

PRA RENCANA
PABRIK PEMBUATAN BIOGAS DARI JERAMI PADI
KAPASITAS 1.535 TON/TAHUN



SKRIPSI

**Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat mengikuti
Ujian Sarjana pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh:

Della Anggraini

03031181419014

Dede Pramayuda

03031281419103

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019**

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN BIOGAS DARI JERAMI PADI
KAPASITAS 1.535 TON/TAHUN

SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana

Oleh:

Della Anggraini
NIM 03031181419014

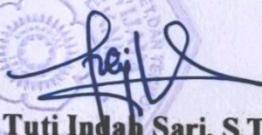
Indralaya, 3 Juli 2021

Pembimbing,


Dr. Ir. Hj. Susila Arita Rachman, DEA
NIP. 196010111985032002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia


Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP.197502012000122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Biogas dari Jerami Padi Kapasitas 1.535 Ton/tahun” telah dipertahankan Della Anggraini di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 11 Juli 2019.

Indralaya, 11 Juli 2019

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA

NIP. 196010111985032002

Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.,

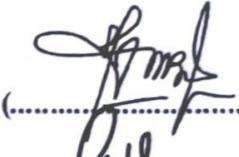
NIP. 197502012000122001

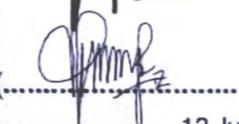
Lia Cundari, S.T., M.T.

NIP. 198412182008122002

Ir. Hj. Farida Ali, DEA

NIP. 195511081984032001

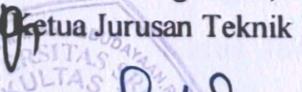
: (.....)

07 Agu 2021

: (.....)

12 Juli 2021

: (.....)


12 Juli 2021

Mengetahui,

 Ketua Jurusan Teknik Kimia

Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.,
NIP.197502012000122001



LEMBAR PERBAIKAN

Nama/Nim : Della Anggraini / 03031181419014

Judul:

“PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN BIOGAS DARI JERAMI PADI KAPASITAS 1.535 TON/TAHUN”

Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada Sidang Tugas Akhir Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 11 Juli 2019 oleh Dosen Pengaji:

Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA.

NIP. 196010111985032002

:


Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.,

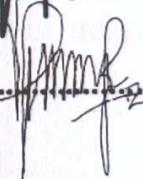
NIP. 197502012000122001

:

07 Agt 2021

Lia Cundari, S.T., M.T.

NIP. 198412182008122002

:

12 Juli 2021

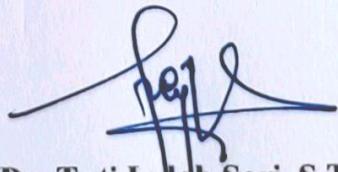
Palembang, 3 Juli 2021

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia

Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya,

R



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.,

NIP. 197502012000122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Della Anggraini
NIM : 03031181419014
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Biogas dari Jerami Padi Kapasitas 1.535 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Jurusan Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan rekan atas nama Dede Pramayuda didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



NIM. 03031181419014

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis ucapkan kepada Allah Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul Pra Rencana Pabrik Pembuatan Biogas dari Jerami Padi Kapasitas 1.535 Ton/tahun”.

Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk mengikuti ujian sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam laporan ini mencangkup perencanaan pabrik dan perancangan alat-alat proses pra rencana pabrik pembuatan biogas dengan pertimbangan kelayakan berdasarkan analisa ekonomi. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membacanya.

Indralaya, Juli 2019

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan dari berbagai pihak. Penulis secara khusus mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk, dan bantuan, serta dorongan dari berbagai pihak yang bersifat moral maupun material. Penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Allah SWT. Yang memberikan kekuatan bagi hambanya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua, pasangan, beserta keluarga kami tercinta yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk perhatian, kasih sayang, semangat, serta doa yang tak henti-hentinya demi kelancaran dan kesuksesan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Ir. H. M. Syaiful, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
5. Dr. Ir. Hj. Susila Arita Rachman, DEA selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dorongan, dan semangat kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
6. Ibu Ir. Rosdiana Moeksin, M.T., dan Ibu Selpiana, S.T, M.T., selaku koordinator Tugas Akhir.
7. Seluruh Dosen dan Staff Akademik Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Semoga tugas akhir ini turut memberi kontribusi yang bermanfaat bagi semua pihak.

