



TUGAS AKHIR - TK145501

**PEMANFAATAN LIMBAH CAIR VINASSE
INDUSTRI BIOETHANOL MENJADI BIOGAS
MENGUNAKAN BIODIGESTER**

PRAMESWARI AYUNING TIYAS
NRP. 2314 030 081

FAHESTIN PUTRI ARIANTO
NRP. 2314 030 101

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

PROGRAM STUDI DIII TEKNIK KIMIA
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TK145501

UTILIZATION OF WASTE LIQUID VINASSE FROM BIOETHANOL INDUSTRY INTO BIOGAS USING BIODIGESTER

PRAMESWARI AYUNING TIYAS
NRP. 2314 030 081

FAHESTIN PUTRI ARIANTO
NRP. 2314 030 101

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

STUDY PROGRAM DIII OF CHEMICAL ENGINEERING
DEPARTEMEN DIPLOMA OF INDUSTRIAL CHEMICAL
ENGINEERING
Faculty Of Vocation
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN TUGAS AKHIR DENGAN JUDUL : PEMANFAATAN LIMBAH CAIR VINASSE INDUSTRI BIOETHANOL MENJADI BIOGAS MENGGUNAKAN BIODIGESTER TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Departemen Teknik Kimia Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

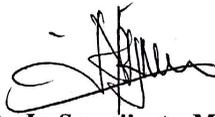
Oleh

Prameswari Ayuning Tiyas
Fahestin Putri Arianto

(NRP 2314 030 081)
(NRP 2314 030 101)

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

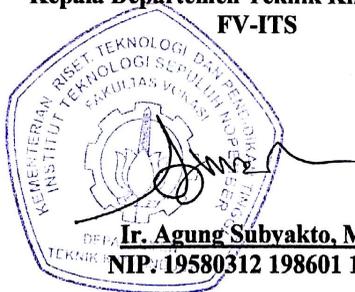
Dosen Pembimbing



Prof. Dr. Ir. Soeprijanto, M.Sc.
NIP. 19580708 198701 1 001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Kimia Industri
FV-ITS



Ir. Agung Subyakto, M.S.
NIP. 19580312 198601 1 001

SURABAYA, 24 JULI 2017

LEMBAR REVISI

Telah diperiksa dan disetujui sesuai dengan hasil ujian tugas akhir pada tanggal 10 Juli 2017 untuk tugas akhir dengan judul **“Pemanfaatan Limbah Cair *Vinasse* Industri Bioethanol Menjadi Biogas Menggunakan Biodigester”**, yang disusun oleh

:

Prameswari Ayuning Tiyas
Fahestin Putri Arianto

(NRP 2314 030 081)
(NRP 2314 030 101)

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir :

1. Ir. Imam Syafril, M.T.



.....

2. Ir. Budi Setiawan, M.T.



.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

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



.....

SURABAYA, 24 JULI 2017

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia dan ridho-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“PEMANFAATAN LIMBAH CAIR VINASSE INDUSTRI BIOETHANOL MENJADI BIOGAS MENGGUNAKAN BIODIGESTER”**. Sholawat serta salam kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu tugas yang harus diselesaikan sebagai persyaratan kelulusan program studi DIII Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah mahasiswa dapat memahami dan mampu mengenal proses pembuatan produk pada industri terutama industri kimia yang telah dipelajari di bangku perkuliahan serta aplikasinya dalam sebuah pembuatan produk (Inovasi Produk)

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya atas selesainya Tugas Akhir ini, penulis 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 diungkapkan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Soeprijanto, M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir Program Studi DIII Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Bapak Ir. Budi Setiawan, M.T selaku dosen penguji Tugas Akhir Program Studi DIII Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Bapak Ir. Imam Syafril, M.T selaku dosen penguji Tugas Akhir Program Studi DIII Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Bapak Ir. Agung Subyakto, MS selaku Ketua Program Studi DIII Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
6. Ibu Warlinda Eka Triastuti, S.Si, MT selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi DIII Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

7. Ibu Warlinda Eka Triastuti, S.Si, MT selaku Dosen Wali Program Studi DIII Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

8. Ibu Nurlaili Humaidah S.T, M.T selaku Dosen Wali Program Studi DIII Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

9. Segenap dosen, staf dan karyawan Program Studi DIII Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

10. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan di sini yang telah membantu terselesainya Tugas Akhir ini.

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

Surabaya, Juli 2017
Penulis

PEMANFAATAN LIMBAH CAIR VINASSE INDUSTRI BIOETHANOL MENJADI BIOGAS MENGUNAKAN BIODIGESTER

Nama Mahasiswa : Prameswari Ayuning Tiyas (2314 030 081)
Fahestin Putri Arianto (2314 030 101)
Jurusan : D3 Teknik Kimia Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Soeprijanto, M.Sc

Abstrak

Vinasse merupakan produk bawah distilasi dari proses pembuatan ethanol yang dapat diuraikan secara biologi dengan memanfaatkan mikroorganisme dengan pengolahan secara anaerobic sehingga dapat menghasilkan biogas. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh HRT pada 7, 14 dan 21 hari terhadap hasil biogas secara kualitatif, mengetahui pengaruh penambahan proses pemurnian dan tanpa proses pemurnian terhadap hasil produksi biogas secara kualitatif dan kuantitatif.

Prosedur penelitian, pertama menganalisa kandungan limbah vinasse dari PT Enero Indonesia untuk menentukan kondisi operasi, setelah itu menyiapkan limbah cair vinasse dan biodigester, setelah itu pada proses pembuatan produk, limbah cair pabrik biogas dari vinasse industri bioetanol sebanyak 35 liter, dimasukan ke dalam biodigester. Kemudian dilakukan pengumpanan sesuai dengan variabel HRT 7, 14 dan 21 hari secara kontinyu. Selama proses tersebut dilakukan pengamatan terhadap gas yang dihasilkan. Biogas yang dihasilkan ditampung dalam plastik berbentuk tabung, lalu volume biogas yang dihasilkan diukur dengan menggunakan gelas ukur. Untuk tahap pemurnian menggunakan Erlenmeyer yang berisi larutan NaOH dan larutan $FeCl_2$ yang dihubungkan dengan selang. Untuk tahap analisa menggunakan metode Gas Chromatography pada Laboratorium Energi ITS.

Penelitian ini menghasilkan volume biogas yang paling tinggi pada HRT 21 hari dengan volume rata-rata sebesar 1275,17 ml. Untuk proses pemurnian dihasilkan presentase gas metan, gas karbondioksida dan gas hidrogen sulfida yang berubah dimana untuk gas metan mengalami peningkatan dari 24,24% sebelum pemurnian menjadi 30,54% setelah pemurnian. Untuk karbondioksida mengalami penurunan dari 43,45% sebelum pemurnian menjadi 2,97% setelah pemurnian. Dan untuk gas hidrogen sulfida mengalami penurunan dari 4,05% sebelum pemurnian dan 0,42% setelah pemurnian.

Kata kunci : Biogas, HRT, Metana, Limbah Cair Industri Bioetanol

UTILIZATION OF WASTE LIQUID VINASSE FROM BIOETHANOL INDUSTRY INTO BIOGAS USING BIODIGESTER

Student Name : Prameswari Ayuning Tiyas (2314 030 081)
: Fahestin Putri Arianto (2314 030 101)
Department : D3 Industrial Chemical Engineering FV-ITS
Lecture : Prof. Dr. Ir. Soeprijanto, M.Sc

Abstract

Vinasse is a product under the distillation of a process of making ethanol that can be biologically described by utilizing microorganisms with anaerobic processing so as to produce biogas. The purpose of this research is to know the effect of HRT on 7, 14 and 21 days on biogas result qualitatively, to know the effect of addition of purification process and without purification process to biogas production result qualitatively and quantitatively.

The research procedure, first analyzes the vinasse waste content of PT Enero Indonesia to determine the operating conditions, after which preparing the vinasse and biodigester wastewater, after which in the product manufacturing process, biogas wastewater from the bioethanol industry vinasse of 35 liters, is incorporated into biodigester. Then fed according to HRT 7, 14 and 21 days continuously. During the process the observation of the gas produced. The resulting biogas is accommodated in a tubular plastic, then the resulting biogas volume is measured using a measuring cup. For purification step use Erlenmeyer containing NaOH solution and FeCl₂ solution connected with hose. For the analysis phase using Gas Chromatography method at ITS Energy Laboratory.

This study produced the highest biogas volume in HRT 21 days with an average volume of 1275.17 ml. For purification process, the percentage of methane gas, carbon dioxide gas and

hydrogen sulphide gas changed which for methane gas increased from 24.24% before refining to 30.54% after purification. For carbon dioxide decreased from 43.45% before refining to 2.97% after purification. And for hydrogen sulfide gas decreased from 4.05% before purification and 0.42% after purification.

Keywords: *Biogas, HRT, Methane, Liquid Waste Bioethanol Industry*

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR GRAFIK	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Perumusan Masalah	I-2
1.3 Batasan Masalah	I-2
1.4 Tujuan Inovasi Produk	I-2
1.5 Manfaat Inovasi Produk	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pendahuluan	II-1
2.1.1 Sejarah Biogas	II-1
2.1.2 Definisi Biogas	II-3
2.1.3 Manfaat Biogas.....	II-4
2.1.4 Komposisi dan Kandungan Biogas.....	II-7
2.2. Proses Pembentukan Biogas	II-8
2.3 Pemanfaatan Vinasse.....	II-12
2.3.1 Vinasse.....	II-12
2.3.2 Meningkatkan Kadar Methane	II-13
2.4 Biodigester	II-15
2.4.1 Jenis-Jenis Biodigester	II-16
2.4.2 Komponen Utama Biodigester	II-21
2.4.3 Kondisi Biodigester yang Baik.....	II-23
2.5 Faktor yang Mempengaruhi Proses Pembentukan Biogas	II-25
BAB III METODOLOGI PEMBUATAN PRODUK	
3.1 Bahan yang Digunakan	III-1
3.2 Peralatan yang Digunakan.....	III-1
3.2.1 Variabel yang Dipilih.....	III-1

3.3	Prosedur Pembuatan	III-2
3.3.1	Tahap Persiapan	III-2
3.3.2	Tahap Proses Pembuatan Produk	III-2
3.3.3	Tahap Pemurnian.....	III-2
3.3.4	Tahap Analisa	III-3
3.3.5	Tempat Pelaksanaan	III-3
3.3.6	Diagram Alir Proses	III-4
BAB IV HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Percobaan.....	IV-1
4.1.1	Pengaruh <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) 7, 14, dan 21 Hari Terhadap Volume Biogas.....	IV-1
4.1.2	Analisa Komposisi Biogas	IV-9
4.2	Pembahasan	IV-11
4.2.1	Pengaruh <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) Terhadap Produksi Biogas.....	IV-11
4.2.2	Pemurnian Biogas dengan menggunakan metode absorpsi dengan larutan NaOH dan FeCl ₂	IV-13
BAB V NERACA MASSA DAN NERACA PANAS		
5.1	Neraca Massa.....	V-1
5.1.1	Neraca Massa Digester	V-1
5.1.1.1	Reaksi Asidogenesis.....	V-2
5.1.1.2	Reaksi Asetogenesis.....	V-2
5.1.1.3	Reaksi Metanogenesis.....	V-3
5.1.1.4	Reaksi Ammonium Sulfat (NH ₄) ₂ SO ₄	V-3
5.1.2	Neraca Massa Absorber CO ₂	V-6
5.1.3	Neraca Massa Absorber H ₂ S	V-7
5.2	Neraca Panas	V-8
5.2.1	Neraca Panas Proses Asidogenesis	V-11
5.2.2	Neraca Panas Proses Asetogenesis.....	V-12
5.2.3	Neraca Panas Proses Pembentukan Sulfat	V-13
5.2.3	Neraca Panas Proses Metanogenesis.....	V-14
5.2.4	Neraca Panas Proses Pemurnian	V-17
BAB VI ANALISIS KEUANGAN		

6.1 Anggaran Biaya	VI-1
6.2 Harga Pokok Penjualan (HPP).....	VI-3
6.3 <i>Break Even Point</i> (BEP)	VI-4
BAB VII KESIMPULAN	
7.1 Kesimpulan	VII-1
7.2 Saran.....	VII-3
DAFTAR NOTASI.....	xiv
DAFTAR PUSTAKA	xv
APPENDIKS A	xvii
APPENDIKS B	xxx

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tahapan Pembentukan Biogas	II-9
Gambar 2.2 Biodigester Fixed Dome	II-17
Gambar 2.3 Biodigester Floating Dome	II-19

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Pengaruh <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) 7 Hari Terhadap Volume Biogas yang Dihasilkan Selama 30 hari.....	IV-3
Grafik 4.2 Pengaruh <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) 14 Hari Terhadap Volume Biogas yang Dihasilkan Selama 30 hari	IV-5
Grafik 4.3 Pengaruh <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) 21 Hari Terhadap Volume Biogas yang Dihasilkan Selama 30 hari.....	IV-6
Grafik 4.4 Volume Biogas yang Dihasilkan Selama 30 Hari Pada HRT (<i>Hydraulic Retention Time</i>) 7, 14 dan 21 hari	IV-8

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Biogas	II-8
Tabel 2.2 Komposisi Vinasse.....	II-12
Tabel 2.3 Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Ethanol	II-13
Tabel 2.4 Sifat Fisik dan Kimia dari H ₂ S.....	II-15
Tabel 2.5 Kelebihan dan Kekurangan Biodigster Fixed Dome	II-18
Tabel 4.1 Volume Biogas Pada HRT 7 Hari, 14 Hari, dan 21 Hari	IV-2
Tabel 4.4 Komposisi Biogas Pada HRT 21 Hari.....	IV-9
Tabel 5.1 Komposisi Vinasse.....	V-1
Tabel 5.2 Berat Molekul	V-1
Tabel 5.3 Neraca Massa Komponen Reaksi Asidogenesis	V-2
Tabel 5.4 Neraca Massa Komponen Reaksi Asetogenesis.....	V-3
Tabel 5.5 Neraca Massa Komponen Reaksi Pembentukan Sulfat	V-3
Tabel 5.6 Neraca Massa Komponen Reaksi Metanogenesis.....	V-4
Tabel 5.7 Neraca Massa Total Digester	V-5
Tabel 5.8 Neraca Massa Komponen Reaksi Absorpsi CO ₂	V-7
Tabel 5.9 Neraca Massa Komponen Reaksi Absorpsi H ₂ S	V-7
Tabel 5.10 Neraca Massa Total Absorber	V-8
Tabel 5.1.1 <i>Heat Capacity of The Element</i> (J/mol°C).....	V-9
Tabel 5.1.2 Menghitung <i>Heat Capacity</i>	V-9
Tabel 5.1.3 Data Kapasitas Panas (Cp) Komponen	V-10
Tabel 5.1.4 Data <i>Heat of Formation</i> (ΔHf) Senyawa	V-10
Tabel 5.1.5 Perhitungan H Reaksi Asidogenesis	V-11
Tabel 5.1.6 Perhitungan ΔH ₂₅ Asidogenesis.....	V-11
Tabel 5.1.7 Perhitungan H Reaksi Asetogenesis.....	V-12
Tabel 5.1.8 Perhitungan ΔH ₂₅ Asetogenesis	V-12
Tabel 5.1.9 Perhitungan H Reaksi Pembentukan Sulfat	V-13
Tabel 5.1.10 Perhitungan ΔH ₂₅ Reaksi Pembentukan Sulfat	V-13

Tabel 5.1.11	Perhitungan H Reaksi Metanogenesis	V-14
Tabel 5.1.12	Perhitungan ΔH_{25} Metanogenesis	V-15
Tabel 5.1.13	Neraca Panas Total Digester	V-16
Tabel 5.3.1	<i>Heat Capacity of The Element</i> (J/mol ^o C).....	V-17
Tabel 5.3.2	Menghitung <i>Heat Capacity</i>	V-17
Tabel 5.3.3	Data Kapasitas Panas (Cp) Komponen	V-18
Tabel 5.3.4	Data <i>Heat of Formation</i> (ΔH_f) Senyawa	V-18
Tabel 5.3.5	Perhitungan H Reaksi Absorpsi CO ₂	V-19
Tabel 5.3.6	Perhitungan H Reaksi Absorpsi H ₂ S	V-20
Tabel 5.3.7	Perhitungan ΔH_{25} Reaksi Absorpsi H ₂ S	V-21
Tabel 5.4.1	Neraca Panas Total Absorber	V-22
Tabel 6.1	Investasi Peralatan Proses	
	Produksi (<i>Fixed Cost</i>)	VI-1
Tabel 6.2	Investasi Bahan Habis Pakai	
	Perhari (<i>Variable Cost</i>).....	VI-2
Tabel 6.3	Pendukung Utilitas.....	VI-2

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pertumbuhan penduduk, pengembangan wilayah, pembangunan dari tahun ketahun dan krisis energi di dunia, maka kebutuhan terhadap bahan bakar minyak secara nasionalpun semakin besar. Kelangkaan bahan bakar minyak yang disebabkan oleh kenaikan harga minyak dunia yang signifikan telah mendorong pemerintah untuk mengajak masyarakat mengatasi masalah energi bersama-sama sehingga banyak penelitian dilakukan untuk mencari energi alternatif yang dapat terbarukan (*renewable resources*). Indonesia memiliki banyak keanekaragaman hayati, diantaranya adalah tebu (*sugar cane*) yang mendorong cukup banyaknya industri gula dan industri etanol. Industri-industri ini cukup berkembang di Indonesia. Namun, limbah yang dihasilkan cukup banyak dan belum dapat dikelola dengan baik oleh pihak industri (*Tsani, 2015*).

Vinasse merupakan produk bawah distilasi dari proses pembuatan ethanol. Produksi rata-rata dari vinasse di tempat penyulingan tebu adalah sekitar 12 galon vinasse per gallon dari etanol, dimana menunjukkan volume yang sangat besar dari pembuangan limbah yang dihasilkan. Ketika dinilai pada suatu populasi atau per capita basis, hasil residu distilasi pada tiap harinya memproduksi 110.000 galon ethanol yang ekuivalen dengan produksi limbah untuk sebuah kota dengan populasi sekitar 768.000 orang. Ini merupakan tantangan yang sangat besar bagi industri untuk memanfaatkan vinasse (*Smith, 2006*).

Biogas adalah campuran gas yang dibentuk oleh beberapa jenis mikroorganismе melalui degradasi bahan



organik dibawah kondisi anaerobik. Di alam, proses ini terjadi pada semua tempat dimana udara tidak termasuk dari bahan organik. Proses anaerobik mendegradasi bahan organik menggunakan beberapa jenis mikroorganismenya untuk membentuk biogas. Biogas menghasilkan dua produk utama, dimana 60% metana (CH_4) dan 40% karbondioksida (CO_2). Sedangkan produk yang lainnya seperti *hydrogen sulfide* (H_2S), ammonia (NH_3), hidrogen (H_2), nitrogen (N_2), karbonmonoksida (CO), *water vapor*, *saturated or halogenated carbohydrates*, partikel debu, siloxane, dan gas oksigen (O_2) (Zulkefli, 2016).

1.2 Perumusan Masalah

Beberapa perumusan masalah yang akan diselesaikan dalam percobaan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh HRT (*Hydraulic Retention Time*) pada 7, 14 dan 21 hari terhadap produksi biogas secara kuantitatif yang dihasilkan dari proses anaerobik ?
2. Bagaimana pengaruh proses pemurnian terhadap kualitas biogas?

1.3 Batasan Masalah

Dalam percobaan ini, batasan masalah yang dipakai adalah sebagai berikut:

1. Bahan baku yang digunakan yaitu vinasse
2. Penelitian dilakukan dengan skala laboratorium

1.4 Tujuan Penelitian

Dalam percobaan ini, tujuan yang ingin dicapai adalah

1. Untuk mengetahui pengaruh HRT (*Hydraulic Retention Time*) pada 7, 14, dan 21 hari terhadap



hasil biogas secara kuantitatif yang dihasilkan dari proses anaerobic.

2. Untuk mengetahui pengaruh proses pemurnian terhadap kualitas biogas.

1.5 Manfaat Produk

Manfaat dari inovasi produk biogas ini adalah:

1. Memanfaatkan vinasse yang diolah menjadi biogas sebagai bahan bakar alternatif.
2. Menghasilkan jumlah produksi biogas yang optimal.
3. Meningkatkan nilai ekonomi vinasse dari pabrik bioetanol.
4. Meningkatkan nilai methane pada komposisi biogas yang dihasilkan.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

2.1.1 Sejarah Biogas

Gas metan sudah sejak lama digunakan oleh warga Mesir, Cina, dan Romawi kuno untuk dibakar serta digunakan sebagai penghasil panas. Adapun proses fermentasi lebih lanjut untuk menghasilkan gas metan ini pertama kali ditemukan oleh Alessandro Volta (1776). Hasil identifikasi gas yang dapat terbakar ini dilakukan oleh William Hendry pada tahun 1806. Becham (1868), yaitu murid Louis Pasteur dan Tappeiner (1882) merupakan orang pertama yang memperlihatkan asal mikrobiologis dari pembentukan metan. Alat penghasil biogas secara anaerobik pertama dibangun pada tahun 1900. Pada akhir abad ke-19, penelitian untuk menjadikan gas metan sebagai biogas dilakukan oleh Jerman dan Perancis pada masa antara dua Perang Dunia. Selama Perang Dunia II, banyak petani di Inggris dan Benua Eropa yang membuat alat penghasil biogas kecil untuk menggerakkan traktor. Akibat kemudahan dalam memperoleh BBM dan harganya yang murah pada tahun 1950-an, pemakaian biogas mulai ditinggalkan. Tetapi di negara-negara berkembang kebutuhan akan sumber energi yang murah dan selalu tersedia tidak selalu ada. Oleh karena itu, di India kegiatan produksi biogas terus dilakukan semenjak abad ke-19 (*Sukmana, 2010*).

Saat ini, negara berkembang lainnya, seperti China, Filipina, Korea, Taiwan dan Papua Nugini telah melakukan berbagai riset dan pengembangan alat penghasil biogas. Selain di negara berkembang, teknologi biogas juga telah dikembangkan di negara maju seperti Jerman. Pembuatan dan penggunaan biogas sebagai energi seperti layaknya energi dari kayu bakar, minyak tanah, gas, dan sebagainya sudah dikenal sejak lama, terutama di kalangan petani Inggris, Rusia dan Amerika Serikat. Sedangkan di Benua Asia, tercatat negara India sejak masih dijajah Inggris sebagai pelopor dan pengguna energi



biogas yang sangat luas, bahkan sudah disatukan dengan WC biasa. Di Indonesia, pembuatan dan penggunaan biogas mulai digalakkan pada awal tahun 1970-an, terutama karena bertujuan memanfaatkan buangan atau sisa yang berlimpah dari benda yang tidak bermanfaat menjadi bermanfaat, serta mencari sumber energi lain diluar kayu bakar dan minyak tanah (*Sukmana, 2010*).

Di Indonesia, penemuan reaktor dan penampung biogas sederhana dari plastik menggunakan kotoran ternak pertama kali dilakukan oleh Andrias Wiji Setio Pamuji pada tahun 2000 saat masih kuliah tingkat III di Jurusan Teknik Kimia Departemen Teknik Industri Institut Teknologi Bandung. Namun, beliau baru memasarkannya pada April 2005. Kotoran sapi yang sudah dicampur air dengan ukuran satu banding satu diubah menjadi reaktor. Setelah menjadi gas kemudian dialirkan pada penampung gas. Melalui selang plastik, gas dialirkan lagi ke kompor gas di dapur untuk memasak. Sekarang, reaktor biogas buatan Andrias telah digunakan oleh 66 peternak sapi perah di Subang, Bandung, Garut, Tasikmalaya, dan Padang, Sumatera Barat, menyusul Bali, Jawa Tengah dan Lampung (*Sukmana, 2010*).

