



TUGAS AKHIR - TF 181801

PEMODELAN KINERJA *WETSCRUBBER* TIPE CELUP UNTUK PURIFIKASI BIOGAS

BIONDHI UBADILLAH
NRP. 02311540000126

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TF 181801

**PEMODELAN KINERJA *WETSCRUBBER*
TIPE CELUP UNTUK PURIFIKASI BIOGAS**

BIONDHI UBADILLAH
NRP. 02311540000126

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - TF 181801

***DYE-TYPE WETSCRUBBER MODELING
FOR BIOGAS PURIFICATION***

BIONDHI UBADILLAH
NRP. 02311540000126

Supervisors

Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

***ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019***


LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
PEMODELAN WETSCRUBBER TIPE CELUP UNTUK
PURIFIKASI BIOGAS

Oleh:

Biondhi Ubaidillah
NRP.02311540000126

Surabaya, 22 Juli 2019

Menyetujui,
Pembimbing 1


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



Mengetahui,
Ketua Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS

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

**PEMODELAN WETSCRUBBER TIPE CELUP UNTUK
PURIFIKASI BIOGAS**

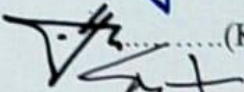
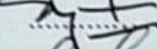

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

BIONDHI UBAIDILLAH
NRP.02311540000126

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA(Pembimbing)
2. Ir. Roekmono, M.T. (Ketua Penguji)
3. Dr. Suyanto, S.T., M.T. (Penguji II)
4. Muhammad Kamalul Wafi, S.T., M.T.,
D.I.C. (Penguji III)

**SURABAYA
JULI, 2019**

PEMODELAN *WETSCRUBBER* TIPE CELUP UNTUK PURIFIKASI BIOGAS

Nama : Biondhi Ubaidillah
NRP : 02311540000126
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

ABSTRAK

Biogas sebagai energi terbarukan menggantikan gas alam dari fosil untuk proses pembakaran. Biogas mengandung gas-gas seperti CO₂, H₂S, O₂ dan CH₄. CO₂ dan H₂S merupakan gas-gas pengotor yang tidak diinginkan, sehingga dibutuhkan alat purifikasi biogas. Salah satu yang banyak digunakan adalah *wetscrubber*, karena dapat mereduksi CO₂ dan H₂S dalam satu waktu. Namun, *wetscrubber* yang biasa digunakan saat ini, menggunakan tipe semprot. Efeknya, biogas yang melewati rongga udara tidak berkontak dengan air, sehingga purifikasi tidak maksimal. Untuk menjawab permasalahan ini, laporan kali ini menggunakan *wetscrubber* tipe celup. Untuk itu, *wetscrubber* diuji di PT. Enero, Mojokerto. Setelah didapat data proyek lapangan pada tekanan 1 atm dan temperatur 32^oC, dibuat model matematis berkaitan dengan solubilitas gas-gas di dalam air. Selanjutnya, dibuat simulasi untuk memvalidasi model matematis dan data proyek serta untuk memprediksi hasil purifikasi *wetscrubber* tipe celup. Hasilnya didapat, dari kandungan awal CO₂ 29%, H₂S 1%, O₂ 6% dan CH₄ 64% pada proyek lapangan menjadi CO₂ 19.8%, H₂S 0.0025%, O₂ 9% dan CH₄ 71.1975% setelah proses purifikasi dan pada simulasi

didapat $\text{CO}_2 \approx 14\%$, $\text{H}_2\text{S} \approx 0\%$, $\text{O}_2 \approx 6,6\%$ dan $\text{CH}_4 \approx 78,5\%$. Setelah itu, dilakukan variasi terhadap parameter operasional laju aliran masuk, kandungan gas dalam biogas dan volume air dengan kondisi tekanan dan temperatur tetap pada 1 atm dan 32°C .

Kata Kunci : biogas, solubilitas, tipe celup, *wetscrubber*

DYE-TYPE WETSCRUBBER MODELING FOR BIOGAS PURIFICATION

Name : Biondhi Ubaidillah
NRP : 0231144000061
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisory : Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

ABSTRACT

Biogas as a renewable energy substitute natural gas from fossils for the combustion process. Biogas contains gases such as CO₂, H₂S, O₂ and CH₄. CO₂ and H₂S are unwanted impurity gases, so a biogas purification instrument is needed. One of the most widely used is the wetscrubber, because it can reduce CO₂ and H₂S at one time. However, the wetscrubber commonly used today uses a spray type. In effect, biogas that passes through the air cavity is not in contact with water, so that purification is not optimal. To answer this problem, this report uses a dye-type wetscrubber. For this reason, the Wetscrubber was tested at PT. Enero, Mojokerto. After obtaining field project data at pressure 1 atm and temperature 32°C, a mathematical model is made relating to the solubility of gases in water. Next, a simulation is made to validate mathematical models and project data and to predict the dipping results of the wetscrubber type. The results were obtained, from the initial content of 29% CO₂, 1% H₂S, 6% O₂ and 64% CH₄ in the field project to CO₂ 19.8%, H₂S 0.0025%, O₂ 9% and CH₄ 71.1975% after the purification process and from simulation

CO₂ ≈ 14 %, H₂S ≈ 0%, O₂ ≈ 6.6% and CH₄ ≈ 78.5%. After that, variations on the operational parameters of the inflow rate, gas content in biogas and volume of water were carried out with pressure and temperature condition settled at 1 atm and 32° C.

Keywords: *biogas, dye-type, solubility, wetscrubber*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah ﷻ yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad ﷺ sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul “**PEMODELAN WETSCRUBBER TIPE CELUP UNTUK PURIFIKASI BIOGAS**”.

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir dan laporan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah, Ibu, Adik, dan Keluarga atas segala, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
2. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS yang telah memberikan ilmu, bimbingan serta sarana dan prasarana selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika ITS.
3. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen Teknik Fisika ITS atas segala ilmu, bimbingan, petunjuk, dan nasihat yang sangat bermanfaat serta seluruh civitas akademika Teknik Fisika ITS, terima kasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.

5. Seluruh teman seperjuangan dalam tugas akhir terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Namun, semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika ITS khususnya, dan civitas akademika ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa lainnya.

Surabaya, 21 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	iii
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	<i>viii</i>
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR ISTILAH.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Laporan.....	4
BAB II TEORI PENUNJANG	7
2.1 Biogas.....	7
2.2 Teknologi Purifikasi.....	8
2.2.1 <i>Water Scrubbing</i>	9
2.3 <i>Wet Scrubber</i>	10
2.3.1 <i>Spray Tower</i>	11
2.3.2 <i>Wetscrubber</i> Tipe Celup	12
2.4 Gas Ideal.....	14
2.4 Solubilitas.....	15
2.4.1 Solubilitas Gas Dalam Cairan.....	16
2.5 Pengaruh Waktu dan Luas Kontak.....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Prosedur Umum Penelitian.....	23
3.2 Identifikasi Parameter Operasional <i>Wetscrubber</i>	24
3.3 Penurunan Kelarutan yang Terjadi Dalam <i>Wetscrubber</i>	

3.4 Simulasi Hasil Reaksi.....	28
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Hasil Simulasi dengan Variasi Laju Aliran Masuk	39
4.2 Hasil Simulasi dengan Variasi Volume Air	41
4.3 Hasil Simulasi dengan Variasi Kandungan Gas Dalam Biogas	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komponen Biogas (sumber : Jørgensen, 2009) 7	7
Gambar 2. 2 Grafik Penggunaan Teknologi Purifikasi (sumber : Zăbavă, et al., 2017).....	8
Gambar 2. 3 Skema Water Scrubber Spray Tower (sumber : Maduna & Tomašić, 2017)	10
Gambar 2. 4 Spray Tower (sumber : Hemmer, 2002).....	12
Gambar 2. 5 Wetscrubber Tipe Celup.....	13
Gambar 2. 6 Visualisasi Solubilitas Suatu Zat Terlarut Dalam Pelarut (sumber : www.vectorstock.com).....	16
Gambar 2. 7 Nilai Solubilitas Pada Variasi Temperatur (sumber : OpenStax, 2016)	17
Gambar 2. 8 Solubilitas Komponen Gas Dalam Biogas Dalam Air ($g_{\text{gas}}/kg_{\text{air}}$) dengan Variansi Temperatur. (a) Gas CH ₄ dengan Air (b) Gas O ₂ dengan Air (c) Gas CO ₂ dengan Air (d) Gas H ₂ S dengan Air	19
Gambar 2. 9 Tumbukan Reaktivitas (sumber : Key, 2014) .	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 3. 2 Diagram Blok Wetscrubber Tipe Celup	28
Gambar 3. 3 Pemodelan Wetscrubber Tipe Celup Pada Simulink.....	32
Gambar 3. 4 Pemodelan Subsistem Output dari Vol Biogas	34
Gambar 3. 5 Pemodelan Subsistem Output dari Vol Air	35
Gambar 3. 6 Pemodelan Subsistem dengan Input m_{output}	36
Gambar 3. 7 Tampilan GUI Wetscrubber Tipe Celup.....	37
Gambar 4. 1 Kondisi Data Proyek.....	39
Gambar 4. 2 Variasi Laju Aliran Masuk 5 L.....	40
Gambar 4. 3 Variasi Laju Aliran Masuk 6 L.....	40
Gambar 4. 4 Variasi Volume Air 1.5 L	42
Gambar 4. 5 Variasi Volume Air 1.75 L	43
Gambar 4. 6 Variasi Kandungan Gas Dalam Biogas 1	43

Gambar 4. 7 Variasi Kandungan Gas Dalam Biogas 2 44

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Alat Wetscrubber Tipe Celup	24
tabel 3. 2 Presentase Komponen Biogas Sebelum dan Setelah Purifikasi	24
tabel 3. 3 Volume Tiap Gas Dalam Biogas Before Scrubbing	25
tabel 3. 4 Massa _{input} Tiap Gas Pada $T=32^{\circ}\text{C}$ dan $P=1\text{atm}$	26
tabel 3. 5 Solubilitas Tiap Gas Dalam Air Pada Temperatur	27
tabel 3. 6 Hasil Purifikasi Wetscrubber Metode Celup dengan Model Matematis	27
tabel 3. 7 Perbandingan Presentase Kandungan Biogas After Scrubbing	28

DAFTAR ISTILAH

- Acetogenesis* : Proses pembentukan asetat (garam yang mengandung gugus CH_3COO^-)
- Acidogenesis* : Proses pada tangki anaerob setelah hidrolisis yang pada tahap ini mikroorganisme memecah produk bio masa.
- After Scrubbing* : Nilai biogas setelah terpurifikasi
- Before Scrubbing* : Nilai biogas sebelum terpurifikasi
- Biogas* : Gas yang dihasilkan oleh aktifitas anaerobik dari bahan-bahan organik.
- Hydrolysis* : Tahapan pada tangka anaerob yang mana pada tahap ini molekul yang memiliki rantai Panjang seperti protein dan karbohidrat dipecah menjadi bentuk yang lebih sederhana (monomer).
- Methanogenesis* : Tahapan terakhir dari tangki anaerob yang mana mikroorganisme metanogen membuat metan (CH_4) dari produk akhir pada tahap *acetogenesis*.
- Purifikasi* : Pemurnian
- Spray Tower* : Metode *wetscrubbing* yang paling umum digunakan, dengan menggunakan tabung berukuran besar yang didalamnya biogas dan *scrubber* dikontakkan dengan arah berlawanan
- Ultrasonic Diffuser* : Alat yang digunakan untuk mempercepat proses pelarutan suatu materi dengan prinsip pemecahan reaksi intermolekuler.
- Waterscrubbing* : Proses penyerapan gas pengotor dengan bahan penyerap menggunakan air.

Wetscrubber : Teknologi pereduksi gas pengotor dengan menggunakan cairan sebagai penyerapnya.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Biogas mampu mengubah material organik menjadi sebuah energi dan pada saat yang sama, teknologi biogas mampu memproduksi pupuk untuk menyuburkan tanaman [1]. Saat ini pembentukan biogas dengan tangki anaerob banyak digunakan, dan ada 4 fase yang terjadi pada tangki anaerob ini, yakni *Hydrolysis*, *Acidogenesis*, *Acetogenesis* dan *Methanogenesis* yang mana akan menghasilkan gas Methana (CH_4) dan gas-gas pengotor [2]. Saat ini, dapat dijumpai pembuatan biogas yang berasal dari kotoran ternak, maupun hasil dari limbah tebu yang masing-masing memiliki kandungan gas-gas pengotor dalam biogas yang berbeda. Untuk kotoran ternak sendiri dapat menghasilkan kandungan biogas dengan presentase 67,9% (CH_4), 27,2% (CO_2) dan 0,1% (H_2S) dari volume total biogas yang dihasilkan [3]. Adapun untuk limbah tebu, presentase kandungan biogas yang dihasilkan ialah 50-75% (CH_4), 25-50% (CO_2) dan 0-3% (H_2S) [4]. Menghilangkan gas-gas pengotor, terlebih lagi seperti CO_2 dan H_2S sangat penting dalam peningkatan kualitas biogas, karena adanya CO_2 dapat mengurangi nilai pembakaran yang dihasilkan biogas dan H_2S merupakan gas beracun yang dapat menyebabkan korosi [5]. Alasan lainnya adalah pembakaran yang mengandung H_2S akan menghasilkan SO_2 . SO_2 dianggap lebih berbahaya daripada H_2S karena berdampak buruk bagi kesehatan dan lingkungan, karena menghasilkan kabut asap dan hujan asam. Sedangkan menghilangkan CO_2 dari biogas akan menaikkan

nilai kualitas pembakaran hingga 80%, jika ditinjau dari basis volume [6]. Ada 2 cara purifikasi biogas, yakni menggunakan penyerapan fisik dan metode kimia menggunakan air. Metode *scrubber* air ini menggunakan zat cair untuk mengangkat polutan [7]. Media air yang digunakan untuk absorpsi H_2S dan CO_2 sangat efektif, karena adanya kontak antara air dan biogas memicu terjadinya reaksi fisik yang menyebabkan penurunan CO_2 dan H_2S pada biogas, dan *scrubber* air yang banyak digunakan saat ini adalah dengan metode *spray tower*, metode ini membuat air menjadi bentuk partikel-partikel air yang kemudian diarahkan berlawanan dengan biogas, sehingga akan terjadi kontak [8]. Metode *spray* cukup efektif untuk mengangkat gas-gas pengotor yang ada di dalam biogas, akan tetapi tidak mampu untuk menjaga kandungan CH_4 dalam biogas, kandungan CH_4 fluktuatif terhadap perubahan temperatur. Hal ini, menjadi landasan penelitian yang dilakukan oleh Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA, dalam membuat purifikasi *wet scrubber* metode celup yang terbukti mampu menghilangkan gas pengotor (CO_2 dan H_2S) dan meningkatkan kandungan CH_4 dalam biogas, yakni dengan mencelupkan biogas ke dalam tabung yang berisi air yang telah dilengkapi dengan *ultrasonic diffuser* pada bagian dasarnya yang bertujuan untuk melakukan pengkabutan. Namun, belum diketahui secara pasti penjelasan ilmiah terkait proses purifikasi biogas dengan metode ini.

