



TUGAS AKHIR - ME 141501

**PEMANFAATAN SEWAGE SEBAGAI BAHAN BIOGAS
PADA KAPAL PENUMPANG KMP. SABUK
NUSANTARA 43 (2000 GT)**

USMAN NUR FAJAR
NRP 4213 106 003

Dosen Pembimbing
Sutopo P. Fitri, ST, M.Eng, Ph.D.
Benny Cahyono, ST, MT, Ph.D.

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



SKRIPSI - ME 141501

**PEMANFAATAN SEWAGE SEBAGAI BAHAN BIOGAS
PADA KAPAL PENUMPANG KMP. SABUK
NUSANTARA 43 (2000 GT)**

USMAN NUR FAJAR
NRP 4213 106 003

Dosen Pembimbing
Sutopo P. Fitri, ST, M.Eng, Ph.D.
Benny Cahyono, ST, MT, Ph.D.

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - ME 141501

**UTILIZATION OF SEWAGE AS MATERIAL FORMING
BIOGAS ON PASSENGER SHIP KMP. SABUK
NUSANTARA 43 (2000 GT)**

**USMAN NUR FAJAR
NRP 4213 106 003**

Advisor

Sutopo P. Fitri, ST, M.Eng, Ph.D.
Benny Cahyono, ST, MT, Ph.D.

**MARINE ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

“PEMANFAATAN SEWAGE SEBAGAI BAHAN BIOGAS PADA KAPAL PENUMPANG KMP. SABUK NUSANTARA 43 (2000GT)”

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

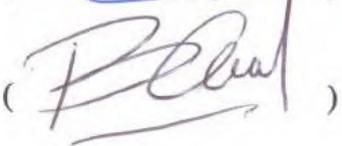
Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Usman Nur Fajar
NRP. 4213 106 003

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Sutopo P. Fitri, ST, M.Eng, Ph.D.
NIP. 197510062002121003
2. Beny Cahyono, ST, MT, Ph.D.
NIP. 197903192008011008

()
()

SURABAYA
JULI, 2016

LEMBAR PENGESAHAN

“PEMANFAATAN SEWAGE SEBAGAI BAHAN BIOGAS PADA KAPAL PENUMPANG KMP. SABUK NUSANTARA 43 (2000GT)”

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Usman Nur Fajar
NRP. 4213 106 003

Disetujui oleh:

Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST, MT.
NIP. 197708022008011007

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

Pada laporan skripsi yang saya susun ini tidak terdapat tindakan plagiatisme, dan menyatakan dengan sukarela bahwa semua data, konsep, rancangan, bahan tulisan, dan materi yang ada di laporan tersebut adalah milik Laboratorium Marine Machinery & System (MMS) di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK – ITS yang merupakan hasil studi penelitian dan berhak dipergunakan untuk pelaksanaan kegiatan-kegiatan penelitian lanjut dan pengembangannya.

Nama : Usman Nur Fajar
NRP : 4213106003
Judul Skripsi : Pemanfaatan Sewage Sebagai Bahan Biogas
Pada Kapal Penumpang KMP. Sabuk
Nusantara 43 (2000 GT)
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS

Apabila di kemudian hari terbukti terdapat tindakan plagiatisme, maka saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diberikan oleh ITS sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2016

(Usman Nur Fajar)

**“PEMANFAATAN SEWAGE SEBAGAI BAHAN BIOGAS
PADA KAPAL PENUMPANG
KMP. SABUK NUSANTARA 43 (2000 GT)”**

Nama : Usman Nur Fajar
NRP : 4213106003
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS
Dosen Pembimbing : Sutopo P. Fitri, ST, M.Eng, Phd.
Benny Cahyono, ST, MT, Ph.D.

Abstrak

Meningkatnya kebutuhan bahan bakar serta harga bahan bakar, sehingga pemerintah mengeluarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 Tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak (BBM) untuk menyelesaikan masalah krisis energi yang terjadi di Indonesia. Tidak hanya itu sumber energi alternatif yang berasal dari limbah buangan juga dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Seperti pada kapal yang menghasilkan limbah buangan salah satunya berupa Sewage. Salah satu sumber energi biomassa adalah biogas, bahan biogas ini menggunakan ekskresi manusia dari sanitary discharge kapal.

Sistem biogas yang akan diaplikasikan pada kapal penumpang ini akan dibahas menggunakan studi kelayakan yang meliputi Aspek Pasar, Aspek Teknis Produksi & Teknologi, Aspek Lingkungan, Aspek Ekonomi serta Analisa Bahaya. Potensi bahan baku sebesar 26,8 kg/hari yang diolah menghasilkan 1,29 m³/hari biogas, 9,6 kg/hari pupuk padat, 150,4 kg/hari pupuk cair. Manfaat atau penerimaan proyek instalasi biogas bersumber dari penjualan pupuk organik dan pemakaian biogas yang dihasilkan. Harga gas dikonversikan dengan harga pemakaian minyak solar atau LPG yang dikeluarkan oleh kapal selama ini. Dengan asumsi pemakaian LPG oleh dapur kapal selama ini dapat diketahui harga pemakaian biogas selama setahun, yaitu sebesar Rp. 19.882.496. Untuk pupuk cair dan padat dengan hasil produksi per tahun diperoleh penerimaan per tahun sebanyak Rp 72.480.000. Dengan investasi pada tingkat suku bunga 10% selama 20 tahun dapat dinyatakan “Layak” untuk investasi jangka panjang.

Kata Kunci: Kapal Penumpang, Sewage, Biogas, Studi kelayakan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**“UTILIZATION OF SEWAGE AS MATERIAL FORMING
BIOGAS ON PASSENGER SHIP KMP. SABUK NUSANTARA
43 (2000 GT)”**

Name : Usman Nur Fajar
NRP : 4213106003
Department : Marine Engineering
Advisor : Sutopo P. Fitri, ST, M.Eng, Phd.
Benny Cahyono, ST, MT, Ph.D.

Abstract

The growing need for fuels and fuel prices, the government issued Presidential Regulation of the Republic of Indonesia No. 5 of 2006 on national energy policy to develop alternative energy sources as a substitute for fuel oil (BBM) to resolve the energy crisis that occurred in Indonesia. Not only is it an alternative energy source derived from sewage effluent can also reduce environmental pollution. As the ships that produce waste from one form of Sewage. One source of biomass energy is biogas, biogas material using human excretion from the sanitary discharge vessel.

Biogas system that will be applied on passenger ships will be discussed using a feasibility study covering the Market Aspects, Technical Aspects of Production & Technology, Environmental Aspects, Economic Aspects and Hazard Analysis. Potential raw material at 26.8 kg / day which is processed to produce 1.29 m³ / day of biogas, 9.6 kg / day of solid manure, 150.4 kg / day of liquid fertilizer. Benefits or installation project acceptance biogas derived from the sale of organic fertilizer and the use of biogas produced. The price of gas is converted with the price of oil use diesel or LPG issued by the ship during this time. Assuming the use of LPG by the galley can be seen during the use of biogas price over the year, amounting to Rp. 19,882,496. For liquid and solid fertilizer production per year gained acceptance as much as Rp 72.48 million per year. By investing in interest rate of 10% for 20 years can be declared "Eligible" for a long-term investment.

Keyword: Passenger ships, Sewage, Biogas, Feasibility study

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, segala puji hanya untuk Allah ﷻ semata. Karena hanya atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya lah Tugas Akhir ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Shalawat dan salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan Rasulullah Muhammad ﷺ, para sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman.

Tugas Akhir ini membahas mengenai penerapan instalasi produksi biogas menggunakan bahan baku dari sewage di kapal yang tergolong belum dikembangkan. Oleh sebab itu perlu diadakan studi kelayakan dan analisa mengenai instalasinya. Tiada daya dan upaya dari penulis seorang untuk menyelesaikan semua ini tanpa adanya bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penghargaan serta ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Sutopo P. Fitri, ST, M.Eng, Phd. selaku dosen pembimbing tugas akhir sekaligus Wakil Dekan FTK yang memberikan bimbingan dan motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Benny Cahyono, ST, MT, Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang memberikan semangat dan kepercayaan kepada penulis selama ini.
3. Bapak Alam Baheramsyah, Ir, M.Sc, selaku Kepala Laboratorium MMS Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS.
4. Bapak Dr, Eng. M. Badrus Zaman, ST, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS.
5. Seluruh staff pengajar dan karyawan di jurusan di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS yang telah memberikan Keilmuannya dan fasilitas pada penulis selama ini.
6. Keluargaku di Surabaya Ayah, Ibu, Pakde, dan adikku (Ali A.P.B). Keluargaku di Banyuwangi Mamak, Yayah, Dwi. Mbak Yayuk di Tengerang. Dan untuk yang paling tercinta dua cahaya ku, E.W dan KhaZA.

7. Teman seperjuangan LJ '13 atas segala bantuan dan dukungannya pada penulis.
8. *Ikhwan fillah (Aamiin)* di lingkungan SISKAL yang senantiasa mengajak dalam ibadah dan kebaikan.
9. Saudaraku semua yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah ﷻ selalu mengkaruniakan kebaikan dan mengganti dengan sesuatu yang lebih baik dari yang pernah diberikan. Aamiin.

Penulis menyadari banyaknya kekurangan pada pengerjaan Tugas Akhir ini, untuk itu kritik dan saran sangat diharapkan agar penelitian selanjutnya bisa lebih baik lagi. Tiada kebahagiaan yang begitu besar kecuali semua ikhtiar ini bisa bermanfaat dan tidak meninggalkan kesia-siaan. Semoga Allah ﷻ meridhoi. Aamiin

Surabaya, Juli 2016

PENULIS

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	iii
Lembar Pernyataan.....	vii
Abstrak	ix
Abstract	xi
Kata Pengantar	xiii
Daftar Isi.....	xv
Daftar Gambar.....	xix
Daftar Tabel.....	xx
Daftar Grafik	xxii
Daftar Lampiran	xxiii
Daftar simbol & notasi	xxiv

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	3
I.3 Batasan Masalah	5
I.4 Tujuan Penulisan.....	5
I.5 Manfaat Penulisan.....	6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Umum	7
II.2 Sistem Sanitari	7
II.2.1 Sistem Sanitari Air Tawar.....	8
II.2.2 Sistem Sanitari Air Laut	10
II.2.3 Sewage Treatment	13
II.2.4 Rule dan Rekomendasi yang Digunakan	17
II.3 Teori Dasar Biogas.....	18
II.3.1 Reaktor Biogas	22
II.3.2 Parameter Optimasi untuk Digester	25
II.3.3 Menghilangkan CO ₂	31
II.3.4 Menghilangkan H ₂ S.....	37
II.3.5 Kompresi Biogas dan Penyimpanan	39

II.3.6	Persamaan-persamaan Pembentukan Biogas	41
--------	--	----

BAB III METODOLOGI TUGAS AKHIR

III.1	Umum.....	45
III.2	Pengumpulan Data dan Referensi	47
III.3	Studi Literatur	47
III.4	Studi Empiris.....	48
III.5	Konversi Studi Kelayakan.....	48
III.5.1	Kajian Teknis.....	48
III.5.2	Kajian Ekonomi.....	48
III.6	Studi Perancangan Desain	48
III.7	Analisa.....	49
III.8	Kesimpulan dan Saran.....	49

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

IV.1	Parameter kapal	51
IV.2	Kondisi Eksisting Kapal.....	52
IV.2.1	Sanitari Kapal	52
IV.2.2	Sumber Energi Kapal.....	52
IV.3	Aspek Pasar	53
IV.3.1	Karakteristik Produk	53
IV.3.2	Gas Bio	54
IV.3.3	Pupuk Organik.....	54
IV.3.4	Pemasaran Produk	55
IV.4	Aspek Teknis Produksi & Teknologi Biogas	56
IV.4.1	Ketersediaan Bahan Baku	56
IV.4.2	Potensi dan Rencana Kapasitas Produksi Biogas pada Kapal KM. SABUK NUSANTARA 43.....	57
IV.4.2.1	Persamaan-persamaan Pembentukan Biogas	57
IV.4.2.2	Utilitas Kapasitas	60
IV.4.2.3	Estimasi Kapasitas Produksi	61
IV.4.3	Pemilihan Teknologi / Alat.....	62
IV.4.3.1	Digester Biogas	62
IV.4.3.2	Penampung Gas.....	64
IV.4.3.3	Kompressor	66

IV.4.3.4	Pemurni (<i>Gas Scrubber</i>).....	67
IV.4.3.5	Blower Biogas	69
IV.4.4	Penetapan Lokasi dan Layout	69
IV.4.5	Rencana Proses Produksi	73
IV.5	Aspek Lingkungan	80
IV.6	Aspek Ekonomi.....	81
IV.6.1	Nilai Ekonomi Konversi Biogas	81
IV.6.2	Analisa Biaya	82
	i. Biaya Investasi.....	83
IV.6.3	Analisa Finansial.....	84
IV.6.3.1	Aliran Kas	84
	i. Arus Penerimaan (<i>inflow</i>).....	84
	ii. Arus Pengeluaran (<i>outflow</i>).....	85
IV.6.3.2	Proyeksi Laba Rugi	85
IV.6.3.3	Laporan Arus Kas (Cash Flow)	87
IV.6.3.4	Kriteria Kelayakan Investasi.....	89
	i. Periode Pengembalian (<i>Payback Period</i>)	89
	ii. <i>Net Present Value (NPV)</i>	91
	iii. <i>Internal Rate Of Return (IRR)</i>	93
	iv. <i>Profitability Index (PI)</i>	96
IV.6.4	Analisa SWOT	97
IV.6.4.1	Unsur-unsur SWOT	97
IV.6.4.2	Faktor Eksternal dan Internal.....	97
	i. Faktor Eksternal	98
	ii. Faktor Internal.....	98
IV.6.4.3	Model Analisis SWOT	98
IV.6.4.4	Matrik SWOT.....	99
	a. Identifikasi Faktor Kekuatan, Kelemahan, Peluang, dan Ancaman	100
	i. Kekuatan	100
	ii. Kelemahan	101
	iii. Peluang.....	103
	iv. Ancaman	104
	b. Penyusunan Mekanisme Operasional Pembangunan Instalasi Biogas	104

i. Strategi SO (Kombinasi S1-S3 dengan O1-O3).....	104
ii. Strategi ST (Kombinasi S1-S3 dengan T1-T2).....	105
iii. Strategi WO (Kombinasi W1-W5 dengan O1-O4).....	105
iv. Strategi WT (Kombinasi W1-W5 dengan T1-T2).....	106
IV.7 Analisa Bahaya.....	107
BAB V KESIMPULAN & SARAN	
V.1 Kesimpulan	111
V.2 Saran.....	112
DAFTAR PUSTAKA	113
LAMPIRAN	117
BIODATA PENULIS	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Sanitari Air Tawar	9
Gambar 2.2	Diagram Sanitari Air Laut	11
Gambar 2.3	Diagram Sanitari Air Laut dengan Hydrophore.....	12
Gambar 2.4	Proses Dasar Produksi Biogas	18
Gambar 2.5	Tiga Tahapan Proses Di dalam Reaktor Biogas.....	20
Gambar 2.6	<i>China Fixed Dome Biogas Digester</i>	23
Gambar 2.7	<i>Biogas Digester with Floating Gas Holder and No Water Seal</i>	24
Gambar 2.8	<i>Bag Biogas Digester</i>	25
Gambar 2.9	<i>Packed Bed Scrubber</i>	32
Gambar 2.10	<i>Compressed Biogas (CBG) Bottle</i>	41
Gambar 3.1	Diagram alur metode penelitian	46
Gambar 4.1	KM. SABUK NUSANTARA 43 (2000 GT)	51
Gambar 4.2	Bio Digester Portable Set	62
Gambar 4.3	Penampung Biogas (BRT1010)	64
Gambar 4.4	Kompresor Biogas (MP1HP22).....	66
Gambar 4.5	Pemurni Biogas (MP1270).....	68
Gambar 4.6	Blower Biogas.	69
Gambar 4.7	Layout Komponen Instalasi Biogas.....	70
Gambar 4.8	Layout Komponen Instalasi Biogas 3D.....	72
Gambar 4.9	Skema Rencana Proses Produksi.....	73
Gambar 4.10	Tahap Penampungan dan Pengaliran Ekskresi	73
Gambar 4.11	Tahap Penampungan Biogas	75
Gambar 4.12	Tahap Pemurnian Biogas.....	76
Gambar 4.13	Proses Kerja Digester	77
Gambar 4.14	Tahap Pembuangan Sslurry	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Biogas.....	21
Tabel 2.2	Karakteristik Biogas	22
Tabel 2.3	Rasio C/N Beberapa Material Organik yang Umum Digunakan	27
Tabel 2.4	Konsentrasi Kandungan Kimia Mineral yang Diijinkan	29
Tabel 2.5	Potensi Produksi Gas untuk Beberapa Tipe Bahan Organik.....	31
Tabel 2.6	Sistem Penyimpanan Biogas yang Umum Digunakan.....	40
Tabel 4.1	Kondisi Toilet Kapal KM. Sabuk Nusantara 43	52
Tabel 4.2	Produk Hasil Instalasi Biogas	53
Tabel 4.3	Nilai Kesetaraan Berbagai Jenis Energi Dibandingkan Dengan Biogas	54
Tabel 4.4	Potensi Limbah Sanitari Toilet	56
Tabel 4.5	Potensi Energi Biogas dari Sanitari Toilet.....	58
Tabel 4.6	Skema Proses Perhitungan Potensi Biogas	59
Tabel 4.7	Spesifikasi Biodigester	62
Tabel 4.8	Spesifikasi BRT	65
Tabel 4.9	Spesifikasi Kompresor	66
Tabel 4.10	Spesifikasi Pemurni Biogas	68
Tabel 4.11	Biaya Penggunaan Gas LPG Sebelum Menggunakan Biogas	81
Tabel 4.12	Nilai Penghematan Penggunaan Biogas Sebagai Pengganti Gas LPG.....	82
Tabel 4.13	Rincian Biaya Investasi Instalasi Biogas	83
Tabel 4.14	Rincian Biaya Operasional Instalasi Biogas...	83
Tabel 4.15	Proyeksi Laba-Rugi Operasional Instalasi Biogas	86
Tabel 4.16	Proyeksi Arus Kas (<i>Cash Flow</i>) Operasional Instalasi Biogas	87

Tabel 4.17	Proyeksi Arus Kas (<i>Cash Flow</i>) Konversi Pemanfaatan Gas	88
Tabel 4.18	<i>Net Present Value</i> (NPV)	93
Tabel 4.19	Matrik Faktor Strategis Eksternal (EFAS)	99
Tabel 4.20	Matrik Faktor Strategis Internal (IFAS)	99
Tabel 4.21	Matrik Analisa SWOT Pengembangan Biogas	107
Tabel 4.22	Deskripsi Bahaya Instalasi Biogas	109

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Aliran Kas	95
Grafik 4.2	Nilai Sekarang (PV)	95

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 General Arrangement Coaster 2000 GT
- Lampiran 2 Engine Room Layout Coaster 2000 GT
- Lampiran 3 Sanitary Discharge System

DAFTAR SIMBOL DAN NOTASI

B	= lebar kapal, m
BRT	= <i>Biogas Recevoir Tube</i>
C	= karbon
CH ₄	= Metan
CO ₂	= Karbon dioksida
CO	= Karbon Monoksida
DWT	= berat mati kapal, Ton
DM	= Dry Matter
GT	= Gross Tonage
H	= tinggi kapal, m
H ₂	= Hidrogen
H ₂ O	= Hidrogen Dioksida
H ₂ S	= Hidrogen Sulfida
HRT	= Hidraulic Retention Time, hari
IRR	= <i>Internal Rate of Return</i>
LOA	= panjang keseluruhan kapal, m
LPP	= panjang perpendicular, m
LPG	= Liquid Petroleum Gas
N ₂	= Nitrogen
NaOH	= Natrium Hidroksida
NPV	= <i>Net Present Value</i>
O ₂	= Oksigen
PI	= <i>Profitability Index</i>
ppm	= part per million
R _T	= waktu penyimpanan, hari
SRT	= <i>Specific Retention Time</i> , day
SLR	= <i>Specific Loading Rate</i> , kg/m ³ /day
SBP	= <i>Specific Biogas Production</i> , m ³
S _d	= jumlah masukan substrat per hari, kg
SWOT	= Strength, Weakness, Oportunity, Threats
T	= sarat kapal, m
TS	= Total Solid, kg/m ³
V _d	= Volume Digester, m ³

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Indonesia adalah sebuah negara besar yang memiliki jumlah penduduk yang besar pula. Penduduk Indonesia pada tahun 2010 berjumlah 238 juta jiwa dan diproyeksikan pada tahun 2035 berjumlah 305 juta jiwa.¹⁾ Dari banyaknya jumlah pertumbuhan penduduk tersebut dan semakin bertambah otomatis akan meningkatkan kebutuhan akan sumber daya alam yang semakin banyak dipakai dan semakin menipis contohnya bahan bakar fosil. Produksi minyak terus menurun, cadangan terbukti kian merosot hingga di bawah 4 miliar barel dan kondisi sumur semakin menua. Demikian juga dengan armada transportasi laut baik penumpang maupun barang kian berkembang. Keluarnya Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 Tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak (BBM) untuk menyelesaikan masalah krisis energi yang terjadi di Indonesia. Salah satu energi alternatif yang efisien adalah biogas. Berbagai organisasi dibidang maritim tak henti untuk mengsosialisasikan “*green ship concept*” dimana salah satu caranya adalah dengan menciptakan “*efficient ship*” dalam operasional kapal. “*efficient ship*” adalah pengoptimalan sistem terintegrasi yang dapat menghubungkan sistem satu dengan sistem lain untuk pemanfaatan tenaga, redundansi, mereduksi biaya operasional.

Biaya operasional untuk bahan bakar pada sebuah kapal bervariasi antara 20-30% dari total biaya operasional tergantung dari jenis kapal. Pada umumnya kebutuhan bahan bakar hanya diperuntukkan oleh motor penggerak utama dan motor bantu. Pada motor bantu misalnya, meskipun kapasitas kebutuhan bahan bakarnya relatif kecil dibanding penggerak utama namun cukup signifikan pengaruhnya terhadap biaya operasional.

Kapal penumpang, cruise ship, kapal angkut ternak sebagai objek ideal merupakan sarana angkut masal salah satu

1) BOK 1

transportasi laut. muatan yang diangkut adalah hal yang paling mendasar untuk kapal-kapal tersebut. Memanfaatkan objek sebagai sumber energi alternatif adalah sebagai langkah upaya melakukan penghematan dalam hal ini adalah manusia atau pun hewan. Salah satu sumber energi biomassa adalah biogas, hal ini dikarenakan biogas tergolong ke dalam energi yang berasal dari bahan-bahan organik (bahan non fosil) yang umumnya berasal dari berbagai limbah organik seperti, ekskresi manusia, ekskresi hewan, sisa-sisa tumbuhan dan lain sebagainya. Dengan dibantu proses fermentasi bahan-bahan organik akibat aktivitas bakteri anaerob pada lingkungan tanpa oksigen bebas. Energi gas bio didominasi gas metan (60% - 70%), karbondioksida (40% - 30%) dan beberapa gas lain dalam jumlah lebih kecil. Aplikasi penggunaan biogas ekskresi sebagai bahan bakar alternatif telah menjadi obyek penelitian pada beberapa tahun terakhir ini dan terus dikembangkan. Ketertarikan ini berdasarkan pertimbangan pada upaya untuk mendapatkan bahan bakar alternatif yang renewable dan ramah lingkungan. Berbagai penelitian untuk mempelajari karakteristik biogas telah dilakukan dan diharapkan dapat diaplikasikan pada bidang kemaritiman.

Pilihan kapal penumpang jenis perintis sebagai objek penelitian antara lain karena memiliki jumlah penumpang yang cukup banyak, jarak pelayaran yang cukup jauh kebutuhan bahan bakar yang besar guna memenuhi segala kebutuhan para penumpang dan awaknya. Dibandingkan dengan kapal lain seperti merchant ship yang hanya membawa ABK yang jumlahnya tidak lebih dari 30 orang sehingga mempengaruhi jumlah produksi biogas. Ekskresi manusia tergolong bahan organik merupakan hasil sisa perombakan dan penyerapan dari sistem pencernaan. Berdasarkan kapasitas manusia dewasa rata-rata hasil ekskresi 0,2 kg/hari/jiwa dan urin rata-rata 0,998 kg/hari/jiwa atau total 1,1998 kg limbah per hari.²⁾ Dengan asumsi bahwa kepadatan rata-rata lumpur limbah manusia adalah 1,0 g / cm³.

$$\sum n = 0.2x \quad (1)$$

Dimana:

$\sum n$ = Jumlah limbah manusia yang dihasilkan per hari (kg)

x = Total Jumlah orang (diperkirakan 534 orang (KM. Sabuk Nusantara 43))

Untuk itu dikembangkan potensi ketersediaan ekskresi manusia di kapal perintis Sabuk Nusantara 43. Di kapal ini sedikitnya terdapat 400 penumpang, dengan rata-rata setiap orang menghasilkan 0,2 kg ekskresi setiap hari dan setiap kilogram ekskresi mengandung total solid (TS) sebanyak 20% serta memiliki laju produksi biogas sebanyak 0,43 m³/kg TS, maka dari total potensi ketersediaan ekskresi penumpang sebesar 26,8 kg perhari (diambil dari asumsi jumlah orang yang menggunakan toilet sebanyak 25% dari total penumpang kapal perhari) akan mampu menghasilkan energi biogas sebanyak 2,3 m³ perhari. Selama ini potensi ekskresi manusia yang ada tidak dimanfaatkan secara optimal, bahkan terkadang ekskresi yang tergolong limbah ini akan menimbulkan permasalahan lingkungan bagi perairan sekitar.

Dari potensi dan peluang yang ada dilakukan studi kelayakan analisa pembuatan biogas dari ekskresi sanitari kapal sekaligus usaha pemanfaatan berdasarkan aspek teknis produksi dan aspek keuangan. Studi kelayakan ini nantinya dapat dijadikan sumber informasi bagi masyarakat dan khususnya dalam dunia maritim sebagai upaya memenuhi energi bagi keperluan kapal.

I.2 Perumusan Masalah

Limbah berupa ekskresi dari manusia mengandung nutrisi yang tidak jauh beda dengan limbah ekskresi ternak. Kalaupun berbeda tentu akibat pola makan dan sistem pencernaan yang berbeda. Ekskresi manusia memiliki keunggulan dari segi nutrisi, dimana Nisbah Karbon (C) dan Nitrogen (N) jauh lebih rendah dari ekskresi ternak (C/N rasio 6-10 : 18-30) (Sihombing, 1988). Limbah seringkali diabaikan karena dianggap tidak memberikan

manfaat terutama ekskresi yang dinilai menjijikkan dan tidak bernilai ekonomis. Disamping itu jika kita pahami lebih dalam limbah manusia terutama ekskresinya ini sangat bermanfaat untuk kelangsungan energi alternatif terbarukan. Terkait dengan dampak dari peningkatan populasi manusia dan kebutuhan energi demi kelangsungan hidup manusia yang bersamaan mengalami peningkatan tetapi mengalami penurunan dalam cadangan sumber energi yang tidak dapat diperbarui seperti bahan bakar fosil.

Meninjau sedikitnya pemanfaatan biogas ekskresi terutama limbah manusia khususnya pada kapal, maka dilakukan analisa aplikasi sistem pengolahan gas bio terhadap kondisi di kapal. Terbentuknya gas metana pada proses fermentasi yang akan digunakan sebagai bahan baku dalam memproduksi gas hidrogen dengan proses reforming.

Ekskresi Biogas mempunyai angka CH_4 komponen yang lebih tinggi dibandingkan dengan lain seperti CO_2 , N_2 , CO , O_2 , dan H_2S . Biogas juga mempunyai tekanan yang cukup besar didalam tanki tertutup. Jadi perlu diperhatikan jika sistem pembuatan tanki penampungan gas dan biodigester pada kapal.

