gas ideal.

### 2.6.1 Hubungan Tekanan Dan Volume

Molekul-molekul gas akan semakin meningkat dengan bertambahnya tekanan gas. Hubungan tekanan (P) dan volume (V) gas dalam proses kompresi adalah jika temperatur gas dianggap konstan, maka peningkatan tekanan akan mempengaruhi terhadap volume gas. Jadi jika gas dikompresikan pada temperatur tetap, maka tekanannya akan berbanding terbalik dengan volumenya. (Sularso,1996). Hal ini sesuai hukum Boyle “pada suhu tetap, tekanan berbanding terbalik dengan volumenya” yang dirumuskan dalam persamaan (2-5):

$$P V = \text{konstan} \text{ atau } P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (2-5)$$

Keterangan :

$P_1$  = tekanan gas awal ( $\text{N/m}^2$ )

$V_1$  = volume gas awal ( $\text{m}^3$ )



$P_2$  = tekanan gas akhir ( $N/m^2$ )

$V_2$  = volume akhir ( $m^3$ )

### 2.6.2 Hubungan Volume Dan Temperatur

Molekul-molekul gas akan mengembang jika dipanaskan pada tekanan tetap. Gas mempunyai koefisien muai yang jauh lebih besar dibandingkan zat padat dan zat cair. Semua macam gas ketika dinaikkan temperaturnya sebesar  $1^\circ C$  pada tekanan tetap, akan mengalami penambahan volume sebesar  $1/273$  dari volumenya pada  $0^\circ C$ . Sebaliknya ketika diturunkan temperaturnya sebesar  $1^\circ C$ , akan mengalami penurunan volume (Sularso, 1996). Hal ini sesuai dengan hukum Jacques Charles yang berbunyi “volume gas berbanding lurus dengan temperatur, jika tekan gas dalam ruang tertutup dijaga konstan”. Hukum Charles dituliskan dalam bentuk persamaan (2-6):

$$\frac{V}{T} = \text{Konstan atau } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (2-6)$$

Keterangan:

$V_1$  = volume gas awal ( $m^3$ )

$V_2$  = volume gas akhir ( $m^3$ )

$T_1$  = temperatur mutlak awal (K)

$T_2$  = temperatur mutlak akhir (K)

### 2.6.3 Hubungan Tekanan Dan Temperatur

Hubungan tekanan dan temperatur pada teori kompresi adalah jika tekanan naik maka temperaturnya juga naik pada saat volume gas tetap. Hal ini sesuai dengan hukum Joseph Gay Lussac. Yang mana Gay lussac meneliti tentang hubungan tekanan dan temperatur gas pada volume tetap. Adapun hukum Gay Lussac menyatakan: Jika volume gas pada ruang tertutup dibuat tetap, maka tekanan gas berbanding lurus dengan temperatur gas. Hukum Gay Lussac yang dituliskan dalam persamaan (2-7) :

$$\frac{P}{T} = \text{Konstan atau } \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (2-7)$$

Keterangan :

$P_1$  = tekanan gas awal ( $N/m^2$ )

$T_1$  = temperatur mutlak awal (K)

$P_2$  = tekanan gas akhir ( $N/m^2$ )

$T_2$  = temperatur mutlak akhir (K)

### 2.6.4 Persamaan Keadaan

Hukum Boyle, hukum Charles, dan hukum Gay Lussac dapat digabungkan menjadi satu persamaan. gabungan ketiga hukum tersebut disebut dengan hukum Boyle-Gay Lussac.

Hukum ini menggabungkan antara Tekanan, Volume dan Temperatur. Hukum ini dinyatakan dalam bentuk persamaan (2-8) :

$$\frac{PV}{T} = \text{Konstan atau } \frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \quad (2-8)$$

Keterangan :

$P_1$  = tekanan gas awal ( $N/m^2$ )

$T_1$  = temperatur mutlak awal (K)

$P_2$  = tekanan gas akhir ( $N/m^2$ )

$T_2$  = temperatur mutlak akhir (K)

$V_1$  = volume gas awal ( $m^3$ )

$V_2$  = volume gas akhir ( $m^3$ )

Tekanan, volume, dan Temperatur pada gas yang berbeda mempunyai karakteristik yang berbeda. Untuk itu diperlukan satu konstanta lagi yang dapat digunakan untuk semua jenis gas. Konstanta tersebut adalah konstanta Boltzman ( $k$ ). Jadi, dapat dituliskan dalam bentuk persamaan berikut :

$$PV = NkT \text{ Atau } PV = nN_A kT \quad (2-9)$$

Keterangan:

$N$  = jumlah molekul gas

$N_A$  = bilangan Avogadro ( $6,02 \times 10^{23}$  molekul/mol)

$n$  = jumlah mol gas

$k$  = konstanta Boltzman ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K)

Pada persamaan tersebut,  $N_A k$  disebut dengan konstanta gas umum ( $R$ ). Jadi, persamaan gas tersebut dapat diubah menjadi :

$$PV = nRT \quad (2-10)$$

Keterangan:

$R$  = konstanta gas umum ( $8,314$  J/mol)

$P$  = Tekanan mutlak ( $kg/m^2$ )

$V$  = Volume ( $m^3$ )

$T$  = Temperatur mutlak ( $^{\circ}C$ )

$n$  = jumlah mol gas



Persamaan (2-10) dapat dituliskan dalam bentuk lain dengan meninjau besar dari volume gas tiap satuan berat :

$$P \times v = R \times T \quad (2-11)$$

Dimana  $v$  adalah volume spesifik ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ) dan nilai  $v = \frac{1}{\rho}$  dengan  $\rho$  adalah berat jenis ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), maka persamaan (2-8) dapat ditulis sebagai :

$$\frac{P}{\rho} = RT \quad (2-12)$$

$$\frac{Pv}{T} = R = \text{konstan} \quad (2-13)$$

## 2.7 Hipotesa

Kapasitas penyimpanan biogas pada tabung bertekanan dapat ditingkatkan dengan cara menurunkan temperatur biogas, sehingga mengakibatkan nilai densitasnya semakin besar.

Ketika nilai densitasnya semakin meningkat, maka pada volume penyimpanan biogas yang sama akan menghasilkan massa penyimpanan yang lebih besar.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental nyata (*True Experimental Research*). Adapun tujuan dari metode penelitian experimental adalah untuk meneliti hubungan sebab dan akibat antar variabel suatu proses. Dengan metode ini akan diuji pengaruh temperatur pendinginan terhadap kapasitas penyimpanan dari hasil purifikasi biogas sistem kompresi.

### 3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian

Untuk waktu dan tempat penelitian dimulai pada bulan Mei 2017 – Juni 2017. Adapun tempat penelitiannya di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Pembuatan alat instalasi penelitiannya di bengkel mobil “Dewista AC” pada bulan april 2017.

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan untuk penelitian kali ini adalah :

#### 1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besar dan nilainya sudah ditentukan oleh peneliti terlebih dahulu sebelum penelitian dan variabel ini tidak dapat dipengaruhi oleh nilai dari variabel lain. Variabel bebas penelitian ini adalah temperatur pendinginan pada freezer sebesar  $-3^{\circ}\text{C}$ ,  $-4^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$ .