Oleh karena itu, pada tugas akhir kali ini akan dilakukan analisa kinerja *wet scrubber* dengan metode pencelupan biogas ke dalam tabung berisi air yang dilengkapi dengan pompa kompresi di dasar tabung melalui analisa proses absorpsi gas H_2S dan CO_2 oleh air dengan menggunakan hukum

kesetimbangan massa dan persamaan gas ideal antara gas-gas yang terdapat dalam biogas (CH_4 , H_2S dan CO_2) dengan air (H_2O). Persamaan ini akan disimulasikan menggunakan *simulink* untuk dapat dipergunakan dalam menganalisa *wet scrubber* ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan, adapun permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah :

- Bagaimana hasil pemodelan *wetscrubber* tipe celup dengan mengacu pada data lapangan?
- Bagaimana analisa estimasi hasil purifikasi biogas dengan *wetscrubber* tipe celup ketika parameter operasional laju aliran masuk, volume air dan kandungan gas dalam biogas diubah-ubah?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, maka tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Mengetahui hasil pemodelan *wetscrubber* tipe celup dengan mengacu pada data lapangan.
- Mampu melakukan analisa estimasi hasil purifikasi biogas dengan *wetscrubber* tipe celup ketika parameter operasional laju aliran masuk, volume air dan kandungan gas dalam biogas diubah-ubah.

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah maka batasan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- *Wet scrubber* yang dipergunakan pada penelitian ini mempergunakan hasil karya penelitian dosen Teknik fisika ITS.
- Data parameter proses *wet scrubber* dari hasil percobaan yang dilakukan di P.T. Enero, Gempolkrep, Mojokerto.
- Parameter proses (kesetimbangan massa biogas yang masuk ke dalam *wet scrubber*) biogas hasil purifikasi yang di *sampling* dan dianalisa komposisinya (kandungan CH₄, H₂S, CO₂ dan O₂).
- Parameter proses ini akan dipergunakan dalam menganalisa proses absorpsi gas-gas pengotor (H₂S dan CO₂) dengan media air sebagai absorber.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari lima bab dan dilengkapi dengan daftar pustaka. Secara garis besar, sistematika dari penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika laporan.

- **BAB II DASAR TEORI**

Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, seperti biogas, teknologi purifikasi, *wet scrubber*, solubilitas, pengaruh luas dan waktu kontak dan gas ideal.

- **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode, dan langkah-langkah dalam penelitian.

- **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab IV ini berisi tentang analisa hasil pemodelan *wetscrubber* untuk purifikasi biogas melalui pencelupan biogas ke dalam tabung berisi air.

- **BAB V PENUTUP**

Pada bab V ini diberikan kesimpulan tentang tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan hasil yang diperoleh, serta diberikan saran sebagai penunjang dalam pengembangan tugas akhir selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 Biogas

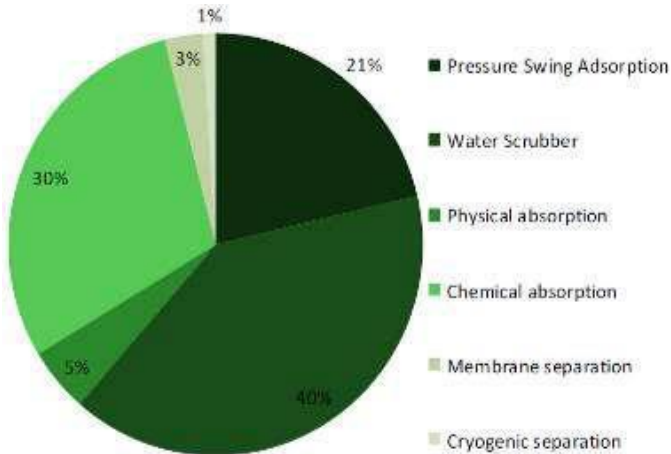
Biogas adalah campuran gas yang mudah terbakar (lihat gambar 2.1). Komponen utamanya terdiri dari metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) dan terbentuk dari dekomposisi bakteri anaerob senyawa organik, yaitu proses tanpa adanya oksigen. Gas-gas yang terbentuk adalah produk limbah dari respirasi mikroorganisme pengurai dan komposisi gas-gas tersebut tergantung pada zat yang sedang diuraikan. Jika bahan utamanya terdiri dari karbohidrat, seperti glukosa dan gula sederhana lainnya dan senyawa molekul tinggi (polimer) seperti selulosa dan hemiselulosa, produksi metana rendah. Namun, jika kandungan lemaknya tinggi, produksi metana juga tinggi [9].

Gas	%
Methane (CH_4)	55 – 70
Carbon dioxide (CO_2)	30 – 45
Hydrogen sulphide (H_2S)	} 1 – 2
Hydrogen (H_2)	
Ammonia (NH_3)	
Carbon monoxide (CO)	trace
Nitrogen (N_2)	trace
Oxygen (O_2)	trace

Gambar 2. 1 Komponen Biogas (sumber : Jørgensen, 2009)

2.2 Teknologi Purifikasi

Gas-gas pengotor yang terdapat di dalam biogas dapat direduksi dengan melakukan purifikasi biogas. Teknologi purifikasi biogas yang paling umum digunakan, diantaranya adalah adsorpsi tekanan, pemurnian biogas dengan air di bawah tekanan, penyerapan fisik dan kimia, pemisahan membran dan pemisahan kriogenik. Semua ini sebagian besar melibatkan penghilangan hidrogen sulfida, karbon dioksida dan uap air yang ada pada biogas [10].



Gambar 2. 2 Grafik Penggunaan Teknologi Purifikasi (sumber : Zăbavă, et al., 2017)

Dari macam-macam teknologi purifikasi yang dipergunakan untuk mempurifikasi biogas, dapat dilihat pada **Gambar 2.2** yang paling banyak digunakan adalah teknologi *water scrubber* dan yang paling sedikitnya adalah kriogenik. Terlepas dari grafik penggunaannya semua teknologi purifikasi ini memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing.

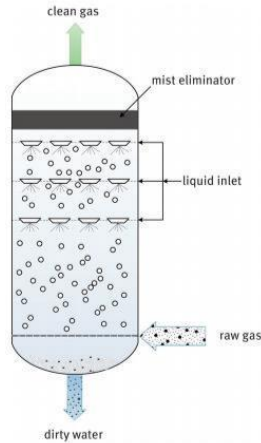
Oleh karena penggunaan *water scrubber* yang terbanyak, maka penelitian kali ini akan berfokus pada purifikasi biogas menggunakan teknologi *water scrubber*.

2.2.1 Water Scrubbing

Water scrubbing merupakan teknologi purifikasi yang mampu menurunkan kadar CO₂ dan H₂S sekaligus dalam biogas, hal ini disebabkan karena keduanya mudah bereaksi dengan air ketimbang kandungan CH₄ dalam biogas, dan proses absorpsinya murni dengan kontak fisik, yakni antara air dan biogas. Biasanya biogas diberi tekanan dan diumpangkan ke bagian bawah kolom, sementara air diumpangkan di atas dan dengan demikian proses penyerapan dioperasikan melawan arus. Air yang keluar dari kolom dengan membawa CO₂ yang terserap dan / atau H₂S dapat diregenerasi dan diedarkan kembali menjadi *scrubber*. Regenerasi air pada *water scrubbing* dilakukan dengan menghilangkan tekanan atau dengan *stripping* dengan udara di kolom yang sama. Namun, regenerasi dengan *stripping* dengan udara tidak dianjurkan manakala air banyak berkontak dengan H₂S, karena air akan cepat terkontaminasi dengan sulfur, sehingga jika tetap dilakukan dikhawatirkan akan menimbulkan masalah operasional. Dan ketika air murah dapat digunakan, misalnya, air keluaran dari pabrik pengolahan limbah, metode yang paling efisien adalah tidak mensirkulasikan kembali/meregenerasi air.

Kelebihan menggunakan *water scrubber* diantaranya adalah tidak ada bahan kimia khusus yang dibutuhkan dan mampu mereduksi, baik CO₂ maupun H₂S. Adapun kekurangan dari penggunaan *water scrubber* yang paling mencolok adalah membutuhkan air dalam jumlah besar, meskipun dengan proses regenerasi. *Water scrubber* sendiri

termasuk kedalam jenis *wet scrubber* yang menggunakan air sebagai cairan *scrubber*-nya.



Gambar 2. 3 Skema *Water Scrubber Spray Tower* (sumber : Maduna & Tomašić, 2017)

2.3 *Wet Scrubber*

Wet scrubber merupakan teknologi purifikasi yang banyak digunakan saat ini, termasuk di dalamnya adalah *water scrubber*. *Wet scrubber* sendiri memiliki beberapa tipe dan metode untuk pengoperasiannya. Untuk memilih tipe *wet scrubber* ada beberapa hal yang harus diperhatikan. Diantaranya adalah luas penampang, luas penampang *scrubber* yang efektif adalah faktor yang mempengaruhi efisiensi *scrubber*. Luas tersebut harus dirancang dengan benar sehingga *scrubber* memiliki luas yang cukup untuk mengakomodasi aliran gas dan cairan [11]. Kemudian waktu kontak antara gas dan cairan juga memengaruhi efisiensi dari *wet scrubber*, karena jika waktu kontak gas dan cairan ideal untuk melakukan

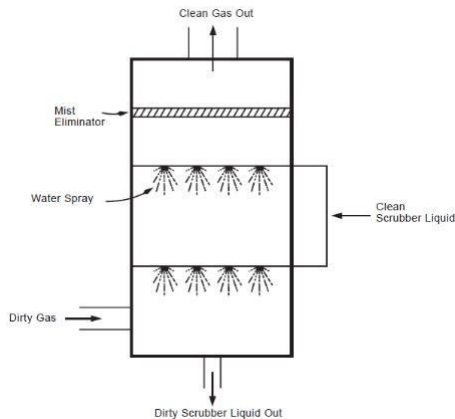
reaksi, maka hasil dari proses penyerapan akan maksimal. Mengacu pada hal-hal yang mampu memengaruhi efisiensi dari *wet scrubber*, maka tipe-tipe *wet scrubber* yang umum saat ini diantaranya, *spray tower*, *cyclonic spray tower*, *dynamic scrubber*, *tray tower*, *venturi scrubber* dan *orifice scrubber*. Dan akan dijelaskan lebih lanjut tentang *spray tower*, karena merupakan tipe *wet scrubber* yang paling sederhana.

2.3.1 *Spray Tower*

Tipe *scrubber* yang paling sederhana adalah *spray tower*. Dalam sebuah *spray tower*, udara bermuatan partikel masuk ke dalam ruangan di mana ia kontak dengan *liquid spray* yang dihasilkan oleh *spray nozzle* (nozel semprot). *Tower* dapat ditempatkan di jalur aliran gas limbah vertikal atau horizontal. *Liquid spray* bisa diarahkan berlawanan dengan aliran gas, dalam arah yang sama dengan aliran gas, atau tegak lurus terhadap aliran gas. **Gambar 2.4** menunjukkan contoh ruang semprot arus balik vertikal. Aliran gas masuk di bagian bawah menara dan mengalir ke atas. Air disemprotkan ke bawah dari nozel yang dipasang di dinding menara atau dipasang pusat menara. Tetesan air menangkap partikel yang tersuspensi dalam aliran gas melalui impaksi, intersepsi dan difusi. Tetesan dari semprotan air cukup besar untuk mengendap dan terkumpul di bagian bawah bilik. Tetesan yang tetap terperangkap dalam aliran gas dikumpulkan pada *upstream mist eliminator* dari nozel.

Spray tower utamanya mengandalkan pengumpulan partikel dengan impaksi. Oleh karena itu, mereka memiliki efisiensi pengumpulan yang tinggi untuk partikel pengotor kasar. Efisiensi penghilangan tipikal untuk *spray tower* bisa

sebesar 90% untuk partikel yang lebih besar dari 5 μm . Efisiensi penghilangan partikel (zat) pengotor untuk partikel dengan diameter dari 3 hingga 5 μm memiliki presentase efisiensi berkisar antara 60 hingga 80% [12].



Gambar 2. 4 Spray Tower (sumber : Hemmer, 2002)

Secara fisis, saat air disemprotkan pada *spray tower* kemudian bertumbukkan dengan gas yang dialirkan dari bawah, tetap ada rongga kosong yang dapat dilewati oleh biogas. Hal ini menyebabkan biogas yang melewati rongga kosong tersebut tidak mengalami proses absorpsi. Oleh karena itu, penelitian ini mencoba menjawab permasalahan tersebut dengan menggunakan *wetscrubber* tipe celup.

