



**TUGAS AKHIR TK 145501**

**INOVASI “ALAT PURIFIKASI GAS CO<sub>2</sub> DAN H<sub>2</sub>S  
DENGAN ABSORBEN LARUTAN BENFIELD  
DAN CuSO<sub>4</sub> DALAM BIODIGESTER”**

**ANURAGA SURYA AMROUSI ARSAD  
NRP. 1041150000026**

**YUSTINA DWILIA PEBRINIA  
NRP. 1041150000031**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Soeprijanto, M.Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA INDUSTRI  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018  
2018**



---

**TUGAS AKHIR TK 145501**

**INOVASI “ALAT PURIFIKASI GAS CO<sub>2</sub> DAN H<sub>2</sub>S DENGAN  
ABSORBEN LARUTAN BENFIELD DAN CuSO<sub>4</sub> DALAM  
BIODIGESTER”**

ANURAGA SURYA AMROUSI ARSAD  
NRP. 1041150000026

YUSTINA DWILIA PEBRINIA  
NRP. 1041150000031

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Soeprijanto, M.Sc.

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**



---

**FINAL PROJECT TK 145501**

**INOVATION “GAS PURIFICATION TOOLS CO<sub>2</sub> AND H<sub>2</sub>S  
WITH ABSORBENT BENFIELD SOLUTION AND CuSO<sub>4</sub> IN  
BIODIGESTER”**

ANURAGA SURYA AMROUSI ARSAD  
NRP. 1041150000026

YUSTINA DWILIA PEBRINIA  
NRP. 1041150000031

Lecturer  
Prof. Dr. Ir. Soeprijanto, M.Sc.

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia, serta ridho-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **INOVASI ALAT PURIFIKASI GAS CO<sub>2</sub> DAN H<sub>2</sub>S DENGAN ABSORBEN LARUTAN BENFIELD DAN Fe-EDTA DALAM BIODIGESTER**. Sholawat dan salam kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat.

Tugas akhir ini merupakan salah satu tugas yang semestinya diselesaikan sebagai persyaratan kelulusan Depaartemen Teknk Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya atas selesainya Tugas Akhir ini, penulis ingin ucapkan kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini antara lain kepada :

1. Kedua orang tua kami yang senantiasa mendoakan dan mendukung setiap langkah kami serta jasa-jasa lain yang terlalu sulit untuk diungkapkan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir Soeprijanto M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Bapak Ir. Agus Suroho, MT., selaku dosen penguji Tugas Akhir Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Bapak Ir. Agung Subyakto, MS., selaku dosen penguji Tugas Akhir Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Bapak Ir. Agung Subyakto, MS., Kepala Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

6. Ibu Prof. Dr. Danawati Hari Pradjitno M.pd selaku Dosen Wali Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
7. Segenap Dosen, staf dan karyawan Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
8. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan disini yang telah membantu terselesainya Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis mengucapkan mohon maaf yang sebesar-besarnya kepada semua pihak jika dalam proses dari awal sampai akhir penulisan Tugas Akhir ini ada kata-kata atau perilaku yang kurang berkenan. Terimakasih atas perhatian dan kerjasamanya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**LAPORAN TUGAS AKHIR DENGAN JUDUL:**  
**ALAT PURIFIKASI GAS CO<sub>2</sub> DAN H<sub>2</sub>S DENGAN**  
**MENGGUNAKAN LARUTAN *BENFIELD* DAN CuSO<sub>4</sub>**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
pada

Departemen Teknik Kimia Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Anuraga Surya A.A.** (NRP 1041150000026)  
**Yustina Dwilia P.** (NRP 1041150000031)

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir



**Prof. Dr. Ir Soeprijanto, M.Sc**  
**NIP. 195807081987011 001**

**Mengetahui,**

**Kepala Departemen Teknik Kimia Industri**  
**FV – ITS**



**Ir. Agung Subyakto, MS**  
**NIP. 19580312 198601 1 001**

**SURABAYA, 19 JULI 2018**

## LEMBAR REVISI

Telah diperiksa dan disetujui sesuai hasil ujian akhir pada Juli 2018 untuk tugas akhir dengan judul "**Alat Purifikasi Gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S dengan Menggunakan Larutan Benfield dan CuSO<sub>4</sub>**", yang disusun oleh:

**Anuraga Surya A.A.** (NRP 10411500000026)

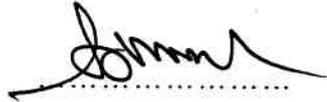
**Yustina Dwilia P.** (NRP 10411500000031)

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Ir. Agus Surono, MT



2. Ir. Agung Subyakto, MS



Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir Soeprijanto, M.Sc



# INOVASI ALAT PURIFIKASI GAS CO<sub>2</sub> DAN H<sub>2</sub>S DENGAN ABSORBEN LARUTAN BENFIELD DAN CuSO<sub>4</sub> DALAM BIODIGESTER

Nama Mahasiswa : Anuraga Surya 10411500000026  
Nama Mahasiswa : Yustina Dwilia P 10411500000031  
Program Studi : D III Teknik Kimia Industri FV-ITS  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Soeprijanto, M.Sc

## ABSTRAK

*Biogas merupakan bahan bakar gas yang dihasilkan melalui proses fermentasi dari bahan-bahan organik atau degradasi bahan-bahan organik oleh bakteri dalam kondisi anaerobik. Komposisi biogas yang dihasilkan dari pencernaan anaerobik sekitar 60 - 70 % CH<sub>4</sub>, 30 - 40% CO<sub>2</sub>, kurang dari 1% N<sub>2</sub>, dan 10 - 2000 ppm H<sub>2</sub>S. Senyawa utama yang menentukan kualitas biogas yaitu gas metana (CH<sub>4</sub>). Gas CO<sub>2</sub> dan gas H<sub>2</sub>S yang terkandung pada biogas dapat mengganggu penggunaan biogas dalam penerapannya. Oleh karena itu, diperlukan kombinasi alat purifikasi pereduksi CO<sub>2</sub> untuk menurunkan kadar CO<sub>2</sub> dan gas H<sub>2</sub>S. Adapun tujuan dari inovasi produk ini yaitu untuk mengetahui proses absorpsi gas CO<sub>2</sub> pada biodigester menggunakan larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan menambahkan katalis DEA dan untuk mengetahui proses absorpsi gas H<sub>2</sub>S pada biodigester menggunakan larutan CuSO<sub>4</sub> dengan konsentrasi 0.1 M, 0.2 M, 0.3 M dan 0.4 M.*

*Proses pemurnian biogas dengan alat purifikasi terdiri dari beberapa tahap. Tahap pertama dengan mengalirkan biogas yang akan dimurnikan pada pipa gas input. Tahap kedua dengan menutup semua valve yang menuju larutan absorben sehingga, gas langsung menuju sensor digital gas untuk mengetahui kandungan gas awal. Tahap ketiga adalah mencatat kadar CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S yang tertera pada sensor digital. Tahap keempat dengan mengisi absorber dengan larutan absorben ± ¾ bagian absorber. Tahap kelima mengulangi tahap satu hingga ketiga dengan membuka valve absorber untuk mengalirkan gas pada absorber pertama dan absorber kedua. Tahap keenam yaitu membandingkan kandungan gas awal dengan gas yang telah mengalami absorpsi.*

*Berdasarkan penelitian tugas akhir yang telah dilaksanakan dapat diambil kesimpulan bahwa pembuatan alat purifikasi gas H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> dengan menggunakan absorben CuSO<sub>4</sub> dan larutan benfield optimum pada penggunaan konsentrasi absorben CuSO<sub>4</sub> 0,3 M dan larutan benfield dengan penambahan katalis DEA, dengan efisiensi penyerapan gas H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> secara berturut-turut sebesar 75,23% dan 73,50%. Adapun jumlah H<sub>2</sub>S akhir sebesar 2140,86 ppm dan masih belum sesuai dengan Standar keamanan dan kesehatan yang memberikan ijin jumlah H<sub>2</sub>S maksimum pada bahan bakar sebesar 20 ppm. Sedangkan jumlah gas CO<sub>2</sub> akhir sebesar 32491,57 ppm dan masih belum sesuai apabila dibandingkan dengan data TLV-TWA yang memberikan ijin jumlah CO<sub>2</sub> maksimal pada lingkungan sebesar 5000 ppm. Sehingga alat purifikasi yang telah dibuat masih belum dapat dikomersialkan.*

**Kata kunci :** Absorpsi, Absorben, Biogas, Purifikasi

# INOVATION “GAS PURIFICATION TOOLS CO<sub>2</sub> AND H<sub>2</sub>S WITH ABSORBENT BENFIELD SOLUTION AND CuSO<sub>4</sub> IN BIODIGESTER”

Nama Mahasiswa : Anuraga Surya 10411500000026  
Nama Mahasiswa : Yustina Dwilia P 10411500000031  
Program Studi : D III Teknik Kimia Industri FV-ITS  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Soeprijanto, M.Sc

## ABSTRACT

*Biogas is a gas fuel produced by fermentation process from organic materials or degradation of organic materials by bacteria in anaerobic condition. The biogas composition resulting from anaerobic digestion is about 60-70% CH<sub>4</sub>, 30 - 40% CO<sub>2</sub>, less than 1% N<sub>2</sub>, and 10-2000 ppm H<sub>2</sub>S. The main compound that determines the quality of biogas is methane gas (CH<sub>4</sub>). CO<sub>2</sub> gas and H<sub>2</sub>S gas contained in biogas can disrupt the use of biogas in its application. Therefore, it is necessary to combine CO<sub>2</sub> reducing purification tool to decrease CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S gas. The purpose of this product innovation is to know the absorption process of CO<sub>2</sub> gas in biodigester using K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> solution by adding DEA catalyst and to know the process of absorption of H<sub>2</sub>S gas in biodigester using CuSO<sub>4</sub> solution with concentration 0.1 M, 0.2 M, 0.3 M and 0.4 M.*

*The purification process of biogas with purification tool consists of several stages. The first stage is by draining the biogas to be purified on the input gas pipeline. The second stage by closing all the valves that go to the absorbent solution so that, gas directly to the gas digital sensor to know the initial gas content. The third stage is to record the levels of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S listed on the digital sensor. Fourth stage by filling the absorber with absorbent solution ± ¾ part of absorber. The fifth stage repeats stage one to third by opening the valve absorber to drain the gas in the first absorber and the second absorber. The sixth stage is comparing the initial gas content with the gas having absorbed.*

*Based on the final research that has been carried out it can be concluded that the manufacture of gas purification tool  $H_2S$  and  $CO_2$  by using  $CuSO_4$  absorbent and optimum benfield solution on the use of absorbent concentration of  $CuSO_4$  0,3 M and benfield solution with addition of DEA catalyst, with efficiency of  $H_2S$  and  $CO_2$  gas absorption successively -75,23% and 73,50% .As for the final  $H_2S$  amount of 2140.86 ppm and still not in accordance with the safety and health standards that permit the maximum amount of  $H_2S$  in fuel of 20 ppm. While the final amount of  $CO_2$  gas is 32491.57 ppm and still not suitable when compared with TLV-TWA data that gives maximal  $CO_2$  permit in environment of 5000 ppm. So that the purification tool that has been made still can not be commercialized.*

**Key words : Absorbtion, Absorbent, Biogas, Purification**

# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PENGESAHAN .....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xv
<b>BAB I     PENDAHULUAN</b>	
1.1    Latar Belakang .....	I-1
1.2    Rumusan Masalah .....	I-3
1.3    Batasan Masalah .....	I-3
1.4    Tujuann Penelitian .....	I-4
1.5    Manfaat Penelitian .....	I-5
<b>BAB II     TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1    Pengertian Biogas dan Komponennya.....	II-1
2.2    Sifat Gas Impurities Pada Biogas .....	II-1
2.3    Teknologi Penghilangan Impurties pada Biogas .....	II-4
2.4    Sifat Absorben Gas Impurities .....	II-16
2.5    Penelitian Sebelumnya .....	II-19
<b>BAB III    METODOLGI PENELITIAN</b>	
3.1    Bahan yang Digunakan .....	III-1
3.2    Peralatan yang Digunakan.....	III-1
3.3    Variabel yang Digunakan .....	III-1
3.4    Prosedur Penelitian.....	III-2
3.5    Waktu dan Tempat penelitian.....	III-3
3.6    Diagram Alir Penelitian .....	III-4
3.7    Blok Diagram Penelitian .....	III-6

3.8	Gambar Alat Penelitian .....	III-6
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1	Hasil Penelitian.....	IV-1
4.2	Pembahasan .....	IV-2
<b>BAB V</b>	<b>NERACA MASSA DAN ENERGI</b>	
5.1	Neraca Massa.....	V-1
5.2	Neraca Energi .....	V-4
<b>BAB VI</b>	<b>ANGGARAN BIAYA</b>	
6.1	Anggaran Biaya Pembuatan Produk.....	VI-1
6.2	Biaya Tetap.....	VI-3
6.3	Biaya Variabel .....	VI-3
6.4	Harga Pokok Penjualan .....	VI-4
6.5	Break Event Point.....	VI-5
<b>BAB VII</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>VII-1</b>
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xvi</b>
	<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>xviii</b>
	<b>APPENDIKS.....</b>	<b>xix</b>
	<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>xxii</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Skema Perpindahan Massa CO <sub>2</sub> dari Fasa Gas ke Fasa Cair .....	II-10
<b>Gambar 2.2</b>	Pencairan Gas di Aklam (Belanda) dengan Rektifikasi Suhu Rendah.....	II-11
<b>Gambar 3.1</b>	Blok iagram Penelitian.....	III-6
<b>Gambar 3.2</b>	Alat Purifikasi (Absorber).....	III-7
<b>Gambar 4.1</b>	Pengaruh Katalis DEA terhadap Konsentrasi Gas CO <sub>2</sub> Terserap.....	IV-3
<b>Gambar 4.2</b>	Pengaruh Katalis DEA terhadap Efisiensi Absorpsi Gas CO <sub>2</sub> .....	IV-4
<b>Gambar 4.3</b>	Pengaruh Konsentrasi CuSO <sub>4</sub> terhadap Absorpsi Gas H <sub>2</sub> S .....	IV-5
<b>Gambar 4.4</b>	Pengaruh Konsentrasi CuSO <sub>4</sub> terhadap Efisiensi Absorpsi Gas H <sub>2</sub> S.....	IV-6
<b>Gambar 4.5</b>	Pengaruh Absorpsi Gas CO <sub>2</sub> dan H <sub>2</sub> S terhadap Jumlah Methana yang Dihasilkan .....	IV-8
<b>Gambar 5.1</b>	Ilustrasi <i>Vacuum pump</i> .....	V-4
<b>Gambar 6.1</b>	<i>Break Event Point</i> .....	VI-7

