



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PERANCANGAN *FILTER PURIFIKASI* BIOGAS  
MENGUNAKAN *WET SCRUBBER***

ABDUR ROZAQ  
NRP. 2411 100 091

Pembimbing  
Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA.

JURUSAN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TF 141581

***DESIGN BIOGAS PURIFICATION FILTER USING  
WET SCRUBBER***

ABDUR ROZAQ  
NRP. 2411 100 091

Supervisor  
Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

# LEMBAR PENGESAHAN

## PERANCANGAN *FILTER PURIFIKASI BIOGAS* MENGUNAKAN *WET SCRUBBER*

### TUGAS AKHIR

Oleh :

**ABDUR ROZAQ**  
NRP. 2411 100 091

Surabaya, 21 Januari 2016  
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I

Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA  
NIP. 19650309 199002 1 001

Ketua Jurusan  
Teknik Fisika FTI-ITS

Agus Muhandad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.  
NIP. 19780902 200312 1 002

# LEMBAR PENGESAHAN

## PERANCANGAN *FILTER PURIFIKASI BIOGAS* MENGUNAKAN *WET SCRUBBER*

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Energi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ABDUR ROZAQ**  
**NRP. 2411 100 091**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir.Totok Soehartanto, DEA ..... (Pembimbing I)
2. Ir. Harsono Hadi, M.T., Ph.D ..... (Penguji I)
3. Ir. Sarwono, M.M. .... (Penguji II)
4. Murry Raditya, S.T., M.T. .... (Penguji III)

**SURABAYA**  
**JANUARI 2016**

## PERANCANGAN *FILTER PURIFIKASI BIOGAS* MENGUNAKAN *WET SCRUBBER*

**Nama Mahasiswa** : Abdur Rozaq  
**NRP** : 2411 100 091  
**Jurusan** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

### **Abstrak**

Biogas yang dihasilkan dari biodigester dengan volume 31 m<sup>3</sup> adalah 0,072 m<sup>3</sup>/hari. Pada penelitian ini diasumsikan terdapat tiga kemungkinan komposisi biogas dengan kandungan gas metana (CH<sub>4</sub>) 50%, 60%, dan 70% serta kandungan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) 45%, 35% dan 25%. Sedangkan kandungan gas lainnya seperti nitrogen (N<sub>2</sub>), hidrogen (H<sub>2</sub>), dan oksigen (O<sub>2</sub>) adalah 1%, serta hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) adalah 2%. Untuk mengurangi kandungan karbondioksida dan hidrogen sulfida maka digunakan *wet scrubber*. *Wet scrubber* yang digunakan berbentuk tabung dengan alas dan tutup datar. Ketinggian yang digunakan adalah 3 meter dengan diameter 30 cm. Dimensi pada *wet scrubber* tidak berpengaruh terhadap penurunan kandungan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S. Yang berpengaruh adalah debit air yang masuk pada *wet scrubber*. Pengurangan tertinggi pada debit 100 m<sup>3</sup>/jam dengan nilai pengurangan CO<sub>2</sub> 0,0463% sedangkan H<sub>2</sub>S 0,0047%. Kemudian biogas dikompresikan dari volume 70 liter menjadi 7 liter dengan tekanan 5 bar menggunakan kompresor tipe sentrifugal dengan efisiensi adiabatik 75% dan efisiensi politropik 79%. Daya yang digunakan adalah 0,05 hp (horsepower), 0,06 hp, dan 0,07 hp berdasarkan kandungan awal metana 50%, 60%, dan 70%. Setelah keluar dari kompresor debit biogas menjadi 0,56 m<sup>3</sup>/jam maka nilai HHV yang telah dipurifikasi pada gas metana 50%, 60%, dan 70% adalah 16.040 kJ/kg, 20.820 kJ/kg, dan 26.590 kJ/kg.

**Kata Kunci** : *Biodigester, Wet Scrubber, Kompresor, HHV*

## **DESIGN BIOGAS PURIFICATION FILTER USING WET SCRUBBER**

**Name** : Abdur Rozaq  
**NRP** : 2411 100 091  
**Department** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Supervisor** : Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

### **Abstract**

*Biogas produced from the digester with a volume of 31 m<sup>3</sup> is 0,072 m<sup>3</sup>/day. Assuming there are three possibilities for the composition of the biogas that is 50%, 60%, and 70% of methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) 45%, 35% and 25%. While other gases such as nitrogen (N<sub>2</sub>), hydrogen (H<sub>2</sub>) and oxygen (O<sub>2</sub>) at 1% hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) is the same 2%. To reduce carbon dioxide and hydrogen sulfide then used a wet scrubber. Wet scrubbers are used in the form of a tube with a flat base and lid. Height used is 3 meters with a diameter of 30 cm. The dimensions of the wet scrubber has no effect on reducing CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S content. That influence the flow of water entering the wet scrubber, the water discharge is entered from 10 m<sup>3</sup>/hour to 100 m<sup>3</sup>/hour with the addition of 10m<sup>3</sup>/hour. The highest reduction in the discharge of 100 m<sup>3</sup>/h with CO<sub>2</sub> reduction value of 0.0463%, 0.0047% while H<sub>2</sub>S. Then the biogas is compressed from volume 70 liters to 7 liters of mass 3 kg with a pressure of 5 bar using centrifugal type of compressor with an adiabatic efficiency of 75% and 79% polytropic efficiency. Power used is 0.05 hp (horsepower), 0.06 hp, and 0.07 hp based on the initial content of methane 50%, 60% and 70%. Debit biogas from the compressor become 0.56 m<sup>3</sup>/h, so the value HHV biogas at 50%, 60%, and 70% of methane after purification are 16.040 kJ/kg, 20.820 kJ/kg, and 26.590 kJ/kg.*

**Keywords:** *Digester, Wet Scrubber, Compressor, HHV*

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, kefahaman kepada penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini, tidak lupa shalawat serta salam, semoga tetap terucap kepada *uswatun hasanah* kita, nabi Muhammad SAW.

Laporan ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Berbekal kegigihan, doa, dan usaha, maka penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul

### **“Perancangan *Filter Purifikasi Biogas Menggunakan Wet Scrubber* “**

Begitu banyak pihak yang terlibat dan membantu penulis dalam menjalankan tugas akhir ini, maka untuk kesempatan kali ini izinkan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, PhD selaku ketua Jurusan Teknik Fisika, FTI – ITS
2. Dr. Ir Totok Soehartanto, DEA selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing dan memberikan banyak bantuan serta semangat untuk penulis
3. Ir Sarwono MM selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan Jurusan Teknik Fisika, FTI – ITS
4. Totok Ruki Biyanto, ST, MT, PhD selaku dosen wali penulis yang telah banyak memberi bantuan dan semangat
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah hingga tugas akhir ini
6. Ayah dan ibu tercinta, Bapak Waluya dan Ibu Barokah Artati, orang tua terbaik sepanjang masa dan tidak akan pernah terganti. Terima kasih banyak atas inspirasi, doa, semangat, dan perhatian selama ini

7. Adik - Adik tersayang, Umi Rosyidah dan Ummu Hanifah, yang juga telah memberi banyak semangat dan keceriaan
8. Teman-teman dan member Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan yang selalu mendukung dan memotivasi.
9. Teman-teman angkatan 2010, 2011, 2012 2013 Teknik Fisika, Terutama rekan-rekan F46 yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.
10. Dan semua pihak—pihak yang telah mendukung penulis baik secara moril atau materiil, terima kasih banyak, Allah yang akan membalas kebaikan kalian.

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima dengan lapang dada. Semoga laporan ini dapat berguna bagi penulis dan pihak yang membacanya, amiiin.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

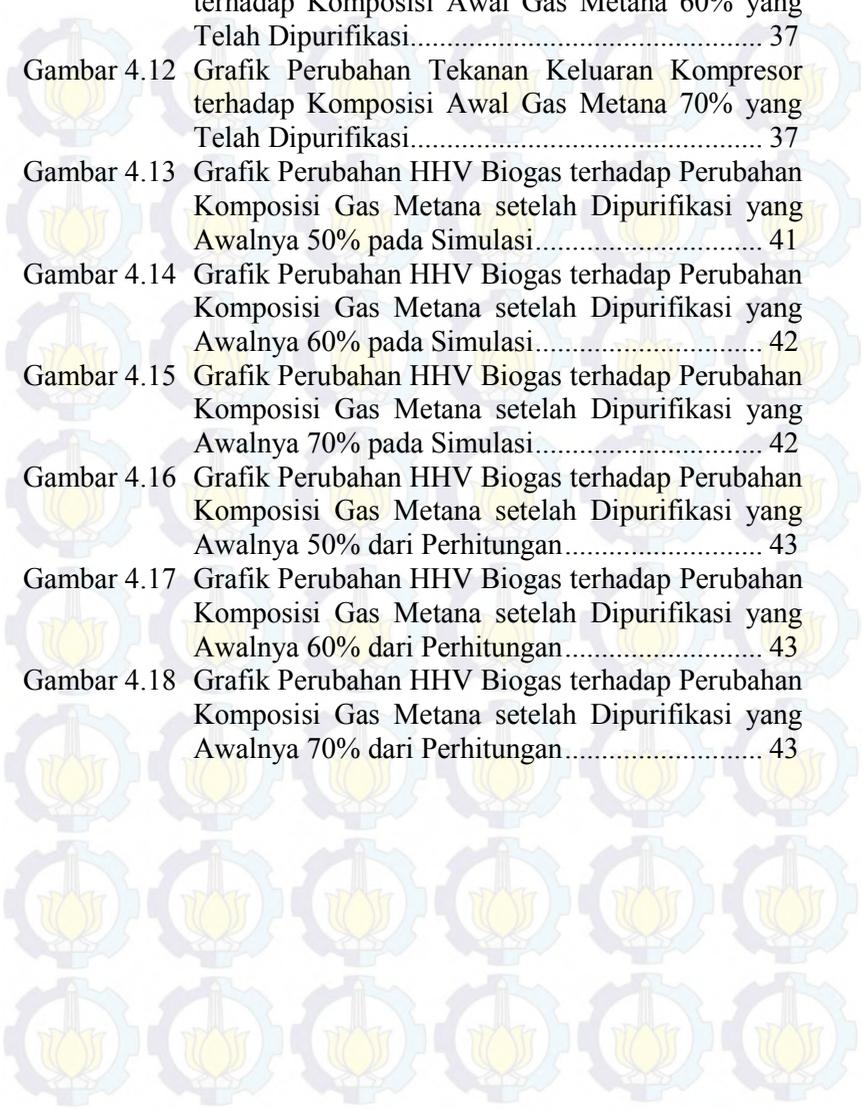
## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
<i>COVER PAGE</i> .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i> .....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
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. Sistematika Laporan.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Biogas.....	5
2.1.1 Penampung Biogas (Biodigester).....	5
2.1.2 Komposisi Biogas.....	7
2.1.3 Nilai Kalor Pembakaran Biogas.....	8
2.2 Pemurnian Biogas.....	10
2.3 <i>Scrubber</i> .....	11
2.4 Kompresor.....	14
2.5 Konsep Pembakaran.....	16
2.6. Hysys.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
3.2 Simulasi Hysys.....	23
3.2.1 Perancangan Sistem Purifikasi.....	23
3.2.2 Perancangan Kompresor.....	26
3.2.3 Perhitungan Nilai HHV Biogas.....	28
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Analisa Purifikasi dengan <i>Scrubber</i> .....	31
4.2 Analisa Kinerja Kompresor.....	36

4.3 Validasi Data .....	39
4.3.1 Perhitungan Temperatur Keluaran Kompresor .....	39
4.3.2 Perhitungan Tekanan yang Digunakan Kompresor .....	40
4.3.3 Perhitungan Penurunan Temperatur dan Tekanan pada Cooler .....	40
4.4 Analisa Perhitungan HHV .....	41
BAB IV PENUTUP .....	45
5.1. Kesimpulan .....	45
5.2. Saran .....	46
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

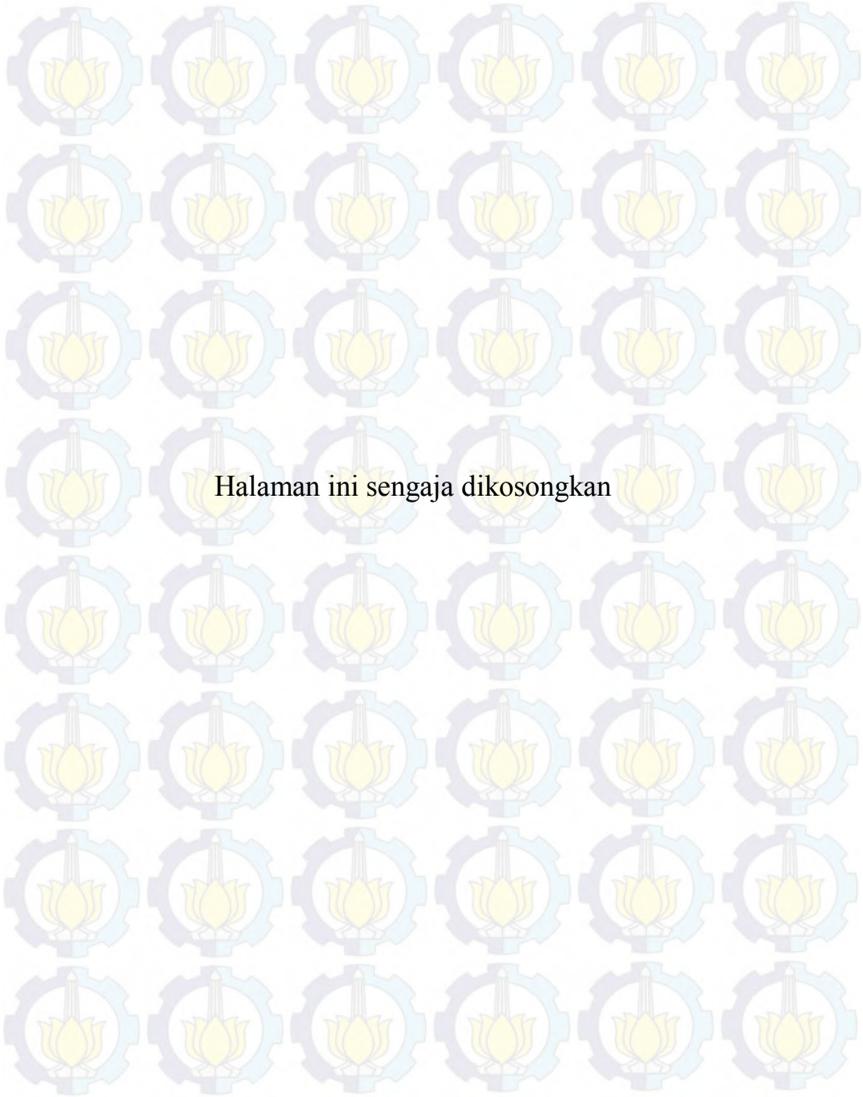
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Flow Chart dari Teknologi Scrubber.....	11
Gambar 2.2.	Model <i>Tray Tower Scrubber</i> .....	13
Gambar 2.3.	Kompresor.....	14
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	21
Gambar 3.2	Pengaturan Tekanan Scrubber pada <i>Hysys</i> .....	25
Gambar 3.3	Pengaturan Diameter dan Ketinggian Scrubber pada <i>Hysys</i> .....	25
Gambar 3.4	Perancangan Kompresor pada <i>Hysys</i> .....	26
Gambar 3.5	Pengaturan <i>Cooler</i> pada <i>Hysys</i> .....	27
Gambar 3.6	Nilai HHV Biogas pada <i>Hysys</i> .....	30
Gambar 4.1	Grafik Perubahan Komposisi Gas Metana Awal 50% terhadap Debit Air.....	32
Gambar 4.2	Grafik Perubahan Komposisi Gas Metana Awal 60% terhadap Debit Air.....	32
Gambar 4.3	Grafik Perubahan Komposisi Gas Metana Awal 70% terhadap Debit Air.....	32
Gambar 4.4	Grafik Perubahan Komposisi CO <sub>2</sub> pada Kondisi Awal 45% terhadap Debit Air.....	33
Gambar 4.5	Grafik Perubahan Komposisi CO <sub>2</sub> pada Kondisi Awal 35% terhadap Debit Air.....	34
Gambar 4.6	Grafik Perubahan Komposisi CO <sub>2</sub> pada Kondisi Awal 25% terhadap Debit Air.....	34
Gambar 4.7	Grafik Perubahan Komposisi H <sub>2</sub> S terhadap Debit Air pada Biogas dengan Kandungan Awal Gas Metana 50%.....	35
Gambar 4.8	Grafik Perubahan Komposisi H <sub>2</sub> S terhadap Debit Air pada Biogas dengan Kandungan Awal Gas Metana 60%.....	35
Gambar 4.9	Grafik Perubahan Komposisi H <sub>2</sub> S Debit Air pada Biogas dengan Kandungan Awal Gas Metana 70%.....	36
Gambar 4.10	Grafik Perubahan Tekanan Keluaran Kompresor terhadap Komposisi Gas Metana Awal 50% yang Telah Dipurifikasi.....	37