Palembang, Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR NOTASI	viii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PEMBAHASAN UMUM	
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan	1
1.3. Proses Pembuatan Biogas	2
1.4. Macam-macam Proses Pembuatan Biogas	4
1.5. Sifat Fisika dan Kimia	6
BAB II PERENCANAAN PABRIK	
2.1. Alasan Pendirian Pabrik	11
2.2. Potensi Bahan Baku	12
2.3. Penentuan Kapasitas.....	13
2.4. Pemilihan Proses	16
2.5. Uraian Proses	16
BAB III LOKASI DAN LETAK PABRIK	
3.1. Pemilihan Lokasi Pabrik	19
3.2. Lokasi Pabrik	20
3.2. Tata Letak Pabrik	24
3.3. Perincian Luas Area	24

BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	
4.1. Neraca Massa	27
4.2. Neraca Panas	31
BAB V UTILITAS	
5.1. Unit Pengadaan Air	35
5.2. Unit Pengadaan Steam	39
5.3. Unit Pengadaan Listrik	39
5.4. Unit Pengadaan Bahan Bakar.....	41
5.5. Unit Pengadaan Refrigerant.....	42
BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN	43
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN	
7.1. Bentuk Perusahaan	69
7.2. Struktur Organisasi	69
7.3. Tugas dan Wewenang	70
7.4. Kepegawaian	76
7.5. Sistem Kerja.....	76
7.6. Penentuan Jumlah Karyawan	77
BAB VIII ANALISA EKONOMI	
8.1. Keuntungan (Profitabilitas).....	83
8.2. Lama Waktu Pengembalian Modal.....	84
8.3. Total Modal Akhir	86
8.4. Laju Pengembalian Modal	88
8.5. Break Even Point (BEP)	89
8.6. Kesimpulan Analisa Ekonomi	89
BAB IX KESIMPULAN	93
DAFTAR PUSTAKA	94

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Data Kapasitas Total Pembangkit Listrik di Indonesia.....
Tabel 2.2	13
Tabel 2.2	Data Penggunaan Gas Alam Sebagai Pembangkit Listrik
Tabel 3.1	14
Tabel 3.1	Faktor Pemilihan Lokasi Pendirian Pabrik Biogas
Tabel 7.1	19
Tabel 7.1	Pembagian Jadwal Kerja Shift
Tabel 7.2	77
Tabel 7.2	Perincian Jumlah Karyawan sesuai Rumus
Tabel 8.1	79
Tabel 8.1	Angsuran Pengembalian Modal
Tabel 8.2	85
Tabel 8.2	Kesimpulan Analisa Ekonomi
	89

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1	Persebaran Konsumsi Pengguna Gas Alam di Indonesia	11
Gambar 2.3	Tren Volume gas alam untuk pembangkit listrik tahun 2023 ...	15
Gambar 3.1	Peta Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Ngawi.....	23
Gambar 3.2	Area Pendirian Pabrik Berdasarkan Google Maps.....	25
Gambar 3.3	<i>Lay Out</i> Pabrik Prarancangan Pembuatan Biogas.....	26
Gambar 3.4	Rencana Tata Letak Peralatan.....	26
Gambar 7.1	Bagan Struktur Organisasi Pabrik	81
Gambar 8.1	Grafik <i>Break Even Point</i>	90

DAFTAR NOTASI

1. HEAT EXCHANGER (COOLER, CHILLER, HEATER, KONDENSOR, REBOILER, PARSIAL KONDENSOR)

- A : Area perpindahan panas, ft²
a_a, a_p : Area alir pada annulus, inner pipe, ft²
a_s, a_t : Area alir pada shell and tube, ft²
a" : External surface per 1 FT, ft²/ft
B : Baffle spacing, in
C : Clearance antar tube, in
C_p : Spesifik head, kJ/kg
D : Diameter dalam tube, in
D_e : Diameter ekuivalen, in
D_B : Diameter bundle, in
D_S : Diameter shell, in
f : Faktor friksi, ft²/in²
g : Percepatan gravitasi
h : Koefisien perpindahan panas, Btu/hr.ft².°F
h_l, h_o : Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam, bagian luar tube
j_H : Faktor perpindahan panas
k : Konduktivitas termal, Btu/hr.ft².°F
L : Panjang tube pipa, ft
LMTD : Logaritmic Mean Temperature Difference, °F
N : Jumlah baffle
N_t : Jumlah tube
P_T : Tube pitch, in
 ΔP_T : Return drop shell, psi
 ΔP_S : Penurunan tekanan pada shell, psi
 ΔP_t : Penurunan tekanan pada tube, psi
ID : Inside diameter, ft

OD : Outside diameter, ft
 Q : Beban panas heat exchanger, Btu/hr
 Rd : Dirt factor, hr.ft².°F/Btu
 Re : Bilangan Reynold, dimensionless
 s : Specific gravity
 T₁, T₂ : Temperatur fluida panas inlet, outlet, °F
 t₁, t₂ : Temperatur fluida dingin inlet, outlet, °F
 Ta : Temperatur rata-rata fluida panas, °F
 ta : Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
 Δt : Beda temperatur yang sebenarnya, °F
 U : Koefisien perpindahan panas
 U_c, U_o : Clean overall coefficient, Design overall coefficient, Btu.hr.ft².°F
 V : Kecepatan alir, ft/s
 W : Kecepatan alir massa fluida panas, lb/hr
 w : Kecepatan alir massa fluida dingin, lb/hr
 μ : Viskositas, Cp