Namun, tingginya bahan bakar minyak menyebabkan penggunaan biogas menjadi kurang berkembang. Teknologi biogas mulai berkembang kembali sejak tahun 2006 ketika harga BBM naik, kebijakan subsidi pemerintah, dan kelangkaan energi menjadi topik utama di Indonesia. Awalnya, biogas dibangun dalam bentuk demplot oleh pemerintah dengan reaktor kubah terapung yang terbuat dari drum yang disambung. Kini, bahan reaktor yang digunakan telah berkembang, ada yang terbuat dari beton, plastik, dan serat kaca (*fiber glass*). Teknologi biogas yang semakin praktis ini dapat meningkatkan potensi penggunaan biogas sebagai sumber energi alternative. Kini, biogas mulai dikembangkan untuk dijadikan energi alternatif pengganti BBM. Kesadaran masyarakat akan pemenuhan sumber energi yang berkelanjutan menjadikan biogas sebagai pilihan yang tepat, terutama bagi masyarakat di daerah pedesaan. Pasalnya, masyarakat pedesaan biasanya memiliki ternak yang dapat



dimanfaatkan limbahnya sehingga dapat mengurangi polusi lingkungan dan menghemat pengeluaran rumah tangga 28 masyarakat yang berprofesi sebagai petani juga dapat menjalankan program pertanian terpadu melalui teknologi biogas dengan memanfaatkan keluaran biogas berupa pupuk organik. Pupuk organik yang dihasilkan pun memiliki kualitas yang prima dan siap pakai. Usaha tersebut dapat mengurangi penggunaan pupuk kimia, sehingga mampu mendukung terciptanya pertanian organik yang saat ini produknya banyak diminati (Wahyuni, 2011).

2.1.2 Definisi Biogas

Biogas atau gas bio merupakan salah satu jenis energi yang dapat dibuat dari banyak jenis bahan buangan dan bahan sisa, sampah, jerami, eceng gondok, kotoran ternak serta banyak bahan-bahan lainnya lagi. Pendeknya, segala jenis bahan yang dalam istilah kimia termasuk senyawa organik, baik berasal dari sisa tanaman ataupun kotoran hewan dapat di jadikan bahan biogas. Biogas biasanya dikenal sebagai gas rawa atau lumpur. Gas campuran ini didapat dari proses perombakan bahan organik oleh mikroba dalam kondisi tanpa oksigen. Proses ini populer dengan nama *anaerob*. Selama proses fermentasi, biogas pun terbentuk (Sukmana, 2010).

Biogas merupakan energi terbarukan yang fleksibel, dapat menghasilkan panas, dan listrik sebagai pengganti bahan bakar kendaraan. Selain berupa energi terbarukan, proses perombakan anaerob menghasilkan pupuk berharga dan mengurangi emisi serta bau yang tak sedap. Biogas bersifat bersih, tidak berasap hitam seperti kayu bakar dan minyak tanah. Selain itu derajat panasnya lebih tinggi dari bahan bakar minyak tanah dan kayu bakar serta dapat disimpan untuk penggunaan yang akan datang. Produksi biogas didasarkan pada perombakan anaerob kotoran hewan dan bahan buangan organik lainnya. Selama perombakan anaerob akan menghasilkan gas metana 54-70 %, karbondioksida 25-45 %, hidrogen, nitrogen, dan hidrogen sulfida dalam jumlah yang sedikit. Biogas berbeda dari sumber-



sumber energi terbarukan lainnya. Keuntungannya terkait dengan pengendalian dan pengumpulan limbah bahan organik, yaitu pada saat yang sama dihasilkan pupuk dan air untuk pemakaian kembali irigasi pertanian. Biogas adalah campuran beberapa gas yang tergolong bahan bakar hasil fermentasi dari bahan organik dalam kondisi anaerob dan gas yang dominan adalah metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2) (Sucipto, 2009).

2.1.3 Manfaat Biogas

Pemanfaatan biogas merupakan salah satu potensi energi yang perlu mendapatkan perhatian. Pemanfaatan kotoran ternak (sapi, kerbau, kuda, kambing, domba, ayam, dan itik) sebagai penghasil biogas bukan saja dapat menambah suplai energi, tetapi dapat pula menghasilkan keluaran (*sludge*) yang sangat baik untuk pupuk organik dibandingkan kotoran ternak yang masih segar (tanpa proses fermentasi) disamping itu secara tidak langsung penggunaan kotoran ternak untuk produksi biogas merupakan salah satu cara pemecahan masalah sanitasi dan kesehatan lingkungan terutama didaerah sekitar peternakan (lingkungan yang tadinya tercemar menjadi bersih), menghindari penebangan hutan yang merupakan dampak dari penggunaan kayu sebagai bahan bakar alternative. Manfaat lain pemanfaatan limbah (kotoran) ternak adalah dapat mengurangi pencemaran lingkungan, karena limbah (kotoran) ternak dapat menghasilkan gas metan yang jika dibiarkan begitu saja akan terlepas dan mencemari lingkungan, karena gas metan hasil penguraian secara natural merupakan salah satu gas rumah kaca (Sukmana, 2010).

Biogas sebagai sumber energi di pedesaan perlu dikembangkan, karena saat ini pemakaian sumber energi yang paling umum di pedesaan adalah bahan bakar minyak. Bahan bakar minyak merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui dan ketersediaannya terbatas, sehingga pengalihan kepada sumber energi biogas dari kotoran ternak adalah sangat perlu terutama bagi penduduk Indonesia yang sebagian besar tinggal dipedesaan. Hal ini memberikan peluang yang baik bagi



pengembangan teknologi biogas di daerah pedesaan (*Sukmana, 2010*).

Salah satu desa percontohan di Jawa Barat untuk pemanfaatan kotoran ternak sapi sebagai bahan bakar alternatif biogas yaitu desa Cisurupan Kabupaten Garut. Unit biogas yang digunakan didesa tersebut terealisasi sejak tahun 2005 berkat kerja keras Lembaga Swadaya Masyarakat Pemberdayaan Masyarakat Desa (PERSADA) Garut yang bekerja sama dengan Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Energi dan Ketenagalistrikan (P3TEK) Jakarta, Sumber Daya Alam dan Pertambangan (SDAP) Garut, Badan Lingkungan Hidup (BLH) Garut, Dinas Peternakan Garut, Balai Penelitian dan Pengembangan Daerah Jawa Barat (Balibangda Jabar) (*Sukmana, 2010*).

Pemanfaatan sumber energi terbarukan yang berasal dari sumber non-fosil seperti sampah perkotaan, kotoran ternak, limbah pertanian dan sumber biomasa lainnya saat ini menjadi semakin penting. Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang dihasilkan oleh fermentasi anaerobik dari bahan organik. Biogas dapat diproduksi dari limbah kotoran hewan, air limbah, dan limbah padat. Komposisinya bervariasi, tergantung sumber bahan biogasnya. Akan tetapi, biasanya memiliki kandungan 50–70 % CH_4 , 25–50 % CO_2 , 1–5 % H_2 , 0,3–3 % N_2 dan H_2S (*Maulana, 2011*).

Biogas merupakan sumber energi yang menarik untuk daerah pedesaan khususnya di negaranegara berkembang. Salah satu karakteristik yang menarik adalah biogas dapat diproduksi mendekati titik konsumsinya sehingga sangat ideal untuk pembangkit listrik yang terdesentralisasi di daerah pedesaan terpencil. Di sisi lain, biogas juga dapat diproduksi pada skala yang lebih besar dari bahan limbah perkotaan dan digunakan untuk menghasilkan listrik bagi masyarakat setempat. Teknologi biogas telah berkembang sejak lama namun aplikasi penggunaannya sebagai sumber energi alternatif belum berkembang secara luas. Beberapa kendala antara lain yaitu



kekurangan kemampuan teknis, reaktor biogas tidak berfungsi akibat bocor/kesalahan konstruksi, desain reaktor tidak user friendly, penanganan masih secara manual dan biaya konstruksi yang mahal (Maulana, 2011).

Biogas merupakan sebuah proses produksi gas bio dari material organik dengan bantuan bakteri. Proses degradasi material organik ini tanpa melibatkan oksigen disebut anaerobic digestion gas yang dihasilkan sebagian besar (lebih 50%) berupa metana, material organik yang terkumpul pada digester (reaktor) akan diuraikan menjadi dua tahap dengan bantuan dua jenis bakteri. Tahap pertama material organik akan didegradasi menjadi asam lemak dengan bantuan bakteri pembentuk asam. Bakteri ini akan menguraikan sampah pada tingkat hidrolisis dan asidifikasi. Hidrolisis yaitu penguraian senyawa yang sederhana. Sedangkan asidifikasi yaitu pembentukan asam dari senyawa sederhana. Setelah material organik berubah menjadi asam lemak, maka tahap kedua dari proses anaerobik digestion adalah pembentukan gas metana dengan bantuan bakteri pembentuk metana seperti *methanococcus*, *methanosarcina*, *methanobacterium*. Biogas sebagian besar mengandung gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), dan beberapa kandungan yang jumlahnya kecil diantaranya *hydrogen sulfide* (H_2S) dan ammonia (NH_3) serta hidrogen dan (H_2), nitrogen sulphur, kandungan air dan karbon dioksida (CO_2). Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH_4). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana (CH_4) semakin kecil nilai kalor. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan parameter yaitu : menghilangkan *hydrogen sulphur*, kandungan air dan karbon dioksida (CO_2) (Maulana, 2011).

Biogas dapat digunakan untuk berbagai keperluan sesuai dengan sifat gas alam. Pemanfaatan biogas dalam teknologi mesin internal (mesin berbahan bakar gas) sangat andal dan telah berkembang. Ribuan mesin berbahan bakar gas telah dioperasikan



di areal pengolahan limbah dan pembangkit biogas. Pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar kendaraan digunakan mesin yang sama konstruksinya dengan kendaraan mesin berbahan bakar gas alam. Terdapat lebih dari tiga juta kendaraan berbahan bakar gas alam di dunia dan sekitar 1000 kendaraan mobil dan bus berbahan bakar biogas. Ini menunjukkan bahwa konstruksi kendaraan menggunakan biogas sebagai bahan bakar kendaraan tidak bermasalah (Sucipto, 2009).

2.1.4 Komposisi dan Kandungan Biogas

Gas metana sebanyak 1 m^3 setara dengan 0,65 kg gas elpiji (LPG). Maka dengan penggunaan metana dapat menghemat penggunaan bahan bakar dari sumber unrenewable. Komponen terbesar yang terkandung dalam biogas adalah metana 50-70% dan karbondioksida 25-45% serta sejumlah kecil nitrogen dan hydrogen sulfida. Tapi metana (CH_4) yang terutama dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Apabila kandungan metana dalam biogas lebih dari 50% maka biogas tersebut telah layak digunakan sebagai bahan bakar. Kandungan yang terdapat dalam biogas dapat mempengaruhi sifat dan kualitas biogas sebagai bahan bakar. Kandungan yang terdapat dalam biogas merupakan hasil dari proses metabolisme mikroorganisme. Biogas yang kandungan metananya lebih dari 45% bersifat mudah terbakar dan merupakan bahan bakar yang cukup baik karena memiliki nilai kalor bakar yang tinggi. Tetapi jika kandungan CO_2 dalam biogas sebesar 25-50% maka dapat mengurangi nilai kalor bakar dari biogas tersebut. Sedangkan kandungan H_2S dalam biogas dapat menyebabkan korosi pada peralatan dan perpipaan dan nitrogen dalam biogas juga dapat mengurangi nilai kalor bakar biogas tersebut. Selain itu terdapat uap air yang juga dapat menyebabkan kerusakan pada pembangkit yang digunakan. (Sunar Tejo Tsani, 2015)

Biogas dapat dijadikan sebagai bahan bakar karena mengandung gas metana (CH_4) dalam presentase yang cukup tinggi. Komponen biogas selengkapnya adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.1 Komposisi Biogas**

Komposisi Biogas	Jumlah (%)
Metana (CH ₄)	50-70
Karbondioksida (CO ₂)	25-45
Nitrogen (N ₂)	0-0,3
Hidrogen (H ₂)	1-5
Oksigen (O ₂)	0,1-0,5
Hidrogen Sulfida	0-3

(Herlina Dewi Mayasari, 2010)

Menurut Mayasari (2010), ada beberapa sifat-sifat kimia dan sifat-sifat fisika dari biogas antara lain :

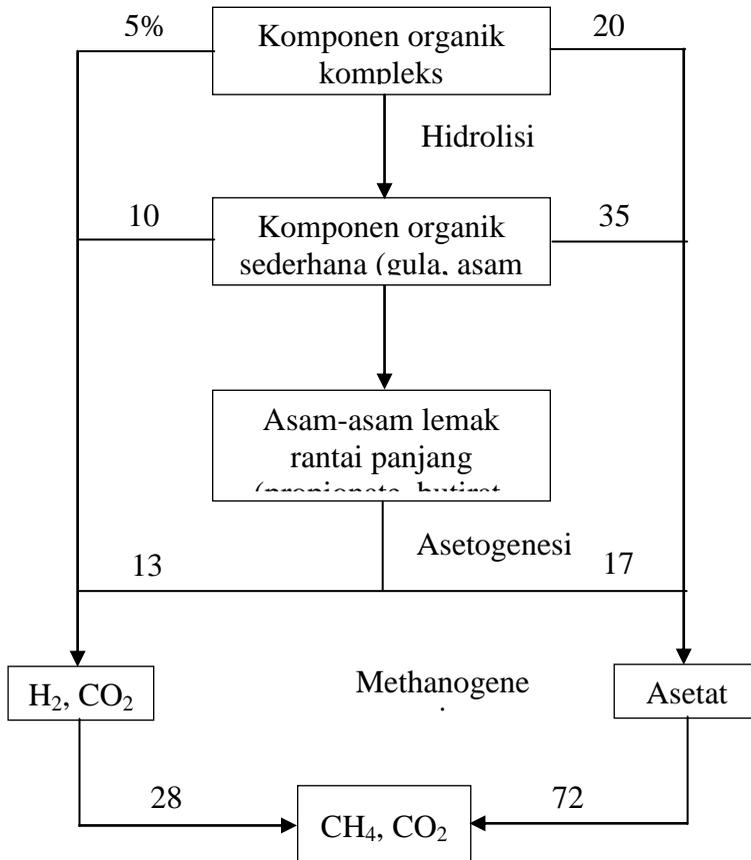
1. Tidak seperti LPG yang bisa dicairkan dengan tekanan yang tinggi pada suhu normal, biogas hanya dapat dicairkan pada suhu -178°C sehingga untuk menyimpannya dalam sebuah tangki yang praktis mungkin sangat sulit. Jalan terbaik adalah menyalurkan biogas yang dihasilkan untuk langsung dipakai baik sbagai bahan bakar untuk memasak, penerangan, dan lain-lain.
2. Biogas dengan udara (oksigen) dapat membentuk campuran yang mudah meledak apabila terkena nyala api karena flash point dari metana (CH₄) yaitu -188°C dan autoignition dari metana adalah sebesar 595°C
3. Biogas tidak menghasilkan karbonmonoksida apabila dibakar, sehingga aman dipakai untuk keperluan rumah tangga
4. Komponen metana dalam biogas bersifat narkotika pda manusia, apabila dihirup langsung dapat mengakibatkan kesulitan bernapas dan mengakibatkan kematian

2.2 Proses Pembentukan Biogas

Proses pembentukan biogas merupakan penguraian bahan organik secara anaerob yang memiliki ikatan molekul kompleks menjadi ikatan molekul yang lebih sederhana. Ikatan



molekul yang sederhana akan dipecah oleh mikroorganisme menghasilkan gas CH_4 dan gas CO_2 serta gas lain dalam jumlah sedikit dengan tahapan yang terdiri dari hidrolisis, asidogenesis, asetonogenesis, dan metanogenesis.

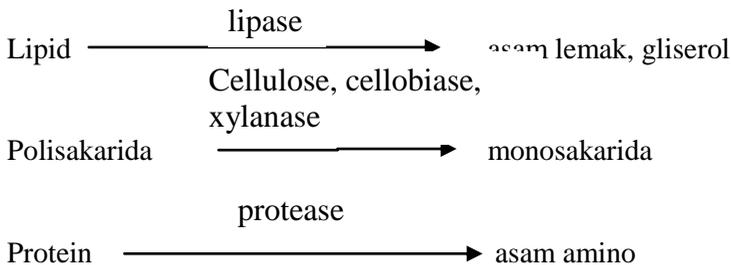


Gambar 2.1 Tahapan Pembentukan Biogas



1. Tahap Hidrolisis

Pada tahap hidrolisis bakteri menguraikan molekul yang kompleks dan besar seperti selulosa menjadi molekul lebih kecil dan sederhana dengan cara melakukan pemotongan ikatan pada molekul tersebut. Hal ini diakibatkan oleh enzim khusus yang dihasilkan bakteri untuk melakukan pemotongan ikatan molekul menjadi ikatan monomer atau dimetrik sehingga dapat larut di dalam air. Proses hidrolisis enzim yang dihasilkan bakteri akan memecah senyawa organik kompleks menjadi monomer-monomer. Lemak menjadi asam lemak, protein menjadi asam amino, dan selulosa menjadi monosakarida dan disakarida.



2. Tahap fermentasi (Asidogenesis)

Pada tahap asidogenesis, hasil dari tahap hidrolisis akan di fermentasikan terlebih dahulu oleh bakteri asidogenik menjadi substrat methanogenik. Pada proses asidogenesis terjadi penurunan pH karena terbentuknya asam asetat dan hidrogen. Penurunan pH berpengaruh terhadap perkembangan mikroorganisme karena tidak tercipta kondisi optimum untuk perkembangan bakteri. Bakteri yang berperan dalam tahapan asidogenesis adalah bakteri asidogenik seperti *Syntrophoma nas wolfei* yang menghasilkan asam asetat, asam propionat, asam butirat, hidrogen dan karbon dioksida. Selain itu, dihasilkan juga sejumlah kecil asam formiat, asam laktat, asam valerat, metanol, etanol, butanediol dan aseton. Reaksi asidogenesis dapat dilihat dibawah ini :



Glukosa \longrightarrow asam biuret + karbondioksida + hidrogen

Glukosa + hidrogen \longrightarrow asam propionate + air

3. Tahap Pembentukan Asetat (Asetogenesis)

Pada tahap ini akan terjadi pembentukan asetat yang akan berguna dalam pembentukan gas metana oleh bakteri metanogenik pada tahap methanogenesis. Namun produk dari proses asetogenesis tidak dapat diubah menjadi gas metana secara langsung. Hasil dari proses ini harus diubah menjadi substrat metanogenik dan melewati proses methanogenesis agar menghasilkan gas metana. Bakteri yang berperan dalam tahapan asetogenesis adalah bakteri asetogenik seperti *Acetobacterium woodii* dan *Syntrophobacter wolinii*. Bakteri asetogenik hanya mampu mendegradasi asam lemak dari hasil tahapan asidogenesis menjadi asam asetat dan akan diproses pada tahap selanjutnya. Reaksi asidogenesis dapat dilihat di bawah ini:

Asam propionate \longrightarrow asam
asetat + karbondioksida + hidrogen

Asam biuret \longrightarrow asam
asetat + hidrogen

4. Tahap Pembentukan Gas Metan (Metanogenesis)

Pada tahap metanogenesis, pembentukan gas metana dapat diproduksi dengan memanfaatkan bakteri metanogenik seperti *Methanobacterium*, *Methanothermobacter*, *Methanobrevibacter*, *Methanosarcina* dan *Methanosaeta*. Bakteri tersebut akan memproduksi gas metana dengan dua cara yaitu dengan cara mengubah asam asetat sekitar 70% dan mereduksi karbon dioksida dan hidrogen sekitar 30% sesuai reaksi berikut:

Asam asetat \longrightarrow metana
+ karbondioksida



Hydrogen + karbondioksida \longrightarrow metana + air
(Irvani Altha, 2007)

2.3 Pemanfaatan Vinasse

2.3.1 Vinasse

Vinasse merupakan produk samping proses produksi etanol yang berupa cairan sisa hasil destilasi. Satu liter produk etanol akan menghasilkan vinasse sebanyak 13 liter (1:13). Berdasarkan angka perbandingan tersebut, semakin banyak etanol yang diproduksi akan semakin banyak vinasse yang dihasilkan. Jika vinasse ini tidak tertangani dengan baik maka di kemudian hari, produk samping ini akan menjadi masalah yang berdampak tidak baik bagi lingkungan. Karakteristik vinasse dari bahan baku molases adalah sebagai berikut:

- nilai pH sebesar 5;
- berat jenis 1,02 g/l;
- C organik sebesar g/Kg d m;
- C anorganik sebesar 6,8 g/Kg d m;
- N organik sebesar 28 g/Kg d m;
- NH₄—N sebesar 1,2 g/Kg d m

Tabel 2.2 Komposisi Vinasse

Parameter	Komposisi (%)
Mineral	29
Gula reduksi	11
Protein	9
Asam volatile	1,5
Gum	21
Campuran Asam Laktat	4,5
Campuran Asam Organik Lain	1,5
Gliserol	5,5
Lilin, fenol, lignin, dll	17

Vinasse jika dibuang langsung ke dalam lingkungan



tanpa melakukan proses pengolahan terlebih dahulu akan mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan. Hal ini dapat dilihat pada nilai baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri etanol berdasarkan Surat Keputusan menteri Negara Lingkungan Hidup KEP 51-/MENLH/10/1995. Nilai baku mutu limbah cair industri etanol yang disajikan pada Tabel mengisyaratkan perlu adanya pengolahan lebih lanjut dari limbah cair sebelum dibuang agar tidak terjadi pencemaran lingkungan (MenLH 1995).

Tabel 2.3 Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Ethanol

Parameter	Kadar Maksimum	Beban Pencemaran Maksimum
BODs	150	10,5
TSS	400	28
Ph	6-9	
Debit Limbah Maksimum	70 m ³ per ton produk pupuk etanol	

Catatan:

1. Kadar maksimum untuk setiap parameter pada table di atas dinyatakan dalam mg parameter pr air limbah
2. Beban pencemaran maksimum untuk setiap parameter pada table diatas dinyatakan dalam kg parameter per ton produk pupuk urea (MenLH 1995) (Rusdianto, 2010).

2.3.2 Meningkatkan Kadar Methane

Biogas yang dihasilkan dari digester ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk memasak, untuk penerangan atau untuk pembangkit tenaga listrik dengan generator set (genset). Selama ini biogas baru digunakan untuk memasak, padahal bahan bakar ini sangat potensial untuk menghasilkan tenaga listrik dengan generator set. Bila biogas akan digunakan untuk bahan bakar mesin penggerak genset, maka biogas harus dimurnikan lebih dulu untuk



menghilangkan gas-gas pengotor sehingga kandungan metananya meningkat. 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 CO_2 dan H_2S . Salah satu metode yang bisa digunakan untuk pemurnian biogas adalah dengan mengabsorpsi kandungan CO_2 . 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. Absorpsi kimia yaitu absorpsi dimana gas terlarut dalam larutan penyerap disertai reaksi kimia (Surono, 2014)

Biogas dihasilkan melalui proses fermentasi limbah organik seperti sampah, sisa-sisa makanan, kotoran hewan dan limbah industri makanan. Adapun unsur-unsur yang terkandung dalam biogas yaitu gas metana (CH_4), gas karbon dioksida (CO_2), gas oksigen (O_2), gas hidrogensulfida (H_2S), gas hidrogen (H_2), dan gas karbon monoksida (CO). Dari semua unsur tersebut yang berperan dalam menentukan kualitas biogas yaitu gas metana (CH_4) dan gas karbon dioksida (CO_2). Bila kadar CH_4 tinggi maka biogas tersebut akan memiliki nilai kalor yang tinggi. Sebaliknya jika kadar CO_2 yang tinggi maka akan mengakibatkan nilai kalor biogas tersebut rendah. Maka dari itu untuk meningkatkan nilai kalor biogas maka kadar gas CO_2 harus rendah. Kandungan gas metana (CH_4) dari biogas dapat ditingkatkan dengan cara memisahkan gas karbon dioksida (CO_2) dan gas hidrogen sulfida (H_2S) yang bersifat korosif dari biogas (Hamidi, 2011).