2.3.2 *Wetscrubber* Tipe Celup

Wetscrubber tipe celup merupakan inovasi terbaru dari *wetscrubber*, pada pengujiannya di PT. Enero, Gempolkrep, Mojokerto, *wetscrubber* ini memiliki desain dengan 2 tabung

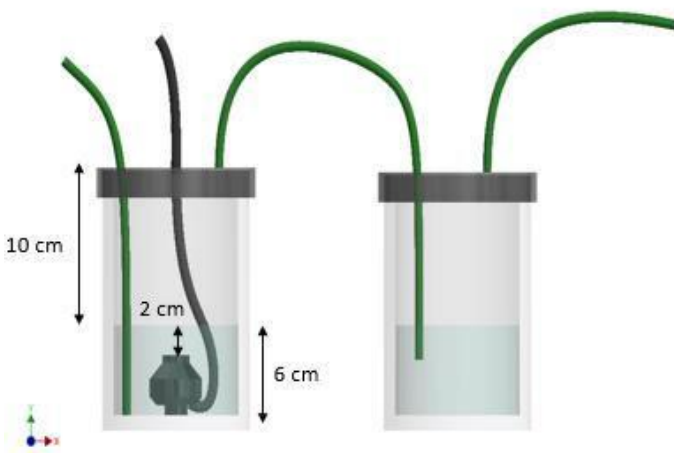
berisi air, tabung pertama diberi *ultrasonic diffuser* dan memiliki 2 pipa sambungan,

- Pipa yang mengalirkan biogas ke dalam air pada tabung pertama.
- Pipa yang mengalirkan biogas dari tabung pertama ke tabung kedua.

Tabung kedua juga memiliki 2 pipa sambungan, yakni:

- Pipa yang mengalirkan biogas dari tabung pertama ke dalam air pada tabung kedua.
- Pipa yang mengalirkan biogas sebagai output biogas terpurifikasi.

Sebagaimana yang terlihat pada **Gambar 2.5**



Gambar 2.5 Wetscrubber Tipe Celup

Cara kerjanya adalah biogas yang belum dilakukan purifikasi, masuk kedalam air yang berada di dalam tabung pertama *wetscrubber* tipe celup untuk dilakukan proses absorpsi, selanjutnya *ultrasonic diffuser*, aktif untuk membuat komponen air pecah, sehingga efeknya adalah partikel air akan menjadi berukuran lebih kecil, sebagaimana penjelasan mengenai sonikasi pada [13] dan akan terjadi pengkabutan, dan terdapat kemungkinan pula komponen biogas ikut terkena dampak sonikasi, sehingga ukuran partikelnya akan menjadi lebih kecil dan efeknya, waktu reaksi yang dibutuhkan pun dapat lebih singkat. Selanjutnya, biogas mengalir lagi menuju tabung kedua dan dicelupkan kembali kedalam air untuk proses absorpsi kembali, setelah itu barulah biogas yang telah terpurifikasi dihasilkan sebagai outputnya.

Pada penelitian kali ini, biogas masuk ke dalam *wetscrubber* pada tekanan 1 atm. Oleh karena, itu karakteristik kandungan gas dalam biogas dapat diasumsikan sebagaimana gas ideal.

2.4 Gas Ideal

Gas ideal adalah gas yang terdiri dari molekul-molekul di mana tidak ada gaya yang bekerja kecuali pada tabrakan satu sama lain atau dengan dinding dan mematuhi hukum gas ideal. Yang mana persamaan gas idealnya dapat ditulis dengan persamaan :

$$P.V = n.R.T \quad (2.1)$$

Dimana,

P = tekanan, atm

V= volume, liter

n = mol

$R =$ tetapan Gas (0,082 liter.atm/mol.K)

$T =$ temperatur gas, Kelvin

Mol sendiri memiliki model matematis lain seperti pada persamaan (2.2).

$$= \text{---} \quad (2.2)$$

Dimana,

$m =$ massa, gr

$M_r =$ massa relatif

Selanjutnya, persamaan (2.2) dapat disubstitusi ke dalam persamaan (2.1), sehingga menjadi :

$$.. = \text{---} \quad (2.3)$$

Persamaan gas ideal dapat digunakan dalam penelitian kali ini disebabkan *wetscrubber* tipe celup bekerja pada tekanan rendah, sehingga karakteristik gas mirip dengan gas ideal [14]. Persamaan ini nantinya digunakan untuk mencari $massa_{input}$ biogas yang masuk ke dalam *wetscrubber*. Pencarian massa sendiri dilakukan guna menyesuaikan data solubilitas gas dalam air yang akan dijelaskan selanjutnya.

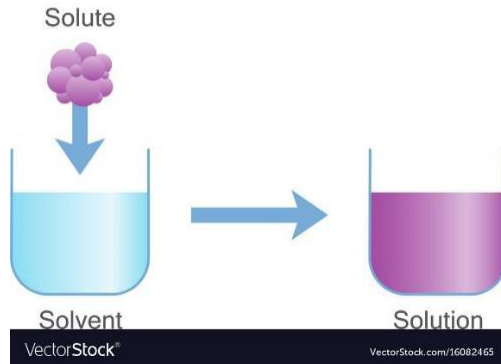
2.4 Solubilitas

Solubilitas atau kelarutan adalah sifat kimia yang mengacu pada kemampuan zat untuk dapat terlarut, dalam pelarut, lihat **Gambar 2.6**.

Solubilitas diukur dalam hal jumlah maksimum zat terlarut dalam pelarut pada kesetimbangan, sehingga apabila telah mencapai nilai solubilitas dari zat terlarut dalam pelarut,

maka bila ada penambahan zat terlarut, zat ini tidak akan larut lagi di dalam pelarutnya. Zat yang terlarut sendiri dapat berbentuk gas, cairan atau pun padatan [8]. Tingkat kelarutan yang dimiliki oleh tiap zat terlarut dalam pelarut beragam, sebagai contoh dengan pelarut yang sama, seperti air kelarutan CO_2 lebih besar jika dibandingkan kelarutan O_2 dalam air dengan kondisi yang sama. Purifikasi biogas dengan *wetscrubber* tipe celup, berkaitan erat dengan solubilitas gas dalam cairan, yang pada penelitian ini menggunakan air.

Solubility



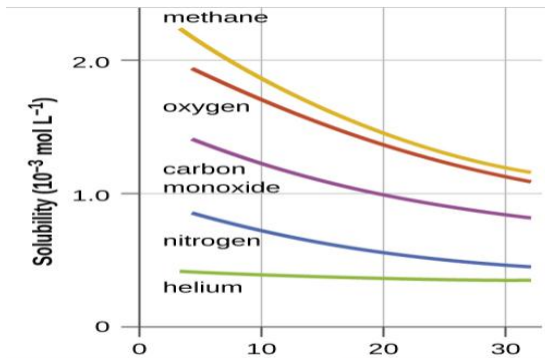
Gambar 2. 6 Visualisasi Solubilitas Suatu Zat Terlarut Dalam Pelarut
(sumber : www.vectorstock.com)

2.4.1 Solubilitas Gas Dalam Cairan

Struktur kimia dari zat pelarut dan terlarut menentukan solubilitas zat terlarut tersebut pada pelarutnya. Sebagai gambaran, tingkat solubilitas oksigen (O_2) dalam air (H_2O) 3 kali lebih besar dibandingkan kelarutan oksigen di dalam

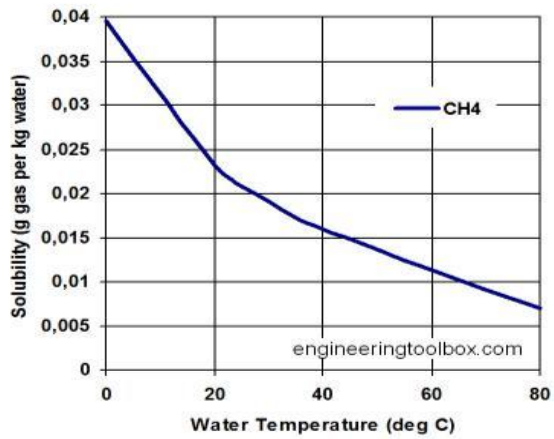
helium (He), akan tetapi 100 kali lebih kecil dibandingkan kelarutan oksigen dalam *chloromethane* (CHCl_3).

Faktor lain yang memengaruhi tingkat solubilitas gas dalam cairan adalah temperatur. Umumnya, bila temperatur bertambah tinggi, maka tingkat solubilitasnya akan menurun [15]. Hal ini sebagaimana yang terlihat pada **Gambar 2.7**.

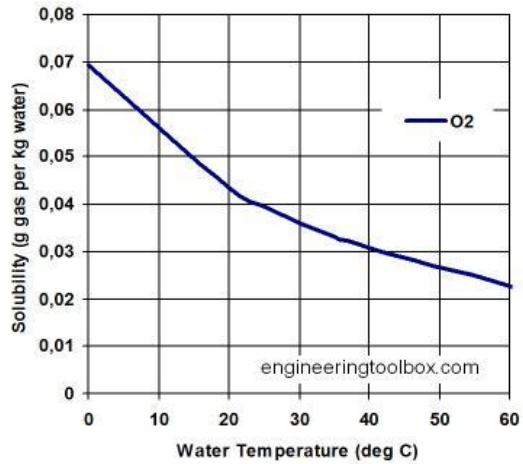


Gambar 2.7 Nilai Solubilitas Pada Variasi Temperatur (sumber : OpenStax, 2016)

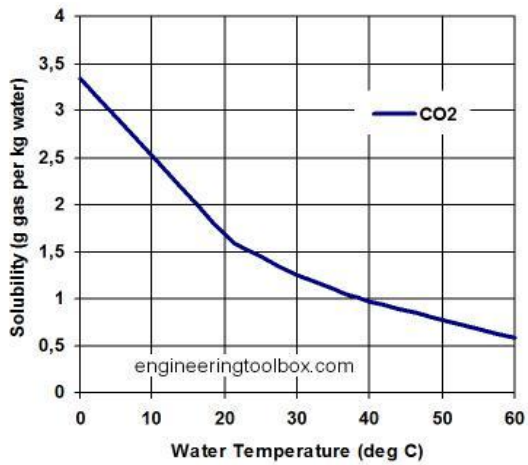
Sedangkan pada penelitian terkait biogas, kandungan gas yang biasa dilihat adalah CH_4 , O_2 , CO_2 dan H_2S , maka nilai solubilitas yang dicantumkan berfokus pada 4 jenis gas penyusun biogas ini. Nilai solubilitas CH_4 , O_2 , CO_2 dan H_2S didapat, menggunakan garfik yang mengacu pada [16], dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.



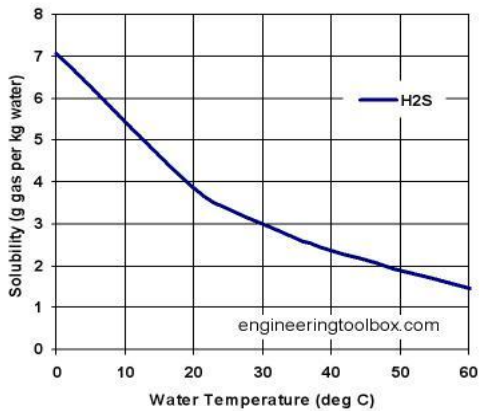
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 2. 8 Solubilitas Komponen Gas Dalam Biogas Dalam Air ($\text{g}_{\text{gas}}/\text{kg}_{\text{air}}$) dengan Variansi Temperatur. (a) Gas CH_4 dengan Air (b) Gas O_2 dengan Air (c) Gas CO_2 dengan Air (d) Gas H_2S dengan Air (Sumber : *Engineering ToolBox*, 2008)

Gambar 2.8 menjelaskan bahwa semakin tinggi temperatur air, maka kelarutan gas akan semakin kecil. Adapun penjelasan poin per poin, maka sebagaimana tertera berikut.

- poin (a), menjelaskan tentang nilai solubilitas atau kelarutan CH_4 dalam air yang menunjukkan nilai solubilitas paling kecil diantara yang lain, tercatat nilai kelarutan paling tinggi adalah 0.04 gr/liter air dan pada temperatur 32°C 0.01823 gr/liter.
- Poin (b) merupakan nilai kelarutan O_2 yang merupakan nilai kelarutan terendah kedua setelah CH_4 , tercatat nilai kelarutan paling tinggi 0.07 gr/liter dan pada temperatur 32°C 0.034 gr/liter.
- Poin (c) merupakan nilai kelarutan dari gas pengotor CO_2 yang pada temperatur 32°C memiliki nilai kelarutan 1.2 gr/liter.
- Terakhir, poin (d), merupakan gas yang paling larut dan memiliki nilai kelarutan yang paling besar diantara keempat gas dalam air, yang pada temperatur 32°C memiliki nilai kelarutan 2.8 gr/liter.

Nilai solubilitas ini dicari untuk mendapatkan $\text{massa}_{\text{output}}$ biogas terpurifikasi dengan mengurangi $\text{massa}_{\text{input}}$ dan $\text{massa}_{\text{terlarut}}$, sebagaimana penjelasan terkait hukum kesetimbangan yang dijelaskan pada [17] dapat ditulis ke dalam persamaan (2.4).

--

(2.4)

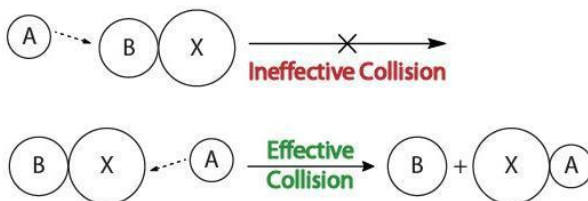
$\text{Massa}_{\text{output}}$ CH_4 , O_2 , CO_2 dan H_2S dicari untuk dapat menemukan kandungan masing-masing gas dalam bentuk

volume, dengan cara memasukkan hasil persamaan (2.4) ke dalam persamaan (2.3).