#### 2. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol merupakan suatu variabel yang dianggap konstan atau besarnya tetap selama penelitian berlangsung, dan nilai dari variabel terkontrol ini tidak bisa diubah atau berubah dalam kondisi apapun. Nilai dari variabel terkontrol ditentukan oleh peneliti. Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah :

- Larutan NaOH dengan konsentrasi sebesar 40 %.
- Massa zeolit dengan sebesar 1170 gram.
- Arang aktif dengan massa sebesar 25 gram



- Tekanan maksimal penyimpanan biogas sebesar 225 Psi (1652,64 kPa).
- Kandungan komposisi biogas yaitu 60% CH<sub>4</sub> dan 40% CO<sub>2</sub> dengan laju aliran 7.5 L/min.

### 3. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar dan nilainya terikat oleh pengaruh dari variabel bebas yang digunakan dan hanya akan didapat setelah pelaksanaan pengujian penelitian. Adapun variabel terikat yang diamati adalah :

- Temperatur biogas sebelum dan sesudah melewati *freezer*.
- Besar massa penyimpanan biogas dalam tabung bertekanan.
- Komposisi kandungan biogas.
- Waktu penyimpanan biogas.

## 3.4 Alat Dan Bahan Penelitian

### 3.4.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

#### 1. Tabung CNG

Tabung CNG adalah tabung yang bertekanan tinggi yang digunakan sebagai tempat penyimpanan gas CNG (*Compressed Natural Gas*) yang memiliki kandungan gas *methane* (CH<sub>4</sub>).

Type CNG : 1-Steel cylinder

Material : BS5045 Steel/AISI4340

Volume Silinder : 70 Liter

Berat Silinder : 70-80 kg

Tekanan : 200 bar



Gambar 3.1 Tabung CNG

## 2. Tabung CO<sub>2</sub>

Tabung CO<sub>2</sub> adalah tabung yang untuk tempat penyimpanan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>).

Dimensi Tabung CO<sub>2</sub>

Volume : 1.5 m<sup>3</sup>

Tinggi : 97 cm

Diameter : 14 cm

Berat : 15 kg



Gambar 3.2 Tabung gas CO<sub>2</sub>

## 3. Flowmeter gas

Flowmeter adalah alat untuk mengukur dan mengontrol laju aliran fluida gas. Pada penelitian kali ini digunakan untuk mengukur dan menkontrol aliran gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub>.

Merek : Zyia

Model : LZM-4T

Akurasi : ± 4 %

Kapasitas aliran : 0 – 12 liter/menit



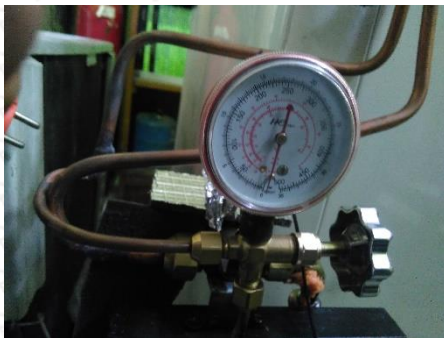
Buatan : Zhejiang, China



Gambar 3.3 Flowmeter gas

#### 4. Pressure gauge

Pressure gauge adalah alat ukur digunakan untuk mengukur besar tekanan pada biogas sebelum masuk ke tabung penyimpanan.



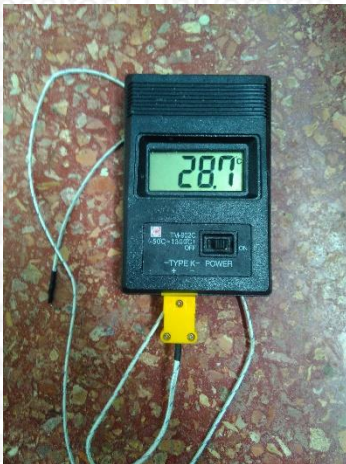
Gambar 3.4 Pressure gauge

#### 5. Thermokopel

Digunakan sebagai sensor pengukuran temperatur dari biogas sebelum dan sesudah masuk freezer. Adapun spesifikasinya yaitu:

Tipe : Thermokopel tipe K

Range : 0 – 400 °C



Gambar 3.5 Thermokopel

#### 6. Selenoid

Suatu alat yang berfungsi untuk pengaman aliran biogas agar tidak terjadi aliran balik dari tabung bertekanan menuju kompressor.



Gambar 3.6 Selenoid

#### 7. Regulator gas

Regulator gas merupakan alat pengatur tekanan sebagai penyalur dan mengatur aliran biogas yang masuk ke dalam tabung bertekanan.

#### 8. Kompressor

Suatu alat yang digunakan untuk mengkompresi atau menekan biogas kedalam tabung. Kompressor yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Merk	: Matsushita Electric
Tipe	: Kompressor Rotary
Daya	: 1 HP
Tegangan	: 220 Volt
Frekuensi	: 50 Hz



Laju aliran : 20 liter/menit

Buatan : China



Gambar 3.7 Kompresor

#### 9. Tabung purifikasi NaOH

Tabung purifikasi NaOH adalah suatu tabung yang berfungsi untuk tempat yang digunakan untuk meletakkan larutan NaOH pada sistem purifikasi. Tabung ini terbuat dari besi dan mempunyai kapasitas 3 liter.



Gambar 3.8 Tabung Purifikasi NaOH

#### 10. Tabung purifikasi zeolit

Tabung purifikasi zeolit adalah suatu tabung yang berfungsi untuk tempat yang digunakan untuk meletakkan zeolit pada sistem purifikasi. Terdapat 2 tabung zeolit yang masing-masing tabung mempunyai kapasitas 585 gram.



Gambar 3.9 Tabung purifikasi zeolit

### 11. Tabung purifikasi arang

Tabung purifikasi arang adalah suatu tabung yang berfungsi untuk tempat yang digunakan untuk meletakkan zeolit pada sistem purifikasi.



Gambar 3.10 tabung purifikasi arang aktif

### 12. Freezer

Freezer digunakan untuk mendinginkan atau menurunkan temperatur biogas bertekanan yang keluar dari compressor.

Merk : Polytrontype PCF 210



Kapasitas : 200 liter.



Gambar 3.11 Freezer

### 13. Stargas

Stargas merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kandungan CO<sub>2</sub> pada biogas hasil purifikasi.

Merk : Technotest

Type : Multigas 488 Plus / 473

Power Supply : 110/220/240 V  
50-60 Hz

Detection Range : CO<sub>2</sub> :0-20%

Buatan : Italy



Gambar 3.12 Stargas

### 14. Tabung

Merupakan media yang digunakan untuk menyimpan biogas. Dalam penelitian kali ini menggunakan tabung LPG 3 kg.

### 15. Gas mixer

Gas mixer merupakan tempat yang berfungsi untuk mencampur gas  $\text{CH}_4$  dan gas  $\text{CO}_2$  sebagai penyusun dari biogas.

### 16. Pipa tembaga

Pipa yang digunakan sebagai tempat aliran biogas menuju ke tabung penyimpanan.



Gambar 3.13 Pipa tembaga

### 17. Stopwatch

Suatu alat yang digunakan untuk menghitung lama waktu penyimpanan biogas ke dalam tabung hingga mencapai tekanan 225 Psi.

### 18. Katup

Suatu alat yang berfungsi sebagai media untuk mengambil sampel dari biogas pada sistem purifikasi. Dalam penelitian ini katup diletakkan setelah tabung purifikasi.