Hydrogen sulfide adalah senyawa kimia yang memiliki sifat sangat beracun, korosif, dan berbau. Hal tersebut dapat menjadi suatu masalah pada konversi biogas untuk dijadikan sebuah energy. Beberapa sifat fisik dan sifat kimia dari H_2S adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.4 Sifat Fisik dan Kimia dari H₂S**

Rumus Molekul	H ₂ S
Berat Molekul	34,08 g
Tekanan uap	15.600 mm Hg pada 25C
Densitas	1,5392 g/L pada 0C, 760 mmHg
Titik didih	-60,33C
Kelarutan dalam air	3980 mg/L pada 20C
Ketetapan disosiasi	pKa 1=7,04; pKa2=11,96
Faktor konversi	1 ppm= 1,39 mg/m ³

(Andrea Mary Siefers, 2010)

2.4 Biodigester

Biodigester merupakan komponen utama dalam produksi biogas. Biodigester merupakan tempat dimana material organik diurai oleh bakteri secara anaerob (tanpa udara) menjadi gas CH₄ dan CO₂. Biodigester harus dirancang sedemikian rupa sehingga proses fermentasi anaerob dapat berjalan baik. Pada umumnya, biodigester dapat terbentuk pada 4-5 hari setelah digester diisi. Produksi biogas yang banyak umumnya terjadi pada 20-25 hari dan kemudian produksinya turun jika biodigester tidak diisi kembali. Selama proses penguraian secara anaerob, komponen nitrogen berubah menjadi ammonia, komponen belerang berubah menjadi H₂S, dan komponen fosfor berubah menjadi *orthophosphates*. Beberapa komponen lain seperti kalsium, magnesium, atau sodium berubah menjadi jenis garam. Lebih lengkapnya, daftar berikut adalah beberapa tujuan pembuatan biodigester.

1. Mengurangi jumlah padatan.

Karena padatan terurai menjadi gas dan tidak semua padatan dapat terurai, maka tujuan dari proses digestion adalah mengurangi jumlah padatan

2. Membangkitkan energi

Sebagaimana diketahui, target utama dari proses



digestion adalah menghasilkan gas CH_4 yang mengandung energi 50 MJ/kg. Semakin besar kandungan CH_4 dalam biogas, semakin besar kandungan energi dalam biogas.

3. Mengurangi bau dari kotoran
Biogas dapat ditujukan untuk mengurangi bau dan bukan menghilangkan bau dari kotoran. Setidaknya dengan pembuatan digester bau yang dihasilkan selama proses digestion dapat diarahkan supaya tidak mengganggu kenyamanan hidup manusia.
4. Menghasilkan air buangan yang bersih
Sebagian air setelah proses digestion harus dikeluarkan. Bersihnya air buangan ini menjadi sangat penting jika akan digunakan untuk irigasi. Sebagian air buangan juga dapat dikembalikan lagi ke dalam digester
5. Menghasilkan padatan yang mengandung bahan gizi untuk pupuk.
Padatan yang tidak terurai menjadi gas dapat dimanfaatkan sebagai pupuk asalkan masih mengandung bahan gizi yang baik. Padatan yang dihasilkan juga harus dijaga dari zat-zat berbahaya.

2.4.1 Jenis-Jenis Biodigester

Terdapat beberapa jenis biodester yang dapat dilihat berdasarkan konstruksi, jenis aliran, dan posisinya terhadap permukaan tanah. Jenis digester yang dipilih dapat didasarkan pada tujuan pembuatan digester tersebut. Hal yang penting adalah apapun jenis digester yang dipilih nantinya, tujuan utama pembuatan digester adalah mengurangi jumlah kotoran dan menghasilkan biogas yang mempunyai kandungan CH_4 tinggi.

Umumnya, kotoran merupakan campuran fasa padat dan cair dengan perbandingan tertentu. Energi dihasilkan dari padatan kotoran tersebut. Pada saat menginginkan hasil biogas yang kontinu, maka bahan baku harus mampu mengalir kontinu tanpa bantuan pompa dan biodigester harus didesain supaya tidak

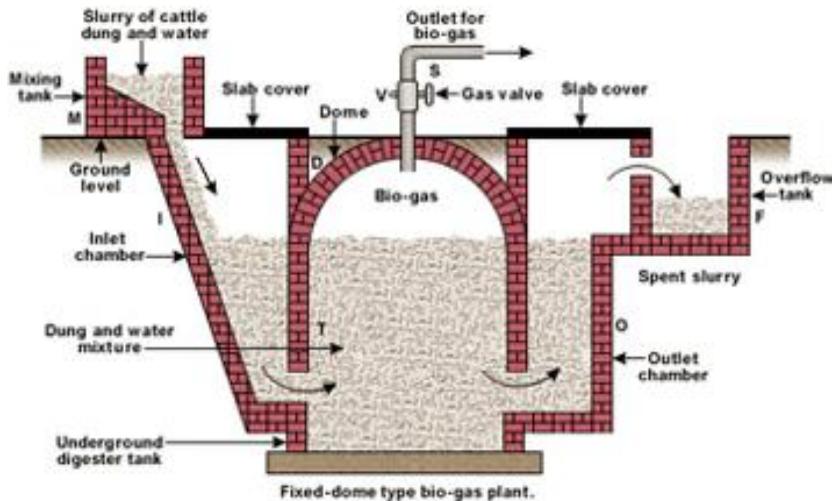


terjadi penyumbatan. Padatan yang dihasilkan setelah proses digestion juga harus dapat dipisahkan secara alami tanpa bantuan peralatan dari luar. Padatan yang dihasilkan kemudian dapat dengan mudah dikeluarkan dari digester.

Dari segi konstruksi, digester dibedakan menjadi:

a. *Fixed dome* (kubah tetap)

Digester ini mempunyai volume tetap. Seiring dengan dihasilkannya biogas, terjadi peningkatan tekanan dalam reactor (biodigester). Karena itu, dalam konstruksi biodigester jenis kubah tetap, gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas diluar reaktor. Indikator produksi gas dapat dilakukan dengan memasang indikator tekanan. Skema digester jenis kubah tetap dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2.2 Biodigester Fixed Dome

Berikut ini adalah beberapa kelebihan dan kekurangan dari digester fixed dome:



**Tabel 2.5 Kelebihan dan Kekurangan Biodigester
Fixed Dome**

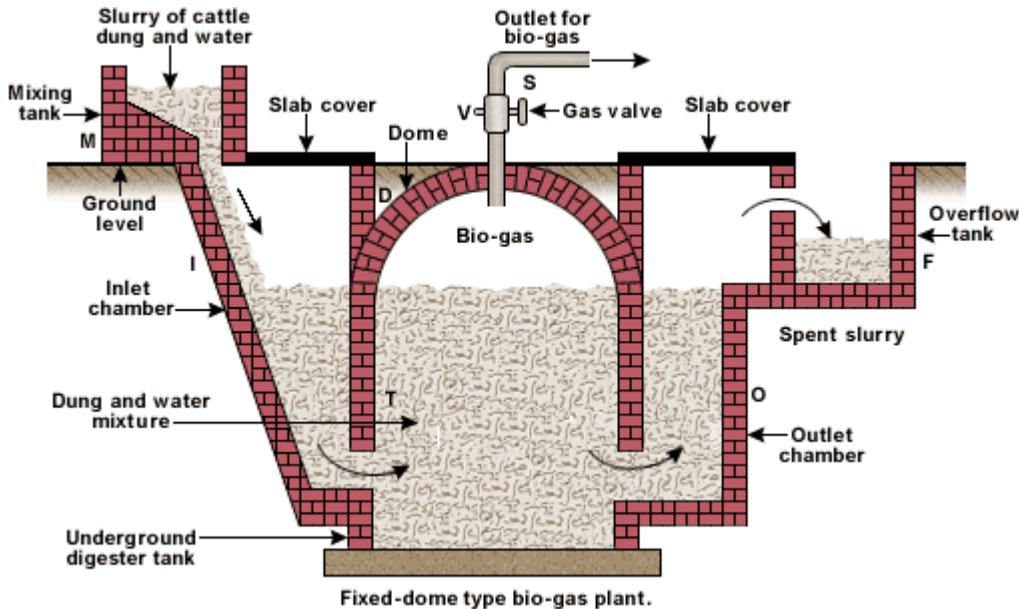
No	Kelebihan	Kekurangan
1	Sederhana dan dapat dikerjakan dengan mudah	Bagian dalam reactor tidak terlihat (khususnya yang dibuat di dalam tanah) sehingga jika terjadi kebocoran tidak segera terdeteksi
2	Biaya konstruksinya rendah	Tekanan gas berfluktuasi dan bahkan fluktuasinya sangat tinggi
3	Tidak terdapat bagian yang bergerak	Temperatur digester rendah
4	Dapat dipilih dari material yang tahan karat	
5	Umurnya panjang	
6	Dapat dibuat di dalam tanah sehingga menghemat tempat	

b. *Floating dome* (kubah apung)

Pada digester tipe ini terdapat bagian reactor yang dapat bergerak seiring dengan kenaikan tekanan reaktor. Pergerakan bagian kubah dapat dijadikan indikasi bahwa produksi biogas sudah dimulai atau sudah terjadi. Bagian yang bergerak tadi juga berfungsi sebagai pengumpul biogas. Dengan model ini, kelemahan tekanan gas yang berfluktuasi pada reaktor biodigester jenis kubah tetap dapat diatasi sehingga tekanan biogas dapat dijaga konstan. Kelemahannya adalah membutuhkan



keterampilan khusus untuk membuat tumpangan gas yang dapat beregrak. Kelemahan lainnya dari biodigester jenis ini adalah material dari tumpangan biogas yang dapat bergerak juga harus dipilih dari material yang tahan korosi dan otomatis harganya lebih mahal.



Gambar 2.3 Biodigester Floating Dome

Dari segi aliran bahan baku untuk reaktor biogas, biodigester dibedakan menjadi:

1. Bak (*Batch*)

Pada biodigester jenis bak, bahan baku ditempatkan didalam suatu wadah (bak) dari sejak awal hingga selesainya proses digestion. Biodigester jenis ini umumnya digunakan pada tahap eksperimen untuk



mengetahui potensi gas dari limbah organik atau digunakan pada kapasitas biogas yang kecil.

2. Mengalir (*continuous*)

Untuk biodigester jenis mengalir, aliran bahan baku dimasukkan dan residu dikeluarkan pada selang waktu tertentu. Lamanya bahan baku berada dalam reactor digester disebut waktu retensi (*retention time/RT*)

Dilihat dari segi tata letak penempatan, biodigester dibedakan menjadi :

1. Seluruh biodigester diatas permukaan tanah. Biasanya biodigester jenis ini dibuat dari tong-tong bekas minyak tanah atau aspal.kelemahan tipe ini adalah volume yang kecil, sehingga biogas yang dihasilkan mamampu digunakan untuk kebutuhan sebuah rumah tangga (keluarga). Kelemahan lain adalah kemampuan material yang rendah untuk menahan korosi sehingga tidak tahan lama. Untuk pembuatan skala besar, biodigester jenis ini jelas memerlukan luas lahan yang bsar juga.
2. Sebagian tangki biodigester diletakkan dibawah permukaan tanah. Biasanya biodigester ini terbuat dari campuran semen, pasir, kerikil, dan kapur yang dibentuk seperti sumurdan ditutup dari plat baja atau konstruksi semen. Volume tangki dapat dibuat untuk skala besar ataupun skala kecil ehingga dapat doisesuaikan dengan kebutuhan. Kelemahan pada sistem ini adalah jika ditempatkan pada daerah yang memiliki suhu rendah (dingin), suhu dingin yang diterima oleh plat baja merambat ke dalam bekerjanya bakteri. Ingat kembali bahwa bakteri akan bekerja secara optimum pada temperature tertentu saja.
3. Seluruh tangki biodigester diletakkan di bawah permukaan tanah.

Model ini merupakan model yang paling populer di



Indonesia, dimana seluruh instalansi biodigester dibuat di dalam tanah dengan konstruksi yang permanen. Selain dapat menghemat tempat atau lahan, pembuatan biodigester di dalam tanah juga berguna untuk mempertahankan temperature biodigester stabil dan mendukung pertumbuhan bakteri methanogen. Kekurangannya adalah jika terjadi kebocoran gas dapat menyulitkan untuk memperbaikinya.

2.4.2 **Komponen Utama Biodigester**

Komponen-komponen biodigester cukup banyak dan sangat bervariasi. Komponen yang digunakan untuk membuat biodigester tergantung pada jenis biodigester yang digunakan dan tujuan pembangunan biodigester. Tetapi, secara umum biodigester terdiri dari empat komponen utama sebagai berikut:

1. Saluran masuk *slurry* (kotoran segar). Saluran ini digunakan untuk memasukkan *slurry* (campuran kotoran ternak dan air) ke dalam reaktor utama. Tujuan pencampuran adalah untuk memaksimalkan produksi biogas, memudahkan mengalirnya bahan baku, dan menghindari terbentuknya endapan pada saluran masuk.
2. Ruang digestion (ruang fermentasi). Ruang digestion berfungsi sebagai tempat terjadinya proses digestion dan dibuat kedap terhadap udara. Ruang ini dapat juga dilengkapi dengan penampung biogas.
3. Saluran keluar reidu (*sludge*). Fungsi saluran ini adalah untuk mengeluarkan kotoran (*sludge*) yang telah mengalami proses digestion oleh bakteri. Saluran ini bekerja berdasarkan prinsip kesetimbangan tekanan hidrostatik. Residu yang keluar pertama kali merupakan *slurry* (lumpur masukan yang pertama setelah waktu retensi.



Slurry yang keluar sangat baik untuk pupuk karena mengandung kadar nutrisi yang tinggi.

4. Tangki penyimpanan biogas. Tujuan dari tangki penyimpanan gas adalah untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses digestion. Jenis tangki penyimpanan biogas ada dua, yaitu tangki bersatu dengan unit reaktor (*fixed dome*) dan terpisah dengan reaktor (*floating dome*). Untuk tangki terpisah, konstruksi dibuat khusus sehingga tidak bocor dan tekanan yang terdapat dalam tangki seragam.

Selain empat komponen utama tersebut, pada sebuah biodigester perlu ditambahkan beberapa komponen pendukung untuk menghasilkan biogas yang jumlahnya banyak dan aman. Beberapa komponen pendukung adalah:

1. Katup pengaman tekanan (*control valve*). Fungsi dari katup pengaman adalah sebagai pengaman biodigester dari lonjakan tekanan biogas yang berlebihan. Bila tekanan biogas dalam tabung penampung biogas lebih tinggi dari tekanan yang diijinkan, maka biogas akan dibuang keluar. Selanjutnya tekanan dalam biodigester turun kembali. Katup pengaman tekanan cukup penting dalam reactor biogas yang besar dan system kontinu, karena umumnya digester dibuat dari material yang tidak tahan pada tekanan yang tinggi supaya biaya pembuatan biodigester tidak mahal.
2. System pengaduk. Pada digester yang besar, system pengaduk menjadi sangat penting. Untuk digester kecil misalnya digester untuk 3-5 sapi, system pengaduk dapat ditiadakan. Tujuan dari pengadukan adalah untuk



mengurangi pengendapan dan menyediakan populasi bakteri yang seragam sehingga tidak terdapat lokasi yang mati dimana tidak terjadi proses digestion karena tidak terdapat bakteri. Selain itu, dengan pengadukan dapat mempermudah pelepasan gas yang dihasilkan oleh bakteri menuju ke bagian penampung biogas. Pengadukan dapat dilakukan dengan :

- Pengadukan mekanis yaitu dengan menggunakan poros yang di bawahnya terdapat semacam baling-baling dan digerakan dengan motor listrik secara berkal
 - Mensirkulasi bahan dalam digester dengan menggunakan pompa dan dialirkan kembali melalui bagian atas biodigester.
3. Saluran biogas. Tujuan dari saluran gas adalah untuk mengalirkan biogas yang dihasilkan dari biodigester. Bahan untuk saluran gas disarankan terbuat dari polimer untuk menghindari korosi. Ingat, kebocoran biogas dapat sangat berbahaya, karena dapat menimbulkan kebakaran. Untuk pembakaran gas pada tungku, pada ujung saluran pipa dapat disambung dengan pipa yang terbuat dari logam supaya tahan terhadap temperature pembakaran yang tinggi.

2.4.3 Kondisi Biodigester yang Baik

Tujuan utama dari pembuatan biodigester adalah membuat suatu tempat kedap udara supaya bahan organik dapat terurai secara biologi yaitu dengan bantuan bakteri alami. Hasil dari proses penguraian bahan organik tersebut dapat dihasilkan gas yang mengandung CH_4 dengan konsentrasi tinggi. Untuk itu pada saat membuat biodigester, maka perlu diperhitungkan beberapa



hal, yaitu:

1. Lingkungan anaerob. Biodigester harus tetap dijaga dalam keadaan anaerob yaitu tidak terjadi kontak langsung dengan oksigen (O_2). Udara mengandung O_2 sebanyak 21 vol% sehingga jika memasuki biodigester dapat menyebabkan penurunan produksi metana. Penyebabnya adalah bakteri alami untuk proses penguraian bahan organik membutuhkan kondisi kedap udara, sehingga jika terdapat udara yang mengandung O_2 menyebabkan bakteri berkembang secara tidak sempurna.
2. Temperature dalam biodigester. Secara umum terdapat tiga rentang temperature yang disenangi oleh bakteri, yaitu:
 - a. bakteri fermentasi *psycrophilic* yang hidup pada temperature 8-25°C. bakteri ini biasanya berkembang pada Negara-negara subtropics atau beriklim dingin. Kondisi optimumnya adalah pada temperature 15-18°C. waktu penyimpanan (*retention time, Rt*) dalam digester adalah lebih dari 100 hari
 - b. bakteri fermentasi *mesophilic* yang hidup pada temperatur 35-37°C. bakteri ini dapat berkembang pada negara-negara tropis seperti di Indonesia. Untuk itu kondisi biodigester yang dibangun di Indonesia tidak perlu dipanasi. Biodigester yang dibangun di dalam tanah juga mempunyai keuntungan tersendiri, yaitu temperature dalam biodigester cenderung konstan sehingga baik untuk pertumbuhan bakteri. Temperature dimana bakteri ini berkerja secara optimum adalah pada 35-45°C. Waktu penyimpanan dalam biodigester adalah lebih dari 30-60 hari.
 - c. Bakteri fermentasi *thermophilic* yang hidup pada temperature optimum 53-55°C. Bakteri yang berkembang pada temperature tinggi umumnya digunakan hanya untuk mengurai material, bukan untuk menghasilkan biogas. Waktu penyimpanan (RT) dalam digester adalah



lebih dari 10-16 hari.

Temperatur minimum supaya bakteri berkembang selama proses fermentasi anaerob khususnya pada biodigester yang tidak dipanasi adalah 15°C. Biodigester yang beroperasi pada temperature di bawah 15°C hanya diperoleh biogas yang jumlahnya terbatas sehingga sangat tidak ekonomis. Oleh karena itu, pada daerah yang dingin, pada saat membuat biodigester perlu diperhtungkan adanya pemakaian bahan penyekat panas.

2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Pembentukan Biogas

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pembentukan biogas adalah sebagai berikut:

1. Perbandingan C-N Bahan Isian

Rasio C-N adalah perbandingan kadar karbon(C) dan kadar nitrogen (N) dalam satuan bahan. Semua makhluk hidup terbuat dari sejumlah besar bahan karbon (C) dan nitrogen (N) dalam jumlah kecil. Untuk menjamin semuanya berjalan lancar, unsur-unsur nutrisi yang dibutuhkan mikroba harus tersedia secara seimbang. Ternak ruminansia seperti sapi, kambing dan domba rata-rata lebih lama dalam menghasilkan biogas dibandingkan dengan ternak non ruminansia. Lamanya produksi biogas disebabkan oleh mutu pakan yang lebih rendah, sehingga rasio C-N-nya tinggi akibatnya perkembangan mikroba pembentuk gas lebih lama dibandingkan yang bermutu tinggi. Tinggi rendahnya mutu ini tergantung pada nilai N (nitrogen) di dalam ransum. Namun demikian nilai N juga tergantung pada C (karbon). Jadi, perbandingan C dan N akan menentukan lama tidaknya proses pembentukan biogas

2. Lama Fermentasi

Proses fermentasi/pencernaan limbah ternak di dalam tangki pencerna dapat berlangsung 60-90 hari, tetapi menurut Sahidu (1983), hanya berlangsung 60 hari saja dengan terbentuknya



biogas pada hari ke-5 dengan suhu pencernaan 28°C, sedangkan menurut Hadi (1981), biogas sekitar 10 hari.

3. Temperatur

Temperatur yang tinggi akan memberikan hasil biogas yang baik. Namun suhu tersebut sebaiknya tidak boleh melebihi suhu kamar. Bakteri ini hanya dapat subur bila suhu disekitarnya berada pada suhu kamar. Suhu yang baik untuk proses pembentukan biogas berkisar antara 20-40°C dan suhu optimum antara 28-30°C. Temperatur selama proses berlangsung sangat penting karena hal ini berkaitan dengan kemampuan hidup bakteri pemroses biogas, yaitu berkisar 27°C-28°C. Dengan temperatur itu proses pembuatan biogas akan berjalan sesuai dengan waktunya. Tetapi berbeda bila temperatur terlalu rendah (dingin), maka waktu untuk membentuk biogas akan lebih lama

4. Kandungan Bahan Kering

Bahan isian dalam pembuatan bio gas harus berupa bubuk. Bentuk bubuk ini dapat diperoleh bila bahan bakunya mempunyai kandungan air yang tinggi. Bahan baku dengan kadar air yang rendah dapat dijadikan berkadar air tinggi dengan menambahkan air ke dalamnya dengan perbandingan tertentu sesuai dengan kadar bahan kering bahan tersebut. Bahan baku yang paling baik mengandung 7-9 % bahan kering. Aktivitas normal dari mikroba metan membutuhkan sekitar 90% air dan 7-10% bahan kering dari bahan masukan untuk fermentasi. Dengan demikian isian yang paling banyak menghasilkan biogas adalah yang mengandung 7-9% bahan kering. Untuk kandungan kering sejumlah tersebut bahan baku isian biasanya dicampur dengan air dengan perbandingan tertentu (Wiratmana, 2012).

BAB III

METODOLOGI PERCOBAAN

3.1 Bahan yang Digunakan

1. Vinasse

Pada proses pembuatan biogas ini diperoleh dari *feed* digester pembuatan biogas yang terletak di unit biogas ENERO Mojokerto

2. Bahan Kimia

FeCl₂ : digunakan untuk mengikat kandungan H₂S

NaOH : digunakan untuk menurunkan kadar CO₂

3.2 Peralatan yang Digunakan

Pada pembuatan biogas ini menggunakan biodegester yang terdapat di Laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah Jurusan DIII Teknik Kimia. Bioreaktor ini terbuat dari *acrylic* dengan kapasitas 40 liter. Biodegester dibuat dari bahan *acrylic* dengan $v = p \times l \times t$ (34 x 34 x 34) cm berkapasitas 40 liter. Pada sisi kanan terdapat pipa masuknya bahan ke dalam reaktor, dan sebelah kiri terdapat pipa keluarnya slurry, dan bagian atas terdapat pipa serta valve untuk saluran keluarnya gas yang dihasilkan dari pembuatan biogas yang akan disambungkan pada kantong plastik, dan akan dibandingkan dengan pengukuran menggunakan gelas ukur, untuk mengetahui nyala dari gas yang dihasilkan.

3.2.1 Variabel yang Dipilih

Hydraulic Retention Time (HRT) = 7, 14, dan 21 hari



3.3 Prosedur Pembuatan

3.3.1 Tahap Persiapan

1. Menganalisa kandungan COD, C/N rasio, sulfat dan sulfat sebagai S
2. Menyiapkan vinasse
3. Menyiapkan biodegester

3.3.2 Tahap Proses Pembuatan Produk

1. Memasukkan lumpur aktif ke dalam biodegester sebagai starter sebanyak 2 liter
2. Memasukkan vinasse ke dalam biodegester secara kontinyu.
3. Mengatur *flowrate* dengan valve pada input biodegester sesuai dengan variabel
4. Melakukan pengamatan terhadap gas yang dihasilkan.
5. Menampung biogas yang dihasilkan ke dalam plastik yang berbentuk silinder, plastik ini dihubungkan dengan pipa pada biodegester.
6. Mengukur volume biogas yang dihasilkan dengan menggunakan gelas ukur yang dimasukkan kedalam air.