- 
- Gambar 4.11 Grafik Perubahan Tekanan Keluaran Kompresor terhadap Komposisi Awal Gas Metana 60% yang Telah Dipurifikasi..... 37
- Gambar 4.12 Grafik Perubahan Tekanan Keluaran Kompresor terhadap Komposisi Awal Gas Metana 70% yang Telah Dipurifikasi..... 37
- Gambar 4.13 Grafik Perubahan HHV Biogas terhadap Perubahan Komposisi Gas Metana setelah Dipurifikasi yang Awalnya 50% pada Simulasi..... 41
- Gambar 4.14 Grafik Perubahan HHV Biogas terhadap Perubahan Komposisi Gas Metana setelah Dipurifikasi yang Awalnya 60% pada Simulasi..... 42
- Gambar 4.15 Grafik Perubahan HHV Biogas terhadap Perubahan Komposisi Gas Metana setelah Dipurifikasi yang Awalnya 70% pada Simulasi..... 42
- Gambar 4.16 Grafik Perubahan HHV Biogas terhadap Perubahan Komposisi Gas Metana setelah Dipurifikasi yang Awalnya 50% dari Perhitungan..... 43
- Gambar 4.17 Grafik Perubahan HHV Biogas terhadap Perubahan Komposisi Gas Metana setelah Dipurifikasi yang Awalnya 60% dari Perhitungan..... 43
- Gambar 4.18 Grafik Perubahan HHV Biogas terhadap Perubahan Komposisi Gas Metana setelah Dipurifikasi yang Awalnya 70% dari Perhitungan..... 43

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perkiraan Produksi Biogas dari Beberapa Jenis Kotoran.....	7
Tabel 2.2. Komposisi Biogas .....	7
Tabel 2.3. Nilai Kalor Pembakaran Biogas .....	8
Tabel 2.4. Temperatur penyalaan Sendiri untuk Berbagasi jenis Bahan Bakar .....	15
Tabel 2.5. Komponens yang Diperlukan pada HYSYS .....	17
Tabel 3.1. Variasi Komposisi Awal Biogas .....	24
Tabel 4.1 Pengujian Perubahan Diameter dan Tinggi Scrubber .....	29



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh bakteri apabila bahan organik mengalami proses fermentasi dalam reaktor (biodigester) dan kondisi anaerob (tanpa udara). Bahan yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas seperti biomassa (bahan organik bukan fosil), kotoran, sampah padat hasil aktivitas perkotaan dan lain-lain. Akan tetapi, biogas biasanya dibuat dari kotoran ternak seperti kerbau, sapi, kambing, kuda dan lain-lain. Gas yang terkandung dalam biogas utamanya adalah metana ( $\text{CH}_4$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Biogas mengandung metana (45-75% berdasarkan volume), karbon dioksida (25-55%) dan komponen lainnya termasuk sebagian kecil hidrogen ( $\text{H}_2$ ), nitrogen ( $\text{N}_2$ ), hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dan uap air (Q. Zhao dkk, 2010). Dari komposisi biogas tersebut, gas metana saja yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Sedangkan gas lainnya seperti karbondioksida yang mengurangi nilai kalor metana dan hidrogen sulfida yang mengakibatkan korosi pada mesin, maka gas-gas tersebut harus dikurangi. Gas metana adalah gas yang tidak berbau dan tidak berwarna serta memiliki titik didih  $-161\text{ }^\circ\text{C}$  pada tekanan atmosfer mudah terbakar hanya selama rentan konsentrasi 5-15% di udara.

Kadungan gas lain pada biogas harus dikurangi karena dapat merugikan biogas. Gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) bisa mengurangi nilai kalor pembakaran dan gas hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dapat menyebabkan korosi pada ruang pembakaran. Salah satu sarana yang digunakan untuk melakukan peningkatan gas metana pada biogas adalah dengan melakukan filterisasi. Banyak metode dalam meningkatkan kandungan dari gas metana diantaranya Wer scrubber, penyerapan kimia, pressure swing absorbtion (PSA), membran, biofilter, dan cyrogenic separation. Dari berbagai macam metode tersebut wet scrubber adalah teknologi yang digunakan untuk menghilangkan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dari biogas dengan menggunakan air. Gas

H<sub>2</sub>S memiliki kelarutan tinggi terhadap air. Dengan biaya investasi yang murah serta hasil peningkatan gas metana bisa mencapai 97 %. Maka dipilihlah pemurnian biogas dengan menggunakan wet scrubber.

Perlunya kajian mengenai proses purifikasi biogas dengan dengan *scrubber*. Supaya diketahui tingkatan pemurnian yang dapat dilakukan dengan wet scrubber. Kajian dilakukan dengan bantuan aplikasi HYSYS. Dengan mengadopsi wet scrubber yang menggunakan air sebagai zat yang dapat mengurangi kandungan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S karena kedua gas tersebut nilai kelarutannya lebih tinggi daripada gas metana (CH<sub>4</sub>).

Supaya mudah dalam pemindahan biogas maka perlu dilakukan pengkompresian supaya biogas dapat dikemas dalam tempat yang lebih kecil dan mudah dipindahkan. Salah satu sarana dalam penyimpanan ini adalah pada tangki LPG dengan kapasitas 7 liter. Dalam proses pembakaran kita tidak tahu bagaimana cara pengaturan biogas supaya dapat menghasilkan pembakaran yang sempurna. Maka perlu ada perancangan sistem pembakaran supaya kalor pembakaran biogas dapat maksimal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang akan diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang *wet scrubber* untuk pemurnian biogas ?
2. Bagaimana merancang kompresor untuk meningkatkan tekanan biogas supaya dapat ditempatkan pada tabung ?
3. Bagaimana menghitung nilai HHV pada biogas setelah dimurnikan ?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Komposisi serta nilai temperatur dan tekan pada biogas menggunakan data dari KUD Nongko Jajar .

2. Sistem pemurnian biogas dirancang dengan menggunakan *hysys* dengan perubahan komposisi biogas dan spesifikasi *scrubber* untuk memperoleh biogas dengan kandungan metana maksimal.
3. Desain kompresor dirancang dalam rangka meningkatkan tekanan dari biogas yang telah dimurnikan supaya dapat ditempatkan pada tabung dengan volume 7 liter.
4. Kombinasi antara *wet scrubber* dan sistem kompresi akan diamati kualitas kalor.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui perancangan *wet scrubber* untuk pemurnian biogas.
2. Melakukan perancangan kompresor untuk meningkatkan tekanan biogas supaya dapat ditempatkan pada tabung.
3. Melakukan perhitungan nilai HHV pada biogas setelah dimurnikan.

#### **1.5 Sistematika Laporan**

Laporan tugas akhir ini terdiri atas beberapa bab dengan rincian sebagai berikut :

##### **Bab I PENDAHULUAN**

Berisi tentang latar belakang dari topik tugas akhir, permasalahan yang akan diselesaikan, batasan masalah, tujuan peneliti, dan sistematika pemulidan laporan tugas akhir.

##### **Bab II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi tentang teori yang mendasari penelitian ini. Teori yang digunakan adalah definisi biogas serta kandungan gas pada biogas, pemurnian biogas, *scrubber*, teori kompresor, pembakaran bahan bakar, software *hysys*.

##### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Berisi langkah-langkah penelitian dari pengambilan data, pengkajian konsep biogas, perancangan

purifikasi biogas dengan scrubber, perancangan kompresor, dan perancangan pembakaran biogas serta proses simulasi pada HYSYS.

#### BAB IV HASIL DAN ANALISA

Berisi tentang hasil dan analisa yang dilakukan selama tugas akhir.

#### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan akhir dari penelitian yang telah dilakukan dan saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian berikutnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Biogas**

Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh bakteri apabila bahan organik mengalami proses fermentasi dalam reaktor (biodigester) dan kondisi anaerob (tanpa udara). Bahan yang dapat digunakan sebagai bahan pembuatan biogas adalah biomassa, kotoran, sampah padat hasil aktivitas perkotaan dan lain – lain. Akan tetapi biogas biasanya dibuat dari kotoran ternak (kerbau, sapi, kambing, kuda dan lain – lain). Kandungan gas pada biogas yang utama adalah metana ( $\text{CH}_4$ ) dan gas metana yang dapat dimanfaatkan sedangkan kandungan yang lainnya adalah gas – gas pengotor yang kurang bermanfaat dalam kehidupan.

Kandungan energi yang terdapat dalam gas metana tersebut dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil, seperti menggerakkan turbin yang kemudian menghasilkan listrik. Bahan bakar biogas dapat digunakan untuk keperluan memasak menggunakan kompor gas seperti kompor gas yang menggunakan elpiji serta dapat digunakan untuk menggerakkan generator set (genset) berskala rumah tangga. Widodo dkk. (2005) menyatakan bahwa biogas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu kisaran  $4800 - 6700 \text{ kkal/m}^3$  pada kandungan gas metana 50%, untuk gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor  $8900 \text{ kkal/m}^3$ .

##### **2.1.1 Penampung Biogas (Biodigester)**

Untuk menghasilkan biogas perlu adanya tempat untuk membangkitkannya. Tempat penampung kotoran ternak untuk membangkitkan biogas disebut dengan biodigester atau reaktor. Ukuran reaktor perlu diperhatikan, dalam merancang biodigester tergantung dari kualitas, kuantitas bahan organik, jenis bahan organik yang ada dan temperatur proses fermentasi. Ukuran biodigester dapat dinyatakan dengan volume biodigester (Vd). Perhitungan biodigester adalah sebagai berikut:

$$Vd = Sd \times RT \quad (2.1)$$

Keterangan :

Sd : jumlah masukan bahan baku/kotoran setiap hari ( $m^3$ /hari)  
 RT : retention Time (waktu bahan baku berada dalam biodigester [hari])

Jumlah bahan baku dalam hal ini adalah kotoran ternak tergantung seberapa banyak air yang harus dimasukkan ke dalam biodigester sehingga kadar bahan baku padatan mencapai 4-8%.

$$Sd = \text{Padatan} + \text{air} \quad (2.2)$$

Umumnya perbandingan pencampuran padatan (kotoran) dan air adalah dengan perbandingan 1:2 dan 1:3 (Uli Werner, 1989). Namun di Indonesia perbandingan kotoran dan air adalah 1:1.

Besarnya produksi biogas setiap harinya (G) dapat dihitung dengan mengalikan jumlah produksi biogas spesifik (Gy) dengan pemasukan bahan baku setiap harinya.

$$G = Gy \times Sd \quad (2.3)$$

Keterangan:

G : produksi biogas per hari (kg/hari)  
 Gy : produksi biogas ( $m^3$ ) per kg kotoran  
 Sd : jumlah pemasukan bahan baku (padatan +air)[ $m^3$ /hari]  
 Nilai Gy dapat diperkirakan pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Perkiraan Produksi Biogas dari Beberapa Jenis Kotoran

Jenis kotoran	Perkiraan produksi biogas (m <sup>3</sup> ) per kg kotoran
Sapi/kerbau	0,023 – 0,04
Babi	0,04 – 0,059
Unggas	0,065 – 0,116
Manusia	0,02 – 0,028
Kuda	0,02 – 0,035
Domba/kambing	0,01 – 0,031
Jerami padi	0,017 – 0,028
Jerami jagung	0,035 – 0,048
Rumput	0,028 – 0,055
Rumput gajah	0,033 – 0,056
Bagase	0,014 – 0,019
Sayuran	0,03 – 0,04
Alga	0,038 – 0,055

(Suyitno dkk, 2010, Teknologi Biogas: Pembuatan, Operasional dan Pemanfaatan hlm 29)

### 2.1.2 Komposisi Biogas

Kandungan biogas secara umum adalah gas metana (CH<sub>4</sub>), gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), gas hidrogen (H<sub>2</sub>), dan gas – gas lainnya dalam jumlah yang sedikit. Komposisi gas – gas tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

**Tabel 2.2** Komposisi Biogas

No	Komponen	Komposisi
1	Gas metana(CH <sub>4</sub> )	54 – 70 (%vol)
2	Gas karbon dioksida (CO <sub>2</sub> )	27 – 45 (%vol)
3	Nitrogen (N <sub>2</sub> )	< 2 (%vol)
4	Hidrogen (H <sub>2</sub> )	< 1 (%vol)
5	Gas karbon	< 2 (%vol)

	monoksida (CO)	
6	Oksigen (O <sub>2</sub> )	< 2 (Ppm)
7	Hidrogen sulfida (H <sub>2</sub> S)	< 2 (Ppm)

(Hambali, 2007 dan Widarto,1997)

### 2.1.3 Nilai Kalor Pembakaran Biogas

Panas pembakaran dari satu bahan bakar adalah panas yang dihasilkan dari pembakaran sempurna bahan bakar pada volume konstan dalam kalorimeter. Panas pembakaran bahan bakar dinyatakan dalam *High Heating Value* (HHV) dan *Lower Heating Value* (LHV). *High Heating Value* adalah panas dari bahan bakar yang masih termasuk *latent heat* dari uap air hasil pembakaran. *Lower Heating Value* adalah panas pembakaran dari bahan bakar setelah dikurangi panas laten (*latent heat*) dari uap air hasil pembakaran. Nilai kalor pembakaran pada biogas dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

**Tabel 2.3** Nilai Kalor Pembakaran Beberapa Jenis Bahan Bakar

Bahan bakar	HHV (MJ/kg)	LHV (MJ/kg)
Metana (CH <sub>4</sub> )	55,5	50,1
Gas alam	42,5	38,1
Bensin (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> )	46,7	42,5
Hidrogen (H <sub>2</sub> )	141,9	120,1

(Suyitno,dkk .Teknologi Biogas: Pembuatan, Operasional dan Pemanfaatan hlm 48)

Nilai kalori biogas tergantung pada komposisi metana dan karbondioksida, dan kandungan air di dalam gas. Gas mengandung banyak kandungan air akibat dari temperatur pada saat proses pembentukan, kandungan air pada bahan dapat menguap dan bercampur dengan metana. Pada biogas dengan kisaran normal

mengandung 60-70% metana dan 30-40% karbondioksida, nilai kalori antara 20 – 26 J/cm<sup>3</sup> (Meynell, P. J.).