Berdasar uraian diatas disampaikan beberapa hipotesa yang antara lain:

- ❖ Ekskresi manusia dapat memproduksi biogas secara sempurna jika parameter produksi biogas terpenuhi.
- ❖ Aspek teknis dari pemanfaatan biogas dapat memenuhi kebutuhan pada kapal penumpang.
- ❖ Desain layout dan sistem biodigester dapat diinstal diatas kapal.
- ❖ Dapat memberikan keuntungan investasi dari aspek ekonomis.

Berikut perumusan masalah yang didapat dalam penulisan penelitian:

- a. Seberapa besar produksi dan potensi yang dihasilkan dari limbah sanitari toilet?

- b. Bagaimana cara pemanfaatan biogas?
- c. Bagaimana sistem *pipe line biogas plant* pada kapal?
- d. Seberapa ekonomis penggunaan dan pemanfaatan biogas plant?

I.3 Batasan masalah

Batasan permasalahan pada penulisan tugas akhir ini adalah :

- a. Kapal yang dianalisa adalah kapal perintis (Coaster) 2000 GT berpenumpang 534 orang.
- b. Dalam tugas ini hanya menjabarkan, menganalisa keuntungan dan dampak penerapan biogas pada kapal.
- c. Menentukan kapasitas produksi biogas.
- d. Analisa teknis pemilihan reactor/biodigester dan sistem pengolahannya.
- e. Tidak membahas secara detail tentang proses kimiawi dan purifikasi biogas.
- f. Studi kelayakan dilakukan pada kondisi operasional kapal yang memberikan keuntungan diterapkannya sistem ini.
- g. Tidak membahas secara detail pengaruh stabilitas yang diakibatkan dari penambahan komponen-komponen biogas.

I.4 Tujuan Penulisan

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk melakukan studiperancangan istem biogas di atas kapal penumpang yang ditinjau melalui studi kelayakan mencakup beberapa kegiatan penelitian antara lain:

- ❖ Mengidentifikasi dan menganalisa jumlah limbah yang diolah serta banyaknya volume biogas yang dihasilkan.
- ❖ Menentukan tangki reaktor biogas yang akan digunakan.
- ❖ Menganalisa pemanfaatan biogas untuk kebutuhan pada kapal penumpang.
- ❖ Redrawing layout komponen serta desain *pipe line*.

- ❖ Meninjau dari aspek teknis dan ekonomis penggunaan biogas plant.

I.5 Manfaat Penulisan

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

- i. Implementasi instalasi biogas pada kapal merupakan model percontohan untuk lebih disempurnakan.
- ii. Untuk mengetahui berbagai aplikasi pemanfaatan biogas pada kapal penumpang.
- iii. Untuk mengetahui layak atau tidaknya penggunaan biogas pada kapal ini.
- iv. Dapat memotivasi untuk melakukan penggunaan energi alternatif karena lebih ekonomis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 UMUM

Dasar teori merupakan bahan pustaka yang digunakan sebagai pijakan dalam menganalisa atau menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir. Dasar teori tersebut mencakup semua pustaka yang berhubungan dengan penyelesaian tugas akhir.

II.2 SISTEM SANITARI

Sistem Sanitary atau bisa disebut domestic water system adalah sistem distribusi air bersih (*fresh water*) di dalam kapal yang digunakan oleh ABK dalam memenuhi kebutuhan akan air minum dan memasak, untuk mandi, mencuci dan lain-lain. Sedangkan untuk kebutuhan di WC (*water closed*), dengan perencanaan sistem yang sama digunakan sistem air laut (*sea water*) yang disuplai ke tiap deck yang memiliki kamar mandi. Kedua sistem pelayanan diatas memiliki dasar kerja yang sama menggunakan pompa otomatis untuk mensuplai fluida ke tangki bertekanan (*hydropore*) yang disuplai dari sistem udara tekan. Udara tekan ini direncanakan memiliki head dan tekanan yang memadai untuk dapat mensuplai air ke tempat yang memerlukan, diantaranya kamar mandi, laundry room, galley, dan wash basin. Pompa dioperasikan secara otomatis dengan swith tekanan yang bekerja berdasar level air yang dikehendaki [DA. Taylor].

- a. Fungsi system sanitari.
 - Untuk melayani ABK dalam kebutuhan untuk saniter.
 - Diperlukan dalam proses treatment fecal sebagai pembilas.
- b. Bagian-bagian dari sistem sanitari.
 - Closet dan urinal.
 - Pompa dan peralatan outfitting.
 - Hydrophore.

- Filter.
 - Tangki.
 - Sewage treatment plan.
- c. Hal yang perlu dipertimbangkan dalam mendesain sistem sanitary.
- Toilet dan kamar mandi pada tiap-tiap deck diusahakan satu jalur, untuk tujuan instalasi sederhana dan memudahkan dalam maintenance.
 - Kapasitas tangki fecal dan urinal disesuaikan dengan jumlah ABK dan lama pelayaran.

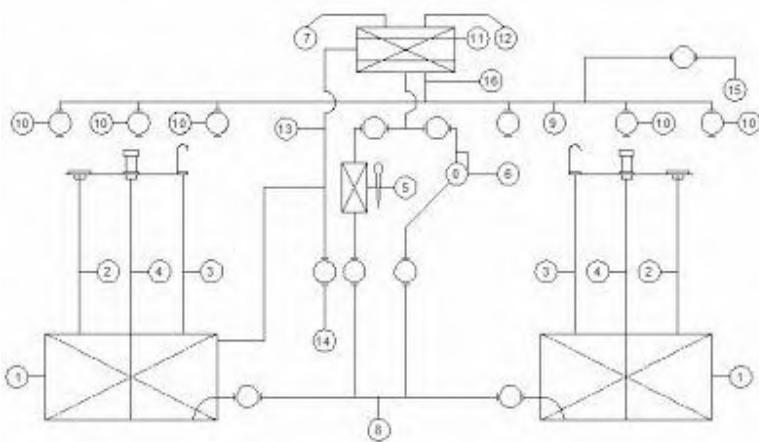
II.2.1 Sistem Sanitari Air Tawar

Sistem layanan air tawar di kapal umumnya dialirkan dari tangki induk (*storage tank*) dihisap dengan menggunakan pompa air tawar ke tangki dinas (*service*). Selanjutnya dari tangki ini kemudian air tawar didistribusikan ke pemakaian. Dalam hal ini tangki dinas harian ini terletak pada top deck dengan sistem gravitasi. Sistem ini digunakan pada kapal dengan ukuran kecil atau kapal yang tidak menggunakan sistem *hydrophore*. Kapasitas dari tangki dinas harian ini berkisar antara 1 s/d 3 m³. Tangki dinas harian dilengkapi dengan pipa udara, pipa limbah untuk kapal yang berlayar pada daerah beriklim dingin, maka tangki ini harus dilengkapi dengan pemanas (*heater*) dan dilapisi dengan *thermal insulation* untuk mencegah terjadinya pembekuan air pada tangki.

Pada sistem air tawar dengan sistem *hydrophore*, letak tangki air tawar berada di *double bottom*, maka air tawar tersebut dipompa dengan pompa air tawar menuju ke tangki *hydrophore*. Biasanya sebelum pompa terdapat saringan (*filter*) yang berfungsi untuk mencegah kotoran-kotoran masuk ke pompa dan instalasi pipa. Kemudian dari tangki *hydrophore* ini didistribusikan ke pemakaian seperti di geladak akomodasi, dan geladak lainnya, kamar mandi dan tempat cuci, washtapel, tergantung dari lokasi pemakaian.

Secara umum dapat dikatakan bahwa sistem layanan air tawar harus ada tangki, pompa dan hydrophore tank, dimana pompa tersebut dihidupkan dan dimatikan pada saat pengisian hydrophore secara otomatis, karena pendeteksian berkurangnya tekanan pada tangki. Adapun sistem air tawar ini terdiri sistem air minum, sistem air tawar, sistem pemanas air. Sistem ini menggunakan 2 buah pompa sentrifugall berpengerak elektromotor dimana satu pompa *stand-by*.

Kecepatan air dalam pipa hisap utama 0,75 sampai 1 m/s sedangkan untuk kecepatan air dalam pipa discharge utama antara 1 sampai 1,2 m/s. dan untuk pipa cabang kecepatan air dalam pipa antara 1 sampai 1,2 m/s. 4)



Gambar 2.1. Diagram Sanitari Air Tawar

(sumber: *Marine Auxiliary Machinery and system, M.Khetagurov, 2004*)

O

Pada gambar 2.1 adalah diagram sistem sanitari air tawar dengan menggunakan tangki dinas yang diletakkan di geladak paling atas. Sistem kerja dari diagram tersebut adalah : tangki persediaan (1) diperlengkapi dengan pipa duga (4) dan pipa ventilasi (3), dan diisi melalui pipa pengisian (2) yang menembus geladak. Melalui lubang pemasukan (8), pompa tangan (5) atau

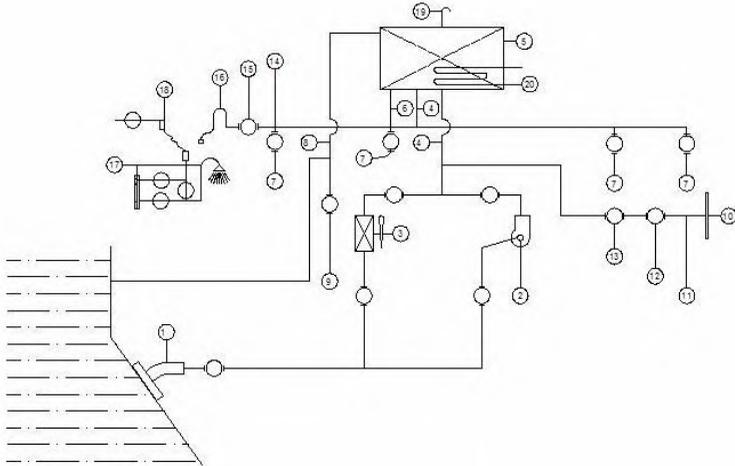
pompa sentrifugal (6), air tawar dialirkan ke tangki dinas (7) dilengkapi dengan pipa udara (12) dan heating coil (11). Selanjutnya dari tangki dinas (7) air dialirkan melalui pipa utama (9) ke tempat-tempat penggunaan (10), tangki dinas (7) mempunyai pipa limbah (13) dengan sebuah test valve (14) untuk mengembalikan limpahan air kembali ke tangki persediaan (7). Hubungan dengan pipa limbah ada cabang pipa dengan test valve (14) yang menuju ke ruangan dimana pompa-pompa dipasang. Sistem ini dapat diisi di pelabuhan melalui selang (*hose*) (15).

II.2.2 Sistem Sanitari Air Laut

Untuk sistem layanan air laut, air laut dihisap langsung dari seachest dengan menggunakan pompa sentrifugal dan dialirkan melalui bentangan jaringan pipa menuju ke tangki harian (*service tank*) dan dari sinilah air mengalir secara gravitasi ke pemakai pada setiap geladak. Service tank ini dilengkapi dengan pipa limbah (*overflow pipe*) yang berfungsi sebagai saluran pembuangan. Saluran pembuangan ini dilengkapi dengan katup untuk mengontrol permukaan air pada tangki.

Selain sistem gravitasi, layanan air laut juga dapat disuplai dengan sistem *hydrophore*. Dimana air dimasukkan dengan pompa yang digerakkan dengan elektromotor melalui katup dan katup katup aliran searah (*non-return valve*) ke tangki *hydrophore*. Pada saat permukaan air bertambah di dalam tangki, tekanan udara di dalamnya juga naik dan membentuk bantalan udara, pada suatu tekanan tertentu *pressure relay* akan memutuskan hubungan melalui *switches off* pada elektro motor, sehingga menghentikan suplai air ke dalam tangki. Tekanan udara pada tangki yang menyebabkan air disalurkan melalui jaringan pipa ke pemakaian. Bila air digunakan maka tekanan didalam tangki menjadi turun, apabila tekanan sirkulasi pemanas air menggunakan 2 buah pompa jenis sentrifugal dengan penggerak elektromotor, dimana 1 buah *stand-by* tetapi didesain jalur by-pass agar dapat bersirkulasi secara alami. Kapasitas untuk

mensuplai layanan akomodasi dan air sealing purifier adalah 5 - 30 m³/h dengan tinggi total (*head*) 35 - 40 mHg.⁵⁾

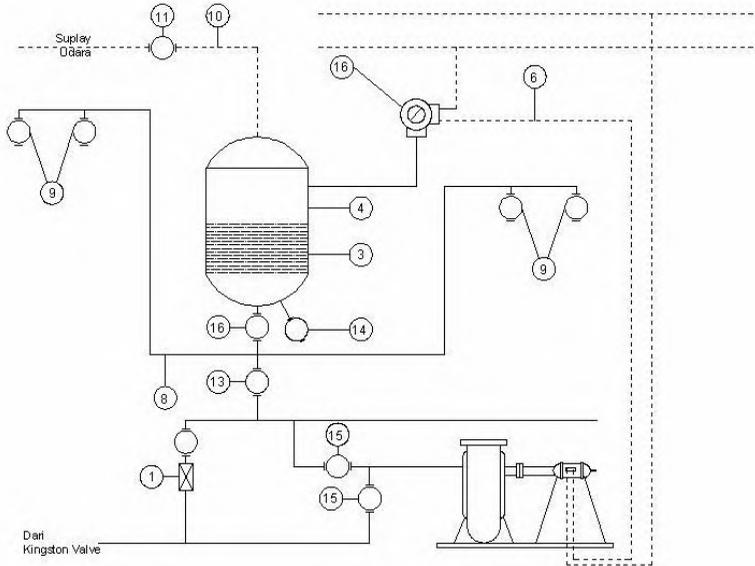


Gambar 2.2. Diagram Sanitari Air Laut

(sumber: *Marine Auxiliary Machinery and system, M.Khetagurov, 2004*)

Gambar 2.2. menunjukkan diagram dasar dari sistem air laut. Air laut diisap melalui katup kingston (1) selanjutnya oleh pompa sentrifugal (2) atau pompa tangan (3) dialirkan melalui pipa (4) menuju tangki dinas harian (5) dan dari tangki dinas harian mengalir secara gravitasi melalui pipa-pipa pembagi (6) dan menuju ke tempat – tempat penggunaan (7). Tangki dinas harian (5) dihubungkan dengan udara dengan pipa udara (19), tangki dinas mempunyai limbah (8) yang berguna untuk mengeluarkan air kelebihan keluar kapal.

Pipa limbah dan *test valve* (9) memungkinkan untuk mengontrol/mengecek permukaan air di dalam tangki. Melalui *service connection* (14), hose (16) dan stop value (15), pancuran (17), kalau perlu seluruh pipa air cuci (18) dapat dihubungkan dengan pipa air laut.



Gambar 2.3. Diagram Sanitari Air Laut dengan *Hydrophore*
(sumber: *Marine Auxiliary Machinery and system, M.Khetagurov, 2004*)

Gambar 2.3. adalah sistem sanitari air laut dengan menggunakan hydrophore. Air di masukan dengan pompa tangan (1) atau pompa centrifugal (2) yang digerakkan oleh motor (7) melalui katup (12) dan non return valve (13) masuk ke dalam tangki pneumatic (3).

Pada saat permukaan air di dalam tangki naik, tekanan udara di dalamnya juga naik, dan sebuah bantalan udara terbentuk. Pada suatu tekanan tertentu yang diberikan oleh bantalan udara, *pressure relay* (5) akan mematikan mesin listrik (7) sehingga menghentikan pemasukan air. Kemudian oleh aksi dari tekanan di dalam bantalan udara, air dialirkan melalui pipa (8) ke tempat-tempat penggunaannya (9). Bilamana air dipergunakan, tekanan di dalam tangki turun, dan bilamana tekanan mencapai suatu harga tertentu, *pressure relay* (5)

menjalankan motor listrik (7) lagi, melalui aliran listrik (6) dan pompa (2) mulai memasukan air lagi ke dalam tangki pneumatik.

Pompa sentrifugal dapat dipisahkan dari sistem ini dengan ketentuan disconnecting valve (katup-katup yang dapat memisahkan bagian-bagian) (15). Tangki dilengkapi dengan *disconnecting valve* (16) dan katup pengeringan (14), dan diganti dengan udara melalui pipa (10) dan katup penutup (*stop valve*) (11).

Data-data permulaan dalam perencanaan “*Pneumatic water supply sistem*” adalah pemakaian air sanitari per jam, dan beberapa kali maksimum pompa dinyalakan per jam (ns). Yang disebut terakhir ini biasanya diambil = 6 (ns = 6).

II.2.3 SEWAGE TREATMENT

Pembuangan limbah yang tidak ditreatment di perairan teritorial pada umumnya tidak diperbolehkan oleh peraturan perundang-undangan. Peraturan Internasional berlaku untuk pembuangan limbah dalam jarak yang ditetapkan dari daratan. Sebagai hasilnya semua kapal harus mempunyai sistem pembuangan limbah sesuai dengan standar yang ditentukan.

Secara alami limbah menyerap oksigen dan bila dalam jumlah yang besar dapat mengurangi oksigen. Kandungan limbah yang dibuang secara langsung dapat menyebabkan ikan dan tumbuhan dilaut mati. Selain itu limbah juga mengandung bakteri yang menghasilkan gas sulfide hydrogen yang berbau busuk. Bakteri yang berasal dari ekskresi manusia atau disebut juga dengan E.Coli dihitung dari suatu pengukuran sample air untuk menandai berapa jumlah bakteri yang terkandung dalam limbah.

Ada dua jenis system untuk penanganan limbah,yaitu:

1. Metode kimia (*Chemical Method*) adalah metode yang pada dasarnya menggunakan suatu tangki untuk menampung limbah padat dan akan dibuang pada area yang diijinkan pada tempat penampungan limbah di pantai.

2. Pada *Chemical Sewage Treatment* ini, kerjanya adalah dengan meminimalkan limbah yang dikumpulkan dan mengendapkannya sampai dapat dibuang ke laut. Dengan cara mengurangi kandungan cairan sesuai dengan peraturan perundang – undangan.

Pembuangan limbah dari pencucian, *wash basin*, air mandi dapat langsung dibuang ke *overboard*. Cairan dari kakus dapat digunakan lagi sebagai air pembilas untuk kamar mandi. Cairan harus diolah sedemikian rupa dalam kaitannya dengan penampilan dan bau yang dapat diterima. Berbagai bahan kimia ditambahkan pada poin – poin berbeda untuk bau dan perubahan warna dan juga untuk membantu dalam penguraian dan sterilisasi.

Suatu *communitor* digunakan untuk memisahkan limbah dan membantu proses penguraian kimia. Material padat disimpan dalam settling tank dan disimpan sebelum dibuang ke sullage tank: cairan didaur ulang untuk digunakan sebagai pembilasan. Test harus dilakukan setiap hari untuk memeriksa dosis bahan kimia. Hal ini untuk mencegah bau yang menyengat dan juga untuk menghindari karatan.

Metode biologi (*Biological Method*), adalah perlakuan sedemikian rupa sehingga limbah dapat diperbolehkan untuk dibuang ke pantai.

Biochemichal Sewage Treatment ini kerjanya adalah dengan Menggunakan sistem penguraian dengan bakteri kedalam suatu unsur limbah sehingga bisa diterima untuk dibuang di perairan manapun. Proses pengisian angin dimana bakteri *oxygen – loving* mencerna limbah dan mengubah menjadi Lumpur.

Sistem ini menggunakan suatu tangki yang dibagi menjadi 3 ke departement: *aeration compartement* , *settling compartement*, dan *chlorine contact compartement*. Limbah masuk ke *aeration compartement* dan dicerna oleh bakteri *aerobic* dan *micro-organism*

yang dibantu oleh oksigen yang dipompa masuk. Kemudian limbah mengalir ke dalam *settling compartement*, dimana Lumpur yang diendapkan diaktifkan keluar.

Aliran cairan yang bersih pada *chlorinator* setelah digunakan untuk membunuh sisa bakteri dibuang. Tablet didalam *chlorinator* yang habis harus diganti. Sampah Lumpur di dalam settling tank secara terus menerus didaur ulang dan setiap dua/tiga bulan secara parsial dipindahkan. Ekskresi ini harus dibuang hanya di suatu area *decontrolled*.

Pengembangan untuk melakukan treatment pada sewage (limbah kapal) dilakukan atas sertifikasi dari IMCO *Conference on Marine Pollution* tahun 1973 Annex IV. Penentuan jumlah yang pasti mengenai *sewage* dan sisa air kotor (*waste*) pada sebuah kapal sangat sulit diprediksi. Para desainer di Eropa memberi nilai sebesar 70 liter/orang /hari untuk kebutuhan toilet termasuk air bilas dan sekitar 130 – 150 liter /orang /hari untuk air cuci termasuk mandi. Sedangkan badan yang ada di US memberikan rekomendasi bahwa aliran untuk *discharge* toilet sebesar 114 liter/ orang/ hari dengan dua kalinya jumlah ini untuk air cuci. Beberapa desain direncanakan supaya memadahi ditempatkan dikapal untuk sumur *discharge* jauh dari lantai, atau untuk menerima fasilitas dari pelabuhan. Selain itu desain ditujukan juga untuk menghasilkan perencanaan yang memadahi sehingga dapat diterima oleh petugas pelabuhan saat pembuangan.

Untuk tipe *former* didesain berisi *holding tanks* yang menerima semua ekskresi baik cair maupun padat termasuk air bilasnya, air cuci tangan, shower, dan untuk mandi semua diijinkan dibuang langsung melalui *overboard*. Selain itu desain juga memperhatikan bagaimana meminimkan jumlah cairan supaya memungkinkan dapat didaur ulang untuk pembilasan lagi. Ini dapat dipastikan bahwa sistem hanya menerima kira – kira 1% dari kapasitas muat sistem konvensional. Untuk membuang

sewage diperairan teritorial kualitas yang memadai harus berada dalam standart tertentu seperti yang ditentukan oleh badan yang berwenang . Ini biasanya didasarkan pada satu atau lebih dari 3 faktor yaitu :

1. *Biological oxygen demand* (BOD) yang merupakan ukuran total jumlah oksigen yang akan diambil oleh bahan kimia atau organik yang memadai. Hal ini yang penting terdapat dalam dua unsur, pertama, jika perairan memadai untuk membuang *sewage* dilebihkan dengan material yang menyerap oksigen, kandungan oksigen akan dikurangi sampai tingkat dimana ikan dan materi lainnya hidupnya tidak dapat didukung, yang kedua kelas bakteri yang dapat hidup tanpa oksigen akan medominasi didalam *sewage* atau didalam perairan dimana cairan ini dibuang. Bakteri yang berkumpul dalam kondisi ini akan menghasilkan hydrogen sulphide dengan karakteristik bau yang tajam. BOD biasanya dikelompokkan dengan periode tertentu dan umumnya diambil lima hari. Nilai ini ditulis dengan BOD5 yang ditentukan oleh 1 liter *sewage* yang diambil pada suhu 200 C yang dilemahkan didalam sumur oxigenated water yang memadai. Jumlah oksigen yang diserap melebihi periode lima hari lalu diukur.
2. *Suspended solid*, adalah kelebihan periode waktu yang dapat memberikan peningkatan pada masalah slip biasanya ditandai dari kesalahan fungsi dari pengontrol *sewage* dan jika terlalu tinggi akan diatasi dengan BOD yang tinggi. *Suspended solid* diukur dengan menyaring contoh (*sample*) melalui *pre-weighed asbestos pad* yang selanjutnya dikeringkan dan dievaluasi ulang.
3. *E - coliform* adalah keluarga bakteri yang hidup dalam tubuh manusia. Mereka dapat dibiakkan lebih mudah dalam tes laboratoriom hasilnya diindikasikan dari jumlah ekskresi didalam *sample* yang diambil dari *sewage*. Hasil tes ini disebut *E- coli*, nilainya diekspresikan per 100 ml.

II.2.4 RULE dan REKOMENDASI YANG DIGUNAKAN

Adapun peraturan kelas yang penting sebagaimana diatur dalam Volume III BKI 1996 dalam merencanakan sistem sanitari di kapal adalah sebagai berikut:

- ❖ Pipa-pipa pembuangan dari pompa-pompa pembuang air kotor harus dilengkapi dengan storm valve dan pada sisi lambung dengan gate valve. Katup tak balik harus diatur pada bagian hisap atau bagian tekan dari pompa air ekskresi yang bekerja sebagai alat pelindung aliran kembali kedua.
- ❖ Pipa-pipa pengering saniter yang terletak di bawah geladak sekat pada kapal-kapal penumpang, harus dihubungkan dengan tangki pengumpul ekskresi. Umumnya tangki semacam itu akan dilengkapi untuk tiap-tiap kompartemen kedap air.
- ❖ Jika pipa-pipa pengering dari beberapa kompartemen kedap air dihubungkan pada satu tangki, pemisahan kompartemen-kompartemen ini harus terjamin dengan gate valve (*remote controlled gate valve*) jarak jauh pada sekat kedap air. Katup tersebut harus dapat dilayani dari atas geladak sekat dan dilengkapi indikator dengan tanda terbuka atau tertutup.
- ❖ Bahan-bahan pipa umumnya harus tahan terhadap korosi baik pada bagian dalam maupun pada bagian luar.

Ketentuan mengenai *sewage treatment* yang diatur berdasar ratifikasi *IMCO Conference on Marine Pollution (MARPOL) ANNEX IV*, dan juga sebagaimana diatur *U.S. Coast Guard* dalam *Marine Sanitation Devices (MSD)* dengan pokok-pokok aturan sebagai berikut[1]:

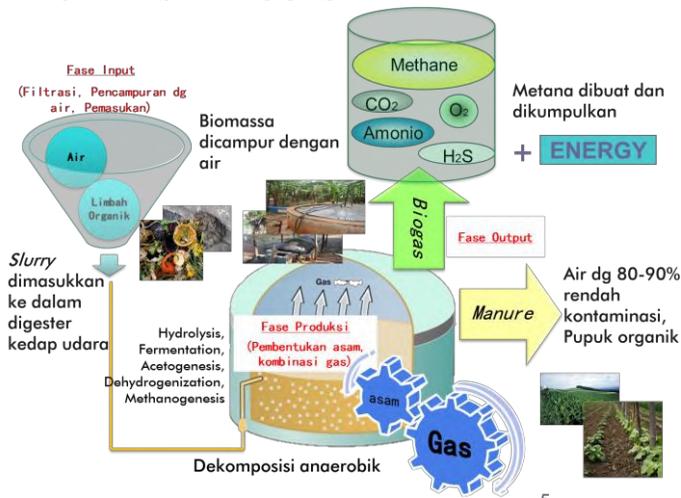
1. Tipe I Aliran Saniter yang melalui peralatan dimana kandungan yang berpengaruh tidak terlihat mengapungkan bagian yang padat dan menghasilkan jumlah e-coli kurang dari 1000/100 mililiter.
2. Tipe II Aliran Sanitari yang melalui peralatan dimana kandungan yang berpengaruh mengikat zat yang padat tidak lebih dari 150 mg/liter dan memiliki jumlah e-coli tidak kurang dari 200/100 mililiter.

3. Tipe III tanpa peralatan pengolah sewage seperti holding tank atau recirculation device.

Berdasar Marpol Annex IV regulation 8:

1. Pembuangan ekskresi (*sewage*) yang diolah dengan sistem tertentu dan disetujui oleh badan berwenang diijinkan dengan jarak 4 mil laut dari daratan terdekat. Dan apabila tanpa pengolahan (*treatment*) pada jarak 12 mil laut. Untuk ekskresi yang disimpan dalam holding tank tidak boleh dibuang langsung kecuali laju kapal dalam kecepatan moderat 4 knots dan melalui persetujuan klasifikasi.
2. *Sewage plant* yang disetujui oleh badan berwenang dengan mengikuti seperti dibawah:
 - Hasil test menunjukkan nilai lebih kecil dari yang ditentukan *International Sewage Pollution Prevention Certificate* 1973.
 - Hasilnya tidak menunjukan ekskresi padat yang terapung,berwarna, dan mencemari air sekitar.