Semua proses absorpsi yang terjadi di dalam *wetscrubber* ini tak lepas dari waktu kontak dan luas kontak antara biogas dan air sebagai *scrubber*-nya.

2.5 Pengaruh Waktu dan Luas Kontak

Untuk dapat melakukan kontak fisik antara zat terlarut dan pelarut, sesuai yang diinginkan diantaranya dengan memerhatikan waktu dan luas kontak. Dalam reaksi kimia ada yang namanya teori tumbukan reaktivitas, yang mana reaksi baru terjadi bila molekul reaktan bertumbukan secara efektif. Untuk itu, agar terjadi penumbukan yang efektif, molekul reaktan harus diorientasikan secara sempurna [18]. Sebagai gambaran dapat dilihat pada **Gambar 2. 7**.



Gambar 2. 9 Tumbukan Reaktivitas (sumber : Key, 2014)

Dengan begini dapat lebih jelas, bahwa bila kontak yang terjadi antara H_2O dengan zat pengotor yang ada dalam biogas tidak bertumbukan secara efektif atau dengan kata lain, zat pengotor melewati celah kosong yang hanya berisi udara, maka tidak akan terjadi kontak fisik, sehingga jika wilayah kontak

antar reaktan semakin luas, kemungkinan untuk terjadinya absorpsi semakin besar.

Dan berdasarkan teori van Krevelen dan Hofstijzer (1948), pada reaksi irreversibel, semakin lama waktu tinggal maka semakin banyak komponen terlarut yang bereaksi dengan komponen pelarut [19].

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur Umum Penelitian

Pada bab 3 ini, dijelaskan mengenai prosedur penelitian tugas akhir yang digunakan untuk menganalisa kinerja *wetscrubber* untuk purifikasi biogas melalui pencelupan biogas ke dalam tabung berisi air berkompresi. Untuk mencapai tujuan penelitian, maka metodologi yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini sesuai dengan diagram alir penelitian pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Identifikasi Parameter Operasional *Wetscrubber*

Wetscrubber yang akan digunakan adalah *wetscrubber* tipe celup. *Wetscrubber* tipe celup ini sendiri memiliki spesifikasi alat, sebagaimana dapat dilihat pada **tabel 3.1**.

tabel 3.1 Spesifikasi Alat *Wetscrubber* Tipe Celup

Tinggi Tabung	16 cm
Diameter Tabung	10,5 cm
Diameter Luar Pipa	7 mm
Diameter Dalam Pipa	4 mm
Volume Air Kedua Tabung	1 L

Dengan parameter operasional yang akan memengaruhi hasil dari purifikasi *wetscrubber* metode celup ini pada proses absorpsi adalah m (laju aliran biogas), presentase kandungan (CH_4 , O_2 , H_2S dan CO_2) dalam biogas dan V_{air} (volume air) dalam *wetscrubber*.

Data proyek yang didapat, sebagaimana terlihat pada **tabel 3.2**, menjelaskan tentang kandungan gas-gas yang ada di dalam biogas.

tabel 3.2 Presentase Komponen Biogas Sebelum dan Setelah Purifikasi

Kandungan	Before Scrubbing	After Scrubbing
CH_4	64 %	71.1975 %
O_2	6 %	9 %
CO_2	29 %	19.8 %
H_2S	1 %	0.0025 %

Laju aliran (\dot{m}) yang masuk adalah 4 L/menit yang mana, laju aliran ini bersifat kontinyu, secara terus-menerus masuk ke dalam system *wetscrubber* metode celup, sehingga dapat diasumsikan bahwa nilai Volume (V) sama dengan nilai \dot{m} , yakni senilai 4 Liter biogas yang masuk ke system. 4 Liter biogas ini mengandung CH₄, O₂, CO₂ dan H₂S sebanyak presentase *before scrubbing* pada **tabel 3.2**, yang dari sini didapatkan nilai masing-masing komponen biogas dalam bentuk Volume sebagaimana pada **tabel 3.3**.

tabel 3.3 Volume Tiap Gas Dalam Biogas *Before Scrubbing*

	Before Scrubbing	V _{total} (L)	V (L)
CH ₄	64 %	4	2,56
O ₂	6 %		0,24
CO ₂	29 %		1,16
H ₂ S	1 %		0,04

Kemudian dari pengambilan data, didapat pula nilai temperatur dan tekanan yang masing-masing bernilai T=32°C dan P=1atm, dalam kasus *wetscrubber* kali ini nilai T dan P diasumsikan konstan, sehingga memiliki nilai tetap pada seluruh keadaan di dalam system *wetscrubber* metode celup ini. Merujuk pada **tabel 3.1** dan **Gambar 2.8** akan tampak jelas bahwa Volume air yang berada dalam sistem *wetscrubber* juga menjadi parameter operasional yang harus diperhatikan, karena penambahan dari Volume air sendiri mampu meningkatkan solubilitas gas-gas dalam biogas dan pengurangannya menandakan berkurangnya zat pengotor yang terlarut dalam air, sehingga berefek pada hasil purifikasi yang lebih jelek. Oleh karena itu, parameter operasional yang menentukan hasil dari purifikasi biogas ini dapat dibagi ke dalam 3 parameter,

yakni \dot{m} , presentase komponen gas dalam biogas, dan volume air.

3.3 Penurunan Kelarutan yang Terjadi Dalam *Wetscrubber*

Pada *wetscrubber* tipe celup ini, reaksi yang dibahas akan difokuskan pada kelarutan yang terjadi antara gas-gas yang terkandung dalam biogas, baik CH_4 dan O_2 , maupun gas-gas pengotornya, seperti H_2S dan CO_2 . Dengan mengasumsikan bahwa $T = 32^\circ\text{C}$ dan tekanan 1 atm yang keduanya konstan, serta keadaan dimana laju aliran \dot{m} , bersifat kontinyu, sehingga didapat $\text{massa}_{\text{input}}$ masing-masing gas dengan menggunakan persamaan (2.9).

tabel 3. 4 $\text{Massa}_{\text{input}}$ Tiap Gas Pada $T=32^\circ\text{C}$ dan $P=1\text{atm}$

Kandungan	$\text{Massa}_{\text{input}}$ (gr)
CH_4	1.637744902
O_2	0.307077169
CO_2	2.040783687
H_2S	0.054378249

$\text{Massa}_{\text{input}}$ dicari untuk menyesuaikan satuan yang dibutuhkan dengan data solubilitas gas pada **Gambar 2.7**. Adapun nilai solubilitas tiap gas dalam air, dengan mengacu pada grafik tersebut dapat dilihat pada **tabel 3.5**.

Dengan melihat **tabel 3.5** dapat diketahui bahwa untuk setiap liter air, pada keadaan idealnya gas-gas CH_4 , O_2 , CO_2 dan H_2S akan terlarut sebanyak (0.01823, 0.034, 1.2 dan 2.8 (gram)). Solubilitas sendiri terjadi karena adanya reaksi absorpsi fisik antara zat terlarut dan pelarut. Dalam kasus ini, zat terlarut yang dimaksud adalah tiap-tiap gas yang terkandung dalam biogas, sedangkan pelarutnya adalah air. **Tabel 3.5** juga menjelaskan bahwa nilai tersebut adalah nilai

solubilitas terbaik yang dapat diserap per liter-nya, tidak akan mungkin lebih dari itu atau dapat disebut dengan *saturated point*. Selanjutnya, $massa_{input}$ akan dikurangi dengan $massa_{terlarut}$ untuk menemukan nilai massa biogas yang telah dipurifikasi atau disebut juga $massa_{output}$ dengan menggunakan persamaan (2.10).

tabel 3.5 Solubilitas Tiap Gas Dalam Air Pada Temperatur 32^oC

Kandungan	Nilai Solubilitas, X (gr/L)	Massa _{terlarut}
CH ₄	0.01823	(gr)
O ₂	0.034	
CO ₂	1.2	
H ₂ S	2.8	

Dari persamaan tersebut muncul hasil sebagaimana terlihat pada **tabel 3.6**.

tabel 3.6 Hasil Purifikasi Wetscrubber Metode Celup dengan Model Matematis

Kandungan	Massa _{output} (gr)	V (L)	V (%)
CH ₄	1.619514902	2.531504231	78.54886
O ₂	0.273077169	0.213426875	6.622323
CO ₂	0.840783687	0.477909091	14.82882
H ₂ S	0	0	0

Sehingga, perbandingan antara data proyek dengan hasil perhitungan kandungan biogas *after scrubbing* dapat dilihat sebagaimana yang tertera dalam **tabel 3.7**.

Ada perbedaan data *after scrubbing* hasil proyek dengan perhitungan, hal ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor. Diantara faktor yang paling mencolok adalah karena data

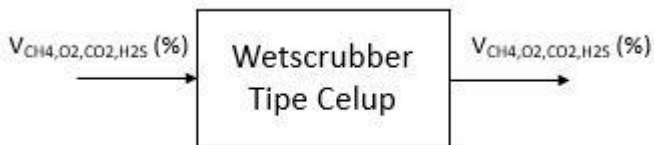
solubilitas yang digunakan dalam proses perhitungan menggunakan data solubilitas per satuan gas yang masuk ke dalam air, sedangkan pada kasus dilapangan seluruh gas secara bersamaan masuk ke dalam air yang bertindak sebagai pelarut atau dalam kata lain kasus dilapangan adalah multikomponen sedangkan data perhitungan menggunakan asumsi satu komponen, sehingga pada proses absorpsi dengan kandungan air 1 liter, gas pengotor yang diserap tidak akan mungkin lebih tinggi dari hasil perhitungan.

tabel 3. 7 Perbandingan Presentase Kandungan Biogas *After Scrubbing*

(%)	$V_{\text{data proyek}}$	$V_{\text{perhitungan}}$
CH ₄	71.1975	78.54886
O ₂	9	6.622323
CO ₂	19.8	14.82882
H ₂ S	0.0025	0

3.4 Simulasi Hasil Reaksi

Simulasi digunakan untuk menjelaskan secara lebih detail proses purifikasi biogas yang terjadi pada *wetscrubber* tipe celup yang secara general ditunjukkan pada diagram blok seperti pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3. 2 Diagram Blok Wetscrubber Tipe Celup

Diagram blok menunjukkan bahwa input biogas berupa presentase volume tiap kandungan gas dalam biogas dan outputnya juga berupa presentase volume kandungan gas dalam biogas, penjabaran kinerja *wetscrubber* tipe celup selanjutnya akan dijabarkan pada tahap simulasi.

Simulasi dilakukan menggunakan GUI (*Graphical User Interface*) pada *software* Matlab dengan mendesain parameter yang dapat diubah, sebagaimana yang telah dijelaskan pada **sub-bab 3.2.** dengan input kodingan pada *command window* matlab, seperti :

```

global CO2;

global H2S;

global O2;

global CH4;

global VolAir;

global Flow;

global Temp;

disp('-----');
disp('Run Simulink? (Y / N)');
disp('-----');
n=input('Jawab : ', 's');
if( n=='y' || (n=='Y'))
    disp('-----');
    disp('Please Wait. GUI will open in few second.')

```

```

disp('-----');
run('bion.m')
else
disp('Exiting Program');
end

```

Dimana, file bion.m yang di run, berisi kode utama untuk menjalankan program simulasi ini. Adapun kodingan yang berada dalam file bion.m adalah sebagai berikut :

```

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global CO2;
global H2S;
global O2;
global CH4;
global VolAir;
global Flow;
global Temp;

CO2=str2double(get(handles.edit1, 'string'));
H2S=str2double(get(handles.edit2, 'string'));
O2=str2double(get(handles.edit3, 'string'));
CH4=str2double(get(handles.edit4, 'string'));

```

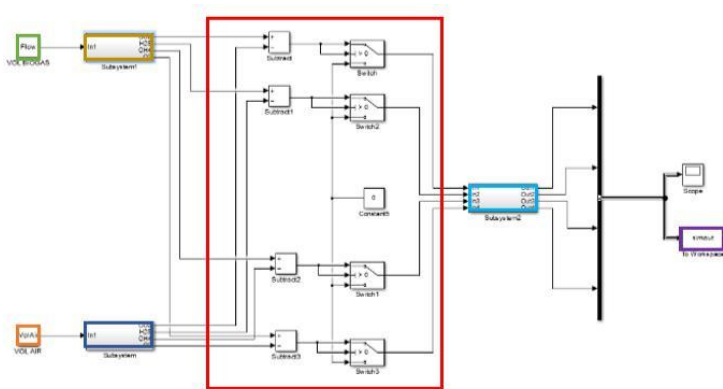
```
Flow=str2double(get(handles.edit5, 'string'));
Temp=str2double(get(handles.edit6, 'string'));
VolAir=str2double(get(handles.edit7, 'string'));

sim('bion.slx')

axes(handles.axes1);
plot(simout.signal1);
hold on
plot(simout.signal2);
plot(simout.signal3);
plot(simout.signal4);
hold off

legend('CO2', 'H2S', 'O2', 'CH4');
```

File `bion.m` ini dibuat pada tombol “run” yang ada pada GUI sebagaimana **Gambar 3.7** terdapat ‘Callback’ yang perannya adalah saat program GUI dijalankan, data input yang dimasukkan dari GUI akan ditransmisikan ke model *wetscrubber* yang telah didesain di dalam Simulink, dalam kasus ini diberi nama ‘`bion.slx`’ yang dapat dilihat pada **Gambar 3.3**. Sedangkan sisanya adalah pendefinisian dari tiap parameter agar mampu terbaca dan diolah dalam GUI dan secara visual dapat dilihat seperti pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3.3 Pemodelan *Wetscrubber* Tipe Celup Pada Simulink