## 3.4.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

#### 1. Gas $\text{CH}_4$

Gas  $\text{CH}_4$  atau sering disebut gas metana. Salah satu penyusun utama membuat biogas. Gas metana dalam hal ini didapatkan dari gas CNG (*Compressed Natural Gas*) yang mana kandungan gas CNG 95% gas metana.

#### 2. Gas $\text{CO}_2$

Gas  $\text{CO}_2$  atau sering disebut gas karbondioksida. Gas karbondioksida adalah salah satu gas yang terkandung dalam biogas akan tetapi gas karbondioksida mengakibatkan berkurangnya nilai kalor pada biogas. Dalam penelitian ini gas  $\text{CO}_2$



sebagai campuran gas  $\text{CH}_4$ , kemudian dilakukan proses *purifikasi* untuk mengurangi kandungan  $\text{CO}_2$

### 3. NaOH

NaOH atau Natrium Hidroksida. NaOH dalam penelitian ini digunakan untuk proses penyerapan kandungan  $\text{CO}_2$  pada proses purifikasi. NaOH dalam penelitian ini sebagai absorber yaitu proses pemurnian biogas dengan larutan atau cairan.

### 4. $\text{H}_2\text{O}$

$\text{H}_2\text{O}$  adalah fluida cair yang digunakan untuk melarutkan NaOH. Pada penelitian ini air yang digunakan untuk melarutkan NaOH sebanyak 3 liter

### 5. Zeolit

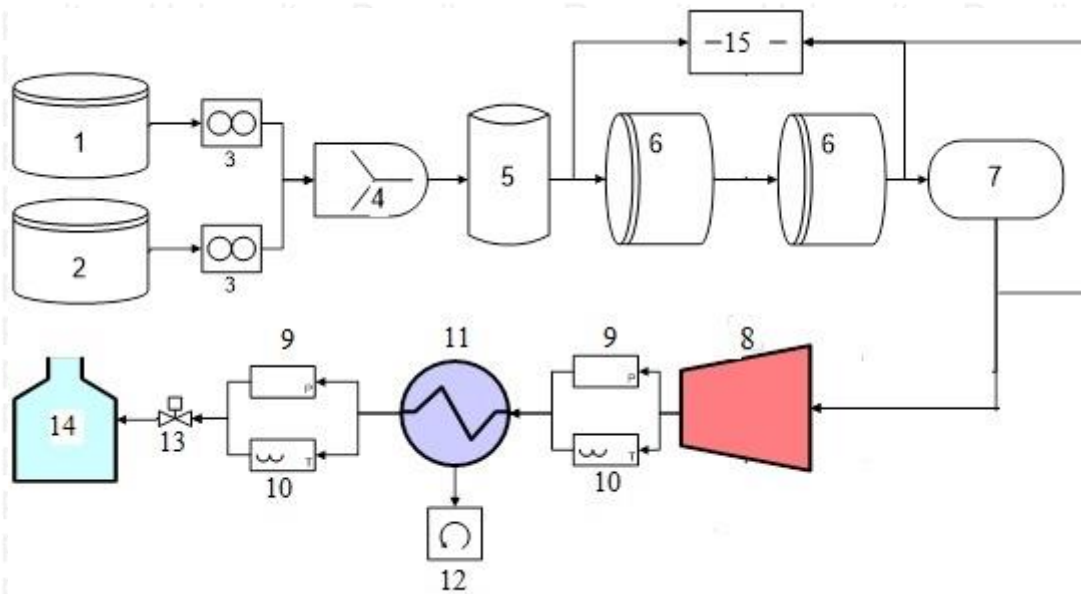
Pada penelitian ini zeolit sebagai adsorber. Adapun kegunaannya sebagai zat padat untuk menyerap kandungan gas  $\text{CO}_2$  sisa dari pemurnian larutan NaOH.

### 6. Arang Aktif

Pada penelitian ini arang sebagai adsorber. Adapun kegunaannya sebagai zat padat untuk menyerap kandungan gas  $\text{CO}_2$  sisa dari pemurnian zeolit.



### 3.5 Skema Penelitian



Gambar 3.14 Skema alat penelitian

Keterangan :

- |                           |  |
|---------------------------|--|
| 1. Tabung CH <sub>4</sub> | 9. <i>Pressure Gauge</i>               |
| 2. Tabung CO <sub>2</sub> | 10. <i>Thermokopel</i>                 |
| 3. <i>Flowmeter</i>       | 11. <i>Freezer</i>                     |
| 4. <i>Gas Mixer</i>       | 12. Pengatur temperatur <i>Freezer</i> |
| 5. Tabung NaOH            | 13. Regulator                          |
| 6. Tabung Zeolit          | 14. Tabung Penyimpanan                 |
| 7. Tabung Arang Aktif     | 15. Katup Sampling                     |
| 8. Kompresor              |  |

### 3.6 Prosedur Penelitian

#### 1. Studi literatur

Studi literatur merupakan kegiatan mempelajari referensi atau kajian pustaka yang terkait dengan topik penelitian seperti dari buku, jurnal, atau teori-teori yang memperkuat dan memperjelas hasil dari penelitian.

#### 2. Observasi lapangan

Observasi lapangan merupakan kegiatan yang dilakukan diluar area penelitian. Hal ini bertujuan untuk mencari alat dan bahan yang diperlukan dalam melakukan kegiatan penelitian, misalnya freezer, NaOH, zeolit, arang aktif dan kompresor.



### 3. Perancangan dan pembuatan alat

Perancangan dan pembuatan alat adalah suatu kegiatan yang dilakukan untuk pembuatan alat penelitian seperti merancang atau mendesain dari instalasi proses purifikasi, menghubungkan kompresor ke *freezer* dengan pipa tembaga. Alat purifikasi dan penabungan biogas ini dirancang di bengkel Dewista AC.

### 4. Penelitian dan pengambilan data

Penelitian dilakukan untuk mengamati proses pengujian kemampuan pemurnian biogas setelah melewati NaOH, Zeolit, dan Arang aktif. Selain itu juga, mengamati temperatur biogas sebelum masuk *freezer* dan juga setelah melewati *freezer* pada proses penabungan biogas setiap kondisi variasi temperatur pendinginan yang berbeda.

### 5. Analisis data hasil penelitian

Analisis data hasil penelitian adalah kegiatan menganalisis data yang didapat dalam proses penelitian berlangsung. Adapun hasil penelitiannya bisa berbentuk table atau grafik. Kemudian menganalisa penyebab dan factor-faktor yang mempengaruhi dari data hasil penelitian. Adapun analisa dari penelitian ini adalah dengan menghitung nilai densitas biogas yang didapat dari menginterpolasi table property gas berdasarkan dari besarnya temperatur dan tekanan gas. Selain itu, menghitung besar massa biogas yang dihasilkan dari proses kompresi dan pendinginan biogas pada variasi temperatur yang berbeda.