II.3 TEORI DASAR BIOGAS

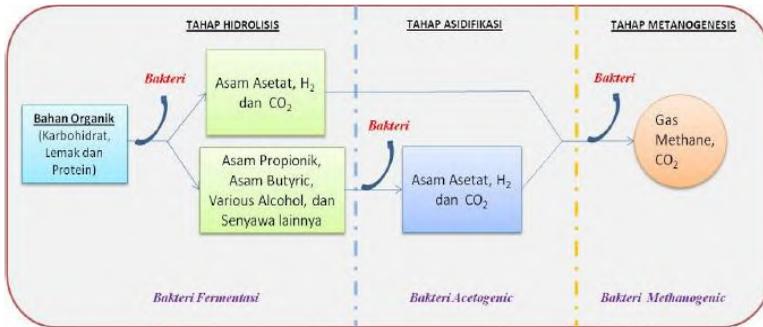


Gambar 2.4. Proses Dasar Produksi Biogas

Biogas merupakan sebuah gas yang berasal dari makhluk hidup hasil proses produksi material organik dengan bantuan bakteri. Proses degradasi material organik ini tanpa melibatkan oksigen yang ada di udara bebas disebut *anaerobic digestion*. Gas yang dihasilkan dari proses tersebut sebagian besar (lebih dari 50%) berupa metana. Material organik yang terkumpul pada digester tersebut akan terurai menjadi dua tahapan dengan bantuan dua jenis bakteri. Tahapan pertama yaitu saat material organik pada proses ini akan dirubah menjadi asam-asam lemah dengan bantuan bakteri pembentuk asam. Bakteri ini akan menguraikan sampah pada tingkat hidrolisis asidifikasi.

Tahapan untuk terbentuknya biogas dari proses fermentasi anaerob dapat dipisahkan menjadi tiga yaitu tahap hidrolisis, tahap pengasaman dan tahap pembentukan gas metana. Pada tahap hidrolisis, bahan-bahan biomassa yang mengandung selulosa, hemiselulosa dan bahan ekstraktif seperti protein, karbohidrat dan lipida akan diurai menjadi senyawa dengan rantai yang lebih pendek. Sebagai contoh polisakarida terurai menjadi monosakarida sedangkan protein terurai menjadi peptida dan asam amino (Khasristya, 2004). Pada tahap hidrolisis, mikroorganisme yang berperan adalah enzim ekstraseluler seperti selulosa, amilase, protease dan lipase (Khasristya, 2004). Pada tahap pengasaman, bakteri akan menghasilkan asam yang akan berfungsi untuk mengubah senyawa pendek hasil hidrolisis menjadi asam asetat, H₂ dan CO₂. bakteri ini merupakan bakteri anaerob yang dapat tumbuh pada keadaan asam. Untuk menghasilkan asam asetat, bakteri tersebut memerlukan oksigen dan karbon yang diperoleh dari oksigen yang terlarut dalam larutan. Selain itu, bakteri tersebut juga mengubah senyawa yang bermolekul rendah menjadi alkohol, asam organik, asam amino, CO₂, H₂S dan sedikit gas CH₄ (Khasristya, 2004). Pada tahap pembentukan gas CH₄, bakteri yang berperan adalah bakteri metanogenesis. Bakteri ini akan membentuk gas CH₄ dan CO₂ dari gas H₂, CO₂ dan asam asetat yang dihasilkan pada tahap

pengasaman (Khasristya, 2004).⁶⁾ Ketiga proses dalam reaktor biogas dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.5. Tiga Tahapan Proses Di dalam Reaktor Biogas
(sumber:sufyandi, 2001)

Biogas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobic sangat populer digunakan untuk mengolah limbah yang berasal darimakhhluk hidup, karena bahan bakar juga dapat dihasilkan dari ekskresi makhluk hidup dengan cara menghancurkan bakteri pathogen dan sekaligus mengurangi volume limbah buangan. Metana dalam biogas, bila terbakar akan relatif lebih bersih daripada batu bara, dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbon dioksida yang lebih sedikit. Pemanfaatan biogas sangat membantu dalam manajemen limbah karena metana merupakan gas rumah kaca yang lebih berbahaya dalam pemanasan global bila dibandingkan dengan karbon dioksida. Karbon dalm biogas merupakan karbon yang diambil dari atmosfer oleh fotosintesis tanaman, sehingga bila dilepaskan lagi ke atmosfer tidak akan menambah jumlah karbon di atmosfer bila dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar fosil.

Tabel 2.1. Komposisi Gas Biogas

Komponen	%
Metana (CH ₄)	55-75
karbon dioksida (CO ₂)	25-45
hidrogen (H ₂)	1-5
hidrogen sulfida (H ₂ S)	0-3
Oksigen (O ₂)	0.1-0.5
nitrogen (N ₂)	0-0.3

(sumber: wikipedia.org)

Berasarkan table komposisi biogas di atas, sebagian besar mengandung gas metana (CH₄), dan karbon dioksida (CO₂), dan beberapa kandungan yang jumlahnya kecil seperti; hydrogen sulfide (H₂S), Ammonia (NH₃), hydrogen (H₂), dan nitrogen (N₂) yang kandungannya sangat kecil. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH₄). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, begitupun sebaliknya semakin kecil kandungan metana semakin kecil nilai kalor. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa perlakuan-perlakuan tambahan, antara lain; menghilangkan kandungan hidrogen sulfida, kandungan air dan karbon dioksida.

Hidrogen sulfida merupakan zat yang mengandung racun dan menyebabkan korosi, bila biogas mengandung senyawa ini maka akan menyebabkan biogas menjadi zat yang berbahaya sehingga melewati batas konsentrasi yang diijinkan yaitu maksimal 5 ppm (*part per million*). Bila gas dibakar maka hidrogen sulfida akan lebih berbahaya karena akan membentuk senyawa baru bersama oksigen yang lebih beracun, yaitu sulfur dioksida/sulfur trioksida (SO₂/SO₃). Perlakuan yang kedua adalah dengan menghilangkan kandungan karbon dioksida yang memiliki tujuan untuk meningkatkan kualitas, sehingga gas dapat digunakan untuk bahan bakar kendaraan. Kandungan air yang terkandung dalam biogas akan menurunkan titik penyalan biogas serta dapat menimbulkan korosif.

Komposisi biogas sangat bervariasi tergantung pada asal proses anaerobic yang terjadi. Gas landfill dapat memiliki konsentrasi metana sekitar 50%, sedangkan sistem pengolahan limbah yang maju dapat menghasilkan biogas dengan 55-75% CH₄. Adapun karakteristik lain dari biogas dapat dilihat pada tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2. Karakteristik Biogas

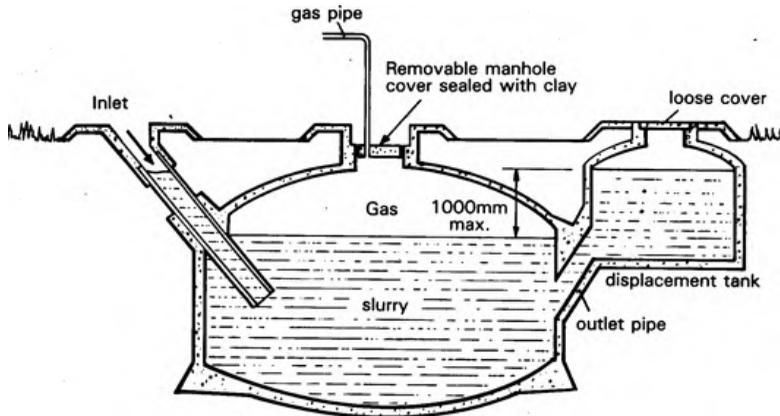
Feature	Value
Energy content	6.0 – 6.5 kWh m ⁻³
Fuel Equivalent	0.6 – 0.65 L oil/m ³ biogas
Explosion Limits	6 – 12% biogas in air
Ignition Temperature	650 – 750°C
Critical Pressure	75 – 89 bar
Critical Temperatur	-82.5°C
Nominal Density	1.2 kg/m ³
Smell	Bad Eggs
Molar Mass	16.043 kg/kmol

(sumber: [daftar pustaka-BOK 2.]

II.3.1 Reaktor Biogas (Digester)

Ada beberapa jenis reaktor biogas yang dikembangkan diantaranya adalah reaktor jenis kubah tetap (*Fixed-dome*), reaktor terapung (*Floating drum*), reaktor jenis balon, jenis horizontal, jenis lubang tanah, jenis *ferrocement*. Dari keenam jenis digester biogas yang sering digunakan adalah jenis kubah tetap (*Fixed-dome*) dan jenis Drum mengambang (*Floating drum*). Beberapa tahun terakhir ini dikembangkan jenis reaktor balon yang banyak digunakan sebagai reaktor sedehana dalam skala kecil. (Shodikin, 2011)

Reaktor Kubah Tetap (*Fix Dome*)



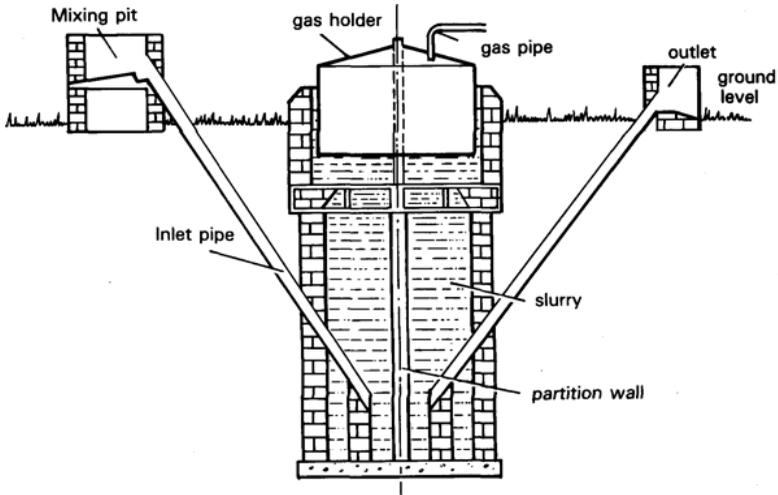
Gambar 2.6. *China Fixed Dome Biogas Digester*
(sumber: www.fao.org)

Reaktor ini disebut juga reaktor china. Dinamakan demikian karena reaktor ini dibuat pertama kali di China sekitar tahun 1930 an, kemudian sejak saat itu reaktor ini berkembang dengan berbagai model. Pada reaktor ini memiliki dua bagian yaitu digester sebagai tempat pencernaan material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam ataupun bakteri pembentu gas metana. bagian ini dapat dibuat dengan kedalaman tertentu menggunakan batu, batu bata atau beton. Strukturnya harus kuat kaerna menahan gas agar tidak terjadi kebocoran. Bagian yang kedua adalah kubah tetap (*fixed-dome*). Dinamakan kubah tetap karena bentuknya menyerupai kubah dan bagian ini merupakan pengumpul gas yang tidak bergerak (*fixed*). Gas yang dihasilkan dari material organik pada digester akan mengalir dan disimpan di bagian kubah.

Keuntungan dari reaktor ini adalah biaya konstruksi lebih murah daripada menggunakan reaktor terapung, karena tidak memiliki bagian yang bergerak menggunakan besi yang tentunya harganya relatif lebih mahal dan perawatannya lebih mudah.

Sedangkan kerugian dari reaktor ini adalah seringnya terjadi kehilangan gas pada bagian kubah karena konstruksi tetapnya.

Reaktor *Floating Gas Holder*



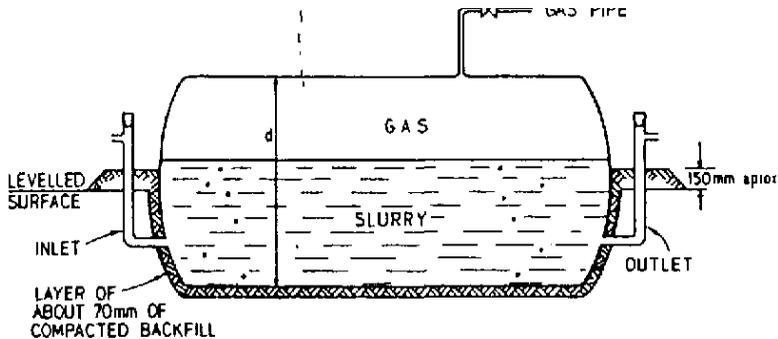
Gambar 2.7. *Biogas Digester with floating Gas Holder and No Water Seal*
(sumber: www.fao.org)

Reaktor jenis terampung pertama kali dikembangkan di India pada tahun 1937 sehingga dinamakan dengan reaktor India. Memiliki bagian digester yang sama dengan reaktor kubah, perbedaannya terletak pada bagian penampung gas menggunakan peralatan bergerak menggunakan drum. Drum ini dapat bergerak naik turun yang berfungsi untuk menyimpan gas hasil fermentasi dalam digester. Pergerakan drum mengapung pada cairan dan tergantung dari jumlah gas yang dihasilkan.

Keuntungan dari reaktor ini adalah dapat melihat secara langsung volume gas yang tersimpan pada drum karena pergerakannya. Karena tempat penyimpanan yang terampung sehingga tekanan gas konstan. Sedangkan kerugiannya adalah

biaya material konstruksi dari drum lebih mahal. faktor korosi pada drum juga menjadi masalah sehingga bagian pengumpul gas pada reaktor ini memiliki umur yang lebih pendek dibandingkan menggunakan tipe kubah tetap.

Reaktor Balon



Gambar 2.8. *Bag Biogas Digester*
(sumber: www.fao.org)

Reaktor balon merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. reaktor ini terdiri dari satu bagian yang berfungsi sebagai digester dan penyimpanan gas masing masing bercampur dalam satu ruangan tanpa sekat. Material organik terletak dibagian bawah karena memiliki berat yang lebih besar dibandingkan gas yang akan mengisi pada rongga atas.

II.3.2 Parameter Optimasi untuk Digester

Perlu diketahui bahwa laju pembentukan gas CH_4 dalam reaktor biogas sangat dipengaruhi oleh temperatur. Temperatur ini akan berhubungan dengan kemampuan bakteri yang ada dalam reaktor. Banyak faktor yang mempengaruhi keberhasilan produksi biogas. Faktor pendukung untuk mempercepat proses fermentasi

adalah kondisi lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan bakteri perombak. Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap produksi biogas sebagai berikut (Simamora dkk, 2006) :

- **Kondisi anaerob atau kedap udara**

Biogas dihasilkan dari proses fermentasi bahan organik oleh mikroorganisme anaerob. Karena itu, instalasi pengolahan biogas harus kedap udara (anaerob).

- **Bahan baku isian**

Bahan baku isian berupa bahan organik seperti ekskresi ternak, limbah pertanian, sisa dapur dan sampah organik. Bahan baku isian ini harus terhindar dari bahan baku anorganik seperti pasir, batu, plastik dan beling. Bahan isian ini harus mengandung berat kering sekitar 7-9 %. Keadaan ini dapat dicapai dengan melakukan pengenceran menggunakan air 1:1-2 (bahan baku: air).

- **Rasio C/N**

Karbon dan Nitrogen adalah sumber makanan utama bagi bakteri *anaerob*, sehingga pertumbuhan optimum bakteri sangat dipengaruhi unsur ini, dimana Karbon dibutuhkan untuk mensuplai energi dan Nitrogen dibutuhkan untuk membentuk struktur sel bakteri. Nitrogen amonia pada konsentrasi yang tinggi dapat menghambat proses fermentasi *anaerob*. Konsentrasi yang baik berkisar 200 – 1500 mg/lit dan bila melebihi 3000 mg/lit akan bersifat *toxic*. Proses fermentasi *anaerob* akan berlangsung optimum bila rasio C:N bernilai 30:1, dimana jumlah karbon 30 kali dari jumlah nitrogen.

Tabel 2.3. Rasio C/N Beberapa Material Organik yang Umum Digunakan

Raw Material	C/N
Ekskresi Manusia (<i>Human excreta</i>)	8
Ekskresi Kambing (<i>Goat dung</i>)	12
<i>Sheep dung</i>	19
<i>Water hyacinth</i>	25
<i>Straw (maize)</i>	60
<i>Straw (wheat)</i>	90
<i>Duck dung</i>	8
<i>Chicken dung</i>	10
<i>Pig dung</i>	18
<i>Cow dung/ Buffalo dung</i>	24
<i>Elephant dung</i>	43
<i>Straw (rice)</i>	70
<i>Saw dust</i>	diatas 200

(sumber: [daftar pustaka-SIS 2.]

Ekskresi hewan terutama sapi, memiliki nilai C/N rata-rata berkisar 24. Material dari tumbuhan seperti serbuk gergaji dan jerami mengandung persentase C/N yang lebih tinggi, sedangkan ekskresi manusia memiliki nilai rasio C/N 8.

Limbah organik yang bernilai C/N tinggi dapat dicampur dengan yang lebih rendah sehingga diperoleh nilai rasio C/N yang ideal, seperti pencampuran limbah jerami (straw) kedalam limbah toilet (latrine waste) untuk mencapai kadar C/N yang ideal atau mencampurkan ekskresi gajah dengan ekskresi manusia sehingga mendapat jumlah rasio C/N yang seimbang dan produksi biogas dapat berjalan optimum.

- **Lama Proses Pencernaan**

Lama proses (*Hydraulic Retention Time-HRT*) adalah jumlah hari proses pencernaan/digesting pada tangki anaerob terhitung mulai pemasukan bahan organik sampai proses

awal pembentukan biogas dalam *digester anaerob*. HRT meliputi 70-80% dari total waktu pembentukan biogas secara keseluruhan. Lamanya waktu HRT sangat tergantung dari jenis bahan organik dan perlakuan terhadap bahan organik (*feedstock substrate*) sebelum dilakukan proses pencernaan/*digesting* diproses.

- **Temperatur**

Temperatur sangat menentukan lamanya proses pencernaan di *digester*. Bila temperatur meningkat, umumnya produksi biogas juga meningkat sesuai dengan batas-batas kemampuan bakteri mencerna sampah organik. Bakteri yang umum dikenal dalam proses fermentasi *anerob* seperti bakteri *Psychrophilic* (< 15 °C), bakteri *Mesophilic* (15 °C - 45 °C), Bakteri *Thermophilic* (45 °C-65 °C) Umumnya *digester anaerob* skala kecil, yang sering terdapat disekitar kita umumnya bekerja pada suhu bakteri *Mesophilic* dengan suhu antara 25 °C - 37 °C.

- **Derajat keasaman (pH)**

Derajat keasaman sangat berpengaruh terhadap kehidupan mikroorganisme. Derajat keasaman yang optimum bagi kehidupan mikroorganisme adalah 6,8- 7,8. Pada tahap awal fermentasi bahan organik akan terbentuk asam (asam organik) yang akan menurunkan pH. Mencegah terjadinya penurunan pH dapat dilakukan dengan menambahkan larutan kapur (Ca(OH)₂) atau kapur (CaCO₃). Jika nilai pH turun di bawah 6,2, medianya akan memiliki efek toksik pada bakteri metanogen.

- **Ketersediaan Nutrisi**

Untuk tumbuh, bakteri membutuhkan lebih dari sekedar pasokan zat organik sebagai sumber karbon dan energi. Mereka juga memerlukan nutrisi mineral tertentu. substrat seperti mineral-mineral yang mengandung Nitrogen,

Fosfor, Magnesium, Sodium, Mangan, Kalsium, Kobaltresidu. Pertanian atau limbah kota biasanya mengandung jumlah yang cukup dari unsur-unsur tersebut. Ada juga nutrisi/starter buatan yang dijual secara komersial.

Nutrisi ini dapat bersifat *toxic* (racun) apabila konsentrasi di dalam bahan terlalu banyak. Di bawah ini tabel konsentrasi kandungan kimia mineral-mineral yang diijinkan terdapat dalam proses pencernaan/digestion limbah organik, yakni:

Tabel 2.4. Konsentrasi Kandungan Kimia Mineral yang Digunakan

Metal	mg/l
Sulphate (SO ₄ ⁻)	5000
Sodium chloride	40000
Copper	100
Chromium	200
Nickel	200-500o
Cyanide Below	25ooo
Alkyl Benzene Sulfonate (ABS)	40 ppm
Ammonia	3000
Sodium	5500
Potassium	4500
Calcium	4500
Magnesium	1500

(sumber:)

Selain karena konsentrasi mineral-mineral melebihi ambang batas di atas, polutan-polutan yang juga menyebabkan produksi biogas menjadi terhambat atau berhenti sama sekali adalah ammonia, antibiotik, pestisida, detergen, and logamlogam berat seperti *chromium*, *nickel*, dan *zinc*.

- **Pengadukan**

Pengadukan digunakan untuk menjaga stabilitas proses dalam digester dengan tujuan:

- penghapusan metabolit yang dihasilkan oleh metanogen (gas)
 - pencampuran substrat segar dan populasi bakteri (inokulasi)
 - menghalangi pembentukan sampah dan sedimentasi.
 - Menghindari kenaikan suhu yang drastis di dalam digester.
 - Pemberian kepadatan populasi bakteri yang seragam.
 - Mencegah pembentukan ruang mati yang akan mengurangi keefektifan volume digester.
- **Faktor Penghambat**
Adanya logam berat, antibiotik (Bacitracin, Flavomycin, Lasalocid, Monensin, Spiramycin, dll) dan deterjen yang digunakan dalam peternakan ternak dapat memiliki efek penghambatan pada proses bio-Methanasi.
- **Konsentrasi H₂S (penjernihan)**
H₂S dapat bergabung dengan air untuk membentuk Asam Sulfat dan karenanya dapat merusak mesin. Selanjutnya, konsentrasi tinggi H₂S dapat meracuni aktivitas sel sehingga mengurangi proses pembentukan metan. Oleh karena itu konsentrasi rendah (<500 ppm) yang diinginkan gas.
- **Total Solid Content (TS)**
Pengertian *total solid content* (TS) adalah jumlah materi padatan yang terdapat dalam limbah pada bahan organik selama proses digester terjadi dan ini mengindikasikan laju penghancuran/pembusukan material padatan limbah organik. TS juga mengindikasikan banyaknya padatan dalam bahan organik dan nilai TS sangat mempengaruhi lamanya proses pencernaan/digester (HRT) bahan organik.

- **Volatile Solids (VS)**

Merupakan bagian padatan (*total solid-TS*) yang berubah menjadi fase gas pada tahapan asidifikasi dan metanogenesis sebagaimana dalam proses fermentasi limbah organik. Dalam pengujian skala laboratorium, berat saat bagian padatan bahan organik yang hilang terbakar (menguap dan mengalami proses gasifikasi) dengan pembakaran pada suhu 538 °C, disebut sebagai *volatile solid*. Atau Potensi produksi biogas atau disebut juga persentase volatile solid untuk beberapa bahan organik yang berbeda seperti diperlihatkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.5. Potensi Produksi Gas untuk Beberapa Tipe Bahan Organik.

Tipe Limbah Organik	Produksi Biogas per kg waste (m3) (%VS)
Sapi	0.023 – 0.040
Babi	0.040 – 0.059
Ayam	0.065 – 0.116
Manusia	0.02 – 0.028
Sampah sisa panen	0.037
Air Bakau	0.045

(sumber: DIS2)

- **Pengaturan Tekanan**

Semakin tinggi tekanan di dalam digester, semakin rendah produksi biogas di dalam digester terutama pada proses hidrolisis dan acydfikasi. Selalu pertahankan tekanan diantara 1,15-1,2 bar di dalam digester.

II.3.3 Menghilangkan CO₂

Berbagai proses yang digunakan untuk menghilangkan CO₂ dari gas alam di industri petrokimia. Beberapa mekanisme dasar yang dilibatkan untuk mencapai proses pemisahan yang selektif dari unsur gas. Ini bisa mencakup fisik atau penyerapan kimia, penyerapan permukaan padat, pemisahan membran, pemisahan *cryogenic* dan konversi kimia.

Absorpsi Fisik

Untuk *scrubbing* biogas dengan metode penyerapan fisik/kimia secara umum digunakan. *Scrubbing* biogas sendiri bisa diartikan sebagai usaha memisahkan salah satu kandungan senyawanya. Metode ini juga lebih sederhana, membutuhkan infrastruktur yang lebih sedikit dan biaya yang lebih efektif. Salah satu cara termudah dan termurah melibatkan penggunaan air bertekanan sebagai absorber. Biogas mentah dikompresi dan dimasukkan ke dalam kolom *packed bed scrubber* dari bawah; air bertekanan disemprotkan dari atas. Dalam proses absorpsi, CO₂ serta H₂S larut dalam air, yang dikumpulkan di bagian bawah menara. Air bisa didaur ulang ke menara *scrubbing* yang pertama.⁷⁾ Ini mungkin adalah metode paling sederhana untuk *scrubbing* biogas.



Gambar 2.9. *Packed Bed Scrubber*
(sumber: dir.indiamart.com, www.enviroair.net)

Bhattacharya dkk.⁸⁾ mengembangkan sebuah sistem scrubbing air tersebut. Proses ini memberikan 100% metana murni tetapi tergantung pada faktor-faktor seperti dimensi menara scrubbing, tekanan gas, komposisi biogas baku, laju aliran air dan kemurnian air yang digunakan.

Vijay mengembangkan sistem *packed bed scrubber* menggunakan bahan lokal yang dapat menghapus 30% lebih

7) WEB 3

8) JOU 2

banyak volume CO₂ dibandingkan dengan sistem *scrubbing* tanpa *packed bed scrubber*.⁹⁾

Khapre merancang jenis *continuous counter-current scrubber* dengan laju alir gas sebesar 1,8 m³/jam pada tekanan 0,48 bar dan *flow rate* masuknya air 0,465 m³/jam. Secara kontinyu mengurangi volume CO₂ dari 30% pada inlet 2% di outlet.¹⁰⁾

Dubey mencoba tiga water scrubber yang memiliki diameter 150 mm (tinggi: 1,5 m), 100 mm (tinggi: 10 m) dan 75 mm (tinggi: 10 m) untuk menyerap CO₂ (37-41%) saat dalam biogas. Ia menemukan bahwa penyerapan CO₂ dipengaruhi oleh tingkat aliran gas dan air dari diameter yang berbeda dari *scrubber*.¹¹⁾

The G.B. Pant University of Agriculture and Technology, Pantnagar, India mengembangkan 6 m high *scrubbing tower*, *packed* hingga 2,5 m dengan bola plastik bulat berdiameter 25 mm. Biogas mentah dikompresi di tekanan 5.88 bar dialirkan pada *flow rate* 2 m³/jam sementara air bersirkulasi melalui menara. Maksimal 87,6% dari CO₂ yang saat ini dapat dihapus dari biogas mentah.¹²⁾

Metode *water scrubber* sangat populer untuk menghilangkan CO₂ di endapan limbah berbasis pembangkit biogas di Swedia, Perancis dan Amerika Serikat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 5-10% CO₂ tetap dalam biogas setelah *scrubbing*.¹³⁾

Absorpsi Kimia

Absorpsi kimia meliputi pembentukan ikatan kimia reversibel antara zat terlarut dan pelarut. Regenerasi pelarut, oleh karena itu, melibatkan rusaknya obligasi tersebut dan dengan demikian, energi yang masuk relatif tinggi. Pelarut kimia umumnya menggunakan larutan amina, yaitu mono-, di- atau tri-etanolamin atau larutan garam basa, yaitu natrium, kalium dan kalsium hidroksida.