Pemodelan *wetscrubber* tipe celup sebagaimana pada **Gambar 3.3** memiliki beberapa poin yang ditandai dengan kotak berwarna yang memiliki penjelasan seperti :

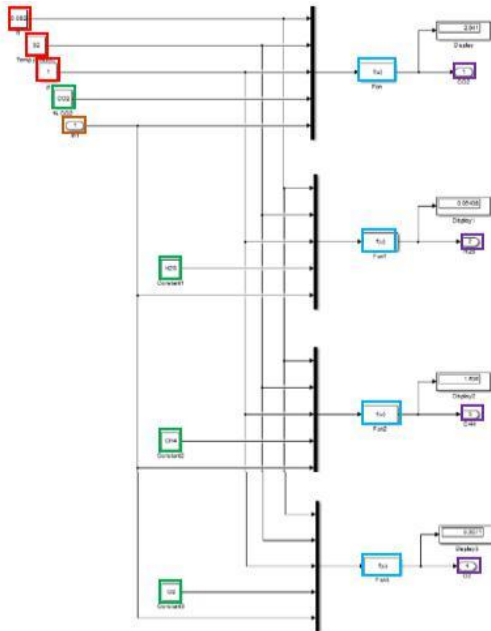
- **Kotak hijau**, merupakan input volume biogas yang masuk ke dalam *wetscrubber* tipe celup, volume biogas masuk ini diketahui dari laju aliran masuk biogas ke dalam *wetscrubber*, karena laju aliran masuk kontinu, sehingga nilai laju aliran masuk dapat diasumsikan sama dengan nilai volume biogas yang masuk, dalam simulasi *wetscrubber* tipe celup nilai yang masuk didefinisikan pada GUI yang dijelaskan pada **Gambar 3.7**.
- **Kotak oranye**, merupakan volume air yang ada di dalam *wetscrubber* tipe celup, nilainya didefinisikan pada GUI.
- **Kotak coklat**, merupakan subsistem yang di dalamnya mengandung persamaan (2.3) yang digunakan untuk mencari nilai m_{input} pada tiap gas di dalam biogas, selanjutnya akan dijelaskan pada **Gambar 3.4**.

- **Kotak biru tua**, merupakan subsistem yang mendefinisikan nilai m_{terlarut} untuk tiap gas pada volume air yang telah didefinisikan dari kotak oranye dan saat kondisi temperatur $32\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.
- **Kotak merah**, mendefinisikan persamaan (2.4) yang mana secara visual pada titik ini biogas sedang melakukan kontak dengan air, sehingga kandungan gas dalam biogas terutama gas pengotor akan mengalami reduksi dan biogas akan terpurifikasi, output dari sini adalah m_{output} .
- **Kotak biru muda**, merupakan subsistem yang akan mengkonversi m_{output} menjadi volume kembali, menggunakan persamaan (2.3) yang kemudian dijadikan ke dalam bentuk presentase.
- **Kotak ungu**, memiliki fungsi sebagai penransmisi hasil yang didapat dari Simulink agar dapat terbaca ke dalam grafik yang ada pada GUI sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 3.7**.

Pemodelan yang terjadi pada subsistem yang mendapat input dari volume biogas dijelaskan pada **Gambar 3.4** yang juga memiliki beberapa poin dalam kotak yang berwarna. Adapun penjelasan tiap kotak adalah sebagai berikut :

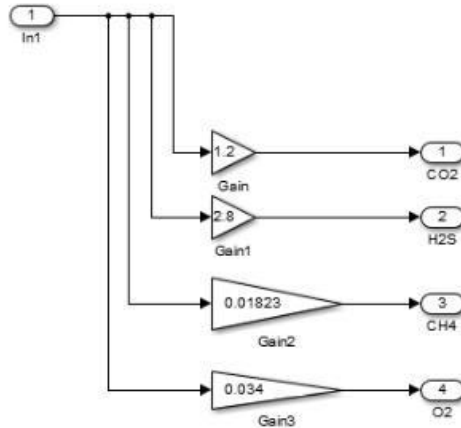
- **Kotak merah**, merupakan konstanta yang berisi nilai R (tetapan gas), P (tekanan) dan T (temperatur) yang dikondisikan tetap.
- **Kotak coklat**, merupakan volume biogas yang sebelumnya telah diinputkan pada GUI.

- **Kotak hijau**, merupakan presentase volume tiap gas CH_4 , O_2 , CO_2 dan H_2S yang terkandung dalam biogas yang diinputkan. Nilainya didefinisikan pada GUI yang akan dijelaskan melalui **Gambar 3.7**.
- **Kotak biru muda**, merupakan fungsi ($f_{(u)}$) yang berisi persamaan (2.3) bertujuan untuk mengkonversi volume tiap gas menjadi m_{input} tiap gas.
- **Kotak ungu**, merupakan output dari subsistem yang membawa m_{input} sebagai outputnya.



Gambar 3. 4 Pemodelan Subsistem Output dari Vol Biogas

Sedangkan pemodelan subsistem output dari Vol Air dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5 Pemodelan Subsistem Output dari Vol Air

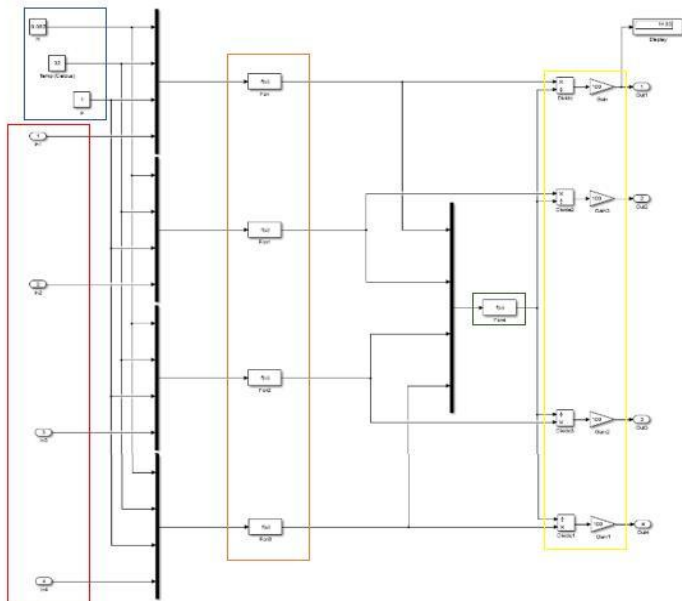
Pada **Gambar 3.5** berisi nilai m_{terlarut} dari gas CO_2 , H_2S , CH_4 dan O_2 pada temperatur 32°C , dan input yang masuk pada subsistem ini adalah volume air yang akan memengaruhi pula nilai kelarutan tiap gasnya.

Selanjutnya, output dari **Gambar 3.4** dan **Gambar 3.5** diselisih menggunakan persamaan (2.4), menghasilkan m_{output} dan masuk ke dalam subsistem, sebagaimana pada **Gambar 3.6**.

Pada **Gambar 3.6** juga terdapat poin-poin yang diberi kotak berwarna dengan penjelasan masing-masing kotak sebagai berikut :

- **Kotak biru**, merupakan nilai R, P dan T yang bersifat konstan.
- **Kotak merah**, merupakan input pada subsistem, yakni nilai m_{output} dari tiap gas CO_2 , H_2S , CH_4 dan O_2 .

- **Kotak oranye**, merupakan fungsi persamaan ($f_{(u)}$) yang berisi persamaan (2.3) untuk konversi massa_{output} menjadi volume.
- **Kotak hijau**, merupakan fungsi penjumlahan gas-gas CO₂, H₂S, CH₄ dan O₂ yang merupakan kandungan biogas.
- **Kotak kuning**, merupakan fungsi pembagi yang membagi volume tiap gas dengan volume total gas kemudian di kalikan 100 untuk mendapatkan presentase masing-masing biogas yang telah terpurifikasi.

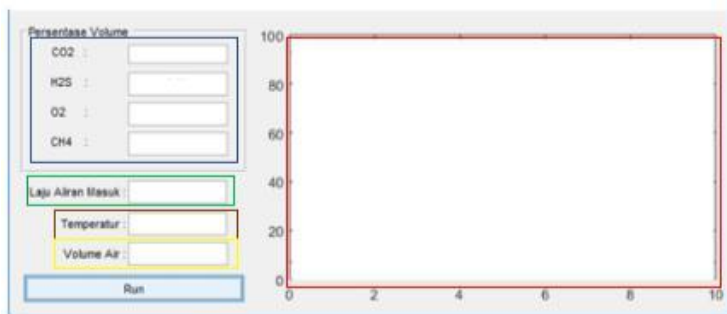


Gambar 3. 6 Pemodelan Subsystem dengan Input moutput

Berikutnya pada **Gambar 3.7** menjelaskan tentang tampilan dari GUI untuk *wetscrubber* tipe celup yang terdiri dari beberapa unsur yang telah dibagi dengan kotak berwarna

ke dalam beberapa bagian. Adapun pembagiannya adalah seperti :

- **Kotak biru**, merupakan input nilai presentase kandungan tiap gas yang berguna untuk mendefinisikan nilai pada **Gambar 3.4**.
- **Kotak hijau**, berfungsi untuk mendefinisikan nilai volume biogas pada **Gambar 3.3**.
- **Kotak coklat**, merupakan masukan nilai temperatur yang dikondisikan pada 32 °C.
- **Kotak kuning**, merupakan input nilai volume air yang ada pada **Gambar 3.3**.
- **Kotak merah**, merupakan grafik hasil yang menunjukkan estimasi nilai presentase volume tiap gas hasil purifikasi *wetscrubber* tipe celup.



Gambar 3. 7 Tampilan GUI Wetscrubber Tipe Celup

Tujuan dari dilakukannya simulasi adalah untuk memvalidasi dengan data lapangan hasil dari proyek yang dilakukan bersama PT. Enero yang terletak di Gempol Kerep, Mojokerto, Jawa Timur. Selain itu, juga dapat digunakan untuk

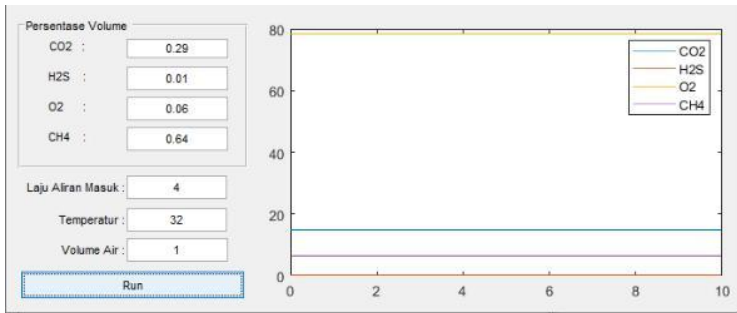
memprediksi hasil purifikasi biogas, apabila parameter operasionalnya diubah.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi dengan Variasi Laju Aliran Masuk

Simulasi dilakukan menggunakan GUI (*Graphical User Interface*) pada *software* Matlab yang terkoneksi dengan *Simulink*. Simulasi sendiri dilakukan pada 3 keadaan berbeda, keadaan pertama set input, mulai dari m (laju aliran masuk atau dalam hal ini volume biogas yang masuk), presentase kandungan (CH_4 , O_2 , CO_2 dan H_2S) dalam biogas sebelum purifikasi, hingga volume air yang digunakan disamakan. Keadaan kedua dan ketiga adalah dengan menaikkan volume biogas yang masuk kedalam system *wetscrubber*, masing-masing 5 dan 6 liter, tujuannya adalah untuk melihat bagaimana tren dari kandungan gas dalam biogas itu sendiri setelah dilakukan purifikasi.

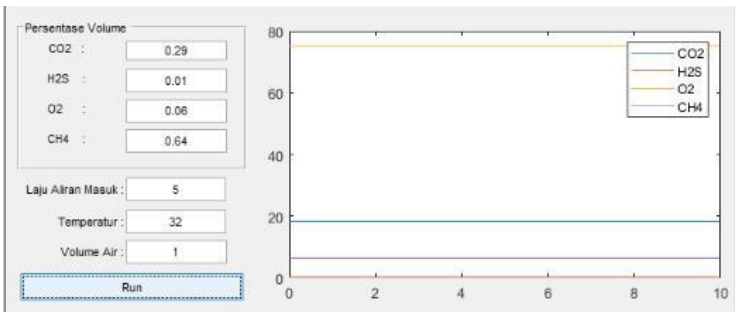


Gambar 4. 1 Kondisi Data Proyek

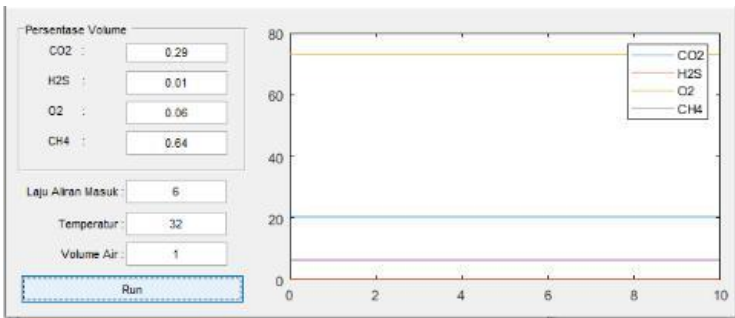
Dari **Gambar 4.1** terlihat bahwa grafik kandungan biogas yang telah terpurifikasi menunjukkan kesamaan dengan hasil

perhitungan dengan kondisi volume biogas yang masuk sebanyak 4 L dan memiliki kandungan presentase volume disamakan sebagaimana data proyek, yakni CO₂ 29%, H₂S 1%, O₂ 6% dan CH₄ 64% melewati *wetscrubber* metode celup dengan volume air 1 L, menghasilkan CO₂ ≈ 14 %, H₂S ≈ 0%, O₂ ≈ 6,6% dan CH₄ ≈ 78,5%. Hal ini terjadi tentu dengan asumsi bahwa tekanan stabil pada 1 atm.