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Komponen Gas pada Biogas.....	II-1
<b>Tabel 2.2</b>	Teknologi Penghilangan Gas Impurities pada Biogas.....	II-5
<b>Tabel 4.1</b>	Efisiensi Penggunaan Variabel Katalis DEA pada Larutan Benfield dan Konsentrasi $\text{CuSO}_4$ terhadap Absorpsi Gas Impurities.....	IV-1
<b>Tabel 5.1</b>	Massa pada penggunaan Variabel Konsentrasi $\text{CuSO}_4$ 0.2 M dan Dengan Menggunakan Katalis .....	V-2
<b>Tabel 6.1</b>	Biaya Investasi Peralatan Absorber Selama 3 Tahun .....	VI-1
<b>Tabel 6.2</b>	Biaya Habis Pakai Sekali Produksi.....	VI-2
<b>Tabel 6.3</b>	Perhitungan Biaya Penjualan .....	VI-6

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Ketergantungan manusia terhadap bahan bakar fosil menyebabkan cadangan sumber energi tersebut makin lama semakin berkurang, selain itu berdampak pula pada lingkungan, seperti polusi udara. Sehingga penggunaan bahan bakar fosil diharapkan dapat terbantu oleh adanya bahan bakar alternatif. Salah satu bahan bakar alternatif yaitu biogas. Biogas merupakan campuran gas yang dihasilkan oleh bakteri metanogenik yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam kondisi anaerobik. Menurut Hermawan (2007), komponen gas pada Biogas adalah  $\text{CH}_4$  sebanyak 55–75%,  $\text{CO}_2$  sebanyak 25–45%,  $\text{H}_2\text{S}$  sebanyak 0–5%,  $\text{N}_2$  sebanyak 0–0,3 %,  $\text{H}_2$  sebanyak 1–5% dan  $\text{O}_2$  sebanyak 0,1–0,5.

Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana ( $\text{CH}_4$ ). Semakin tinggi kandungan metana, maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana semakin kecil nilai kalornya. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter, salah satunya dengan menghilangkan kandungan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Menghilangkan kandungan karbon dioksida memiliki tujuan untuk meningkatkan kualitas biogas, sehingga biogas dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar alternatif (Abdurrachman et al., 2013).



Dengan adanya kandungan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  dalam biogas, maka dilakukan proses pereduksian untuk mengurangi kandungan tersebut seefektif mungkin. Alasan mengapa kami mengangkat topik ini adalah untuk menemukan cara yang lebih tepat dalam proses pereduksian. Dengan mengkombinasikan proses reduksi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  secara bersamaan maka akan didapatkan biogas secara efektif. Beberapa metode pemurnian biogas telah dilakukan beberapa peneliti. Menurut Abdurrahman (2013), pemurnian  $\text{H}_2\text{S}$  dapat menggunakan *water scrubber* diklaim menghasilkan efisiensi reduksi 80,63%. Tetapi kelemahan dari sistem ini yaitu jika  $\text{H}_2\text{S}$  bercampur dalam air maka, limbah tersebut dapat permasalahan baru pada lingkungan. Menurut Hamidi (2011), Pemurnian gas  $\text{CO}_2$  dapat menggunakan katalis zeolit alam yang lebih mudah ditemukan di alam bahannya. Tetapi kelemahannya adalah perlu diaktivasi lagi dan membutuhkan proses yang cukup lama.

Dengan banyaknya penelitian, telah banyak muncul solusi dari permasalahan pemurnian gas pengotor dalam biogas *plant*. Untuk menyempurnakan teknologi pemurnian yang efisien dan mampu meningkatkan kadar metana dalam biogas, sistem pemurnian gas pengotor dalam biodigester dengan menggunakan perlakuan secara kimiawi, yang diharapkan mampu menjadi solusi penanganan permasalahan kadar gas pengotor dalam biogas yang tinggi dan meningkatkan produktivitas gas sebagai bahan bakar alternatif. Sehingga mengurangi penggunaan bahan bakar tidak terbarukan.



---

**1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh katalis DEA dalam proses absorpsi  $\text{CO}_2$  pada biodigester dengan menggunakan larutan *benfield* (Larutan  $\text{K}_2\text{CO}_3$  dan katalis DEA) ?
2. Bagaimana pengaruh absorben  $\text{CuSO}_4$  dengan konsentrasi 0.1 M, 0.2 M, 0.3 M dan 0.4 M terhadap penyerapan gas  $\text{H}_2\text{S}$  pada biodigester?

**1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Ruang lingkup yang dipakai yaitu proses absorpsi pada gas  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{CO}_2$  dalam biodigester tanpa pembahasan absorpsi pada gas lain.
2. Proses absorpsi gas  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{CO}_2$  dalam biodigester dilakukan dengan menggunakan larutan absorben. Dimana absorpsi gas  $\text{H}_2\text{S}$  menggunakan absorben  $\text{CuSO}_4$  dengan konsentrasi 0.1 M, 0.2 M, 0.3 M dan 0.4 M serta  $\text{CO}_2$  menggunakan larutan *benfield* ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ , DEA).
3. Variable yang digunakan dalam penelitian hanya konsentrasi absorben  $\text{CuSO}_4$  dan adanya katalis DEA dalam larutan *Benfield*, tanpa meneliti pengaruh kedalaman masing-masing absorben.



---

**1.4 Tujuan Inovasi Produk**

Tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh katalis DEA dalam proses absorpsi gas  $\text{CO}_2$  pada biodigester dengan menggunakan larutan  $\text{K}_2\text{CO}_3$ .
2. Untuk mengetahui pengaruh absorben  $\text{CuSO}_4$  dengan konsentrasi 0.1 M, 0.2 M, 0.3 M dan 0.4 M terhadap penyerapan gas  $\text{H}_2\text{S}$  pada biodigester.

**1.5 Manfaat Inovasi Produk**

Manfaat dari inovasi yang dilakukan adalah:

1. Menciptakan biogas yang memiliki gas impurities rendah
2. Mendapatkan gas yang mampu mengurangi biaya gas LPG dengan menggunakan biogas yang murah dan memiliki kadar *blue gas* tinggi karena dilengkapi dengan sistem pemurnian gas pengotor.
3. Mendapatkan alternatif alat purifikasi gas dengan mengkombinasikan dua absorben berbeda.

# BAB II

## TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian Biogas dan Komponennya

Biogas merupakan campuran gas yang dihasilkan oleh bakteri metanogenik yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam kondisi anaerobik, pada umumnya biogas terdiri atas gas metana ( $\text{CH}_4$ ), gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dan gas-gas lainnya dalam jumlah yang sedikit (Wahyuni, 2009).

**Tabel 2.1** Komponen Gas pada Biogas (Hermawan, 2007)

Nama Gas	Jumlah (%)
$\text{CH}_4$	55–75
$\text{CO}_2$	25–45
$\text{H}_2\text{S}$	0–3
$\text{N}_2$	0–0,3
$\text{H}_2$	1–5
$\text{O}_2$	0,1–0,5

### 2.2 Sifat Gas Impurities pada Biogas

#### 2.2.1 *Hidrogen Sulfide* ( $\text{H}_2\text{S}$ )

Hidrogen sulfida merupakan gas pengotor yang terdapat dalam gas-gas komersial. Hidrogen sulfida merupakan gas yang berbau dan mematikan serta sangat korosif bagi berbagai jenis logam, sehingga membatasi penggunaannya untuk bahan bakar pada mesin. Jika hidrogen sulfida yang terkandung dalam biogas terbakar maka akan berubah menjadi sulfur oksida yang akan menyebabkan korosi pada komponen yang terbuat dari



logam dan membuat minyak pelumas mesin menjadi asam jika digunakan misalnya pada mesin CHP (*combines heat and power generation*). Agar dapat mencegah kerusakan yang ditimbulkan oleh hydrogen sulfida maka gas ini harus dihilangkan atau minimal dikurangi kandungannya. Berdasarkan Standar keamanan dan kesehatan memberikan ijin maksimum kadar H<sub>2</sub>S pada bahan bakar sebesar 20 ppm (Komaladewi et al., 2012).

Biogas yang mengandung H<sub>2</sub>S tinggi berpotensi untuk mencemari lingkungan. Oleh karena itu, biogas perlu dimurnikan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan bakar. Secara umum, penghilangan atau pengurangan H<sub>2</sub>S dari gas dapat dilakukan secara fisisika, biologi dan kimia. Namun selama ini masih memiliki kelemahan-kelemahan. Masalah dalam penggunaan gas alam ataupun biogas adalah kanungan H<sub>2</sub>S yang masih tinggi yang berdampak pada pencemaran, sehingga sebelum digunakan perlu dimurnikan terlebih dahulu. Kandungan H<sub>2</sub>S dalam biogas sekitar 1-3 % bahkan kandungan H<sub>2</sub>S dalam gas alam bisa mencapai 5%. Hal itu mengakibatkan hasil pembakaran gas alam maupun biogas banyak mengandung SO<sub>2</sub> dan SO<sub>3</sub> yang korosif dan bereaksi membentuk asam sulfat saat bertemu air hasil pembakaran atau air dari udara. Asam sulfat inilah yang menimbulkan korosif pada cerobongan menimbulkan hujan asam (Kwartiningsih, 2007).

Berdasarkan data Afrox “A member the linde group” (2011), diberikan data sifat-sifat fisika dan kimia dari senyawa Hidrogen Sulfide seperti berikut:

*Chemical symbol* : H<sub>2</sub>S  
*Molecular weight* : 34.08 g/mol

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

---

<i>Melting point</i>	: $-86^{\circ}\text{C}$ (224 kPa)
<i>Appearance/colour</i>	: Colourless gas
<i>Ordour</i>	: Rotten eggs
<i>Relative density, gas,</i>	: 1.188 (101.325 kPa $25^{\circ}\text{C}$ )
<i>Specific volume</i>	: $70.11 \text{ dm}^3/\text{kg}$ ( $21.1^{\circ}\text{C}$ , 101.3 kPa)
<i>Dielectric constant,</i>	: 1.004 (gas, $0^{\circ}\text{C}$ , 101.325 kPa)

**2.2.2 Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ )**

$\text{CO}_2$  yang terlarut dalam bahan bakar cenderung mempunyai sifat yang merugikan. Beberapa sifat tersebut adalah, yang pertama,  $\text{CO}_2$  dalam campuran biogas akan secara signifikan menurunkan nilai kalor pembakaran. Rendahnya nilai kalor berakibat rendahnya energi pembakaran yang dihasilkan dari proses pembakaran. Yang kedua,  $\text{CO}_2$  mempunyai kalor spesifik yang tinggi sehingga sebagian panas pembakaran akan terserap oleh zat ini seiring dengan meningkatnya temperatur. Yang ketiga,  $\text{CO}_2$  yang terlarut dalam bahan bakar akan menurunkan laju reaksi pembakaran, akibatnya lama waktu pembakaran biogas akan semakin lama (Nur, 2014).

Menurut TLV-TWA kadar  $\text{CO}_2$  yang dapat ditoleransi dalam lingkungan yaitu sebesar 5000 ppm. Adapun karakteristik  $\text{CO}_2$  sebagai berikut:

**A. Sifat Fisik**

- Warna : Tak berwarna
- Berat molekul : 44,02 gr/1
- *Specific gravity gas* : 1,52
- pH : 3,7



- Suhu kritis : 31°C
- Tekanan kritis : 73,7 bar
- Suhu padat pada 1 atm : -78,5°C (-109,3°F)
- Sedikit berbau tajam, pedas.
- Rasanya sedikit menggigit.

#### B. Sifat Kimia

- Rumus Molekul : CO<sub>2</sub>
- Tidak dapat terbakar
- Agak bersifat asam

### 2.3 Teknologi Penghilangan Gas Impurities pada Biogas

Beberapa proses yang seringkali digunakan untuk mengurangi jumlah gas CO<sub>2</sub> dalam suatu campuran gas untuk mendapatkan suatu gas murni yang ditentukan. Pada prinsipnya absorpsi gas merupakan proses kontak antara campuran gas dan cairan yang bertujuan menghilangkan salah satu komponen gas dengan cara melarutkannya menggunakan cairan yang sesuai. Proses absorpsi ini melibatkan difusi partikel-partikel gas ke dalam cairan. Secara umum, faktor-faktor yang mempengaruhi absorpsi adalah kelarutan (*solubility*) gas dalam pelarut dalam kesetimbangan, tekanan operasi, serta temperatur. Pada umumnya, naiknya temperatur menyebabkan kelarutan gas menurun.