9) JOU 3

12) JOU 6

10) JOU 4

13) BOK 4

11) JOU 5

Biswas dkk. melaporkan bahwa dengan menggelegak biogas melalui 10% larutan monoetanolamina (MEA), kandungan CO₂ dari biogas berkurang dari 40 ke 0,5-1,0% dari volume. Solusi MEA dapat sepenuhnya diregenerasi dengan mendidihkan selama 5 menit dan karena itu dapat digunakan lagi.¹⁴⁾

Savory dkk. menyarankan bahwa ketiga zat NaOH, KOH dan Ca(OH)₂ dapat digunakan dalam *scrubbing* kimia biogas. Penyerapan CO₂ dalam larutan alkali dibantu oleh agitasi. Turbulensi di alat bantu cair untuk penyebaran molekul dalam tubuh cairan dan memperpanjang waktu kontak antara cairan dan gas. Faktor lain yang mengatur tingkat penyerapan adalah konsentrasi larutan. Tingkat penyerapan paling cepat dengan NaOH di normalitas 2,5-3,0.¹⁵⁾

Absorpsi Pada Permukaan Padat

Proses adsorpsi melibatkan transfer zat terlarut dalam aliran gas ke permukaan bahan padat, di mana mereka berkonsentrasi terutama sebagai akibat dari fisik. Adsorben komersial umumnya granular padat dengan area permukaan besar per satuan volume. Dengan pilihan yang tepat dari adsorben, proses dapat menghapus CO₂, H₂S, kelembaban dan ekskresi lainnya baik secara selektif atau secara bersamaan dari biogas.

Pemurnian gas juga dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa bentuk silika, alumina, karbon aktif atau silikat, yang juga dikenal sebagai saringan molekul.¹⁶⁾

Adsorpsi umumnya dilakukan pada suhu tinggi dan tekanan. Hal ini baik dalam penghapusan kapasitas kelembaban, sederhana dalam desain dan mudah dioperasikan. Tapi itu adalah proses yang mahal dengan penurunan tekanan tinggi dan persyaratan panas tinggi.

Schomaker dkk. melaporkan bahwa CO₂ dapat dihapus dari biogas dengan tekanan ayunan adsorpsi yang terdiri dari setidaknya tiga *active carbon beds*. Salah satu bed dimasukkan dengan biogas di bawah tekanan (6 bar) CO₂ diserap.

ketika ada kejenuhan CO₂ di *bed* adsorpsi, proses ini bergeser ke tempat *bed* kedua. *Bed* saturasi tekanannya ke tekanan ambien. Efisiensi dari proses ini adalah hingga 98%.¹⁷⁾

Pemantauan terus menerus dari instalasi skala kecil (26 m³/h) di Swedia menggunakan teknik adsorpsi tekanan ayunan melalui saringan molekul karbon telah memberikan hasil yang sangat baik dalam hal gas bersih, efisiensi energi dan biaya.¹⁸⁾

Pandey dan Fabian menggunakan secara alami zeolit-Neopoliton Yellow Tuff (NYT) untuk adsorpsi. Mereka menemukan bahwa komponen aktif untuk adsorpsi CO₂ adalah chabazite, yang memiliki kapasitas adsorpsi dari 0,4 kg CO₂ per kg chabazite paada 1,50 bar dan 22 °C. Selama proses adsorpsi konten H₂S juga berkurang.¹⁹⁾

Pemisah Membran

Prinsipnya adalah bahwa beberapa komponen dari gas mentah dapat diangkut melalui membran tipis (dibawah 1 mm) sementara yang lain tetap dipertahankan. Pengangkutan setiap komponen dikendalikan oleh perbedaan tekanan parsial di atas membran dan sangat tergantung pada permeabilitas komponen dalam bahan membran. Untuk kemurnian metana tinggi, permeabilitas harus tinggi. Membran padat dibuat dari polimer asetat selulosa memiliki permeabilitas CO₂ dan H₂S hingga 20 dan 60 kali, masing-masing, lebih tinggi dari CH₄. Namun, tekanan dari 25 bar diperlukan untuk proses ini.²⁰⁾

Wellinger dan Lindberg menjelaskan dua sistem dasar *scrubbing* gas dengan membran: pemisahan gas bertekanan tinggi dengan fase gas di kedua sisi membran dan penyerapan cairan gas tekanan rendah pada pemisahan dimana cairan menyerap molekul yang menyebar melalui membran. Membran pemisah gas bertekanan tinggi dapat bertahan hingga 3 tahun yang sebanding dengan waktu pemakaian membran digunakan untuk pemurnian gas alam yang biasanya bertahan 2-5 tahun.²¹⁾

Rautenbach dkk. merancang pilot plant untuk menghilangkan CO₂ dari biogas menggunakan teknik pemisahan

membran. Dia melaporkan bahwa membran Monsanto dan selulosa asetat lebih banyak ditembus air untuk CO₂, O₂ dan H₂S dari CH₄. Pemisahan terbaik terjadi pada suhu 25 °C dan tekanan 5,50 bar.²²⁾

Fluks gas melintasi membran meningkatkan secara proposional dengan perbedaan tekanan parsial. Dengan demikian, lebih tinggi perbedaan tekanan, semakin kecil luas bidang membran yang diperlukan. Namun, tekanan maksimum yang membran dapat tahan harus dipertimbangkan.²³⁾

Pemisahan Cryogenic

Metode pemurnian cryogenic melibatkan pemisahan campuran gas dengan kondensasi fraksional dan distilasi pada suhu rendah. Proses ini memiliki keuntungan bahwa hal itu memungkinkan untuk pemulihan komponen murni dalam bentuk cairan, sehingga dapat diangkut dengan mudah. Namun, upaya untuk menerapkan proses cryogenic untuk menghilangkan CO₂ dari gas digester oleh Los Angelus County sanitasi belum terbukti berhasil. Sebaliknya aliran steam yang rumit dan efisiensi termal rendah. Kebutuhan biaya modal dan utilitas juga tinggi.²⁴⁾

Dalam metode cryogenic, biogas mentah dikompresi hingga sekitar 80 bar. Kompresi dibuat dalam beberapa tahap dengan antar-pendinginan. Gas yang terkompresi dikeringkan untuk menghindari pembekuan selama proses pendinginan. Biogas didinginkan dengan *chiller* dan *heat exchanger* diatas K45 °C, kondensasi CO₂ dihilangkan dalam separator. CO₂ diproses lebih lanjut untuk mendapatkan kembali metana terlarut, yang didaur ulang ke inlet gas. Dengan proses ini lebih dari 97% metana murni diperoleh. Tidak ada data yang tersedia pada investasi dan biaya operasional.²⁵⁾

Metode Konversi Kimia

Untuk mencapai kemurnian yang sangat tinggi dalam produksi gas, metode konversi kimia ini dapat digunakan. Ini mengurangi konsentrasi gas yang tidak diinginkan menelusuri

22) JOU 9

23) BOK 8

24) BOK 6

25) DIS 1

kadarnya. Biasanya proses konversi kimia digunakan setelah penghapusan dalam jumlah besar sudah dilakukan dengan metode lain. Salah satu proses konversi kimia tersebut adalah Methanation, dimana CO_2 dan H_2 yang secara katalitik dikonversi menjadi metana dan air. Proses konversi kimia sangat mahal dan tidak dianjurkan di sebagian besar aplikasi biogas. Karena sifat yang sangat eksotermis dari reaksi Methanation, penghapusan panas dari Methanation adalah perhatian utama dalam proses desain. Kebutuhan jumlah besar hidrogen murni juga membuat proses pada umumnya tidak cocok.²⁶⁾

II.3.4 Menghilangkan H_2S

H_2S selalu ada dalam biogas, meskipun konsentrasi yang bervariasi dengan bahan baku. Ini harus dihapus untuk menghindari korosi pada kompresor, tangki penyimpanan gas dan mesin.²⁷⁾ H_2S beracun dan korosif serta berbahaya bagi lingkungan karena dikonversi menjadi belerang dioksida oleh pembakaran. Hal ini juga mencemari proses peningkatan. H_2S dapat dihapus baik dalam digester, dari biogas mentah atau dalam proses peningkatan.²⁸⁾ Yang paling umum digunakan dalam proses penghapusan H_2S dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori umum yaitu: (1) proses oksidasi kering dan (2) proses oksidasi fase cair.²⁹⁾

Proses Oksidasi Kering

Proses ini dapat digunakan untuk menghilangkan H_2S dari aliran gas dengan mengubahnya menjadi belerang atau sulfur oksida. Proses ini digunakan di mana kandungan sulfur dari gas relatif rendah dan kemurnian tinggi diperlukan. Beberapa metode ini dijelaskan di bawah.

- **Pemasukan udara/oksigen ke dalam sistem biogas**

Sejumlah kecil oksigen (2-6%) dimasukkan dalam sistem biogas dengan menggunakan pompa udara. Akibatnya,

26) BOK 8

28) DIS 1

27) BOK 4

29) BOK 6

sulfida dalam biogas teroksidasi menjadi sulfur dan kadar H_2S menjadi menurun.



Ini adalah proses sederhana dan biaya rendah. Tidak ada bahan kimia khusus atau peralatan yang diperlukan. Tergantung pada suhu, waktu reaksi dan tempat di mana udara yang ditambahkan, konsentrasi H_2S dapat dikurangi 95% menjadi kurang dari 50 ppm. Namun, perawatan harus dilakukan untuk menghindari overdosis dari udara, seperti biogas di udara adalah ledakan di kisaran 6-12%, tergantung pada konten metana.³⁰⁾

- **Adsorpsi menggunakan besi oksida**

H_2S bereaksi dengan besi hidroksida besi atau oksida untuk membentuk besi sulfida. Biogas yang dilewatkan melalui butiran besi oksida, untuk menghapus H_2S . Ketika butiran benar-benar tertutup dengan sulfur, butiran tersebut dikeluarkan dari tabung untuk regenerasi sulfur. Ini adalah metode sederhana namun selama regenerasi banyak panas yang dilepaskan. Packing serbuk juga mengandung komponen yang beracun dan metode ini sensitif terhadap kandungan air yang tinggi dari biogas.

Serpihan kayu ditutupi dengan oksida besi yang memiliki permukaan agak lebih besar terhadap volume daripada baja polos. Kira-kira 20 g H_2S dapat terikat dengan per 100 g chip besi oksida. Penerapan serpihan kayu sangat populer terutama di Amerika Serikat. Ini adalah produk murah, namun, penanganan khusus harus diambil bahwa suhu tidak meningkat terlalu tinggi saat regenerasi filter besi.³¹⁾

H_2S dapat teradsorpsi pada karbon aktif. Sulfur yang mengandung karbon kemudian dapat diganti dengan karbon aktif segar atau regenerasi. Ini adalah reaksi katalitik dan karbon bertindak sebagai katalis.³²⁾

Proses Oksidasi Fase Cair

Proses ini digunakan terutama untuk perawatan gas yang mengandung konsentrasi H_2S yang relatif rendah. Ini mungkin baik: (a) proses penyerapan fisik atau (b) proses penyerapan kimia.

Dalam proses penyerapan fisik H_2S dapat diserap oleh pelarut. Salah satu pelarut adalah air. Namun penggunaan air sangat tinggi untuk penyerapan sejumlah kecil H_2S . Jika beberapa bahan kimia seperti $NaOH$ ditambahkan ke air, proses penyerapan dapat ditingkatkan. Membentuk natrium sulfida atau natrium hidrosulfida, yang tidak diperbaharui dan menimbulkan masalah pembuangan.

Penyerapan kimia H_2S dapat dilakukan dengan larutan garam besi seperti besi klorida. Metode ini sangat efektif dalam mengurangi kadar H_2S yang tinggi. Proses ini didasarkan pada pembentukan endapan tidak larut. $FeCl_3$ dapat ditambahkan langsung ke slurry digester. Dalam sistem anaerobic digester kecil, proses ini yang paling cocok. Semua metode lain untuk penghapusan H_2S yang cocok dan ekonomis untuk digester skala besar. Dengan metode ini penghapusan akhir dari H_2S adalah sekitar 10 ppm.

II.3.5 Kompresi Biogas dan Penyimpanan

Biogas, paling banyak mengandung metana, tidak dapat disimpan dengan mudah, karena tidak mencair dibawah tekanan pada suhu ruang (suhu kritis dan tekanan yang dibutuhkan adalah $-82,5\text{ }^\circ\text{C}$ dan $47,5\text{ bar}$, berturut-turut).

Mengompresi biogas mengurangi kebutuhan penyimpanan, memusatkan kandungan energi dan meningkatkan tekanan ke tingkat yang dibutuhkan mengatasi resistensi terhadap aliran gas. Kompresi lebih baik di dalam *scrubber* biogas. Paling umum sistem penyimpanan biogas digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.6.³³⁾

Tabel 2.6. Pilihan penyimpanan biogas yang paling umum digunakan

Pressure	Storage device	Material
Low (0.138-0.414 bar)	Water sealed gas holder	Steel
Low	Gas bag	Rubber, plastic, vinyl
Medium (1.05-1.97 bar)	Propane or butane tanks	Steel
High (200 bar)	Commercial gas cylinders	Alloy

(sumber: Walls JL, et al. *Utilization of biogas. Biomass 1989*)

Unit terintegrasi dengan fasilitas untuk *scrubbing*, mengompresi dan menyimpan telah dikembangkan di beberapa negara-negara maju. Misalnya *water scrubber* ditambah dengan kompresor gas sedang dipromosikan untuk digunakan merata di Selandia Baru. Demikian pula, biogas yang dihasilkan dari ekskresi unggas yang kering, *discrub*, dikompresi dan disimpan dengan tekanan 4 bar pada 0,2 m³ tank baja di Belgia.³⁴⁾

Khapre melakukan penelitian mengenai *scrubbing* dan kompresi biogas dan kemudian digunakan untuk kebutuhan memasak dalam rumah tangga. Dia menemukan ketentuan mengurangi dari *scrubbing* dan kompresi biogas (0,353 m³) daripada biogas mentah (0,591 m³) untuk memasak makanan sehari-hari enam anggota keluarga. Dia menyimpan biogas yang ter scrub dan terkompresi pada tekanan 7 bar di dalam tabung berkapasitas 0,1 m³.³⁵⁾

Dengan memurnikan biogas yang dihasilkan dari limbah penyulingan, para ilmuwan dari Universitas Jadhavpur, Kolkatta, India mengklaim telah menghasilkan sejumlah besar metana yang terkompresi, gas dengan potensi besar dan alternatif sumber bahan bakar kendaraan. Bereksperimen dengan limbah penyulingan dalam jumlah besar, dari pabrik pembuatan alkohol, peneliti menghasilkan gas dengan bio-Methanation dari limbah.³⁶⁾ Hasil yang sama juga telah dilaporkan dari Belanda, Inggris, Australia, Selandia Baru dan Amerika Serikat. Semua

hasil ini menunjukkan bahwa biogas merupakan salah satu pengganti potensial untuk bahan bakar masa kini termasuk CNG, bensin, diesel dan LPG. ³⁷⁾

Nema dan Bhuchner menekankan mengenai nilai tambah untuk biogas yaitu dengan *scrubbing* dan mengompresi, menjadikannya sama baiknya dengan *compressed natural gas* (CNG). Mereka melaporkan kelayakan ekonomi memproduksi energi dari limbah padat dari kota Delhi. Dari 5000 ton limbah yang dihasilkan per hari di Delhi, 100.000 Nm³/hari biogas dapat diproduksi yang setara dengan 309,5 m³ CNG senilai US \$ 70.000 per hari. Di samping itu, dengan mengadopsi teknologi ini 117 ton/ hari gas CO₂ dapat dicegah masuk ke dalam atmosfer. ³⁸⁾



Gambar 2.10. *Compressed Biogas (CBG) Bottle*
(sumber:jmkcbio.com)

II.3.6 Persamaan-persamaan Pembentukan Biogas

Berikut beberapa persamaan yang menentukan proses pembentukan biogas dari fermentasi limbah organik pada digester anaerob.

Persamaan Volume Digester

Jumlah volume yang dibutuhkan dapat dihitung sebagai.

$$V_d = S_d * R_T [m^3 = m^3/hari \times jumlah\ hari] \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

- V_d = volume digester
- S_d = jumlah masukan substrat perhari
- R_T = waktu penyimpanan

Waktu retensi, pada akhirnya, ditentukan oleh suhu mencerna. Untuk pabrik biogas tanpa pemanas, suhu yang berlaku di digester dapat diasumsikan sebagai 1-2 Kelvin di atas suhu tanah. Variasi musiman harus dipertimbangkan, bagaimanapun digester harus diukur paling tidak baik untuk musim tahunan. Untuk pembangkit dari desain yang sederhana, waktu retensi harus berjumlah minimal 40 hari. Pengalaman praktek menunjukkan bahwa waktu retensi dari 60-80 hari, atau bahkan 100 hari atau lebih, tidak ada kelangkaan ketika ada kekurangan substrat. Di sisi lain, waktu retensi ekstra panjang dapat meningkatkan hasil gas sebanyak 40%.

Masukan substrat tergantung pada berapa banyak air yang harus ditambahkan ke substrat untuk sampai pada kandungan padatan 4-8%.

$$\text{Substrate input } (S_d) = \text{biomass } (B) + \text{water } (W) [m^3/d] \dots\dots(3)$$

Dalam kebanyakan pembangkit biogas pertanian, rasio pencampuran untuk ekskresi (sapi dan / atau babi) dan air (B: W) berjumlah antara 1: 3 dan 2: 1.

Persamaan Lama Waktu Penguraian

Secara teoritis merupakan waktu material organik berada di dalam tangki digester. Selama proses ini terjadi pertumbuhan

bakteri anaerob pengurai, proses penguraian material organik, dan stabilisasi pembentukan biogas menuju kepada kondisi optimumnya. Secara keseluruhan, lama waktu penguraian (*Hydraulic Retention Time-HRT*) mencakup 70%-80% dari keseluruhan waktu proses pembentukan biogas bila siklus pembentukan biogas berjalan ideal yakni 1 kali proses pemasukan material organik langsung mendapatkan biogas sebagai proses akhirnya. HRT dapat dirumuskan menjadi persamaan berikut:

$$HRT \text{ (days)} = \frac{\text{Volume Digester (m}^3\text{)}}{\text{Laju Penambahan Bahan Organik Harian (m}^3\text{/day)}} \quad (4)$$

Jika material padatan kering (*Dry Matery-DM* atau disebut juga *Total Solid-TS*) berkisar 4-12 %, maka waktu penguraian optimum (*Optimum Retention Time*) berkisar 10-15 hari. Jika nilai DM lebih besar dari nilai persentase material padatan kering di atas, berarti material organik memiliki konsentrasi lebih padat sehingga lama waktu penguraian menjadi spesifik, sehingga berlaku persamaan lama waktu penguraian spesifik (*specific retention time-SRT*) berikut:

$$SRT = \frac{\text{Masa Padatan Organik dalam Digester Anaerob (kg)}}{\text{Laju Pembuangan Padatan Sisa Digester (kg/day)}} \dots (5)$$

Untuk bahan organik spesifik seperti di atas, laju penambahan limbah organik (*Specific Loading Rate-SLR*) dapat diketahui sebagai berikut:

$$SLR \frac{\text{(kg ODM)}}{\text{(m}^3\text{/day)}} = \frac{\text{Bahan Organik yang Ditambahkan (kgODM/day)}}{\text{Volume Digester (m}^3\text{)}} \dots (6)$$

Kedalaman tangki digester sangat mempengaruhi nilai SLR dan bila parameter lain dapat dijaga pada kondisi ideal, nilai optimum SLR didapat berkisar 3-6 kg ODM/m³-day.

BAB III

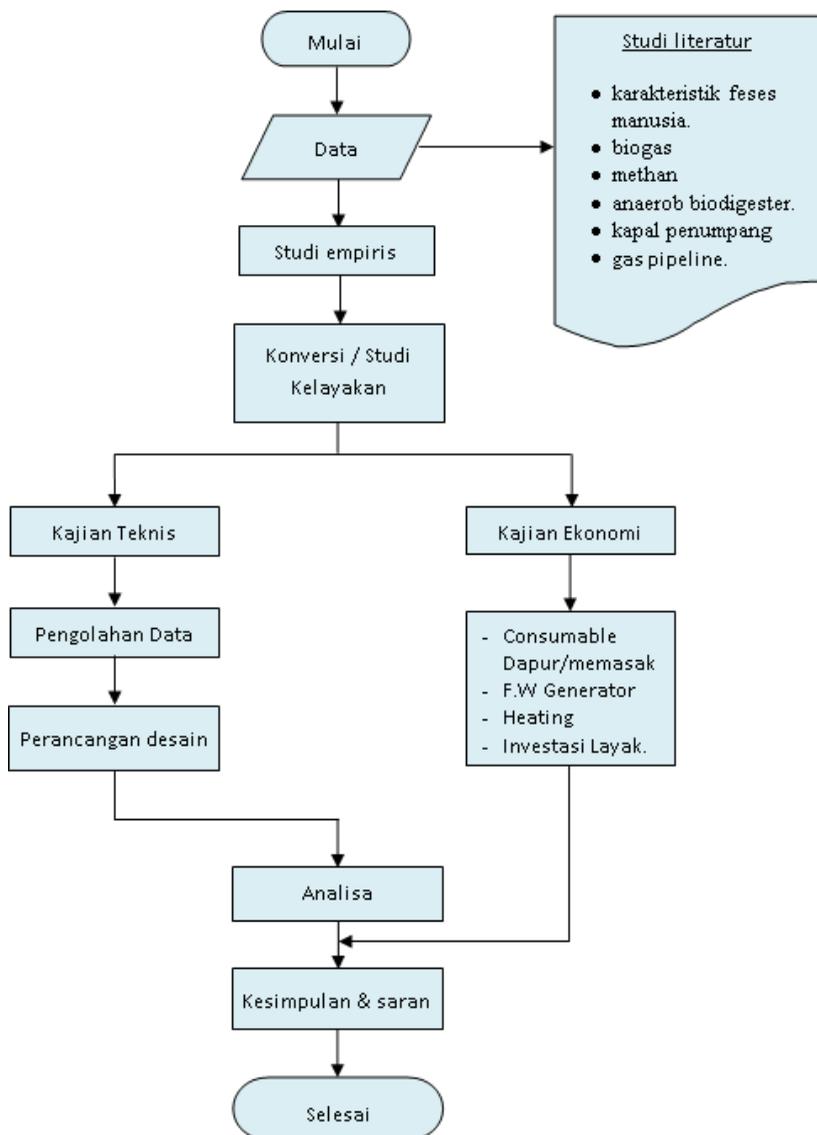
METODOLOGI TUGAS AKHIR

III.1 UMUM

Metodologi merupakan kerangka dasar dari tahapan penyelesaian tugas akhir. Metodologi penulisan pada tugas akhir ini mencakup semua kegiatan yang dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisa terhadap permasalahan tugas akhir.

Dalam pelaksanaan pengerjaan sebuah karya tulis ilmiah atau penelitian pastilah dibutuhkan sebuah metode untuk menyelesaikannya. Dalam penelitian ini dilakukan kegiatan studi literatur dan studi empiris, pengumpulan dan pengolahan data, hal tersebut untuk menunjang pengerjaan penelitian, penelitian ini menggunakan metode studi kelayakan untuk menyelesaikan masalah dan menjawab tujuan dari penelitian. Studi kelayakan sendiri identifikasi masalahnya dengan mencari informasi dari studi literatur, studi empiris, pengumpulan data, dan penggambaran desain.

Metodologi tugas akhir ini secara lengkap ditunjukkan pada gambar 3.1 dengan langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alur metode penelitian

III.2 PENGUMPULAN DATA DAN REFERENSI

Setelah melaksanakan studi literatur maka dapat diketahui data-data yang diperlukan dalam mendesain sistem shaft alternator/motor. Langkah pertama adalah pengumpulan data-data yang diperlukan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Adapun data-data yang diperlukan berupa:

1. Kapal penumpang dengan pelayaran jarak jauh.
2. Gambar *Engine Room Layout* kapal yang dipakai.
3. Gambar sistem sewage dan sanitari pada kapal.

Dari data-data diatas akan dibuat suatu perhitungan untuk menentukan kapasitas digester serta hubungan-hubungannya dengan sistem yang terintegrasi.

III.3 STUDI LITERATUR

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh acuan pustaka sehingga mempermudah langkah dalam menyelesaikan permasalahan yang menyangkut sistem produksi biogas, sistem sewage kapal dan hal yang terkait didalamnya. Beberapa literatur yang dipelajari antara lain :

1. Studi literatur mengenai karakteristik ekskresi manusia mengenai potensi sebagai bahan penghasil biogas.
2. Studi literatur tentang produksi biogas dan upaya mengoptimalisasi.
3. Studi literatur tentang anaerob digester.
4. Studi literatur tentang pipa gas dan sistem produksi biogas.

Setelah melaksanakan studi literatur maka diharapkan proses penyelesaian permasalahan menyangkut bagaimana memilih atau bahkan mendesain digester pada kapal karena telah diketahui data-data yang diperlukan serta acuan untuk mengelola data tersebut.

III.4 STUDI EMPIRIS

Studi empiris dilakukan untuk memperoleh data secara experimental hasil pengamatan, pengalaman, ataupun uji coba, karena tidak mendukungnya melakukan eksperimen sendiri. Pendekatan dari data empiris diharapkan mempercepat proses penyelesaian permasalahan yang menyangkut produksi biogas.

III.5 STUDI KELAYAKAN

III.5.1. Kajian Teknis

Secara garis besar, kajian-kajian teknis yang dilakukan yaitu antara lain:

- Digester yang dipakai atau didesain dapat ditempatkan pada kapal secara baik.
- Bahan masukan yang didapat dari penumpang kapal mampu menghasilkan biogas dengan jumlah yang diharapkan.
- Kemudian biogas yang dihasilkan mampu memenuhi kebutuhan yang ada di kapal.

III.5.2. Kajian Ekonomi

Pembuatan unit *biogas plant* membutuhkan biaya investasi awal. Analisa ekonomi penerapan biogas plant pada kapal penumpang dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kelayakan ekonomi alat penghasil biogas.

III.6 STUDI PERANCANGAN DESAIN

Studi perancangan desain meliputi:

- Menentukan ukuran digester dan gas storage.
- Penggambaran dalam layout kamar mesin.
- Penggambaran sistem biogas plant pada kapal.

III.7 ANALISA

Dalam pembahasan permasalahan, analisa yang dilakukan meliputi potensi biogas dari limbah sanitari sewage, potensi energi biogas untuk kebutuhan pada kapal, dan analisa kelayakan ekonomi.

III.8 KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisa yang dilakukan maka akan ditarik kesimpulan dari kelebihan dan kekurangan penggunaan biogas plant pada kapal dengan bahan isian yang didapat dari ekskresi penumpang kapal dan sekaligus memberikan saran untuk potensi gagasan-gagasan dalam mengembangkan sistem biogas pada kapal untuk kedepannya.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

IV.1 PARAMETER KAPAL

Seluruh pembahasan di fokuskan pada satu jenis kapal yang mempunyai tipe dan parameter sebagai berikut:



Gambar 4.1 KM. SABUK NUSANTARA 43 (2000GT)
(Sumber: dayaru.com)

Tipe Kapal	: Coaster
Kap. Penumpang	: 498 orang
Jumlah ABK	: 36 awak
LOA	: 68.50 m
LPP	: 63 m
B	: 14 m
H	: 2.60 m
T	: 2.90 m
Gross Tonnage	: 2004 GT
Displacement	: 2350 Ton
DWT	: 595 Ton
Kecepatan service	: 8,8 Knot
Kecepatan trial	: 12 Knot
Jarak tempuh	: ± 3500 N.Miles

Kapal KM. Sabuk Nusantara 43 dengan rute pelayaran Indonesia timur antara lain Ambon, Amahai, Teun, Nila, Serua (TNS), Maluku Tengah, dan MBD dengan waktu tempuh maksimal 14 hari. Kapal dengan bobot 2000 Gros Ton ini adalah salah satu kapal dengan rute terjauh yang menyinggahi 18 pelabuhan dengan panjang rute 1924 mil laut (3563,25 km).