3.3.3 Tahap Pemurnian

1. Merangkai alat pemurnian dengan menghubungkan biodegester dengan Erlenmeyer menggunakan selang
2. Erlenmeyer pertama berisi larutan NaOH, gas yang dihasilkan dari Erlenmeyer pertama dihubungkan dengan Erlenmeyer kedua yang berisi larutan FeCl_2
3. Menampung gas ke dalam plastik berbentuk



silinder

3.3.4 Tahap Analisa

1. Mengambil hasil produksi biogas yang paling baik dan melakukan analisa kandungan biogas secara kualitatif menggunakan metode GC (*Gas Chromatography*) yang dilakukan di Laboratorium Energi Robotika ITS. Proses analisa menggunakan GC (*Gas Chromatography*) yaitu memasukkan sampel (biogas) ke dalam column oven *containing coled column* melalui *injector* oven. Pada bagian alat itu, sampel yang dimasukkan akan diproses sehingga hasil analisa akan keluar dari *column oven containing coled column*. Hasil analisa tersebut muncul dalam display atau print out. Sedangkan limbah gasnya keluar melalui detector oven.
2. Mengambil hasil produksi biogas yang telah melalui tahap pemurnian dan melakukan analisa kandungan biogas secara kualitatif menggunakan metode GC (*Gas Chromatography*) yang dilakukan di Laboratorium Energi Robotika ITS

3.3.5 Tempat Pelaksanaan

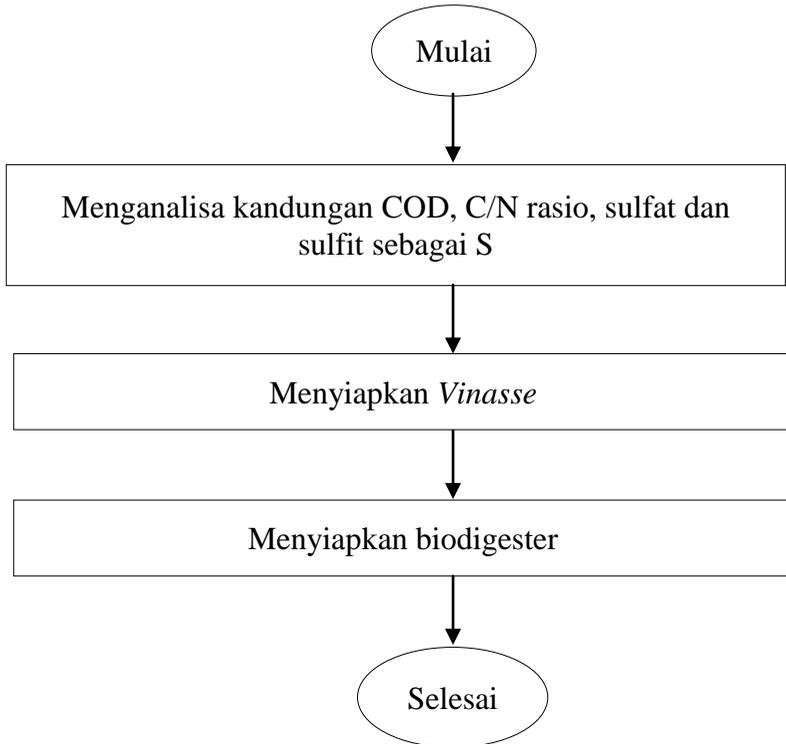
Percobaan pembuatan biogas dari vinasse dengan menggunakan biodegester dilaksanakan di :

1. Laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah DIII Teknik Kimia FTI-ITS



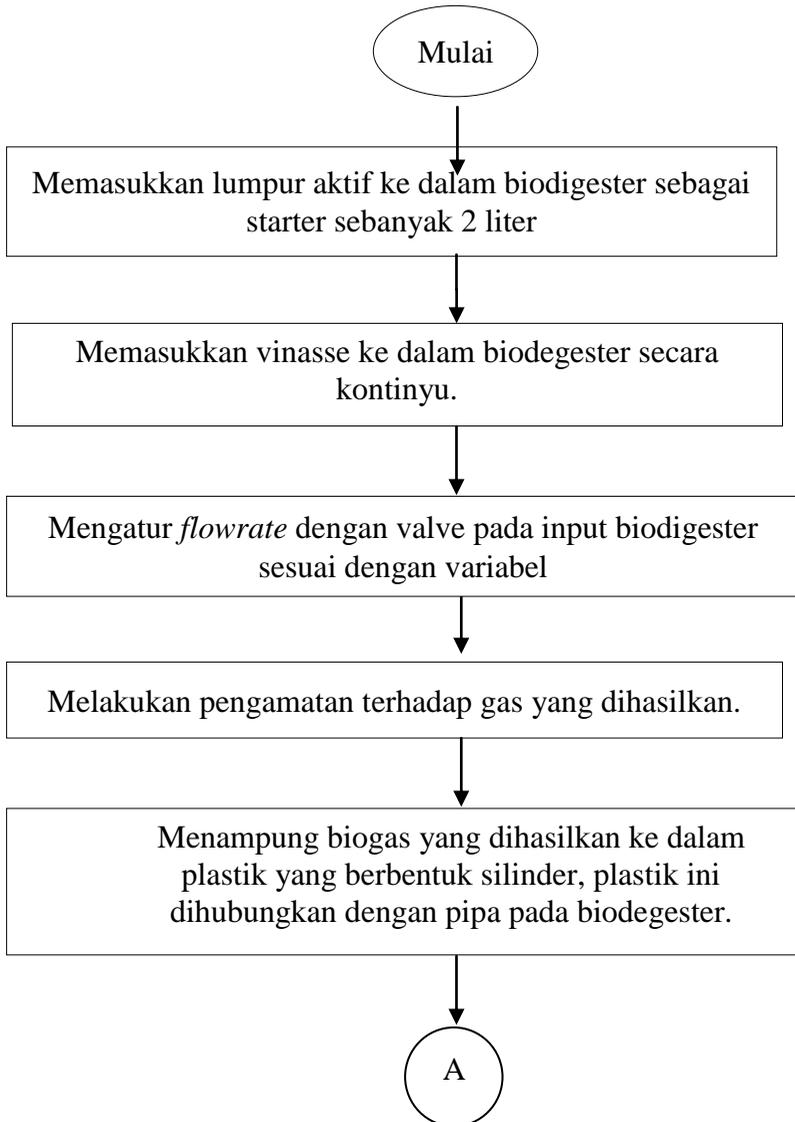
3.3.6 Diagram Alir Proses

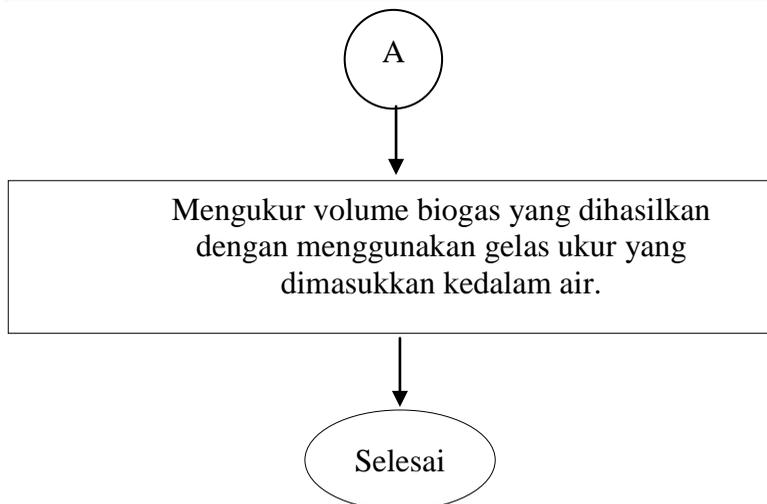
3.3.6.1 Tahap Persiapan





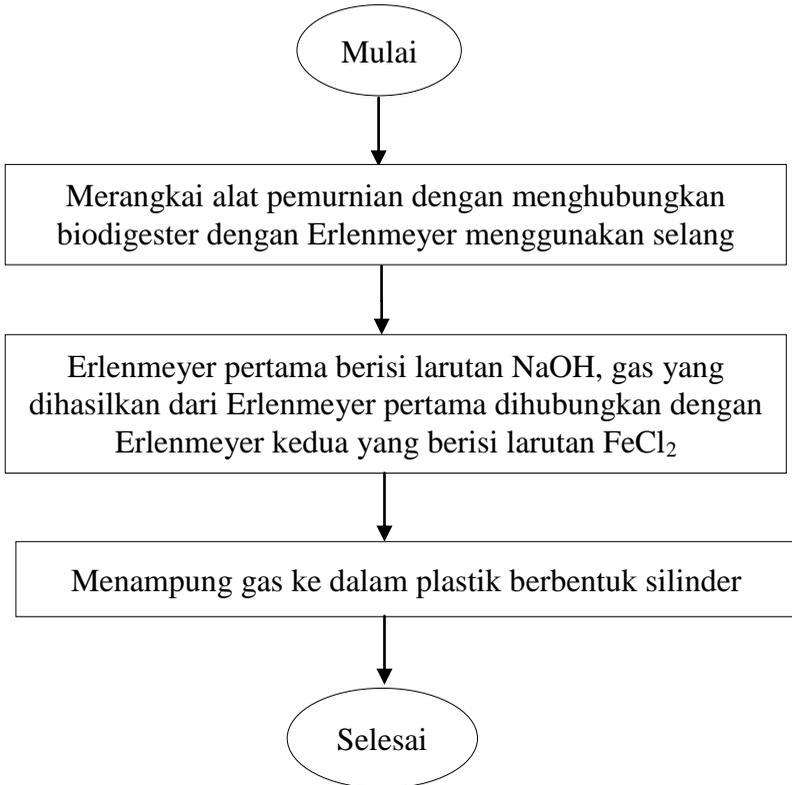
3.3.6.2 Tahap Proses Pembuatan Produk





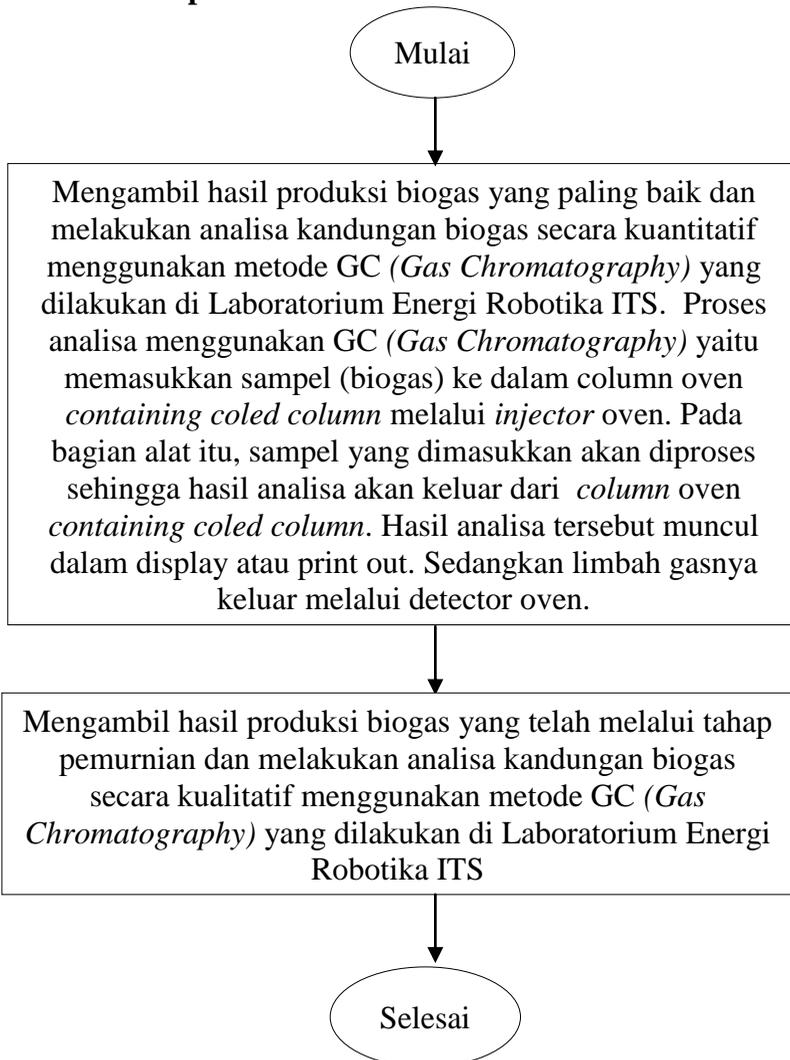


3.3.6.3 Tahap Pemurnian





3.3.6.4 Tahap Analisa



BAB IV

HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Percobaan

Hasil yang didapatkan dari pemanfaatan limbah cair vinasse industri bioethanol menjadi biogas menggunakan biodigester menghasilkan data secara kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif meliputi data volume biogas pada *Hydraulic Retention Time* (HRT) 7, 14, dan 21 selama 30 hari tiap variabel, sehingga didapatkan volume optimal dari ketiga variabel tersebut. Data kualitatif meliputi data analisa kadar komposisi biogas dari biodigester dan setelah proses pemurnian, sehingga didapatkan peningkatan terhadap kadar methane dari biogas yang dihasilkan.

Variabel yang digunakan pada percobaan ini adalah sebagai berikut. Variabel bebas pada percobaan ini adalah *Hydraulic Retention Time* (HRT) pada 7, 14, dan 21. Variabel kontrol yang digunakan adalah 30 hari. Selain itu proses pemurnian menggunakan NaOH untuk menurunkan kadar CO₂ dan FeCl₂ untuk mengikat kandungan H₂S.

4.1.1 Pengaruh *Hydraulic Retention Time* (HRT) 7, 14 dan 21 Hari Terhadap Volume Biogas

Volume Biogas perhari yang diperoleh pada variasi HRT 7, 14 dan 21 hari, dapat dilihat dalam **Tabel IV.1** :

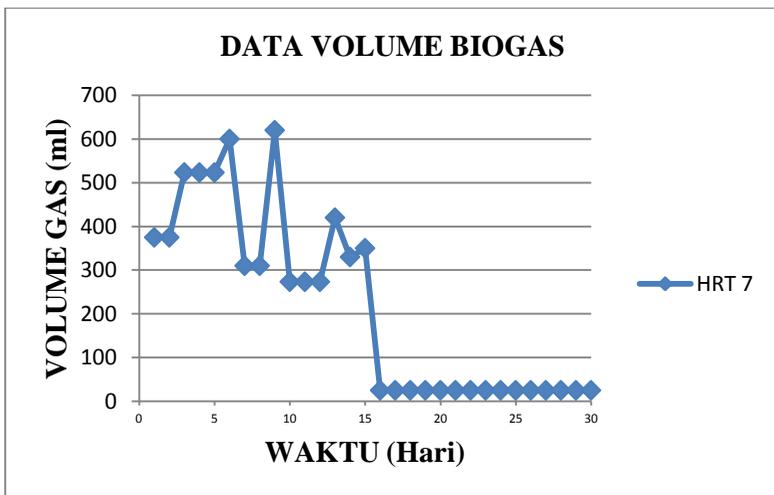


Tabel 4.1 Volume Biogas Pada HRT 7 Hari, 14 Hari dan 21 Hari

No.	Volume Biogas (ml)		
	HRT 7 Hari	HRT 14 Hari	HRT 21 Hari
1.	375	25	151,6667
2.	375	25	151,6667
3.	523,3333	25	151,6667
4.	523,3333	25	1800
5.	523,3333	25	750
6.	600	25	750
7.	310	25	740
8.	310	430	740
9.	620	430	740
10.	273,3333	430	1350
11.	273,3333	385	1350
12.	273,3333	385	775
13.	420	2230	775
14.	330	3180	667,5
15.	350	883,3333	667,5
16.	25	883,3333	667,5
17.	25	883,3333	667,5
18.	25	3430	2700
19.	25	3430	3660
20.	25	3260	2455
21.	25	1800	2455
22.	25	543,3333	2455



23.	25	543,3333	2455
24.	25	543,3333	1800
25.	25	550	2380
26.	25	550	1000
27.	25	950	1000
28.	25	151,6667	1000
29.	25	151,6667	1000
30.	25	151,6667	1000
Rata-rata	215,167	878,333	1275,17



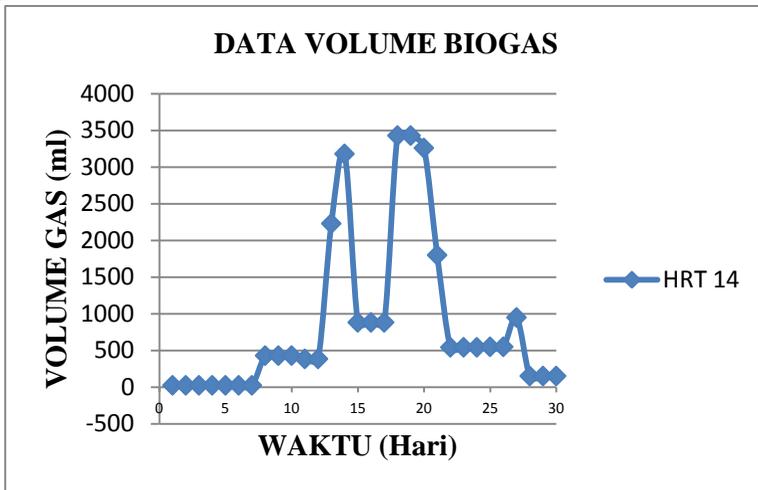
Grafik 4.1 Pengaruh *Hydraulic Retention Time* (HRT) 7 Hari Terhadap Volume Biogas yang Dihasilkan Selama 30 hari

Pada **Grafik 4.1** dibuat berdasarkan *Hydraulic*



Retention Time (HRT) 7 hari dengan volume biogas yang di hasilkan dari hari ke-1 hingga hari ke-30. Volume biogas pada hari ke-1 hingga ke-30 sebesar 6455 ml. Grafik tersebut mengalami kenaikan dan penurunan volume gas secara fluktuatif dalam produksi perharinya, dan didapatkan volume maksimum atau kenaikan secara tajam pada hari ke-9 yaitu 620 ml dan pada hari berikutnya volume biogas mengalami penurunan produksi biogas secara drastis yaitu menjadi sebesar 273,3 ml secara terakumulasi selama 3 hari. Volume rata-rata produksi gas perhari adalah 215,167 ml.

Grafik 4.1 Pada awal proses pembentukan biogas pada hari pertama hingga hari ke-6 produksi biogas mengalami kenaikan yang stabil pada setiap harinya. Kemudian mengalami penurunan secara drastis pada produksi biogas pada hari ke-7 hingga hari ke-8. Lalu produksi biogas mengalami peningkatan tajam pada hari ke-9 dan mengalami penurunan tajam kembali pada hasil produksi biogas hari ke-10 hingga hari ke-12. Pada hari ke-13 produksi biogas mengalami kenaikan yang cukup tinggi namun peningkatan ini tidak tajam dari sebelumnya. Pada hari ke-14 mengalami sedikit penurunan kembali pada produksi biogas. Dan mengalami peningkatan kembali pada produksi biogas hari ke-15. Kemudian tidak terjadi pembentukan biogas sama sekali pada hari ke-16 hingga hari ke-30. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi yang optimum pada hari ke-9. Pembentukan biogas mengalami kestabilan pada hari ke-10 hingga ke-13 karena tidak mengalami penurunan pada produksi biogasnya. Kondisi tersebut dikatakan telah mencapai kondisi steady state.



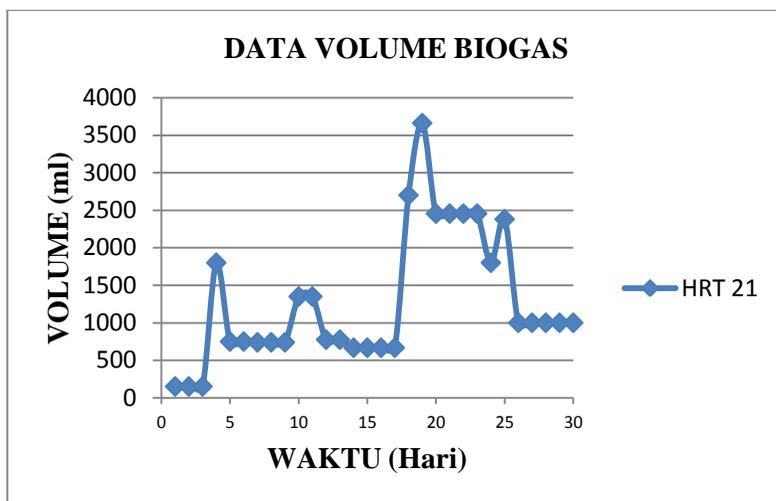
Grafik 4.2 Pengaruh *Hydraulic Retention Time* (HRT) 14 Hari Terhadap Volume Biogas yang Dihasilkan Selama 30 hari

Pada **Grafik 4.2** dibuat berdasarkan *Hydraulic Retention Time* (HRT) 14 hari dengan volume biogas yang di hasilkan dari hari ke-1 hingga hari ke-30. Volume biogas pada hari ke-1 hingga ke-30 sebesar 26349 ml. Grafik tersebut mengalami kenaikan dan penurunan volume gas secara fluktuatif dalam produksi perharinya, dan didapatkan volume maksimum atau kenaikan secara tajam pada hari ke-18 yaitu 3.430 ml dan pada hari ke-15 volume biogas mengalami penurunan produksi biogas secara drastis yaitu menjadi sebesar 883,33 ml secara terakumulasi selama 3 hari. Volume rata-rata produksi gas perhari adalah 878,33 ml.

Grafik 4.2 Pada awal proses pembentukan biogas pada hari pertama hingga hari ke-7 tidak terjadi pembentukan biogas sama sekali. Produksi biogas mengalami kenaikan yang stabil pada hari selanjutnya yaitu



hari ke-8 hingga hari ke-10 karena penambahan sukrosa atau larutan gula pasir sebagai pemenuhan kebutuhan Karbon dalam limbah cair sebagai nutrient dalam pembentukan biogas. Pada hari ke-11 dan hari ke-12 mengalami sedikit penurunan. Dan mengalami kenaikan tajam pada produksi biogas hari ke-13 dan 14. Kemudian terjadi penurunan yang tajam pula pada hari ke- 15 hingga 17. Pada hari ke-18 produksi biogas mengalami kenaikan secara tajam kembali. Dan terjadi penurunan kembali pada hari ke-19 hingga hari ke-22. Kemudian terjadi kondisi stabil pada hari ke-22 hingga hari ke-26 dan peningkatan pada hari ke-27. Kemudian hari ke-28 hingga ke-30 mengalami penurunan kondisi biogas kembali.

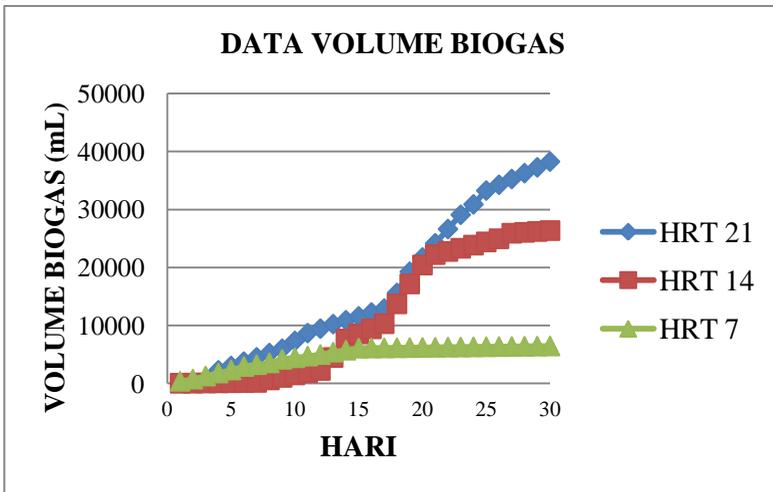


Grafik 4.3 Pengaruh *Hydraulic Retention Time* (HRT) 21 Hari Terhadap Volume Biogas yang Dihasilkan Selama 30 hari



Pada **Grafik IV.3** dibuat berdasarkan *Hydraulic Retention Time (HRT)* 21 hari dengan volume biogas yang di hasilkan dari hari ke-1 hingga hari ke-30. Volume biogas pada hari ke-1 hingga ke-30 sebesar 38255 ml. Grafik tersebut mengalami kenaikan dan penurunan volume gas secara fluktuatif dalam produksi perharinya, dan didapatkan volume maksimum atau kenaikan secara tajam pada hari ke-19 yaitu 3660 ml dan pada hari ke-24 volume biogas mengalami penurunan produksi biogas secara drastis yaitu menjadi sebesar 1800 ml secara terakumulasi selama 30 hari. Volume rata-rata produksi gas perhari adalah 1275,17 ml.