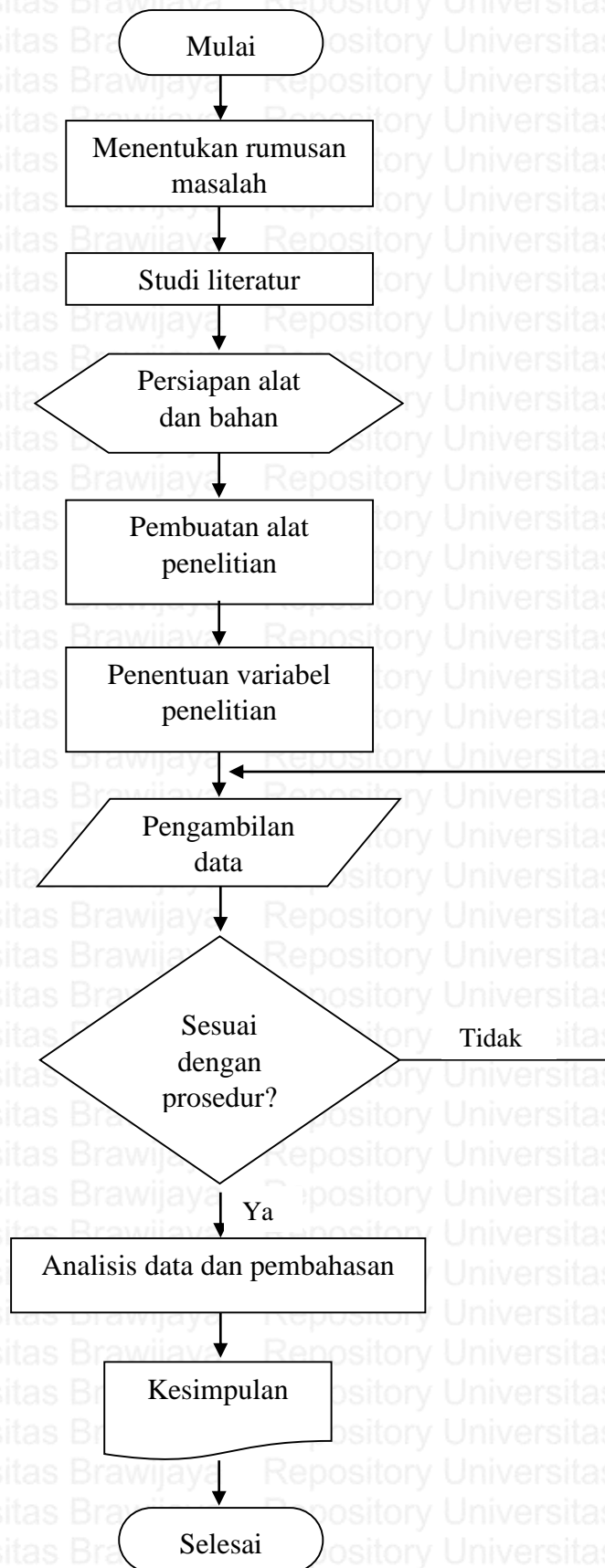
## 3.7 Metode Pengambilan Data

1. Nyalakan Freezer sampai pada temperatur  $-5^{\circ}\text{C}$
2. Persiapkan semua alat dan bahan yang diperlukan sesuai dengan instalasi untuk pengambilan data.
3. Pastikan semua sambungan-sambungan dan katup-katup untuk mengalirnya gas tidak ada kebocoran dan sudah terpasang dengan benar sesuai rancangan instalasi penelitian.
4. Larutkan NaOH dengan konsentrasi 40% ke dalam  $\text{H}_2\text{O}$  dan masukkan ke dalam tabung purifikasi NaOH, lalu siapkan juga zeolit dan arang.aktif kemudian masukkan ke dalam tempat purifikasi.
5. Pasang sensor thermokopel didalam pipa aliran biogas sebelum dan sesudah masuk *freezer*.
6. Masukkan Selang penghubung dari tabung gas  $\text{CO}_2$  dan  $\text{CH}_4$  ke flowmeter.
7. Buka katup regulator gas  $\text{CH}_4$  dan gas  $\text{CO}_2$  sehingga flowmeter menunjukkan aliran biogas.

8. Atur aliran biogas dengan laju sebesar 7,5 liter/menit dengan campuran CH<sub>4</sub> 60% dan CO<sub>2</sub> 40%.
9. Masukkan selang dari flowmeter ke gas mixer.
10. Nyalakan kompresor
11. Hitung lama waktu proses penyimpanan biogas ke dalam tabung menggunakan *stopwatch*.
12. Catat data temperatur gas masuk *freezer* dan temperatur gas keluar *freezer* pada setiap penambahan tekanan gas keluar kompresor sebesar 25 psi.
13. Kompresikan gas pada tabung hingga tekanan gas keluar kompresor mencapai 225 psi.
14. Ambil sampel biogas setelah melewati sistem purifikasi, kemudian ukur kandungan dari gas CO<sub>2</sub> menggunakan *stargas analyzer*.
15. Lakukan pengujian sebanyak tiga kali pada setiap variasi temperatur pendinginan biogas.
16. Ulangi kembali langkah ke-10 sampai ke-15 pada variasi temperatur pendinginan pada *freezer* -4°C,-3°C.



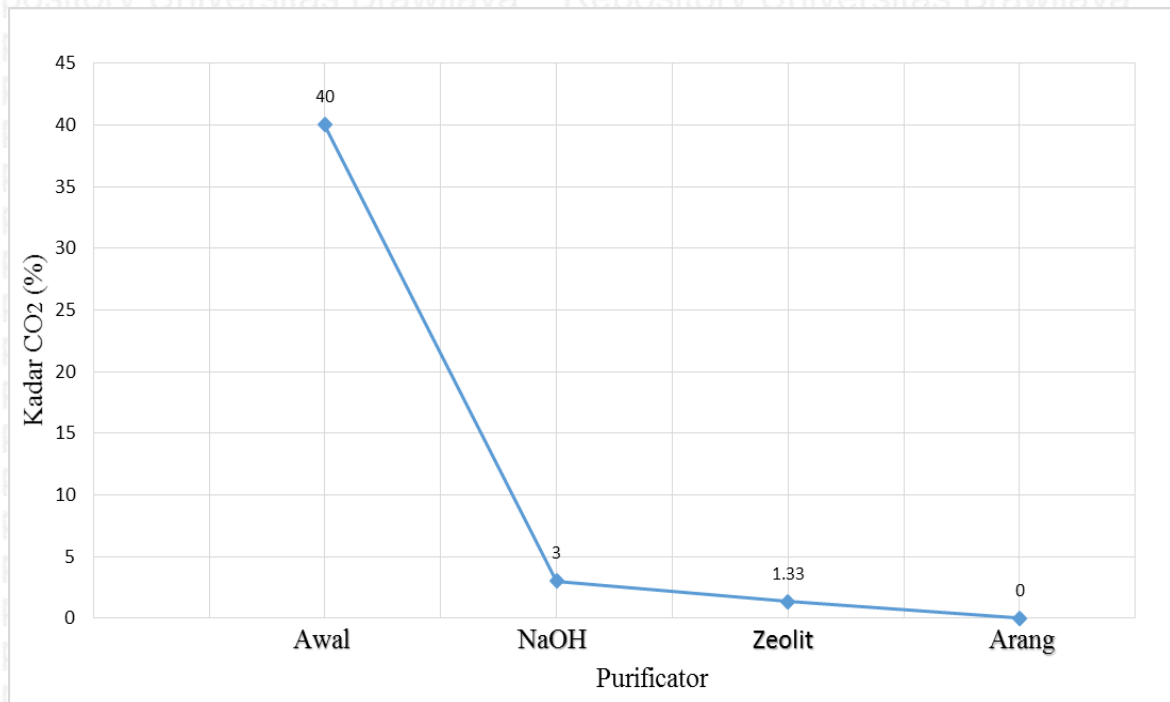
### 3.8 Diagram Alir Penelitian





## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hubungan Antara Purificator terhadap Penurunan CO<sub>2</sub> pada Laju Aliran 7,5 Liter/menit