Perhitungan menentukan nilai HHV adalah sebagai berikut :

$$(HHV_v)_{P_r T_r} = \sum_i (HHV)_{P_r T_r} (V)_i \quad (2.4)$$

Nilai pembakaran bahan bakar gas pada tekanan dan temperatur tertentu, dinyatakan dengan :

$$(HHV_v)_{P,T} = (HHV_v)_{P_r T_r} \frac{P_r T_r}{P T} \quad (2.5)$$

Dengan P<sub>r</sub> dan T<sub>r</sub> berturut- turut adalah tekanan dan temperatur referensi. Nilai HHV gravitasional (HHV<sub>m</sub>) dapat dihitung dengan mengalikan HHV volumetrik dengan volume spesifik gas,

$$HHV_m = (HHV_v)_{P,T} (v)_{P,T} \quad (2.6)$$

Sedangkan volume spesifik dapat dihitung berdasarkan persamaan umum gas ideal berikut,

$$PV = \frac{m}{MW} RT \quad (2.7)$$

$$v = \frac{V}{m} = \frac{RT}{MW.P} \quad (2.8)$$

Keterangan :

- P : tekanan (bar)
- T : temperatur (K)
- R : 0,08314 bar.m<sup>3</sup>/(kg.mol)(K)
- MW : berat molekul(kg/kg.mol)
- V : volume (m<sup>3</sup>)
- m : massa (kg)

Reaksi pembakaran gas metana dengan udara :



Pembakaran sempurna 1 molekul metana membutuhkan 2 molekul udara (oksigen ( $O_2$ ) dan nitrogen ( $N_2$ )) akan melepaskan 1 molekul  $CO_2$  (Karbondioksida) dan 2 molekul  $H_2O$  (air) dan 7,5 molekul  $N_2$  (nitrogen). Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak udara yang diperlukan untuk proses pembakaran suatu bahan bakar secara sempurna menjadi gas  $CO_2$  dan  $H_2O$ . Maka perbandingan udara dan bahan bakar dapat diketahui dengan AFR (air fuel ratio). Jika 1 kg  $CH_4$  dibakar sempurna maka memerlukan udara sebanyak 17,2 kg.

$$AFR = \frac{\text{massa udara}}{\text{massa bahan bakar}} \quad (2.10)$$

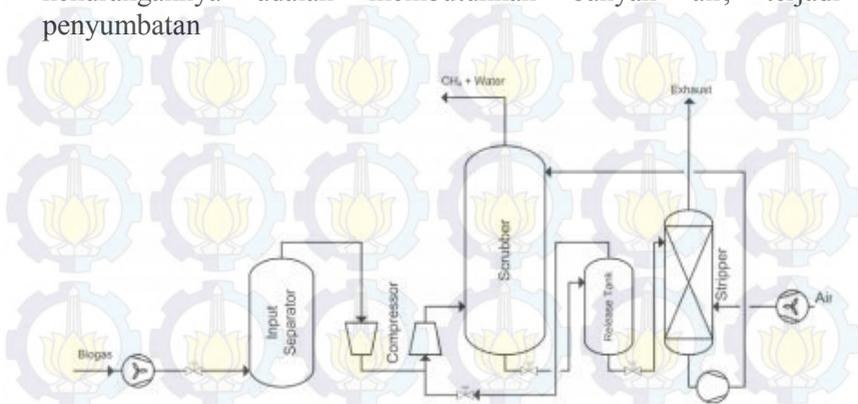
## 2.2 Pemurnian Biogas

Biogas mengandung unsur – unsur yang tidak bermanfaat dalam pembakaran khususnya  $H_2O$ ,  $CO_2$ , dan  $H_2S$ . Maka perlu dilakukan pemurnian biogas supaya kandungan gas metana pada biogas dapat meningkat dan menghilangkan unsur - unsur yang tidak bermanfaat tersebut. Pemurnian terhadap  $CO_2$  dipandang penting dalam meningkatkan nilai kalor pada biogas karena dapat digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Ada berbagai metode dalam pemurnian biogas dari  $CO_2$ , beberapa metode tersebut diantaranya adalah penyerapan dengan air (*wet scrubber*), penyerapan kimia (MEA), membran, bio-filter, dan separasi kriogenik.

### 1. Penyerapan dengan air (*Wet Scrubber*)

Secara sederhana *wet scrubber* adalah metode yang digunakan untuk menghilangkan  $CO_2$  dan  $H_2S$  dari biogas karena gas tersebut lebih mudah larut dalam air dibandingkan dengan metana. Pemurnian dilakukan dengan menggunakan air supaya  $H_2S$  dan  $CO_2$  larut dalam air. Kelarutan  $H_2S$  lebih tinggi daripada  $CO_2$ . Pemurnian ini murni secara fisik dan tekanan pada *scrubber* biasanya pada tekanan 7 – 10 bar. Kelebihan metode ini adalah

Efisiensi  $>97\%$   $\text{CH}_4$ , kehilangan  $\text{CH}_4$  rendah  $<2\%$  dan kekurangannya adalah membutuhkan banyak air, terjadi penyumbatan



**Gambar 2.1** Flow Chart dari Teknologi Scrubber (CSANR Research Report 2010 – 001)

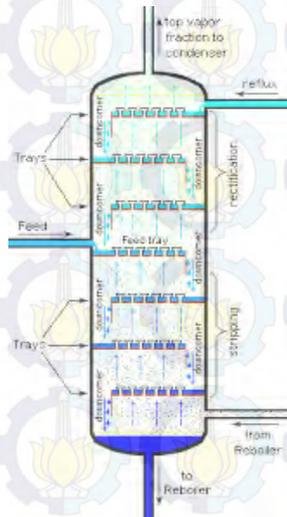
### 2.3 Scrubber

*Scrubber* adalah salah satu peralatan pokok yang mengontrol emisi gas, terutama gas asam. *Wet scrubber* adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan variasi alat yang menggunakan *liquid* untuk membuang polutan. Pada *wet scrubber*, arus gas kotor dibawa menuju kontak dengan liquid pencuci dengan cara menyemprotkan, mengalirkannya atau dengan metode kontak lainnya. Tentu saja desain dari alat kontrol polusi udara (termasuk *wet scrubber*) tergantung pada kondisi proses industri dan sifat alami polutan udara yang bersangkutan.

*Scrubber* dapat didesain untuk mengumpulkan polutan partikel dan atau gas. *Wet scrubber* membuang partikel dengan cara menangkapnya dalam tetesan atau butiran liquid. Sedangkan untuk polutan gas proses *wet scrubber* adalah dengan melarutkan atau menyerap polutan ke dalam liquid. Adapun butiran liquid yang masih terdapat dalam arus gas pasca pencucian selanjutnya harus dipisahkan dari gas bersih.

Scrubber yang akan digunakan pada penelitian ini adalah dengan model *Tray Tower Scrubber*. Karena pada Hysys mode scrubber yang dapat digunakan adalah berupa separator atau pemisah fasa dengan menggunakan tray atau saringan. *Scrubber* tersebut berbentuk vertikal, dimana bagian dalam dari kolom berisi sejumlah *tray* atau *plate* yang disusun pada jarak tertentu (*tray/plate spacing*) di sepanjang kolom. Jumlah *tray/plate* ideal yang dibutuhkan untuk memperoleh hasil pemisahan bergantung pada tingginya kesulitan pemisahan zat yang akan dilakukan dan juga ditentukan berdasarkan perhitungan neraca massa dan kesetimbangan. Gas yang mengalir dari bagian bawah *Scrubber* akan melintas dari lubang-lubang yang ada pada setiap pelat yang digenangi oleh aliran air yang mengalir dari bagian atas *scrubber*.

Tipe ini tidak efektif untuk ukuran partikel sub mikron tetapi tipe ini memiliki efisiensi tinggi untuk ukuran partikel  $> 5\mu\text{m}$  dimana dengan ukuran tersebut efisiensi yang didapat mencapai 97%. Desain ini baik digunakan untuk aliran gas 1.000 – 75.000 cfm dengan L/G ratio lebih kecil dibandingkan dengan *Spray Tower* dan *Ventury Scrubber*.



**Gambar 2.2** Model Tray Tower Scrubber (Santosa, H., 2004,

Diktat Kuliah Perancangan Tray Tower)

*Wet scrubber* menangkap partikel debu yang kecil relatif terhadap butiran liquid yang besar. Di kebanyakan *wet scrubber*, droplet yang dihasilkan biasanya adalah lebih dari 50 micrometer (dalam range 150 – 500 micrometer). Sebagai tolak ukur, ukuran diameter rambut manusia berkisar antara 50 sampai 100 micrometer. Distribusi ukuran partikel yang akan dibuang dalam sistem tergantung dari sumber. Contohnya, partikel yang dihasilkan dari peralatan mekanik (*crush* atau *grind*) cenderung besar (di atas 10 micrometer) sedangkan partikel yang berasal dari combustion atau reaksi kimia akan memiliki partikel yang kecil (kurang dari 5 micrometer) atau berukuran submikrometer. Ukuran partikel yang paling kritis adalah antara 0,1 – 0,5 micrometer karena partikel dengan ukuran tersebut adalah yang paling sulit dikumpulkan atau dibuang oleh *wet scrubber*.

## 2.4 Kompresor

Kompresor adalah alat pemampat atau pengkompresi udara dengan kata lain kompresor adalah penghasil udara mampat. Karena proses pemampatan, udara mempunyai tekanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan udara lingkungan (1 atm). Melakukan kompresi pada biogas mengurangi keperluan penyimpanan, memusatkan kandungan energi, dan menaikkan tekanan hingga batas yang dibutuhkan untuk mengatasi tahanan aliran gas. Terkadang tekanan yang ada dari hasil digester tidak mencapai kebutuhan tekanan yang diperlukan pada peralatan yang akan digunakan. Maka dengan mengkompresi biogas dapat mengeliminasi hal-hal yang mungkin tidak diinginkan dan menjamin pengoperasian yang lebih efisien pada peralatan.



**Gambar 2.3** Kompresor (www.alibaba.com)

Temperatur biogas akan mendekati sama dengan temperatur sumbernya di mana biogas tersebut dihasilkan, yaitu digester. Temperatur operasi maksimum dari sebuah sistem penanganan biogas akan mendekati 150°F karena temperatur pembangkit biogas tertinggi yang dikenal sebagai *thermophilic* digester beroperasi terbaik pada temperatur 131°F.

$$T_{\text{kompresor out}} = T_{\text{kompresor in}} \times (P_{\text{out}}/P_{\text{in}}) \quad (2.11)$$

(Heisler, 1981, *biogas utilization handbook* hlm 24)

Keterangan :

$T_{\text{kompresor out}}$  = temperatur gas keluar kompresor (°C)

$T_{\text{kompresor in}}$  = temperatur gas masuk kompresor (°C)

$P_{\text{out}}$  = tekanan keluar kompresor (psig)

$P_{\text{in}}$  = tekanan masuk kompresor (psig)

Pemilihan apakah memakai sebuah blower atau kompresor tergantung dari jumlah kenaikan tekanan yang diperlukan. Tanpa mengabaikan tekanan yang diperlukan, keduanya (blower atau kompresor) harus memenuhi spesifikasi desain untuk menangani biogas. Dalam mengkompresi biogas perlu diperhatikan bahwa

kenaikan temperatur biogas tidak boleh sampai ke temperatur nyala (*autoignition temperature*) dari biogas, dimana bisa terjadi penyalaaan biogas dengan sendirinya (tanpa bantuan bunga api). Karena gas adalah dapat dikompresi (*compressible*), kompresor juga mengurangi volumenya. Sedangkan temperatur yang dicapai supaya tidak mencapai 630°C.

**Tabel 2.4** Temperatur Penyalaaan Sendiri untuk Berbagai Jenis Bahan Bakar

No	Jenis Bahan Bakar	Temperatur Penyalaaan Sendiri (°C)
1	Bensin	260
2	Karbon	400
3	Hidrogen	580
4	CO	610
5	CH <sub>4</sub>	630
6	Minyak Tanah	230

(Suyitno,dkk. Teknologi Biogas: Pembuatan, Operasional dan Pemanfaatan hlm 50)

Energi yang diperlukan menjadi sebuah komponen penting dari desain sistem. Perkiraan biasanya berdasarkan pada proses kompresi adiabatik (kompresi tanpa pendinginan) karena perhitungan perkiraan energi maksimum yang diperlukan untuk kompresi dalam sebuah kompresor tanpa gesekan. Secara matematis, hubungan antara tekanan sistem, kapasitas kompresor, dan energi yang diperlukan untuk kompresi dalam kompresor adiabatik, tanpa gesekan (*frictionless*) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$W = \frac{k}{k-1} RT_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (2.12)$$

(Heisler, 1981, *biogas utilization handbook*:53)

Keterangan :

W = kerja poros yang diperlukan untuk kompresi (horse power)

k = perbandingan panas jenis (Cp/Cv) dari biogas = 1,3

R = konstanta bas untuk biogas (0,0729 Btu.lb.°R)

T<sub>1</sub> = temperatur awal (°F)

P<sub>1</sub> = tekanan awal (psig)

P<sub>2</sub> = tekanan akhir (psig)

Menghitung efisiensi volmetris ( $\eta_v$ ) :

$$\eta_v = \frac{Q_s}{Q_{th}} \quad (2.13)$$

(Sularso dkk, Pompa dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan, 2006, hal.189)

Keterangan :

Q<sub>s</sub> : volume gas yang dihasilkan pada tekanan dan temperatur isap (m<sup>3</sup>/min)

Q<sub>th</sub> : perpindahan torak (m<sup>3</sup>/min)

Besar efisiensi volumetris juga dapat dihitung secara teoritis berdasarkan volume gas yang dapat diisap secara efektif oleh kompresor dengan rumus sebagai berikut :

$$\eta_v = 1 - \varepsilon \left( \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right) \quad (2.14)$$

(Sularso dkk, Pompa dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan, 2006, hal.189)

Keterangan :

$\varepsilon$  : V<sub>c</sub>/V<sub>s</sub> , volume sisa relatif

n : koefisiensi ekspansi gas yang tertinggal di dalam volume sisa. Untuk udara n=1,2

Menghitung efisiensi adiabatik ( $\eta_{ad}$ ):

$$\eta_{ad} = \frac{W_{ad}}{W_s} \quad (2.15)$$

(Sularso dkk, Pompa dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan, 2006, hal.190)

Keterangan :

W<sub>ad</sub> : daya adiabatik teoritis (kW)

W<sub>s</sub> : daya yang masuk pada poros kompresor (kW)

Besarnya daya teoritis adiabatik dapat dihitung dengan rumus :

$$W_{ad} = \frac{m.k}{k-1} \cdot \frac{P_s}{6121} Q_s \left( \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{m.k}} - 1 \right) \quad (2.16)$$

(Sularso dkk, Pompa dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan, 2006, hal.190)

Keterangan :

m : jumlah tingkat kompresi (m=1,2,3,...dst)

k : perbandingan panas jenis gas, 1,4 untuk udara

P<sub>s</sub> : tekanan isap tingkat pertama (kgf/m<sup>2</sup>.abs)

P<sub>d</sub> : tekanan keluar dari tingkat terakhir (kgf/m<sup>2</sup>.abs)

Jika dipakai tekanan dalam satuan Pa maka dipakai rumus:

$$W_{ad} = \frac{m.k}{k-1} \cdot \frac{P_s}{60000} Q_s \left( \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{m.k}} - 1 \right) \quad (2.17)$$

(Sularso dkk, Pompa dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan, 2006, hal.190)

## 2.5 Konsep Pembakaran

Konsep dalam pembakaran biasanya dikenal dengan konsep mol. Massa satu gram (1 gram) atom yang sama dengan massa molar (massa atomnya) disebut satu grammol (1 grammol) dari zat tersebut atau biasa ditulis satu mol (1 mol). Untuk gas, volume dari satu mol disebut volume molar yang besarnya untuk gas ideal pada satu atmosfer (1 atm) absolut adalah 22,4 liter. Konsep massa dan volume molar ini sangat berguna dalam perhitungan pembakaran.