Tabel 2.2 Teknologi Penghilangan Gas Impurities pada Biogas

Technology	Cost Instrument	Cost Operational	Reserved Contamination	T (°C)	Pressure (Bar)
<b>ABSORPTION</b>					
1. In Water	+	+	Dust, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	5 – 25	10 – 12
2. Physically	+	+	CO <sub>2</sub>	<40	10 – 12
N-methyl-pyrrolidone	+	+	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	<40	10 – 12
Methanol	+	+	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, HCN, COS	<40	10 – 12
polyethylene glycol dimethylether	+	+	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CS <sub>2</sub> , COS	<40	10 – 12
Tetrahydro thiophenedioxide	+	+	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, COS	<40	10 – 12
Methylisopropylether	+	+	CO <sub>2</sub>	<40	10 – 12
3. Chemically	+	++	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	<40	20 – 30
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 10 % in water	+	++	CO <sub>2</sub>	<40	20 – 30
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 15-30 % in water	+	++	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	<40	20 – 30
NaOH 8 % in water	+	++	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	<40	20 – 30
NH <sub>3</sub> 5 % in water	+	++	CO <sub>2</sub>	<40	20 – 30
alcazid M in water	+	++	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	<40	20 – 30



Technology	Cost Instrument	Cost Operational	Reserved Contamination	T (°C)	Pressure (Bar)
methanolamine	+	++	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, COS Mercaptane	<40	20 - 30
monoethanolamine 10 - 20 % in water	+	++	CO <sub>2</sub>	<40	20 - 30
methyldiethanolamine 10 - 25 % in water	+	++	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	<40	20 - 30
<b>ADSORPTION</b>					
with pressure					
1. Zeolit	++	-	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub>	<40	10 - 20 or 1
2. Carbon	++	-	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, COS, H <sub>2</sub> O, NH <sub>3</sub> , O <sub>2</sub> , dan Hg	<40	10 - 20 or 1
<b>MEMBRAN</b>	++	++	All	<40	30
<b>Cryogenic process</b>	++	++	CH <sub>4</sub>	<-80	200

(*Biogas from waste and renewable resources, 2008*)

Alat Purifikasi Gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S dengan Menggunakan Absorben Larutan Benfield dan CuSO<sub>4</sub> dalam Biodigester



Adapun macam-macam teknologi pengolahan CO<sub>2</sub> pada umumnya sebagai berikut:

### **II.3.1 Adsorpsi**

Proses pemurnian gas dengan proses adsorpsi menggunakan *adsorbent*. *Adsorbent* adalah zat yang dapat menyerap fluida, baik cair maupun gas sehingga nantinya akan membentuk lapisan tipis pada permukaan zat tersebut. Salah satu jenis *adsorbent* yang dapat digunakan adalah *zeolite*. *Zeolite* dipilih karena selain mudah didapat, harganya pun juga cukup murah. Beberapa penelitian terdahulu mengenai pemurnian biogas telah dilakukan oleh Andardini (2010) tentang pemurnian biogas dengan zeolit yang diaktivasi menggunakan larutan Asam Sulfat. Berdasarkan penelitian tersebut diketahui adanya peningkatan konsentrasi metana setelah dilewatkan pada adsorber dari 47,72% menjadi 73,97%. Hal menunjukkan bahwa proses adsorpsi CO<sub>2</sub> dengan adsorber zeolit dapat meningkatkan kemurnian biogas. Penelitian lain yang menggunakan zeolit untuk pemurnian biogas dilakukan oleh Hamidi et al., (2011) dalam penelitian ini zeolit diaktivasi menggunakan Kalium Hidroksida (KOH) kemudian dilakukan *heat treatment* pada 300 °C selama 2 jam. Konsentrasi senyawa KOH untuk aktivasi zeolite dengan prosentase bervariasi 0%, 5%, 10%, dan 15 %. Proses pemurnian biogas dilakukan dengan cara memasukkan biogas dan zeolit *adsorbent* ke dalam kantong plastik. Lama waktu pemurnian divariasikan dalam dari 15 sampai 120 menit. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa semakin



tinggi prosentase KOH yang digunakan untuk aktivasi, daya serap zeolit semakin meningkat dan semakin lama digunakan, daya serap zeolit semakin menurun. Kesimpulan dari pemurnian gas menggunakan adsorpsi berdasarkan penelitian terdahulu adalah kurang efektif dan efisien. Hal ini disebabkan oleh pengaktifasian *adsorbent* yang membutuhkan senyawa lain dan membutuhkan biaya kembali. Selain itu dengan dibutuhkannya pemanasan dengan cara *pre-heating* terkesan tidak ekonomis dalam suatu proses. Oleh sebab itu, tidak banyak yang menggunakan proses pemurnian gas CO<sub>2</sub> dengan cara ini.

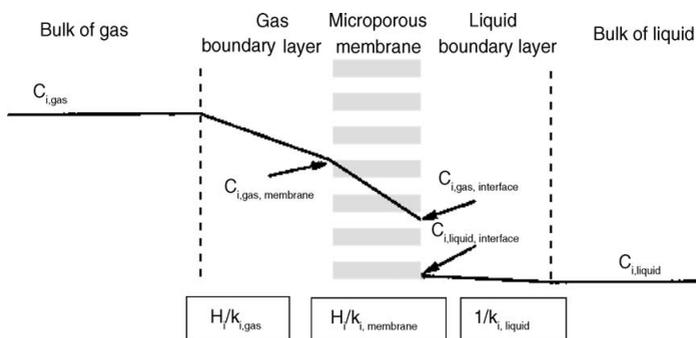
### 2.3.2 Pemisahan Melalui Membran

Teknologi removal CO<sub>2</sub> dengan sistem menggunakan membran adalah suatu metode baru yang sekarang banyak diteliti sebagai penyerap CO<sub>2</sub> adalah penggunaan kontaktor gas cair membran serat berongga atau gas *liquid hollow fiber membrane modules* (HFMM). Metode ini adalah pengembangan dari penggunaan membran konvensional yang selama ini lebih sering digunakan untuk proses filtrasi serta osmosis balik pada pengolahan air (*water treatment*). Banyak studi yang telah dilakukan yang menggunakan modul membran serat berongga sebagai kontaktor gas cair untuk proses penyerapan gas CO<sub>2</sub> ke dalam berbagai pelarut. Mereka telah mempublikasikan bahwa modul membran serat berongga dapat menghasilkan gas/liquid *interfacial* area per unit volume yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan *packed column*. Ini terjadi karena fluida yang mengalir didalam membran serat berongga selalu



## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

memenuhi rongga-rongga yang tersedia di dalam membran tersebut sehingga tidak akan ada penurunan *interfacial area* jika fluida yang mengalir sedikit dan juga *flooding phenomena* jika ada peningkatan laju alir gas yang besar. Adapun proses kontak antar fluida melalui membrane yaitu Perpindahan massa komponen dari fluida umpan ke membrane, Difusi massa tersebut melewati membran, Perpindahan massa dari membran ke fluida lainnya. Berdasarkan hasil penelitian Sutrasno Kartohardjono *et al.*, (2007), yang telah dilakukan, fluks perpindahan CO<sub>2</sub> ke dalam air dapat mencapai sekitar  $1,4 \times 10^{-7}$  mol/m<sup>2</sup>.det dan koefisien perpindahan massanya dapat mencapai  $1,23 \times 10^{-5}$  m/det. Fluks gas CO<sub>2</sub> seperti halnya dengan koefisien perpindahan massa di dalam kontaktor membran serat berongga, pada jumlah serat yang sama, bertambahbesar dengan semakin meningkatnya kecepatan aliranpelarut yang melewati kontaktor. Sementara itu, pada kecepatan aliran pelarut yang sama, fluks dan koefisien perpindahan massanya berkurang dengan bertambahnya jumlah serat membran di dalam kontaktor. Hal ini menunjukkan bahwa sebenarnya pemurnian gas CO<sub>2</sub> menggunakan membrane cukup bagus dan optimal tetapi, kelemahannya adalah harga membran yang sangat mahal



**Gambar 2.1** Skema Perpindahan Massa  $\text{CO}_2$  dari Fasa Gas ke Fasa Cair

(Mavroudi et al., 2006)

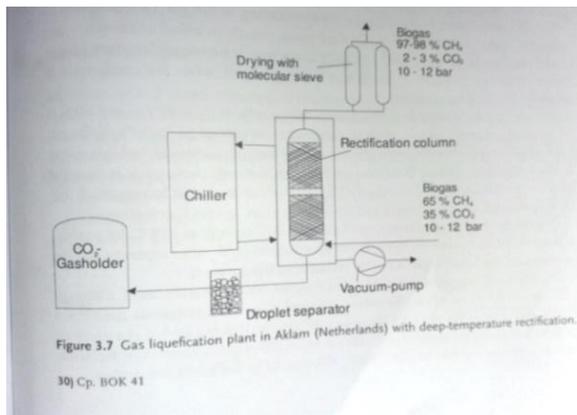
### 2.3.3 Pemurnian Biogas Kriogenik

Pemurnian gas dengan metode kriogenik atau pemisahan biogas dengan suhu rendah adalah prosedur yang belum cukup diuji untuk digunakan secara umum disebabkan oleh biaya yang cukup mahal. Pada pemisahan Kriogenik ini diharapkan menghasilkan methana murni berkualitas yang sesuai untuk diterapkan pada kendaraan. Caranya adalah setelah kompresi sekitar 200 bar dan pencairan biogas, gas pengotor seperti  $\text{H}_2\text{S}$  diserap ke saringan molekular. Campuran gas cair tersebut selain dipisahkan dengan cara distilasi suhu rendah yang seringkali disebut rektifikasi suhu sangat rendah sekitar 30 bar, karena pendinginan menyebabkan pengurangan tekanan yang tepat. Teknologi pemisahan ini pada prinsipnya didasarkan pada perbedaan titik didih dari komponen biogas pada tekanan 50 bar  $\text{CH}_4$  dicairkan pada suhu  $-80^\circ\text{C}$  dan  $\text{CO}_2$  pada  $+15^\circ\text{C}$ .  $\text{CO}_2$  dan sekitar 80%  $\text{CH}_4$  dicairkan, sedangkan 20%  $\text{CH}_4$  sisanya dalam bentuk gas. Methana cair ini disimpan pada



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

suhu  $-161^{\circ}\text{C}$  pada tekanan atmosfer, dan  $\text{CO}_2$  dalam tekanan bejana sebesar 20 bar dan suhu ambient. Pemurnian gas dengan pencairan biogas ini memiliki kemurnian dari gas bersih sangat tinggi. Tetapi, kelemahan dari penggunaan pemisahan biogas kriogenik adalah membutuhkan operasional *power* yang cukup tinggi sehingga metode ini adalah metode yang sangat mahal dari metode lainnya dalam penerapannya (Deublin & Steinhauser, 2008).



### Gambar 2.2 Pencairan Gas di Aklam (Belanda) dengan Rektifikasi Suhu Rendah

(*Biogas from Waste and Renewable Resources Book*, 2008)

#### 2.3.4 Absorpsi

Absorpsi merupakan proses terserapnya absorbat berupa pulutan ataupun melekul dari luar yang masuk kedalam absorbent (pori karbon aktif). Sifat reaktif karbon dipicu karena lubang pori karbon kelebihan anoin, sehingga untuk menyetarakannya anion akan menyerap kation, dalam hal ini terjadi ketidakseimbangan muatan dalam pori



sehingga akan menyerap partikel-pertikel apa saja yang melintas di depannya, baik berupa zat warna, bau, maupun partikel kecil itu sendiri (Hidayat, 2010).

Absorpsi adalah proses pemisahan bahan dari suatu campuran gas dengan cara pengikatan bahan tersebut pada permukaan absorbent cair yang diikuti dengan pelarutan. Kelarutan gas yang akan diserap dapat disebabkan hanya oleh gaya-gaya fisik (pada absorpsi fisik) atau selain gaya tersebut juga oleh ikatan kimia (pada absorpsi kimia). Komponen gas yang dapat mengadakan ikatan kimia akan dilarutkan lebih dahulu dan juga dengan kecepatan yang lebih tinggi. Karena itu absorpsi kimia mengungguli absorpsi fisik. *Stripping* adalah proses pemisahan yang cara kerjanya sama dengan proses absorpsi hanya *solute* yang akan dipisahkan berupa fase liquid sedangkan pelarutnya fase gas (Wahyuni, 2009).

Sebelum digunakan sebagai bahan bakar mesin, biogas harus dimurnikan dulu untuk meningkatkan kadar metananya. Beberapa proses dapat diterapkan untuk meningkatkan kadar metana di dalam biogas dengan membuang kandungan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$ . Salah satu metode yang biasa digunakan untuk pemurnian biogas adalah dengan mengabsorpsi kandungan  $\text{CO}_2$ . Absorpsi merupakan salah satu proses pemisahan dengan mengontakkan campuran gas dengan cairan sebagai penyerapnya, penyerap tertentu akan menyerap satu atau lebih pada komponen gas. Absorpsi dapat berlangsung dalam dua macam proses, yaitu absorpsi fisik dan absorpsi kimia. Absorpsi fisik yaitu absorpsi dimana gas terlarut dalam cairan menyerap tanpa disertai reaksi kimia. Contoh absorpsi ini adalah absorpsi gas  $\text{H}_2\text{S}$  dengan



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

air, metanol, atau propilen. Absorpsi kimia yaitu absorpsi dimana gas terlarut dalam larutan penyerap disertai reaksi kimia. Contoh absorpsi ini dapat dilihat pada absorpsi gas  $\text{CO}_2$  dengan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  dan lain sebagainya (Kumoroandrichahyo et al., 2004).