2. Decanter

A : Vessel Area Minimum, m²
 C : Corrosion maksimum, in
 D : Diameter vessel minimum,m
 E : Joint effisiensi
 H_L : Tinggi liquid, m
 H_t : Tinggi vessel,m
 P : Tekanan desain, psi
 Q_V : Laju alir volumetric massa, m³/jam
 Q_L : Liquid volumetric flowrate, m³/jam
 S : Working stress allowable, psi
 t : tebal dinding tangki, m
 U_v : Kecepatan uap maksimum, m/s

V_t : Volume Vessel, m^3
 V_h : Volume head, m^3
 V_t : Volume vessel, m^3
 ρ : Densitas, kg/m^3
 μ : Viskositas, cP
 ρ_g : Densitas gas, kg/m^3
 ρ_l : Densitas liquid, kg/m^3

3. KOMPRESOR

BHP : Brake Horse Power, power yang dibutuhkan, HP
 γ : Konstanta kompresi, C_p/C_v
n : Jumlah stage
 η : Efisiensi kompresor
 P_{in} : Tekanan masuk, atm
 P_{out} : Tekanan keluar, atm
 T_1 : Temperatur masuk kompresor, $^{\circ}C$
 T_2 : Temperatur keluar kompresor, $^{\circ}C$
Pw : Power kompresor, Hp
Q : Kapasitas kompresor
Rc : Ratio kompresi, tidak berdimensi
W : Laju alir massa, lb/jam
 ρ : Densitas, kg/m^3
Es : Efisiensi Isentropik
Ep : Efisiensi Politropik
Pi : Tekanan Intermediate
Ti : Temperatur Intermediate

4. POMPA

- A : Area alir pipa, in²
D_{opt} : Diameter optimum pipa, in
f : Faktor friksi
g : Percepatan gravitasi, ft/s²
g_c : Konstanta percepatan gravitasi, ft/s²
H_f : Total friksi, ft
H_{fs} : Friksi pada permukaan pipa, ft
H_{fc} : Friksi karena kontraksi tiba-tiba, ft
H_{fe} : Friksi karena ekspansi tiba-tiba, ft
H_{ff} : Friksi karena fitting dan valve, ft
H_d, H_s : Head discharge, suction, ft
ID : Inside diameter, in
OD : Outside diameter, in
K_c, K_e : Contact, ekspansion contraction, ft
L : Panjang pipa, m
L_e : Panjang ekuivalen pipa, m
NPSH : Net Positive Suction Head, ft . lbf/ lb
P_{uap} : Tekanan uap, psi
Q_f : Laju alir volumetrik, ft³/s
Re : Reynold Number, dimensionless
V_s : Suction velocity, ft/s
V_d : Discharge velocity, ft/s
BHP : Brake Horse Power, HP
MHP : Motor Horse Power, HP
 ΔP : Differential pressure, psi
 ϵ : Equivalent roughness, ft
 η : Efisiensi pompa
 μ : Viskositas, kg/m.hr
 ρ : Densitas, kg/m³

5. REAKTOR

a_c	: Luas permukaan katalis, m^{-1}
A_j	: Luas kontak jaket pendingin, m^2
C	: Tebal korosi yang diizinkan, m
C_X	: Konsentrasi Zat X
C_j	: Panas spesifik fluida jaket, btu/lb °F
C_r	: Panas spesifik fluida reaktor, btu/lb °F
d_p	: Diameter partikel katalis, m
D_{AB}	: Bulk diffusivity, cm^2/s
D_R	: Diameter reaktor, m
E	: Energi Aktivasi, kkal/mol
F_{Ao}	: Laju alir umpan, kmol/jam
ΔH_f	: Entalpi pembentukan, kkal/mol
H_R	: Tinggi reaktor, m
J_D	: Nilai faktor perpindahan massa
k	: Konstanta kecepatan reaksi
k_b	: Koefisien Boltzman, $m^2 \cdot kg/s^2 \cdot K$
k_c	: Koefisien transfer massa katalis
k_o	: Konstanta global rate
k_g	: Koefisien transfer massa reaktan ke permukaan katalis
k_s	: Koefisien transfer massa pada permukaan internal katalis
M	: Berat molekul, g/mol
N	: Bilangan Avogadro, mol $^{-1}$
P_t	: Tekanan operasi, atm
q	: Laju volumetric, m^3/s
R	: Konstanta gas, kkal/mol K
$-rA$: Laju reaksi
S	: Working stress yang diizinkan, atm
S_{ext}	: Luas permukaan eksternal katalis, m^2/kg
S_{int}	: Luas permukaan internal katalis, m^2/kg
t	: Tebal dinding reaktor, mm