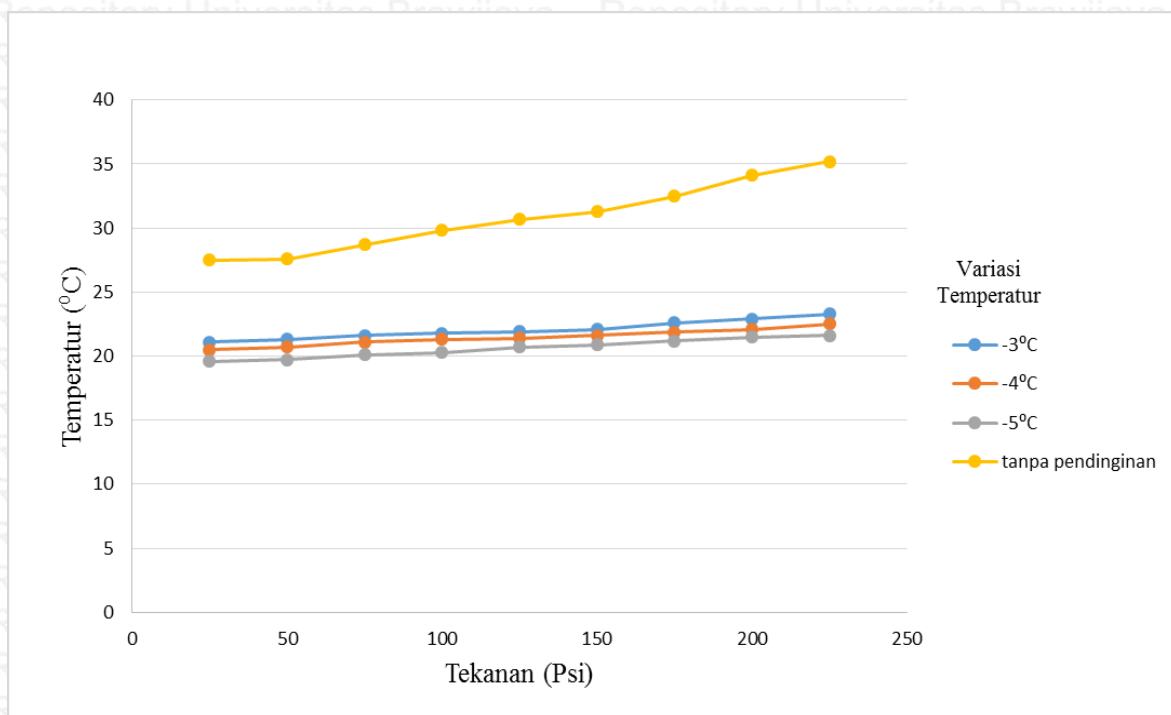
Gambar 4.1 Hubungan antara sistem purifikasi terhadap kandungan CO<sub>2</sub> pada laju aliran 7,5 liter/menit

Gambar 4.1 menjelaskan bahwa pengaruh purificator larutan NaOH, Zeolit dan Arang terhadap kandungan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Dimana kadar gas karbondioksida setelah melewati purificator tersebut kandungan kadar karbondioksidanya semakin menurun. Hal ini dikarenakan pada tabung pertama larutan NaOH sudah berikatan dengan karbon dioksida menjadi Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sehingga kemampuan penyerapannya semakin berkurang. Setelah dilakukan pengujian sebanyak tiga kali diperlukan penggantian larutan NaOH karena lubang dari *bubble generator* sudah tertutup oleh Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yang menyebabkan tersumbatnya saluran masuk biogas. Kemudian sisa gas karbondioksida yang masih mengandung uap air diserap oleh padatan zeolit dan arang aktif. Sehingga gas karbondioksida terserap secara sempurna.



Pada penelitian ini larutan NaOH sangat efektif untuk proses pemurnian biogas. Dari gambar 4.1 didapatkan proses pemurnian karbondioksida dengan kandungan 40% menjadi 3%. Kemudian zeolit melanjutkan proses pemurnian dari NaOH dengan kadar 3% menjadi 0,33%. Setelah melewati purificator zeolit kadar karbondioksida melewati arang aktif. Dimana kandungan gas karbondioksida setelah melewati gas karbondioksida kadar gas karbondioksidanya sebesar 0%. Sehingga pada penelitian pemurnian biogas dengan menggunakan larutan NaOH, zeolit, dan arang aktif cukup efektif untuk menyerap kandungan gas karbondioksida dalam biogas.

#### 4.2 Hubungan Antara Tekanan Terhadap Temperatur Biogas dengan Menggunakan Proses Pendinginan dan Tanpa Pendinginan



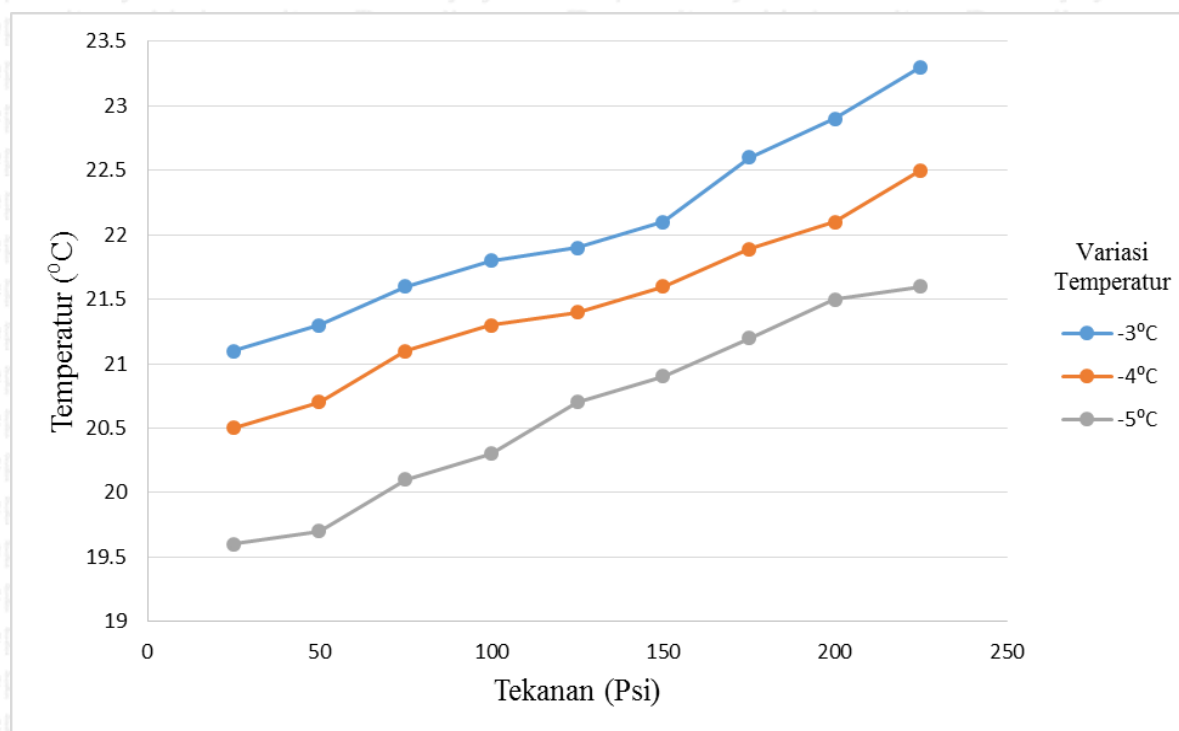
Gambar 4.2 Hubungan antara tekanan terhadap temperatur biogas dengan menggunakan proses pendinginan dan tanpa pendinginan