IV.2 KONDISI EXISTING KAPAL

IV.2.1 Sanitari Kapal

Selain sampah organik, pada kapal Sabuk Nusantara 43 ini juga terdapat limbah toilet. Pada kapal seluruhnya terdapat 22 toilet yang terdiri dari 33 ruangan toilet pria (tidak termasuk urinair) dan 41 ruangan toilet wanita sebagaimana Tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 4.1. Kondisi Toilet Kapal KM. Sabuk Nusantara 43

Lokasi	Keterangan
Boat Deck	4 ruangan toilet
Main Deck	18 ruangan toilet
Tween Deck	16 ruangan toilet wanita 15 ruangan toilet pria

(Sumber: data primer diolah)

Sistem pembilasan kloset pada kapal ini menggunakan sistem air laut (*Sea Water Sanitary*) dengan dua sistem pembuangan langsung *over board* dan ditampung terlebih dahulu ke tangki ekskresi (*sewage*) tentunya harus sesuai dengan peraturan jika ingin melakukan pembuangan *sewage*. Kapal ini juga memiliki *sewage treatment plan* dengan pompa yang menghisap dari tangki *sewage*.

IV.2.2 Sumber Energi Kapal

Pada umumnya sumber energi yang dibutuhkan pada kapal yang terbesar adalah bahan bakar minyak, kemudian disusul listrik dan gas. Bahan bakar minyak solar digunakan untuk menggerakkan mesin induk dan generator, sedangkan listrik yang

dihasilkan generator dan baterai digunakan untuk menghidupkan peralatan listrik dan navigasi kapal, dan gas digunakan sebagai pendukung saja misalnya untuk kebutuhan dapur dan heating.

Pada bagian dapur kapal ini sebagian besar sudah menggunakan energi listrik termasuk untuk memasak seperti kompor listrik (*electric cooking range*), *electric boiler*, penanak nasi dsb.

IV.3 ASPEK PASAR

IV.3.1 Karakteristik Produk

Produk yang dihasilkan dari pengolahan limbah ekskresi sanitari (*human excreta*) adalah gas dan *sludge*. Ampas atau *sludge* sebagai produk sampingan jika diolah lebih lanjut akan menghasilkan pupuk organik dengan mutu sangat baik. Sebenarnya tanpa pengolahan, ampas dapat digunakan sebagai pupuk organik. Tetapi untuk pemasarannya, ampas atau *sludge* tersebut harus diproses terlebih dahulu agar dapat dipasarkan. Gas yang dihasilkan dari instalasi biogas ini tidak dijual, tetapi dimanfaatkan langsung oleh dapur atau pantry kapal. Dalam analisis finansial, harga jual biogas dihitung berdasarkan hasil konversi dengan bahan bakar minyak atau tabung LPG yang dipakai di kapal sebelum menggunakan biogas. Produk yang dihasilkan dari pengembangan instalasi biogas dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Produk Hasil Instalasi Biogas

No.	Jenis	Kap. Produksi/hari	Harga (Rp/liter)	Jumlah (Rp)
1	Gas Bio	1.29 m ³		
		Setara 0.67 liter Solar	Rp 7,150	Rp 4,791
		Setara 0.59 kg Elpiji	Rp 7,355	Rp 4,339
2	Ampas/Pupuk Padat	9.6 kg	Rp 5,000	Rp 48,000
3	Pupuk Cair	150.4 kg	Rp 10,000	Rp 1,504,000
Total				Rp 1,561,130

(Sumber: data primer diolah)

Tabel 4.3. Nilai kesetaraan berbagai jenis energi dibandingkan dengan biogas

No.	Jenis Energi	Nilai Kesetaraan dibandingkan 1 m ³ Biogas
1	Elpiji	0,46 kg
2	Minyak Tanah	0,62 kg
3	Minyak Solar	0,52 liter
4	Bensin	0,8 liter
5	Kayu Bakar	3,5 kg

Sumber: departemen pertanian

IV.3.2 Gas Bio

Gas yang dihasilkan dari instalasi biogas disebut juga dengan istilah gas rawa (gas-bio). Gas ini memiliki perbedaan dengan gas lainnya, perbedaan yang utama adalah dari sisi molekul kimianya. Gas-bio bukan merupakan gas murni, karena masih memiliki unsur lainnya selain metana yang jumlahnya sangat kecil. Sedangkan gas lain seperti gas LPG merupakan gas murni yang tidak ada unsur lain di dalamnya selain metana walaupun berbeda dengan gas LPG, biogas juga memiliki fungsi seperti gas lainnya memiliki kadar metana sebesar 60% dan dapat digunakan sebagai bahan bakar.

IV.3.3 Pupuk Organik

Salah satu jenis pupuk organik adalah kompos. Kompos adalah bahan-bahan organik (sampah organik) yang telah mengalami proses pelapukan karena adanya interaksi antara mikroorganisme (bakteri pembusuk) yang bekerja di dalamnya. Bahan-bahan organik tersebut seperti dedaunan, kotoran ternak, rumput, jerami dan lainlain. Bahan baku kompos yang berasal dari sampah merupakan limbah padat yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dibuang atau dikelola agar tidak mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan. Penggunaan kompos sebagai pupuk sangat baik, karena dapat memberikan beberapa manfaat. Penggunaan berbagai pupuk organik di lahan pertanian terbukti dapat meningkatkan produksi.

Pupuk cair dan pupuk padat yang berasal dari instalasi biogas di tempat wilayah kajian disebut juga sebagai pupuk organik, karena berasal dari ekskresi yang telah difermentasikan. Pupuk ini diproses secara berbeda dan menghasilkan dua produk yaitu pupuk padat dan pupuk cair. Untuk pupuk padat, pengolah hanya menjual dengan kemasan 1 kg/bungkus. Sedangkan untuk pupuk cair pengolah hanya menghasilkan pupuk dengan ukuran 1 l per botol. Namun demikian pada analisis finansial pupuk padat dijual dalam bentuk mentah/belum diolah.

Limbah biogas yang telah hilang gasnya (slurry) merupakan pupuk organik yang sangat kaya akan unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tanaman. Bahkan, unsur-unsur tertentu seperti protein, selulose, lignin, dan lain-lain tidak bisa digantikan oleh pupuk kimia. Bahan organik makro yang terkandung ialah nitrogen (N), kalium (K), fosfor (P) dan lainnya, sedangkan bahan mikro yang terkandung adalah magnesium (Mg), kalsium (Ca), asam amino dan lainnya. Komposisi pupuk yang dihasilkan tergantung pada keberbagaian jenis bahan umpan biogas.

IV.3.4 Pemasaran Produk

Saluran pemasaran merupakan serangkaian lembaga yang dapat terlibat selama proses penyampaian barang dan jasa ke konsumen dari produsen, pedagang besar, pengecer, agen pengangkutan perusahaan penyimpanan, biro periklanan dan sebagainya (Limbong dan Sitorus, 1987).

Saluran pemasaran yang terdapat dalam pengelolaan limbah *human excreta* ini sangat sederhana. Gas yang dihasilkan di dalam pengolahan limbah tidak dijual, melainkan digunakan sendiri. Gas yang dihasilkan dari instalasi biogas langsung dikonsumsi oleh dapur dan pantry kapal, karena itu untuk biogas tidak dapat digambarkan bagaimana saluran pemasarannya.

Memasarkan pupuk biasanya melalui agen yang memasarkan dan menampung produk dari pembuat pupuk, juga bisa melakukan sistem pemasaran langsung, dimana bagi konsumen yang ingin langsung membeli pupuk organik dapat

langsung mendatangi tempat produksi dan membeli secara langsung si pembuat. Pangsa pasar pupuk organik saat ini sangat menjanjikan, terlebih dengan pendapat "back to nature" telah membuat sebagian orang berlomba-lomba untuk kembali menggunakan produk yang ramah lingkungan, sehat, segar dan alamiah, termasuk dalam penggunaan pupuk. Pupuk organik yang memiliki banyak keunggulan dirasa cukup aman digunakan, terutama untuk produk tanaman sayuran dan buah-buahan. Tanaman yang menggunakan pupuk organik cukup aman untuk dikonsumsi, karena terbebas dari bahan kimia yang berbahaya. Munculnya berbagai penyakit dan kelainan genetik menurut beberapa ahli medis disebabkan pola konsumsi yang kurang baik. Oleh karena itu, pangsa pasar pupuk organik dipastikan akan terus meningkat seiring dengan peningkatan kebutuhan masyarakat modern akan kesehatan.

IV.4 ASPEK TEKNIS PRODUKSI & TEKNOLOGI BIOGAS

IV.4.1 Ketersediaan Bahan Baku

Pada kapal KM. Sabuk Nusantara 43 terdapat limbah buangan kapal yang memiliki potensi limbah organik yang dapat dibagi berdasarkan jenis:

- Sampah organik, terdiri limbah sayuran, sisa nasi, ikan dan daging yang dihasilkan dari limbah buangan kapal seperti galley dan dapur umum.
- Limbah organik sanitasi toilet (ekskresi) yang berasal dari penumpang kapal.

Dalam bab ini hanya akan dilakukan pembahasan untuk limbah organik sanitasi toilet.

Tabel 4.4. Potensi Limbah Sanitasi Toilet

Limbah Sanitasi Toilet	Satuan
Pengguna toilet perhari rata-rata (25%)	134 orang/hari
Potensi limbah	26,8 kg/hari

(Sumber: data primer diolah)

Dimana :

- Nilai 0,2 kg adalah berat ekskresi rata-rata orang asia tenggara.
- Penggunaan toilet rata-rata perhari diambil dari asumsi 25% dari jumlah total penumpang kapal (534 orang termasuk crew kapal).

IV.4.2 Potensi & Rencana Kapasitas Produksi Biogas Pada Kapal KM. Sabuk Nusantara 43

Kapasitas desain adalah output maksimum sistem secara teoritis dalam suatu periode tertentu. Dinyatakan dalam tingkatan tertentu seperti m^3 perhari, perminggu atau perbulan.

IV.4.2.1 Persamaan-persamaan Pembentukan Biogas

Berikut beberapa persamaan yang menentukan proses pembentukan biogas dari fermentasi limbah organik pada digester anaerob.

Persamaan Lama Waktu Penguraian

Secara teoritis merupakan waktu material organik berada di dalam tangki digester. Selama proses ini terjadi pertumbuhan bakteri anaerob pengurai, proses penguraian material organik, dan stabilasi pembentukan biogas menuju kepada kondisi optimumnya. Secara keseluruhan, lama waktu penguraian (*Hydraulic Retention Time-HRT*) mencakup 70%-80% dari keseluruhan waktu proses pembentukan biogas bila siklus pembentukan biogas berjalan ideal yakni 1 kali proses pemasukan material organik langsung mendapatkan biogas sebagai proses akhirnya. *HRT* dapat dirumuskan menjadi persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 HRT &= \frac{\text{Volume Digester (}m^3\text{)}}{\text{Laju penambahan Bahan Organik Harian (}m^3\text{/hari)}} \\
 &= \frac{3,225 m^3}{0,1675 m^3} = 19 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Kalkulasi Potensi Produksi Biogas

Jika material padatan kering (*Dry Matter-DM* atau disebut juga *Total Solid-TS*) berkisar 4-12%, maka waktu penguraian optimum (*Optimum Retention Time*) berkisar 10-15 hari.

Tabel 4.5. Potensi Energi Biogas dari Sanitasi Toilet

Jenis Limbah	Produksi Biogas dari Limbah Toilet				Potensi Energi Gas		
	m ³ /kg TS perhari	m ³ /kg VS perhari	Biogas Rate (35°C, m ³ /kg TS perhari)	Gas Metan 60%, (m ³ /kg TS/hari)	kJ (1 m ³ Metan 60% = 33810 kJ)	kWh Gas Metan (1 kWh = 3.6 MJ)	
Potensi Organik Limbah Toilet (0.2 kg/orang/penggunaan toilet)	26.8	5.36	N/A	2.30	1.38	46755.17	12.99

(Sumber: data primer diolah)

Dimana:

- Limbah sanitasi toilet yang diperhitungkan hanya limbah sanitasi ekskresi tidak termasuk urine.
- Potensi TS Ekskresi diperoleh dengan mengalikan seluruh potensi jumlah limbah organik toilet dengan faktor pereduksi 0.2. Faktor pereduksi merupakan asumsi bahwa persentase padatan dalam limbah sanitasi toilet (*ekskresi*) hanya 20% dibandingkan dengan volume air yang digunakan untuk mendorong ekskresi tersebut sampai ke septic tank atau tangki digester anaerob, sebagaimana dalam literatur. ³⁹⁾
- Nilai konversi dari TS yang ada sebesar 0,43 sesuai literatur yang sama.
- Bila dalam proses awal sudah dilakukan pemisahan antara saluran pembuangan air bilasan toilet sehingga jumlah air pendorong ekskresi menjadi sedikit maka faktor pereduksi (0.2) ditiadakan dan total jumlah berat ekskresi langsung dikalikan nilai konversi 0,43 atau nilai potensi organik diasumsikan langsung sama dengan nilai TS (*Total Solid*), sebagaimana literatur. ⁴⁰⁾

Proses perhitungan potensi biogas dari limbah sanitasi toilet dan parameter/asumsi sebagai faktor pengali sebagaimana dijelaskan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 4.6. Skema Proses Perhitungan Potensi Biogas

Parameter Ukur (Name/Unit)	Nilai	Faktor Pengali		Keterangan
Jumlah Pengunjung Toilet Perhari (orang)	134			
		X	1	faktor pengali hari
Jumlah Pengunjung Toilet Perhari (orang)	134			
		X	0.2	Faktor Pengali kg/orang/hari
Potensi Organik ekskresi/ hari (kg)	26.8			
		X	0.2	Faktor Pengali TS
Total Solid (kg/m ³)/ hari	5.36			
		X	0.43	Faktor Pengali Biogas
Biogas (m ³ /kg TS)/ hari	2.3048			
		X	0.6	Faktor Pengali Metan
Gas Metan (Biogas 60% CH ₄ , m ³ /kg TS)/ hari	1.38288			
		X	33810	Faktor Pengali 1m ³ Metan 60% = 33810 kJ
Potensi Energi Termal (kJ/ hari)	46755.17			
		/	3600	Faktor Pembagi 1 kWh = 3.6 MJ
Potensi Energi Listrik (kWh/ hari)	12.98755			

(Sumber: data primer diolah)

Kapasitas volume ruang keseluruhan dari digester ini adalah sebesar 5000 liter tentunya tidak mungkin untuk diisi penuh karena ini termasuk jenis *fix dome* maka lumpur ekskresi dan gas saling berbagi ruang dalam 1 digester tersebut, selain itu terdapat output slurry yang selalu keluar karena masukan kontinyu dan tekanan gas di dalam.

Kapasitas maksimum dari digester ini sebenarnya sebanyak 75% dari 4300 liter yaitu 3225 liter, dapat berpotensi menghasilkan biogas sebanyak 1,29 m³ perhari.⁴¹⁾ Untuk memenuhi masukan bahan baku diperlukan 26,8 kg dan tentunya tidak dalam kondisi kering. Untuk mendapatkan konsentrasi pengenceran matrial organik ideal (dengan kepekatan 8%) maka:

$$8 \text{ kg solid} = 100 \text{ kg influen}$$

$$1 \text{ kg solid} = \frac{100}{8} \text{ kg influen}$$

$$5,36 \text{ kg solid} = 100 \times \frac{5,36 \text{ kg}}{8}$$

$$\text{Total influen yang diperlukan} = \mathbf{67 \text{ kg influen}}$$

Air yang ditambahkan untuk mencapai kondisi 8% dari konsentrasi TS = 67 kg – 26,8 kg = 40,2 kg (bisa diambil dari limbah cair toilet yang dialirkan ke tangki) dan dari 67 kg tersebut dibutuhkan selama kurang lebih 20 hari pengumpulan ekskresi untuk memenuhi 1 digester. Rencana digester yang akan digunakan hanya 1 set karena faktor *space* di kamar mesin yang terbatas.

IV.4.2.2 Utilitas Kapasitas

Utilisasi adalah persentase kapasitas desain yang sesungguhnya telah dicapai.

$$\begin{aligned} \text{Utilitas Kapasitas} &= \frac{\text{Output Aktual}}{\text{Kapasitas Desain}} \\ &= \frac{1,29 \text{ m}^3}{2,3 \text{ m}^3} = 56 \% \end{aligned}$$

Kapasitas efektif adalah kapasitas yang diharapkan dapat dicapai oleh sebuah perusahaan dengan keterbatasan operasi yang ada sekarang. Jika penggunaan kompor gas membutuhkan 0,3 m³/jam.⁴²⁾ Maka pada potensi biogas 1,29 m³ dapat menyalakan 1 tungku kompor gas selama 4,3 jam perhari. Jadi, jika diaplikasikan untuk penggunaan listrik dengan potensi biogas sebanyak itu maka dapat mencukupi konsumsi energi sebesar 1,61 kWh, karena dengan 1m³ biogas setara dengan energi listrik 1,25 kWh. (Gladstone, 2006)

Kapasitas yang diharapkan dapat dicapai dengan metode penjadwalan, manajemen penyimpanan dan penggunaan, serta pemeliharaan.

IV.4.2.3 Estimasi Kapasitas Produksi

Perhitungan kapasitas produksi disesuaikan dengan kebutuhan atau permintaan.

a. Untuk Substitusi Pemanas dengan Gas

Dari potensi biogas yang dihasilkan sebanyak 1,29 m³ perhari atau setara 4 jam 27 menit kompor biogas jika dialirkan secara langsung.

Estimasi untuk penggunaan kompor gas perhari adalah sekitar 9 jam dan membutuhkan gas-bio sebanyak 3 m³ biogas. Jika dengan cara biogas dialirkan secara langsung ke kompor maka pemakaian tidak akan terpenuhi, maka dari itu harus dengan metode manajemen penyimpanan gas dengan cara dikompresikan ke tabung dsb.

b. Untuk Substitusi Pemanas dengan Listrik

Pemanas dengan listrik tentunya berbeda pemanas dengan gas secara langsung. Pada pemanas listrik tentunya ada sebuah sumber energi listrik yaitu generator sebagai tenaga pemanas. Pada kapal ini kompor listrik mempunyai daya 3kW. dengan biogas perhari sebanyak 1,29 m³ maka dapat memenuhi kebutuhan energi sebesar 1,61 kWh. Dengan asumsi penggunaan kompor 9 jam

42) JOU 14

perhari maka jumlah energi yang dibutuhkan sebesar 27 kWh maka biogas yang dibutuhkan sebanyak 16,77 m³.

IV.4.3 Pemilihan Teknologi/Alat

IV.4.3.1 Digester Biogas

Untuk memproduksi biogas atau biometan pastinya diperlukan sebuah sistem instalasi pembangkit biogas. Komponen yang paling vital adalah reaktor biogas atau *digester* yang gunanya menampung masukan bahan baku dan tempat proses fermentasi. *Biodigester* yang digunakan di sini adalah jenis *portable digester (fix dome)* yang dapat dibeli di pasaran. Adapun bentuk digester dapat dilihat pada gambar dan spesifikasi digester dapat dilihat di tabel 4.8.



Gambar 4.2 Bio Digester Portable Set
(Sumber: PENNYU Tangki Air)

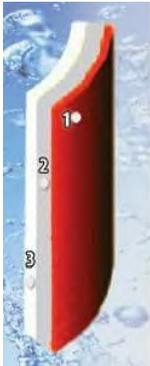
Tabel 4.7. Spesifikasi Biodigester

Spesifikasi	Keterangan
<i>Digester</i>	
- Tipe	<i>Fix Dome Digester</i>
- Sistem Pengumpan	<i>Batch (curah)</i>
- Kapasitas	5000 liter
- Diameter	1,5 meter
- Panjang	2,5 meter
- Bahan	<i>PE (polyethylene)</i>
- Ketebalan Bahan	5 mm
- Dimensi Bak Slurry	Dia 1 x 1 meter

- Warna	Hitam
- Diameter Pipa Inlet	6 inch
- Lubang Gas	½ inch

(Sumber: PENNYU Tangki Air)

Pemilihan digester ini bukan tanpa sebab selain tipe aliran kontinyu hal lain karena di kapal faktor safety sangat dipertimbangkan apalagi pada kapal penumpang. Pemilihan digester yang masih masuk dalam tipe *fix dome* karena bentuknya yang tetap, sistem pemasukan yang *continue* dan tabung digesternya juga digunakan sebagai penampung biogas awal. Produk ini terbuat dari bahan PE (*polyethylene*) atau orang biasa menyebutnya dengan plastik. Dinding dari digester produk ini diperkuat dengan struktur 3 lapisan yang berbeda dengan ketebalan lapisan yang homogen.



1. Lapisan pertama (*Flat External Layer*)

Permukaan lurus dan rata, memiliki fleksibilitas yang tinggi, kuat terhadap peregangan tinggi (*High Tensile Strength*), Kemampuan tahan retak yang baik (*High Stress Crack Resist*), memiliki tahan benturan yang tinggi (*High Impact Resist*), memiliki penetral efek negatif sinar UV, serta tidak bereaksi terhadap bahan kimia pelarut (*solvent*), tidak bereaksi terhadap alkali dan bersifat anti oksidan.

2. Lapisan kedua (*Foam Layer*)

Penahan panas hingga 120°C, penstabil perubahan bentuk ukuran karena tekanan dan memiliki ketahanan terhadap pemuaiian (*High Elongation Strength*), juga memiliki impact resist sangat tinggi sebagai penahan benturan dan tekanan sehingga tangki tidak mudah pecah. Lapisan ketiga (*Flat Hygienic Layer*)

Berwarna putih bersih dengan permukaan halus, rata dan licin, sangat efektif untuk menghambat pertumbuhan jamur dan alga, sehingga tidak mempengaruhi kualitas penyimpanan.

Dibandingkan dengan material bag plastik tentu kurang aman jika ditempatkan pada kapal karena banyak benda tajam di sekitar kamar mesin dan kurang tahan panas juga. Jika menggunakan material steel atau alloy tentunya harga jauh lebih mahal baik dari materialnya sendiri atau dengan jasa pembuatannya, juga dapat menambah berat konstruksi.

IV.4.3.2 Penampung Gas

Untuk dapat mendapatkan produksi gas secara kontinyu tentunya lebih baik gas hasil dari digester ditampung ke penampungan gas untuk di treatment kembali atau di konsumsi. Dalam pemilihan penampung gas (*Raw Gas* dan *Clean Gas*) keluaran digester penulis memilih penampung biogas (*Biogas Receiver Tube*) yang dibuat menggunakan bahan tangki plastik *HDPE* tebal 0,3 mm dengan dilindungi pagar membentuk rangka aluminium melindungi bagian dinding tangki (*tube*). Dimensi 1 x 1 x 1 meter dengan kapasitas 1 m³, berat 100 kg.



Gambar 4.3 Penampung Biogas (*BRT1010*)
(Sumber: www.kencanaonline.com)

Tabel 4.8. Spesifikasi BRT

Spesifikasi	Keterangan
- Tipe	<i>Fix Square Tank</i>
- Kapasitas	1000 liter
- Dimensi	1 x 1 x 1 meter
- Bahan	<i>HDPE</i>
- Ketebalan Bahan	0.3 mm
- Pagar Rangka	Alumunium
- Warna	Putih
- Tekanan	Up to 3 bar
- Berat	100 kg
- Include	Manometer

(Sumber: www.kencanaonline.com)

Penampung biogas *BRT* 1010 aman untuk diisi hingga tekanan 1 bar , dengan tidak menyebabkan terjadinya perubahan status gas. Efektif menahan dan mengamankannya dari kemungkinan bocor karena binatang pengerat (tikus, unggas, kucing dan hewan pengerat lainnya) juga tahan terhadap panas matahari, panas api sekitar dan air hujan. Bisa diletakkan di atas reaktor, genset dan perangkat atau berfungsi ganda sebagai naungan instalasi.

Penampung biogas (*Biogas Reservoir Tube= BRT*) 1010 dapat diletakkan dekat dengan tempat reaktor pembangkitan (digester) maupun penggunaan biogas atau, dekat dengan perangkat biogas (kompor, genset, dll).

IV.4.3.3 Kompresor



Gambar 4.4 Kompresor Biogas (MP1HP22)
(Sumber: www.kencanaonline.com)

Tabel 4.9. Spesifikasi Kompresor

Spesifikasi	Keterangan
- Tipe	<i>Electric/Oilless</i>
- HP	1 HP
- Daya	750 Watt
- Base	70 mm
- Silinder	35 mm
- Jumlah Silinder	1
- Kapasitas Tangki	22 liter
- Kap. Aliran Udara	110 liter/menit
- rpm	1450
- Tekanan	7 Bar
- Noise	65 dB
- Dimensi	610 x 300 x 600 mm

(Sumber: www.kencanaonline.com)

Kompresor MP1HP22 adalah pompa khusus pendorong biogas ke jarak jauh dari reaktor digester serta digunakan dalam pengisian biometan RNG (biogas murni) kedalam tabung kompor bertekanan BizGas 20101 (produk tabung biogas). Spesifikasi Pompa / Kompresor MPHP22 dapat dilihat pada tabel 4.10.

Biogas murni adalah gas hasil fermentasi biomassa dan sampah organik dengan komposisi metan (CH_4) diatas 70 %,

bebas gas pengotor (impurity gas) seperti H_2S , amoniak NH_3 . Kompresor gas ini ideal untuk mengisi biometan (biogas murni) kedalam tabung kompor tabung BizGas.

IV.4.3.4 Pemurni (*Gas Scrubber*)

Biogas mengandung unsur-unsur yang tidak diperlukan dalam pembakaran khususnya air (H_2O) dan hidrogen sulfida (H_2S). Pada keadaan dimana biogas dimanfaatkan sebagai bahan pembakaran (kompor) kedua unsur berpengaruh hanya pada menurunnya daya nyala dari kompor tersebut. Namun, berbeda jika biogas digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik atau menjalankan generator, pencucian atau pemurnian biogas menjadi sangat penting karena kedua unsur tersebut akan mempengaruhi umur komponen mesin pembangkit.

Tujuan pemurnian (*biogas purification*) karena kondensat yang terbentuk dapat terakumulasi dalam saluran gas dan juga dapat membentuk larutan asam yang korosif ketika kontak dengan air. Disamping pencegahan korosi, pemurnian biogas juga menghindari keracunan H_2S (ambang batas maksimum 5 ppm, mencegah kandungan sulfur yang ketika terbakar menjadi SO_2 atau SO_3 dengan racun lebih kuat dari H_2S serta meminimalkan terbentuknya H_2SO_3 yang sangat korosif.

Pemurni metan (*methane purifier*) ini terbuat dari tabung PVC diameter 12 cm, tinggi 70 cm, berisi tablet penyerap H_2S dan H_2O sebanyak 5 kg, berkemampuan memurnikan aliran biogas 4 m^3 /hari, menahan tekanan hingga 10,5 bar, memiliki masa ekonomi lebih dari 5 (lima) tahun. Tablet penyerap (absorben) terbuat dari campuran mineral tambang dengan basa kuat NaOH, yang dapat diganti (refill) per 2 (dua) bulan pemakaian atau diregenerasi bagi pemakaian hingga 1 tahun.