T	: Temperatur, K
U	: Superficial velocity, m/s
Ur	: Koefisien perpindahan panas, Btu/hr.ft ² .°F
V _r	: Volume reaktor, m ³
V _k	: Volume katalis, m ³
W	: Laju aliran massa, kg/jam
W _K	: Berat katalis, Kg
X	: Persen konversi
ρ, ρ_k	: Densitas fluida, katalis, kg/m ³
ε	: Void fraksi, tidak berdimensi
σ_{AB}	: Konstanta <i>Lennard-Jones</i> , A ⁰
y	: Fraksi mol, tidak berdimensi
Φ	: Porositas partikel katalis, tidak berdimensi
Ω_{AB}	: Integral Collision, tidak berdimensi
μ	: Viskositas, kg/m.hr
η	: Effectiveness factor
Ω	: Overall effectiveness factor
ϕ_{s2}	: Modulus Thiele, m ² /s
σ	: Constriction factor
τ	: Waktu tinggal, s
τ_{cw}	: Waktu tinggal air pendingin, s

6. TANGKI, MIXER

C	: Allowable corrosion, m
D	: Diameter tanki, m
E	: Joint effisiensi
h	: Tinggi head, m
H	: Tinggi silinder tanki, m
Ht	: Tinggi total tanki, m
P	: Tekanan, atm
S	: Allowable stress, psi
t	: Tebal dinding tanki, m

- Vh : Volume head, m³
Vs : Volume silinder, m³
Vt : Volume tanki, m³
W : Laju alir massa, kg/jam
 ρ : Densitas, kg/m³

7. DIMENSIONLESS NUMBER

- Re : Reynold Number
Sc : Schmidt Number
Pr : Prandtl Number
 jH : Faktor perpindahan panas
f : Friction factor

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

1. PERHITUNGAN

1. Neraca Massa	94
2. Neraca Panas	116
3. Spesifikasi Peralatan	149
4. Analisa Ekonomi	265

ABSTRAK

Pabrik Biogas direncanakan berlokasi di daerah Ngawi, Jawa Timur. Pabrik ini meliputi area seluas 7,52 Ha dengan kapasitas 1.535 Ton/tahun. Proses pembuatan biogas dilakukan melalui proses fermentasi jerami padi dengan bantuan inokulum bakteri anaerobik pada temperatur 35°C dan tekanan. Reaksi fermentasi berlangsung didalam reaktor *Continous Stirred Tank Reactor* (CSTR) dengan lama *residence time* selama 36 hari.

Proses purifikasi dilakukan untuk meningkatkan kadar metana pada biogas hingga diperoleh biogas yang memiliki *heating value* yang sama dengan gas alam. Pabrik ini merupakan perusahaan yang berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *line and staff*, dipimpin oleh seorang direktur utama dengan jumlah karyawan 140 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, Pabrik Biogas dinyatakan layak untuk didirikan dengan analisa ekonomi sebagai berikut:

Investasi	= US \$ 309,195,449.62
Hasil penjualan per tahun	= US \$ 189,074,651.12
Biaya produksi per tahun	= US \$ 105,226,745.45
Laba bersih per tahun	= US \$ 58,693,533.97
Pay Out Time	= 3,701 tahun
Rate of return on investment	= 18,98 %
Discounted Cash Flow –ROR	= 24,68 %
Break Even Point	= 38,47 %
Service Life	= 11 tahun

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara beriklim tropis karena dilewati garis khatulistiwa sehingga memungkinkan untuk terjadi hujan disepanjang tahun. Hal tersebut juga memungkinkan Indonesia memiliki potensi untuk dikembangkannya sektor pertanian dan menjadikan pertanian sebagai salah satu mata pencaharian utama masyarakat Indonesia.

Pada sektor pertanian, setelah pasca panen akan terdapat limbah hasil pertanian yang mana beberapa limbah ini jika dibiarkan akan menyebabkan dampak negatif baik bagi masyarakat sekitar maupun masyarakat global karena akan meningkatkan emisi gas rumah kaca.

Untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, seperti gas karbon dioksida (CO_2) yang disebabkan oleh manusia dan industri, dalam rangka melawan perubahan iklim yang sedang berlangsung dengan cara-cara yang diakui secara ilmiah dan sosial. Pada waktu yang sama, meningkatnya populasi dunia mengakibatkan peningkatan permintaan akan makan dan air minum, energi dan juga bahan bakar. Metode baru dan proses produksi harus diarahkan sesuai dengan permintaan saat ini.

Salah satu solusi dari masalah pemanasan global adalah dengan mengkonversi limbah hasil pertanian, seperti jerami padi, yang memiliki kandungan lignoselulosa menjadi biogas. Selain mengurangi emisi gas rumah kaca yang keluar langsung dari limbah, penggunaan biogas sebagai bahan bakar juga mengurangi pembentukan gas CO_2 karena kandungan utama dari biogas adalah gas metana.