Di dalam pembakaran (oksidasi) selalu terikat unsur oksigen, unsur ini diperoleh dari udara sekitar. Untuk keperluan itu maka diberikan beberapa batasan mengenai udara pembakar, yaitu :

1. Udara kering adalah udara tanpa kandungan air (dry air)
2. Udara basah adalah udara dengan kandungan air tertentu (wet air)
3. Udara baku (standard air) adalah udara dengan kandungan 0,013 kg air per kg udara kering atau 0,021 mole uap air per mole udara kering (sesuai dengan RH = 60% pada 25°C, 1 atm)

## 2.6 Hysys

Hysys merupakan software process engineering untuk mensimulasikan suatu unit process atau multi unit process yang terintegrasi, intuitive, iterative, open and extensible. Simulator Hysys bermanfaat untuk aplikasi di industri kimia seperti:

1. Perancangan suatu industri kimia
2. Memonitor kemampuan dari industri kimia yang telah exist
3. Melacak permasalahan proses yang terjadi di industri kimia
4. Kemungkinan peningkatan kapasitas produksi dari plant

Komponen yang digunakan pada simulasi hysys adalah scrubber, kompresor dan gas burner. Scrubber digunakan untuk meningkatkan gas metana, kompresor digunakan untuk meningkatkan tekanan supaya energi meningkat. Dan gas burner sebagai simulator pembakaran gas metana dengan udara.

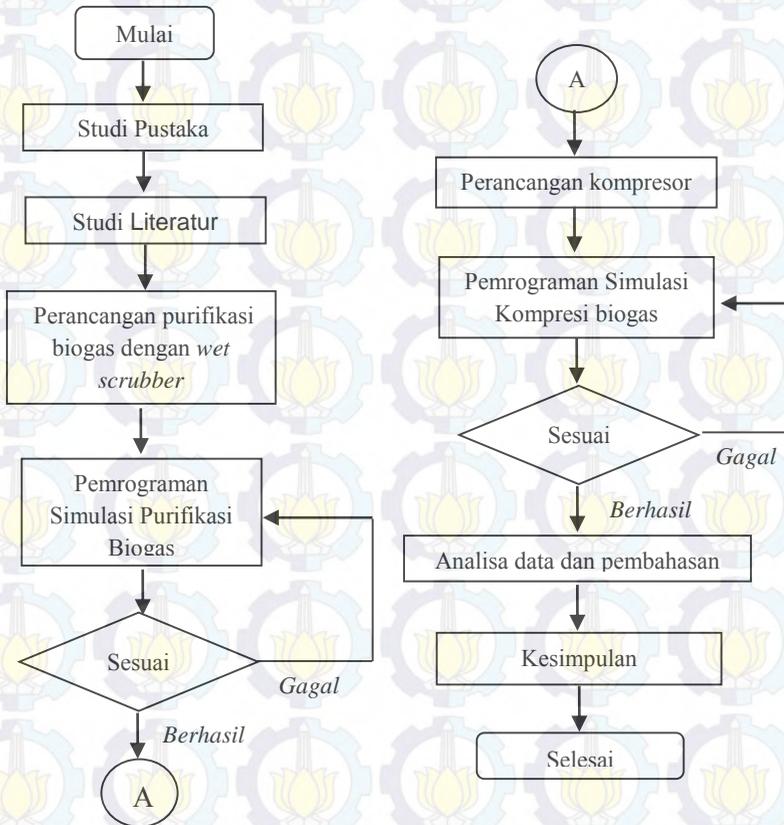
**Tabel 2.5** Komponen yang Diperlukan pada HYSYS

Nama komponen	Gambar	Keterangan
Aliran massa		Jenis material proses yang akan diuji dengan memasukkan temperatur, tekanan, aliran massa, dan komposisi
Power stream		Masukan daya yang akan digunakan untuk menggerakkan komponen tertentu
Scrubber		Scrubber yang akan digunakan dengan mengatur tekanan, aliran massa yang masuk, dan dimensinya.
Tangki		Tempat penampungan sementara biogas sebelum dilakukan kompresi, dapat mengatur volume tangki dan isi dari tangki (persen gas dan air)

Kompresor		Kompresor yang akan digunakan dengan memilih jenis kompresor, daya yang diperlukan, serta efisiensi adiabatik dan politropik yang digunakan.
Cooler		Sebagai penurun tekanan dan temperatur sesuai yang diinginkan

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini memiliki tahapan-tahapan dari penelitian ini sebagai berikut ini

1. Studi Pustaka

Studi pustaka meliputi pemahaman pemurnian biogas, cara pengkompresian biogas.

2. Studi Literatur

Studi literatur meliputi definisi biogas dan pengumpulan data komposisi biogas, sistem peningkatan kandungan gas metana dengan *wet scrubber*, kompresor yang digunakan untuk meningkatkan nilai tekanan pada biogas.

3. Perancangan purifikasi biogas

Merancang alat yang digunakan untuk meningkatkan komposisi  $\text{CH}_4$  yang terdapat pada biogas dengan menggunakan *wet scrubber*. Perancangan dilakukan dengan melakukan variasi diameter, ketinggian, dan debit air yang masuk pada *wet scrubber*. Perancangan tersebut disimulasikan pada HYSYS dan dilihat diameter, ketinggian, dan debit air yang sesuai untuk mengurangi kandungan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$ . Jika komposisi  $\text{CH}_4$  sudah mencapai komposisi yang diharapkan dengan melihat berkurangnya kandungan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  maka akan dilanjutkan pada tahap berikutnya.

4. Perancangan kompresor

Merancang kompresor dilakukan dengan memilih jenis kompresor, daya yang digunakan supaya tekanan yang keluar dari kompresor dapat memperkecil volume biogas supaya dapat dikemas serta efisiensi adiabatik dan efisiensi politropik yang digunakan.

5. Hasil dan analisa

Hasil yang diperoleh berupa data persen volume biogas yang telah dilakukan purifikasi dengan ketentuan tertentu dari perancangan *wet scrubber*, ketentuan kompresor tertentu untuk mengompres volume biogas supaya dapat ditabungkan. Dan nilai HHV dari biogas dengan kandungan metana tertentu.

6. Pembuatan Laporan

### 3.2 Simulasi Hysys

Perancangan sistem purifikasi dan pembakaran biogas dilakukan dengan melakukan simulasi menggunakan software Hysys 7.3. Secara garis besar simulasinya adalah sebagai berikut :

#### 3.2.1 Perancangan Sistem Purifikasi

Sebelum dirancang *wet scrubber* sebagai alat purifikasi perlu diketahui berapa jumlah gas metana dan gas lainnya yang ada pada biogas. Maka pada perancangan ini diasumsikan volume biodigester berukuran 31 m<sup>3</sup>. Dengan perhitungan sebagai berikut, produksi biogas adalah 10 kg/hari, Gy adalah perkiraan produksi biogas per kg kotoran oleh sapi, Gy yang digunakan adalah 0,02 m<sup>3</sup>/kg.

$$G = Gy \times \text{jumlah kotoran total}$$

$$\text{jumlah kotoran total} = \frac{G}{Gy}$$

$$\text{jumlah kotoran total} = \frac{10}{0,02}$$

$$\text{jumlah kotoran total} = 500 \text{ kg}$$

Menghitung jumlah kotoran dan air yang ditambahkan perbandingannya adalah 1 : 1, maka

$$Sd = 500 + 500$$

$$Sd = 1000 \text{ kg/hari}$$

Menghitung volume reaktor

$$Vd = 1000 \times 35$$

$$Vd = 35000 \text{ kg}$$

Dengan massa jenis kotoran sapi dan air  $1100 \text{ kg/m}^3$ , sehingga diperoleh :

$$Vd = \frac{35000}{1100} = 31 \text{ m}^3$$

Maka biogas yang akan masuk ke dalam *wet scrubber* ada 3 kemungkinan yaitu dengan komposisi gas metana terkecil 50% yang terbesar 70% dan di tengah – tengah 60%. Temperatur biogas yang digunakan adalah  $25^\circ\text{C}$  sedangkan temperatur air adalah  $25^\circ\text{C}$ . Tekanan biogas dan air adalah 1,5 bar. Variasi komposisi dari kandungan biogas dapat dilihat pada tabel 3.1 di bawah ini.

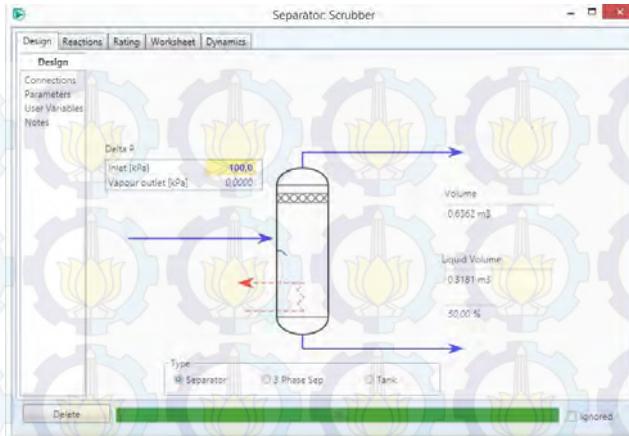
**Tabel 3.1** Variasi komposisi awal biogas

No	Komponen	Komposisi 1 (% volume)	Komposisi 2 (% volume)	Komposisi 3 (% volume)
1	CH <sub>4</sub>	50	60	70
2	CO <sub>2</sub>	45	35	25
3	H <sub>2</sub> S	2	2	2
4	N <sub>2</sub>	1	1	1
5	H <sub>2</sub>	1	1	1
6	O <sub>2</sub>	1	1	1

(Sutrisno, 2007, Pembangkit Listrik Tenaga Biogas)

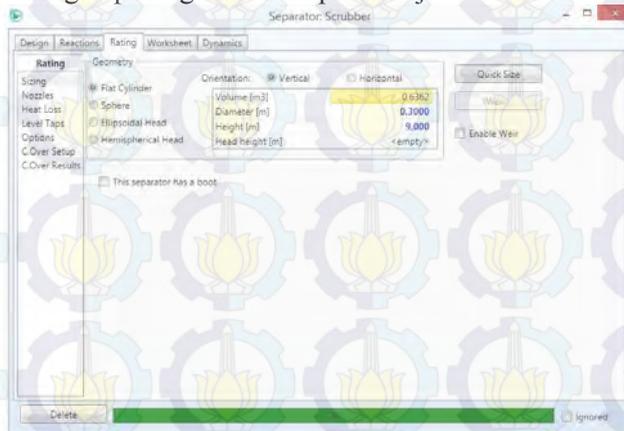
Kemudian dirancang *wet scrubber* dengan hysys. Perancangan dengan simulasi adalah sebagai berikut :

Pada perancangan *wet scrubber* biogas masuk ditempatkan pada bagian bawah sedangkan air yang masuk ditempatkan di bagian atas. Kalau terbalik proses purifikasi tidak berjalan karena air yang digunakan harus mengalir maka di tempatkan di bagian atas.



**Gambar 3.2** Pengaturan Tekanan *Wet Scrubber* pada Hysys

Pada Gambar 3.2 di atas adalah pengaturan tekanan kerja pada *wet scrubber*. Tekanan yang digunakan adalah 1 bar karena tekanan biogas dan air adalah 1,5 bar supaya air yang digunakan sebagai pelarut dapat mengalir pada *wet scrubber*. Debit air yang dimasukkan juga dilakukan variasi dari 10 m<sup>3</sup>/jam sampai 100 m<sup>3</sup>/jam dengan peningkatan setiap 10 m<sup>3</sup>/jam.

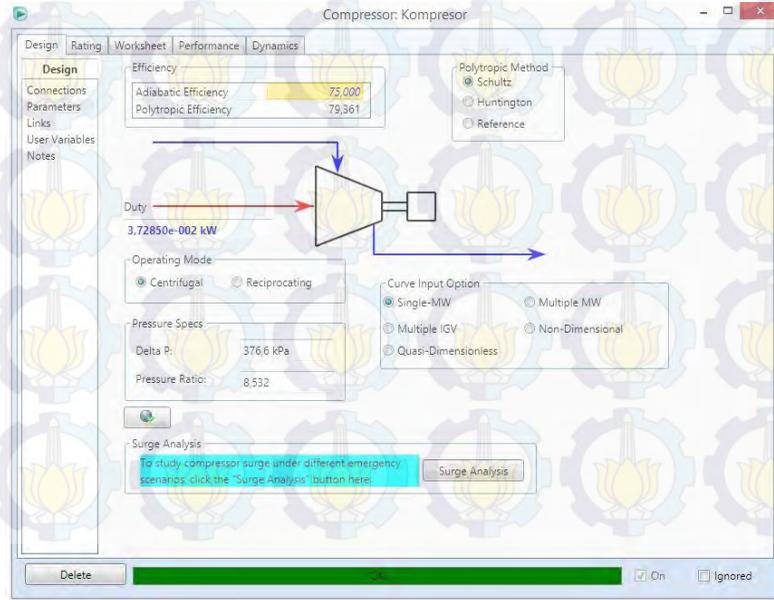


**Gambar 3.3** Pengaturan Diameter dan Ketinggian Scrubber pada Hysys

Pada Gambar 3.3 di atas adalah pengaturan bentuk *wet scrubber* serta variasi diameter dan ketinggian yang digunakan. Bentuk *wet scrubber* yang digunakan adalah tabung tertutup dengan alas dan atap datar. Variasi diameter yang dilakukan adalah 10, 15, 20, 25, 30 cm. Sedangkan variasi ketinggian yang dilakukan adalah 3, 4, 5, 6, 7, 8, dan 9 m. Biogas hasil purifikasi mempunyai temperatur 24°C dan bertekanan 0,5 bar.