Grafik 4.3 Pada awal proses pembentukan biogas pada hari pertama hingga hari ke-3 tidak terjadi pembentukan biogas sama sekali. Produksi biogas mengalami kenaikan yang stabil pada hari selanjutnya yaitu hari ke-4 hingga hari ke-9. Pada hari ke-10 sampai hari ke-12 mengalami kenaikan. Dan mengalami kenaikan tajam pada produksi biogas hari ke-19 dan 20. Kemudian terjadi penurunan yang tajam pula pada hari ke-21. Pada hari ke-21 sampai hari ke-23 stabil. Dan terjadi penurunan kembali pada hari ke-24. Dan produksi biogas mengalami kenaikan secara tajam kembali pada hari ke-26. Dan turun pada hari ke-27 dan ke 28 terjadi kestabilan.



Grafik 4.4 Volume Biogas akumulatif yang Dihasilkan Selama 30 Hari Pada HRT (*Hydraulic Retention Time*) 7, 14 dan 21 hari.

Pada **Grafik 4.1** didapatkan hasil volume biogas rata-rata mengalami kenaikan. Hal ini sesuai dengan literature yang menyatakan bahwa volume biogas yang dihasilkan semakin meningkat erat kaitannya dengan ketersediaan bahan organik yang mudah dicerna dan kondisi bakteri yang sudah beradaptasi dengan lingkungan digester (*Gamayanti, 2012*).

Berdasarkan dari hasil percobaan didapatkan HRT 21 lebih banyak menghasilkan biogas jika dibandingkan HRT 7 dan 14. Hal ini dikarenakan biogas yang dihasilkan dari digester mengalami kondisi yang steady state, sehingga produksi biogas lebih stabil dan memiliki jumlah yang relatif meningkat setiap harinya. .

Berdasarkan **Grafik 4.4** Penerapan HRT yang



singkat pada reaktor dapat memberikan dampak positif berupa semakin banyaknya jumlah air limbah yang dapat diolah menjadi gas metana di reaktor. Hal ini dikarenakan lama durasi HRT berbanding terbalik dengan nilai debit air limbah yang diolah (*Tchobanoglous dkk., 1991*)

IV.1.2 Analisa Komposisi Biogas

Hasil analisa komposisi biogas pada variabel HRT 21 hari tanpa pemurnian dan dengan pemurnian menggunakan larutan NaOH dan larutan FeCl₂ dapat dilihat pada **Tabel 4.4**

Tabel 4.4 Komposisi Biogas pada variabel HRT 21 hari

Komposisi	Metode	
	Tanpa Pemurnian	Dengan Pemurnian
Methane (CH ₄)	24,2422527	30,54697
Karbondioksida (CO ₂)	43,4463355	2,97625
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	4,05	0,42
Udara	32,3114118	66,47679

Pada **Tabel 4.4** menunjukkan bahwa presentase gas metana mengalami peningkatan setelah diabsorpsi. Presentasi gas metana tanpa pemurnian lebih kecil dibandingkan presentase gas metana setelah pemurnian. Pada gas karbondioksida mengalami penurunan drastic jumlah presentasenya pada saat setelah pemurnian. Gas karbondioksida tanpa pemurnian lebih besar dibandingkan dengan gas karbondioksida dengan pemurnian. Pada gas hydrogen sulfide juga sama halnya dengan gas karbondioksida yaitu mengalami penurunan drastic setelah



pemurnian. Gas hydrogen sulfide tanpa pemurnian lebih besar dari pada gas hydrogen sulfide dengan pemurnian.

Hasil diambil dari laboratorium Energi di Pusat Robotika ITS menggunakan *Gas Chromatography* didapat dalam persentase komposisi pada biogas tanpa pemurnian sebesar 24,2422527% methana, 43,4463355 % karbon dioksida dan 32,3114118 % udara, sedangkan persentase komposisi pada biogas dengan pemurnian sebesar 30,54697 % methana, 2,97625 % karbon dioksida dan 66,47679 % udara.

Dapat dilihat dari **Tabel 4.4** bahwa kandungan metana lebih besar pada biogas tanpa pemurnian, tetapi persentase karbondioksida sangat rendah pada biogas dengan proses pemurnian. Hal ini menyebabkan uji nyala pada biogas dengan pemurnian menimbulkan api yang lebih besar dan lebih lama. Hal ini sesuai dengan literature bahwa gas metana setelah pemurnian mengalami kenaikan presentase. Dan gas karbondioksida mengalami penurunan setelah proses pemurnian.

Dapat dilihat dari **Tabel 4.4** bahwa kandungan metana sebesar 30,54687 %, dan 2,97625 % serta hydrogen sulfide sebesar 0,42%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa biogas yang dihasilkan dari limbah vinasse belum mencapai komponen biogas yang baik yaitu dengan presentasi metana 50-70%. Namun, untuk kandungan karbondioksida dan hydrogen sulfide sudah baik yaitu memenuhi standar komponen biogas yang baik dengan karbondioksida sebesar minimal 25% dan maksimal 45%. Dan hydrogen sulfide sebesar minimal 0% dan maksimal 3%.



4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh *Hydraulic Retention Time (HRT)* Terhadap Produksi Biogas

HRT adalah waktu saat liquid berada di dalam reaktor anaerobik. HRT perlu diperhatikan dalam operasional bioreaktor, khususnya dalam produksi gas metan karena HRT dapat mempengaruhi laju pertumbuhan dari mikroorganisme anaerobik. HRT dapat mempengaruhi kemampuan hidrolisis bahan organik. Kemampuan ini sangat terkait dengan kapasitas penguraian senyawa kompleks organik menjadi senyawa organik sederhana yang merupakan pengendali utama keberhasilan proses pengolahan air limbah secara keseluruhan. Selain itu, HRT juga dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri fermentatif, seperti Aminobacteria, yang terkait dengan hasil produksi biogas (*Hasanah, 2013*).

HRT yang lebih panjang dalam proses dapat meningkatkan volume total gas yang diproduksi. Namun HRT tersebut membutuhkan volume reaktor yang lebih besar dan menjadi tidak ekonomis. Hydraulic retention time (HRT) atau waktu tinggal substrat di dalam reaktor merupakan salah satu faktor operasional penting yang mempengaruhi kinerja peruraian dengan reaktor fixed bed kontinyu. HRT secara langsung mempengaruhi beban organik yang diolah sehingga berpengaruh dalam peruraian anaerobik, pertumbuhan mikroba dan produksi biogas (*Hasanah, 2013*).

Pengaruh waktu fermentasi memberikan hasil yang berbeda pada produksi biogas. Semakin lama proses fermentasi, maka akan semakin tinggi produksi biogas (*Inpurwanto, 2012*).

Pada percobaan ini, didapatkan pada HRT 7 terdapat produksi biogas yang tidak mengalami kenaikan maupun penurunan, sebaliknya pada HRT 21 mengalami kenaikan



yang cukup signifikan. Hal ini disebabkan dari (*Chemical Oxygen Demand*) COD bahan baku yang berbeda-beda, sehingga menyebabkan tidak seimbangnya nutrient sebagai makanan mikroba untuk merombak menjadi metana. Hal ini sesuai dengan literature yang menyatakan bahwa semakin lama waktu fermentasi menunjukkan terjadi peningkatan produksi metan yang dihasilkan. Hal ini disebabkan semakin lama bakteri yang tinggal didalam digester maka bakteri sudah beradaptasi dalam lingkungan digester, sehingga bila nutrient yang ada dalam digester masih ada maka pertumbuhan bakteri pembentuk metan masih berjalan dan produksi metan masih dapat berlangsung. Fase dekomposisi dan pembentukan meta nada 4 fase, yaitu fase aerobic, fase asam anaerobik, fase peningkatan produksi metan, dan fase penurunan pembentuk metan. Pada fase aerobic, oksigen dikonsumsi untuk menghasilkan gula terlarut sebagai sumber karbon, dan hamper 100% dihasilkan gas CO₂. Fase asam anaerobik dimulai saat oksigen dan nitrat menurun, ditandai dengan dihasilkannya asam karboksilat secara cepat dan penurunan nilai pH di bawah 6. Konsentrasi CO₂ tinggi dan dihasilkan juga H₂ sebagai produk dari aktifitas fermentasi gula. Fase ketiga ditandai dengan produksi metan meningkat sampai batas maksimal konsentrasinya menjadi 50-70% dengan diimbangi CO₂, asam karboksilat mnurun, pH meningkat dan populasi asetogenik meningkat. Fase keempat ditandai dengan menurunnya produksi metan dan konsentrasinya relative konstan yaitu sekitar 60% (*Gamayanti, 2012*).

Menurut Nurhayati (2000), HRT yang lebih panjang dalam proses dapat meningkatkan volume total gas yang diproduksi. Namun HRT tersebut membutuhkan volume reaktor yang lebih besar dan menjadi tidak ekonomis



(Boopathy, 1997). Saat ini, perkembangan teknologi anaerobik yang ada telah memungkinkan reaktor untuk meminimalkan HRT ini menjadi sangat singkat. HRT yang digunakan tidak akan merubah secara signifikan kualitas maupun komposisi gas yang dihasilkan selama pengolahan anaerobik (Malina, 1992 dalam Nurhayati, 2000).

Penerapan HRT yang singkat pada reaktor dapat memberikan dampak positif berupa semakin banyaknya jumlah air limbah yang dapat diolah menjadi gas metan di reaktor. Hal ini dikarenakan lama durasi HRT berbanding terbalik dengan nilai debit air limbah yang diolah (Tchobanoglous dkk., 1991).

Semakin lama HRT, maka semakin lama waktu yang dapat dimanfaatkan mikroba untuk menghidrolisis senyawa organik yang ada di air limbah (Ambar dkk., 2004 dalam Ahmad dkk., 2011). Semakin banyak bahan hasil hidrolisis, maka akan semakin banyak pula asam volatil yang akan dihasilkan pada tahap selanjutnya oleh reaktor dengan HRT yang lebih lama. Asam volatil merupakan bahan yang akan diubah oleh mikroba metanogen menjadi gas metan, sehingga apabila asam volatil terbentuk dalam jumlah besar pada reaktor dengan HRT yang lebih besar, maka gas metan yang terbentuk pun akan banyak pula.

4.2.2 Pemurnian Biogas dengan menggunakan metode absorpsi dengan larutan NaOH dan FeCl_2

Pemurnian biogas dari kandungan H_2S dengan senyawa NaOH, CuSO_4 atau $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ telah dilakukan oleh Aditya dkk (2012). Penelitian ini dilakukan dengan mengalirkan larutan absorbent melalui packed column dari atas ke bawah, sementara biogas dialirkan dari bawah ke atas. Dari penelitian ini diketahui bahwa NaOH memiliki



daya serap yang tertinggi. Juga diketahui bahwa semakin tinggi laju aliran absorbent, semakin banyak H_2S yang terserap (*Surono, 2012*).

Biogas sangat potensial untuk mengganti bahan bakar minyak atau bahan bakar gas alam yang digunakan pada mesin genset atau automotif. Bila biogas digunakan untuk bahan bakar mesin, kandungan CO_2 dan H_2S di dalam biogas harus dihilangkan atau diminimalkan, karena CO_2 dapat mengurangi nilai kalor biogas, sedangkan H_2S dapat menyebabkan korosi pada komponen-komponen mesin (*Surono, 2012*).

Peningkatan kandungan gas CH_4 disebabkan oleh terserapnya gas CO_2 dan gas H_2S yang terkandung dalam biogas. Selanjutnya gas CO_2 akan terurai menjadi satu atom C dan dua atom O, sedangkan gas H_2S akan terurai menjadi dua atom H dan satu atom S. Timbulnya kandungan H_2 yang diperoleh dari proses penguraian H_2S akan menyebabkan terjadinya reaksi kimia dengan atom C yang diperoleh dari penguraian CO_2 sehingga menghasilkan gas CH_4 . Proses ini disebut dengan reaksi metanogen hidrogenotrofik yaitu proses untuk menghasilkan gas CH_4 melalui reaksi kimia antara gas CO_2 sebagai sumber karbon dengan gas H_2 sebagai reduktor (*Wardana, 2010*).

BAB V NERACA MASSA DAN NERACA PANAS

Basis = 64102.06071 kg/hari

Tabel 5.1 Komposisi Vinasse

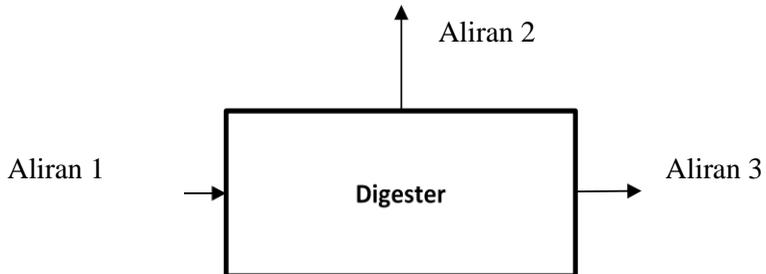
Komposisi	Persenstase (%)	Massa (kg/l)
$C_6H_{12}O_6$	0.93916015	51406
$(NH_4)_2SO_4$	0.06083985	3330.14
Total	1	54736.2

*komposisi vinasse didapatkan dari hasil analisa vinasse di Laboratorium Teknik Lingkungan ITS

Tabel 5.2 Berat Molekul

Komposisi	Berat Molekul
$C_6H_{12}O_6$	180
$(NH_4)_2SO_4$	132

1.1 Neraca Massa Digester





Aliran masuk = Aliran Keluar
 Aliran 1 = Aliran 2 + Aliran 3

Didalam digester terjadi reaksi dengan bantuan bakteri pembentuk biogas, sebagai berikut :

1. Reaksi Asidogenesis

Konversi = 0.16%

*konversi didapatkan dari hasil praktikum



Mula-mula	285.589128			
Reaksi	0.45408671	0.908173427	0.908173427	
Sisa	285.135041	0.908173427	0.908173427	

Tabel 5.3 Massa Komponen Reaksi Asidogenesis

Komponen	Berat Molekul	Mula-Mula	Sisa
C ₆ H ₁₂ O ₆	180	51406.04302	51324.3
C ₂ H ₅ OH	46		41.776
CO ₂	44		39.9596

2. Reaksi Asetogenesis

Konversi = 100%

*konversi didapatkan dari hasil praktikum



Mula-mula	0.90817343	0.908173427		
Reaksi	0.90817343	0.454086713	0.908173427	0.45409
Sisa	0	0.454086713	0.908173427	0.45409

**Tabel 5.4** Massa Komponen Reaksi Asetogenesis

Komponen	Berat Molekul	Mula-Mula	Sisa
C ₂ H ₅ OH	46	41.77597763	0
CO ₂	44	39.95963077	19.9798
CH ₃ COOH	60		54.4904
CH ₄	16		7.26539

3. Reaksi Metanogenesis

Konversi = 0.50%

*konversi didapatkan dari hasil praktikum



Mula-mula	0.90817343		
Reaksi	0.00454087	0.004540867	0.004540867
Sisa	0.90363256	0.004540867	0.004540867

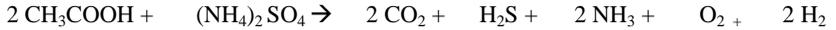
Tabel 5.5 Massa Komponen Reaksi Pembentukan Sulfat

Komponen	Berat Molekul	Mula-Mula	Sisa
CH ₃ COOH	60	54.4904056	54.218
CH ₄	16	0	0.07265
CO ₂	44		0.1998

4. Reaksi Pembentukan Sulfat

Konversi = 4.14%

*konversi didapatkan dari hasil praktikum



Mula-mula	0.904	25.23						
Reaksi	0.0374	0.0374	0.0748	0.03741	0.0748	0.037	0.0748	
Sisa	0.866	25.191	0.0748	0.03741	0.0748	0.037	0.0748	

Tabel 5.6 Massa Komponen Reaksi Metanogenesis

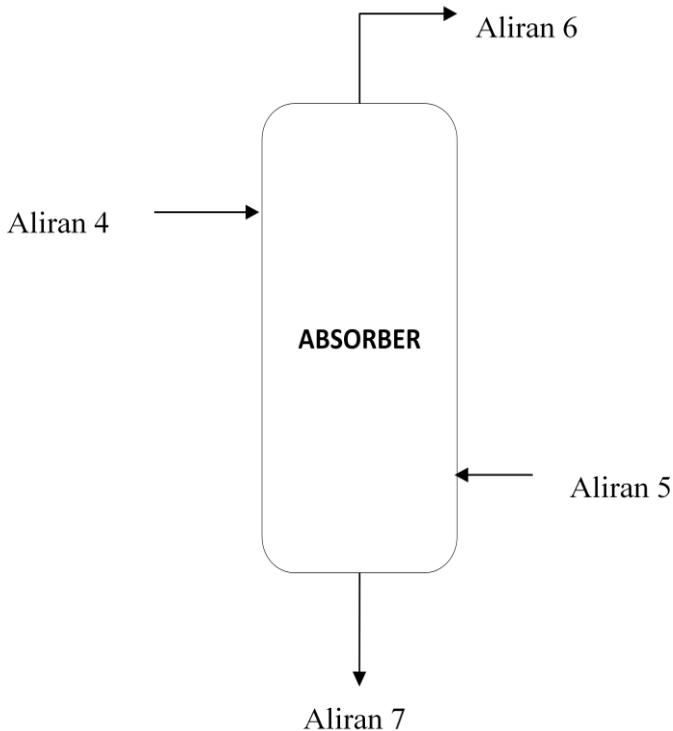
Komponen	Berat Molekul	Mula-Mula	Sisa
CH ₃ COOH	60	54.21795357	51.9733
(NH ₄) ₂ SO ₄	132	3330.141242	3325.2
CO ₂	44		3.29211
H ₂ S	34		1.27195
NH ₃	17		1.27195
O ₂	32		1.19713
H ₂	2		0.14964

**Tabel 5.7** Neraca Massa Total Digester

Komponen Masuk		Komponen Keluar	
Vinasse (Aliran 1)		Biogas (Aliran 2)	
$C_6H_{12}O_6$	51406.04302	CH_4	7.33804
$(NH_4)_2SO_4$	3330.141242	CO_2	23.4717
		H_2S	1.27195
		NH_3	1.27195
		H_2	0.14964
		O_2	1.19713
		SUBTOTAL	34.7004
		Sludge (Aliran 3)	
		$C_6H_{12}O_6$	51324.3
		$(NH_4)_2SO_4$	3325.2
		CH_3COOH	51.9733
		C_2H_5OH	0
TOTAL	54736.18426	TOTAL	54736.2



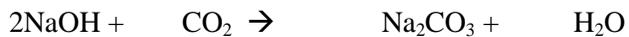
5.2 Neraca Massa Absorber



5.2.1 Absorpsi CO₂

Konversi = 99.83%

*konversi didapatkan dari hasil praktikum



Mula- mula	1.77777778	0.533448356		
Reaksi	1.06506954	0.532534772	0.532534772	0.53253
Sisa	0.71270823	0.000913584	0.532534772	0.53253

**Tabel 5.8** Neraca Massa Komponen Reaksi Absorpsi CO₂

Komponen	Berat Molekul	Mula-mula	Sisa
NaOH	40	71.11111111	28.5083
CO ₂	44	23.47172768	0.0402
Na ₂ CO ₃	106		56.4487
H ₂ O	18		9.58563

A.2.2 Reaksi Absorpsi H₂S

Konversi = 99.76%



M	0.88888889	0.037410388		
R	0.03732116	0.037321157	0.037321157	0.07464
S	0.85156773	8.92307E-05	0.037321157	0.07464

Tabel 5.9 Neraca Massa Komponen Reaksi Absorpsi H₂S

Komponen	Berat Molekul	Mula-mula	Sisa
FeCl ₂	127	112.888889	108.149
H ₂ S	34	1.271953191	0.00303
FeS	88		3.28426
HCl	36.1		2.69459

**Tabel 5.10** Neraca Massa Total Absorber

Komponen Masuk		Komponen Keluar	
Biogas sebelum absorb		Biogas setelah absorb	
CH ₄	7.338041287	CH ₄	7.33804
CO ₂	23.47172768	CO ₂	0.0402
H ₂ S	1.271953191	H ₂ S	0.00303
NH ₃	1.271953191	NH ₃	1.27195
H ₂	0.149641552	H ₂	0.14964
O ₂	1.197132415	O ₂	1.19713
SUBTOTAL	34.70044932	SUBTOTAL	10
NaOH	71.11111111	NaOH	28.5083
FeCl ₂	112.888889	Na ₂ CO ₃	56.4487
		H ₂ O	9.58563
		FeCl ₂	108.149
		FeS	3.28426
		HCl	2.69459
		SUBTOTAL	208.671
TOTAL	218.7004494	TOTAL	218.671



5.2 Neraca Panas

5.1 Perhitungan Neraca Panas

Tabel 5.1.1 Heat Capacity of The Element (J/mol°C)

Elemen	ΔE (J/mol°C)
C	10,89
H	7,56
O	13,42
N	18,74
S	12,36

5.1.2 Menghitung Heat Capacity

Tabel 5.1.2 Menghitung Heat Capacity

Komponen	atom					Cp (cal/g°C)
	C	H	O	N	S	
C ₆ H ₁₂ O ₆	6	12	6	-	-	0,313923259
(NH ₄) ₂ SO ₄	-	8	4	2	1	0,296748061
H ₂ S	-	2	-	-	1	0,193043765
NH ₃	-	3	-	1	-	0,584118424
O ₂	-	-	2	-	-	0,200332083
H ₂	-	-	-	-	-	1,80567576

**Tabel 5.1.3** Data Kapasitas Panas (C_p) Komponen

Komponen	C_p (cal/g $^{\circ}$ C)	Referensi
$C_6H_{12}O_6$	0,313923259	Metode Kopp's
C_2H_5OH	0,58	Hougen (Tabel 23, Hal,270)
CO_2	0,202	Hougen (Tabel 23, Hal,270)
CH_3COOH	0,491	Hougen (Tabel 23, Hal,270)
CH_4	0,534	Hougen (Tabel 23, Hal,270)
$(NH_4)_2SO_4$	0,296748061	Metode Kopp's
H_2S	0,193043765	Metode Kopp's
NH_3	0,584118424	Metode Kopp's
O_2	0,200332083	Metode Kopp's
H_2	1,80567576	Metode Kopp's

Tabel 5.1.4 Data *Heat of Formation* (ΔH_f) Senyawa

Komponen	ΔH_f (cal/mol)	Referensi
$C_6H_{12}O_6$	-7504,54132	<i>Eugene Dolmaski</i>
C_2H_5OH	-66326	<i>Thermodynamic Property</i>
CO_2	-93990678	<i>Thermodynamic Property</i>
CH_3COOH	-116127	Himmeblau
CH_4	-17830	<i>Thermodynamic Property</i>
$(NH_4)_2SO_4$	-28223	<i>Thermodynamic Property</i>
H_2S	-4813	Himmeblau
NH_3	-16050	Himmeblau
O_2	0	<i>Thermodynamic Property</i>
H_2	0	Himmeblau



5.1.3 Neraca Panas Reaksi

5.1.3.1 Neraca Panas Reaksi Asidogenesis



Tabel 5.1.5 Perhitungan H Reaksi Asidogenesis

T = 30

T ref = 25

Komponen	Massa (gram)	Cp (cal/gram°C)	T-T ref (°C)	H (cal)
C ₆ H ₁₂ O ₆	51406,04302	0,313923259	5	80687,76287
C ₂ H ₅ OH	41,77597763	0,58	5	12,1503351
CO ₂	39,95963077	0,202	5	40,35922708
ΔH				-80526,25331