Karena hal tersebut diatas, maka pabrik pembuatan biogas dari biomassa yang mengandung lignoselulosa memiliki prospek yang baik untuk didirikan.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

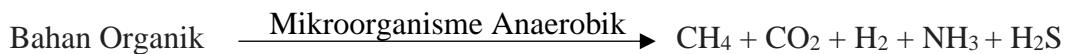
Pada awalnya biogas sebagai energi diproduksi dari kotoran kuda. Pada tahun 1897 biogas dari air limbah digunakan sebagai energi untuk lampu jalan yang

merupakan awal perkembangan produksi biogas dari air limbah. Pada tahun 1906 ilmuan mencoba implementasi proses 2 tahap yang menggabungkan antara pemurnian air dengan produksi biogas. Pada tahun 1906 dibangun pertama kali unit pengolahan air limbah secara anaerobik dengan memisahkan tahap sedimentasi dan produksi biogas. Dengan waktu tinggal selama 60 hari. Pada tahun 1923 pertama kali biogas dijual ke masyarakat di negara Jerman (Deublein and Steinhauser, 2008).

Pada tahun 1930 dilakukan pertama kali penghilangan air, CO₂ dan sulfide dari biogas serta dipampatkan ke botol. Dan pada rentang tahun 1930 - 1940 muncul ide untuk menggunakan limbah pertanian untuk diproduksi menjadi biogas. Tahun 1950 pertama kali dibangun pabrik pembuatan biogas dari limbah pertanian. Pada rentang tahun 1950-1990an terjadi perkembangan diantaranya dibangun banyak pabrik pembuatan biogas dengan teknologi terbaru dan lebih efisien. Pada tahun 2000, undang-undang "Energi Terbarukan", yang menyatakan peraturan untuk subsidi tenaga yang dipasok oleh biogas, menjadi efektif. Selama beberapa tahun terakhir, jumlah fasilitas biogas terus meningkat, terutama setelah menerapkan subsidi yang lebih tinggi lagi. Pada tahun 2006 pabrik pembuatan biogas pada akhirnya terintegrasi langsung dengan pembangkit listrik yang mana biogas digunakan sebagai bahan baku utama (Deublein and Steinhauser, 2008).

1.3. Proses Pembuatan Biogas

Berikut proses pembentukan biogas secara umum



Penguraian materi organik dalam digester terjadi melalui tiga tahapan, sebagai berikut:

1.3.1. Tahap Hidrolisis

Tahap hidrolisis dimulai dengan penguraian bahan-bahan organik kompleks yang mudah larut atau senyawa rantai panjang seperti lemak, protein, dan karbohidrat menjadi senyawa yang lebih sederhana, contohnya selulosa dan hemiselulosa dihidrolisa menjadi glukosa dan xilosa dengan bantuan enzim *selulose*

dan *hemiselulose*. Senyawa-senyawa monomer hasil penguraian diantaranya senyawa asam organik, glukosa, etanol, CO₂, dan hidrokarbon. Biasanya, senyawa tersebut dimanfaatkan oleh bakteri yang melakukan fermentasi sebagai sumber karbon dan energi. Jenis bakteri hidrolisa yang digunakan berada pada kelompok spesies *Bacteroides*, *Clostridium*, *Acetivibrio*, dan *Fibrobacter*.



1.3.2. Tahap Pengasaman (Asidifikasi)

Senyawa sederhana (komponen monomer) yang terbentuk dari tahap hidrolisis dijadikan sumber energi bagi bakteri pembentuk asam. Bakteri tersebut menghasilkan senyawa asam, seperti asam asetat, asam *propionate*, asam butirat, dan asam laktat, serta produk sampingan berupa alkohol, CO₂, *hydrogen* dan amonia.



(asam laktat) enzim dari bakteri *Lactobacillus*



(asam butirat) enzim dari bakteri *Syntrophomonas wolfei*, *S. bryantii* dan *S. saporovorans*.



(asam *propionate*) enzim dari bakteri *Pelotomaculum thermopropionicum* dan *P. schinkii*.

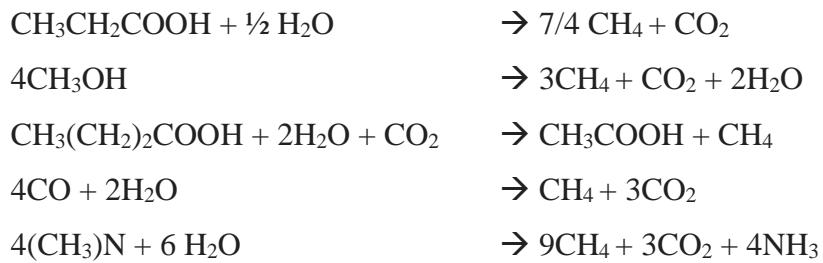


(asam asetat)

1.3.3. Tahap Metanogenesis

Bakteri metanogen seperti *Methanococcus*, *Methanosarcina*, dan *Methanobacterium* mengubah produk lanjutan dari tahap pengasaman menjadi metan, karbondioksida, dan air yang merupakan komponen penyusun biogas. Berikut reaksi yang dapat terjadi pada tahap metanogenesis.