Gambar 4.2 menjelaskan bahwa ketika proses penyimpanan biogas tanpa pendinginan maka temperatur biogas akan terus meningkat bersamaan dengan meningkatnya tekanan pada biogas. Hal tersebut karena penambahan tahanan biogas berbanding lurus dengan temperatur. Hubungan tersebut sesuai dengan persamaan gas ideal. Adapun persamaan gas ideal dapat dilihat pada persamaan (4-1):

$$P \times V = m \times R \times T \quad (4-1)$$

Pada saat proses pendinginan biogas, aliran biogas akan dilewatkan ke media pendinginan *freezer*. Proses ini bertujuan untuk membuang kalor atau panas biogas sehingga temperatur biogas lebih rendah dari temperatur lingkungan. Hal ini sesuai dengan grafik diatas, dimana dengan menggunakan variasi temperatur pendinginan  $-3^{\circ}\text{C}$ ,  $-4^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$  dengan penambahan tekanan temperatur biogas mengalami penurunan dari temperatur lingkungan. Sebagai contoh ketika proses penyimpanan biogas pada tekanan 225 psi tanpa adanya pendinginan akan dihasilkan temperatur sebesar  $35,2^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan dengan menggunakan proses pendinginan pada tekanan 225 psi dengan variasi temperatur pendinginan  $-3^{\circ}\text{C}$ ,  $-4^{\circ}\text{C}$ , dan  $-5^{\circ}\text{C}$  menghasilkan temperatur sebesar  $23,3^{\circ}\text{C}$ ,  $22,5^{\circ}\text{C}$ , dan  $21,6^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.3 Hubungan Antara Tekanan Terhadap Temperatur Biogas Pada Variasi Temperatur Pendinginan



Gambar 4.3 Hubungan antara tekanan terhadap temperatur biogas pada variasi temperatur pendinginan

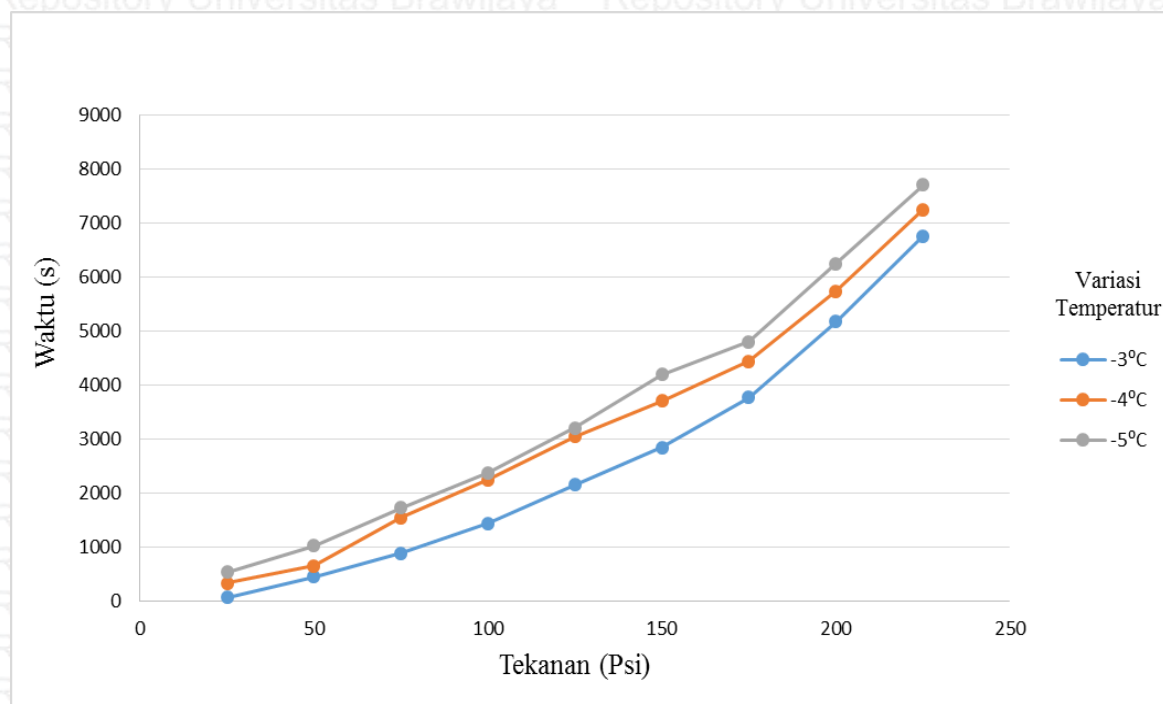
Gambar 4.3 menjelaskan bahwa pada saat menggunakan temperatur pendinginan yang berbeda dengan kenaikan tekanan yang sama dihasilkan temperatur akhir (T<sub>out</sub>) yang berbeda. Dengan menggunakan variasi temperatur pendinginan semakin kecil maka menghasilkan temperatur akhir (T<sub>out</sub>) yang kecil juga. Sebagai contoh bisa dilihat pada grafik, ketika temperatur pendinginan  $-3^{\circ}\text{C}$  grafik temperaturnya mengalami peningkatan bersamaan dengan kenaikan tekanan kompresi biogas. Hal ini dikarenakan temperatur



pendinginan yang semakin tinggi mengakibatkan proses perpindahan panas dari temperatur tinggi ke temperatur rendah lebih lambat. Pada temperatur pendinginan  $-4^{\circ}\text{C}$  juga terjadi kenaikan temperatur bersamaan dengan kenaikan tekanan kompresi biogas namun kenaikannya tidak sebesar saat temperatur pendinginan  $-3^{\circ}\text{C}$  karena temperatur pendinginan yang lebih rendah mengakibatkan proses perpindahan panasnya juga semakin cepat. Sedangkan pada temperatur pendinginan  $-5^{\circ}\text{C}$  temperatur biogas yang dihasilkan akan lebih stabil dan lebih cepat proses perpindahan panasnya. Hal ini dikarenakan temperatur pendinginan yang lebih rendah sehingga panas yang dihasilkan dari proses penambahan tekanan dapat didinginkan dengan optimal.