Metode pemurnian gas dengan absorpsi dengan menggunakan larutan absorben selain murah, juga cukup baik dalam memindahkan gas  $\text{CO}_2$  fase gas ke cair cukup maksimal. Hal itu didukung oleh penelitian Haryandi (2011), yang melakukan penelitian menggunakan larutan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  untuk menurunkan kadar  $\text{CO}_2$  dalam biogas. Larutan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dihasilkan dari reaksi  $\text{CaO}$  dengan air. Penelitian dilakukan dengan mengalirkan campuran biogas dan larutan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dalam kolom bahan isian dengan aliran berlawanan arah. Variabel penelitian adalah konsentrasi absorben, kecepatan alir cairan, kecepatan alir gas, tinggi kolom dan suhu operasi. Dari penelitian ini bahwa semakin tinggi laju alir absorben menyebabkan penyerapan  $\text{CO}_2$  semakin besar. Untuk pengaruh konsentrasi larutan, semakin tinggi konsentrasi absorben menyebabkan penyerapan  $\text{CO}_2$  semakin besar. Semakin tinggi laju alir gas menyebabkan penyerapan  $\text{CO}_2$  semakin kecil. Sedangkan pengaruh suhu operasi terhadap penyerapan  $\text{CO}_2$ , semakin tinggi suhu operasi menyebabkan penyerapan  $\text{CO}_2$  semakin kecil. Berdasarkan **Tabel 2** diatas maka penggunaan larutan  $\text{K}_2\text{CO}_3$  15%-30% akan optimal untuk mereduksi kandungan gas  $\text{CO}_2$  dan sedikit  $\text{H}_2\text{S}$  dalam komponen biogas.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.3.5 Hal-hal yang Mempengaruhi Absorpsi

#### 1. Luas Permukaan Kontak

Semakin besar permukaan gas dan pelarut yang kontak maka laju absorpsi yang terjadi juga akan semakin besar. Hal ini dikarenakan permukaan kontak yang semakin luas akan meningkatkan peluang gas untuk berdifusi ke pelarut. Hal ini terbukti pada penelitian yang dilakukan oleh Kusuma et al., (2013) bahwa dengan larutan absorben 1 M, 2 M, 3 M pengurangan gas CO<sub>2</sub> semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena absorben/larutan dengan konsentrasi yang besar (pekat) mengandung partikel yang lebih rapat yang berarti semakin banyak molekul-molekul dalam setiap satuan luas ruangan yang mengakibatkan luas kontak antara absorben dengan gas yang diserap semakin besar sehingga tumbukan antar molekul makin sering terjadi dan reaksi berlangsung semakin cepat.

#### 2. Laju Alir Fluida

Jika laju alir fluida semakin kecil maka waktu kontak antara gas dengan pelarut akan semakin lama. Dengan demikian akan meningkatkan jumlah gas yang berdifusi.

Berdasarkan penelitian Ningsih et al., (2017), mengenai Absorpsi CO<sub>2</sub> Berpromotor MSG dengan menggunakan larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dapat didapatkan kesimpulan bahwa kenaikan laju alir liquida dapat meningkatkan nilai laju absorpsi, Hal ini disebabkan karena jumlah K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> semakin



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

besar sehingga lebih banyak gas  $\text{CO}_2$  yang terabsorpsi. Sedangkan peningkatan laju alir liquida dapat meningkatkan %  $\text{CO}_2$  removal yaitu pada laju liquida 1 liter/menit dan laju gas 15 liter/menit sebesar 3,03 % dan pada laju liquida 5 liter/menit dan laju gas 15 liter/menit sebesar 3,55%. Hal ini disebabkan karena jumlah fasa liquida yaitu  $\text{K}_2\text{CO}_3$  yang berkontak dengan fasa gas  $\text{CO}_2$  semakin besar sehingga lebih banyak gas  $\text{CO}_2$  yang terabsorpsi. Jumlah fasa gas yang berpindah akan berhenti jika sudah mencapai kesetimbangan dan juga sifat kelarutan gas  $\text{CO}_2$ .

### 3. Konsentrasi Gas

Perbedaan konsentrasi merupakan salah satu *driving force* dari proses difusi yang terjadi antar dua fluida.

Berdasarkan penelitian Ningsih et al., (2017) mengenai Absorpsi  $\text{CO}_2$  Berpromotor MSG dengan menggunakan larutan  $\text{K}_2\text{CO}_3$  dapat didapatkan kesimpulan bahwa peningkatan konsentrasi MSG dapat meningkatkan laju absorpsi. Pada laju alir liquida 5 liter/menit, laju alir gas 15 liter/menit dan MSG 1 % laju absorpsi sebesar 0,0007 mol/menit sedangkan pada MSG 5 % di laju gas yg sama laju absorpsi sebesar 0,0009 mol/menit. Sedangkan peningkatan konsentrasi MSG dapat meningkatkan %  $\text{CO}_2$  removal seperti dalam laju alir gas 15 liter/menit



MSG 1% memiliki %CO<sub>2</sub> *removal* sebesar 3,55 % sedangkan pada konsentrasi 5% memiliki %CO<sub>2</sub> *removal* sebesar 4,59 %. Penambahan MSG yang berperan mempercepat reaksi (Katalis) antara CO<sub>2</sub> dan absorben (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) menyebabkan proses transfer atau CO<sub>2</sub> yang terserap lebih banyak. Sehingga konsentrasi MSG semakin besar dapat meningkatkan jumlah gas CO<sub>2</sub> yang terserap.

#### 4. Tekanan Operasi

Semakin tinggi tekanan pada absorpsi maka, kemampuan absorpsi semakin turun karena kontak semakin cepat sehingga penyerapan gas tidak optimal.

#### 5. Temperatur Komponen Terlarut dan Pelarut

Temperatur pelarut hanya sedikit berpengaruh terhadap laju absorpsi. Pada penelitian Kuswandi (2008), dengan judul “*Solubilitas Gas CO<sub>2</sub> dalam Larutan Potassium Karbonat*” didapatkan hasil bahwa jumlah mol CO<sub>2</sub> terlarut semakin kecil dengan kenaikan temperatur sebab mengalami desorpsi.

## 2.4 Sifat Absorben Gas Impurities

### 2.4.1 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> telah digunakan sebagai penyerap CO<sub>2</sub> sejak awal 1900-an. Larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> memiliki sifat yang berbeda dari amina, dapat menghilangkan CO<sub>2</sub> pada suhu dan tekanan tinggi, mudah diregenerasi, toksisitas rendah, biaya operasi yang lebih rendah dan kemurnian gas hasil absorpsi tinggi (Park et al., 2013). Oleh karena itu, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> lebih



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

efisien untuk menghilangkan CO<sub>2</sub> daripada larutan amina. Tantangan utama terkait kalium karbonat sebagai pelarut adalah konstanta laju reaksi yang rendah mengakibatkan kinerja perpindahan massa menja direndah (Thee et al., 2013).

Larutan *Benfield* mengandung K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (±30%), Dietanolamin atau DEA (± 2,9%), V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (± 1,5%), dan sisanya berupa air. Komponen yang akan menyerap CO<sub>2</sub> adalah K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, yang mana penyerapan CO<sub>2</sub> terjadi berdasarkan reaksi sebagai berikut :



Dietanolamin atau sering disebut DEA berfungsi sebagai aktivator yang bekerja seperti katalis, yaitu mempercepat reaksi menyerapan CO<sub>2</sub> oleh K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, dengan cara menurunkan tegangan permukaan gas yang mengandung CO<sub>2</sub>. Sementara itu, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> berfungsi sebagai pencegah korosi pada kolom *absorber* dan *stripper* yang disebabkan oleh adanya ion Bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Larutan *Benfield* yang masuk belum mengandung CO<sub>2</sub> biasa disebut *lean solution*, sedangkan larutan *Benfield* yang telah digunakan untuk mengabsorb CO<sub>2</sub> dan mengandung banyak CO<sub>2</sub> disebut *rich solution* (Kurniadi et al., 2017).

### 2.4.2 CuSO<sub>4</sub>

CuSO<sub>4</sub> atau biasa dikenal dengan *copper sulfate pentahydrate* memiliki sifat fisika dan kimia sebagai berikut:

- Warna : Biru



- *Boiling point* : 100°C
- *Specific gravity* : 1.053
- *Vapor density* : 0.62
- *Vapor pressure* : 2.3 kPa

Menurut Ulmann's (1973), Kupri sulfat pentahidrat adalah senyawa anorganik yang merupakan persenyawaan antara logam Cu (tembaga) dengan asam sulfat dengan rumus kimia  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Kupri sulfat pentahidrat juga dikenal dengan nama *blue vitriol* atau *blue copper*. Kupri sulfat pentahidrat merupakan suatu bahan yang penggunaannya sangat luas, khususnya dalam bidang pertanian, selain itu dalam bidang pertambangan kupri sulfat pentahidrat digunakan sebagai aktivator flotasi biji timah, seng dan kobalt. Kupri Sulfat digunakan secara luas sebagai algisida di tambak dan sistem perairan lainnya. Kupri adalah komponen mineral minor di dalam air di alam. Permintaan terhadap produk ini meningkat dari tahun ke tahun.

Kupri sulfat pentahidrat mulai dikembangkan sejak tahun 1885 sebagai salah satu campuran bordeaux mixture (sejenis fungisida) dan merupakan produk yang penting dari sejumlah produk yang lain. Pada air laut, konsentrasi kupri yang biasa ditemui antara 0,002 – 0,004 mg/l, sedang pada air tawar konsentrasi kupri biasa ditemui antara 0,005 – 0,020 mg/l. Fitoplankton, khususnya *Blue Green Algae* (BGA) sangat sensitif terhadap kupri, sebab itu logam ini digunakan secara luas sebagai algisida pada kolam persediaan air, kolam renang, menara-menara pendingin, tambak-tambak ikan peliharaan, tambak-tambak budidaya, dan sistem perairan lainnya. Bentuk kupri yang digunakan sebagai algisida secara tradisional adalah kupri sulfat.



## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bahan kimia ini berwarna biru, berbentuk butiran-butiran kecil biasa disebut butiran tajam berwarna biru atau batu biru. Kupri sulfat mengandung kupri murni 26% dari berat. Kurang lebih 20 hingga 30 persen kupri sulfat pentahidrat yang dipasarkan diproduksi dengan cara yang sederhana yakni kristalisasi liquid. Kupri dapat hilang dari dalam air melalui tiga proses, yaitu terserap oleh tanaman air yang pada saat mati akan mengendap di dasar tambak sebagai endapan bahan organik, membentuk kupri oksida sebagai hasil endapan ion-ion kupri secara cepat, dan terikat pada koloid lempung dan bahan organik di dasar tanah lewat proses pertukaran kation. Ion kupri adalah bahan beracun bagi tanaman, tetapi sedikit beracun bagi hewan air. Konsentrasi yang digunakan betul-betul dipertimbangkan sebagai kontrol fitoplankton yang dapat diterima, yaitu antara 0,05 – 0,06 mg kupri/ liter air. Konsentrasi kupri maksimal yang dianjurkan untuk ikan biasanya adalah 0,02 mg/l pada air yang bersifat asam dan alkalinitas rendah, dan 0,2 mg/l pada air dengan pH dan alkalinitas tinggi (*Othmer, D.P, 1979*).

Adapun reaksi antara  $\text{CuSO}_4$  dan gas  $\text{H}_2\text{S}$  menurut Kusuma Aditya et al. (2012) yaitu :



### **2.5 Penelitian Sebelumnya**

1. Pada penelitian Kuswandi et al., (2008) menjelaskan tentang solubilitas gas  $\text{CO}_2$  dalam larutan potassium karbonat menghasilkan Jumlah mol gas  $\text{CO}_2$  yang



bereaksi akan semakin besar bila konsentrasi larutan  $K_2CO_3$  lebih besar, kecenderungan ini menunjukkan bahwa gas  $CO_2$  yang bereaksi diukur pada kondisi kesetimbangan yang pada akhirnya juga berkesetimbangan dengan  $CO_2$  yang ada dalam fase gas. Semakin besar Konsentrasi larutan  $K_2CO_3$  maka semakin besar pula konsentrasi gas  $CO_2$  yang terserap.

2. Pada penelitian Kusuma Adity et al. (2012) membahas mengenai pemurnian gas  $H_2S$  dengan menggunakan  $NaOH$ ,  $CuSO_4$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$  dalam *packed column* secara *continue*. Dimana pada pemurnian tersebut menggunakan konsentrasi larutan yang sama yaitu 0.1 M. Diketahui bahwa absorbsi kimia dipengaruhi oleh laju alir cairan dan rasio L/G. dari penelitian ini didapatkan bahwa bertambahnya laju alir penyerap jumlah  $H_2S$  yang terserap semakin banyak pula. Walaupun ketiga penyerap dapat menyerap  $H_2S$ .  $NaOH$  bersifat lebih reaktif dibandingkan  $CuSO_4$  dan  $Fe_2(SO_4)_3$ .