Secara umum jumlah energi yang terdapat dalam biogas tergantung pada konsentrasi metana. Semakin tinggi kandungan metana, maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) biogas. Sebaliknya, semakin kecil kandungan metana, semakin kecil nilai kalori. Selain itu, kualitas biogas juga dapat ditingkatkan dengan cara menghilangkan hidrogen sulfur, kandungan air, dan karbondioksida. Pasalnya jika biogas mengandung senyawa ini, maka gas yang ditimbulkan menjadi berbahaya.

1.4. Macam-macam Proses Pembuatan Biogas

Pembuatan biogas dapat dilakukan dengan dua macam teknik yaitu secara fermentasi dan dengan proses *thermal degradation*.

1.4.1. Fermentasi

Fermentasi melibatkan bahan organik yang diproses dengan menggunakan bantuan mikroorganisme. Proses fermentasi sendiri dibagi menjadi dua yaitu fermentasi kering dan fermentasi basah. Perbedaan didasarkan pada input dari proses fermentasi. Input dari fermentasi basah biasanya berupa limbah cair organik sedangkan input dari fermentasi kering yaitu bahan organik limbah padat atau limbah pertanian. Secara umum pembentukan biogas secara fermentasi adalah sebagai berikut.

- A. Tahapan pertama adalah proses persiapan bahan baku. Persiapan bahan baku dapat dilakukan misalnya memperkecil ukuran, pengolahan kontaminan pada limbah cair dan pemecahan ikatan lignin dan selulosa pada biomassa yang mengandung selulosa.
- B. Tahapan kedua yaitu proses pencampuran. Pencampuran dengan air pada rasio tertentu dapat mempengaruhi hasil dari pembentukan biogas. Selain

itu penambahan air juga dimaskudkan agar *feed* yang masuk dapat mudah dipompa sehingga dapat mempermudah proses transportasi dari *feed*.

C. Fermentasi

Fermentasi biasanya terjadi pada digester digunakan dengan *propeller agitator*, untuk mendapatkan kondisi homogen dan memungkinkan terjadinya pemisahan *liquid-gas*. Sedimen pun dapat dipisahkan dengan pompa dari bagian bawah reaktor. Substra didiamkan selama 15-30 hari untuk mendapatkan *degradation* lengkap (*complete degradation*). Cairan residu mengandung nitrogen, fosfor dan zat organik yang dapat digunakan sebagai pupuk di daerah pertanian. Pada proses fermentasi ditambahkan beberapa mikroorganisme/enzyme untuk mempermudah proses pembentukan biogas.

D. *Energy Recovery*

Biogas yang dihasilkan disimpan dalam tank gas sebelum mengoptimalkan efisiensi konversi energi. Dihidrogen sulfida (H_2S) biogas dikurangi hingga <50 ppm di unit desulfurisasi biologi. Setelah desulfurisasi, biogas melewati unit dehidrasi, dimana uap air terkondensat oleh pendinginan. Kemudian biogas diumpulkan ke generator untuk mendorong mesin pembakaran dan menghasilkan listrik.

1.4.2. *Thermal Degradation*

Pembentukan biogas dengan proses *thermal degradation* dilakukan dengan metode pirolisis. *Feed* berupa padatan seperti kayu, jerami padi dan bahan organik lainnya. Proses *degradation* dapat menggunakan bantuan katalis (*thermal catalytic cracking*), tanpa katalis (*thermal cracking*) dan dengan penambahan hydrogen (*hydrocracking*). *Cracking* merupakan proses pemecahan molekul-molekul yang lebih besar menjadi molekul yang lebih kecil atau memecah rantai panjang menjadi rantai lebih pendek. *Cracking* sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi seperti temperatur dan tekanan. Secara umum proses pembentukan biogas dengan proses *thermal degradation* dapat dialakukan beberapa tahap yaitu sebagai berikut.

- A. Tahapan pertama adalah proses persiapan bahan baku. Persiapan bahan baku dapat dilakukan misalnya memperkecil ukuran untuk mempercepat proses degradasi.
- B. Tahapan kedua yaitu proses *cracking* pada temperatur dan tekanan tinggi. Proses cracking akan menghasilkan produk-produk gas, *ash* dan *char*.
- C. Tahapan ketiga yaitu proses pemisahan gas dan kontaminan padat yang terikut didalam gas hasil *cracking*.
- D. *Energy Recovery*
Biogas yang dihasilkan disimpan dalam tank gas sebelum mengoptimalkan efisiensi konversi energi. Dihidrogen sulfida (H_2S) biogas dikurangi hingga <50 ppm di unit desulfurisasi biologi. Setelah desulfurisasi, biogas melewati unit dehidrasi, dimana uap air terkondensat oleh pendinginan. Kemudian biogas diumpulkan ke generator untuk mendorong mesin pembakaran dan menghasilkan listrik.