Berikutnya, untuk mendapatkan gambaran yang lebih luas lagi terkait pengoptimalan penggunaan *wetscrubber* tipe metode celup ini, diujilah dengan mengubah laju aliran masuk menjadi 5 L dan 6 L sebagaimana pada **Gambar 4.2** dan **Gambar 4.3**.



Gambar 4. 2 Variasi Laju Aliran Masuk 5 L



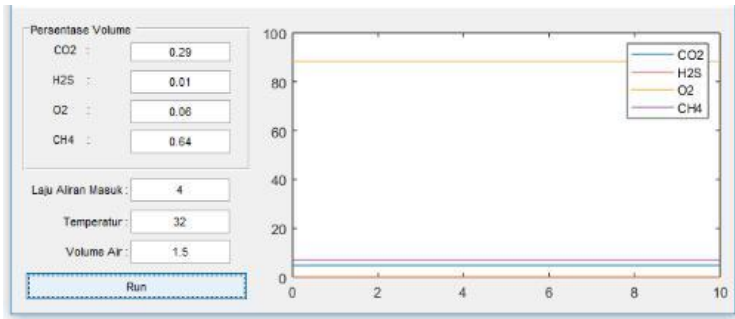
Gambar 4. 3 Variasi Laju Aliran Masuk 6 L

Dapat terlihat dari sini, bahwa bila laju aliran masuk dinaikkan dengan presentase kandungan gas dalam biogas sama, masuk kedalam system *wetscrubber* metode celup yang memiliki volume air yang tetap pada 1 L, maka hasil dari purifikasi biogasnya menunjukkan adanya penurunan presentase kandungan CH_4 *after scrubbing* yang cukup signifikan, yakni pada laju aliran masuk 5 L/menit kandungannya menurun menjadi 75,28% dan saat laju aliran masuk 6 L/menit menjadi 73,26% sedangkan kenaikan CO_2 dalam biogas *after scrubbing* yang juga cukup signifikan saat laju reaksi 5 L/mnt menjadi 18.23% dan saat 6 L/mnt menjadi 20.33%. Adapun presentase kandungan O_2 yang menurun, meski tidak terlalu tampak penurunannya serta H_2S tetap pada 0%. Hasil ini menunjukkan bahwa adanya penambahan laju aliran masuk tidak membuat *wetscrubber* metode celup ini bekerja secara maksimal, karena tujuan dari pembuatan *wetscrubber* sendiri adalah untuk menghilangkan zat pengotor yang ada dalam biogas, sedangkan dengan adanya penambahan laju aliran masuk, malah menjadikan presentase kandungan CO_2 selaku zat pengotor dalam biogas bertambah, sehingga menambah laju aliran masuk, dengan presentase komposisi biogas masuk yang sama dan volume air dalam *wetscrubber* tetap pada 1 L bukanlah sebuah keputusan yang tepat.

4.2 Hasil Simulasi dengan Variasi Volume Air

Berdasarkan **Gambar 4.1** masih terdapat gas pengotor CO_2 yang tersisa setelah proses purifikasi yang artinya perlu dilakukan penambahan pelarut yakni air (H_2O) agar gas-gas pengotor yang tak diinginkan seperti CO_2 juga dapat hilang. Untuk alasan ini, dilakukanlah variasi volume air dengan menambahkannya menjadi 1.5 L dan 1.75 L. Hasil yang

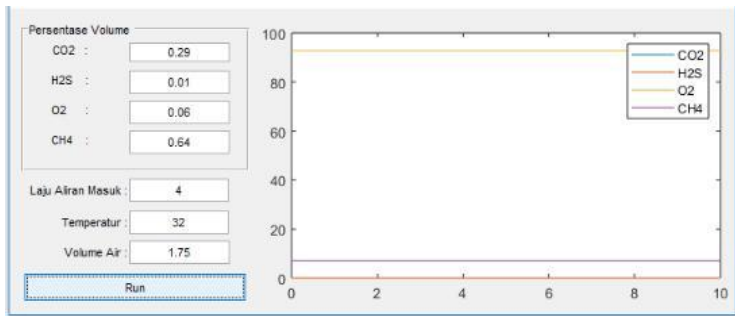
diberikan sebagaimana tampak pada **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5**. Pada **Gambar 4.4** hasil purifikasi biogas menunjukkan bahwa kandungan CO₂ yang berada di dalam biogas menjadi lebih kecil, bahkan berada di bawah O₂ dengan presentase kandungan masing-masing CO₂ 4.795%, H₂S 0%, O₂ 7.012% dan CH₄ 88.19%.



Gambar 4.4 Variasi Volume Air 1.5 L

Namun, gas pengotor CO₂ masih tersisa di dalam biogas, maka dilakukanlah penambahan volume air menjadi 1.75 L, sehingga didapatkan presentase kandungan gas di dalam biogas masing-masing CO₂ 0%, H₂S 0%, O₂ 92.84% dan CH₄ 7.157%.

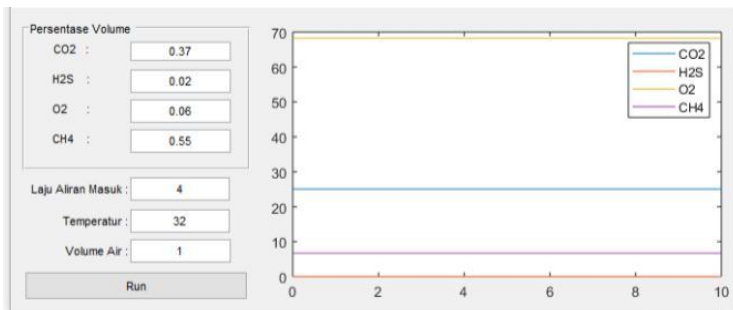
Sehingga, dapat diketahui, berdasarkan variasi yang dilakukan, volume air yang paling baik untuk purifikasi biogas pada kondisi proyek adalah sebesar 1.75 L air, karena gas-gas pengotor yang tidak diharapkan ada pada biogas seperti CO₂ dan H₂S telah bersih.



Gambar 4. 5 Variasi Volume Air 1.75 L

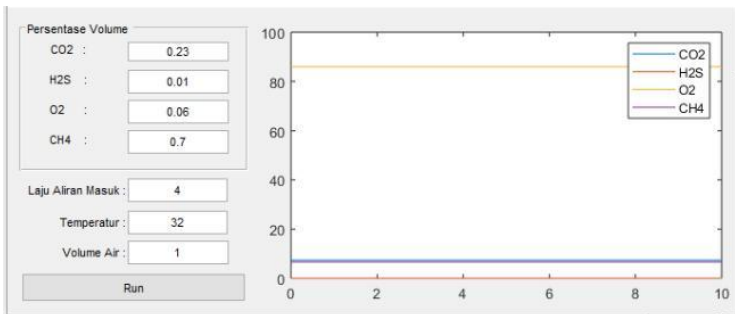
4.3 Hasil Simulasi dengan Variasi Kandungan Gas Dalam Biogas

Variasi kandungan gas dalam biogas dilakukan untuk melihat prediksi ideal dari purifikasi biogas dengan *wetscrubber* tipe celup dengan mengubah presentase kandungan CH₄, CO₂ dan H₂S yang masuk ke dalam *wetscrubber* dan mengasumsikan kandungan O₂ tetap pada 6 %.



Gambar 4. 6 Variasi Kandungan Gas Dalam Biogas 1

Pada **Gambar 4.6** kandungan gas dalam biogas yang masuk diubah menjadi CO₂ 37%, H₂S 2%, O₂ 6% dan CH₄ 55%, H₂S dinaikkan hingga kandungan maksimal yang memungkinkan di dalam biogas, yakni 2% dan CH₄ diturunkan hingga presentase kandungan minimumnya dalam biogas, yakni 55%, sebagaimana pada **Gambar 2.1** untuk melihat berapa presentase metana (CH₄) yang terkandung di dalam biogas yang telah terpurifikasi pada keadaan terburuknya, dan prediksi hasil purifikasi biogas menghasilkan CO₂ 25.07%, H₂S 0%, O₂ 6.706% dan CH₄ 68.23%. Kemudian, dilakukan variasi kembali untuk melihat prediksi kandungan metana (CH₄) dalam biogas yang telah terpurifikasi, apabila kandungan gas dalam biogas yang masuk ke dalam *wetscrubber* memiliki presentase CH₄ pada keadaan terbaiknya, yakni 70% dan H₂S diturunkan kembali menjadi 1%, O₂ 6% dan CO₂ 23 %, sebagaimana yang terlihat pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4. 7 Variasi Kandungan Gas Dalam Biogas 2

Prediksi hasil purifikasi yang diberikan menunjukkan presentase kandungan gas-gas dalam biogas senilai CO₂ 7.382%, H₂S 0%, O₂ 6.622% dan CH₄ 86%.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan dari tugas akhir mengenai Pemodelan *Wetscrubber* Tipe Celup Untuk Purifikasi Biogas adalah sebagai berikut :

- Penurunan kelarutan dalam wetscrubber dengan laju aliran masuk 4 Liter dan kandungan gas dalam biogas masuk, masing-masing bernilai CO₂ 29%, H₂S 1%, O₂ 6% dan CH₄ 64%, menghasilkan kandungan gas dalam biogas terpurifikasi senilai CO₂ 14,82882%, H₂S 0%, O₂ 6,622323% dan CH₄ 78,54886%.
- Jika parameter laju aliran masuk dinaikkan dengan menjadikan parameter lainnya tetap pada kondisi data lapangan, maka presentase gas pengotor pada biogas pasca purifikasi akan semakin meningkat , hal ini terlihat dari meningkatnya presentase CO₂ saat laju reaksi 5 L/mnt menjadi 18.23% dan saat 6 L/mnt menjadi 20.33%.
- Untuk kondisi sebagaimana data lapangan, maka volume air yang paling cocok untuk mempurifikasi gas pengotor adalah sejumlah 1.75 L air (H₂O), karena estimasi hasil purifikasinya memberikan nilai gas pengotor H₂S dan CO₂ senilai 0%.
- Adapun, pada kasus-kasus lain yang memiliki kandungan biogas yang berbeda dari data proyek,

maka simulasi ini dapat digunakan untuk memprediksi hasil purifikasinya dengan tetap menimbang adanya *error* pada prediksi hasil.

5.2 Saran

Dari tugas akhir ini terdapat saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, yakni dapat mencari metode penurunan reaksi yang lebih sesuai dengan keadaan *real*, sehingga dapat memperkecil selisih hasil perhitungan dan data *real-plant*, agar dapat digunakan untuk mengestimasi hasil purifikasi dengan lebih akurat lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. Chibueze, N. Okorie, O. Oriaku, J. Isu dan E. Peters, “The Production of Biogas Using Cow Dung and Food Waste,” *International Journal of Materials and Chemistry*, pp. 21-24, 15 Oktober 2017.
- [2] M. T. Yohannes, *Biogas potential from cow manure – Influence of diet*, MicroDrivE, 2010, pp. 194-207.
- [3] U. P. A dan N. M. N, “Comparative study of biogas production from cow dung, cow pea and cassava peeling using 45 litres biogas digester,” *Advances in Applied Science Research*, pp. 1864-1869, 2012.
- [4] A. Penta, K. A. Sai, O. Medatwal dan Y. Rite, “Production of Biogas from Sugarcane Waste,” *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, pp. 9407-9414, 2017.
- [5] M. Islamiyah, T. Soehartanto, R. Hantoro dan A. Abdurrahman, “Water Scrubbing for Removal of CO₂ (Carbon Dioxide) and H₂S (Hydrogen Sulfide) in Biogas from Manure,” dalam *Renewable Energy and Energy Conservation Conference and Exhibition*, 2014.
- [6] S. Divyang R., N. Hermant J. dan A. Pradeep, “Purification of Biogas using Chemical Scrubbing and Application of Purified Biogas as Fuel for Automotive Engines,” *Research Journal of Recent Sciences*, pp. 1-7, 2016.

- [7] P. Khairumizan, “Studi Eksperimental Implementasi Venturi Scrubber Pada Sistem Gasifikasi Batubara,” Universitas Indonesia, Jakarta, 2018.
- [8] Science Daily, “Solubility,” 25 Mei 2019. [Online]. Available: <https://www.sciencedaily.com/terms/solubility.htm>.
- [9] P. J. Jørgensen, Biogas – green energy, Aarhus: PlanEnergi and Researcher for a Day, 2009, pp. 1-6.
- [10] B.-Ş. Zăbavă, N. Ungureanu, G. Voicu, P. G., M. M. dan F. M., “Methods Of Biogas Purification – A Review,” dalam *International Symposium*, Bucharest, 2017.
- [11] Y. L. Juan, “Evaluation of Wet Scrubber Systems,” University of Southern Queensland, Queensland, 2005.
- [12] P. Hemmer, “Wet Scrubbers for Particulate Matter,” dalam *Particulate Matter Controls*, Parkway, E.H. Pechan & Associates, Inc., 2002.
- [13] F. Ali, L. Reinert, J.-M. Levêque, L. Duclaux, F. Muller, S. Saeed dan S. S. Shah, “Effect of Sonication Conditions: Solvent, Time, Temperature and Reactortype On The Preparation of Micron Sized Vermiculite Particles,” *Ultrasonics Sonochemistry*, pp. 1002-1009, 2014.