Tabel 5.1.6 Perhitungan ΔH₂₅ Asidogenesis

Komponen	Mol	Koefisien	ΔHf (cal/mol)	ΔH (cal)
C ₆ H ₁₂ O ₆	285,5891279	1	-7505	-2143215,4
C ₂ H ₅ OH	0,908173427	2	-66326	-120471,9
CO ₂	0,908173427	2	-93990678	-170719672
ΔH ₂₅				-168696929

$$\Delta H = \Delta H P + \Delta H_{25} - \Delta H R$$

$$\Delta H = ((40,35922708) + (12,1503351)) + (-168696928,6) - ((80687,76287))$$

$$\Delta H = -168777455 \text{ cal}$$



5.1.3.2 Neraca Panas Reaksi Asetogenesis



Tabel 5.1.7 Perhitungan H Reaksi Asetogenesis

T = 30

T ref = 25

Komponen	Massa (gram)	Cp (cal/gram°C)	T-T ref (°C)	H (cal)
C ₂ H ₅ OH	0,017215725	0,58	5	0,049925603
CO ₂	39,95963077	0,202	5	40,35922708
CH ₃ COOH	54,4904056	0,491	5	133,7739457
CH ₄	7,265387413	0,534	5	19,39858439
ΔH				112,7633775

Tabel B.1.8 Perhitungan ΔH₂₅ Asetogenesis

Komponen	Mol	Koefisien	ΔHf (cal/mol)	ΔH (cal)
C ₂ H ₅ OH	0,908173427	2	-66326	-120471,9
CO ₂	0,908173427	1	-93990678	-85359836
CH ₃ COOH	0,908173427	2	-116127	-210926,78
CH ₄	0,454086713	1	-17830	-8096,2753
ΔH ₂₅				85261284,9

$$\Delta H = \Delta H P + \Delta H_{25} - \Delta H R$$

$$\Delta H = ((19,39858439) + (133,7739457)) + (85261284,9) - ((40,35922708) + (0,049925603))$$

$$\Delta H = 85261398 \text{ cal}$$



B.1.3.3 Neraca Panas Reaksi Pembentukan Sulfat



Tabel B.1.9 Perhitungan H Reaksi Pembentukan Sulfat

T = 30

T ref = 25

Komponen	Massa (gram)	Cp (cal/gram°C)	T-T ref (°C)	H (cal)
CH ₃ COOH	54,21795357	0,491	5	133,105076
(NH ₄) ₂ SO ₄	3330,141242	0,296748061	5	4941,064775
CO ₂	3,292114141	0,202	5	3,325035282
H ₂ S	1,271953191	0,193043765	5	1,227713162
NH ₃	1,271953191	0,584118424	5	3,714856463
O ₂	1,197132415	0,200332083	5	1,199120148
H ₂	0,149641552	1,80567576	5	1,351020614
ΔH				-5063,35

Tabel 5.1.10 Perhitungan ΔH₂₅ Pembentukan Sulfat

Komponen	mol	Koefisien	ΔHf (cal/mol)	ΔH (cal)
CH ₃ COOH	0,90363256	1	-116127	-104936,07
(NH ₄) ₂ SO ₄	25,22834274	1	-28223	-712019,32
CO ₂	0,074820776	2	-93990678	-14064911
H ₂ S	0,037410388	1	-4813	-180,04673
NH ₃	0,074820776	2	-1098	-164,23374
O ₂	0,037410388	1	0	0
H ₂	0,074820776	1	0	0
ΔH ₂₅				-13248299,8



$$\Delta H = \Delta H_P + \Delta H_{25} - \Delta H_R$$

$$\Delta H = ((1,351020614) + (1,199120148) + (3,714856463) + (1,227713162) + (3,325035282)) + (-104936,07) - ((4941,064775) + (133,105076))$$

$$\Delta H = -1325336 \text{ cal}$$

5.1.3.3 Neraca Panas Reaksi Metanogenesis



Tabel 5.1.11 Perhitungan H Reaksi Metanogenesis

$$T = 30$$

$$T_{\text{ref}} = 25$$

Komponen	Massa (gram)	Cp (cal/gram°C)	T-T _{ref} (°C)	H (cal)
CH ₃ COOH	54,4904056	0,491	10	267,5478915
CH ₄	0,072653874	0,534	10	0,387971688
CO ₂	0,199798154	0,202	10	0,403592271
			ΔH	-266,756

**Tabel 5.1.12** Perhitungan ΔH_{25} Metanogenesis

Komponen	Mol	Koefisien	ΔH_f (cal/mol)	ΔH (cal)
CH ₃ COOH	0,908	2	-116,127	-210926,775
CH ₄	0,00454	2	-17,830	-161,9255
CO ₂	0,00454	2	-93,990,678	-853598,36
ΔH_{25}				-642833,51

$$\Delta H = \Delta H P + \Delta H_{25} - \Delta H R$$

$$\Delta H = ((0,387971688) + (0,403592271)) + (-642833,5107) - (267,5478915)$$

$$\Delta H = -642966,89 \text{ cal}$$



5.2 Neraca Panas Total

Tabel 5.2.1 Neraca Panas Total

Neraca Panas			
Masuk		Keluar	
reaksi 1		reaksi 1	
$C_6H_{12}O_6$	80687,76287	C_2H_5OH	121,1503351
ΔH_{25}	-168777454,8	CO_2	40,35922708
reaksi 2		ΔH reaksi	-168696929
C_2H_5OH	0,049925603	reaksi 2	
CO_2	40,35922708	CH_3COOH	133,7739457
ΔH_{25}	85261397,65	CH_4	19,39858439
reaksi 3		ΔH reaksi	85261284,89
CH_3COOH	133,105076	reaksi 3	
$(NH_4)_2SO_4$	4941,064775	CO_2	3,325035282
ΔH_{25}	-13253363,14	H_2S	1,227713162
reaksi 4		NH_3	3,714856463
CH_3COOH	267,5478915	O_2	1,199120148
ΔH_{25}	-643100,2671	H_2	1,351020614
		ΔH reaksi	-13248299,79
		reaksi 4	
		CH_4	0,387971688
		CO_2	0,403592271
		ΔH reaksi	
Total	326,291402		326,291402



5.3 Perhitungan Neraca Panas Absorber

5.3.1 Neraca Panas Reaksi Absorpsi CO₂ dengan NaOH dan FeCl

Tabel 5.3.1 Heat Capacity of The Element (J/mol°C)

Elemen	ΔE (J/mol°C)
Na	26,19
O	13,42
H	7,56
C	10,89
Fe	29,08
Cl	24,69
S	12,36

5.3.2 Menghitung Heat Capacity

Tabel 5.3.2 Menghitung Heat Capacity

Komponen	atom Na	atom H	atom O	atom C	atom Fe	atom Cl	atom S	Cp (cal/g°C)
NaOH	1	1	1	-	-	-	-	0,282
CO ₂	-	-	2	1	-	-	-	0,205
Na ₂ CO ₃	2	-	3	1	-	-	-	0,233
H ₂ O	-	2	1	1	-	-	-	0,379
FeCl ₂	-	-	-	-	1	2	-	0,148
H ₂ S	-	2	-	-	-	-	1	0,193
FeS	-	-	-	-	1	-	1	0,11
HCl	-	1	-	-	1	1	-	0,211

**Tabel 5.3.3** Data Kapasitas Panas (C_p) Komponen

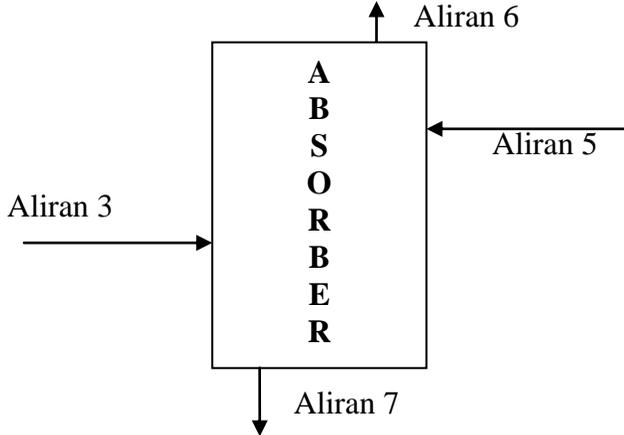
Komponen	C_p (cal/g $^{\circ}$ C)	Referensi
NaOH	0,281848	Metode Kopp's
CO ₂	0,204947	Metode Kopp's
Na ₂ CO ₃	0,233436	Metode Kopp's
H ₂ O	0,378957	Metode Kopp's
FeCl ₂	0,147657	Metode Kopp's
H ₂ S	0,193103	Metode Kopp's
FeS	0,11255	Metode Kopp's
HCl	0,211176	Metode Kopp's

Tabel 5.3.4 Data *Heat of Formation* (ΔH_f) Senyawa

Komponen	ΔH_f (cal/mol)	Referensi
NaOH	-1019,8375	<i>Thermodynamic Property</i>
CO ₂	-94051	<i>Thermodynamic Property</i>
Na ₂ CO ₃	-27030,11472	<i>Thermodynamic Property</i>
H ₂ O	-6831,50096	<i>Thermodynamic Property</i>
FeCl ₂	-8168,97706	<i>Thermodynamic Property</i>
H ₂ S	-482,07457	<i>Thermodynamic Property</i>
FeS	-23,9006	<i>Thermodynamic Property</i>
HCl	-220,6023	<i>Thermodynamic Property</i>



5.3.2 Neraca Panas Reaksi Absorpsi CO₂ dengan NaOH



Tabel 5.3.5 Perhitungan H Reaksi Absorpsi CO₂

T = 30

T_{ref} = 25

Komponen	Massa (gram)	Cp (cal/gram°C)	T-T _{ref} (°C)	H (cal)
NaOH	71,11111111	0,281847525	5	100,2124533
CO ₂	23,47172768	0,204947418	5	24,05234994
Na ₂ CO ₃	56,44868584	0,233436452	5	65,88590468
H ₂ O	9,585625897	0,378956872	5	18,16269404
ΔH				-40,21620456

**Tabel 5.3.2** Perhitungan ΔH_{25} Reaksi Absorpsi CO_2

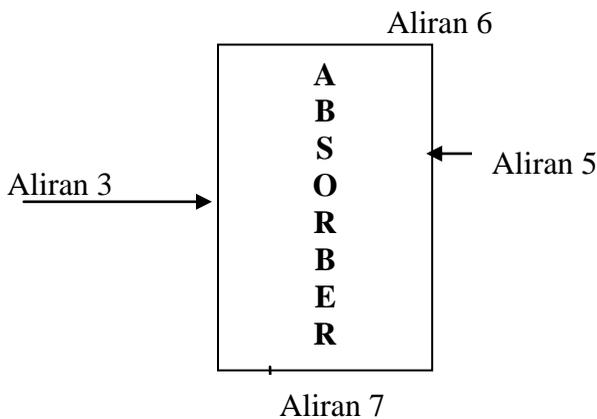
Komponen	Mol	Koefisien	ΔH_f (cal/mol)	ΔH (cal)
NaOH	1,777777778	2	-1019,8375	-3626,0889
CO_2	0,533448356	1	-94051	-50171,43
Na_2CO_3	0,532534772	1	-27030,11472	-14394,476
H_2O	0,532534772	1	-6831,50096	-3638,0118
ΔH_{25}				35765,0309

$$\Delta H = \Delta H P + \Delta H_{25} - \Delta H R$$

$$\Delta H = ((18,16269404) + (65,88590468)) + (35765,0309) - ((24,05234994) + (100,2124533))$$

$$\Delta H = 35725 \text{ cal}$$

5.3.1 Neraca Panas Reaksi Absorpsi H_2S dengan FeCl_2

**Tabel 5.3.6** Perhitungan H Reaksi Absorpsi H_2S

$$T = 30$$

$$T_{\text{ref}} = 25$$



Komponen	Massa (gram)	Cp (cal/gram°C)	T-T ref (°C)	H (cal)
FeCl ₂	112,8888888 9	0,147656614	5	83,3439555 6
H ₂ S	1,27195319 1	0,193102576	5	1,22808719 1
FeS	3,28426183 9	0,112549974	5	1,84821792 1
HCl	2,72444448	0,211176301	5	2,87669054 3
				-
ΔH				79,8471342 8

1

Tabel 5.3.7 Perhitungan ΔH₂₅ Reaksi Absorpsi H₂S

Komponen	mol	Koefisien	ΔHf (cal/mol)	ΔH (cal)
FeCl ₂	0,888888889	1	-8168,97706	-7261,3129
H ₂ S	0,037410388	1	-482,07457	-18,034597
FeS	0,037321157	1	-23,9006	-0,8919981
HCl	0,074642315	2	-220,6023	-32,932533
ΔH ₂₅				7245,52301

$$\Delta H = \Delta H P + \Delta H_{25} - \Delta H R$$

$$\Delta H = ((2,876690543) + (1,848217921)) + (7245,52301) - ((83,34395556) + (1,228087191))$$

$$\Delta H = 7166 \text{ cal}$$



5.4 Neraca Panas Total Absorber

Tabel 5.4.1 Neraca Panas Total Absorber

Neraca Panas			
Masuk		Keluar	
reaksi 1		reaksi 1	
NaOH	100,2124533	Na ₂ CO ₃	65,8859047
CO ₂	24,05234994	H ₂ O	18,162694
ΔH ₂₅	35725	ΔH	35765
reaksi 2		reaksi 2	
FeCl ₂	83,34395556	FeS	1,84821792
H ₂ S	1,228087191	HCl	2,87669054
ΔH ₂₅	7166	ΔH	7246
Total	43099,3274		43099,3274

BAB VI ANALISIS KEUANGAN

6.1 Anggaran Biaya

Estimasi keuangan total “Pemanfaatan Limbah Cair Vinasse Industri Bioethanol Menjadi Biogas Menggunakan Biodigester” pada skala industri kecil.

Kapasitas produksi : 10 kg/L

Waktu Operasi : 10 hari

Bahan yang dibutuhkan untuk membuat biogas dalam 1 kali produksi :

Tabel VI.1 Investasi Peralatan Proses Produksi (*Fixed Cost*)

No	Keterangan	Spesifikasi	Kuantitas	Harga (Rp)	Total Biaya (Rp)
1	Konstruksi digester	Volume 4 m ³	1 buah	5.000.000	5.000.000
3	Tangki inlet vinase	Volume 8 m ³	1 buah	3.200.000	3.200.000
4	Tangki outlet vinase	Volume 5 m ³	1 buah	2.800.000	2.800.000
4	Tangki penampung gas	Volume 2 m ³ (plastik)	1 buah	1.500.000	1.500.000
5	Pipa	Panjang 6 m	1 buah	350.000	350.000
6	Valve	12 lbs	3 buah	112.500	337.500
7	Selang	Tahan tekanan tinggi	1 buah	100.000	100.000



8	Pompa Air	125 watt	1 buah	800.000	800.000
9	Termometer	0-100C	1 buah	364.000	364.000
10	Barometer	0-315 kg/cm ²	1 buah	105.000	105.000
11	Absorber		2 buah	600.000	1.200.000
Subtotal					15.756.500

Tabel VI.2 Investasi Bahan Habis Pakai Perhari (*Variable Cost*)

No	Keterangan	Kuantitas	Harga (Rp)	Total Biaya (Rp)
1	Gaji Karyawan (Per-Hari)	4 orang	100.000	400.000
2	Listrik	200 kWh	1112	222.400
Subtotal				622.400

Tabel VI.3 Pendukung Utilitas

No	Keterangan	Kuantitas	Harga (Rp)	Total Biaya (Rp)
1	Maintenance peralatan		500.000	500.000
Subtotal				500.000

a. Biaya tetap (FC)

Biaya tetap adalah tota biaya yang tidak akan mengalami perubahan apabila terjadi perubahan volume produksi. Biaya tetap secara total akan selalu konstan sampai tingkat kapasitas penuh. Biaya tetap merupakan



biaya yang akan selalu terjadi walaupun perusahaan tidak berproduksi. Biaya tetap meliputi PBB, penyusutan alat, utilitas, gaji karyawan, dan maintenance peralatan.

1. Investasi peralatan	= 15.756.500
2. Maintenance peralatan	= 500.000
Total	= 16.256.500

b. Biaya Variabel (VC)

Biaya variabel adalah total biaya yang berubah-ubah tergantung dengan perubahan volume penjualan/produksi. Biaya variabel akan berubah secara proposional dengan perubahan volume produksi. Biaya variabel meliputi kebutuhan bahan baku.

1. Biaya variable per produksi	= 622.400
2. Biaya variable per kg	=
<u>Biaya variabel per produksi</u>	
Jumlah produksi	= $\frac{622.400}{10}$
	= Rp 62.240

c. Biaya Produksi Total (TC)

Biaya produksi total merupakan biaya yang dibutuhkan untuk melakukan proses produksi dalam waktu satu bulan.

$$\begin{aligned}FC + (30 VC) &= \text{Rp } 15.756.500 + (30 \times \text{Rp } 622.400) \\ &= \text{Rp } 15.756.500 + 18.672.000 \\ &= \text{Rp } 34.428.500\end{aligned}$$

6.2 Harga Pokok Penjualan (HPP)

Harga pokok penjualan adalah seluruh biaya yang dikeluarkan untuk memperoleh barang yang dikeluarkan untuk memperoleh barang yang akan dijual atau harga



perolehan dari barang yang akan dijual.

- a. Jumlah gas yang akan dihasilkan dalam 1 kali produksi = 10 kg/L
- b. Jumlah gas yang dihasilkan dalam 1 bulan = 300 kg/L

HPP =

Biaya produksi total (TC)

Jumlah produk per bulan

$$= \frac{34.428.500}{300}$$

$$= \text{Rp } 114.762/\text{kg}$$

- c. Laba

$$= 50\% \times \text{HPP}$$

$$= 50\% \times 114.762$$

$$= \text{Rp } 57.381$$

- d. Harga Jual

$$= \text{HPP} + \text{Laba}$$

$$= \text{Rp } 172.143/\text{kg}$$

- e. Hasil Penjualan perbulan

$$= \text{Rp } 172.143 \times 300$$

$$= \text{Rp } 51.642.900$$

- f. Laba per bulan

$$= \text{Rp } 51.642.900 - \text{Rp}$$

34.428.500

$$= \text{Rp } 17.214.400$$

- g. Laba Per tahun

$$= \text{Rp } 17.214.400 \times 12$$

bulan

$$= \text{Rp } 206.572.800$$

6.3 Break Even Point (BEP)

Break Even Point (BEP) ialah titik impas dimana posisi jumlah pendapatan dan biaya sama atau seimbang sehingga tidak terdapat keuntungan ataupun kerugian dalam suatu perusahaan. Break Even Point ini digunakan untuk menganalisis proyeksi sejauh mana banyaknya jumlah unit yang diproduksi atau sebanyak apa uang yang harus diterima untuk mendapatkan titik impas atau kembali modal.



- BEP unit = titik pulang pokok (BEP) yang dinyatakan dalam penjualan produk di nilai tertentu.

$$\begin{aligned} \text{BEP Unit} &= \frac{\text{Biaya tetap}}{\text{Harga jual per kg} - \text{biaya variabel per kg}} \\ &= \frac{15.756.500}{172.143 - 62.240} \\ &= 143.3673 \end{aligned}$$

Artinya, perusahaan perlu menjual 109.903 kg/L biogas agar terjadi BEP.

- BEP rupiah = titik pulang pokok (BEP) yang dinyatakan dalam jumlah penjualan atau harga penjualan tertentu.

$$\begin{aligned} \text{Kontribusi margin per kg} &= \text{harga jual per kg} - \text{biaya variabel per kg} \\ &= 175.655 - 63.510 \\ &= 109.903 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BEP Rupiah} &= \frac{\text{Biaya tetap}}{\text{kontribusi margin per kg} - \text{biaya variabel per kg}} \\ &= \frac{15.756.500}{109.903 - 62.240} \\ &= \text{Rp } 8.923.183 \end{aligned}$$

Artinya perusahaan perlu mendapatkan omset penjualan biogas senilai Rp 8.923.183 agar terjadi BEP, maka perusahaan tersebut akan memperoleh keuntungan jika mendapat omset sebesar

- BEP = titik pulang pokok (BEP) yang dinyatakan dalam jangka waktu tertentu

Biaya pengeluaran per tahun = Biaya investasi peralatan + Biaya kebutuhan bahan



$$\begin{aligned} & \text{baku} + \text{biaya pendukung} \\ & \text{utilitas} + \text{biaya lainnya} \\ & = 15.756.500 + (622.400 \times 12) \\ & + (500.000 \times 12) \\ & = \text{Rp } 29.225.300 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \frac{\text{Biaya pengeluaran per tahun}}{\text{Hasil penjualan per bulan} \times 12} \\ &= \frac{29.225.300}{51.642.900 \times 12} \\ &= 0,047 \text{ tahun} \\ &= 17 \text{ hari} \end{aligned}$$

Artinya, perusahaan perlu mendapatkan waktu penjualan biogas selama 17 hari agar terjadi BEP, maka perusahaan tersebut akan memperoleh keuntungan.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

VII.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Produksi rata-rata biogas pada variasi HRT (7,14 dan 21 hari) adalah 215,167 ml, 878,33 ml, dan 1275,17 ml. Dapat diketahui bahwa produksi biogas yang paling maksimum pada HRT 21 hari. Sehingga produksi rata-rata meningkat seiring dengan bertambahnya HRT.

2. Produksi akumulasi biogas pada variasi HRT (7, 14 dan 21 hari) adalah 6455 ml, 26349 ml, dan 38255 ml. Dapat diketahui bahwa produksi akumulasi biogas paling maksimum pada HRT 21 hari. Sehingga produksi akumulasi meningkat seiring dengan besarnya HRT. Kemudian hasil produksi yang paling besar dilanjutkan dengan proses pemurnian metode absorpsi dengan larutan NaOH.

3. Komposisi Biogas hasil diambil dari laboratorium Energi di Pusat Robotika ITS menggunakan *Gas Chromatography* didapat dalam persentase komposisi pada biogas tanpa pemurnian sebesar 24,2422527% methana, 43,4463355 % karbon dioksida dan 32,3114118 % udara, sedangkan persentase komposisi pada biogas dengan pemurnian sebesar 30,54697 % methana, 2,97625 % karbon dioksida dan 66,47679 % udara. Menunjukkan bahwa presentase gas metana mengalami peningkatan setelah diabsorpsi, gas karbondioksida mengalami penurunan drastic jumlah presentasenya pada saat setelah pemurnian dan gas hydrogen sulfide juga sama halnya



dengan gas karbondioksida yaitu mengalami penurunan drastic setelah pemurnian.

4. Kandungan metana sebesar 30,54687 %, dan 2,97625 % serta hydrogen sulfide sebesar 0,42%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa biogas yang dihasilkan dari limbah vinasse belum mencapai komponen biogas yang baik yaitu dengan presentasi metana 50-70%. Namun, untuk kandungan karbondioksida dan hydrogen sulfide sudah baik yaitu memenuhi standar komponen biogas yang baik dengan karbondioksida sebesar minimal 25% dan maksimal 45%. Dan hydrogen sulfide sebesar minimal 0% dan maksimal 3%.

**VII.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini antara lain :

1. Sludge yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerob dapat dimanfaatkan sebagai pupuk cair organik, sehingga memiliki nilai ekonomis yang tinggi.
2. Desain alat dibuat lebih mudah dan efisien agar tidak terjadi kebocoran alat atau kerusakan alat pada pertengahan praktikum.
3. Menggunakan penampung gas dengan bahan yang kedap udara agar biogas tidak mudah hilang atau terkontaminasi oleh udara bebas.
4. Sampel yang digunakan memiliki kestabilan dalam kondisinya agar dapat tetap digunakan dalam jangka waktu yang lama.