1.5. Sifat Fisika dan Kimia

1.5.1. Sifat Fisika dan Kimia Komposisi Bahan Baku

1. Selulosa

Rumus molekul	: $(C_6H_{10}O_5)_n$
Berat Molekul	: 162,1406 g/mol per unit monomer
Densitas	: 1,5 g/cm ³
Titik Leleh	: 260 – 270 °C
Panas spesifik (Cp) (25°C)	: 1,204 J/(g . K) ; 194,8 J/(mol . K)

2. Hemiselulosa

Rumus molekul	: $(C_5H_8O_4)_n$
Berat Molekul	: 132,02 g/mol per unit monomer
Densitas	: 1,52 g/cm ³
Titik Leleh	: 149,23 °C
Panas spesifik (Cp) (25°C)	: 204,64 J/(mol . K)

3. Lignin

Rumus molekul	: $(C_{10}H_{13}O_4)_n$
Berat Molekul	: 197,432 g/mol per unit monomer
Densitas	: 1,25 g/cm ³
Titik Leleh	: 265 °C
Panas spesifik (Cp) (25°C)	: 1,248 J/(g . K) ; 242 J/(mol . K)

4. Air

Rumus molekul	: H ₂ O
Berat Molekul	: 18,015 g/mol
Densitas (25°C)	: 1 Kg/m ³
Titik Didih	: 99,98 °C
Titik Leleh	: 0 °C
Termal Konduktifitas	: 0,6065 W/m K
Viskositas Kinematik	: 0,8917 cSt (25°C)
Viskositas Dinamik	: 0,890 cP (25°C)
Temperatur Kritis	: 373,946 °C
Tekanan Kritis	: 220,6 bar ; 217,7 atm
Spesifik Volume	: 0,001 m ³ /kg ; 1,00295 cm ³ /g
Panas Spesifik (Cp) (25°C)	: 75,375 J/mol K ; 4,184 J/g K

(Material Safety Data Sheet Water, 2001).

5. Inokulum

- *Bacteroides uniformis*

Substrat : Karbohidrat

Hasil metabolism : Senyawa monomer gula dan asam seperti laktat dan asetat.

Kondisi optimum

PH : 7

Temperature : Mesofilik (30-40°C)

- *Clostridium spiriformis*

Substrat : Karbohidrat

Hasil metabolism : Senyawa Asetat

Kondisi optimum

PH : 7

Temperature : Mesofilik (30-40°C)

- *Clostridium celerecrescens*

Substrat : Selulosa

Hasil metabolism : Senyawa Asetat

Kondisi optimum

PH : 7

Temperature : Mesofilik (30-40°C)

- *Methanobacterials Ruminantium*

Substrat : Senyawa Asetat

Hasil metabolism : Gas Metana, Karbondioksida, Ammonia dan H₂S

Kondisi optimum

PH : 7

Temperature : Mesofilik (30-40°C)

(Sumber : Deublein and Steinhauser, 2008)

1.5.2. Sifat Fisika dan Kimia Komposisi Produk

1. Metana

Rumus molekul	: CH ₄
Berat Molekul	: 16, 042 g/mol
Densitas Gas	: 0,6784 Kg/m ³
Titik Didih	: -161 °C
Termal Konduktifitas	: 0,03391 W/m K
Viskositas Kinematik	: 17,07 cSt (25°C)
Viskositas Dinamik	: 0,01107 cP (25°C)
Temperatur Autoignation	: 537 °C
Temperatur Kritis	: -82,59 °C
Tekanan Kritis	: 45,99 bar
Spesifik Volume	: 0,0244 m ³ /mol ; 1,52 m ³ /kg
Kapasitas Panas (Cp)	: 35,8 J/mol K ; 2,232 kJ/kg K

(Material Safety Data Sheet Methane, 1996.

2. Karbondioksida

Rumus molekul	: CO ₂
Berat Molekul	: 44 g/mol
Densitas Gas	: 1,977 Kg/m ³
Titik Didih	: -78,464 °C
Termal Konduktifitas	: 0,01663 W/m °C
Viskositas Kinematik	: 0,834 cSt (25°C)
Viskositas Dinamik	: 1,495 cP (25°C)
Temperatur Kritis	: 30,98 °C
Tekanan Kritis	: 73,8 bar
Spesifik Volume	: 0,0245 m ³ /mol ; 0,557 m ³ /kg
Kapasitas Panas (Cp)	: 35,8 J/mol K ; 2,232 kJ/kg K

(Material Safety Data Sheet Carbondioxide, 2001.

3. Hidrogen Sulfida

Rumus molekul	: H ₂ S
---------------	--------------------

Berat Molekul	: 34,081 g/mol
Densitas Gas	: 1,505 Kg/m ³
Titik Didih	: -59,55 °C
Termal Konduktifitas	: 0,018 W/m °C
Viskositas Kinematik	: 8,505 cSt (25°C)
Viskositas Dinamik	: 0,013 cP (25°C)
Temperatur Autoignation	: 232 °C
Temperatur Kritis	: 100,2 °C
Tekanan Kritis	: 89,7 bar
Spesifik Volume	: 0,023 m ³ /mol ; 0,66 m ³ /kg
Kapasitas Panas (Cp)	: 34,6 J/mol K ; 1,01 kJ/kg K

(*Material Safety Data Sheet Hydrogen Sulfide, 2000*)