- [14] R. Shanthini, "Working With Real Gases & Steam," dalam *Thermodynamics for Beginners*, Peradeniya, Research Gate, 2006, pp. 69-108.
- [15] OpenStax, Chemistry, Texas: Creative Commons Attribution License 4.0, 2016.
- [16] Engineering ToolBox, "Solubility of Gases in Water," 2008. [Online]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/gases-solubility-water-d_1148.html .
- [17] A. Daham, "Material Balance," dalam *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*, Tikrit, University of Tikrit, pp. 2-88.
- [18] J. A. Key, "Introductory Chemistry – 1st Canadian Edition," dalam *Factors that Affect the Rate of Reactions*, Canada, BCcampus, 2014.
- [19] P. Ramadhany, "Model Numerik Absorpsi Gas Reaksi Orde Dua Tak Reversibel," *Jurnal Integrasi Proses*, pp. 78-86, 6 January 2018.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN Lampiran A Perhitungan Data Lapangan

- Data Input

Kandungan	Before Scrubbing	T (K)	\dot{m} (L/mnt)	P (atm)
CH ₄	64 %	305	4	1
O ₂	6 %			
CO ₂	29 %			
H ₂ S	1 %			

- Karena \dot{m} kontinyu, maka $\dot{m} = V$, $V = 4L$, dari sini didapat :

Kandungan	Before Scrubbing	V_{total} (L)	V (L)
CH ₄	64 %	4	2,56
O ₂	6 %		0,24
CO ₂	29 %		1,16
H ₂ S	1 %		0,04

- Mencari m_{input} tiap gas

- $m_{input} CH_4$:—
 $1 \cdot 2,56 = 2,56$, $0,082 \cdot 305$

$$m_{input} = 1,6377 \text{ gr}$$

- $m_{input} O_2$: —
 $1 \cdot 0,24 = 0,24$, $0,082 \cdot 305$

$$m_{\text{input}} = 0,307 \text{ gr}$$

- $m_{\text{input}} \text{ CO}_2$:—
1.1.16 = 44; 0.082.305

$$m_{\text{input}} = 2,041 \text{ gr}$$

- $m_{\text{input}} \text{ H}_2\text{S}$:—
1.0.04 = 34; 0.082.305

$$m_{\text{input}} = 0,0544 \text{ gr}$$

- Data massa terlarut dalam air ($V_{\text{air}} = 1\text{L}$)

Kandungan	Nilai Solubilitas, X (gr/L)	Massa _{terlarut}
CH ₄	0.01823	(gr)
O ₂	0.034	
CO ₂	1.2	
H ₂ S	2.8	

- Mencari m_{output} tiap gas :

- $m_{\text{output}} \text{ CH}_4$:
 $m_{\text{output}} = 1,6377 - 0,01823$
 $m_{\text{output}} = 1,6195 \text{ gr}$

- $m_{\text{output}} \text{ O}_2$:
 $m_{\text{output}} = 0,307 - 0,034$
 $m_{\text{output}} = 0,273 \text{ gr}$

- $$m_{\text{output CO}_2} :$$

$$m_{\text{output}} = 2,041 - 1,2$$

$$m_{\text{output}} = 0,84 \text{ gr}$$

- $$m_{\text{output H}_2\text{S}} :$$

$$m_{\text{output}} = 0,054 - 2,8$$

$$m_{\text{output}} = 0 \text{ gr}$$

- Mencari V_{output} tiap gas :

- $$V_{\text{output CH}_4} :$$

$$i. = 1,6195_{16} \cdot 0,082,305$$

$$V_{\text{output}} = 2,532 \text{ L}$$

- $$V_{\text{output O}_2} :$$

$$i. = 0,272_{32} \cdot 0,082,305$$

$$V_{\text{output}} = 0,2134 \text{ L}$$

- $$V_{\text{output CO}_2} :$$

$$i. = 0,84_{44} \cdot 0,082,305$$

$$V_{\text{output}} = 0,4779 \text{ L}$$

- $$V_{\text{output H}_2\text{S}} :$$

$$i. = 34^0 \cdot 0,082,305$$

$$V_{\text{output}} = 0 \text{ L}$$

- Mencari presentase volume (V(%)) tiap gas setelah *scrubbing* :

$$= 2,532 + 0,2134 + 0,4779 + 0 = 3,2228$$

- $V(\%) \text{ CH}_4 :$
 $\% = \frac{2,532}{3,2228} \cdot 100$
 $\% = 78,4886\%$

- $V(\%) \text{ O}_2 :$
 $\% = \frac{0,2134}{3,2228} \cdot 100$
 $\% = 6,620\%$

- $V(\%) \text{ CO}_2 :$
 $\% = \frac{0,4779}{3,2228} \cdot 100$
 $\% = 14,82\%$

- $V(\%) \text{ H}_2\text{S} :$
 $\% = \frac{0}{3,2228} \cdot 100 = 0\%$

Lampiran B

Perhitungan Variasi Laju Aliran Masuk 5L/menit

- Data Input

Kandungan	Before Scrubbing	T (K)	\dot{m} (L/mnt)	P (atm)
CH ₄	64 %	305	5	1
O ₂	6 %			
CO ₂	29 %			
H ₂ S	1 %			

- Karena \dot{m} kontinyu, maka $\dot{m} = V$, $V = 5L$, dari sini didapat :

Kandungan	Before Scrubbing	V ^{total} (L)	V (L)
CH ₄	64 %	5	3,2
O ₂	6 %		0,3
CO ₂	29 %		1,45
H ₂ S	1 %		0,05

- Mencari m_{input} tiap gas

- $m_{input} CH_4$:—
 $1 \cdot 3,2 =_{16} 0,082 \cdot 305$

$$m_{input} = 2,047 \text{ gr}$$

- $m_{input} O_2$:—
 $1 \cdot 0,3 =_{32} 0,082 \cdot 305$

$$m_{\text{input}} = 0,3838 \text{ gr}$$

- $m_{\text{input}} \text{ CO}_2$:—
 $1 \cdot 1,45 = 1,45$; $0,082 \cdot 3,05$

$$m_{\text{input}} = 2,551 \text{ gr}$$

- $m_{\text{input}} \text{ H}_2\text{S}$:—
 $1 \cdot 0,05 = 0,05$; $0,082 \cdot 3,05$

$$m_{\text{input}} = 0,06797 \text{ gr}$$

- Data massa terlarut dalam air ($V_{\text{air}} = 1\text{L}$)

Kandungan	Nilai Solubilitas, X (gr/L)	Massa _{terlarut}
CH ₄	0.01823	(gr)
O ₂	0.034	
CO ₂	1.2	
H ₂ S	2.8	

- Mencari m_{output} tiap gas :

- $m_{\text{output}} \text{ CH}_4$:
 $m_{\text{output}} = 2,047 - 0,01823$
 $m_{\text{output}} = 2,0289 \text{ gr}$

- $m_{\text{output}} \text{ O}_2$:
 $m_{\text{output}} = 0,3838 - 0,034$
 $m_{\text{output}} = 0,3498 \text{ gr}$

- $m_{\text{output CO}_2}$:
 $m_{\text{output}} = 2,551 - 1,2$
 $m_{\text{output}} = 1,351 \text{ gr}$
- $m_{\text{output H}_2\text{S}}$:
 $m_{\text{output}} = 0,06797 - 2,8$
 $m_{\text{output}} = 0 \text{ gr}$

• Mencari V_{output} tiap gas :

- $V_{\text{output CH}_4}$:
 $i. = 2,029_{16} \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 3,1715 \text{ L}$$

- $V_{\text{output O}_2}$:
 $i. = 0,3496_{32} \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0,2734 \text{ L}$$

- $V_{\text{output CO}_2}$:
 $i. = 1,351_{44} \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0,7679 \text{ L}$$

- $V_{\text{output H}_2\text{S}}$:
 $i. = 3,4^0 \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0 \text{ L}$$

- Mencari presentase volume (V(%)) tiap gas setelah *scrubbing* :

$$= 3,1715 + 0,2734 + 0,7679 + 0 = 4,2128$$

- $V(\%) \text{ CH}_4 :$
 $\% = \frac{3,1715}{4,2128} \cdot 100$
 $\% = 75,28 \%$

- $V(\%) \text{ O}_2 :$
 $\% = \frac{0,2734}{4,2128} \cdot 100$
 $\% = 6,49 \%$

- $V(\%) \text{ CO}_2 :$
 $\% = \frac{0,7679}{4,2128} \cdot 100$
 $\% = 18,23 \%$

- $V(\%) \text{ H}_2\text{S} :$
 $\% = \frac{0}{4,2128} \cdot 100$
 $\% = 0 \%$

Lampiran C

Perhitungan Variasi Laju Aliran Masuk 6 L/menit

- Data Input

Kandungan	Before Scrubbing	T (K)	\dot{m} (L/mnt)	P (atm)
CH ₄	64 %	305	6	1
O ₂	6 %			
CO ₂	29 %			
H ₂ S	1 %			

- Karena \dot{m} kontinyu, maka $\dot{m} = V$, $V = 6L$, dari sini didapat :

Kandungan	Before Scrubbing	V _{total} (L)	V (L)
CH ₄	64 %	6	3,84
O ₂	6 %		0,36
CO ₂	29 %		1,74
H ₂ S	1 %		0,06

- Mencari \dot{m}_{input} tiap gas

- $\dot{m}_{input} CH_4$:—
 $1 \cdot 3,84 = 16 \cdot 0,082 \cdot 305$

$$\dot{m}_{input} = 2,4566 \text{ gr}$$

- $\dot{m}_{input} O_2$: —
 $1 \cdot 0,36 = 16 \cdot 0,082 \cdot 305$

$$m_{\text{input}} = 0,4606 \text{ gr}$$

- $m_{\text{input}} \text{ CO}_2$:—
 $1 \cdot 1,74 = 1,74$; $0,082 \cdot 305 = 25,01$

$$m_{\text{input}} = 3,06117 \text{ gr}$$

- $m_{\text{input}} \text{ H}_2\text{S}$:—
 $1 \cdot 0,06 = 0,06$; $0,082 \cdot 305 = 25,01$

$$m_{\text{input}} = 0,081567 \text{ gr}$$

- Data massa terlarut dalam air ($V_{\text{air}} = 1\text{L}$)

Kandungan	Nilai Solubilitas, X (gr/L)	Massa _{terlarut}
CH ₄	0.01823	(gr)
O ₂	0.034	
CO ₂	1.2	
H ₂ S	2.8	

- Mencari m_{output} tiap gas :

- $m_{\text{output}} \text{ CH}_4$:
 $m_{\text{output}} = 2,4566 - 0,01823$
 $m_{\text{output}} = 2,43838 \text{ gr}$

- $m_{\text{output}} \text{ O}_2$:
 $m_{\text{output}} = 0,4606 - 0,034$
 $m_{\text{output}} = 0,4266 \text{ gr}$

- $m_{\text{output}} \text{ CO}_2$:

$$m_{\text{output}} = 3,06117 - 1,2$$

$$m_{\text{output}} = 1,86117 \text{ gr}$$

- $m_{\text{output}} \text{ H}_2\text{S} :$
 $m_{\text{output}} = 0,081567 - 2,8$
 $m_{\text{output}} = 0 \text{ gr}$

- Mencari V_{output} tiap gas :

- $V_{\text{output}} \text{ CH}_4 : \text{---}$
 $1. = 2,4388_{16}, 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 3,8115 \text{ L}$$

- $V_{\text{output}} \text{ O}_2 : \text{---}$
 $1. = 0,426_{22}, 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0,3334 \text{ L}$$

- $V_{\text{output}} \text{ CO}_2 : \text{---}$
 $1. = 1,86117_{44}, 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 1,0579 \text{ L}$$

- $V_{\text{output}} \text{ H}_2\text{S} :$
 $1. = 34^0, 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0 \text{ L}$$

- Mencari presentase volume (V(%)) tiap gas setelah *scrubbing* :

$$= 3,8115 + 0,3334 + 1,0579 + 0 = 5,2028$$

- $V_{\%}(\text{CH}_4) :$
 $\frac{3,8115}{5,2028} \cdot 100 = 73,26\%$

- $V_{\%}(\text{O}_2) :$
 $\frac{0,3334}{5,2028} \cdot 100 = 6,41\%$

- $V_{\%}(\text{CO}_2) :$
 $\frac{1,0579}{5,2028} \cdot 100 = 20,33\%$

- $V_{\%}(\text{H}_2\text{S}) :$
 $\frac{0}{5,2028} \cdot 100 = 0\%$

Lampiran D

Perhitungan Variasi Volume Air 1,5 L

- Data Input

Kandungan	Before Scrubbing	T (K)	\dot{m} (L/mnt)	P (atm)
CH ₄	64 %	305	4	1
O ₂	6 %			
CO ₂	29 %			
H ₂ S	1 %			

- Karena \dot{m} kontinyu, maka $\dot{m} = V$, $V = 4L$, dari sini didapat :

Kandungan	Before Scrubbing	V _{total} (L)	V (L)
CH ₄	64 %	4	2,56
O ₂	6 %		0,24
CO ₂	29 %		1,16
H ₂ S	1 %		0,04

- Mencari m_{input} tiap gas

- $m_{input} CH_4$:—
 $\frac{1 \cdot 2,56}{16} = 0,082.305$

$$m_{input} = 1,6377 \text{ gr}$$

- $m_{input} O_2$: —
 $\frac{1 \cdot 0,24}{32} = 0,0075$

$$m_{\text{input}} = 0,307 \text{ gr}$$

- $m_{\text{input}} \text{ CO}_2$:—
 $1 \cdot 1,16 = 1,16$; $0,082 \cdot 305$

$$m_{\text{input}} = 2,041 \text{ gr}$$

- $m_{\text{input}} \text{ H}_2\text{S}$:—
 $1 \cdot 0,04 = 0,04$; $0,082 \cdot 305$

$$m_{\text{input}} = 0,0544 \text{ gr}$$

- Data massa terlarut dalam air ($V_{\text{air}} = 1,5 \text{ L}$)

Kandungan	Nilai Solubilitas, X (gr/L)	Massa _{terlarut}
CH ₄	0.027	(gr)
O ₂	0.051	
CO ₂	1.8	
H ₂ S	4.2	