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Bahan yang Digunakan**

1. Air
2. Biogas
3.  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
4.  $\text{K}_2\text{CO}_3$

#### **3.2 Peralatan yang Digunakan**

- |                                |        |
|--------------------------------|--------|
| 1. <i>Beaker Glass</i> 1000 ml | 2 unit |
| 2. Cawan                       | 1 unit |
| 3. Corong                      | 1 unit |
| 4. Gelas Ukur 1000 ml          | 2 unit |
| 5. Mortar dan Alu              | 1 unit |
| 6. Absorber                    | 2 unit |
| 7. Timbangan Elektrik          | 1 unit |
| 8. Sensor Digital              | 1 unit |
| 9. <i>Vacum pump</i>           | 1 unit |

#### **3.3 Variabel yang Dipilih**

Variabel Bebas:

1. Konsentrasi  $\text{CuSO}_4$  0.1, 0.2, 0.3 dan 0.4 M
2. Penggunaan Katalis DEA

Variabel Kontrol:

1. Laju alir gas
2. Temperature



---

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Tahap Persiapan

- a) Menyiapkan bahan yang digunakan :
  - Air
  - Biogas
  - $\text{CuSO}_4$
  - $\text{K}_2\text{CO}_3$
  - DEA
- b) Mempersiapkan alat yang digunakan diantaranya yaitu :
  - Alat Purifikasi
  - Aktivasi sensor digital gas
- c) Pengukuran kandungan gas awal

#### 3.4.2 Tahap Pemurnian Biogas dengan Alat Purifikasi

- a) Mengisi absorber 1 dan 2 dengan larutan absorben sesuai variable kedalaman yang telah dipilih.
- b) Mengalirkan biogas yang akan dimurnikan pada pipa gas input
- c) Menutup valve pada lokasi gas output
- d) Mengukur volume gas awal beserta kandungannya dengan menggunakan sensor digital
- e) Mencatat kadar  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  yang tertera pada sensor digital
- f) Absorpsi gas pada absorber 1 dan 2
- g) Mencatat kadar  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  yang tertera pada sensor digital
- h) Membandingkan kadar gas awal  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  dan gas akhir  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  setelah diabsorpsi

**3.4.3 Analisa Efisiensi Absorpsi**

- a) Melakukan Pengukuran kadar gas awal tanpa melalui absorber
- b) Mencatat kadar nilai CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S sebagai kadar gas awal
- c) Melakukan Pengukuran kadar gas akhir gas setelah melalui 2 absorber
- d) Mencatat kadar nilai CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S sebagai kadar gas akhir
- e) Membandingkan kadar nilai CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S awal dan akhir
- f) Menghitung efektivitas penggunaan absorben

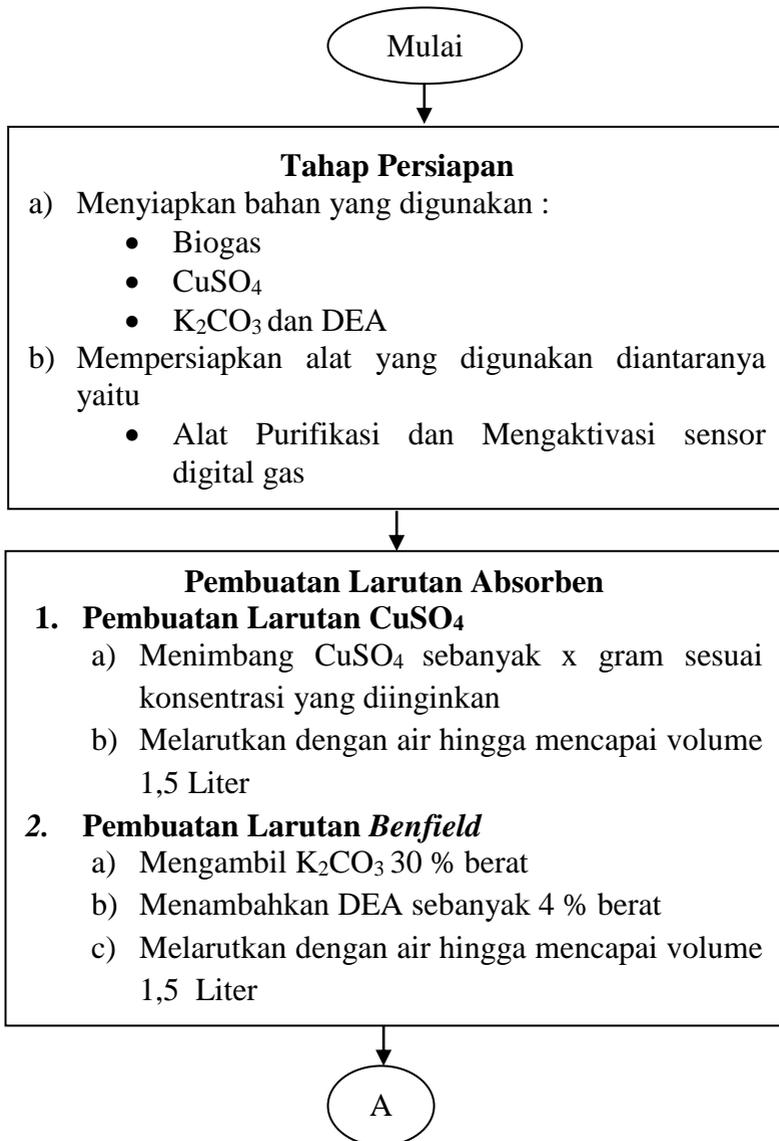
$$\text{Efisiensi} = \frac{(A-B)}{A} \times 100\%$$

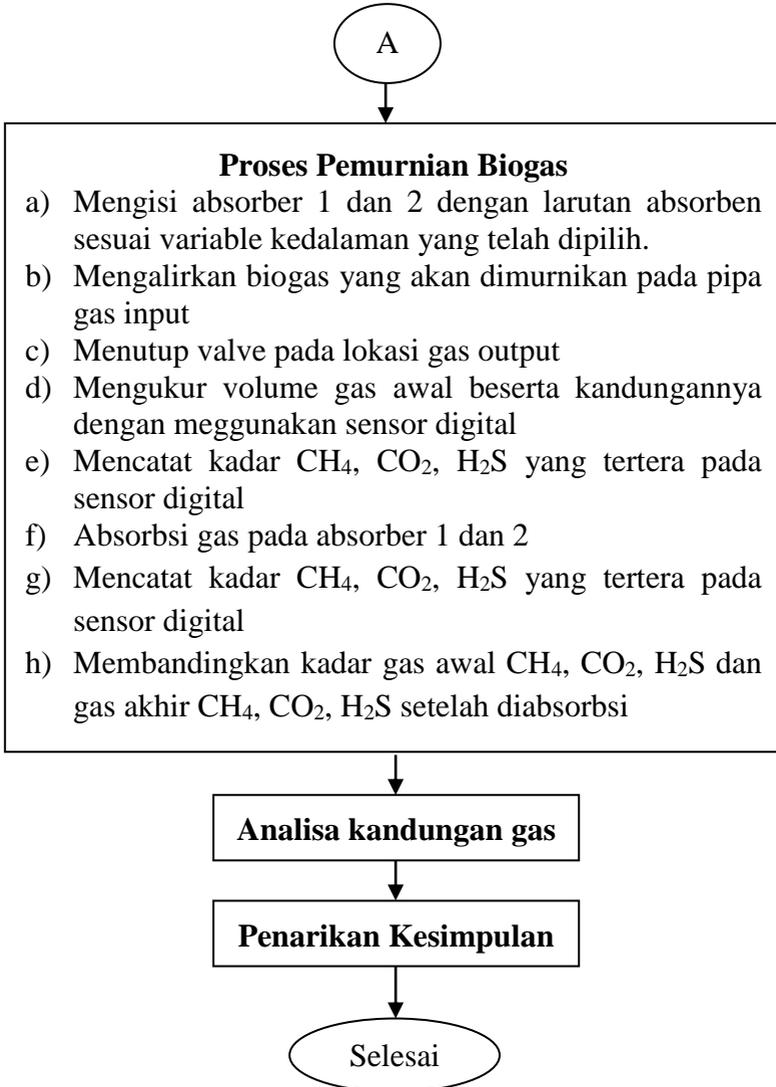
Keterangan : A = Kadar gas awal (ppm)

B = Kadar gas akhir (ppm)

**3.5 Waktu dan Tempat Penelitian**

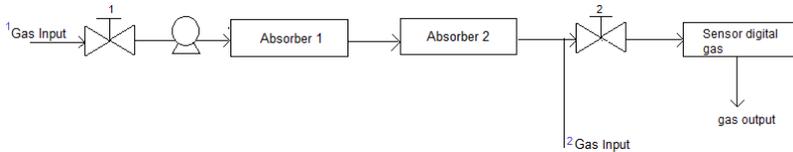
Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah yang terletak pada lantai 2 Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Pelaksanaan penelitian inovasi dilaksanakan selama 6 bulan (Desember 2017 – Juni 2018).

**3.6 Diagram Alir Penelitian**





### 3.7 Blok Diagram Penelitian



**Gambar 3.1** Blok Diagram Penelitian

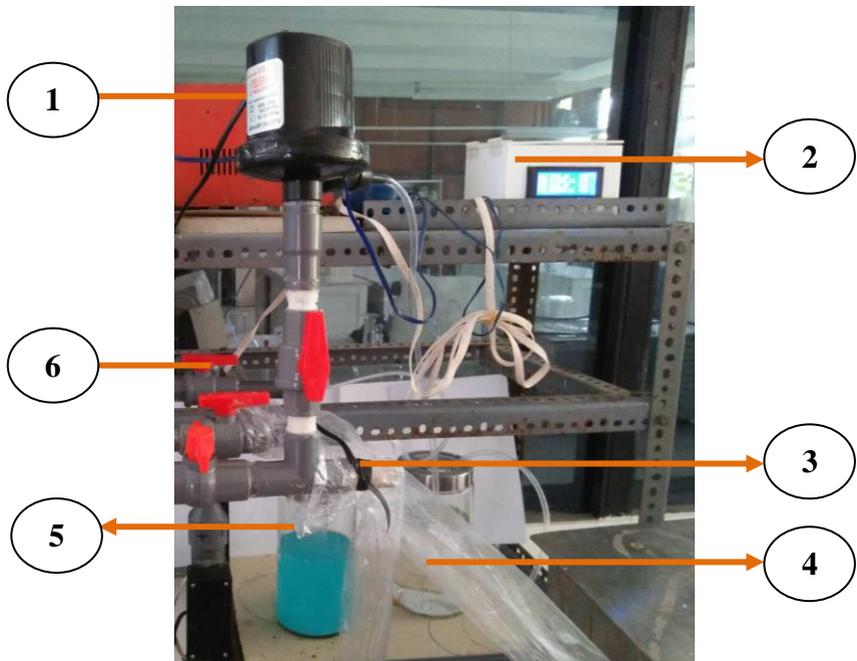
Keterangan:

- ✓ <sup>1</sup>Gas input berfungsi sebagai gas umpan pada proses absorpsi yang sebelumnya telah diukur kandungan gas awalnya, pada keadaan ini *valve* 1 terbuka dan *valve* 2 ditutup dengan kondisi pompa vakum dihidupkan.
- ✓ <sup>2</sup>Gas input adalah gas yang akan diukur kandungan gas awalnya, pada keadaan ini pompa vakum tidak dihidupkan dan *valve* yang terbuka hanya *valve* 2.

### 3.8 Gambar Alat Penelitian

Berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan di laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah Departemen Teknik Kimia Industri - ITS maka alat purifikasi dapat disesuaikan dengan rancangan peralatan *absorber* secara seri sebagai penghasil gas murni.

Metode yang digunakan dalam penelitian pemurnian gas  $H_2S$  dan Gas  $CO_2$  adalah proses absorpsi dengan rancangan alat purifikasi gas (*absorber*) seperti pada **Gambar 3.1** dibawah ini.



**Gambar 3.2** Alat Purifikasi Gas (Absorber)

Berikut ini keterangan dari **Gambar 3.2** yaitu:

1. Kompresor

Memiliki fungsi untuk membawa gas input dengan mudah menuju absorber-absorber yang telah disediakan untuk melalui proses absorpsi.

2. Sensor Digital Gas

Berfungsi untuk mengukur kadar gas  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{CH}_4$  mula-mula dan setelah proses absorpsi secara digital.



3. Gas input

Berfungsi sebagai tempat gas masuk untuk melakukan proses purifikasi secara absorpsi.

4. Absorber 1

Berfungsi sebagai tempat proses absorpsi gas  $\text{CO}_2$  dengan menggunakan larutan  $\text{K}_2\text{CO}_3$ .

5. Absorber 2

Berfungsi sebagai tempat proses absorpsi gas  $\text{H}_2\text{S}$  dengan menggunakan larutan  $\text{CuSO}_4$ .

6. Gas Output

Berfungsi sebagai tempat gas keluar setelah mengalami proses absorpsi pada absorber

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat dua larutan absorben yang menjadi bahan penelitian yaitu pengurangan gas CO<sub>2</sub> dengan menggunakan larutan *benfield* dan gas H<sub>2</sub>S dengan menggunakan CuSO<sub>4</sub>. Sehingga didapatkan beberapa data seperti dibawah ini:

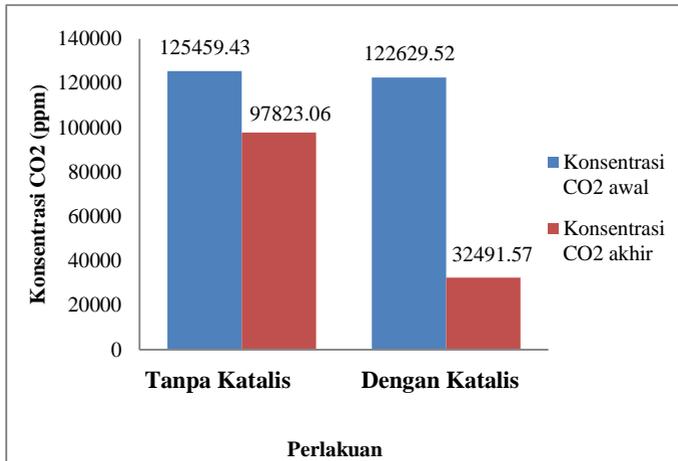
**Tabel 4.1** Efisiensi Penggunaan Variabel Katalis DEA pada Larutan Benfield dan Konsentrasi CuSO<sub>4</sub> terhadap Absorpsi Gas Impurities

Jenis Gas	Perlakuan/ Variabel	Konsentrasi Gas Mula-Mula (Ppm)	Konsentrasi Gas Akhir (Ppm)	Efisiensi (%)
CO <sub>2</sub>	Larutan Benfield (Tanpa Katalis)	125459.43	97823.06	22.028
CH <sub>4</sub>		584359.75	569782.31	
CO <sub>2</sub>	Larutan Benfield (Dengan Katalis)	122629.52	32491.57	73.50
CH <sub>4</sub>		605435.00	596353.82	
H <sub>2</sub> S	CuSO <sub>4</sub> 0.1 M	14623.66	8462,33	42.132
CH <sub>4</sub>		584359.75	569782.31	
H <sub>2</sub> S	CuSO <sub>4</sub> 0.2 M	1356794	7325.09	46.01
CH <sub>4</sub>		605435.00	596353.82	
H <sub>2</sub> S	CuSO <sub>4</sub> 0.3 M	8641.25	2140.86	75.23
CH <sub>4</sub>		540244.37	530713.62	
H <sub>2</sub> S	CuSO <sub>4</sub> 0.4 M	12179.86	51340.00	58.06
CH <sub>4</sub>		798944.25	785731.23	