### 3.2.2 Perancangan Kompresor

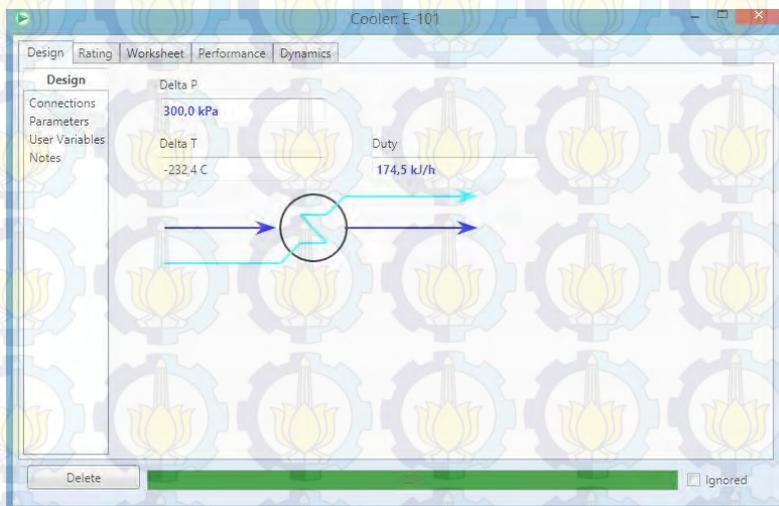
Dalam perancangan kompresor berfungsi sebagai alat untuk memampatkan volume biogas hasil purifikasi yang telah ditampung pada tempat penampung sementara supaya dapat dikemas ke dalam tabung yang lebih kecil supaya memudahkan dalam mobilisasi. Sebelum dilakukan pengkompresian biogas hasil purifikasi akan ditampung pada tangki penampungan sementara. Tangki penampungan yang digunakan pada simulasi ini adalah dengan volume 70 liter yang nantinya akan di tempatkan pada tabung dengan volume 7 liter.



**Gambar 3.4** Perancangan Kompresor pada Hysys

Pada perancangan kompresor dipilih tipe sentrifugal dengan daya tertentu dan efisiensi adiabatik serta politropik tertentu. Kebutuhan daya berubah tergantung komposisi dari biogas. Tekanan yang diperlukan adalah 5 bar maka daya yang diperlukan pada kompresor ini adalah 0,05 hp pada biogas dengan kandungan awal gas metana 50%, daya yang dibutuhkan meningkat menjadi 0,06 hp pada gas metana 60% dan daya yang dibutuhkan pada gas metana 70% adalah 0,07 hp.

Temperatur keluaran dari kompresor yang masih tinggi perlu diturunkan maka digunakan *cooler* sebagai penurun temperatur. Berikut pengaturannya pada *cooler*.



**Gambar 3.5** Pengaturan *Cooler* pada *Hysys*

Pada Gambar 3.5 adalah pengaturan berupa penurunan temperatur dan tekanan yang diinginkan dan daya yang digunakan pada *cooler*. Penurunan temperatur dan tekanan pada ketiga kondisi biogas adalah -237°C, -245°C, -252°C dan 3 bar untuk kondisi biogas pertama dan kedua, 4 bar pada biogas kondisi ketiga. Sedangkan daya yang diperlukan pada ketiga

kondisi biogas masing- masing adalah 0,065 hp, 0,075 hp, dan 0,085 hp.

### 3.2.3 Perhitungan Nilai HHV Biogas

Pada perhitungan nilai HHV pada biogas menggunakan persamaan (2.4). Biogas yang telah dipurifikasi dengan *wet scrubber* memiliki kandungan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) 47,25%, karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) 42,15%, hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) 1,84%, hidrogen ( $\text{H}_2$ ) 0,95%, oksigen ( $\text{O}_2$ ) 0,95%, dan nitrogen ( $\text{N}_2$ ) 0,95%. Yang kemudian dikompresi maka nilai tekanan biogas menjadi 4,1 bar dengan temperatur 243°C. Kemudian pada tabung penyimpanan tekanan diturunkan menjadi 1,1 bar dengan temperatur 11°C.

Pada kondisi referensi temperatur 20°C dan tekanan 1 atm  $\text{HHV}_v \text{CH}_4$  adalah 37.204 kJ/m<sup>3</sup>,  $\text{HHV}_v \text{CO}_2$  adalah 0 (nol),  $\text{HHV}_v \text{H}_2\text{S}$  adalah 23.720 kJ/m<sup>3</sup>,  $\text{HHV}_v \text{H}_2$  adalah 11.908 kJ/m<sup>3</sup>,  $\text{HHV}_v \text{O}_2$  adalah 0 (nol), dan  $\text{HHV}_v \text{N}_2$  adalah 0 (nol). Sedangkan berat molekul  $\text{CH}_4$  adalah 16 kg/kg.mol,  $\text{CO}_2$  adalah 44 kg/kg.mol,  $\text{H}_2\text{S}$  adalah 34 kg/kg.mol,  $\text{H}_2$  adalah 2 kg/kg.mol,  $\text{O}_2$  adalah 32 kg/kg.mol,  $\text{N}_2$  adalah 28 kg/kg.mol.

Berat molekul biogas adalah :

$$\begin{aligned} MR &= 0,4725(16) + 0,4215(44) + 0,0184(34) + 0,0095(2) \\ &\quad + 0,0095(32) + 0,0095(28) \\ &= 27.3206 \text{ kg/kg.mol} \end{aligned}$$

Menghitung  $\text{HHV}_v$  campuran :

$$\begin{aligned} (\text{HHV}_v)_{mix} &= 0,4725(\text{HHV}_v)_{\text{CH}_4} + 0,4215(\text{HHV}_v)_{\text{CO}_2} + \\ &\quad 0,0184(\text{HHV}_v)_{\text{H}_2\text{S}} + 0,0095(\text{HHV}_v)_{\text{H}_2} + \\ &\quad 0,0095(\text{HHV}_v)_{\text{N}_2} + 0,0095(\text{HHV}_v)_{\text{O}_2} \\ &= 0,4725(37.204) + 0,4215(0) + 0,0184(23.720) \\ &\quad + 0,0095(11.908) + 0,0095(0) \\ &\quad + 0,0095(0) \\ &= 18.128 \text{ kJ/m}^3 \end{aligned}$$

$\text{HHV}_v$  biogas pada tekanan 1,1 bar dan temperatur 11°C

$$\begin{aligned}
 (HHV_v)_{1,1 \text{ bar}, 11^\circ\text{C}} &= (HHV_v)_{mix} \frac{P_r}{P} \frac{T_r}{T} \\
 &= 18.128 \left( \frac{1,1}{1,013} \right) \left( \frac{293}{284} \right) \\
 &= 20.573 \text{ kJ/m}^3
 \end{aligned}$$

Menghitung volume jenis :

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{0,08314 \cdot 284}{27.3206 \cdot 1,1} \\
 &= 0,7857 \text{ m}^3/\text{kg}
 \end{aligned}$$

Nilai pembakaran tinggi (HHV) gravitasional biogas sebesar :

$$\begin{aligned}
 HHV_m &= (HHV)_{P_r, T_r} (V)_{P, T} \\
 &= 20.573 \cdot 0,7857 \\
 &= 16.164 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Sedangkan pada hysys dapat dilihat pada Gambar 3.6 yang diberi tanda kotak warna merah. Dalam kotak tersebut tertulis 1,526e+004 kJ/kg yang berarti bernilai 15.260 kJ/kg.

Material Stream: Hasil

Worksheet	Stream Name	Hasil	Vapour Ph
Conditions	Molecular Weight	28.41	20
Properties	Molar Density [kgmole/m3]	9,735e-002	9,735e-
Composition	Mass Density [kg/m3]	2,766	2,
Oil & Gas Feed	Act. Volume Flow [m3/h]	0,1555	0,1
Petroleum Assay	Mass Enthalpy [kJ/kg]	-7295	-7
K Value	Mass Entropy [kJ/kg-C]	6,913	6,
User Variables	Heat Capacity [kJ/kgmole-C]	44,93	4,
Notes	Mass Heat Capacity [kJ/kg-C]	1,582	1,
Cost Parameters	LHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]	3,911e-005	3,911e-
Normalized Yields	HHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]	4,334e-005	4,334e-
	HHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]	1,526e+004	1,526e+
	CO2 Loading	<empty>	<emp
	CO2 Apparent Mole Conc. [kgmole/m3]	<empty>	<emp
	CO2 Apparent Wt. Conc. [kgmol/kg]	<empty>	<emp
	LHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]	1,377e+004	1,377e-
	Phase Fraction [Vol. Basis]	1,000	1,
	Phase Fraction [Mass Basis]	1,000	1,
	Phase Fraction [Act. Vol. Basis]	1,000	1,
	Mass Energy [kJ/kg]	204,2	<emp

Property Correlation Controls

Preference Option:

Delete Define from Stream... View Assay

**Gambar 3.6** Nilai HHV Biogas pada *Hysys*

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Purifikasi dengan *Wet Scrubber*

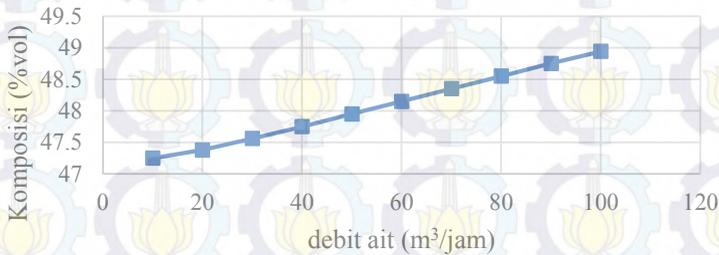
Pada proses simulasi purifikasi biogas dengan *wet scrubber* dilakukan variasi diameter dan ketinggian. Bentuk *wet scrubber* yang digunakan adalah tabung dengan alas dan tutup datar. Diameter ( $d$ ) divariasikan dari 10 cm sampai 30 cm dengan nilai penambahan 5 cm. Ketinggian ( $t$ ) tabung divariasikan dari ukuran 3 m sampai 9 m dengan penambahan 1 m maka. Terdapat 35 variasi dari diameter dan ketinggian tabung. Akan dilakukan pengamatan apakah terjadi perubahan terhadap komposisi biogas jika dimensi scrubber diubah – ubah.

**Tabel 4.1** Pengujian Perubahan Diameter dan Tinggi Scrubber

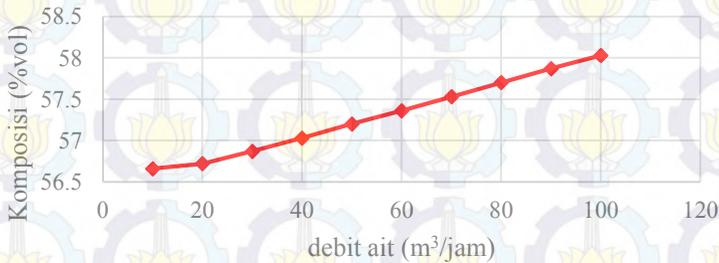
$d$ (cm) \ $t$ (cm)	10	15	20	25	30
300	x	x	x	x	x
400	x	x	x	x	x
500	x	x	x	x	x
600	x	x	x	x	x
700	x	x	x	x	x
800	x	x	x	x	x
900	x	x	x	x	x

Tanda x (silang) menunjukkan tidak terjadi perubahan komposisi biogas terhadap perubahan diameter dan ketinggian. Pada kondisi biogas pertama dengan kandungan  $\text{CH}_4$  (50%),  $\text{CO}_2$  (45%),  $\text{H}_2\text{S}$  (2%),  $\text{N}_2$  (1%),  $\text{O}_2$  (1%), dan  $\text{H}_2$  (1%). Setelah dilakukan variasi diameter dan ketinggian dengan debit air yang masuk adalah  $10 \text{ m}^3/\text{jam}$  komposisi biogas berubah dan tetap pada perubahan diameter dan ketinggian. Hasil dapat dilihat pada lampiran 1.

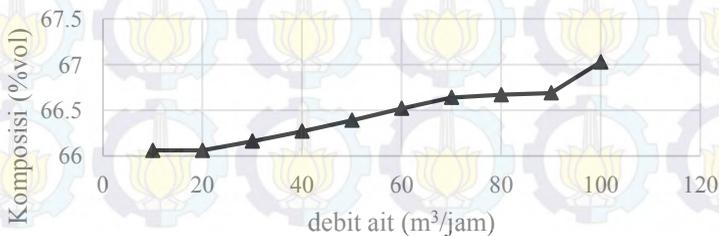
Variasi berikutnya adalah variasi debit air yang masuk pada *wet scrubber*. Variasi dilakukan pada nilai 10 m<sup>3</sup>/jam sampai 100 m<sup>3</sup>/jam dengan penambahan 10 m<sup>3</sup>/jam. Hasil variasi debit air yang masuk pada *wet scrubber* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 4.1** Grafik Perubahan Komposisi Gas Metana Awal 50% terhadap Debit Air



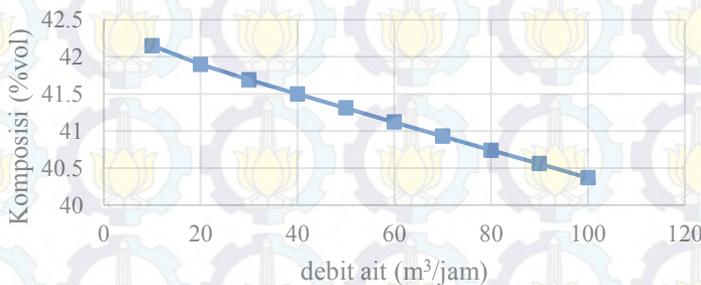
**Gambar 4.2** Grafik Perubahan Komposisi Gas Metana Awal 60% terhadap Debit Air



**Gambar 4.3** Grafik Perubahan Komposisi Gas Metana Awal 70% terhadap Debit Air

Gambar 4.1 sampai Gambar 4.3 menunjukkan hasil simulasi purifikasi biogas dengan *wet scrubber*. Biogas yang awalnya mengandung gas metana 50% berkurang menjadi 47,25% pada debit air 10 m<sup>3</sup>/jam, pengurangan gas metana menjadi lebih kecil jika debit air ditingkatkan menjadi 100 m<sup>3</sup>/jam, gas metana pada biogas menjadi 48,95%. Hal serupa juga terjadi pada biogas dengan kandungan awal gas metana 60% dan 70%. Gas metana berkurang menjadi 58,03% dan 67,03% pada debit air 100 m<sup>3</sup>/jam. Jadi purifikasi biogas menggunakan air pada *wet scrubber* dapat mengurangi kandungan gas metana pada biogas tetapi dapat diperkecil pengurangannya dengan meningkatkan debit air yang digunakan.