- Mencari m_{output} tiap gas :

- $m_{\text{output}} \text{ CH}_4$:
 $m_{\text{output}} = 1,6377 - 0,027$
 $m_{\text{output}} = 1,61 \text{ gr}$

- $m_{\text{output}} \text{ O}_2$:
 $m_{\text{output}} = 0,307 - 0,051$
 $m_{\text{output}} = 0,256 \text{ gr}$

- $m_{\text{output}} \text{ CO}_2$:

$$m_{\text{output}} = 2,041 - 1,8$$

$$m_{\text{output}} = 0,2408 \text{ gr}$$

- $m_{\text{output}} \text{ H}_2\text{S} :$
 $m_{\text{output}} = 0,054 - 4,2$
 $m_{\text{output}} = 0 \text{ gr}$

- Mencari V_{output} tiap gas :

- $V_{\text{output}} \text{ CH}_4 :$
 $i. = 1,616 \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 2,517 \text{ L}$$

- $V_{\text{output}} \text{ O}_2 :$
 $i. = 0,256_{22} \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0,2001 \text{ L}$$

- $V_{\text{output}} \text{ CO}_2 :$
 $i. = 0,2408_{44} \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0,13686 \text{ L}$$

- $V_{\text{output}} \text{ H}_2\text{S} :$
 $i. = 34^0 \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0 \text{ L}$$

- Mencari presentase volume (V(%)) tiap gas setelah *scrubbing* :

$$2,547 + 0,2001 + 0,13686 + 0 = 2,854$$

- $V(\%) \text{ CH}_4 :$
 $\% = \frac{2,547}{2,854} \cdot 100$
 $\% = 89,21\%$

- $V(\%) \text{ O}_2 :$
 $\% = \frac{0,2001}{2,854} \cdot 100$
 $\% = 7,012\%$

- $V(\%) \text{ CO}_2 :$
 $\% = \frac{0,13686}{2,854} \cdot 100$
 $\% = 4,79\%$

- $V(\%) \text{ H}_2\text{S} :$
 $\% = \frac{2,854}{2,854} \cdot 100 = 0\%$

Lampiran E

Perhitungan Variasi Volume Air 1,75 L

- Data Input

Kandungan	Before Scrubbing	T (K)	\dot{m} (L/mnt)	P (atm)
CH ₄	64 %	305	4	1
O ₂	6 %			
CO ₂	29 %			
H ₂ S	1 %			

- Karena \dot{m} kontinyu, maka $\dot{m} = V$, $V = 4L$, dari sini didapat :

Kandungan	Before Scrubbing	V _{total} (L)	V (L)
CH ₄	64 %	4	2,56
O ₂	6 %		0,24
CO ₂	29 %		1,16
H ₂ S	1 %		0,04

- Mencari \dot{m}_{input} tiap gas

- $\dot{m}_{input} CH_4$:—
 $1 \cdot 2,56 = 16 \cdot 0,082 \cdot 305$

$$\dot{m}_{input} = 1,6377 \text{ gr}$$

- $\dot{m}_{input} O_2$: —
 $1 \cdot 0,24 = 32 \cdot 0,082 \cdot 305$

$$m_{\text{input}} = 0,307 \text{ gr}$$

- $m_{\text{input}} \text{ CO}_2$:—
 $1 \cdot 1,16 = 1,16$; $0,082 \cdot 305 = 24,81$

$$m_{\text{input}} = 2,041 \text{ gr}$$

- $m_{\text{input}} \text{ H}_2\text{S}$:—
 $1 \cdot 0,04 = 0,04$; $0,082 \cdot 305 = 24,81$

$$m_{\text{input}} = 0,0544 \text{ gr}$$

- Data massa terlarut dalam air ($V_{\text{air}} = 1,75 \text{ L}$)

Kandungan	Nilai Solubilitas, X (gr/L)	Massa _{terlarut}
CH ₄	0.0319	(gr)
O ₂	0.0595	
CO ₂	2.1	
H ₂ S	4.9	

- Mencari m_{output} tiap gas :

- $m_{\text{output}} \text{ CH}_4$:
 $m_{\text{output}} = 1,6377 - 0,0319$
 $m_{\text{output}} = 1,6058 \text{ gr}$

- $m_{\text{output}} \text{ O}_2$:
 $m_{\text{output}} = 0,307 - 0,0595$
 $m_{\text{output}} = 0,2476 \text{ gr}$

- $m_{\text{output}} \text{ CO}_2$:

$$m_{\text{output}} = 2,041 - 2,1$$

$$m_{\text{output}} = 0 \text{ gr}$$

- $m_{\text{output}} \text{ H}_2\text{S} :$
 $m_{\text{output}} = 0,054 - 4,9$
 $m_{\text{output}} = 0 \text{ gr}$

- Mencari V_{output} tiap gas :

- $V_{\text{output}} \text{ CH}_4 :$
 $1. = 1,6658_{16} \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 2,51 \text{ L}$$

- $V_{\text{output}} \text{ O}_2 :$
 $1. = 0,247_{32} \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0,193 \text{ L}$$

- $V_{\text{output}} \text{ CO}_2 :$
 $1. = 44^0 \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0 \text{ L}$$

- $V_{\text{output}} \text{ H}_2\text{S} :$
 $1. = 34^0 \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0 \text{ L}$$

- Mencari presentase volume (V(%)) tiap gas setelah *scrubbing* :

$$= 2,51 + 0,193 + 0 + 0 = 2,7036$$

- $V_{(\%)} \text{CH}_4 :$
 $\% = \frac{2,51}{2,7036} \cdot 100$
 $\% = 92,81 \%$

- $V_{(\%)} \text{O}_2 :$
 $\% = \frac{0,193}{2,7036} \cdot 100$
 $\% = 7,13 \%$

- $V_{(\%)} \text{CO}_2 :$
 $\% = \frac{0}{2,7036} \cdot 100$
 $\% = 0 \%$

- $V_{(\%)} \text{H}_2\text{S} :$
 $\% = \frac{0}{2,7036} \cdot 100$
 $\% = 0 \%$

Lampiran F

Perhitungan Variasi Kandungan Gas Dalam Biogas

1

- Data Input

Kandungan	Before Scrubbing	T (K)	\dot{m} (L/mnt)	P (atm)
CH ₄	55 %	305	4	1
O ₂	6 %			
CO ₂	37 %			
H ₂ S	2 %			

- Karena \dot{m} kontinyu, maka $\dot{m} = V$, $V = 4L$, dari sini didapat :

Kandungan	Before Scrubbing	V _{total} (L)	V (L)
CH ₄	55 %	4	2,2
O ₂	6 %		0,24
CO ₂	37 %		1,48
H ₂ S	2 %		0,08

- Mencari m_{input} tiap gas

- $m_{input} CH_4$: —
1 · 2,2 = 2,2 · 0,082.305

$$m_{input} = 1,407 \text{ gr}$$

- $m_{input} O_2$: —
1 · 0,24 = 0,24 · 0,082.305

$$m_{\text{input}} = 0,307 \text{ gr}$$

- $m_{\text{input}} \text{ CO}_2$:—
 $1 \cdot 1,40 = 1,40$; $0,082 \cdot 3,05$

$$m_{\text{input}} = 2,604 \text{ gr}$$

- $m_{\text{input}} \text{ H}_2\text{S}$:—
 $1 \cdot 0,08 = 0,08$; $0,082 \cdot 3,05$

$$m_{\text{input}} = 0,1087 \text{ gr}$$

- Data massa terlarut dalam air ($V_{\text{air}} = 1\text{L}$)

Kandungan	Nilai Solubilitas, X (gr/L)	Massa _{terlarut}
CH ₄	0.01823	(gr)
O ₂	0.034	
CO ₂	1.2	
H ₂ S	2.8	

- Mencari m_{output} tiap gas :

- $m_{\text{output}} \text{ CH}_4$:
 $m_{\text{output}} = 1,407 - 0,01823$
 $m_{\text{output}} = 1,3892 \text{ gr}$

- $m_{\text{output}} \text{ O}_2$:
 $m_{\text{output}} = 0,307 - 0,034$
 $m_{\text{output}} = 0,273 \text{ gr}$

- $m_{\text{output CO}_2}$:
 $m_{\text{output}} = 2,604 - 1,2$
 $m_{\text{output}} = 1,404 \text{ gr}$

- $m_{\text{output H}_2\text{S}}$:
 $m_{\text{output}} = 0,1087 - 2,8$
 $m_{\text{output}} = 0 \text{ gr}$

- Mencari V_{output} tiap gas :

- $V_{\text{output CH}_4}$:
 $i. = 1,3892_{16} \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 2,1715 \text{ L}$$

- $V_{\text{output O}_2}$:
 $i. = 0,272_{32} \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0,2134 \text{ L}$$

- $V_{\text{output CO}_2}$:
 $i. = 1,609_{44} \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0,7979 \text{ L}$$

- $V_{\text{output H}_2\text{S}}$:
 $i. = 34^0 \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0 \text{ L}$$

- Mencari presentase volume (V(%)) tiap gas setelah *scrubbing* :

$$= 2,1715 + 0,2134 + 0,7979 + 0 = 3,1828$$

- $V_{(\%)} \text{CH}_4 :$
 $\% = \frac{2,1715}{3,1828} \cdot 100$
 $\% = 68,22\%$

- $V_{(\%)} \text{O}_2 :$
 $\% = \frac{0,2134}{3,1828} \cdot 100$
 $\% = 6,71\%$

- $V_{(\%)} \text{CO}_2 :$
 $\% = \frac{0,7979}{3,1828} \cdot 100$
 $\% = 25,1\%$

- $V_{(\%)} \text{H}_2\text{S} :$
 $\% = \frac{0}{3,1828} \cdot 100 = 0\%$

Lampiran G

Perhitungan Variasi Kandungan Gas Dalam Biogas

2

- Data Input

Kandungan	Before Scrubbing	T (K)	\dot{m} (L/mnt)	P (atm)
CH ₄	70 %	305	4	1
O ₂	6 %			
CO ₂	23 %			
H ₂ S	1 %			

- Karena \dot{m} kontinyu, maka $\dot{m} = V$, $V = 4L$, dari sini didapat :

Kandungan	Before Scrubbing	V _{total} (L)	V (L)
CH ₄	70 %	4	2,8
O ₂	6 %		0,24
CO ₂	23 %		0,92
H ₂ S	1 %		0,04

- Mencari m_{input} tiap gas

- $m_{input} CH_4$: —
 $1 \cdot 2,8 = 1; 0,082 \cdot 305$

$$m_{input} = 1,79 \text{ gr}$$

- $m_{input} O_2$: —
 $1 \cdot 0,24 = 0,24; 0,082 \cdot 305$

$$m_{\text{input}} = 0,307 \text{ gr}$$

- $m_{\text{input}} \text{ CO}_2$:—
 $1 \cdot 0,92 = 44 \cdot 0,082 \cdot 305$

$$m_{\text{input}} = 1,619 \text{ gr}$$

- $m_{\text{input}} \text{ H}_2\text{S}$:—
 $1 \cdot 0,04 = 34 \cdot 0,082 \cdot 305$

$$m_{\text{input}} = 0,0544 \text{ gr}$$

- Data massa terlarut dalam air ($V_{\text{air}} = 1\text{L}$)

Kandungan	Nilai Solubilitas, X (gr/L)	Massa _{terlarut}
CH ₄	0.01823	(gr)
O ₂	0.034	
CO ₂	1.2	
H ₂ S	2.8	

- Mencari m_{output} tiap gas :

- $m_{\text{output}} \text{ CH}_4$:
 $m_{\text{output}} = 1,79 - 0,01823$
 $m_{\text{output}} = 1,773 \text{ gr}$

- $m_{\text{output}} \text{ O}_2$:
 $m_{\text{output}} = 0,307 - 0,034$
 $m_{\text{output}} = 0,273 \text{ gr}$

- $m_{\text{output CO}_2}$:
 $m_{\text{output}} = 1,619 - 1,2$
 $m_{\text{output}} = 0,41855 \text{ gr}$

- $m_{\text{output H}_2\text{S}}$:
 $m_{\text{output}} = 0,054 - 2,8$
 $m_{\text{output}} = 0 \text{ gr}$

- Mencari V_{output} tiap gas :

- $V_{\text{output CH}_4}$:
 $i. = 1,772_{16} \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 2,77 \text{ L}$$

- $V_{\text{output O}_2}$:
 $i. = 0,272_{32} \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0,2134 \text{ L}$$

- $V_{\text{output CO}_2}$:
 $i. = 0,4185_{44} \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0,238 \text{ L}$$

- $V_{\text{output H}_2\text{S}}$:
 $i. = 3,4^0 \cdot 0,082,305$

$$V_{\text{output}} = 0 \text{ L}$$

- Mencari presentase volume (V(%)) tiap gas setelah *scrubbing* :

$$= 2,77 + 0,2134 + 0,238 + 0 = 3,223$$

- $V(\%) \text{ CH}_4 :$

$$\% = \frac{2,223}{3,223} \cdot 100$$

- $V(\%) \text{ O}_2 :$

$$\% = \frac{0,2134}{3,223} \cdot 100$$

- $V(\%) \text{ CO}_2 :$

$$\% = \frac{0,238}{3,223} \cdot 100$$

- $V(\%) \text{ H}_2\text{S} :$

$$\% = \frac{0}{3,223} \cdot 100 = 0\%$$

Lampiran H
Alat *Wetscrubber* Tipe Celup



BIODATA PENULIS

Penulis bernama Biondhi Ubaidillah dilahirkan di Jakarta, 1 Nopember 1996. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDIT AL-Jannah pada tahun 2008, SMPN 147 Jakarta pada tahun 2011, SMAT Krida Nusantara Bandung pada tahun 2014, dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika FTI di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga sekarang.