## 4.2 Pembahasan

Proses absorpsi gas impurities  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  dilakukan dengan menggunakan absorben Larutan Benfield dan  $\text{CuSO}_4$  untuk menghasilkan pembakaran biogas yang lebih ramah lingkungan. Pada penelitian ini terdapat beberapa tahap untuk menghasilkan biogas bebas gas impurities yaitu tahap persiapan, tahap percobaan, dan tahap analisa. Dimana pada tahap persiapan hal-hal yang dilakukan meliputi pembuatan larutan absorben berdasarkan variable yang dipilih serta pengukuran kandungan gas awal dengan menggunakan gas sensor digital. Sedangkan pada tahap percobaan dilakukan proses absorpsi pada dua absorber dengan menggunakan gas yang telah diukur kandungan awalnya. Dimana proses absorpsi dimulai dari absorber pertama dan kemudian mengalir pada absorber kedua dengan bantuan *vacuum pump*. Outputan dari tahap percobaan ini merupakan gas yang telah lolos absorber yang selanjutnya menuju gas sensor digital untuk dianalisa, tahap ini dinamakan tahap analisa. Dimana angka yang keluar merupakan kandungan biogas akhir yang selanjutnya dapat diperhitungkan nilai efisiensinya. Berikut merupakan pembahasan hasil analisa pada penelitian ini :

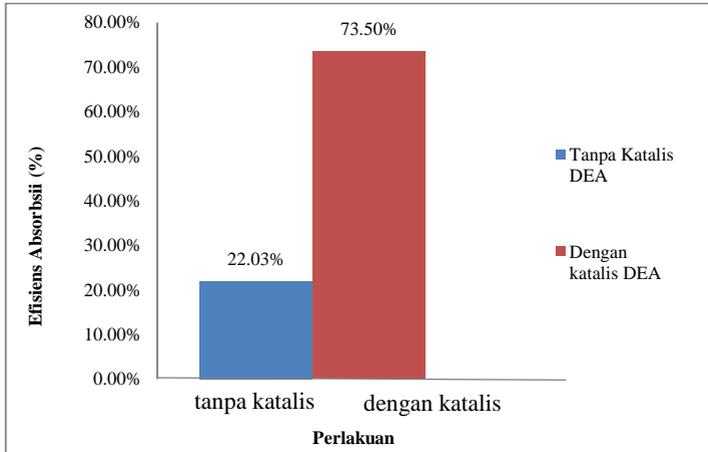


**Gambar 4.1** Pengaruh Katalis DEA terhadap Konsentrasi Gas CO<sub>2</sub> Terserap

Pada **Gambar 4.1** diatas mencantumkan dua keadaan yaitu konsentrasi gas CO<sub>2</sub> awal sebelum memasuki absorber dan konsentrasi gas akhir CO<sub>2</sub> setelah melewati absorber. Berdasarkan Gambar tersebut konsentrasi gas CO<sub>2</sub> awal pada absorben tanpa penggunaan katalis yaitu 12459,43 ppm dan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> akhir setelah melewati absorber yaitu 97823,06 ppm, sedangkan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> awal pada absorben dengan penggunaan katalis sebesar 122629,52 ppm dan konsentrasi gas akhir setelah melewati absorber sebesar 32491,57 ppm. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa jumlah gas terabsorb pada penggunaan katalis DEA lebih besar apabila dibandingkan dengan jumlah gas terabsorb pada variable tanpa penggunaan katalis. Hal ini sesuai dengan literature yang menyebutkan bahwa absorpsi dengan menggunakan larutan Benfield memiliki kandungan 30%



$K_2CO_3$ , 4% DEA dan 1,5%  $V_2O_5$ , dimana larutan DEA ini memiliki fungsi sebagai aktivator yang bekerja seperti katalis, yaitu mempercepat reaksi menyerapan  $CO_2$  oleh  $K_2CO_3$ , dengan cara menurunkan tegangan permukaan gas yang mengandung  $CO_2$  (Kurniadi et al., 2017).



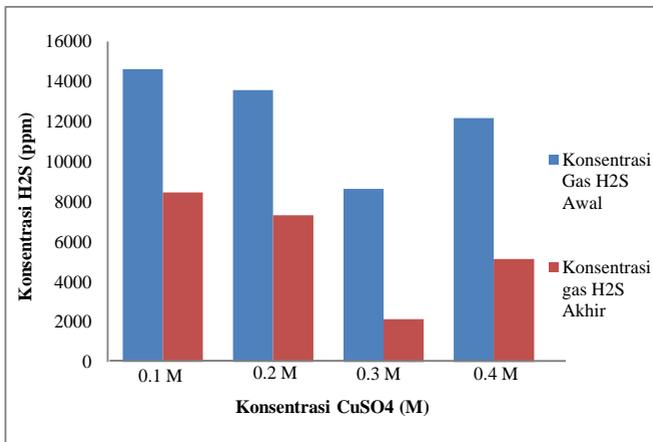
**Gambar 4.2** Pengaruh Katalis DEA terhadap Efisiensi Absorpsi Gas  $CO_2$

Pada **Gambar 4.2** diperoleh data yang menjelaskan pengaruh adanya katalis DEA terhadap efisiensi absorpsi gas  $CO_2$ . Nilai efisiensi absorpsi pada pemakaian absorben tanpa menggunakan katalis DEA sebesar 22,03% dan pada absorben dengan menggunakan katalis DEA memiliki efisiensi sebesar 73,50%. Dimana pada Gambar tersebut memaparkan bahwa efisiensi absorpsi pada penggunaan katalis DEA lebih besar apabila dibandingkan efisiensi absorpsi pada penggunaan katalis tanpa DEA. Hal ini dikarenakan DEA berperan sebagai katalis dalam proses absorpsi gas  $CO_2$  dengan menggunakan  $K_2CO_3$  dan sebagaimana yang telah dijelaskan bahwa DEA memperbesar efisiensi absorpsi dengan cara menurunkan



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

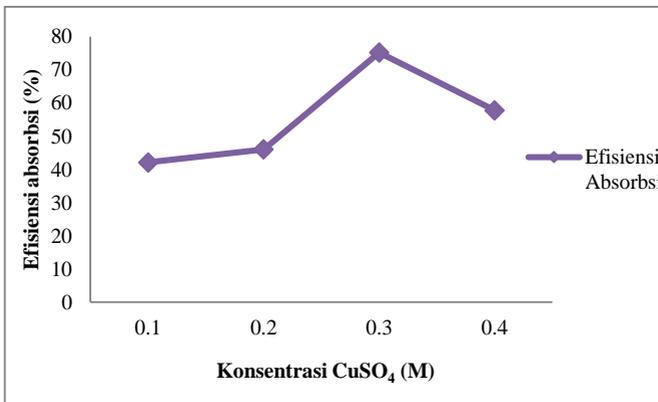
tegangan permukaan gas yang mengandung  $\text{CO}_2$ . Hal ini sesuai dengan literature yang menyebutkan bahwa semakin kecil tegangan permukaan gas maka tingkat kemampuan penyerapan terhadap gas tersebut akan semakin besar, sehingga apabila kemampuan penyerapan besar juga akan memberikan nilai efisiensi yang akan semakin (*Giancoli, Douglas C., 2001*). Penambahan katalis meningkatkan efisiensi hal ini juga didukung oleh penelitian Kharisma Chandra S. (2011), yang menyatakan bahwa katalis merupakan zat yang ditambahkan ke dalam suatu reaksi kimia untuk menambah laju reaksi dengan cara menurunkan energy pengaktifan reaksi tersebut. Katalis mengadsorpsi pereaksi-pereaksi pada permukaannya dan membuatnya lebih reaktif. Oleh karena itu, katalis harus memiliki luas permukaan yang besar atau berbentuk butiran halus yang berpori.



**Gambar 4.3** Pengaruh Konsentrasi  $\text{CuSO}_4$  terhadap Absorpsi Gas  $\text{H}_2\text{S}$



Pada **Gambar 4.3** menjelaskan mengenai nilai konsentrasi gas awal dan gas akhir  $H_2S$  pada setiap pemakaian konsentrasi absorben  $CuSO_4$ , adapun konsentrasi absorben yang dipakai yaitu 0,1; 0,2; 0,3 dan 0,4 M. Pada penggunaan absorben 0,1 M memiliki konsentrasi gas  $H_2S$  awal sebesar 14623,66 ppm dan konsentrasi gas akhir sebesar 84623,33 ppm. Pada penggunaan absorben 0,2 M memiliki konsentrasi gas  $H_2S$  awal sebesar 13579,94 ppm dan konsentrasi gas akhir sebesar 7325,09 ppm. Pada penggunaan absorben 0,3 M memiliki konsentrasi gas  $H_2S$  awal sebesar 8641,25 ppm dan konsentrasi gas akhir sebesar 2140,86 ppm. Serta pada penggunaan absorben 0,4 M memiliki konsentrasi gas  $H_2S$  awal sebesar 12179,86 ppm dan konsentrasi gas akhir sebesar 5134 ppm. Berdasarkan data tersebut pada pemakaian konsentrasi absorben  $CuSO_4$  dapat dilihat bahwa penurunan absorpsi gas  $H_2S$  terbesar yaitu pada penggunaan konsentrasi larutan absorben  $CuSO_4$  0,3 M. Hal ini sesuai dengan penelitian Ningsih et.al (2017), yang menyebutkan bahwa semakin tinggi konsentrasi absorben maka akan semakin tinggi pula absorpsi yang akan terserap kedalam larutan.



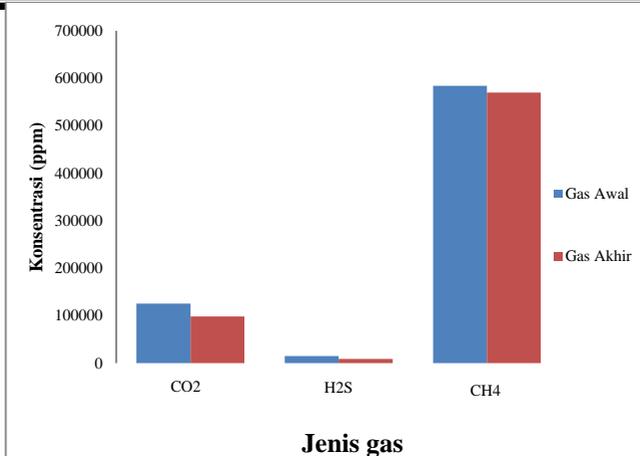
**Gambar 4.4** Pengaruh Konsentrasi  $CuSO_4$  terhadap Efisiensi Absorpsi Gas  $H_2S$



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

---

Pada **Gambar 4.4** menunjukkan pengaruh konsentrasi  $\text{CuSO}_4$  terhadap efisiensi absorpsi gas  $\text{H}_2\text{S}$ . Nilai efisiensi absorpsi pada penggunaan absorben  $\text{CuSO}_4$  dengan konsentrasi 0,1; 0,2; 0,3 dan 0,4 M secara berturut-turut yaitu sebesar 42,13%; 46,06%; 75,23% dan 57,85%. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa pada konsentrasi  $\text{CuSO}_4$  0,3 M memiliki efisiensi absorpsi gas  $\text{H}_2\text{S}$  paling optimum apabila dibandingkan dengan penggunaan konsentrasi  $\text{CuSO}_4$  0,1; 0,2 dan 0,4 M. Hal ini tidak sesuai dengan penelitian Maat et al (2005), yang menyebutkan bahwa semakin besar konsentrasi pelarut  $\text{CuSO}_4$  maka semakin besar pula kadar gas metan yang dihasilkan dan berkurangnya kadar gas pengotor  $\text{H}_2\text{S}$  cukup besar. Hal ini disebabkan oleh pengaruh kontaminasi adanya kontaminan-kontaminan di dalam larutan seperti karat, hidrogen cair, kotoran sisa *running* beberapa variable penelitian yang sebelumnya, dimana hal ini akan mengganggu proses absorpsi asam gas oleh larutan. Salah satu akibat yang dapat timbul adalah *foaming*. Kontaminan menurunkan *surface tension* dari larutan (yang dimaksud dengan turunnya *surface tension* adalah berkurangnya daya molekul larutan untuk menarik molekul gas disekelilingnya disebabkan konsentrasi molekul larutan lebih tinggi dibanding konsentrasi molekul gas).



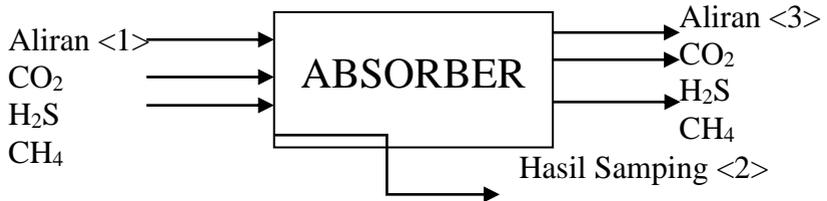
**Gambar 4.5** Pengaruh Absorbs Gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S terhadap Jumlah Methana yang Dihasilkan

Pada **Gambar 4.5** menunjukkan pengaruh absorbs gas CO<sub>2</sub> terhadap jumlah gas methane yang dihasilkan pada proses absorbs dengan menggunakan larutan *benfield* non katalis dan CuSO<sub>4</sub> 0.1 M. Berdasarkan gambar diatas proses absorbs gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S dapat menurunkan kandungan methan yang terkandung pada gas tersebut. Hal ini dapat dilihat pada konsentrasi awal methane sebelum proses absorbs yaitu sebesar 584359.8 dan setelah proses absorbs sebesar 569782.3. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penurunan methane yang terjadi adalah 2,49% dari konsentrasi awal. Penurunan konsentrasi methane ini tidak sesuai dengan literature, dimana menurut Park et.al (2013), yang menyebutkan bahwa dengan penambahan katalis dapat meningkatkan kadar methane dan mengurangi kadar gas pengotor. Hal ini disebabkan oleh terdifusinya gas pengotor dalam larutan absorben. Ketidaksesuaian ini dikarenakan terlarutnya gas methane dalam kolom absorber dikarenakan tingkat kelarutan gas methane yang lumayan tinggi.