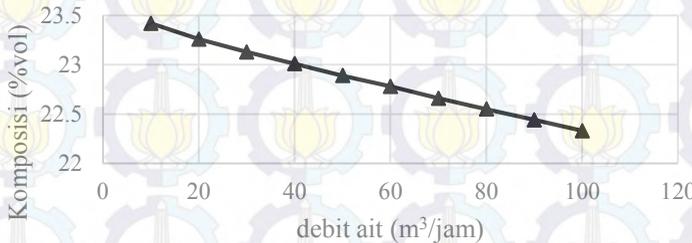
Namun air yang digunakan sebagai purifikasi biogas dapat mengurangi kandungan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan gas hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) karena kedua gas tersebut nilai kelarutannya lebih tinggi dibandingkan dengan gas metana. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan hasil pengurangan komposisi karbon dioksida dan hidrogen sulfida dapat dilihat pada lampiran 2.



**Gambar 4.4** Grafik Perubahan Komposisi CO<sub>2</sub> pada Kondisi Awal 45% terhadap Debit Air



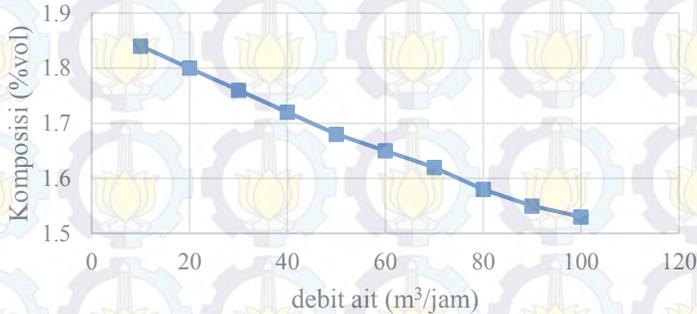
**Gambar 4.5** Grafik Perubahan Komposisi CO<sub>2</sub> pada Kondisi Awal 35% terhadap Debit Air



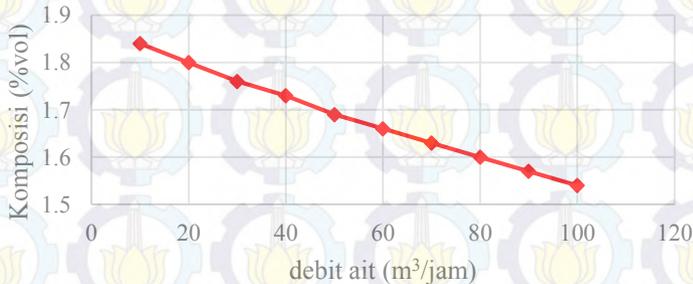
**Gambar 4.6** Grafik Perubahan Komposisi CO<sub>2</sub> pada Kondisi Awal 25% terhadap Debit Air

Gambar 4.4 sampai 4.6 menjelaskan bahwa gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) pada biogas berkurang dengan bertambahnya debit air yang digunakan pada *wet scrubber*. Biogas pertama dengan kandungan gas karbon dioksida 45% berkurang menjadi 42,15% pada debit air 10 m<sup>3</sup>/jam. Pengurangan lebih besar jika debit air ditingkatkan menjadi 100 m<sup>3</sup>/jam, karbon dioksida berkurang menjadi 40,37%. Pengurangan terbesar juga terjadi pada karbon dioksida yang awalnya 35% dan 25% yang dipurifikasi dengan *wet scrubber* dengan debit 100 m<sup>3</sup>/jam. Karbon dioksida berkurang menjadi 31,31% dan 22,33%. Maka dapat disimpulkan dengan meningkatkan debit air pada *wet scrubber* dapat meningkatkan pengurangan karbon dioksida pada biogas.

Hidrogen sulfida ( $H_2S$ ) yang dapat menimbulkan karat pada mesin yang terkandung pada biogas setelah dilakukan purifikasi juga berkurang. Berdasarkan Gambar 4.7 hidrogen sulfida pada biogas yang awalnya 2% dapat berkurang menjadi 1,84 dengan debit air 10  $m^3/jam$ . Jika debit ditingkatkan menjadi 100  $m^3/jam$  maka kandungan hidrogen sulfida pada biogas menjadi 1,53%.



**Gambar 4.7** Grafik Perubahan Komposisi  $H_2S$  terhadap Debit Air pada Biogas dengan Kandungan Awal Gas Metana 50%



**Gambar 4.8** Grafik Perubahan Komposisi  $H_2S$  terhadap Debit Air pada Biogas dengan Kandungan Awal Gas Metana 60%



**Gambar 4.9** Grafik Perubahan Komposisi H<sub>2</sub>S Debit Air pada Biogas dengan Kandungan Awal Gas Metana 70%

Gambar 4.8 menunjukkan hidrogen sulfida pada biogas yang mengandung gas metana 60% dapat berkurang karena yang awalnya 2% menjadi 1,54%. Pengurangan tersebut terjadi karena hidrogen sulfida pada biogas terlarut pada air dialirkan pada *wet scrubber* dengan debit 100 m<sup>3</sup>/jam. Sebelum debit air ditingkatkan menjadi 100 m<sup>3</sup>/jam yang awalnya 10 m<sup>3</sup>/jam hidrogen sulfida berkurang menjadi 1,84%. Hal serupa juga terjadi pada biogas yang mengandung gas metana 70% dengan hidrogen sulfida 2%. Dengan ditingkatkan debit air pada *wet scrubber* maka akan meningkatkan pengurangan hidrogen sulfida pada biogas.

#### 4.2 Analisa Kinerja Kompresor

Pada perancangan kompresor dilakukan supaya biogas yang telah ditampung di tempat penampungan sementara akan ditempatkan ke dalam wadah yang lebih kecil supaya memudahkan dalam mobilisasi. Tempat penampungan sementara yang dirancang hanya berkapasitas 70 liter. Kemudian ditempatkan ke dalam wadah dengan kapasitas 7 liter maka tekanan yang dibutuhkan adalah 5 bar.

Simulasi yang dilakukan dari tiga kondisi biogas hanya pada kondisi kedua yang memungkinkan tekanan mendekati 5 bar yaitu 4,9 bar. Sedangkan pada kondisi pertama tekanan yang dicapai hanya 4,4 bar dan pada kondisi ketiga tekanan

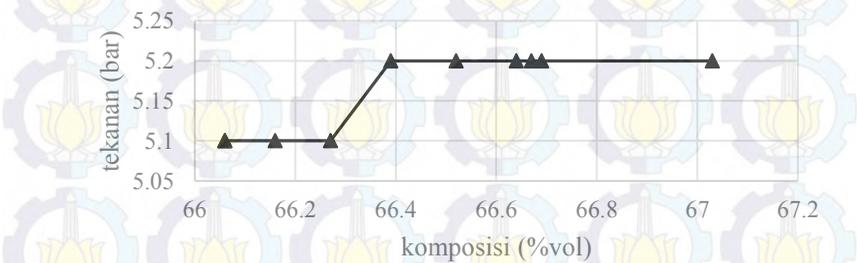
keluarnya adalah 5,2 bar. Nilai tekanan pada simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.4 sampai Gambar 4.6.



**Gambar 4.10** Grafik Perubahan Tekanan Keluaran Kompresor terhadap Komposisi Gas Metana Awal 50% yang Telah Dipurifikasi



**Gambar 4.11** Grafik Perubahan Tekanan Keluaran Kompresor terhadap Komposisi Awal Gas Metana 60% yang Telah Dipurifikasi



**Gambar 4.12** Grafik Perubahan Tekanan Keluaran Kompresor terhadap Komposisi Awal Gas Metana 70% yang Telah Dipurifikasi

Berdasarkan Gambar 4.7 sampai 4.9 menunjukkan perbandingan tekanan pada komposisi awal gas metana dari 50%, 60%, dan 70%. Pada gas metana 50% yang dilakukan purifikasi daya yang diperlukan oleh kompresor supaya mencapai tekanan 4,1 bar adalah 0,05 hp (horsepower). Tekanan yang diperlukan bertambah jika kandungan gas metana pada biogas bertambah. Jika gas metana yang terkandung adalah 47,25% tekanan yang diperlukan adalah 4,1 bar sedangkan pada gas metana 56,66% tekanan yang diperlukan 4,8 bar dan pada gas metana 66,06% tekanan yang diperlukan 5,1. Kebutuhan daya pada biogas kondisi kedua dengan kandungan awal gas metana 60% adalah 0,06 hp supaya tekanan keluaran kompresor 4,8 bar. Sedangkan kebutuhan daya pada kondisi biogas ketiga dengan kandungan awal gas metana 70% adalah 0,07 hp dengan tekanan keluaran kompresor 5,1 bar. Efisiensi adiabatik dan politropik yang digunakan pada kompresor ini sama yaitu 75% dan 79%. Bertambahnya kandungan gas metana memberikan pengaruh terhadap bertambahnya daya yang diperlukan kompresor untuk memampatkan gas metana. Temperatur keluaran kompresi masih tinggi yaitu pada rentang 243°C sampai 272°C maka digunakan *cooler* atau pendingin supaya temperatur dapat turun. *Cooler* yang digunakan untuk biogas dengan kandungan gas metana 60% mempunyai delta P atau penurunan temperatur 3 bar supaya saat dimasukkan ke dalam tabung penyimpanan tekanannya kisaran 1 bar dan daya yang diperlukan adalah 0,065 hp sehingga temperatur pada tabung 13 °C. Daya yang diperlukan untuk biogas dengan kandungan gas metana 60% berbeda dengan yang 50%, daya yang digunakan meningkat menjadi 0,075 hp dengan penurunan tekanan juga 3 bar sehingga temperatur menjadi 17,9 °C. Sedangkan pada biogas dengan komposisi gas metana 70% daya yang diperlukan adalah 0,085 hp dengan penurunan tekanan 4 bar karena tekanan keluaran dari kompresor 5 bar sehingga temperaturnya menjadi 17,4 °C.

### 4.3 Validasi Data

Validasi data digunakan untuk mensinkronkan antara data data yang diperoleh dari simulasi dengan teori yang sudah ada.

#### 4.3.1 Perhitungan Temperatur Keluaran Kompresor

1. Jika temperatur masuk kompresor adalah 24°C dengan tekanan 0,5 bar (data lampiran 2) dan tekanan keluaran adalah 4,1 bar (data lampiran 6), maka temperatur keluaran kompresor adalah 196°C.

$$\begin{aligned} T_{\text{kompresor out}} &= T_{\text{kompresor in}} \times \left( \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \right) \\ &= 24 \times \left( \frac{4,1}{0,5} \right) \\ &= 196^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

2. Jika temperatur masuk kompresor adalah 24°C dengan tekanan 0,5 bar (data lampiran 2) dan tekanan keluaran adalah 4,8 bar (data lampiran 6), maka temperatur keluaran kompresor adalah 230°C.

$$\begin{aligned} T_{\text{kompresor out}} &= T_{\text{kompresor in}} \times \left( \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \right) \\ &= 24 \times \left( \frac{4,8}{0,5} \right) \\ &= 230^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

3. Jika temperatur masuk kompresor adalah 24°C dengan tekanan 0,5 bar (data lampiran 2) dan tekanan keluaran adalah 5,1 bar (data lampiran 6), maka temperatur keluaran kompresor adalah 244°C.

$$\begin{aligned} T_{\text{kompresor out}} &= T_{\text{kompresor in}} \times \left( \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \right) \\ &= 24 \times \left( \frac{5,1}{0,5} \right) \\ &= 244^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

### 4.3.2 Perhitungan Tekanan yang Digunakan Kompresor

Tekanan yang ada pada tempat penampungan sementara adalah 0,5 bar dengan volume 70 liter, maka akan membutuhkan tekanan 5 bar supaya dapat dikompresi ke dalam tabung dengan volume 7 liter.

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$0,5 \cdot 70 = P_2 \cdot 7$$

$$P_2 = 5 \text{ bar}$$

### 4.3.3 Perhitungan Penurunan Temperatur dan Tekanan pada Cooler

Temperatur dan tekanan keluaran dari kompresor biogas dengan kandungan awal gas metana 50% adalah 245°C dan 4,1 bar. Mekan pada *cooler* delta temperatur dan tekanannya adalah -233°C dan 3,9 bar.

$$\text{delta } T = T_{\text{tabung}} - T_{\text{kompresor}}$$

$$= 11 - 243$$

$$= -233^\circ\text{C}$$

$$\text{delta } P = P_{\text{tabung}} - P_{\text{kompresor}}$$

$$= 1,1 - 5$$

$$= -3,9 \text{ bar}$$

Pada biogas dengan kandungan gas metana awal 60% temperatur dan tekanan keluaran dari kompresor adalah 260°C dan 4,8 bar.

$$\text{delta } T = T_{\text{tabung}} - T_{\text{kompresor}}$$

$$= 17 - 260$$

$$= -243^\circ\text{C}$$

$$\text{delta } P = P_{\text{tabung}} - P_{\text{kompresor}}$$

$$= 1,1 - 5$$

$$= -3,9 \text{ bar}$$

Pada biogas dengan kandungan gas metana awal 70% temperatur dan tekanan keluaran dari kompresor adalah 268°C dan 5,1 bar.

$$\text{delta } T = T_{\text{tabung}} - T_{\text{kompresor}}$$

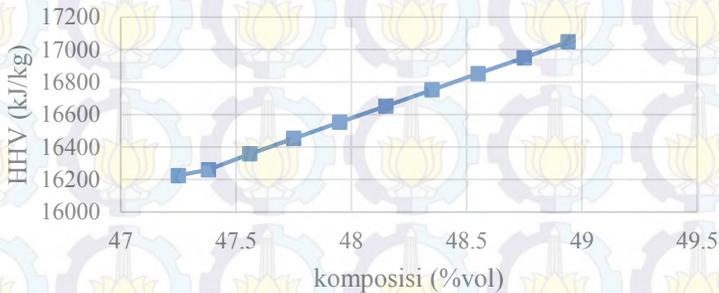
$$= 17 - 268$$

$$= -241^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 \text{delta } P &= P_{\text{tabung}} - P_{\text{kompresor}} \\
 &= 1,8 - 5 \\
 &= 3,2 \text{ bar}
 \end{aligned}$$

#### 4.4 Analisa Perhitungan HHV

Pada simulasi ini nilai HHV pada biogas tiga kondisi akan dapat dilihat langsung pada keluaran kompresor.