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
Cp	<i>Heat capacity</i>	cal/g°C
m	Berat	gram
T	Suhu	°C
T _{ref}	Suhu referens	°C
ΔH_f	<i>Enthalpy</i>	cal/mol
BM	Berat Molekul	-
V	Volume	mL
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>	mg/L

DAFTAR PUSTAKA

- Andrea Mary Siefers. (2010). *A novel cost-effective hydrogen sulfide removal technology using tire derived rubber particles*. Graduate Thesis and Dissertations: Paper 11281.
- Arifin, M. (2011). Kajian Biogas Sebagai Sumber Pembangkit Tenaga Listrik di Pesantren Saung Balong Al Barokah, Majalengka, Jawa Barat . *Journal of Mechatronics, Electrical Power and Vehicular Technology, Vol. 02, No 2*, 73-78.
- Carmen Baez-Smith, P. P. (2006). Anaerobic Digestion of Vinasse for the Production Of Methane in the Sugar Cane Distillery. *SPRI Conference on Sugar Processing*, 268-287.
- Gerardi, M. H. (2003). *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. Canada: John Wiley&Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.
- Hamidi, N. (2011). Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam . *Jurnal Rekaya Mesin Vol.2 No.3*, 227-231.
- Herlina Dewi Mayasari. (2010). *Pembuatan Biodigester Dengan Uji Coba Kotoran Sapi Sebagai Bahan Baku*. Surakarta.
- I Putu Awing Wiratmana. (Oktober 2012). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Bahan Kering Terhadap Produksi dan Nilai Kalor Biogas Kotoran Sapi. *Jurnal Energi dan Manufaktur Vol. 5, No. 1*, 22-32
- Irvani Altha. (2007). Perancangan dan Pembuatan Sistem Kontrol Temperatur Metode Kontrol Dua Posisi Dan Pemantauan Biogas Pada Anaerob Digester. 1-9.
- Mara, I. M. (Januari 2012). Analisis Penyerapan Gas Karbondioksia (CO₂) dengan Larutan NaOH Terhadap Kualitas Biogas Kotoran Sapi. *Dinamika Teknik Mesin, Volume 2 No.1*, 38-46.
- Rika Widya Sukmana S.P, M. (2010). *BIOGAS DARI LIMBAH TERNAK* . Bandung: Penerbit Nuansa.

- Rusdianto, A. S. (2010). Proses Produksi Bioetanol dari Ubi Kayu dengan Daur Ulang Vinasse Sebagai Umpan Balik Proses Fermentasi. 1-91.
- Seadi, T. A. (2008). *BIOGAS HANDBOOK*. Denmark: University of Southern Denmark Esbjerg, Niehls Bohrs Vej 9-10.
- Sucipto, I. (2009). Biogas Hasil Fermentasi Hidrolisat Bagas Menggunakan Konsorsium Bakteri Termofilik Kotoran Sapi . 1-10.
- Sunar Tejo Tsani. (2015). *Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Rumen Sapi Terhadap Produksi Biogas dari Vinasse*. Semarang.
- Surono, U. B. (2014). Peningkatan Kualitas Biogas Dengan Metode Absorpsi dan Pemakaiannya Sebagai Bahan Bakar Mesin Generator Set (Genset).
- Suyitno. (2010). *Teknologi Biogas*. Surakarta: Graha Ilmu.
- Zulkefli, N. N. (2016). Overview of H₂S Removal Technologies from Biogas Production. *International Journal of Applied Engineering Reserach* ISSN 0973-4562 Vol 11, No 20, 10060-10066.

APPENDIKS A NERACA MASSA

Basis = 64102.06071 kg/hari

Tabel 5.1 Komposisi Vinasse

Komposisi	Persentase (%)	Massa (kg/l)
$C_6H_{12}O_6$	0.93916015	51406
$(NH_4)_2SO_4$	0.06083985	3330.14
Total	1	54736.2

*komposisi vinasse didapatkan dari hasil analisa vinasse di Laboratorium Teknik Lingkungan ITS

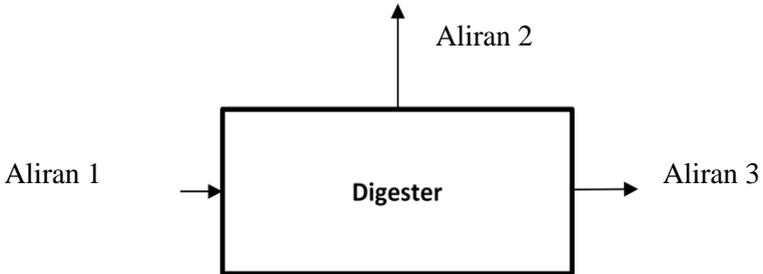
Tabel 5.2 Berat Molekul

Komposisi	Berat Molekul
$C_6H_{12}O_6$	180
$(NH_4)_2SO_4$	132

Didalam digester terjadi reaksi dengan bantuan bakteri pembentuk biogas, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Mol} &= \frac{\text{Massa}}{\text{Berat Molekul}} \\ \text{Mol } C_6H_{12}O_6 &= \frac{51406.04302}{180} \\ &= 285.5891279 \end{aligned}$$

1.1 Neraca Massa Digester



Aliran masuk = Aliran Keluar
 Aliran 1 = Aliran 2 + Aliran 3

Didalam digester terjadi reaksi dengan bantuan bakteri pembentuk biogas, sebagai berikut :

1. Reaksi Asidogenesis

Konversi = 0.16%

*konversi didapatkan dari hasil praktikum



Mula-mula	285.589128		
Reaksi	0.45408671	0.908173427	0.908173427
Sisa	285.135041	0.908173427	0.908173427

Tabel 5.3 Massa Komponen Reaksi Asidogenesis

Komponen	Berat Molekul	Mula-Mula	Sisa
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	180	51406.04302	51324.3
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	46		41.776
CO_2	44		39.9596

Massa	=	mol x berat molekul
Massa C ₆ H ₁₂ O ₆ mula-	=	285.5891279 x 180
mula	=	51406.04302
Massa C ₆ H ₁₂ O ₆ sisa	=	285.1350412 x 180
	=	51324.30741
Massa C ₂ H ₅ OH	=	0.908173427 x 46
	=	41.77597763
Massa CO ₂ sisa	=	908173427 x 44
	=	39.95963077

2. Reaksi Asetogenesis

Konversi = 100%

*konversi didapatkan dari hasil praktikum



Mula-				
mula	0.90817343	0.908173427		
Reaksi	0.90817343	0.454086713	0.908173427	0.45409
Sisa	0	0.454086713	0.908173427	0.45409

Tabel 5.4 Massa Komponen Reaksi Asetogenesis

Komponen	Berat Molekul	Mula-Mula	Sisa
C ₂ H ₅ OH	46	41.77597763	0
CO ₂	44	39.95963077	19.9798
CH ₃ COOH	60		54.4904
CH ₄	16		7.26539

Massa C ₂ H ₅ OH mula-mula	=	0.908173427 x 46
	=	41.77597763
Massa C ₂ H ₅ OH sisa	=	0 x 46
	=	0
Massa CO ₂ mula-mula	=	908173427 x 44
	=	39.95963077
Massa CO ₂ sisa	=	0.454086713 x 44
	=	19.97981539
Massa CH ₃ COOH sisa	=	0.908173427 x 60
	=	54.4904056
Massa CH ₄ sisa	=	0.454086713 x 16
	=	7.265387413

3. Reaksi Metanogenesis

Konversi = 0.50%

*konversi didapatkan dari hasil praktikum



Mula-mula	0.90817343		
Reaksi	0.00454087	0.004540867	0.004540867
Sisa	0.90363256	0.004540867	0.004540867

Tabel 5.5 Massa Komponen Reaksi Pembentukan Sulfat

Komponen	Berat Molekul	Mula-Mula	Sisa
CH ₃ COOH	60	54.4904056	54.218
CH ₄	16	0	0.07265
CO ₂	44		0.1998

$$\begin{aligned}
 \text{Massa CH}_3\text{COOH} &= 0.908173427 \times 60 \\
 \text{mula-mula} &= 54.4904056 \\
 \text{Massa CH}_3\text{COOH sisa} &= 0.90363256 \times 60 \\
 &= 54.21795357 \\
 \text{Massa CH}_4 \text{ sisa} &= 0.0045408677 \times 16 \\
 &= 0.072653874 \\
 \text{Massa CO}_2 \text{ sisa} &= 0.004540867 \times 44 \\
 &= 0.199798154
 \end{aligned}$$

4. Reaksi Pembentukan Sulfat

Konversi = 4.14%

*konversi didapatkan dari hasil praktikum



Mula- mula	0.904	25.23						
Reaksi	0.0374	0.0374	0.0748	0.03741	0.0748	0.037	0.0748	
Sisa	0.866	25.191	0.0748	0.03741	0.0748	0.037	0.0748	

Tabel 5.6 Massa Komponen Reaksi Metanogensis

Komponen	Berat Molekul	Mula-Mula	Sisa
CH ₃ COOH	60	54.21795357	51.9733
(NH ₄) ₂ SO ₄	132	3330.141242	3325.2
CO ₂	44		3.29211
H ₂ S	34		1.27195

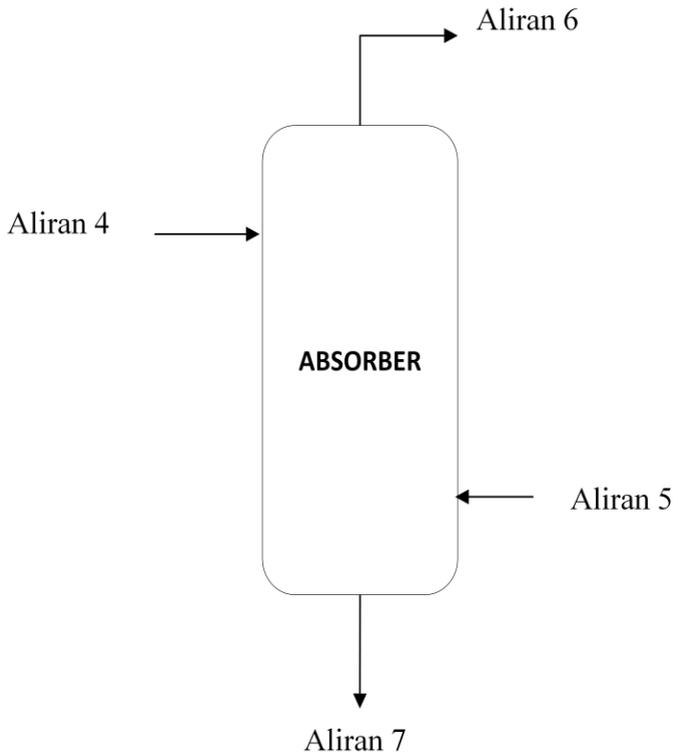
NH ₃	17		1.27195
O ₂	32		1.19713
H ₂	2		0.14964

Massa CH ₃ COOH mula-mula	=	0.90363256 x 60
	=	54.21795357
Massa CH ₃ COOH sisa	=	0.8662222 x 60
	=	51.97333029
Massa (NH ₄) ₂ SO ₄ mula-mula	=	23.22834274 x 132
	=	3330.141242
Massa (NH ₄) ₂ SO ₄ sisa	=	25.19093235 x 132
	=	3325.203071
Massa CO ₂ sisa	=	0.074820776 x 44
	=	3.292114141
Massa H ₂ S sisa	=	0.037410388 x 34
	=	1.271953191
Massa NH ₃ sisa	=	0.074820776 x 17
	=	1.271953191
Massa O ₂ sisa	=	0.037410388 x 32
	=	1.197132415
Massa H ₂ sisa	=	0.074820776 x 2
	=	0.149641552

Tabel 5.7 Neraca Massa Total Digester

Komponen Masuk		Komponen Keluar	
Vinasse (Aliran 1)		Biogas (Aliran 2)	
C ₆ H ₁₂ O ₆	51406.04302	CH ₄	7.33804
(NH ₄) ₂ SO ₄	3330.141242	CO ₂	23.4717
		H ₂ S	1.27195
		NH ₃	1.27195
		H ₂	0.14964
		O ₂	1.19713
		SUBTOTAL	34.7004
		Sludge (Aliran 3)	
		C ₆ H ₁₂ O ₆	51324.3
		(NH ₄) ₂ SO ₄	3325.2
		CH ₃ COOH	51.9733
		C ₂ H ₅ OH	0
TOTAL	54736.18426	TOTAL	54736.2

5.2 Neraca Massa Absorber



5.2.1 Absorpsi CO₂

Bahan yang digunakan untuk mengabsorpsi CO₂ adalah NaOH

NaOH yang dibutuhkan untuk mengabsorpsi sebanyak 1 N dalam 750 mL

$$\begin{array}{rcl} N & = & m \times e \\ 1 & = & m \times 1 \\ m & = & 1 \end{array}$$

$$\text{molaritas} = \frac{\text{massa}}{\text{BM}} \times \frac{1000}{\text{volume}}$$

$$1 = \frac{\text{massa}}{40} \times \frac{1000}{750}$$

$$53.333333 = \text{massa}$$

Jadi, massa yang diperlukan untuk mengabsorpsi CO₂ sebanyak 30 gram dalam 750 mL

Mol yang dimasukkan ke dalam reaksi adalah sebagai berikut

$$\frac{53.333333}{0.75} = 71.11111111 \text{ kg/liter}$$

$$\frac{71.111111}{40} = 1.777777778$$

40

Konversi = 99.83%

*konversi didapatkan dari hasil praktikum



Mula-

mula 1.77777778 0.533448356

Reaksi 1.06506954 0.532534772 0.532534772 0.53253

Sisa 0.71270823 0.000913584 0.532534772 0.53253

Tabel 5.8 Neraca Massa Komponen Reaksi Absorpsi CO₂

Komponen	Berat Molekul	Mula-mula	Sisa
NaOH	40	71.11111111	28.5083
CO ₂	44	23.47172768	0.0402
Na ₂ CO ₃	106		56.4487
H ₂ O	18		9.58563

$$\begin{aligned}
 \text{Massa NaOH mula-mula} &= 1.7777778 \times 40 \\
 &= 71.1111111 \\
 \text{Massa NaOH sisa} &= 0.7127082 \times 40 \\
 &= 28.50832935 \\
 \text{Massa CO}_2 \text{ mula-mula} &= 0.533448356 \times 44 \\
 &= 23.47172768 \\
 \text{Massa CO}_2 \text{ sisa} &= 0.000913584 \times 44 \\
 &= 0.040197711 \\
 \text{Massa Na}_2\text{CO}_3 \text{ sisa} &= 0.532534772 \times 106 \\
 &= 56.44868584 \\
 \text{Massa H}_2\text{O sisa} &= 0.532534772 \times 18 \\
 &= 9.585625897
 \end{aligned}$$

A.2.2 Reaksi Absorpsi H₂S

Bahan yang digunakan untuk mengabsorpsi CO₂ adalah NaOH

NaOH yang dibutuhkan untuk mengabsorpsi sebanyak 1 N dalam 750 mL

$$\begin{aligned}
 N &= m \times e \\
 1 &= m \times 2 \\
 m &= 0.5 \\
 \text{molaritas} &= \frac{\text{massa}}{\text{BM}} \times \frac{1000}{\text{volume}} \\
 0.5 &= \frac{\text{massa}}{127} \times \frac{1000}{750} \\
 84.666667 &= \text{massa}
 \end{aligned}$$

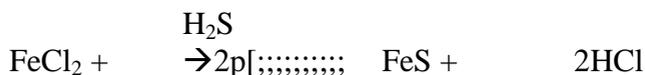
Jadi, massa yang diperlukan untuk mengabsorpsi CO₂ sebanyak 30 gram dalam 750 mL

Mol yang dimasukkan ke dalam reaksi adalah sebagai berikut

$$\frac{84.666667}{0.75} = 112.8888889 \quad \text{kg/liter}$$

$$\frac{112.88889}{127} = 0.888888889$$

Konversi = 99.76%



M	0.88888889	0.037410388		
R	0.03732116	0.037321157	0.037321157	0.07464
S	0.85156773	8.92307E-05	0.037321157	0.07464

Tabel 5.9 Neraca Massa Komponen Reaksi Absorpsi H₂S

Komponen	Berat Molekul	Mula-mula	Sisa
FeCl ₂	127	112.888889	108.149
H ₂ S	34	1.271953191	0.00303
FeS	88		3.28426
HCl	36.1		2.69459

Massa FeCl₂ mula-mula = 0.8888889 x 127
 = 112.8888889
 Massa FeCl₂ sisa = 0.8515677 x 127

	=	108.1491019
Massa H ₂ S mula-mula	=	0.037410388 x 34
	=	1.271953191
Massa H ₂ S sisa	=	0.0000892307x 34
	=	0.003033844
Massa FeS sisa	=	0.037321157 x 88
	=	3.284261839
Massa HCl sisa	=	0.07464 x 36.1
	=	2.694587554

Tabel 5.10 Neraca Massa Total Absorber

Komponen Masuk		Komponen Keluar	
Biogas sebelum absorb		Biogas setelah absorb	
CH ₄	7.338041287	CH ₄	7.33804
CO ₂	23.47172768	CO ₂	0.0402
H ₂ S	1.271953191	H ₂ S	0.00303
NH ₃	1.271953191	NH ₃	1.27195
H ₂	0.149641552	H ₂	0.14964
O ₂	1.197132415	O ₂	1.19713
SUBTOTAL	34.70044932	SUBTOTAL	10
NaOH	71.11111111	NaOH	28.5083
FeCl ₂	112.888889	Na ₂ CO ₃	56.4487
		H ₂ O	9.58563
		FeCl ₂	108.149
		FeS	3.28426
		HCl	2.69459
		SUBTOTAL	208.671

TOTAL	218.7004494	TOTAL	218.671
--------------	--------------------	--------------	----------------

APPENDIKS B NERACA PANAS

B.1 Perhitungan Neraca Panas

B.1.1 Perhitungan C_p (kapasitas panas) menggunakan metode Kopp's

$$\frac{C_p}{\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})} = \sum_{E=1}^N n_E \times \Delta E$$

Diketahui:

n_E : banyaknya unsure dalam senyawa

ΔE : kontribusi elemen

Tabel B.1.1 *Heat Capacity of The Element (J/mol°C)*

Elemen	ΔE (J/mol°C)
C	10,89
H	7,56
O	13,42
N	18,74
S	12,36

B.1.2 Menghitung *Heat Capacity*

Tabel B.1.2 Menghitung *Heat Capacity*

Komponen	atom C	atom H	atom O	atom N	atom S	Cp (cal/g°C)
C ₆ H ₁₂ O ₆	6	12	6	-	-	0,313923259
(NH ₄) ₂ SO ₄	-	8	4	2	1	0,296748061
H ₂ S	-	2	-	-	1	0,193043765
NH ₃	-	3	-	1	-	0,584118424
O ₂	-	-	2	-	-	0,200332083
H ₂	-	-	-	-	-	1,80567576

Perhitungan C₆H₁₂O₆

$$\begin{aligned}C_p &= (6 \times \Delta EC) + (12 \times \Delta EH) + (6 \times \Delta EO) \\C_p &= (6 \times 10,89) + (12 \times 7,56) + (6 \times 13,42) \\C_p &= 236,58 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\C_p &= 0,313923259 \text{ cal/g}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Perhitungan (NH₄)₂SO₄

$$\begin{aligned}C_p &= (8 \times \Delta EH) + (4 \times \Delta EO) + (2 \times \Delta EN) + (1 \times \\&\Delta ES) \\C_p &= (8 \times 7,56) + (4 \times 13,42) + (6 \times 18,74) + (1 \times \\&12,36) \\C_p &= 164 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\C_p &= 0,296748061 \text{ cal/g}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Perhitungan H₂S

$$\begin{aligned}C_p &= (2 \times \Delta EH) + (1 \times \Delta ES) \\C_p &= (2 \times 7,56) + (1 \times 12,36) \\C_p &= 27,48 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\C_p &= 0,193043765 \text{ cal/g}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Perhitungan NH₃

$$\begin{aligned}C_p &= (3 \times \Delta EH) + (1 \times \Delta EN) \\C_p &= (3 \times 7,56) + (1 \times 18,74) \\C_p &= 9,9300132 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\C_p &= 0,584118424 \text{ cal/g}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Perhitungan O₂

$$\begin{aligned}C_p &= (2 \times \Delta EO) \\C_p &= (2 \times 13,42) \\C_p &= 6,41062664 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\C_p &= 0,200332083 \text{ cal/g}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Perhitungan H₂

$$\begin{aligned}C_p &= (2 \times \Delta EH) \\C_p &= (2 \times 7,56) \\C_p &= 3,61135152 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\C_p &= 1,80567576 \text{ cal/g}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Tabel B.1.3 Data Kapasitas Panas (Cp) Komponen

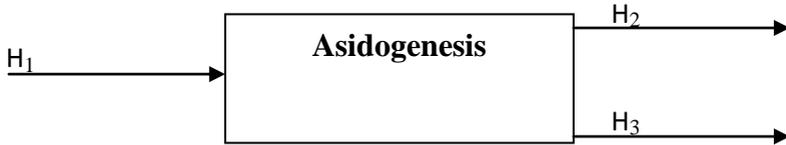
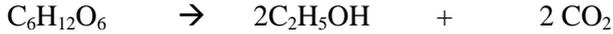
Komponen	Cp (cal/g°C)	Referensi
C ₆ H ₁₂ O ₆	0,313923259	Metode Kopp's
C ₂ H ₅ OH	0,58	Hougen (Tabel 23, Hal,270)
CO ₂	0,202	Hougen (Tabel 23, Hal,270)
CH ₃ COOH	0,491	Hougen (Tabel 23, Hal,270)
CH ₄	0,534	Hougen (Tabel 23, Hal,270)
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,296748061	Metode Kopp's
H ₂ S	0,193043765	Metode Kopp's
NH ₃	0,584118424	Metode Kopp's
O ₂	0,200332083	Metode Kopp's
H ₂	1,80567576	Metode Kopp's

Tabel B.1.4 Data *Heat of Formation* (ΔH_f) Senyawa

Komponen	ΔH_f (cal/mol)	Referensi
C ₆ H ₁₂ O ₆	-7504,54132	<i>Eugene Dolmaski</i>
C ₂ H ₅ OH	-66326	<i>Thermodynamic Property</i>
CO ₂	-93990678	<i>Thermodynamic Property</i>
CH ₃ COOH	-116127	Himmeblau
CH ₄	-17830	<i>Thermodynamic Property</i>
(NH ₄) ₂ SO ₄	-28223	<i>Thermodynamic Property</i>
H ₂ S	-4813	Himmeblau
NH ₃	-16050	Himmeblau
O ₂	0	<i>Thermodynamic Property</i>
H ₂	0	Himmeblau

B.1.3 Neraca Panas Reaksi

B.1.3.1 Neraca Panas Reaksi Asidogenesis



Tabel B.1.5 Perhitungan H Reaksi Asidogenesis

$$T = 30$$

$$T_{\text{ref}} = 25$$

Komponen	Massa (gram)	Cp (cal/gram°C)	T-T ref (°C)	H (cal)
C ₆ H ₁₂ O ₆	51406,04302	0,313923259	5	80687,763
C ₂ H ₅ OH	41,77597763	0,58	5	12,15
CO ₂	39,95963077	0,202	5	40,359
			ΔH	-80526,25

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 &= m \times \text{Cp} \times (T - T_{\text{ref}}) \\ \Delta H \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 &= 51406,04302 \times 0,313923259 \times 5 \\ \Delta H \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 &= 51406,04302 \text{ cal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} &= m \times \text{Cp} \times (T - T_{\text{ref}}) \\ \Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} &= 41,77597763 \times 0,58 \times 5 \\ \Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} &= 12,1503351 \text{ cal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ CO}_2 &= m \times \text{Cp} \times (T - T_{\text{ref}}) \\ \Delta H \text{ CO}_2 &= 39,95963077 \times 0,202 \times 5 \\ \Delta H \text{ CO}_2 &= 40,35922708 \text{ cal} \end{aligned}$$

Tabel B.1.6 Perhitungan ΔH_{25} Asidogenesis

Komponen	Mol	Koefisien	ΔH_f (cal/mol)	ΔH (cal)
C ₆ H ₁₂ O ₆	285,5891279	1	-7505	-2143215,4
C ₂ H ₅ OH	0,908173427	2	-66326	-120471,9
CO ₂	0,908173427	2	-93990678	-170719672
ΔH_{25}				-168696928,6

$$\Delta H = \Delta H P + \Delta H_{25} - \Delta H R$$

$$\Delta H = ((40,35922708) + (12,1503351)) + (-168696928,6) - ((80687,76287))$$

$$\Delta H = -168777455 \text{ cal}$$

B.1.3.2 Neraca Panas Reaksi Asetogenesis



Tabel B.1.7 Perhitungan H Reaksi Asetogenesis

$$T = 30$$

$$T_{ref} = 25$$

Komponen	Massa (gram)	Cp (cal/gram°C)	T-T ref (°C)	H (cal)
C ₂ H ₅ OH	0,017215725	0,58	5	0,049925603
CO ₂	39,95963077	0,202	5	40,35922708
CH ₃ COOH	54,4904056	0,491	5	133,7739457
CH ₄	7,265387413	0,534	5	19,39858439
ΔH				112,7633775