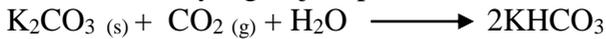
## BAB V NERACA MASSA DAN ENERGI

### 5.1 Neraca Massa

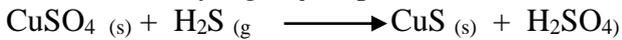
Proses absorpsi gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S dengan menggunakan larutan *benfield* dan CuSO<sub>4</sub> dengan kapasitas produksi 50 unit alat purifikasi.



Reaksi yang terjadi pada absorber 1:



Reaksi yang terjadi pada absorber 2:





**Tabel 5.1** Neraca Massa pada penggunaan Variabel Konsentrasi  $\text{CuSO}_4$  0.2 M dan Dengan Menggunakan Katalis

Masuk (Aliran <1>)	Keluar (Aliran <2>, <3>)				
	Aliran <2>	Aliran <3>			
Komponen	Konsentrasi (ppm)	Komponen	Konsentrasi (ppm)	Komponen	Konsentrasi (ppm)
$\text{CO}_2$	122629.52	$\text{CO}_2$ yang bereaksi dengan absorben membentuk $\text{KHCO}_3$	90137.95	$\text{CO}_2$	32491.57
$\text{H}_2\text{S}$	1356794	$\text{H}_2\text{S}$ yang bereaksi dengan absorben membentuk $\text{CuS}$	1349468.91	$\text{H}_2\text{S}$	7325.09
$\text{CH}_4$	605435	$\text{CH}_4$ terlarut dengan air	9081.18	$\text{CH}_4$	596353.82



Masuk (Aliran <1>)		Keluar (Aliran <2>, <3>)		
		Aliran <2>		Aliran <3>
Komponen	Konsentrasi (ppm)	Komponen	Konsentrasi (ppm)	Konsentrasi (ppm)
Total	2084858.52	Total	1448688.04	636170.48
		Total	2084858.52	

**Aliran <1>** Tidak menggunakan perhitungan spesifik, dikarenakan bersumber dari sensor digital gas

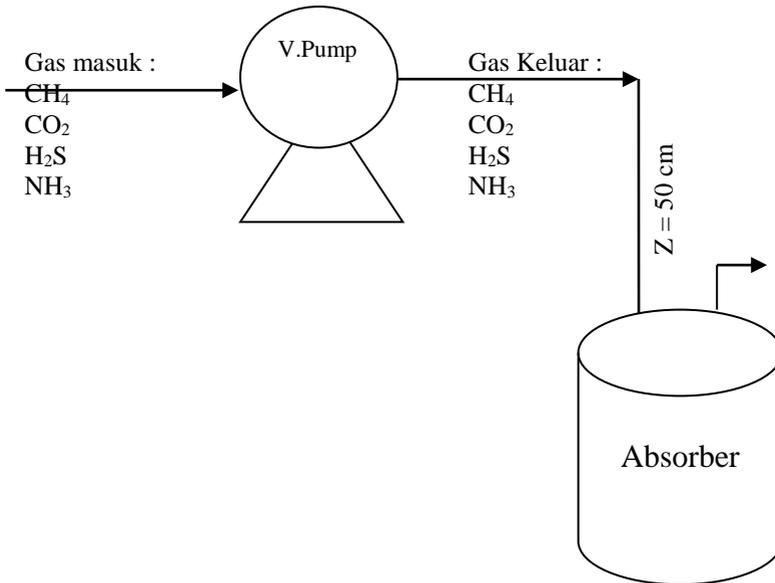
**Aliran <2>** Tidak menggunakan perhitungan spesifik, dikarenakan bersumber dari sensor digital gas

**Aliran <3>** Tidak menggunakan perhitungan spesifik, dikarenakan bersumber dari sensor digital gas



## 5.2 Neraca Energi

Panas yang dibutuhkan pada penelitian ini bersumber dari pemakaian *vacum pump* yang dapat digambarkan dengan menggunakan skema berikut:



**Gambar 5.1** Ilustrasi *Vacuum pump*

### 5.2.1 Neraca Energi Pompa

#### 5.2.1.1 Kebutuhan Tenaga Pompa

Pompa dipergunakan untuk mengalirkan gas dengan  $s.g = 0.8$  dari penyimpanan melalui pipa dengan diameter  $\frac{3}{4}$ " schedule 40, dengan efisiensi pompa 65%. Gas keluar dari pompa melalui pipa ukuran  $\frac{1}{2}$ " schedule 40 ( $v = 0,1189$  ft/s ,  $D = 0.052$  ft ) dan menuju tangki absorber. Ujung pipa berada 50 cm diatas permukaan larutan pada tangki absorber. Kehilangan friksi diabaikan, karena terlalu kecil.

**BAB V NERACA MASSA DAN ENERGI**

$$\begin{aligned} \frac{3}{4}'' &= 0.06225 \text{ ft}^2 \\ \frac{1}{2}'' &= 0.04165 \text{ ft}^2 \\ v_2 &= \frac{0.1189 \times 0.6225}{0.04165} = 1.777 \text{ ft/s} \\ \eta W_s &= \frac{v_2^2}{2gc} + Z_2 \frac{g}{gc} + \sum F \\ 0.65 W_s &= \frac{1.777^2}{2 \times 32,174} + 1.64 \frac{0.8}{32,174} + 0 \\ W_s &= 0.138 \text{ ft lbf/ lbm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju alir massa} &= 0.06225 \text{ ft}^2 \times 0.1189 \text{ ft/s} \times 0.8 \times \\ &62.37 \text{ lb/ft}^3 \\ &= 3,693 \text{ lbm/s} \\ \text{Power} &= \frac{m W_s}{550} = \frac{3,693 \times 0.138}{550} = 0.00093 \text{ HP} \\ &= 0.000690 \text{ kW} \end{aligned}$$

**5.1.1.2 Neraca Energi pada Pompa**

$$\begin{aligned} \frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2gc} + Z_1 \frac{g}{gc} + W_s - \sum F &= \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2gc} + Z_2 \frac{g}{gc} \\ \frac{P_2 - P_1}{\rho} &= \frac{v_1^2 - v_2^2}{2gc} + \eta W_s \\ &= \frac{0,1189 - 1,77}{2 \times 32,17} + 0.0897 \\ P_2 - P_1 &= 0.8 \times 62,37 \left( \frac{0,1189 - 1,77}{2 \times 32,17} + 0.0897 \right) \\ -\Delta P &= 3.195 \frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^2} = 3.195 / 144 = 0.0222 \frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2} \end{aligned}$$



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB VI ANGGARAN BIAYA

### 6.1 Anggaran Biaya Pembuatan Produk

Estimasi anggaran biaya pembuatan alat purifikasi gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S dengan menggunakan larutan *Benfield* dan CuSO<sub>4</sub> pada skala industry kecil dengan jumlah produksi alat sebanyak 50 buah. Dengan rincian alat sebagai berikut:

- Sepasang Absorber (2 buah)
- Botol (100 buah) absorben

#### 6.1.1 Peralatan (*Equipment*)

Peralatan merupakan sebuah penunjang dan hal yang harus ada di dalam industry. Berikut merupakan biaya investasi peralatan pembuatan absorber:

**Tabel 6.1** Biaya Investasi Peralatan Absorber Selama 3 Tahun

Keterangan	Spesifikasi	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Total Biaya (Rp)
Bor	<i>Fisch</i> 180 Rpm, 3,6 Volt	1 buah	200.000	200.000
Gergaji	Multifungsi 4 in 1	1 buah	200.000	200.000
Gunting	Gunting Pipa PVC	2 buah	80.000	160.000
Timbangan elektrik	Digital SF 400 kapasitas 10 kg	1 buah	150.000	150.000
<i>Stabilizer</i>	GC	1 buah	300.000	300.000

## BAB VI ANGGARAN BIAYA



Keterangan	Spesifikasi	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Total Biaya (Rp)
	<i>Automatic Voltage Regulator</i> AC 220v 50/60 Hz 100 vA			
<b>Subtotal</b>				1.010.000

### 6.1.2 Biaya Habis Pakai

Bahan baku merupakan bagian terpenting dalam proses produksi. Sehingga biaya bahan baku sangat perlu diperhitungkan untuk memperoleh analisa ekonomi yang baik. Berikut merupakan beberapa kebutuhan bahan baku sekali produksi:

**Tabel 6.2** Biaya Habis Pakai Sekali Produksi

Keterangan	Spesifikasi	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Total Biaya (Rp)
CuSO <sub>4</sub>	Teknis	1 Kg	30.000/500 gr	60.000
DEA	Teknis	1 Liter	180.000/L	180.000
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Teknis	3 kg	50.000/kg	150.000
Kolom Absorber	Bahan Kaca, 90 cm x 30cm	100 buah	90.000/buah	9.000.000
Lem	<i>sealant</i>	10 buah	20.000/buah	200.000
Pipa	1/2"	15 meter	15.000/meter	225.000
<i>Vacuum pump</i>	240 Volt	50buah	80.000	4.000.000

**BAB VI ANGGARAN BIAYA**

<b>Keterangan</b>	<b>Spesifikasi</b>	<b>Kuantitas</b>	<b>Harga Satuan (Rp)</b>	<b>Total Biaya (Rp)</b>
Barometer	0-315 kg/cm <sup>2</sup>	50 buah	90.000	4.500.000
Botol	Tahan bahan kimia, 2L	100 buah	10.000/buah	1.000.000
Maintenance peralatan	-	-	500.000	500.000
Gaji Karyawan	-	5 orang	3.500.000	17.500.000
Air		1 M <sup>3</sup>	3.000	3.000
Listrik		150 KWh	1.500	225.000
<b>Subtotal</b>				<b>37.543.000</b>

**6.2 Biaya Tetap (*Fixed Cost*)**

Biaya tetap adalah total biaya yang tidak akan mengalami perubahan walaupun terjadi pengurangan jumlah produksi dan akan terus ada walaupun perusahaan tidak melakukan produksi. Biaya tetap pada produksi absorber ini yaitu investasi peralatan yang diprediksi dapat digunakan dalam kurun waktu 3 tahun.

$$FC = \text{Rp. } 1.010.000$$

**6.3 Biaya Variabel (*Variable Cost*)**

Biaya *variable* adalah total biaya yang berubah-ubah bergantung pada jumlah produksi. Biaya variabel akan berubah secara proposional dengan perubahan volume produksi. Biaya variabel meliputi kebutuhan bahan baku.

1. Biaya Variabel per produksi = Rp 37.543.000
2. Biaya Variabel selama 1 Bulan = Rp 37.543.000 x 25



---


$$= \text{Rp } 938.575.000$$

Berdasarkan nilai *variable cost* (VC) dan *fixed cost* (FC) diatas maka dapat dihitung *total cost* (TC) per produksi seperti dibawah ini:

$$\text{TC} = \text{FC} + \text{VC}$$

$$\text{TC} = 1.010.000 + 37.543.000$$

$$\text{TC} = 38.553.000$$

#### 6.4 Harga Pokok Penjualan (HPP)

Harga pokok penjualan adalah seluruh biaya yang dikeluarkan untuk memperoleh barang yang dijual atau harga perolehan dari barang yang dijual.

##### 1. HPP

$$\begin{aligned} \text{HPP} &= \frac{\text{TC}}{\text{Jumlah Produk Per Produksi}} \\ &= \frac{38.553.000}{50} \\ &= \text{Rp. } 771.060 \end{aligned}$$

##### 2. Laba (30% HPP)

$$\begin{aligned} \text{Laba per buah} &= 30\% \times 771.060 \\ &= \text{Rp. } 231.318 \\ \text{Laba per bulan} &= \text{Rp. } 231.318 \times 1250 \\ &= \text{Rp. } 289.147.500 \\ \text{Laba per tahun} &= \text{Rp. } 289.147.500 \times 12 \\ &= \text{Rp. } 3.469.770.000 \end{aligned}$$

##### 3. Harga Jual

$$\begin{aligned} \text{Harga per buah} &= \text{HPP} + \text{Laba} \\ &= \text{Rp. } 771.060 + \text{Rp. } 231.318 \\ &= \text{Rp. } 1.002.378 \\ \text{per produksi} &= \text{Rp. } 1.002.378 \times 50 \\ &= \text{Rp. } 50.118.900 \\ \text{per bulan} &= \text{Rp. } 50.118.900 \times 25 \\ &= \text{Rp. } 1.252.972.500 \end{aligned}$$

**BAB VI ANGGARAN BIAYA****6.5 Break Event Point (BEP)**

*Break event point* (BEP) adalah titik impas dimana posisi jumlah pendapatan dan biaya sama atau seimbang sehingga tidak terdapat keuntungan ataupun kerugian dalam suatu perusahaan.