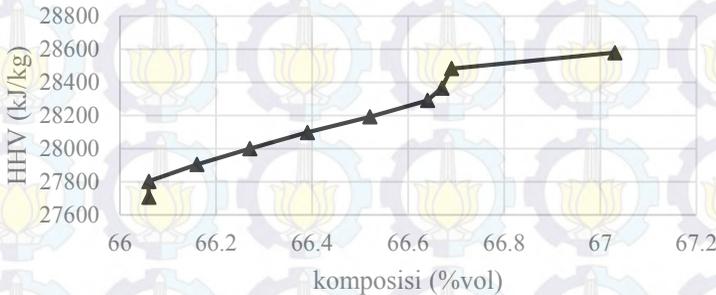


**Gambar 4.13** Grafik Perubahan HHV Biogas terhadap Perubahan Komposisi Gas Metana setelah Dipurifikasi yang Awalnya 50% pada Simulasi

Gambar 4.13 menunjukkan nilai HHV biogas terhadap komposisi gas metana yang terkandung pada biogas. Biogas yang mengandung gas metana 47,25% mempunyai nilai HHV 15.260 kJ/kg. Jika gas metana pada biogas meningkat menjadi 48,94% maka nilai HHV menjadi 16.040 kJ/kg.



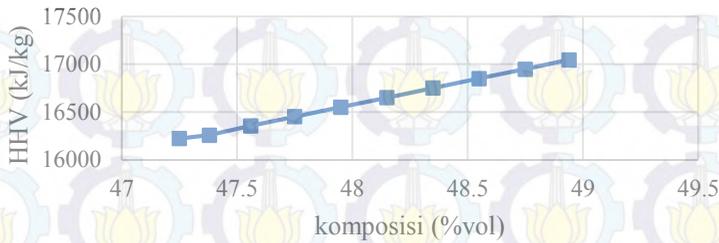
**Gambar 4.14** Grafik Perubahan HHV Biogas terhadap Perubahan Komposisi Gas Metana setelah Dipurifikasi yang Awalnya 60% pada Simulasi



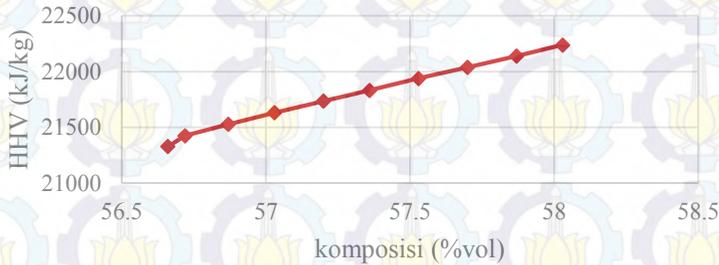
**Gambar 4.15** Grafik Perubahan HHV Biogas terhadap Perubahan Komposisi Gas Metana setelah Dipurifikasi yang Awalnya 70% pada Simulasi

Gambar 4.13 sampai 4.15 menunjukkan nilai HHV biogas terhadap komposisi gas metana pada biogas yang telah dipurifikasi. Nilai HHV biogas meningkat dengan bertambahnya komposisi dari gas metana pada biogas. Karena di dalam biogas, gas yang terkandung paling banyak adalah gas metana.

Kemudian akan dibandingkan nilai HHV biogas dari simulasi dengan perhitungan. Gambar 4.12 sampai 4.15 HHV biogas yang digunakan adalah hasil simulasi sedangkan gambar 4.16 sampai 4.18 HHV biogas hasil perhitungan.



**Gambar 4.16** Grafik Perubahan HHV Biogas terhadap Perubahan Komposisi Gas Metana setelah Dipurifikasi yang Awalnya 50% dari Perhitungan

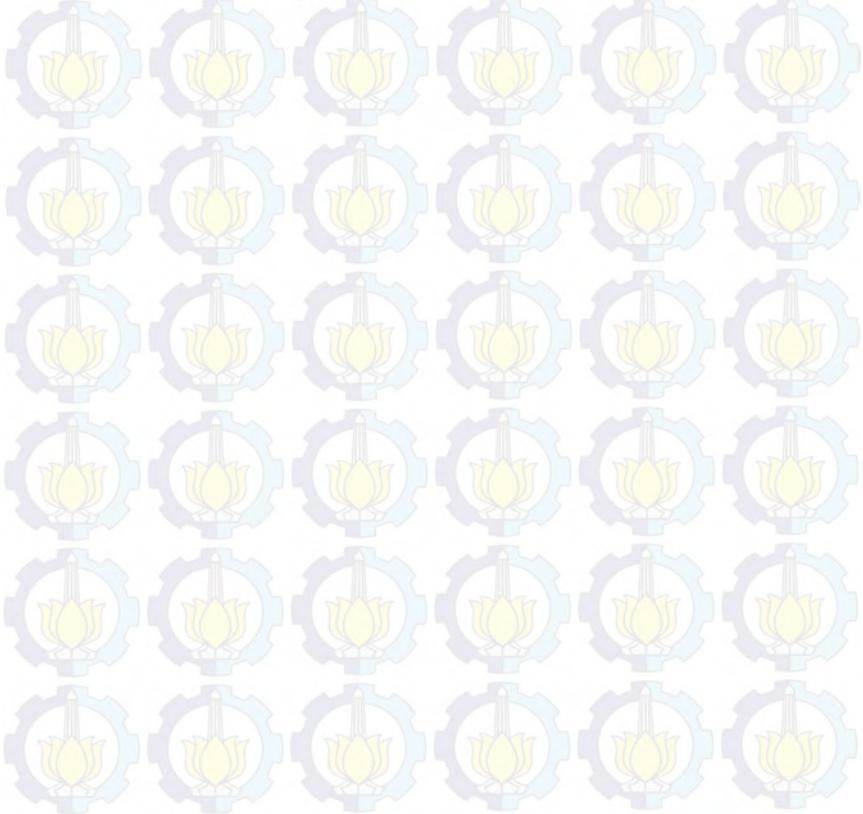


**Gambar 4.17** Grafik Perubahan HHV Biogas terhadap Perubahan Komposisi Gas Metana setelah Dipurifikasi yang Awalnya 60% dari Perhitungan



**Gambar 4.18** Grafik Perubahan HHV Biogas terhadap Perubahan Komposisi Gas Metana setelah Dipurifikasi yang Awalnya 70% dari Perhitungan

Data perhitungan HHV biogas dengan simulasi tedapat perbedaan karena pada hysys nilai kalor tinggi dari gas metana ( $\text{CH}_4$ ), hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dan hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) secara berturut – turut adalah 55.150 kJ/kg, 140.400 kJ/kg, dan 16.400 kJ/kg. Sedangkan dari dari perhitungan menggunakan data pada buku “Principles of Energy Conversion” pada temperatur dan tekanan yang sama 20°C dan 1 atm adalah 55.559 kJ/kg, 142.097 kJ/kg, dan 16.505. Maka pada simulasi nilai HHV biogas setelah dipurifikasi, dengan kandungan gas metana 67,03% adalah 26.590 kJ/kg dan pada perhitungan nilai HHV 28.578 kJ/kg.



## BAB V KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Komposisi biogas sebelum dilakukan purifikasi dengan kandungan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) 50%, 60%, dan 70 % karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) 45 %, 35%, dan 25% hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) yang sama 2%, dan gas lainnya seperti nitrogen ( $\text{N}_2$ ), oksigen ( $\text{O}_2$ ), hidrogen ( $\text{H}_2$ ) yang sama 1%. Setelah dilakukan purifikasi dengan debit air 100  $\text{m}^3/\text{jam}$  maka kandung gas metana menjadi 48%, 58% dan 67%. Karbondioksida berkurang menjadi 40%, 31% dan 67%. Sedangkan hidrogen sulfida berkurang menjadi 1% untuk ketiga kondisi.
2. Desain *wet scrubber* yang dapat digunakan adalah dengan bentuk tabung dengan alas dan tutup datar serta diameter 30 cm dan tinggi 3 m. Dengan ketentuan debit biogas 0,072  $\text{m}^3/\text{jam}$  dan debit air masuk yang digunakan 100  $\text{m}^3/\text{jam}$ .
3. Dengan desain *wet scrubber* yang digunakan dapat mengurangi kandungan  $\text{CO}_2$  yang sebelumnya 45 %volume menjadi 40,37 %volume pada kondisi awal kandungan gas metana 50%.
4. Kompresor yang dapat digunakan adalah kompresor jenis sentrifugal dengan kebutuhan daya 0,05 hp, 0,06 hp, 0,07 hp berdasarkan pada komposisi gas metana pada biogas 50%, 60% dan 70% serta efisiensi adiabatik dan politropik yang sama yaitu 75 % dan 79%.
5. Nilai kalor tinggi (HHV) biogas yang telah dipurifikasi pada ketiga kondisi adalah 16.040 kJ/kg, 20.820 kJ/kg, dan 26.590 kJ/kg.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Sebagai validasi data sebaiknya dilakukan eksperimen secara langsung sehingga hasil simulasi dapat dibandingkan dengan kondisi di lapangan atau realnya.
2. Desain *wet scrubber* yang digunakan tidak mempertimbangkan bahan pembuatan yang digunakan sehingga tidak bisa dilakukan variasi tekanan kerja yang digunakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Catut, Ketut b. A., 2014. *Pengaruh Variasi Konverter Biogas Terhadap Unjuk Kerja pada Mesin Genset Berkapasitas 1200 Watt*. Denpasar: Universitas UDAYANA.
- Daniyal, Ahmad. 2006. *Merancang Pabrik dengan HYSYS 3.2*. Ilmu Komputer.com
- Heywood John B., 1988, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGrawHill,Inc., USA.
- James L. Walah, Jr., P.E.1988. *Biogas Utilization Handbook, Engineering Technologi Branch Environment, Health, and Safety Division Economic Development Laboratory*. Georgia
- Mayasari, H. D., Riftanto, I. M., Nur`aini, L. dan Ariyanto, M. R. 2010. *Pembuatan Biodigester Dengan Uji Coba Kotoran Sapi Sebagai Bahan Baku*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Prof. Virendra K. Vijay. *Water Scrubbing Based Biogas Enrichment Technology Bay Iit Delhi*. Delhi
- Purnomo, J. 2009. *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Biogas*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Santosa, H., 2004, *Diktat Kuliah Perancangan Tray Tower*, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UNDIP, Semarang. USU Institutional Repository,
- Simamora, S. 1989. *Pengolahan Limbah Peternakan (Animal Waste Management). Teknologi Energi Biogas*. Bogor: Fakultas Politeknik Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bekerjasama dengan Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan. Dirjen Pendidikan Dasar dan Menengah. Departemen P dan K.
- Sriyanto, Nurvega. 2009. *Rekayasa Mesin Kompresi*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Suyitno 2007, *Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBio) yang Dilengkapi dengan Kompresi Biogas*, Balitbang Jateng, Indonesia



Halaman ini sengaja dikosongkan

## Lampiran 1

### 1. Variasi d=10,15,20,25,30 cm t= 3,4,5,6,7,8,9 m

Komponen	Sebelum purifikasi (%vol)	d=10 cm dan t=(3,4,5,6,7,8,9) m	d=15 cm dan t=(3,4,5,6,7,8,9) m	d=20 cm dan t=(3,4,5,6,7,8,9) m	d=25 cm dan t=(3,4,5,6,7,8,9) m	d=30 cm dan t=(3,4,5,6,7,8,9) m
CH <sub>4</sub>	50	47,25	47,25	47,25	47,25	47,25
CO <sub>2</sub>	45	41,15	41,15	41,15	41,15	41,15
H <sub>2</sub> S	2	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84
H <sub>2</sub>	1	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
N <sub>2</sub>	1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
O <sub>2</sub>	1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95

### 2. Variasi d=10,15,20,25,30 cm t= 3,4,5,6,7,8,9 m

Komponen	Sebelum purifikasi (%vol)	d=10 cm dan t=(3,4,5,6,7,8,9) m	d=15 cm dan t=(3,4,5,6,7,8,9) m	d=20 cm dan t=(3,4,5,6,7,8,9) m	d=25 cm dan t=(3,4,5,6,7,8,9) m	d=30 cm dan t=(3,4,5,6,7,8,9) m
CH <sub>4</sub>	60	56,66	56,66	56,66	56,66	56,66
CO <sub>2</sub>	35	32,78	32,78	32,78	32,78	32,78
H <sub>2</sub> S	2	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84
H <sub>2</sub>	1	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
N <sub>2</sub>	1	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
O <sub>2</sub>	1	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94

### 3. Variasi d=10,15,20,25,30 cm t= 3,4,5,6,7,8,9 m

Komponen	Sebelum purifikasi (%vol)	d=10 cm dan t=(3,4,5,6,7,8,9) m	d=15 cm dan t=(3,4,5,6,7,8,9) m	d=20 cm dan t=(3,4,5,6,7,8,9) m	d=25 cm dan t=(3,4,5,6,7,8,9) m	d=30 cm dan t=(3,4,5,6,7,8,9) m
CH <sub>4</sub>	70	66,06	66,06	66,06	66,06	66,06
CO <sub>2</sub>	25	23,42	23,42	23,42	23,42	23,42
H <sub>2</sub> S	2	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85
H <sub>2</sub>	1	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
N <sub>2</sub>	1	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
O <sub>2</sub>	1	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94

## Lampiran 2

### 4. Variasi debit air 10 m<sup>3</sup>/jam sampai 100 m<sup>3</sup>/jam pada biogas dengan komposisi CH<sub>4</sub> 50%, CO<sub>2</sub> 45%, H<sub>2</sub>S 2%, N<sub>2</sub> 1%, O<sub>2</sub> 1%, H<sub>2</sub> 1%

Debit air (m <sup>3</sup> /jam)	CH <sub>4</sub> (%vol)	CO <sub>2</sub> (%vol)	H <sub>2</sub> S (%vol)	H <sub>2</sub> (%vol)	T (°C)	P (bar)
10	47,25	42,15	1,84	0,95	24	0,5
20	47,38	41,9	1,80	0,95	24	0,5
30	47,56	41,69	1,76	0,95	24	0,5
40	47,75	41,50	1,72	0,95	24	0,5
50	47,95	41,31	1,68	0,96	24	0,5
60	48,15	41,12	1,65	0,96	24	0,5
70	48,35	40,93	1,62	0,97	24	0,5
80	48,55	40,74	1,58	0,97	24	0,5
90	48,75	40,56	1,55	0,97	24	0,5
100	48,94	40,37	1,53	0,98	24	0,5

### 5. Variasi debit air 10 m<sup>3</sup>/jam sampai 100 m<sup>3</sup>/jam pada biogas dengan komposisi CH<sub>4</sub> 60%, CO<sub>2</sub> 35%, H<sub>2</sub>S 2%, N<sub>2</sub> 1%, O<sub>2</sub> 1%, H<sub>2</sub> 1%