Alat pemurni metan ini dirancang untuk berkemampuan menaikkan manfaat dan kualitas biogas, hasil pembangkitan reaktor atau bak cerna (digester) dengan output 4 hingga 4 m^3 gas per hari, menaikkan komposisi metan dalam biogas hingga 20 % , sekaligus menurunkan kandungan CO_2 , H_2O dan H_2S . Tablet penyerap

(absorben) untuk isi ulang (refill) dengan biaya murah per 2 bulan atau, diregenerasi (ulang pakai) dengan cara merendamnya dalam aquades untuk maksimal 5x atau setara dengan penggunaan 1 (satu) tahun. Gambar dan Spesifikasi dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4.5 Pemurni Biogas (MP1270)

(Sumber: www.kencanaonline.com)

Tabel 4.10. Spesifikasi Pemurni Biogas

Spesifikasi	Keterangan
- Tipe/Bahan	MP1270 / PVC
- Kap. Tablet Absorber	5 kg
- Kemampuan Aliran	4 m ³ /hari
- Max. Tekanan	10,5 bar
- Diameter	12 cm
- Tinggi	70 cm

(Sumber: www.kencanaonline.com)

IV.4.3.5 Blower Biogas

	Model No.	GHBH 0D5 34 1R2	
	Phase	3	
	Stage	single	
	Frequency	50HZ	60HZ
	Output	0.4kw	0.5kw
	Voltage	200-240△/345-415Y	
		220-275△/380-480Y	
	Current	2.6△/1.5Y	2.6△/1.5Y
	Max Airflow	80m ³ /h	98m ³ /h
	Max Vacuum	120mbar	150mbar
	Max Pressure	130mbar	160mbar
	Gross Weight	15kg	
	Speed of rotation	2850/3450r/min	
	Sound	53/56db	
	Level of protection	IP54	
CE,CCC,ROHS Certification	Insulation class	F	

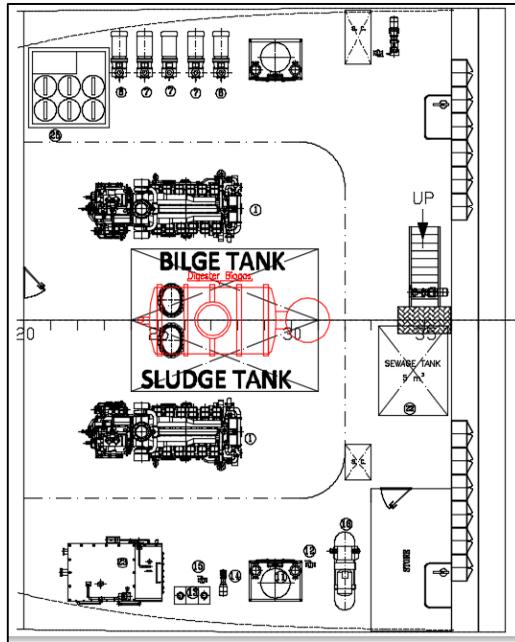
Gambar 4.6 Blower Biogas
(Sumber: www.alibaba.com)

Blower gas adalah blower khusus pendorong biogas yang berfungsi mendorong biogas dari tabung penyimpanan gas kotor melewati pemurni biogas dan langsung masuk ke penyimpanan gas.

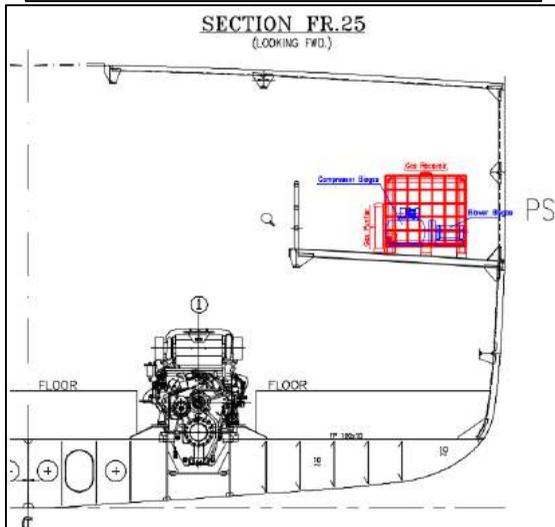
IV.4.4 Penetapan Lokasi dan Layout

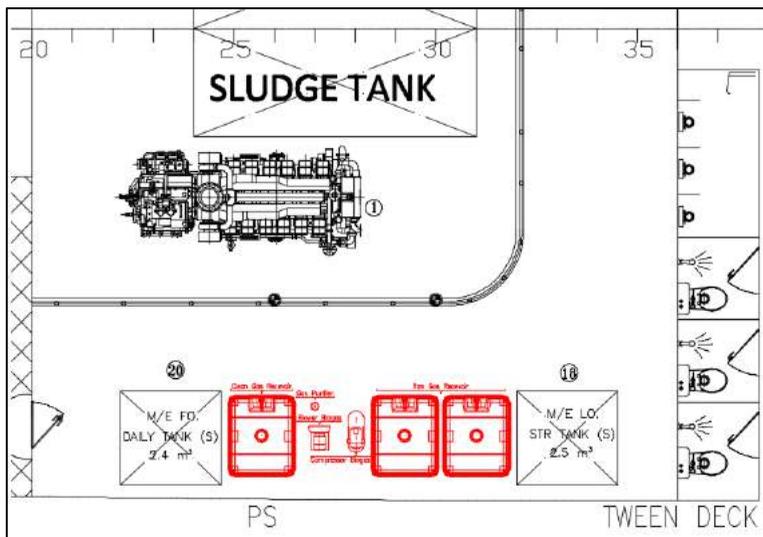
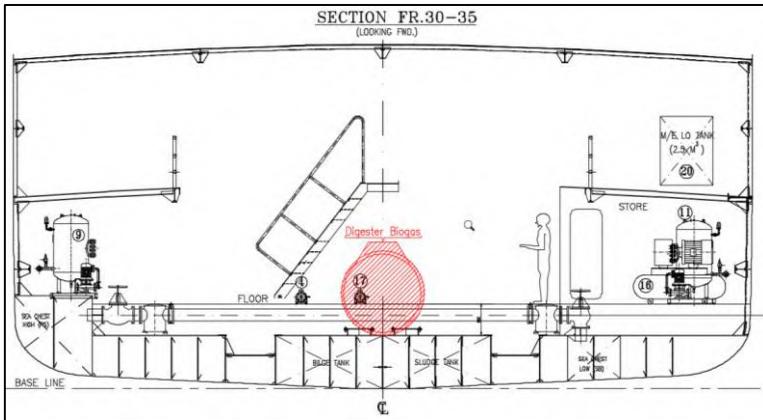
Lokasi merupakan tempat dimana suatu instalasi biogas akan dibangun, sedangkan layout adalah tata letak fasilitas pada suatu lokasi yang dijadikan pemilihan instalasi sistem pembangkit biogas. Banyak faktor yang harus dipertimbangkan dalam menentukan dimana sebaiknya menentukan lokasi maupun layout, faktor-faktor tersebut diantaranya: ketersediaan ruang atau *space*, tempat penampungan bahan baku, Jarak dari suatu komponen ke komponen lain, faktor keamanan dan kenyamanan, suplai tenaga.

Dalam perencanaan ini dipilih lokasi di kamar mesin (*engine room*) untuk mempermudah instalasi karena sumber isian menuju ke double bottom kamar mesin. Selain itu suhu kamar mesin cukup ideal untuk digester. Untuk *space* masih ada ruang yang cukup untuk penempatan digester dan beberapa komponen lainnya. Untuk lebih detailnya dapat dilihat gambar layout di bawah ini.

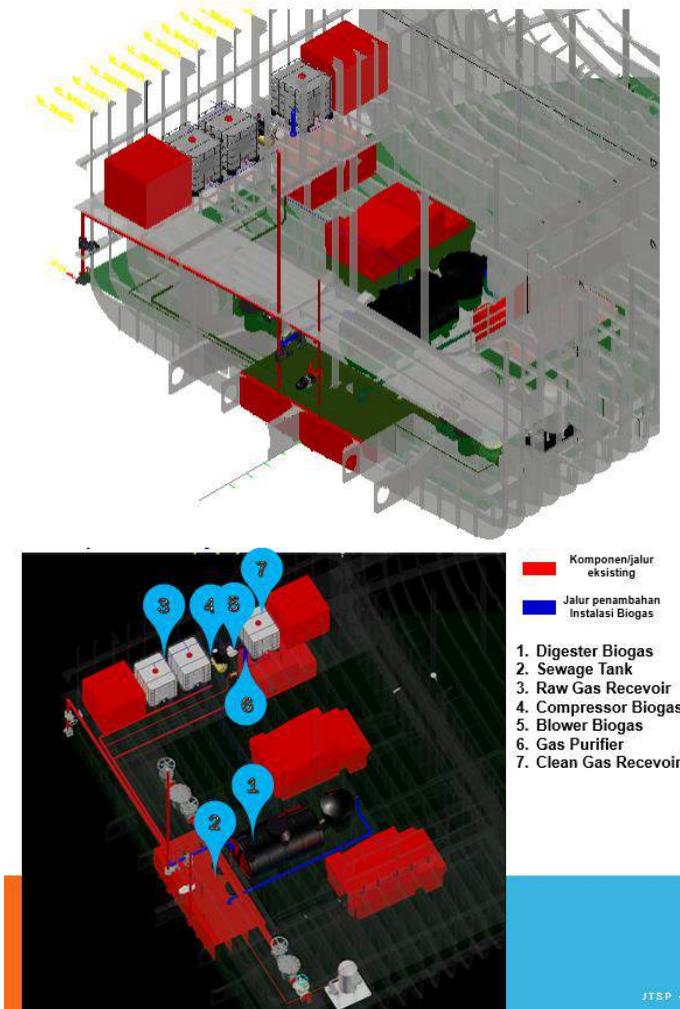


SECTION FR.25
(LOOKING FWD.)





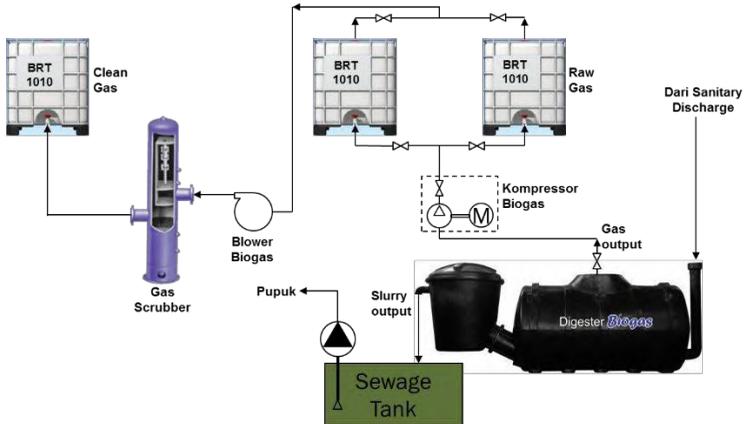
Gambar 4.7 Layout Komponen Instalasi Biogas (Red Mark)
(Sumber: data primer diolah)



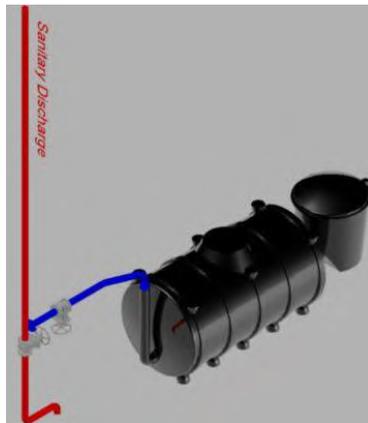
Gambar 4.8 Layout Komponen Instalasi Biogas 3D
(Sumber: data primer diolah)

IV.4.5 Rencana Proses Produksi

Pengoperasian alat bertujuan untuk menghasilkan biogas. Memproduksi biogas tidak terlepas dari ketersediaan bahan baku berupa ekskresi manusia. Proses operasional limbah dalam instalasi biogas melalui beberapa tahapan. Berikut digambarkan alur proses produksi biogas selengkapnya.



Gambar 4.9 Skema Rencana Proses Produksi
(Sumber: data primer diolah)

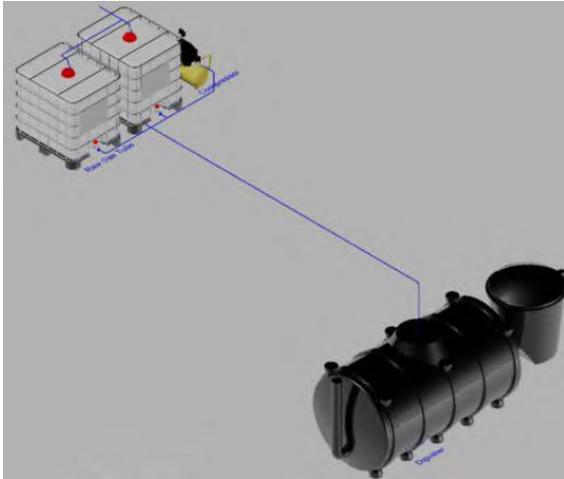


Gambar 4.10 Tahap Penampungan dan Pengaliran Ekskresi
(Sumber: data primer diolah)

Penampungan dan pengaliran ekskresi. Proses produksi biogas cukup sederhana, ekskresi yang berasal dari *sanitary discharge* (toilet) dialirkan dan ditampung di *digester biogas* ditutup sampai memenuhi daya tampung maksimum digester. Dari sistem eksistingnya saluran yang menuju tangki sewage ditambahkan percabangan saluran ke digester lengkap dengan valve, sedangkan valve yang menuju tangki sewage.

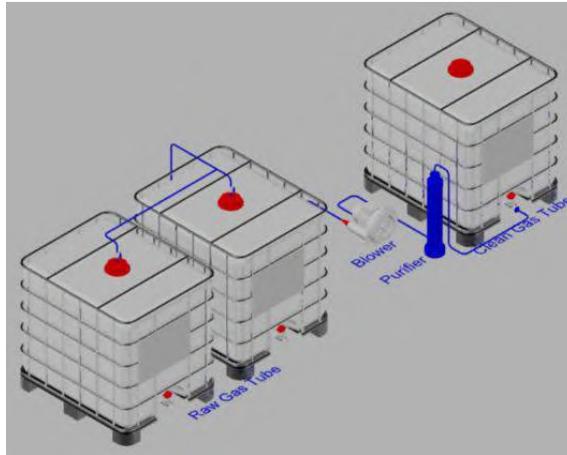
Penambahan starter. Pada pemasukan awal uji coba diperlukan lumpur ekskresi dalam jumlah banyak sampai lubang digester terisi penuh. Untuk membangkitkan proses fermentasi bakteri anerob, pada pengisian pertama perlu ditambahkan starter (berupa starter komersial yang banyak dijual di pasar). Setelah digester penuh, kran pengatur gas yang ada dipuncak kubah ditutup dan digester memulai proses fermentasi. Lubang pemasukan sementara ditutup agar tidak ada penambahan isian.

Pembuangan gas awal (saat awal uji coba). Kran yang berada di atas kubah dibuka dan gasnya dibuang. Pembuangan gas ini disebabkan gas awal yang terbentuk didominasi CO₂. Selama kurang lebih empat hari akan terbentuk gas CH₄ yang semakin meningkat, sedangkan CO₂ menurun. Pada saat komposisi CH₄ 54% dan CO₂ 27% maka biogas akan menyala. Selanjutnya, biogas dapat dimanfaatkan untuk menyalakan kompor gas di dapur.



Gambar 4.11 Tahap Penampungan Biogas
(Sumber: data primer diolah)

Penampungan biogas kotor (raw biogas). Biogas yang sudah terbentuk tentunya harus disipman untuk mempermudah proses tahap selanjutnya. Penampungan biogas kotor ditampung di receiveur tersendiri. Dibutuhkan kompressor untuk mengalirkan biogas karena tekanan di dalam digester sangat kecil dibawah satu bar dan jaraknya cukup jauh. Sebelum dialirkan katup receiveur ditutup untuk menjaga gas tetap di dalam receiveur sampai kapasitas penuh. Untuk mengetahui volume gas pada receiveur terdapat manometer. Receiveur biogas kotor yang digunakan sebanyak 2 buah untuk penampungan secara bergantian.



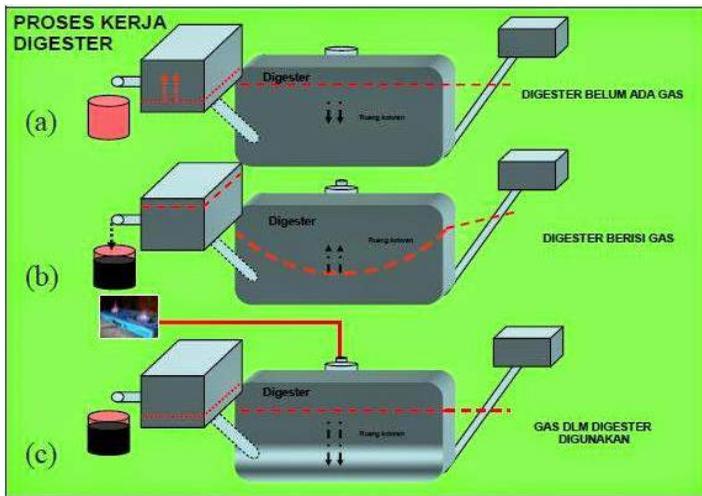
Gambar 4.12 Tahap Pemurnian Biogas
(Sumber: data primer diolah)

Pemurnian gas dan pengaliran. Biogas kotor (raw biogas) kurang menguntungkan jika digunakan secara langsung karena masih banyak mengandung unsur CO_2 , H_2O dan H_2S . Dari receiver raw biogas, valve outlet dibuka dan dialirkan menggunakan blower khusus gas untuk mendorong melewati tabung pemurni biogas. Pemurni biogas menggunakan butiran absorbent yang bisa dibeli dipasaran dan diganti tiap 2 bulan sekali. Gas yang melewati tabung pemurni kandungan CO_2 dan H_2O akan terabsorpsi dengan tablet NaOH atau absorbent tersebut.

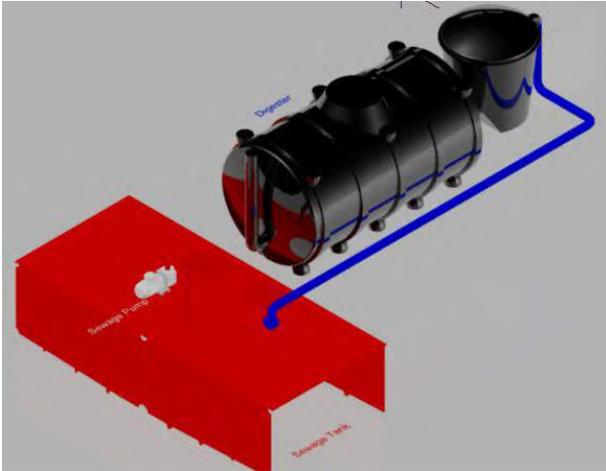
Penyimpanan gas bersih (clean biogas). Dengan tekanan yang didapat dari blower biogas otomatis gas yang sudah melewati tabung pemurni akan masuk ke dalam receiver biogas bersih yang sudah disiapkan tersendiri dan terpisah. Untuk tahapannya, sebelum melakukan pemurnian valve inlet tabung penyimpanan biogas bersih dibuka terlebih dahulu dan valve outlet ditutup. Setelah proses pemurnian selesai biogas yang tersimpan dapat digunakan sesuai kebutuhan.

Pemanfaatan biogas yang sudah jadi. Gas yang sudah mulai terbentuk dapat digunakan untuk menghidupkan nyala api

pada kompor. Selanjutnya instalasi sudah dapat menghasilkan energi biogas yang selalu terbarukan. Digester dapat terus diisi lumpur kotoran secara kontinu sehingga dihasilkan biogas yang optimal. Produksi biogas yang berlangsung secara kontinuitas dapat terjadi jika lumpur kotoran ada dan tersedia. Selain menghasilkan biogas, proses pembuatan biogas juga menghasilkan sisa buangan lumpur yang dapat digunakan sebagai pupuk organik.



Gambar 4.13 Proses Kerja Digester
(Sumber: www.muryanto-taniternak.com)



Gambar 4.14 Tahap Pembuangan Slurry
(Sumber: data primer diolah)

Pengolahan pupuk padat dan cair. Limbah yang diolah melalui instalasi biogas memberikan produk sampingan berupa sludge atau ampas yang jika diproses lebih lanjut dapat menjadi pupuk organik baik padat maupun cair. Menurut Simamora (2006) bahwa pupuk organik yang berasal dari ampas/*sludge* biogas lebih baik kualitasnya sebagai pupuk organik dibandingkan sisa kotoran ternak yang langsung dibuat menjadi pupuk kandang.

Pupuk yang didapat dari *slurry* biogas dapat berupa pupuk organik cair dan kompos organik padat. Pembuatan pupuk dari *slurry* biogas sangat mudah yaitu dengan memisahkan antara padatan dan cairan dari *slurry* biogas. Padatan *slurry* kemudian dijemur atau diangin-anginkan hingga kering untuk mendapatkan pupuk padat. Sedangkan untuk menghasilkan pupuk cair, cairan *slurry* dikontakkan dengan udara sampai beberapa hari untuk menghilangkan gas dan menstabilkan cairan.

Usaha pengolahan pupuk, seperti akan memberikan keuntungan berupa terprosesnya kembali ampas/*sludge* biogas. Dalam pengolahan pupuk lebih lanjut diperlukan beberapa

peralatan dan sarana pendukung, baik itu untuk pupuk padat dan pupuk cair.

i. Pupuk Cair

Ampas/*slurry* yang dihasilkan sudah mempunyai sifat seperti kompos, akan menyulitkan dalam pengemasan dan akan dipisahkan menjadi pupuk padat tetapi karena bentuknya lumpur maka mudah dalam pemisahan. Pemisahan *slurry* dilakukan dengan cara dan alat yang sederhana. Dapat menggunakan alat saringan yang terbuat dari kawat nyamuk, dan saringan kelapa. Berikut proses pengolahan pupuk cair :

- Lumpur dari sisa hasil biogas disaring dengan saringan pasir diteruskan dengan saringan kawat halus dan ditampung dalam drum plastik ukuran 150 liter. Sedangkan ampas padatan dari penyaringan dikumpulkan terlebih dahulu.
- Untuk meningkatkan Cairan pupuk yang ada di drum kualitasnya perlu dicampurkan dengan tepung tulang atau tepung darah (dapat dibeli di toko bahan kimia) lalu dibiarkan 8-10 hari.
- Setelah kurang lebih 8-10 hari, cairan tersebut disaring kembali dengan menggunakan kain karung bekas kemasan tepung terigu. Cairan hasil penyaringan tersebut ditampung lagi dalam drum plastik lalu dibiarkan selama 3-4 hari dan sesekali dibuka untuk melepaskan gas yang tersisa.
- Bila cairan sudah menjadi bening dan partikel yang ada sudah mengendap maka cairan pupuk tersebut bisa langsung dimasukkan ke dalam botol dan siap untuk dijual.

ii. Pupuk Padat

Sisa ampas padatan dari pupuk cair juga dapat diolah bersamaan dengan pengolahan pupuk cair. Bagian padatan yang

telah dipisah, dapat langsung dijemur selama kurang lebih 7-10 hari sampai ampas/padatan tersebut benar-benar kering.

Ampas tersebut dijemur di bawah sinar matahari. Lumpur yang dihasilkan dari instalasi biogas memiliki keunggulan, yaitu tidak bau sehingga walaupun dijemur didekat aktivitas orang maka tidak akan menimbulkan masalah bau. Pengeringan ampas dilakukan sampai kadar air yang tersisa hanya 20 persen dari keadaan awal. Setelah kering, pupuk organik padat langsung dikemas dalam kantong plastik ukuran 5 kg dan siap dipasarkan. Untuk mendapatkan kualitas pupuk yang baik, pupuk padat yang telah kering dapat dicampurkan dengan tepung tulang atau tepung darah. Bahan ini dapat dibeli di toko bahan kimia terdekat, hal ini dimaksudkan agar kualitas pupuk lebih baik.

IV.5 ASPEK LINGKUNGAN

Perkembangan dunia maritim yang sejalan dengan peningkatan transportasi laut menyebabkan meningkatnya pencemaran laut. Selain itu belum diratifikasinya regulasi tentang pembuangan sewage menyebabkan makin maraknya illegal dumping. Padahal di sisi lain menciptakan lingkungan yang sehat dan bebas dari polusi yang merupakan tanggungjawab semua pihak. Aspek lingkungan ini dapat mendorong pelayaran kapal untuk mengurangi pencemaran lingkungan laut terutama pada pembuangan sewage. Selain itu dapat mengurangi kadar bakteri patogen yang terdapat dalam kotoran, yang dapat menyebabkan penyakit bila dibuang begitu saja.

Biogas yang dihasilkan dari instalasi secara tidak langsung telah banyak membawa manfaat terhadap lingkungan. Limbah yang awalnya dibuang ke laut, dengan dibangunnya instalasi biogas dapat termanfaatkan dengan baik. Limbah tersebut diproses di dalam instalasi yang tidak menimbulkan bau menyengat. Ampas atau sludge tersebut diproses kembali menjadi pupuk organik yang dapat dimanfaatkan. Biogas yang telah ada minimal dapat

mengurangi limbah yang dibuang ke laut sehingga tingkat pencemaran laut akibat limbah dari sanitari dapat dikurangi.

IV.6 ASPEK EKONOMI

IV.6.1 Nilai Ekonomi Konversi Biogas

Selain estimasi kebutuhan biogas untuk memenuhi bahan bakar yang dibutuhkan, maka pembahasan tentang nilai ekonomis pengkonversian biogas terhadap bahan bakar lain juga perlu dipaparkan. Jika dibandingkan ketika menggunakan LPG dengan biogas maka yang lebih produktif penggunaannya dan yang paling memberi manfaat adalah biogas karena dapat menghemat pengeluaran keuangan.

Tabel 4.11. Biaya Penggunaan Gas LPG Sebelum Menggunakan Biogas

Jenis Penggunaan	Kapasitas	Lama Pemakaian	Konsumsi /hari
Kompore Gas Elpiji	12 kg	9 jam/hari	1.286 kg

Konsumsi /bln	Biaya /bulan	Konsumsi /thn	Biaya /tahun
38.58 kg atau setara 3.2 tabung	Rp 450,100	462.96 kg atau setara 38.6 tabung	Rp 5,401,200

(Sumber: data primer diolah)

Dalam Tabel 4.11 di atas, sebelum Penggunaan biogas, dapur menggunakan gas LPG dengan pemakaian 9 jam perhari dalam 1 bulan = 9 Jam x 30 hari = 270 Jam. Harga gas ELPIJI Rp. 12.000 /kg. Jika dilihat dari kuantitasnya, penggunaan 9 jam = 1,286 kg gas ELPIJI. Jadi jika dirupiahkan pengeluaran perhari adalah 1,286 kg x Rp. 12.000 = Rp. 15.432,- per hari. Total konsumsi gas per bulan sebanyak 3,2 tabung ELPIJI 12 kg, sehingga pengeluaran untuk pemakaian gas ELPIJI per bulan adalah Rp. 450.100 dan sebanyak 38,6 tabung ELPIJI 12 kg dengan biaya Rp. 5.401.200 selama satu tahun. Untuk nilai *saving cost* nya dijelaskan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12. Nilai Penghematan Penggunaan Biogas Sebagai Pengganti Gas LPG

per hari	Setara kg ELPIJI	Lama Waktu (menit)	Harga per kg	Total Biaya /hari
1.29 m ³	0.59	267	Rp 12,000	Rp 7,080

Konv. ELPIJI (kg/bulan)	Dalam Jml Tabung Gas	Total Biaya /bulan	Konv. ELPIJI (kg/tahun)	Dalam Jml Tabung Gas	Total Biaya /tahun
17.7 kg	1.5	Rp 212,400	212.4 kg	17.7	Rp 2,548,800

(Sumber: data primer diolah)

Jika nilai ekonomis dikonversikan dari potensi aktual biogas yang dihasilkan yaitu 1,29 m³ per hari, maka pemanfaatan biogas dapat digunakan selama 4 jam 27 menit. Jika disetarakan dengan gas ELPIJI maka sama dengan 0,59 kg gas ELPIJI. Jika dirupiahkan pengeluaran tersebut maka didapat 0,59 kg x Rp. 12.000 = Rp. 7.080 per hari. Total *saving cost* dari pengganti gas ELPIJI ini dalam sebulan didapat 1,5 tabung gas dari pemakaian semula 3,2 tabung dengan biaya Rp. 212.400 dan dapat menghemat 17,7 tabung gas dari konsumsi awal 38,6 tabung dengan biaya yang dihemat sebesar Rp. 2.548.800 dalam satu tahun. Jadi, jika ditinjau nilai ekonomisnya dari segi *saving cost* maka dari penggunaan 1,29 m³ biogas per hari dapat menghemat sebesar 47% dari biaya operasional gas sebelumnya.