**6.5.1 Metode Perhitungan Aljabar****a. BEP Unit**

$$\text{BEP unit} = \frac{\text{FC}}{\text{harga jual perbuah} - \text{VC perbuah}}$$

$$\text{BEP unit} = \frac{1.010.000}{1.002.378 - 750.860}$$

$$\text{BEP unit} = 4 \text{ unit}$$

**b. BEP Rupiah**

$$\text{BEP Rupiah} =$$

$$\begin{aligned} & \frac{\text{FC}}{\text{harga jual perbuah} - \text{VC perbuah}} \times \text{harga jual} \\ &= \frac{1.010.000}{1.002.378 - 750.860} \times 1.002.378 \\ &= \text{Rp. } 4.025.166 \end{aligned}$$

**6.5.2 Metode Grafik****Tabel VI.5** Perhitungan Biaya Penjualan

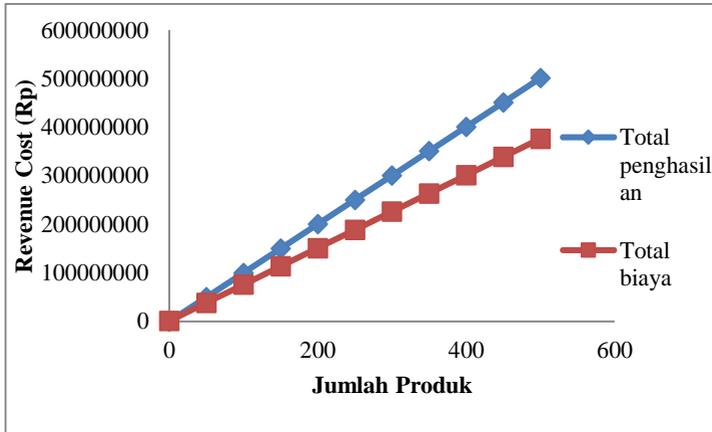
<b>Produk</b>	<b>Total Penghasilan (Rp)</b>	<b>Biaya Tetap (Rp)</b>	<b>Biaya Variabel (Rp)</b>	<b>Total Biaya (Rp)</b>
0	0	1,010,000	0	1,010,000
50	50118900	1,010,000	37543000	38,553,000
100	100237800	1,010,000	75086000	76,096,000
150	150356700	1,010,000	112629000	113,639,000
200	200475600	1,010,000	150172000	151,182,000
250	250594500	1,010,000	187715000	188,725,000
300	300713400	1,010,000	225258000	226,268,000
350	350832300	1,010,000	262801000	263,811,000
400	400951200	1,010,000	300344000	301,354,000
450	451070100	1,010,000	337887000	338,897,000
500	501189000	1,010,000	375430000	376,440,000

Dimana,

1. Total penghasilan diperoleh dari harga jual x jumlah produk
2. *Fixed Cost* diperoleh dari penjumlahan biaya investasi peralatan, biaya utilitas dan pedukung lainnya.
3. *Variabel cost* diperoleh dari *variabel cost* perbuah x jumlah produk
4. Total biaya diperoleh dari penjumlahan *Fixed cost* dan *Variabel cost*

**BAB VI ANGGARAN BIAYA**

Sehingga dapat diproyeksikan pada gambar dibawah:



**Gambar 6.1** *Break Event Point*



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB VII**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **7.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian tugas akhir yang telah dilaksanakan dapat diambil kesimpulan bahwa pembuatan alat purifikasi gas H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> dengan menggunakan absorben CuSO<sub>4</sub> dan larutan *benfield* optimum pada penggunaan konsentrasi absorben CuSO<sub>4</sub> 0,3 M dan larutan *benfield* dengan penambahan katalis DEA, dengan efisiensi penyerapan gas H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> secara berturut-turut sebesar 75,23% dan 73,50%. Adapun jumlah H<sub>2</sub>S akhir sebesar 2140,86 ppm dan masih belum sesuai dengan Standar keamanan dan kesehatan yang memberikan ijin jumlah H<sub>2</sub>S maksimum pada bahan bakar sebesar 20 ppm. Sedangkan jumlah gas CO<sub>2</sub> akhir sebesar 32491,57 ppm dan masih belum sesuai apabila dibandingkan dengan data TLV-TWA yang memberikan ijin jumlah CO<sub>2</sub> maksimal pada lingkungan sebesar 5000 ppm. Sehingga alat purifikasi yang telah dibuat masih belum dapat dikomersialkan.

#### **7.2 Saran**

1. Pembuatan alat absorber dapat dilakukan dengan ukuran yang lebih besar beserta bahan absorber dapat dibuat dengan *stainless steel* untuk menunjang proses optimalisasi absorpsi dan komersialisasi.
2. Penggabungan dua absorben CuSO<sub>4</sub> dan larutan *benfield* dapat diaplikasikan pada penggabungan dua absorben jenis lain.



## **BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN**

---

3. Diperlukan pengkajian lebih lanjut terkait absorben yang digunakan seperti pemilihan jenis absorben maupun pemilihan konsentrasi, sehingga dapat mengabsorpsi gas pengotor lebih optimal

## DAFTAR PUSTAKA

- Andardini, P., 2010, Pemurnian Biogas dengan Proses Adsorpsi CO<sub>2</sub>, Thesis, Magister Sistem Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Bagus Kurniadi, D. R. (2017). Pengaruh Larutan Benfield, Laju Alir Gas Proses, Dan Beban Reboiler Terhadap Analisa Kinerja Kolom CO<sub>2</sub> Absorber Dengan Menggunakan Simulator Aspen Plus V. 8.6. *Konversi*, 2.
- Deublin, D., & Steinhäuser, A. (2008). *Biogas From Waste and Renewable Resources*. Morlenbach: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim.
- Hamidi, N., Wardana, I., dan Widhiyanuriyawan, D., 2011, *Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam*, Jurnal Rekayasa Mesin, Vol.2, No. 3, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Malang.
- Haryandi, 2011, *Penurunan Konsentrasi Gas CO<sub>2</sub> Pada Biogas dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Larutan Ca(OH)<sub>2</sub>*, Thesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Horikawa, M., Rossi, Gimenes, Costa, da Silva. 2004. Chemical Absorption of H<sub>2</sub>S for Biogas Purification. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 21(03):415-422.
- Kumoro, Andri Cahyo, Hadiyanto, 2004, *Absorpsi Karbondioksida Dengan Larutan Soda Api Dalam Kolom Unggun Tetap*. Forum Teknik Jilid 24.
- Kwartiningsih, E., Jumari, A., D., A., Sugihartati, P.W., E., & Sumarni. (2011). Absorpsi H<sub>2</sub>S menggunakan Larutan FE-EDTA Dalam Packed Column. *Ekuilibrium Vol. 10. No.2 ISSN: 1412-9124*, 49-53.
- M. Mavroudi, S.P. Kaldis, and G.P. Sakellariopoulos, "A study of mass transfer resistance in membrane gas-liquid contacting processes", *Journal of Membrane Science*, 272 (1-2) (2006), pp. 103-115.
- MS, N. A., Kusuma, I. W., & Widiyarta, I. M. (2013). Pemurnian Biogas Terhadap Gas Pengotor Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) Dengan Teknik Adsorpsi Kolom Manometer. *Jurnal Logic. Vol.13 No.1*, 58.
- Sutrasno Kartohardjono, Anggara, Subihi, dan Yuliusman, 2007, *Absorpsi CO<sub>2</sub> Dari Campurannya Dengan CH<sub>4</sub> Atau N<sub>2</sub> Melalui*

*Kontraktor Membran Serat Berongga Menggunakan Pelarut Air,  
Makara, Teknologi, VOL. 11, NO. 2, Departemen Teknik Kimia  
Universitas Indonesia, Depok.*

## DAFTAR NOTASI

<b>Notasi</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>
M	Molaritas	mol/liter
V	Volume	mL
%	Persentase	-
$\rho$	Densitas	gr/cm <sup>3</sup>

## APPENDIKS

### 1. Pembuatan Larutan CuSO<sub>4</sub>

#### a. CuSO<sub>4</sub> 0.1 M

$$\begin{aligned} &= \frac{0.1 \text{ grek}}{1 \text{ liter larutan}} \times \frac{1 \text{ gmol}}{2 \text{ grek}} \times \frac{249.68 \text{ gram}}{1 \text{ gmol}} \\ &= \frac{12,484 \text{ gram}}{1 \text{ liter larutan}} = \frac{18,73 \text{ gram}}{1,5 \text{ liter larutan}} \end{aligned}$$

Jadi, untuk membuat larutan 1500 mL CuSO<sub>4</sub> 0.1 M dapat dilakukan dengan melarutkan 18,73 gram CuSO<sub>4</sub> kedalam aquadest hingga mencapai volume 1500 mL.

#### b. CuSO<sub>4</sub> 0.2 M

$$\begin{aligned} &= \frac{0.2 \text{ grek}}{1 \text{ liter larutan}} \times \frac{1 \text{ gmol}}{2 \text{ grek}} \times \frac{249.68 \text{ gram}}{1 \text{ gmol}} \\ &= \frac{24,97 \text{ gram}}{1 \text{ liter larutan}} = \frac{37,45 \text{ gram}}{1,5 \text{ liter larutan}} \end{aligned}$$

Jadi, untuk membuat larutan 1500 mL CuSO<sub>4</sub> 0.1 M dapat dilakukan dengan melarutkan 37,45 gram CuSO<sub>4</sub> kedalam aquadest hingga mencapai volume 1500 mL.

#### c. CuSO<sub>4</sub> 0.3 M

$$\begin{aligned} &= \frac{0.3 \text{ grek}}{1 \text{ liter larutan}} \times \frac{1 \text{ gmol}}{2 \text{ grek}} \times \frac{249.68 \text{ gram}}{1 \text{ gmol}} \\ &= \frac{37,45 \text{ gram}}{1 \text{ liter larutan}} = \frac{56,18 \text{ gram}}{1,5 \text{ liter larutan}} \end{aligned}$$

Jadi, untuk membuat larutan 1500 mL CuSO<sub>4</sub> 0.1 M dapat dilakukan dengan melarutkan 56,18 gram CuSO<sub>4</sub> kedalam aquadest hingga mencapai volume 1500 mL.

#### d. CuSO<sub>4</sub> 0.4 M

$$\begin{aligned}
&= \frac{0.4 \text{ grek}}{1 \text{ liter larutan}} \times \frac{1 \text{ gmol}}{2 \text{ grek}} \times \frac{249.68 \text{ gram}}{1 \text{ gmol}} \\
&= \frac{49,94 \text{ gram}}{1 \text{ liter larutan}} = \frac{74,94 \text{ gram}}{1,5 \text{ liter larutan}}
\end{aligned}$$

Jadi, untuk membuat larutan 1500 mL  $\text{CuSO}_4$  0.1 M dapat dilakukan dengan melarutkan 74,94 gram  $\text{CuSO}_4$  kedalam aquadest hingga mencapai volume 1500 mL.

## 2. Pembuatan Larutan *Benfield*

### a. Tanpa Katalis DEA

Pembuatan larutan *benfield* tanpa menggunakan katalis DEA sebanyak 1500 gram dapat dilakukan dengan melarutkan 30%  $\text{K}_2\text{CO}_3$  dan 70% yang tersisa adalah air, sehingga dapat dibuat dengan cara menggunakan persentase berat.

$$30\% \times 1500 = 450 \text{ gram } \text{K}_2\text{CO}_3$$

$$70\% \times 1500 = 1050 \text{ gram air} = 1050 \text{ mL}$$

Jadi pembuatan larutan *benfield* tanpa menggunakan katalis DEA sebanyak 1500 gram dapat dilakukan dengan melarutkan 450 gram  $\text{K}_2\text{CO}_3$  ke dalam aquadest sebanyak 1050 mL.

### b. Menggunakan Katalis DEA

Pembuatan larutan *benfield* dengan menggunakan katalis DEA sebanyak 1500 gram dapat dilakukan dengan melarutkan 30%  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , 3% DEA dan 66% yang tersisa adalah air, sehingga dapat dibuat dengan cara menggunakan persentase berat.

$$30\% \times 1500 = 450 \text{ gram } \text{K}_2\text{CO}_3$$

$$3\% \times 1500 = 45 \text{ gram DEA} = 39,5 \text{ mL } (\rho = 1,14)$$

$$66\% \times 1500 = 990 \text{ gram air} = 990 \text{ mL air}$$

Jadi pembuatan larutan *benfield* dengan menggunakan katalis DEA sebanyak 1500 gram dapat dilakukan dengan melarutkan 450 gram  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , 39,5 mL DEA ke dalam aquadest sebanyak 990 mL.

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Sidoarjo pada tanggal 22 Mei 1997 dengan nama lengkap Anuraga Surya Amrousi Arsad. Penulis telah menempuh pendidikan formal, yaitu SD Hang Tuah 10 Juanda, SMPN 1 Waru, SMAN 2 Sidoarjo, dan melanjutkan kuliah di jurusan DIII Teknik Kimia Industri ITS Surabaya pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 10411500000026.

Selama kuliah penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan kepanitiaan serta kepanitiaan baik ditingkat fakultas maupun Institut, selain itu penulis juga aktif dalam organisasi. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis dapat menghubungi melalui email: [Anuragasurya20@gmail.com](mailto:Anuragasurya20@gmail.com).



Penulis dilahirkan di Pulau Masalembu, Sumenep, Madura pada tanggal 10 Februari 1997 dengan nama lengkap Yustina Dwilia Pebrinia. Penulis telah menempuh pendidikan formal, yaitu SDN Masalima 1, SMPN 1 Masalembu, SMAN 1 Sumenep, dan melanjutkan kuliah di jurusan DIII Teknik Kimia Industri ITS Surabaya pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 10411500000031.

Selama kuliah penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan pelatihan, kepanitiaan baik ditingkat jurusan ataupun fakultas, selain itu penulis juga aktif dalam organisasi. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis dapat menghubungi melalui email: [Febriniaiyus12@gmail.com](mailto:Febriniaiyus12@gmail.com).