3. Ammonia

Rumus molekul	: NH ₃
Berat Molekul	: 17,03 g/mol
Densitas Gas	: 0,699 Kg/m ³
Titik Didih	: -33,33 °C
Termal Konduktifitas	: 0,026 W/m °C
Viskositas Kinematik	: 0,0143 cSt (25°C)
Viskositas Dinamik	: 0,01 cP (25°C)
Temperatur Autoignation	: 630 °C
Temperatur Kritis	: 132,41 °C
Tekanan Kritis	: 113,57 bar
Spesifik Volume	: 0,02435 m ³ /mol ; 1,43 m ³ /kg
Kapasitas Panas (Cp)	: 37 J/mol K ; 2,175 kJ/kg K

(*Material Safety Data Sheet Ammonia, 2001*)

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, N. S., Kiakalaieh, a. T., & Hezaveh, H. (2014). Glycerol for Renewable Acrolein Production by Catalytic Dehydration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28-59.
- anonim. (2016). *Expor - Impor Ethyl acetat*. Indonesia: Badan Pusat Statistik (BPS).
- Arita, S., Dara, M. B., & Irawan, J. (2008). Pembuatan Metil Ester Asam Lemak dari CPO Off Grade dengan Metode Esterifikasi-Transesterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 15, 34-43.
- ariyadi, i. (2009). *rencana tata ruang wilayah kota cilegon tahun 2010-2030*. indonesia.
- Brito, Y. C., & Ferreira, D. A. (2012). Simultaneous conversion of triacylglycerides and fatty acids into fatty acid methyl esters using organometallic tin (IV) compounds as catalysts. *Applied Catalysis A:General*, 202-206.
- Bunning, D. L., Rolston, J. D., LaBrot, D. A., Pichai, P., Dever, J. P., Fruchey, O. S., . . . Roy, K. (2015). *United States of America Paten No. 9,115,067 B1*.
- Cavaseno, V. (1979). *Process Heat Exchange*. McGraw-Hill.
- Coulson, J. M., & Richardson, J. F. (2005). *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Design* (4th ed., Vol. VI).
- da Silva, J. P., & Brito, Y. C. (2015). Influence of different alkyl and carboxylate substituents on Sn (IV) organometallic catalysts during fatty acid methyl ester production. *Catalysis Communications*, 204-208.
- Felder, R. M., & Rousseau, R. W. (1978). *Elementary Principles of Chemical Processes* (3rd ed.). New York, New York: John Wiley & Sons.
- Fogler, H. S. (t.thn.). *Elements of Chemical Reaction Engineering*. Prentice Hall International Series.
- Hambali Erliza. (2007). *Teknologi Bioenergi*. Jakarta Selatan: Agro Media Pustaka.
- Holland, F. A., & Chapman, F. S. (1966). *Liquid Mxing and Processing in Stirred Tanks*. Reinhold Publication Corporation.
- Ismail, S. (1999). *Alat Industri Kimia*. Inderalaya: Universitas Sriwijaya.

- J.Johnston, V., & Pan, T. (2014). *United States Paten No. US 8,680,343 B2*.
- Jevtie, R., & J.Johnston, V. (2011). *United States Paten No. US 2011/0190547*.
- Ke zhan, F. L. (2013). Hydrogenation Of Acetic Acid On Alumina Supported Pt-Sn Catalyst. *International Journal Of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, 204.
- Kern, D. Q. (1957). *Process Heat Transfer*. Auckland: McGraw-Hill International Edition.
- Ketaren, S. (1986). *Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta: UI-Press.
- Kirk-Othmer. (1991). *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. john wiley & sons.
- Levenspiel, O. (1999). *Chemical Reaction Engineering* (2nd ed.). New York: Johw Wiley & Sons.
- Ludwig, E. E. (1997). *Applied Process Design for Chemical and Petrochemicals Plants* (III ed., Vol. 2). USA: Gulf Publishing Company.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriot, P. (1993). *Unit Operations of Chemical Engineering*. McGraw-Hill International .
- Miligan, D., & Miligan, J. (2014). *Matches*. Dipetik September 2016, dari matche.com: <http://matche.com/default.html>
- Negara, S. D., & Dwiastuti, I. (2009). *Pengembangan Industri Energi Alternatif*. Jakarta: Pusat Penelitian Ekonomi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O. (1999). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (7th ed.). New York: McGraw-Hill Company.
- Peter, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant Design and Economics For Chemical Engineers* (4th ed., Vol. IV). New York: McGraw-Hill Book Company.
- Plaza, J. P., & Goodall, B. L. (2008). *United States of America Paten No. 0282606*.
- (2014). *Potensi dan Peluang Investasi*. Jakarta: Direktorat Jenderal Energi Baru,Terbarukan, dan Konservasi Energi.
- Sarager, L., & Warner, J. (2014). *United States Paten No. US 8,704,015 B2*.
- Smith, J. M. (1970). *Chemical Engineering Kinetics*.