IV.6.2 Analisa Biaya

Arus pengeluaran dalam analisis kelayakan pengembangan instalasi biogas terdiri dari biaya investasi dan biaya operasional. Arus biaya mencerminkan pengeluaran-pengeluaran yang terjadi selama masa pengembangan instalasi biogas.

Analisis biaya digunakan untuk mengetahui jumlah biaya yang dikeluarkan oleh owner kapal dalam membangun sistem biogas.

i. Biaya Investasi

Pada program pengembangan biogas, biaya investasi dikeluarkan pada awal proyek secara keseluruhan. Umur ekonomis dari instalasi biogas adalah 20 tahun. Hal ini dilihat dari kondisi bangunan dan peralatan yang dipakai diperkirakan dapat bertahan 20 tahun. Biaya investasi instalasi biogas terdiri dari biaya peralatan dan instalasi lainnya termasuk biaya variabel yang digunakan seperti bakteri pembangkit dan absorben. Rincian biaya investasi yang dikeluarkan pada proyek pembuatan instalasi biogas dapat dilihat pada Tabel 4.13

Tabel 4.13. Rincian Biaya Investasi Instalasi Biogas

No.	Nama Barang	Merk/Kapasitas	Jml	Satuan	Harga Satuan	Total Harga
1	Digester Biogas + Jasa	PENNYU - 5000 liter	1	Unit	Rp 17,500,000	Rp 17,500,000
2	Gas Recevoir	BRT1010 - 1000 liter	3	Unit	Rp 1,395,000	Rp 4,185,000
3	Kompresor Biogas	MP1HP22 - 110 ltr/m	1	Unit	Rp 5,950,000	Rp 5,950,000
4	Blower Biogas		1	Unit	Rp 5,000,000	Rp 5,000,000
5	Gas Scrubber	MP1270	1	Unit	Rp 1,950,000	Rp 1,950,000
6	Pipa PVC 1/2"	@ 4 meter	6	Lonjor	Rp 25,800	Rp 154,800
7	fitting PVC 1/2"		25	Biji	Rp 2,500	Rp 62,500
8	Ball Valve PVC 1/2"		3	Buah	Rp 7,000	Rp 21,000
9	Pipa PVC 4"	@ 4 meter	2	Lonjor	Rp 255,000	Rp 510,000
10	Elbow PVC 4"		3	Biji	Rp 23,700	Rp 71,100
11	Pipa galvanized 4"	@ 6 meter	1	Lonjor	Rp 2,395,000	Rp 2,395,000
12	Elbow Steel 4"		2	Biji	Rp 170,000	Rp 340,000
13	Gate Valve 4"		1	Buah	Rp 5,645,000	Rp 5,645,000
14	Biaya lain-lain		1		Rp 5,000,000	Rp 5,000,000
Total						Rp 48,784,400

(Sumber: data primer diolah)

Tabel 4.14. Rincian Biaya Operasional Instalasi Biogas

1	Nama Barang	Satuan	Harga Satuan	Penggunaan	Jumlah Setahun	Keterangan
1	Zeolite	kg	Rp 20,000	diganti 2 bulan sekali	Rp 120,000	
2	Botol HDPE 1 liter	Botol	Rp 3,350	150 botol tiap 1x proses	Rp 24,120,000	1 Bulan dapat 4x proses
3	Plastik Kemasan 5 kg	Kantong	Rp 1,950	2 kantong @5kg tiap 1x proses	Rp 187,200	1 Bulan dapat 4x proses
Total					Rp 24,427,200	

(Sumber: data primer diolah)

Total kebutuhan modal investasi adalah Rp.73.211.600, terdiri dari biaya harta tetap Rp. 48.784.400 dan Modal kerja Rp. 24.427.200. Modal investasi dipenuhi dari pinjaman bank dan modal sendiri dengan porsi masing-masing 70% dan 30%. Pinjaman bank akan dibebankan biaya bunga 10% per tahun

selama umur ekonomis. Angsuran bunga dan pinjaman pokok akan dibayarkan dengan jumlah yang sama setiap tahun (flat).

IV.6.3 Analisa Finansial

Analisis ini digunakan untuk melihat kelayakan suatu kegiatan yang dilakukan. Secara finansial, aspek penilaian kelayakan dilihat melalui nilai *Payback Period*, *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, dan *Profitability Index*. Analisis kelayakan finansial dilakukan dengan menggunakan tingkat suku bunga 10% yang merupakan tingkat rata-rata suku bunga di beberapa Bank Pemerintah selama periode satu tahun. Kriteria ini dilakukan untuk melihat sejauhmana kelayakan proyek tersebut, jika peternak menggunakan modal pinjaman dari Bank Pemerintah yang ada.

IV.6.3.1 Aliran Kas

Aliran kas dalam pengembangan biogas terdiri dari aliran kas masuk dan aliran kas ke luar. Aliran kas masuk (*inflow*) berasal dari penerimaan penjualan pupuk organik dan biogas yang diusahakan. Arus kas ke luar (*outflow*) berasal dari pengeluaran biaya investasi dan biaya operasional. Selisih besaran antara arus kas masuk dengan arus kas ke luar merupakan suatu keuntungan atau kerugian dari pengembangan instalasi biogas.

Dengan arus tunai (*cash flow*) pada tingkat suku bunga 10% dianalisis kelayakan finansial berdasarkan kriteria-kriteria yang telah ditentukan.

i. Arus Penerimaan (*inflow*)

Manfaat atau penerimaan proyek instalasi biogas bersumber dari penjualan pupuk organik dan pemakaian biogas yang dihasilkan. Besarnya penerimaan sangat bergantung oleh banyaknya limbah (*human excreta*) yang dimasukkan ke dalam instalasi biogas. Karena biogas yang dihasilkan dalam instalasi ini digunakan oleh kapal sendiri, maka untuk mendapatkan harga jual dari biogas, harga gas dikonversikan dengan harga pemakaian

minyak solar atau LPG yang dikeluarkan oleh kapal selama ini. Dengan asumsi pemakaian LPG oleh dapur kapal selama ini dapat diketahui harga pemakaian biogas selama setahun, yaitu sebesar Rp. 19.882.496.

Untuk penerimaan pupuk organik berbeda antara pupuk padat dan pupuk cair. Penerimaan untuk pupuk organik hanya didapat per tahun. Untuk pupuk cair dan padat dengan hasil produksi per tahun diperoleh penerimaan per tahun sebanyak Rp 72.480.000.

ii. Arus Pengeluaran (*Outflow*)

Arus pengeluaran dalam analisis kelayakan pengembangan instalasi biogas terdiri dari biaya investasi dan biaya operasional. Arus biaya mencerminkan pengeluaran-pengeluaran yang terjadi selama masa pengembangan instalasi biogas.

Biaya investasi. Pada program pengembangan biogas, biaya investasi dikeluarkan pada awal proyek secara keseluruhan. Umur ekonomis dari instalasi biogas adalah 20 tahun. Hal ini dilihat dari kondisi bangunan dan peralatan yang dipakai diperkirakan dapat bertahan 20 tahun. Biaya investasi instalasi biogas terdiri dari biaya investasi peralatan dan instalasi lainnya. Rincian biaya investasi yang dikeluarkan pada proyek pembuatan instalasi biogas dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Biaya Operasional. Biaya variabel dalam instalasi biogas meliputi biaya starter, konsumable untuk produksi pupuk organik. Jumlah biaya variabel pada tahun ke tahun diasumsikan sama dengan biaya tahun pertama. Jumlah biaya variabel yang dikeluarkan dalam satu tahun kegiatan operasional instalasi biogas dan pengolahan limbah Rp 24.427.200.

IV.6.3.2 Proyeksi Laba Rugi

Proyeksi Laba-rugi merupakan proyeksi keuangan perusahaan yang menunjukkan tingkat keuntungan atau kerugian yang dialami perusahaan pada periode waktu tertentu atau setiap

tahunnya selama umur ekonomis. Dikatakan untung apabila laba setelah pajak (*Earning After Taks-EAT*) menunjukkan nilai positif, dan begitu juga sebaliknya.

Tabel 4.15. Proyeksi Laba-Rugi Operasional Instalasi Biogas

Uraian	Tahun					
	Trial	2017	2018	2019	2020	2021
Pendapatan	Rp -	Rp 72,480,000	Rp 74,654,400	Rp 76,894,032	Rp 79,200,852.96	Rp 48,320,000
Harga Pokok Penjualan Biogas	Rp 9,805,067	Rp 19,610,133	Rp 20,198,437.30	Rp 20,786,741	Rp 21,375,045.30	Rp 13,073,422
Biaya Operasional	Rp -	Rp 24,427,200	Rp 24,427,200	Rp 24,427,200	Rp 24,427,200	Rp 24,427,200
Biaya Perawatan	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 1,000,000
Laba Operasi	Rp -	Rp 28,442,667	Rp 30,028,763	Rp 31,680,091	Rp 33,398,608	Rp 10,819,378
Biaya Angsuran Pokok & bunga bank	Rp 3,843,609	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218
Angsuran Modal Sendiri	Rp -	Rp 2,196,348.00	Rp 2,196,348	Rp 2,196,348	Rp 2,196,348.00	Rp 2,196,348
Laba Sebelum Pajak	Rp 3,843,609	Rp 18,559,101	Rp 20,145,197	Rp 21,796,525	Rp 23,515,042	Rp 935,812
Pajak 10%	Rp -	Rp 1,855,910	Rp 2,014,520	Rp 2,179,652	Rp 2,351,504	Rp 93,581
Laba Bersih (EAT)	Rp -	Rp 16,703,191	Rp 18,130,677	Rp 19,616,872	Rp 21,163,537	Rp 842,231

Tahun					
2022	2023	2024	2025	2026	
Rp 72,480,000	Rp 74,654,400	Rp 76,894,032	Rp 79,200,852.96	Rp 48,320,000	
Rp 19,610,133	Rp 20,198,437.30	Rp 20,786,741	Rp 20,982,843	Rp 13,073,422	
Rp 24,427,200	Rp 24,427,200	Rp 24,427,200	Rp 24,427,200	Rp 24,427,200	
Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 1,000,000	
Rp 28,442,667	Rp 30,028,763	Rp 31,680,091	Rp 33,790,810	Rp 10,819,378	
Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	
Rp 2,196,348	Rp 2,196,348	Rp 2,196,348	Rp 2,196,348	Rp 2,196,348	
Rp 18,559,101	Rp 20,145,197	Rp 21,796,525	Rp 23,907,244	Rp 935,812	
Rp 1,855,910	Rp 2,014,520	Rp 2,179,652	Rp 2,390,724	Rp 93,581	
Rp 16,703,191	Rp 18,130,677	Rp 19,616,872	Rp 21,516,520	Rp 842,231	

Tahun					
2027	2028	2029	2030	2031	
Rp 72,480,000	Rp 74,654,400	Rp 76,894,032	Rp 79,200,853	Rp 48,320,000	
Rp 19,610,133	Rp 20,198,437.30	Rp 20,786,741.30	Rp 21,375,045.30	Rp 13,073,422	
Rp 24,427,200	Rp 24,427,200	Rp 24,427,200	Rp 24,427,200	Rp 24,427,200	
Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 1,000,000	
Rp 28,442,667	Rp 30,028,763	Rp 31,680,091	Rp 33,398,608	Rp 10,819,378	
Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	
Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	
Rp 20,755,449	Rp 22,341,545	Rp 23,992,873	Rp 25,711,390	Rp 3,132,160	
Rp 2,075,545	Rp 2,234,154	Rp 2,399,287	Rp 2,571,139	Rp 313,216	
Rp 18,679,904	Rp 20,107,390	Rp 21,593,585	Rp 23,140,251	Rp 2,818,944	

		Tahun							
		2032	2033	2034	2035	2036			
Rp	72,480,000	Rp	74,654,400	Rp	76,894,032	Rp	79,200,853	Rp	48,320,000
Rp	19,610,133	Rp	20,198,437.30	Rp	20,786,741.30	Rp	21,375,045.30	Rp	13,073,422
Rp	24,427,200	Rp	24,427,200	Rp	24,427,200	Rp	24,427,200	Rp	24,427,200
Rp	-	Rp	-	Rp	-	Rp	-	Rp	1,000,000
Rp	28,442,667	Rp	30,028,763	Rp	31,680,091	Rp	33,398,608	Rp	10,819,378
Rp	7,687,218	Rp	7,687,218	Rp	7,687,218	Rp	7,687,218	Rp	3,843,609
Rp	-	Rp	-	Rp	-	Rp	-	Rp	-
Rp	20,755,449	Rp	22,341,545	Rp	23,992,873	Rp	25,711,390	Rp	6,975,769
Rp	2,075,545	Rp	2,234,154	Rp	2,399,287	Rp	2,571,139	Rp	697,577
Rp	18,679,904	Rp	20,107,390	Rp	21,593,585	Rp	23,140,251	Rp	6,278,192

(Sumber: data primer diolah)

IV.6.3.3 Laporan Arus Kas (Cash Flow)

Proyeksi arus kas (*cash flow*) akan menyajikan anggaran keuangan untuk semua penerimaan dan pengeluaran di masa yang akan datang, sehingga calon investor dapat melihat kemampuan usaha dalam menciptakan surplus atau defisit keuangan. Berikut di bawah ini tabel proyeksi arus kas dari penjualan pupuk dan tabel proyeksi arus kas pemanfaatan biogas untuk pengganti bahan bakar yang dikonversikan ke harga yang digantikan.

Tabel 4.16. Proyeksi Arus Kas (*Cash Flow*) Operasional Instalasi Biogas

Uraian	Tahun					
	Trial	2017	2018	2019	2020	2021
Aktivitas Operasi :						
-Penerimaan						
• Pendapatan tunai	Rp -	Rp 72,480,000	Rp 74,654,400	Rp 76,894,032	Rp 79,200,853	Rp 48,320,000
Total	Rp -	Rp 72,480,000	Rp 74,654,400	Rp 76,894,032	Rp 79,200,853	Rp 48,320,000
-Pengeluaran						
• Biaya cicilan	Rp 3,843,609	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218
• Biaya cicilan atas modal sendiri	Rp -	Rp 2,196,348	Rp 2,196,348	Rp 2,196,348	Rp 2,196,348	Rp 2,196,348
• Biaya Operasional	Rp -	Rp 24,427,200	Rp 24,427,200	Rp 24,427,200	Rp 24,427,200	Rp 24,427,200
• Biaya Perawatan	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 1,000,000
• Pajak	Rp -	Rp 1,855,910	Rp 2,014,520	Rp 2,179,652	Rp 2,351,504	Rp 93,581
Total	Rp 3,843,609	Rp 36,166,676	Rp 36,325,286	Rp 36,490,418	Rp 36,662,270	Rp 35,404,347
Kas Akhir	-Rp 3,843,609	Rp 36,313,324	Rp 38,329,114	Rp 40,403,614	Rp 42,538,583	Rp 12,915,653
Kumulatif	-Rp 3,843,609	Rp 32,469,715	Rp 70,798,829	Rp 111,202,443	Rp 153,741,026	Rp 166,656,678

Tahun					
2022	2023	2024	2025	2026	
Rp 72,480,000	Rp 74,654,400	Rp 76,894,032	Rp 79,200,853	Rp 48,320,000	
Rp 72,480,000	Rp 74,654,400	Rp 76,894,032	Rp 79,200,853	Rp 48,320,000	
Rp 7,687,218					
Rp 2,196,348					
Rp 24,427,200					
Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 1,000,000	
Rp 1,855,910	Rp 2,014,520	Rp 2,179,652	Rp 2,390,724	Rp 93,581	
Rp 36,166,676	Rp 36,325,286	Rp 36,490,418	Rp 36,701,490	Rp 35,404,347	
Rp 36,313,324	Rp 38,329,114	Rp 40,403,614	Rp 42,499,363	Rp 12,915,653	
Rp 202,970,002	Rp 241,299,117	Rp 281,702,730	Rp 324,202,093	Rp 337,117,746	

Tahun					
2027	2028	2029	2030	2031	
Rp 72,480,000	Rp 74,654,400	Rp 76,894,032	Rp 79,200,853	Rp 48,320,000	
Rp 72,480,000	Rp 74,654,400	Rp 76,894,032	Rp 79,200,853	Rp 48,320,000	
Rp 7,687,218					
Rp -					
Rp 24,427,200					
Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 1,000,000	
Rp 2,075,545	Rp 2,234,154	Rp 2,399,287	Rp 2,571,139	Rp 313,216	
Rp 34,189,963	Rp 34,348,572	Rp 34,513,705	Rp 34,685,557	Rp 33,427,634	
Rp 38,290,037	Rp 40,305,828	Rp 42,380,327	Rp 44,515,296	Rp 14,892,366	
Rp 375,407,783	Rp 415,713,610	Rp 458,093,937	Rp 502,609,233	Rp 517,501,599	

Tahun					
2027	2028	2029	2030	2031	
Rp 72,480,000	Rp 74,654,400	Rp 76,894,032	Rp 79,200,853	Rp 48,320,000	
Rp 72,480,000	Rp 74,654,400	Rp 76,894,032	Rp 79,200,853	Rp 48,320,000	
Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	Rp 7,687,218	Rp 3,843,609	
Rp -					
Rp 24,427,200					
Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 1,000,000	
Rp 2,075,545	Rp 2,234,154	Rp 2,399,287	Rp 2,571,139	Rp 697,577	
Rp 34,189,963	Rp 34,348,572	Rp 34,513,705	Rp 34,685,557	Rp 29,968,386	
Rp 38,290,037	Rp 40,305,828	Rp 42,380,327	Rp 44,515,296	Rp 18,351,614	
Rp 555,791,636	Rp 596,097,464	Rp 638,477,790	Rp 682,993,086	Rp 701,344,700	

(Sumber: data primer diolah)

Tabel 4.17. Proyeksi Arus Kas (*Cash Flow*) Konversi Pemanfaatan Gas

Uraian	Tahun					
	Trial	2017	2018	2019	2020	2021
Aktivitas Operasi :						
-Penerimaan						
• Keuntungan penggantian BBM	Rp 9,805,067	Rp 19,610,133	Rp 20,198,437	Rp 20,786,741	Rp 21,375,045	Rp 13,073,422
Total	Rp 9,805,067	Rp 19,610,133	Rp 20,198,437	Rp 20,786,741	Rp 21,375,045	Rp 13,073,422
Kas Akhir Kumulatif	Rp 9,805,067	Rp 19,610,133	Rp 20,198,437	Rp 20,786,741	Rp 21,375,045	Rp 13,073,422
	Rp 9,805,067	Rp 29,415,200	Rp 49,613,637	Rp 70,400,379	Rp 91,775,424	Rp 104,848,846

Tahun				
2022	2023	2024	2025	2026
Rp 19,610,133	Rp 20,198,437	Rp 20,786,741	Rp 20,982,843	Rp 13,073,422
Rp 19,610,133	Rp 20,198,437	Rp 20,786,741	Rp 20,982,843	Rp 13,073,422
Rp 19,610,133	Rp 20,198,437	Rp 20,786,741	Rp 20,982,843	Rp 13,073,422
Rp 124,458,979	Rp 144,657,417	Rp 165,444,158	Rp 186,427,001	Rp 199,500,423

Tahun				
2027	2028	2029	2030	2031
Rp 19,610,133	Rp 20,198,437	Rp 20,786,741	Rp 21,375,045	Rp 13,073,422
Rp 19,610,133	Rp 20,198,437	Rp 20,786,741	Rp 21,375,045	Rp 13,073,422
Rp 19,610,133	Rp 20,198,437	Rp 20,786,741	Rp 21,375,045	Rp 13,073,422
Rp 219,110,556	Rp 239,308,993	Rp 260,095,735	Rp 281,470,780	Rp 294,544,202

Tahun				
2027	2028	2029	2030	2031
Rp 19,610,133	Rp 20,198,437	Rp 20,786,741	Rp 21,375,045	Rp 13,073,422
Rp 19,610,133	Rp 20,198,437	Rp 20,786,741	Rp 21,375,045	Rp 13,073,422
Rp 19,610,133	Rp 20,198,437	Rp 20,786,741	Rp 21,375,045	Rp 13,073,422
Rp 314,154,335	Rp 334,352,773	Rp 355,139,514	Rp 376,514,559	Rp 389,587,982

IV.6.3.4 Kriteria Kelayakan Investasi

Analisis kriteria kelayakan finansial digunakan untuk menilai kelayakan proyek. Dalam penelitian ini digunakan beberapa kriteria kelayakan usaha yaitu *Payback Period*, *NPV*, *Net B/C*, *IRR* dan *Profitability Index*. Analisis kelayakan Investasi dilakukan dengan menggunakan tingkat suku bunga 10 persen. Tingkat suku bunga 10 persen merupakan tingkat suku bunga rata-rata di beberapa Bank Pemerintah selama periode Juli 2016 – Juni 2017. Kriteria ini dilakukan untuk melihat sejauh mana kelayakan proyek tersebut jika peternak menggunakan modal pinjaman dari Bank yang ada.

i. Periode Pengembalian (*Payback Period*)

Metode ini digunakan untuk menghitung jangka waktu pengembalian atau pemulihan investasi yang telah dikeluarkan dengan total nilai sekarang arus kas yang akan dihasilkan. Semakin cepat investasi tersebut dapat dikembalikan, semakin baik usaha tersebut untuk dipilih.

Secara matematis payback period suatu usaha dapat dirumuskan sebagai berikut. ⁴³⁾

$$(\text{Payback Period}) = n + \frac{a - b}{c - b} + 1 \text{ tahun}$$

Keterangan:

n : Tahun terakhir dimana jumlah arus kas masih belum bisa menutup investasi mula-mula.

a : Jumlah investasi mula-mula.

b : Jumlah komulatif arus kas pada tahun ke-n.

c : Jumlah arus kas komulatif pada tahun ke-n+1.

Kriteria *Payback Period*:

- Proyek/usaha layak apabila pemuluan modal investasi lebih pendek dari umur ekonomis.
- Proyek/usaha tidak layak apabila masa pemulihan modal investasi lebih lama dari umur ekonomisnya.

Pembahasan:

Berikut dibahas jangka waktu pengembalian dari hasil keuntungan penjualan pupuk yang sudah diproyeksikan dalam Tabel 4.14. Dan di bawah ini perumusan dan hasil waktu pengembalian.

$$\begin{aligned} (\text{Payback Period}) &= n + \frac{a - b}{c - b} + 1 \text{ tahun} \\ &= 2 + \frac{\text{Rp } 73,211,600 - \text{Rp } 70,798,829}{\text{Rp } 111,202,443 - \text{Rp } 70,798,829} + 1 \text{ tahun} \\ &= 2 + \frac{\text{Rp } 2,412,771}{\text{Rp } 40,403,614} + 1 \\ &= 3.1 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Payback Period dari hasil penjualan pupuk = 3.1 Tahun < 20 Tahun (LAYAK)

Artinya: Investasi dinilai **layak** karena memiliki masa pengembalian lebih kecil dari umur ekonomisnya.

Kemudian berikutnya pembahasan jangka waktu pengembalian dari hasil keuntungan yang sudah dikonversikan untuk pengganti bahan bakar lain untuk penggunaan sendiri. Proyeksi arus kas bisa dilihat pada Tabel 4.15. Dan di bawah ini perumusan dan hasil waktu pengembalian.

$$\begin{aligned}
 (\text{Payback Period}) &= n + \frac{a - b}{c - b} + 1 \text{ tahun} \\
 &= 3 + \frac{\text{Rp } 73,211,600 - \text{Rp } 70,400,379}{\text{Rp } 91,775,424 - \text{Rp } 70,400,379} + 1 \text{ tahun} \\
 &= 3 + \frac{\text{Rp } 2,811,221}{\text{Rp } 21,375,045} + 1 \\
 &= 4.1 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Payback Period dari hasil penggunaan gas = 4.1 Tahun < 20 Tahun (LAYAK)

Artinya: Investasi dinilai **layak** karena memiliki masa pengembalian lebih kecil dari umur ekonomisnya.

ii. *Net Present Value (NPV)*

Net Present Value merupakan nilai sekarang dari arus kas usaha pada masa yang akan datang didiskontokan dengan biaya modal rata-rata yang digunakan (*weighted average cost of capital*) atau disebut juga tingkat bunga, kemudian dikurangi dengan nilai investasi yang telah dikeluarkan. Secara matematis nilai NPV dapat diperoleh dengan menggunakan formulasi sebagai berikut. ⁴⁴⁾

$$NPV = \sum_{t=i}^{t=n} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}$$

Dimana:

- B_t = Manfaat yang diperoleh tiap bulan
- C_t = Biaya yang dikeluarkan tiap bulan
- i = Tingkat bunga
- t = 1, 2, ..., n
- n = Jumlah tahun

Keiteria penilaian kelayakan:

- Jika $NPV > 0$, maka usulan investasi diterima
- Jika $NPV < 0$, maka usulan investasi ditolak
- Jika $NPV = 0$, maka usulan investasi kemungkinan diterima.

Pembahasan:

Dari Tabel 4.16 diperlihatkan NPV bernilai positif atau lebih dari 0 yaitu bernilai Rp. 18.207.690, maka usulan investasi proyek tersebut dapat diterima dan dipertimbangkan.

Tabel 4.18. *Net Present Value (NPV)*

Tahun	Kas Akhir Tahun ke-n	PVIF 10%	Nilai Sekarang (PV)
TRIAL	-Rp 61,058,000.00		
2017	-Rp 5,284,789	0.9091	-Rp 4,804,402.02
2018	-Rp 1,418,083	0.8264	-Rp 1,171,903.77
2019	Rp 2,507,332	0.7513	Rp 1,883,758.71
2020	Rp 6,493,217	0.683	Rp 4,434,867.55
2021	-Rp 4,326,469	0.6209	-Rp 2,686,304.84
2022	Rp 6,911,311	0.5645	Rp 3,901,434.85
2023	Rp 10,778,017	0.5132	Rp 5,531,278.34
2024	Rp 14,703,432	0.4665	Rp 6,859,151.14
2025	Rp 19,042,300	0.4241	Rp 8,075,839.39
2026	Rp 7,869,631	0.3855	Rp 3,033,742.60
2027	Rp 21,084,124	0.3505	Rp 7,389,985.40
2028	Rp 24,950,830	0.3186	Rp 7,949,334.51
2029	Rp 28,876,245	0.2897	Rp 8,365,448.30
2030	Rp 32,862,131	0.2633	Rp 8,652,599.01
2031	Rp 22,042,444	0.2394	Rp 5,276,961.05
2032	Rp 30,841,004	0.2176	Rp 6,711,002.43
2033	Rp 32,268,490	0.1978	Rp 6,382,707.37
2034	Rp 33,754,685	0.1799	Rp 6,072,467.91
2035	Rp 35,301,351	0.1635	Rp 5,771,770.84
2036	Rp 25,501,692	0.1486	Rp 3,789,551.42
	Total Nilai Sekarang		Rp 91,419,290.20
	Investasi Awal		Rp 73,211,600.00
	Net Present Value		Rp 18,207,690.20
	IRR		13.4%

(Sumber: data primer diolah)

iii. *Internal Rate of Return (IRR)*

Internal Rate Of Return adalah *discount rate* yang menyamakan nilai sekarang (*present value*) dari arus kas masuk dan nilai investasi suatu usaha. Dengan kata lain, IRR

adalah *discount rate* yang menghasilkan NPV sama dengan nol. Jika biaya modal suatu usaha lebih besar dari IRR, maka NPV menjadi negatif, sehingga usaha tersebut tidak layak untuk diambil. Jadi semakin tinggi IRR dibandingkan biaya modalnya (WACC) semakin baik usaha tersebut untuk dipilih. sebaliknya jika IRR lebih kecil dari biaya modalnya, proyek tersebut tidak akan diambil. Jadi biaya modal maksimum yang dapat ditanggung suatu usaha adalah sebesar IRR.