Hal di atas menunjukkan pengaruh temperatur pendinginan, Dimana dengan temperatur pendinginan yang lebih rendah, maka didapatkan pendinginan yang optimal sehingga temperatur biogas lebih stabil. Sebagai contoh pada tekanan 225 psi dengan temperatur pendinginan  $-3^{\circ}\text{C}$  terjadi penurunan dari temperatur peningkatan temperatur  $2,2^{\circ}\text{C}$ , pada temperatur pendinginan  $-4^{\circ}\text{C}$  terjadi peningkatan temperatur  $2^{\circ}\text{C}$ , temperatur pendinginan  $-5^{\circ}\text{C}$  terjadi peningkatan temperatur  $2^{\circ}\text{C}$  temperatur

#### 4.4 Grafik Hubungan Tekanan terhadap Waktu Penyimpanan Biogas pada Temperatur Pendinginan yang berbeda

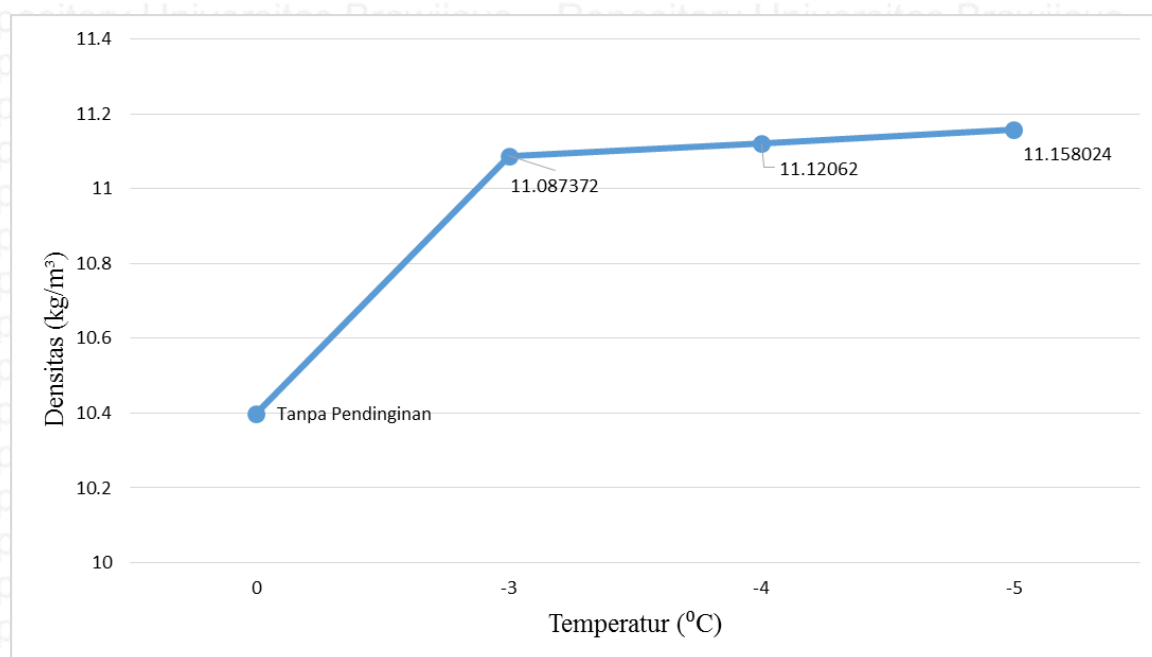


Gambar 4.4 Hubungan Tekanan terhadap Waktu Penyimpanan Biogas pada Temperatur Pendinginan yang berbeda

Gambar 4.4 menjelaskan dimana jika temperatur pendinginan semakin rendah atau dibawah  $0^{\circ}\text{C}$  maka waktu untuk mencapai tekanan 1652.64 kPa semakin kecil. Hal ini dikarenakan proses pendinginan pada aliran biogas yang masuk ke tabung penyimpanan mempengaruhi terhadap waktu penyimpanan biogas. Dalam temperatur yang lebih rendah molekul-molekul gas akan semakin meningkat. Molekul-molekul gas akan semakin rapat dan tabung penyimpanan akan semakin cepat terisi biogas. Sehingga semakin rendah temperatur yang dibutuhkan untuk penyimpanan biogas maka energi yang dibutuhkan semakin kecil.

Dari penelitian ini untuk mencapai tekanan 1652.64 kPa dengan laju aliran 7.5L/menit pada temperatur pendinginan  $-3^{\circ}\text{C}$ ,  $-4^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$  didapatkan lama waktu penyimpanan berturut-turut 6751 detik atau 01 jam 52 menit 31 detik, 7238 detik atau 2 jam 00.38 detik, 7699 atau 2 jam 08 menit 19 detik.

#### 4.5 Hubungan Antara Variasi Temperatur Pendinginan Terhadap Densitas Biogas Pada Tekanan 1652,64 kPa



Gambar 4.5 Hubungan antara variasi temperatur pendinginan terhadap densitas biogas pada tekanan 1652,64 kPa

Biogas merupakan fluida *compressible* yang mana ketika biogas dimampatkan dalam suatu tabung bertekanan atau tempat penyimpanan biogas yang tetap maka tekanan didalam tabung penyimpanan semakin meningkat. Peningkatan tekanan ini akan mengakibatkan



densitas atau kerapatan massa biogas semakin besar. Selain itu penurunan temperatur saat mendinginkan aliran masuknya biogas kedalam tabung penyimpanan juga mempengaruhi densitas biogas dalam tabung. Gambar 4.5 menjelaskan bahwa ketika temperatur pendinginan dibawah 0°C atau semakin kecil temperatur pendinginan maka nilai densitas biogas akan semakin besar. Hal ini dikarenakan saat temperatur pendinginan semakin rendah maka mengakibatkan jarak antar molekul biogas menjadi semakin rapat sehingga nilai dari kerapatan massa atau densitasnya semakin besar sesuai dengan persamaan :

$$P \times \frac{1}{\rho} = R \times T \quad (4-3)$$

Semakin rendah temperatur pendinginan, maka massa penyimpanan biogas akan semakin besar. Hal tersebut dikarenakan pada temperatur pendinginan biogas yang semakin rendah maka akan mengakibatkan nilai densitasnya meningkat. Jika nilai densitas meningkat, maka massa biogas pada volume penyimpanan yang sama akan semakin besar. Pada volume penyimpanan yang sama, densitas suatu gas berbanding lurus dengan massa suatu gas. Hal ini sesuai dengan persamaan:

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

Densitas atau massa jenis dipengaruhi oleh kandungan komposisi penyusun gas tersebut. Pada penelitian ini, gas yang dihasilkan adalah 100% CH<sub>4</sub> dikarenakan setelah proses pemurnian dengan laju aliran 7,5 L/menit didapatkan kandungan 100%CH<sub>4</sub> dan 0% CO<sub>2</sub>. Perhitungan nilai densitas pada penelitian kali ini didapatkan menggunakan tabel propertis dari gas metana (CH<sub>4</sub>). Perhitungan nilai densitas dengan cara interpolasi pada tabel propertis dari gas metana. Adapun contoh perhitungan interpolasi densitas dengan menggunakan tabel propertis bisa dilihat pada lampiran 5.