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} &= m \times C_p \times (T-T \text{ ref}) \\ \Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} &= 0,017215725 \times 0,58 \times 5 \\ \Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} &= 0,049925603 \text{ cal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ CO}_2 &= m \times C_p \times (T-T \text{ ref}) \\ \Delta H \text{ CO}_2 &= 39,95963077 \times 0,202 \times 5 \\ \Delta H \text{ CO}_2 &= 40,35922708 \text{ cal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} &= m \times C_p \times (T-T \text{ ref}) \\ \Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} &= 54,4904056 \times 0,491 \times 5 \\ \Delta H \text{ CH}_3\text{COO} &= 133,7739457056 \text{ cal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ CH}_4 &= m \times C_p \times (T-T \text{ ref}) \\ \Delta H \text{ CH}_4 &= 7,265387413 \times 0,534 \times 5 \\ \Delta H \text{ CH}_4 &= 19,39858439 \text{ cal}\end{aligned}$$

Tabel B.1.8 Perhitungan ΔH_{25} Asetogenesis

Komponen	Mol	Koefisien	ΔH_f (cal/mol)	ΔH (cal)
C ₂ H ₅ OH	0,908173427	2	-66326	-120471,9
CO ₂	0,908173427	1	-93990678	-85359836
CH ₃ COOH	0,908173427	2	-116127	-210926,78
CH ₄	0,454086713	1	-17830	-8096,2753
ΔH_{25}				85261284,9

$$\Delta H = \Delta H P + \Delta H_{25} - \Delta H R$$

$$\Delta H = ((19,39858439) + (133,7739457)) + (85261284,9) - ((40,35922708)+(0,049925603))$$

$$\Delta H = 85261398 \text{ cal}$$

B.1.3.3 Neraca Panas Reaksi Pembentukan Sulfat





Tabel B.1.9 Perhitungan H Reaksi Pembentukan Sulfat

T = 30

T ref = 25

Komponen	Massa (gram)	Cp (cal/gram°C)	T-T ref (°C)	H (cal)
CH ₃ COOH	54,21795357	0,491	5	133,105076
(NH ₄) ₂ SO ₄	3330,141242	0,296748061	5	4941,064775
CO ₂	3,292114141	0,202	5	3,325035282
H ₂ S	1,271953191	0,193043765	5	1,227713162
NH ₃	1,271953191	0,584118424	5	3,714856463
O ₂	1,197132415	0,200332083	5	1,199120148
H ₂	0,149641552	1,80567576	5	1,351020614
			ΔH	-
				5063,352106

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = m \times \text{Cp} \times (\text{T-T ref})$$

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = 54,21795357 \times 0,491 \times 5$$

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COO} = 133,105076 \text{ cal}$$

$$\Delta H (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = m \times \text{Cp} \times (\text{T-T ref})$$

$$\Delta H (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 3330,141242 \times 0,296748061 \times 5$$

$$\Delta H (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 4941,064775 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = m \times \text{Cp} \times (\text{T-T ref})$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = 3,292114141 \times 0,202 \times 5$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = 3,325035282 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ H}_2\text{S} = m \times C_p \times (T-T \text{ ref})$$

$$\Delta H \text{ H}_2\text{S} = 1,271953191 \times 0,193043765 \times 5$$

$$\Delta H \text{ H}_2\text{S} = 1,227713162 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ NH}_3 = m \times C_p \times (T-T \text{ ref})$$

$$\Delta H \text{ NH}_3 = 1,271953191 \times 0,584118424 \times 5$$

$$\Delta H \text{ NH}_3 = 3,714856463 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ O}_2 = m \times C_p \times (T-T \text{ ref})$$

$$\Delta H \text{ O}_2 = 1,197132415 \times 0,200332083 \times 5$$

$$\Delta H \text{ O}_2 = 1,199120148 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ H}_2 = m \times C_p \times (T-T \text{ ref})$$

$$\Delta H \text{ H}_2 = 0,149641552 \times 1,80567576 \times 5$$

$$\Delta H \text{ H}_2 = 1,351020614 \text{ cal}$$

Tabel B.1.10 Perhitungan ΔH_{25} Pembentukan Sulfat

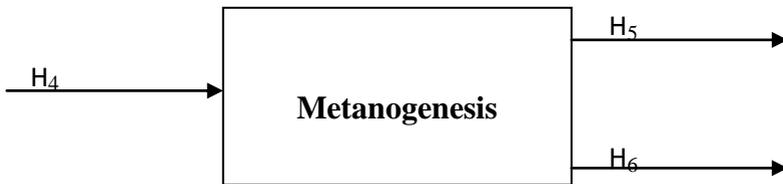
Komponen	Mol	Koefisien	ΔH_f (cal/mol)	ΔH (cal)
CH ₃ COOH	0,90363256	1	-116127	-104936,07
(NH ₄) ₂ SO ₄	25,22834274	1	-28223	-712019,32
CO ₂	0,074820776	2	-93990678	-14064911
H ₂ S	0,037410388	1	-4813	-180,04673
NH ₃	0,074820776	2	-1098	-164,23374
O ₂	0,037410388	1	0	0
H ₂	0,074820776	1	0	0
ΔH_{25}				-13248299,79

$$\Delta H = \Delta H P + \Delta H_{25} - \Delta H R$$

$$\Delta H = ((1,351020614) + (1,199120148) + (3,714856463) + (1,227713162) + (3,325035282)) + (-104936,07) - ((4941,064775) + (133,105076))$$

$$\Delta H = -1325336 \text{ cal}$$

B.1.3.3 Neraca Panas Reaksi Metanogenesis



Tabel B.1.11 Perhitungan H Reaksi Metanogenesis

$$T = 30$$

$$T_{\text{ref}} = 25$$

Komponen	Massa (gram)	Cp (cal/gram°C)	T-T ref (°C)	H (cal)
CH ₃ COOH	54,4904056	0,491	10	267,5478915
CH ₄	0,072653874	0,534	10	0,387971688
CO ₂	0,199798154	0,202	10	0,403592271
ΔH				-266,7563275

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = m \times Cp \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = 54,4904056 \times 0,491 \times 10$$

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = 267,5478915 \text{ cal}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ CH}_4 &= m \times C_p \times (T-T \text{ ref}) \\
 \Delta H \text{ CH}_4 &= 0,072653874 \times 0,534 \times 10 \\
 \Delta H \text{ CH}_4 &= 0,387971688 \text{ cal} \\
 \\
 \Delta H \text{ CO}_2 &= m \times C_p \times (T-T \text{ ref}) \\
 \Delta H \text{ CO}_2 &= 0,199798154 \times 0,202 \times 10 \\
 \Delta H \text{ CO}_2 &= 0,403592271 \text{ cal}
 \end{aligned}$$

Tabel B.1.12 Perhitungan ΔH_{25} Metanogenesis

Komponen	Mol	Koefisien	ΔH_f (cal/mol)	ΔH (cal)
CH ₃ COOH	0,908173427	2	-116,127	-210926,7752
CH ₄	0,004540867	2	-17,830	-161,9255056
			-	
CO ₂	0,004540867	2	93,990,678	-853598,3604
ΔH_{25}				-642833,5107

$$\begin{aligned}
 \Delta H &= \Delta H \text{ P} + \Delta H_{25} - \Delta H \text{ R} \\
 \Delta H &= ((0,387971688) + (0,403592271)) + (-642833,5107) - \\
 &\quad (267,5478915) \\
 \Delta H &= -642966,89 \text{ cal}
 \end{aligned}$$

B.2 Neraca Panas Total

Tabel B.2.1 Neraca Panas Total

Neraca Panas			
Masuk		Keluar	
reaksi 1		reaksi 1	
C ₆ H ₁₂ O ₆	80687,76287	C ₂ H ₅ OH	121,1503351
ΔH ₂₅	-168777454,8	CO ₂	40,35922708
reaksi 2		ΔH reaksi	-168696929
C ₂ H ₅ OH	0,049925603	reaksi 2	
CO ₂	40,35922708	CH ₃ COOH	133,7739457
ΔH ₂₅	85261397,65	CH ₄	19,39858439
reaksi 3		ΔH reaksi	85261284,89
CH ₃ COOH	133,105076	reaksi 3	
(NH ₄) ₂ SO ₄	4941,064775	CO ₂	3,325035282
ΔH ₂₅	-13253363,14	H ₂ S	1,227713162
reaksi 4		NH ₃	3,714856463
CH ₃ COOH	267,5478915	O ₂	1,199120148
ΔH ₂₅	-643100,2671	H ₂	1,351020614
		ΔH reaksi	-13248299,79
		reaksi 4	
		CH ₄	0,387971688
		CO ₂	0,403592271
		ΔH reaksi	
Total	326,291402		326,291402

B.3 Perhitungan Neraca Panas Absorber

B.3.1 Neraca Panas Reaksi Absorpsi CO₂ dengan NaOH dan FeCl

B.3.1 Perhitungan Cp (kapasitas panas) menggunakan metode Kopp's

$$\frac{C_p}{J/(mol.K)} = \sum_{E=1}^N n_E \times \Delta E$$

Diketahui:

n_E : banyaknya unsure dalam senyawa

ΔE : kontribusi elemen

Tabel B,3,1 Heat Capacity of The Element (J/mol°C)

Elemen	ΔE (J/mol°C)
Na	26,19
O	13,42
H	7,56
C	10,89
Fe	29,08
Cl	24,69
S	12,36

B.3.2 Menghitung *Heat Capacity*

Tabel B.1.2 Menghitung *Heat Capacity*

Komponen	atom Na	atom H	atom O	atom C	atom Fe	atom Cl	atom S	Cp (cal/g°C)
NaOH	1	1	1	-	-	-	-	0,281848
CO ₂	-	-	2	1	-	-	-	0,204947
Na ₂ CO ₃	2	-	3	1	-	-	-	0,233436
H ₂ O	-	2	1	1	-	-	-	0,378957
FeCl ₂	-	-	-	-	1	2	-	0,147657
H ₂ S	-	2	-	-	-	-	1	0,193103
FeS	-	-	-	-	1	-	1	0,11255
HCl	-	1	-	-	1	1	-	0,211176

Perhitungan NaOH

$$C_p = (1 \times \Delta E_{Na}) + (1 \times \Delta E_H) + (1 \times \Delta E_O)$$

$$C_p = (1 \times 26,19) + (1 \times 7,56) + (1 \times 13,42)$$

$$C_p = 47,17 \text{ J/mol}^\circ\text{C}$$

$$C_p = 0,281848 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

Perhitungan CO₂

$$C_p = (1 \times \Delta E_C) + (2 \times \Delta E_O)$$

$$C_p = (1 \times 10,89) + (2 \times 13,42)$$

$$C_p = 37,73 \text{ J/mol}^\circ\text{C}$$

$$C_p = 0,204947 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

Perhitungan H₂O

$$C_p = (2 \times \Delta E_H) + (1 \times \Delta E_O)$$

$$C_p = (2 \times 7,56) + (1 \times 13,42)$$

$$C_p = 28,54 \text{ J/mol}^\circ\text{C}$$

$$C_p = 0,378957 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

Perhitungan Na₂CO₃

$$\begin{aligned}C_p &= (2 \times \Delta E_{\text{Na}}) + (1 \times \Delta E_{\text{C}}) + (3 \times \Delta E_{\text{O}}) \\C_p &= (2 \times 26,19) + (1 \times 10,89) + (3 \times 13,42) \\C_p &= 103,53 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\C_p &= 0,233436 \text{ cal/g}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Perhitungan FeCl₂

$$\begin{aligned}C_p &= (1 \times \Delta E_{\text{Fe}}) + (2 \times \Delta E_{\text{Cl}}) \\C_p &= (1 \times 29,08) + (2 \times 24,69) \\C_p &= 78,46 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\C_p &= 0,147657 \text{ cal/g}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Perhitungan H₂S

$$\begin{aligned}C_p &= (2 \times \Delta E_{\text{H}}) + (1 \times \Delta E_{\text{S}}) \\C_p &= (2 \times 7,56) + (1 \times 12,36) \\C_p &= 27,48 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\C_p &= 0,193043765 \text{ cal/g}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Perhitungan FeS

$$\begin{aligned}C_p &= (1 \times \Delta E_{\text{Fe}}) + (1 \times \Delta E_{\text{S}}) \\C_p &= (1 \times 29,08) + (1 \times 12,36) \\C_p &= 41,44 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\C_p &= 0,11255 \text{ cal/g}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Perhitungan HCl

$$\begin{aligned}C_p &= (1 \times \Delta E_{\text{H}}) + (1 \times \Delta E_{\text{Cl}}) \\C_p &= (1 \times 7,56) + (1 \times 24,69) \\C_p &= 32,25 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\C_p &= 0,211176 \text{ cal/g}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Perhitungan O₂

$$\begin{aligned}C_p &= (2 \times \Delta E O) \\C_p &= (2 \times 13,42) \\C_p &= 6,41062664 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\C_p &= 0,200332083 \text{ cal/g}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Perhitungan H₂

$$\begin{aligned}C_p &= (2 \times \Delta E H) \\C_p &= (2 \times 7,56) \\C_p &= 3,61135152 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\C_p &= 1,80567576 \text{ cal/g}^\circ\end{aligned}$$

Tabel B.3.3 Data Kapasitas Panas (Cp) Komponen

Komponen	Cp (cal/g°C)	Referensi
NaOH	0,281848	Metode Kopp's
CO ₂	0,204947	Metode Kopp's
Na ₂ CO ₃	0,233436	Metode Kopp's
H ₂ O	0,378957	Metode Kopp's
FeCl ₂	0,147657	Metode Kopp's
H ₂ S	0,193103	Metode Kopp's
FeS	0,11255	Metode Kopp's
HCl	0,211176	Metode Kopp's

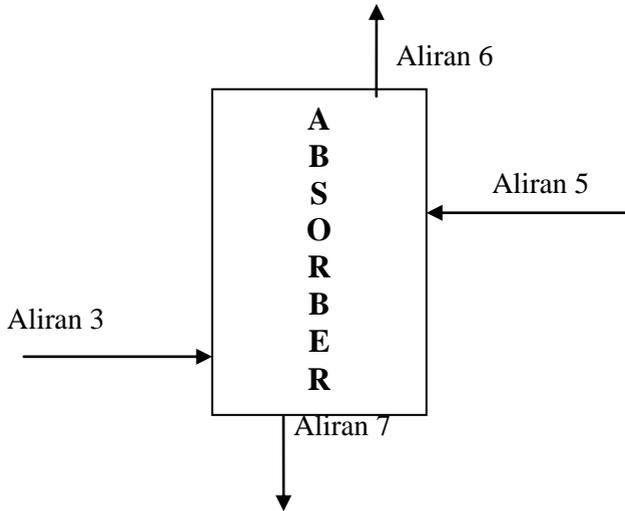
Tabel B.3.4 Data *Heat of Formation* (ΔH_f) Senyawa

Komponen	ΔH_f (cal/mol)	Referensi
NaOH	-1019,8375	<i>Thermodynamic Property</i>
CO ₂	-94051	<i>Thermodynamic Property</i>
Na ₂ CO ₃	-27030,11472	<i>Thermodynamic</i>

H ₂ O	-6831,50096	<i>Property Thermodynamic Property</i>
FeCl ₂	-8168,97706	<i>Property Thermodynamic Property</i>
H ₂ S	-482,07457	<i>Property Thermodynamic Property</i>
FeS	-23,9006	<i>Property Thermodynamic Property</i>
HCl	-220,6023	<i>Property Thermodynamic Property</i>

B.3.2 Neraca Panas Reaksi Absorpsi CO₂ dengan NaOH





Tabel B.3.1 Perhitungan H Reaksi Absorpsi CO₂

T = 30

T ref = 25

Komponen	Massa (gram)	Cp (cal/gram°C)	T-T ref (°C)	H (cal)
NaOH	71,11111111	0,281847525	5	100,2124533
CO ₂	23,47172768	0,204947418	5	24,05234994
Na ₂ CO ₃	56,44868584	0,233436452	5	65,88590468
H ₂ O	9,585625897	0,378956872	5	18,16269404
ΔH				-40,21620456

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ NaOH} &= m \times C_p \times (T - T_{\text{ref}}) \\ \Delta H \text{ NaOH} &= 71,11111111 \times 0,281847525 \times 5 \\ \Delta H \text{ NaOH} &= 100,2124533 \text{ cal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ CO}_2 &= m \times C_p \times (T-T \text{ ref}) \\ \Delta H \text{ CO}_2 &= 23,47172768 \times 0,204947418 \times 5 \\ \Delta H \text{ CO}_2 &= 24,05234994 \text{ cal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= m \times C_p \times (T-T \text{ ref}) \\ \Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= 56,44868584 \times 0,233436452 \times 5 \\ \Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= 65,88590468 \text{ cal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ H}_2\text{O} &= m \times C_p \times (T-T \text{ ref}) \\ \Delta H \text{ H}_2\text{O} &= 9,585625897 \times 0,378956872 \times 5 \\ \Delta H \text{ H}_2\text{O} &= 18,16269404 \text{ cal}\end{aligned}$$

Tabel B.3.2 Perhitungan ΔH_{25} Reaksi Absorpsi CO_2

Komponen	mol	Koefisien	ΔH_f (cal/mol)	ΔH (cal)
NaOH	1,777777778	2	-1019,8375	-3626,0889
CO_2	0,533448356	1	-94051	-50171,43
Na_2CO_3	0,532534772	1	-27030,11472	-14394,476
H_2O	0,532534772	1	-6831,50096	-3638,0118
ΔH_{25}				35765,0309

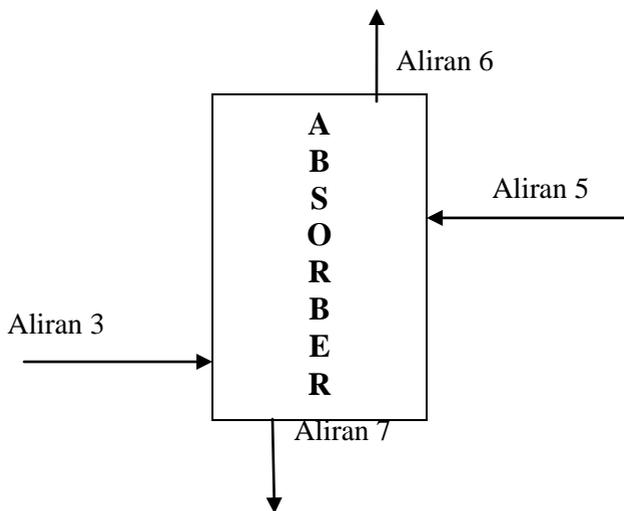
$$\Delta H = \Delta H P + \Delta H_{25} - \Delta H R$$

$$\Delta H = ((18,16269404) + (65,88590468)) + (35765,0309) - ((24,05234994) + (100,2124533))$$

$$\Delta H = 35725 \text{ cal}$$

B.3.1 Neraca Panas Reaksi Absorpsi H_2S dengan FeCl_2





Tabel B.3.3 Perhitungan H Reaksi Absorpsi H₂S

T = 30

T ref = 25

Komponen	Massa (gram)	Cp (cal/gram°C)	T-T ref (°C)	H (cal)
FeCl ₂	112,8888889	0,147656614	5	83,34395556
H ₂ S	1,271953191	0,193102576	5	1,228087191
FeS	3,284261839	0,112549974	5	1,848217921
HCl	2,72444448	0,211176301	5	2,876690543
ΔH				-
				79,84713428

$$\Delta H \text{ FeCl}_2 = m \times C_p \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ FeCl}_2 = 112,8888889 \times 0,147656614 \times 5$$

$$\Delta H \text{ FeCl}_2 = 83,34395556 \text{ cal}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ H}_2\text{S} &= m \times C_p \times (T-T \text{ ref}) \\ \Delta H \text{ H}_2\text{S} &= 1,271953191 \times 0,193102576 \times 5 \\ \Delta H \text{ H}_2\text{S} &= 1,228087191 \text{ cal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ FeS} &= m \times C_p \times (T-T \text{ ref}) \\ \Delta H \text{ FeS} &= 3,284261839 \times 0,112549974 \times 5 \\ \Delta H \text{ FeS} &= 1,848217921 \text{ cal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ HCl} &= m \times C_p \times (T-T \text{ ref}) \\ \Delta H \text{ HCl} &= 2,72444448 \times 0,211176301 \times 5 \\ \Delta H \text{ HCl} &= 2,876690543 \text{ cal}\end{aligned}$$

Tabel B.3.4 Perhitungan ΔH_{25} Reaksi Absorpsi H_2S

Komponen	mol	Koefisien	ΔH_f (cal/mol)	ΔH (cal)
FeCl_2	0,888888889	1	8168,97706	-7261,3129
H_2S	0,037410388	1	-482,07457	-18,034597
FeS	0,037321157	1	-23,9006	-0,8919981
HCl	0,074642315	2	-220,6023	-32,932533
ΔH_{25}				7245,52301

$$\Delta H = \Delta H \text{ P} + \Delta H_{25} - \Delta H \text{ R}$$

$$\Delta H = ((2,876690543) + (1,848217921)) + (7245,52301) - ((83,34395556) + (1,228087191))$$

$$\Delta H = 7166 \text{ cal}$$

B.4 Neraca Panas Total Absorber

Tabel B.3.4.1 Neraca Panas Total Absorber

Neraca Panas			
Masuk		Keluar	
reaksi 1		reaksi 1	
NaOH	100,2124533	Na ₂ CO ₃	65,8859047
CO ₂	24,05234994	H ₂ O	18,162694
ΔH ₂₅	35725	ΔH	35765
reaksi 2		reaksi 2	
FeCl ₂	83,34395556	FeS	1,84821792
H ₂ S	1,228087191	HCl	2,87669054
ΔH ₂₅	7166	ΔH	7246
Total	43099,3274		43099,3274

BIODATA PENULIS



Prameswari Ayuning Tiyas, penulis dilahirkan di Surabaya, pada tanggal 30 Desember 1996. Dengan alamat rumah Jl. Mulyorejo Tengah 1b no 8, Surabaya. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya SDN Kalisari I-242 Surabaya, SMPN 9 Surabaya, SMAN 6 Surabaya, Diploma III Teknik Kimia Fakultas Vokasi-ITS Surabaya, Diploma III Teknik Kimia Fakultas Vokasi-ITS

Surabaya, terdaftar dengan nomor 2314 030 081.

Selama kuliah penulis aktif mengikuti pelatihan-pelatihan, kegiatan seminar yang diselenggarakan baik oleh jurusan, fakultas, institut maupun nasional dan aktif sebagai pengurus di Himpunan Mahasiswa DIII Teknik Kimia bidang Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) selama 2 tahun. Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. PG Kreet Baru II Bululawang, Malang.

Email : prameswaritiyas@gmail.com

No.Hp : 085856297081

BIODATA PENULIS



Fahestin Putri Arianto, penulis dilahirkan di Jombang, pada tanggal 5 Mei 1996. Dengan alamat rumah Jl. Jambangan 2A no. 11d Surabaya. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya SDS Laboratorium UNESA Surabaya, SMPN 21 Surabaya, SMAN 16 Surabaya, dan Diploma III Teknik Kimia Fakultas Vokasi-ITS Surabaya. Diploma III Teknik Kimia Fakultas Vokasi-ITS Surabaya, terdaftar dengan nomor 2314 030 101.

Selama kuliah penulis aktif mengikuti pelatihan-pelatihan, kegiatan seminar yang diselenggarakan baik oleh jurusan, fakultas, institut maupun nasional dan aktif sebagai pengurus di Himpunan Mahasiswa DIII Teknik Kimia bidang Komunikasi dan Informasi selama 2 tahun. Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. PG Krebbe Baru II Bululawang, Malang.

Email : fahestineputr@gmail.com

No.Hp : 089637375381