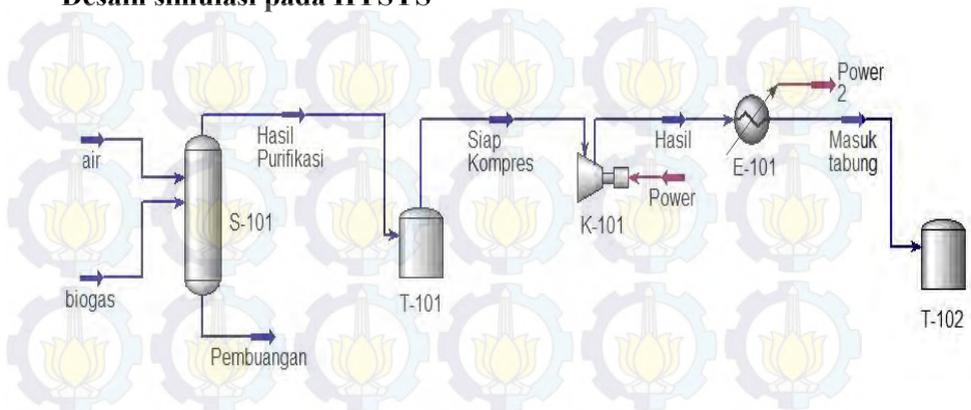
Debit air (m <sup>3</sup> /jam)	CH <sub>4</sub> (%vol)	CO <sub>2</sub> (%vol)	H <sub>2</sub> S (%vol)	H <sub>2</sub> (%vol)	T (°C)	P (bar)
10	56,66	32,78	1,84	0,94	24	0,5
20	56,72	32,57	1,80	0,95	24	0,5
30	56,87	32,40	1,76	0,95	24	0,5
40	57,03	32,23	1,73	0,95	24	0,5
50	57,20	32,07	1,69	0,95	24	0,5
60	57,36	31,92	1,66	0,95	24	0,5
70	57,53	31,76	1,63	0,96	24	0,5

80	57,70	31,61	1,60	0,96	24	0,5
90	57,87	31,46	1,57	0,96	24	0,5
100	58,03	31,31	1,54	0,97	24	0,5

**6. Variasi debit air 10 m<sup>3</sup>/jam sampai 100 m<sup>3</sup>/jam pada biogas dengan komposisi CH<sub>4</sub> 70%, CO<sub>2</sub> 25%, H<sub>2</sub>S 2%, N<sub>2</sub> 1%, O<sub>2</sub> 1%, H<sub>2</sub> 1%**

Debit air (m <sup>3</sup> /jam)	CH <sub>4</sub> (%vol)	CO <sub>2</sub> (%vol)	H <sub>2</sub> S (%vol)	H <sub>2</sub> (%vol)	T (°C)	P (bar)
10	66,06	23,42	1,85	0,94	24	0,5
20	66,06	23,26	1,81	0,94	24	0,5
30	66,16	23,13	1,77	0,95	24	0,5
40	66,27	23,01	1,74	0,95	24	0,5
50	66,39	22,89	1,71	0,95	24	0,5
60	66,52	22,78	1,68	0,95	24	0,5
70	66,64	22,66	1,65	0,95	24	0,5
80	66,77	22,55	1,62	0,95	24	0,5
90	66,69	22,44	1,59	0,96	24	0,5
100	67,03	22,33	1,56	0,96	24	0,5

### Lampiran 3 Desain simulasi pada HYSYS



Keterangan :

S-101	: Wet Scrubber
T-101	: Tangki penyimpanan biogas sementara
T-102	: Tabung penyimpanan biogas
K-101	: Kompresor
E-101	: Cooler

## Lampiran 4

Zat	Rumus kimia	Berat molekul	HHV		LHV	
			kJ/L	kJ/kg	kJ/L	kJ/kg
Hidrogen	H <sub>2</sub>	2,016	11.908	142.097	10.062	120.067
Karbon	C	12,011	-	32.778	-	32.778
sulfida	S	32,064	-	9.257	-	9.257
Hidrogen sulfida	H <sub>2</sub> S	34,064	23.720	16.506	21.848	15.204
Karbon Monoksida	CO	28,006	11.802	10.110	11.802	10.110
Metana	CH <sub>4</sub>	16,043	37.204	55.529	33.496	49.994
Metil Alkohol	CH <sub>3</sub> OH	32,043	31.827	23.858	28.129	21.086
Etana	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,071	65.782	51.290	60.168	47.489
Etilena	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28,055	58.877	50.332	55.173	47.156
Asetilena	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26,039	54.961	50.010	53.087	48.305
Etil Alkohol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46,071	58.714	30.610	53.164	27.717
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,099	95.103	50.399	87.501	46.370
Propilena	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42,083	85.714	48.954	80.172	54.789
n-Butana	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,126	123.725	49.589	114.191	45.789
Isobutana	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,126	123.435	49.472	113.901	45.652
n-Butena	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,110	113.255	48.503	105.863	45.338
Isobutena	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,110	112.619	48.231	105.228	45.065
n-Pentana	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,153	147.337	49.064	136.246	45.370
Isopentana	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,153	147.003	48.592	135.911	45.258
Neopentana	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,153	146.521	48.791	135.249	45.098
n-Pentena	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70,137	140.670	48.191	131.431	45.026
n-Heksana	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86,181	174.866	48.764	161.930	45.156
Benzena	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78,117	137.410	42.293	131.871	40.588
Toulena	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92,169	165.021	43.031	157.626	42.102
Silena	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,172	191.769	43.377	182.618	41.307

Naftalena	$C_{10}H_8$	128,179	214.818	40.244	207.431	38.860
Amonia	$NH_3$	17,031	16.166	22.484	13.353	18.572
Oksigen	$O_2$	31,999	-	-	-	-
Nitrogen	$N_2$	28,031	-	-	-	-
Udara	-	28,97	-	-	-	-
Karbon dioksida	$CO_2$	44,010	-	-	-	-
Sulfur dioksida	$SO_2$	64,063	-	-	-	-

pada tekanan 1 atm dan temperatur 20°C (68°F)

*Archie W.Culp, Jr., Principles of Energy Conversion, Mc Graw-Hill*

## Lampiran 5

### 7. Nilai HHV biogas dari hasil simulasi

CH <sub>4</sub> (%vol)	HHV (kJ/kg)	CH <sub>4</sub> (%vol)	HHV (kJ/kg)	CH <sub>4</sub> (%vol)	HHV (kJ/kg)
47,25	15260	56,66	20030	66,06	25880
47,38	15330	56,72	20100	66,06	25940
47,56	15410	56,87	20180	66,16	26010
47,75	15500	57,03	20270	66,27	26090
47,95	15590	57,20	20360	66,39	26170
48,15	15680	57,36	20450	66,52	26260
48,35	15770	57,53	20540	66,64	26340
48,55	15860	57,70	20630	66,77	26430
48,75	15950	57,87	20730	66,69	26510
48,94	16040	58,03	20820	67,03	26590

### 8. Nilai HHV biogas dari perhitungan

CH <sub>4</sub> (%vol)	MR (kg/kg.mol)	v (m <sup>3</sup> /kg)	HHV <sub>mix</sub> (kJ/m <sup>3</sup> )	HHV (P,T) (kJ/m <sup>3</sup> )	HHV <sub>m</sub> (kJ/kg)
47,25	29,4626	0,728558795	19622,824	22269,14146	16224,37888
47,38	27,2178	0,791423928	18167,3412	20545,03182	16259,82978
47,56	27,1406	0,730088256	18224,8204	22405,05893	16357,67041
47,75	27,0738	0,731889625	18286,02	22480,29592	16453,09535
47,95	27,0088	0,733651008	18352,1308	22561,57059	16552,319
48,15	26,947	0,735333556	18419,4228	22644,2974	16651,11173
48,35	26,8854	0,680324637	18487,9056	24622,52882	16751,31299
48,55	26,8202	0,681978509	18552,8256	24708,99046	16851,00047
48,75	26,7628	0,683441194	18620,1176	24798,61117	16948,39244
48,94	26,703	0,636045174	18687,252	26802,48521	17047,59137

CH4 (%vol)	MR (kg/kg.mol)	v (m <sup>3</sup> /kg)	HHV <sub>mix</sub> (kJ/m <sup>3</sup> )	HHV (P,T) (kJ/m <sup>3</sup> )	HHV <sub>m</sub> (kJ/kg)
56,66	24,7032	0,542228447	21628,1696	39333,43671	21327,70831
56,72	24,607	0,548102392	21642,1948	39089,36143	21424,97249
56,87	24,5426	0,549540617	21688,5128	39173,01935	21527,16524
57,03	24,4832	0,550873887	21740,9232	39267,68115	21631,54016
57,20	24,4264	0,554045805	21794,682	39230,4276	21735,45383
57,36	24,3758	0,555195909	21847,0924	39324,76632	21832,94939
57,53	24,3226	0,527125519	21904,414	41618,3866	21938,11365
57,70	24,2736	0,528189603	21960,5448	41725,03512	22038,72975
57,87	24,2246	0,529257992	22016,6756	41831,68364	22139,75289
58,03	24,1742	0,530361425	22070,2768	41933,52592	22239,92456
66,06	22,0922	0,992148	25127,72	27926,43	27707,14
66,06	22,0082	0,999369	25118,23	27819,95	27802,39
66,16	21,9536	1,005297	25147,14	27756,58	27903,61
66,27	21,9082	1,00738	25180,94	27793,9	27999,03
66,39	21,8644	0,925282	25218,47	30365,81	28096,93
66,52	21,8266	0,926884	25259,72	30415,47	28191,63
66,64	21,7828	0,928748	25297,25	30460,66	28290,28
66,77	21,729	0,934236	25301,3	30361,56	28364,86
66,69	21,7074	0,935166	25380,94	30457,13	28482,46
67,03	21,6696	0,936797	25422,19	30506,63	28578,52

## Lampiran 6

### 1. Temperatur dan tekanan keluaran dari kompresor

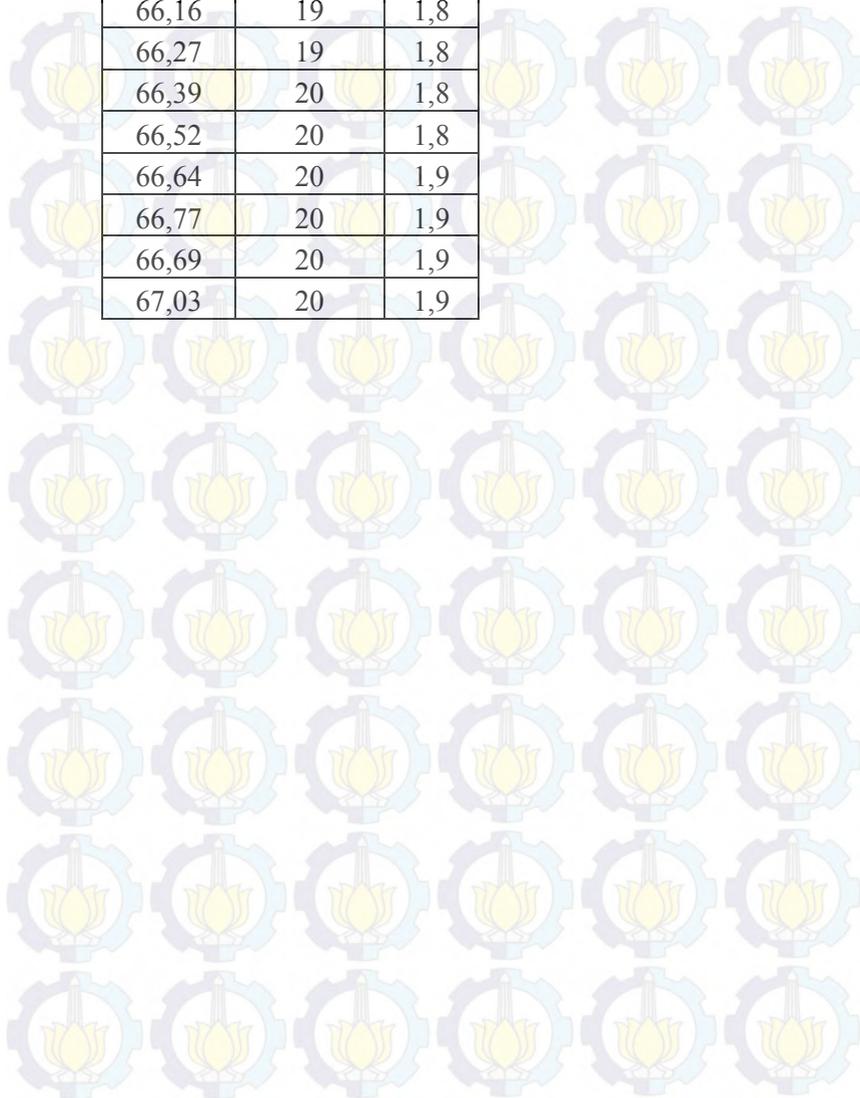
CH <sub>4</sub> (%vol)	T (°C)	P (bar)
47,25	243	4,1
47,38	244	4,1
47,56	245	4,2
47,75	246	4,2
47,95	247	4,2
48,15	248	4,2
48,35	249,1	4,3
48,55	249,9	4,3
48,75	250	4,3
48,94	251	4,3
56,66	260	4,8
56,72	260,9	4,8
56,87	261	4,8
57,03	262,3	4,8
57,20	262,9	4,8
57,36	263	4,8
57,53	264,2	4,9
57,70	264,8	4,9
57,87	265	4,9
58,03	266	4,9
66,06	268	5,1
66,06	269	5,1
66,16	269,8	5,1
66,27	270	5,1
66,39	270,7	5,2
66,52	271	5,2

66,64	271,6	5,2
66,77	272	5,2
66,69	272,4	5,2
67,03	272,9	5,2

## 2. Temperatur dan tekanan dalam tabung

CH <sub>4</sub> (%vol)	T (°C)	P (bar)
47,25	11	1,1
47,38	12	1,1
47,56	13	1,2
47,75	13	1,2
47,95	13	1,2
48,15	13	1,2
48,35	13	1,3
48,55	13	1,3
48,75	13	1,3
48,94	13	1,3
56,66	17	1,1
56,72	18	1,1
56,87	19	1,1
57,03	19	1,1
57,20	19	1,2
57,36	19	1,2
57,53	20	1,2
57,70	20	1,2
57,87	20	1,2
58,03	17	1,8
66,06	19	1,8

66,06	19	1,8
66,16	19	1,8
66,27	19	1,8
66,39	20	1,8
66,52	20	1,8
66,64	20	1,9
66,77	20	1,9
66,69	20	1,9
67,03	20	1,9



## BIODATA PENULIS



Abdur Rozaq merupakan nama lengkap penulis dengan nama panggilannya, Rozaq. Penulis dilahirkan di kota Klaten, Jawa Tengah pada tanggal 9 Juli 1993 sebagai anak pertama dari keluarga Waluya dan Barokah Artati. Penulis telah menempuh sekolah di SDN 3 Karangwungu tahun (1999 – 2005), SMP MTA Gemolong tahun (2005 – 2008), SMA MTA Surakarta tahun (2008 – 2011). Penulis diterima sebagai mahasiswa S1 Teknik Fisika ITS pada tahun 2011, kemudian fokus pada bidang minat rekayasa energi dan pengkondisian lingkungan untuk menyelesaikan tugas akhirnya. Penulis dapat dihubungi melalui email : [arozaq93@gmail.com](mailto:arozaq93@gmail.com).