Dari hasil perhitungan interpolasi densitas gas metana dengan menggunakan tabel propertis didapatkan densitas gas metana pada tekanan 1652,64 kPa tanpa pendinginan sebesar 10,611 kg/m<sup>3</sup>. Kemudian jika menggunakan variasi temperatur pendinginan -3°C, -4°C, -5°C didapatkan nilai densitas berturut-turut sebesar 11.087 kg/m<sup>3</sup>, 11.120 kg/m<sup>3</sup>, 11.158 kg/m<sup>3</sup> dan massa penyimpanan berturut-turut sebesar 88.699 gram, 88.965 gram, 89.264 gram.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Penggunaan freezer sebagai media pendinginan aliran biogas pada proses penabungan biogas akan berfungsi untuk menurunkan temperatur biogas yang keluar dari kompresor. Pada tekanan 1652,64 kPa tanpa penggunaan proses pendinginan temperatur biogas mencapai 35,2 °C. Sedangkan dengan menggunakan proses pendinginan diperoleh temperatur yang lebih rendah yaitu pada variasi temperatur pendinginan -3°C, -4°C, -5°C memiliki temperatur berturut-turut sebesar 23.3°C, 22.5°C, dan 21.6°C.
2. Massa penyimpanan dari biogas dapat ditingkatkan dengan cara menurunkan temperaturnya sehingga nilai densitasnya akan semakin meningkat. Pada tabung penyimpanan biogas dengan volume sebesar 8 liter pada tekanan 1652,64 kPa, tanpa proses pendinginan didapatkan massa penyimpanan sebesar 83.192 gram. Sedangkan dengan menggunakan proses pendinginan pada variasi temperatur pendinginan -3°C, -4°C, -5°C menghasilkan massa penyimpanan berturut-turut sebesar 88.699 gram, 88.965 gram, 89.264 gram.
3. Kemampuan dari sistem purifikasi larutan NaOH, Zeolit dan Arang akan mengakibatkan berkurangnya kandungan kadar karbondioksida. Adapun hasilnya setelah biogas melewati larutan NaOH dengan konsentrasi 40%, zeolit, dan arang aktif kandungan akhir kadar karbondioksida sebesar 0%.
4. Semakin rendah variasi temperatur pendinginan maka waktu yang dibutuhkan penyimpanan gas semakin cepat. Sehingga energi yang dibutuhkan dalam pengisian tabung biogas juga semakin rendah. Pada tekanan 1652.64 kPa dengan laju aliran 7.5L/menit pada temperatur pendinginan -3°C, -4°C, -5°C didapatkan lama waktu penyimpanan berturut-turut 6751 detik atau 01 jam 52 menit 31 detik, 7238 detik atau 2 jam 38 detik, 7699 atau 2 jam 08 menit 19 detik



## 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian kali ini, didapatkan saran-saran yang nantinya dapat diterapkan untuk diteliti lebih mendalam pada penelitian selanjutnya antara lain:

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan biogas asli agar nantinya dapat dianalisa juga kemampuan sistem purifikasi dalam penyerapan  $H_2S$ .
2. Sebaiknya pada penelitian selanjutnya dilakukan inovasi pada tabung purifikasi NaOH agar larutan NaOH dapat selalu diperbarui (regenerasi) supaya kemampuan penyerapannya tidak berkurang dan juga agar lubang *bubble generator* tidak tersumbat oleh endapan  $Na_2CO_3$ .
3. Sebaiknya pada penelitian selanjutnya memakai kompresor torak dengan daya tekannya yang lebih tinggi sehingga biogas yang tersimpan semakin meningkat.
4. Penelitian selanjutnya sebaiknya menambah media pendinginan didalam *freezer* agar temperatur *freezer* semakin rendah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, Destilia. Pertiwi, Mutiara. Bunga, & Bahrin, David. (2012). Pengaruh Jenis Sampah, Komposisi Masukan dan Waktu Tinggal Terhadap Komposisi Biogas dari Sampah Organik. *Jurnal Teknik Kimia* No. 1, Vol. 18. Palembang : Universitas Sriwijaya
- Athifiyah, Ikhe. (2016). Pengaruh Laju Aliran Gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> terhadap efisiensi sistem dan efektifitas penyerapan gas CO<sub>2</sub> pada purifikasi dan penabungan biogas. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya
- Binarbawa, Pagan. (2016). Pengaruh Kecepatan Fluida Pendingin Pada *Heat Exchanger* Terhadap Kapasitas Penyimpanan Biogas Sistem Kompresi. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya
- Djaeni, M. Asiah, N. & Sasongko S.B. (2015). Aplikasi Sistem Pengering Adsorpsi untuk Bahan Pangan Aditif. Unnes-Press. Semarang : Universitas Diponegoro
- Fadli, Dian., Irsyad, Muhammad. & Susila, M. Dyan. (2013). Kaji Eksperimental Sistem Penyimpanan Biogas Dengan Metode Pengkompresian dan Pendinginan pada Tabung Gas Sebagai Pengganti Bahan Bakar Pengganti Gas LPG. *Jurnal FEMA*. I (4) : 42-48.
- Hermawan. B., Lailatul Qodriyah, dan Candrarini Puspita. (2007). Sampah Organik sebagai Bahan Baku Biogas untuk Mengatasi Krisis Energi Dalam Negeri. Karya Tulis Ilmiah Mahasiswa. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Hotma, L. (2015). Pengaruh Jumlah Lubang Bubble Generator dan Konsentrasi NaOH Terhadap Kandungan CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> Pada Purifikasi Beringkat Sistem Kontinyu. *Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Maarif, Fuad dan Arif F, Januar. (2008). Absorpsi Gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) Dalam Biogas dengan Larutan NaOH Secara Kontinyu. *Jurnal*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Martin, A. (2008). *Farmasi Fisika Dasar-Dasar Farmasi Fisik dalam Ilmu Farmasetik Edisi Kedua* jilid 2. UIPress. Jakarta.
- Khairunisa, Ratna. 2008. *Kombinasi Teknik Elektrolisis dan Teknik Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif Untuk Menurunkan Konsentrasi Senyawa Fenol Dalam Air*. *Skripsi*. Depok : Universitas Indonesia.
- Putra, I. A. S. (2016). Pengaruh Laju Aliran Biogas Terhadap Purifikasi dan Penyimpanan CH<sub>4</sub> Dengan Sistem Kompresi. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya.
- Rahmanta. (2010). Cara Mudah Membuat Digester Biogas. diakses pada 20 Januari 2017 dari <http://www.kamase.org>.
- Ryckebosch E, Muylaert K, Foubert I. (2011). Optimization of an Analytical Procedure for Extraction of Lipids from Microalgae. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 89(2):189-198.





- Sugiarto., Tjuk, Oerbandono., Widhiyanuriyawan, Denny. & Putra, Faruq. (2013). Purifikasi Biogas Sistem Kontinyu Menggunakan Zeolit. *Jurnal Rekayasa Mesin*. IV (1) : 1-10.
- Sularso. & Tahara, Haruo. (2000). *Pompa dan Kompresor pemilihan, pemakaian, dan pemeliharaan*. Jakarta : Pradnya Paramita
- Sriyanto, Nurvega. (2009). *Rekayasa Mesin Kompresi Biogas*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Useng, Daniel., Iqbal. & Yusran, Muhammad. (2014). Analisis Sifat dan Proses Penabungan Biogas Dari Kotoran Ternak Sapi. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Makassar : Universitas Hasanuddin
- Widarto, L., dan Sudarto, C.Ph., (1997), *Membuat Biogas*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Widhiyanuriyawan, D., Hamidi, N. & Trimandoko, C. (2014). Purifikasi Biogas dengan Variasi Ukuran dan Massa Zeolit terhadap Kandungan CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub>. *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol.5, No.3 : 27-32.
- Yunus. A. Cengel, dan John. M. Cimbala. (2006). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. The McGraw-Hill Companies. Inc., United States.