Adapun rumus menghitung IRR suatu proyek adalah sebagai berikut:

$$IRR = i_1 + i_2 - \left[i_1 \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right]$$

Dimana:

NPV_1 = NPV yang bernilai positif

NPV_2 = NPV yang bernilai negatif

I_1 = Tingkat bunga yang menghasilkan NPV_1

I_2 = Tingkat bunga yang menghasilkan NPV_2

Keiteria penilaian kelayakan:

- Proyek/usaha dinilai layak jika $IRR >$ dari persentase biaya modal (bunga kredit) atau sesuai dengan persentase keuntungan yang di inginkan.
- Sebaliknya, proyek/usaha dinilai tidak layak bila $IRR <$ dari biaya modal, atau lebih rendah dari keuntungan yang diharapkan investor.

Pembahasan:

Dari Tabel 4.18 diperlihatkan persentase IRR bernilai lebih besar dari tingkat suku bunga modal pinjaman

yaitu bernilai 13,4%, maka usulan investasi proyek tersebut dapat diterima dan dipertimbangkan.



Grafik 4.1 Aliran Kas
(Sumber: data primer diolah)



Grafik 4.2 Nilai Sekarang (PV)
(Sumber: data primer diolah)

Investasi dinilai layak berdasarkan kriteria NPV karena memiliki nilai NPV positif sebesar Rp. 18.207.690.

iv. *Profitability Index (PI)*

Index profitability adalah rasio atau perbandingan antara jumlah nilai sekarang arus kas selama umur ekonomisnya dan pengeluaran awal proyek, atau dapat juga dikatakan sebagai perbandingan antara PV arus kas dengan investasi awal, biasanya disebut juga sebagai *Benefit Cost Ratio (B/C Ratio)*. PI dapat dirumuskan sebagai berikut. ⁴⁵⁾

$$\text{Profitability Index} = \frac{\text{PV Cash Inflow}}{\text{PV Initial Investment}}$$

Kriteria Penilaian Kelayakan:

- Proyek dinilai layak jika $PI > 1,00$ atau $= 1,00$
- Jika $PI < 1,00$ maka proyek dinilai tidak layak

Pembahasan:

$$\begin{aligned} \text{Profitability Index (PI)} &= \frac{\text{PV}}{\text{Investasi}} \\ &= \frac{\text{Rp } 91,419,290.20}{\text{Rp } 73,211,600.00} \\ &= 1.249 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas nilai Profitability Index yang didapat adalah sebesar 1,249 atau $PI > 1,00$. Sehingga rencana investasi layak untuk dilaksanakan.

IV.6.4 Analisa SWOT

Analisis SWOT (*SWOT analysis*) yakni mencakup upaya-upaya untuk mengenali kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman yang menentukan kinerja perusahaan. Informasi eksternal mengenai peluang dan ancaman dapat diperoleh dari banyak sumber, termasuk pelanggan, dokumen pemerintah, pemasok, kalangan perbankan, rekan diperusahaan lain. Banyak perusahaan menggunakan jasa lembaga pemindaian untuk memperoleh keliping surat kabar, riset di internet, dan analisis tren-tren domestik dan global yang relevan. ⁴⁶⁾

Selanjutnya Fredi Rangkuti (2004: 18) menjelaskan bahwa Analisis SWOT adalah identifikasi berbagai faktor secara sistematis untuk merumuskan strategi perusahaan. Analisis ini didasarkan pada logika yang dapat memaksimalkan kekuatan (*strength*) dan peluang (*opportunity*), namun secara bersamaan dapat meminimalkan kelemahan (*weakness*) dan ancaman (*threats*). Proses pengambilan keputusan strategi selalu berkaitan dengan pengembangan misi, tujuan, strategi dan kebijakan perusahaan. Dengan demikian, perencanaan strategi harus menganalisa faktor-faktor strategi perusahaan (kekuatan, kelemahan, peluang dan ancaman) dalam kondisi yang saat ini. Analisis SWOT membandingkan antara faktor eksternal peluang (*opportunity*) dan ancaman (*threats*) dengan faktor internal kekuatan (*strength*) dan kelemahan (*weakness*). ⁴⁷⁾

IV.6.4.1 Unsur-unsur SWOT

Kekuatan (*Strenght*), Kelemahan (*weakness*), Peluang (*Opportunity*), Ancaman (*Threats*)

IV.6.4.2 Faktor eksternal dan internal

Menurut (irham fahmi, 2013:260) untuk menganalisis secara lebih dalam tentang SWOT, maka perlu dilihat faktor eksternal dan internal sebagai bagian penting dalam analisis SWOT, yaitu:

i. Faktor eksternal

Faktor eksternal ini mempengaruhi terbentuknya *opportunities and threats* (O dan T). Dimana faktor ini menyangkut dengan kondisi-kondisi yang terjadi di luar perusahaan yang mempengaruhi dalam pembuatan keputusan perusahaan. Faktor ini mencakup lingkungan industri dan lingkungan bisnis makro, ekonomi, politik, hukum, teknologi, kependudukan, dan sosial budaya.

ii. Faktor internal

Faktor internal ini mempengaruhi terbentuknya *strengths and weaknesses* (S dan W). Dimana faktor ini menyangkut dengan kondisi yang terjadi dalam perusahaan, yang mana ini turut mempengaruhi terbentuknya pembuatan keputusan (*decision making*) perusahaan. Faktor internal ini meliputi semua macam manajemen fungsional : pemasaran, keuangan, operasi, sumberdaya manusia, penelitian dan pengembangan, sistem informasi manajemen dan budaya perusahaan (*corporate culture*).

IV.6.4.3 Model analisis SWOT

Analisis SWOT membandingkan antara faktor eksternal peluang dan ancaman dengan faktor internal kekuatan dan kelemahan. Faktor internal dimasukkan kedalam matrik yang disebut matrik faktor strategi internal atau IFAS (*Internal Strategic Factor Analisis Summary*). Faktor eksternal dimasukkan kedalam matrik yang disebut matrik faktor strategi eksternal EFAS (*Eksternal Strategic Factor Analisis Summary*).

Setelah matrik faktor strategi internal dan eksternal selesai disusun, kemudian hasilnya dimasukkan dalam model kuantitatif, yaitu matrik SWOT untuk merumuskan strategi kompetitif perusahaan.

Tabel 4.19. Matrik Faktor Strategis Eksternal (EFAS)

Faktor strategi Eksternal	Bobot	Rating	Bobot X rating	Keterangan
Peluang	X	X	X	
Jumlah	X	X	X	
Ancaman	X	X	X	
Jumlah	X	X	X	
Total	X	X	X	

(Sumber: Fredi Rangkuti (2004: 18))

Tabel 4.20. Matrik Faktor Strategis Internal (IFAS)

Faktor strategi internal	Bobot	Rating	Bobot X rating	Keterangan
Kekuatan	X	X	X	
Jumlah	X	X	X	
Kelemahan	X	X	X	
Jumlah	X	X	X	
Total	X	X	X	

(Sumber: Fredi Rangkuti (2004: 18))

IV.6.4.4 Matrik SWOT

Alat yang dipakai untuk menyusun faktor-faktor strategis perusahaan adalah matrik SWOT. Matrik ini dapat menggambarkan secara jelas bagaimana peluang dan ancaman eksternal yang dihadapi perusahaan dapat disesuaikan dengan kekuatan dan kelemahan yang dimilikinya. Matrik ini dapat menghasilkan 4 set kemungkinan alternatif strategis.

Strategi SO (*Strength-Opportunities*)

Strategi ini dibuat berdasarkan jalan pikiran perusahaan, yaitu dengan memanfaatkan seluruh kekuatan untuk merebut dan memanfaatkan peluang yang sebesar-besarnya

Strategi ST (*Strengths-Threats*)

Adalah strategi dalam menggunakan kekuatan yang dimiliki perusahaan untuk mengatasi ancaman.

Strategi WO (*Weaknesses- Opportunities*)

Strategi ini diterapkan berdasarkan pemanfaatan peluang yang ada dengan cara meminimalkan kelemahan yang ada.

Strategi WT (*Weaknesses- Threats*)

Strategi ini berdasarkan pada kegiatan yang bersifat defensive dan berusaha meminimalkan kelemahan yang ada serta menghindari ancaman.

a. Identifikasi Faktor Kekuatan, Kelemahan, Peluang, dan Ancaman

Berikut ini disajikan analisa identifikasi SWOT pada pemanfaatan sewage sebagai bahan biogas pada kapal KM. Sabuk Nusantara:

i. Kekuatan

Mutu produk baik. produk yang dihasilkan mempunyai mutu yang baik dan dapat bersaing dengan produk BBM, hal ini dapat dilihat dari produk yang dihasilkan sudah memenuhi standar mutu yang ditetapkan oleh pihak lembaga yang berkepentingan. Selain itu tidak adanya berita keluhan dari pihak pengguna.

Kontinuitas sebagai sumber energi alternatif, Gas yang sudah mulai terbentuk dapat digunakan untuk menghidupkan nyala api pada kompor. Selanjutnya instalasi sudah dapat menghasilkan energi biogas yang selalu terbarukan. Digester dapat terus diisi lumpur ekskresi secara kontinu sehingga dihasilkan biogas yang optimal. Produksi biogas yang berlangsung secara kontinuitas dapat terjadi jika lumpur kotoran ada dan tersedia. Selain menghasilkan biogas, proses pembuatan biogas juga menghasilkan sisa buangan lumpur yang dapat digunakan sebagai pupuk organik.

Harga murah dibanding BBM lain, harga biogas yang diperoleh harganya sangat murah jika dibandingkan dengan harga BBM, karena sesungguhnya produk utama yang dihasilkan dari instalasi digester adalah pupuk.

Perbandingan kandungan 1 m³ setara dengan 0,46 kg elpiji, 0,62 liter minyak tanah, 0,52 liter minyak solar, 0,80 liter bensin dan 3,5 kg kayu bakar.

Dapat mengurangi pencemaran lingkungan, biogas yang dihasilkan dari instalasi secara tidak langsung telah banyak membawa manfaat terhadap lingkungan. Limbah yang awalnya dibuang ke lingkungan, dengan dibangunnya instalasi biogas dapat termanfaatkan dengan baik. Limbah tersebut diproses didalam instalasi yang tidak menimbulkan bau menyengat. Ampas atau sludge yang didapat diproses kembali menjadi pupuk organik yang dapat dimanfaatkan. Biogas yang telah ada minimal dapat mengurangi limbah yang dibuang ke lingkungan sehingga tingkat pencemaran lingkungan akibat limbah dari sewage dapat dikurangi.

Besarnya dukungan pemerintah, dengan adanya instalasi biogas yang memanfaatkan sewage sebagai bahan baku, tentunya secara tidak langsung telah mengurangi upaya pencemaran karena sumber pencemaran pada kapal tersebut telah diolah dan dimanfaatkan. Selain itu juga telah mendukung regulasi nasional maupun internasional (MARPOL) karena telah menghindari pembuangan sewage yang tentunya dapat merusak lingkungan dan menyebarkan penyakit. Oleh karena itu, pemerintah dapat terus menggali potensi negara dengan memberdayakan sumber energi yang selama ini terabaikan.

ii. Kelemahan

Belum memasyarakat/kurang sosialisasi, produk biogas belum banyak dikenal di masyarakat sehingga seringkali masyarakat tidak peduli dengan dengan keunggulan dari biogas. Biogas dihasilkan dari limbah peternakan, pertanian, bahkan sampai limbah kota yang relatif mudah diperoleh di lingkungan masyarakat perdesaan maupun perkotaan. Dengan menggunakan biogas

permasalahan kekurangan bahan bakar dapat diatasi, penggunaan kayu sebagai bahan bakar dapat dikurangi, serta masyarakat tidak lagi bergantung sepenuhnya pada bahan bakar fosil yang kini mulai terasa langka.

SDM yang terampil masih kurang, program pengembangan biogas dapat menciptakan lapangan kerja baru bagi masyarakat sekitar. Adanya instalasi biogas dan hasil sampingnya dapat menambah pendapatan kapal. Namun demikian SDM dilingkungan proyek pengembangan masih belum terampil sehingga perlunya dilakukan pelatihan secara kontinyu.

Keterbatasan modal, diversifikasi hasil yang diperoleh dari pengolahan limbah organik ternak dapat berupa bahan bakar biogas dan pupuk organik (padat dan cair). Hal ini cukup menarik, namun demikian peternak memiliki keterbatasan modal dalam pendirian instalasi biogas. Modal yang diperlukan dalam pendirian instalasi cukup mahal sehingga diperlukan kelompok.

Pemasaran belum optimal, saluran pemasaran yang terdapat dalam pengelolaan limbah ternak ini sangat sederhana. Gas yang dihasilkan di dalam pengolahan limbah tidak dijual, melainkan digunakan sendiri. Gas yang dihasilkan dari instalasi biogas langsung dikonsumsi oleh kapal, sedangkan produk pupuk masih dipasarkan secara sederhana.

Belum ada implementasi pada kapal, Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki armada kapal yang cukup banyak dan bervariasi. Potensi instalasi pada kapal cukup besar karena bahan baku dan pendukungnya ada pada kapal meskipun tidak semua kapal berpotensi besar. Teknologi pembangkit biogas pada kapal (*marine use*) juga belum ada dan belum dikembangkan.

iii. Peluang

Dapat mengganti energi dan sumber lain, biogas mempunyai beberapa keunggulan terhadap lingkungan dibandingkan dengan BBM yang berasal dari fosil. Sifatnya yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui merupakan keunggulan dari biogas dibandingkan bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil selama ini diisukan menjadi penyebab dari pemanasan global. Bahan bakar fosil yang pembakarannya tidak sempurna dapat menyebabkan gas CO₂ naik permukaan bumi dan menjadi penghalang pemantulan panas bumi.

Mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik, ampas atau sludge sebagai produk sampingan jika diolah lebih lanjut akan menghasilkan pupuk organik dengan kualitas yang sangat baik. Sebenarnya tanpa pengolahan, ampas dapat digunakan sebagai pupuk organik. Tetapi untuk pemasarannya ampas atau sludge tersebut harus diproses terlebih dahulu agar dapat dipasarkan. Pupuk ini diproses secara berbeda dan menghasilkan dua produk, yaitu pupuk padat dan pupuk cair.

Dapat meningkatkan pendapatan, ampas biogas yang diolah menjadi pupuk organik memberikan dua keuntungan sekaligus kepada kapal. Pertama dapat menghemat bahan bakar untuk memasak dan yang kedua dihasilkannya benefit dari penjualan pupuk organik. Biogas sebagai sumber energi alternatif memberikan manfaat yang cukup besar kepada pihak pengolahnya bahkan lingkungan sekitarnya.

Dapat mendorong pengendalian polusi laut, pengendalian pembuangan sewage tidak jarang diabaikan oleh sejumlah kapal konvensional di Indonesia karena dianggap beban sewage tidak terlalu besar, cukup jauh dari daratan tetapi tidak memperhatikan berapa banyak yang dibuang (untuk kapal radius pelayaran jauh), alhasil tingkat pencemaran laut diakibatkan oleh kapal semakin meningkat.

iv. Ancaman

Sikap pihak terkait yang kurang peduli, usaha transportasi laut dapat memberikan manfaat yang besar dilihat dari perannya sebagai penyedia angkutan laut. Hal ini yang menjadi alasan pengembangan program instalasi biogas. Namun di sisi lain, transportasi laut juga menjadi penyebab timbulnya pencemaran. Limbah kapal berupa limbah dari manusia dapat menimbulkan masalah yang kompleks. Selain baunya yang tidak sedap, keberadaannya juga mencemari lingkungan, mengganggu pemandangan dan dapat menjadi timbulnya penyakit.

Adanya produk pengganti, jumlah penduduk Indonesia terus meningkat. Hal ini berpengaruh terhadap peningkatan kebutuhan bahan bakar. Berbagai bentuk sumber energi telah dimanfaatkan oleh manusia seperti minyak bumi, batu bara, gas alam yang merupakan bahan bakar fosil merupakan produk pengganti dari biogas.

b. Penyusunan Mekanisme Operasional Pengembangan Instalasi Biogas

Penyusunan mekanisme operasional merupakan batasan kegiatan yang perlu dilakukan oleh perusahaan dalam pengembangan instalasi biogas. Formulasi kebijakan kualitatif pada Tabel 4.21 dapat dirumuskan sebagai berikut:

i. Strategi SO (Kombinasi S1-S3 dengan O1-O3)

Strategi ini didapatkan dengan memanfaatkan dan memaksimalkan kekuatan yang dimiliki oleh pembangun untuk mengambil atau memanfaatkan peluang yang ada. Berdasarkan hasil analisis diperoleh beberapa formulasi strategi berikut : (1) Meningkatkan produktivitas untuk meningkatkan keuntungan, (2) Memperluas jaringan pemasaran.

Kondisi kapal yang terhitung baru dalam membangun instalasi biogas ini produksi maupun

penjualannya dan distribusi yang belum kuat. Untuk itu diperlukan upaya untuk meningkatkan produktivitas jaringan distribusi, terutama untuk produk pupuk. Dengan adanya kondisi ini, diharapkan pupuk dapat mengisi peluang dengan adanya saluran pemasaran yang dimilikinya.

ii. Strategi ST (Kombinasi S1-S3 dengan T1-T2)

Strategi ini didapatkan dengan memaksimalkan kekuatan yang dimiliki pihak pembangun dalam mengantisipasi ancaman yang ada. Berdasarkan hasil analisis diperoleh beberapa formulasi strategi berikut : (1) Meningkatkan dan menjaga mutu produk yang dihasilkan untuk meningkatkan nilai jual, (2) Selalu menjalin kerjasama kepada pihak-pihak yang terkait dengan pengembang biogas.

Saat ini kurang menunjukkan kondisi yang kuat untuk menghadapi ancaman yang ada. Oleh karena itu, strategi yang perlu dilakukan dalam rangka menghadapi persaingan dan pengembangan usaha adalah melakukan pemberdayaan secara optimal terhadap sumberdaya yang ada, baik modal, tenaga kerja maupun pengelolaan usahanya melalui mempertahankan mutu produk dan penguatan kerjasama.

iii. Strategi WO (Kombinasi W1-W5 dengan O1-O4)

Strategi ini didapatkan dengan usaha menekan atau meminimalisasi kelemahan yang pihak pembangun untuk memanfaatkan peluang yang ada saat ini. Berdasarkan hasil analisis diperoleh beberapa formulasi strategi berikut : (1) Memanfaatkan jasa perbankan untuk pengembangan usaha, (2) Meningkatkan pengetahuan manajemen usaha.

Strategi yang dapat dilakukan adalah dengan memenuhi tuntutan peluang baik mutu maupun kuantitasnya. Strategi untuk mempertahankan mutu adalah dengan pengendalian bahan baku dan pengawasan mutu

produksi secara konsisten. Disamping itu, pihak pengelola diharapkan mampu memanfaatkan kebijakan pemerintah saat ini, yaitu program pemberdayaan usaha kecil dan menengah dalam hal pembiayaan dan peminjaman kredit dalam rangka meningkatkan produktivitas.

iv. Strategi WT (Kombinasi W1-W5 dengan T1-T2)

Strategi ini didapatkan melalui usaha meminimalisasi kelemahan yang pihak pembangun untuk mengantisipasi ancaman atau untuk menghadapi kemungkinan ancaman yang ada dari lingkungan eksternal. Berdasarkan hasil analisis diperoleh beberapa formulasi strategi berikut : (1) Memasyarakatkan biogas sebagai energi alternatif khususnya kepada dunia maritim, (2) Meningkatkan teknologi produksi dan mutu produk.

Kelemahan utama pada sikap masyarakat yang tidak peduli dengan kesehatan lingkungan selain meningkatnya jumlah transportasi laut dan adanya produk pengganti. Oleh karena itu, strategi yang dapat dilakukan adalah mempopulerkan biogas sebagai energi alternatif dan meningkatkan teknologi produksi dan mutu produk yang dihasil dengan berbagai model digester beserta alat-alat pendukungnya yang lain.

Matrik analisa SWOT dapat diringkas dalam satu tabel yang dapat dilihat dalam Tabel 4.21.

Tabel 4.21. Matrik Analisa SWOT Pengembangan Biogas

Faktor Internal (IFAS) Faktor Eksternal (EFAS)	Kekuatan (S)	Kelemahan (W)
		S1. Mutu produk baik S2. Kontinuitas sebagai sumber energi alternatif S3. Harga murah dibanding BBM lain S4. Dapat mengurangi pencemaran lingkungan S5. Besarnya dukungan pemerintah
Peluang (O)	Strategi SO	Strategi WO
O1. Dapat mengganti energi dan sumber lain O2. Mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik O3. Dapat meningkatkan pendapatan O4. Dapat mendorong pengendalian polusi laut	1. Meningkatkan produktivitas untuk meningkatkan keuntungan 2. Memperluas jaringan pemasaran.	1. Memanfaatkan jasa perbankan untuk pengembangan usaha 2. Meningkatkan pengetahuan manajemen usaha
Ancaman (T)	Strategi ST	Strategi WT
T1. Sikap pihak terkait yang kurang peduli T2. Adanya produk pengganti	1. Meningkatkan dan menjaga mutu produk yang dihasilkan untuk meningkatkan nilai jual 2. Selalu menjalin kerjasama kepada pihak-pihak yang terkait dengan pengembang biogas.	1. Memasyarakatkan biogas sebagai energi alternatif khususnya kepada dunia maritim 2. Meningkatkan teknologi produksi dan mutu produk.

(Sumber: data primer diolah)

IV.7 ANALISA BAHAYA

Analisa bahaya dilakukan dengan dua tahapan, yaitu analisa bahaya pada bahan baku dan analisa bahaya pada tahapan proses. Analisa bahaya pada tahap proses dilakukan dengan terlebih dahulu mengidentifikasi bahaya-bahaya yang dapat timbul pada setiap tahap proses produksi biogas secara berurutan. Analisis bahaya terdiri dari tiga tahap yaitu, identifikasi bahaya, penetapan tindakan pencegahan (*preventive measure*), dan penentuan kategori resiko atau signifikansi suatu bahaya. Dengan demikian, perlu dipersiapkan daftar bahan mentah dan *ingredient* yang

digunakan dalam proses, diagram alir proses yang telah diverifikasi, serta deskripsi dan penggunaan produk yang mencakup kelompok konsumen beserta cara konsumsinya, cara penyimpanan, dan lain sebagainya.

Langkah pertama yaitu deskripsi bahaya-bahaya yang dapat timbul pada setiap tahap proses produksi biogas secara berurutan, yang tertuang pada tabel 4.22.

Tabel 4.22. Deskripsi Bahaya Instalasi Biogas

DESKRIPSI BAHAYA				
Tahap	Bahaya	Sumber Bahaya	Resiko	Cara Pencegahan
Persiapan reaktor dan perlengkapannya	Terjatuh, tertimpa, terbentur	Besi-besi konstruksi yang ada di lokasi	Sedang	Menggunakan alat pelindung diri
Pengumpulan bahan baku	-	-	-	-
Proses produksi	Kebocoran gas	Berlubang/rusaknya reaktor	Tinggi	Mengecek tabung reaktor dengan membasahi permukaan drum dengan air sabun.
				Memilih tangki reaktor yang berbahan kuat dan tebal serta tahan terhadap benturan.
Proses produksi	Terpaparnya tangki raktor terhadap udara (tidak anaerob) sehingga gas CH ₄ tidak terbentuk.	Oksigen dan udara lingkungan	Sedang	memastikan tangki reaktor benar-benar kedap udara, tidak ada kebocoran dengan cara pressure test.
				menutup tabung reaktor dengan rapat.
Penyaluran biogas	Kebocoran gas dan terbentuknya api/ ledakan	Berlubang/ rusaknya tabung penampungan/ pipa	Tinggi	Penempatan tabung penampungan biogas pada lokasi yang berada jauh dari sumber api

(Sumber: data primer diolah)

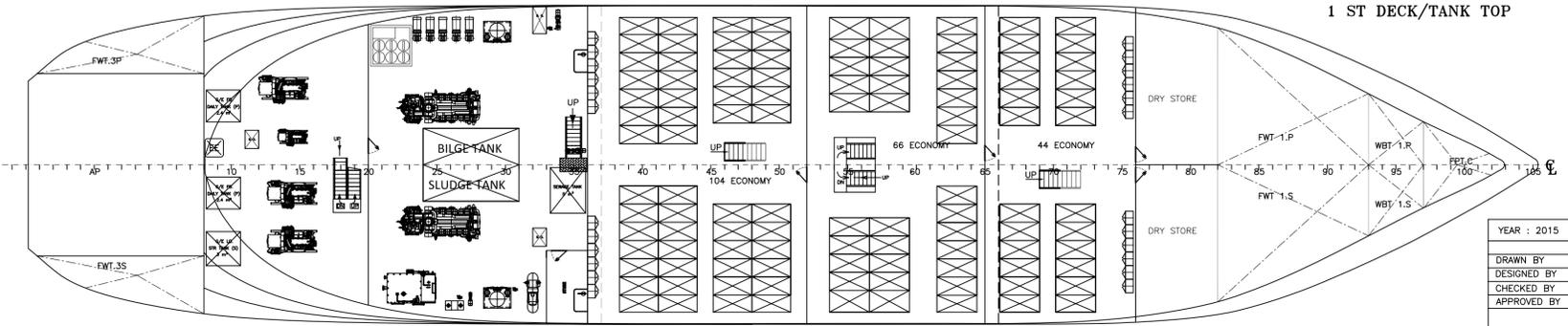
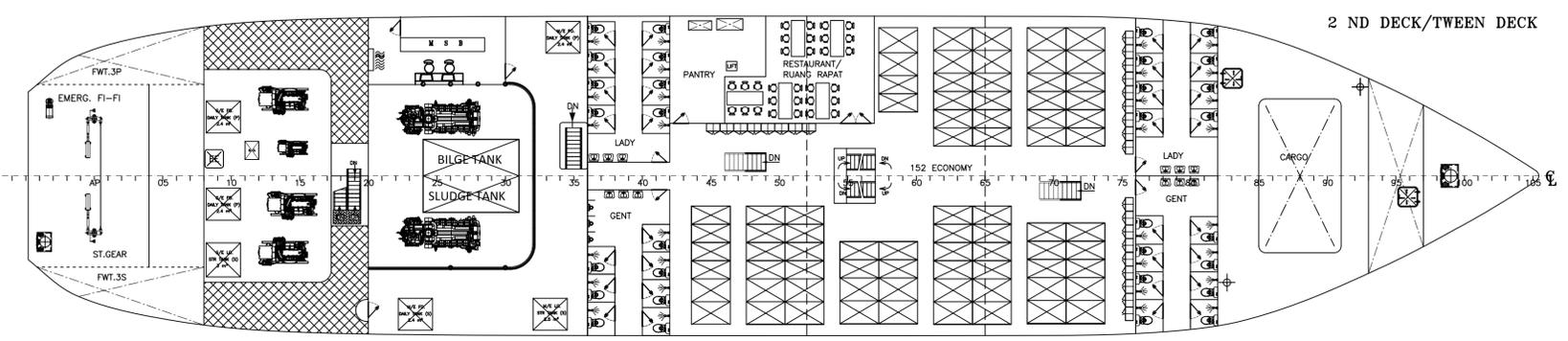
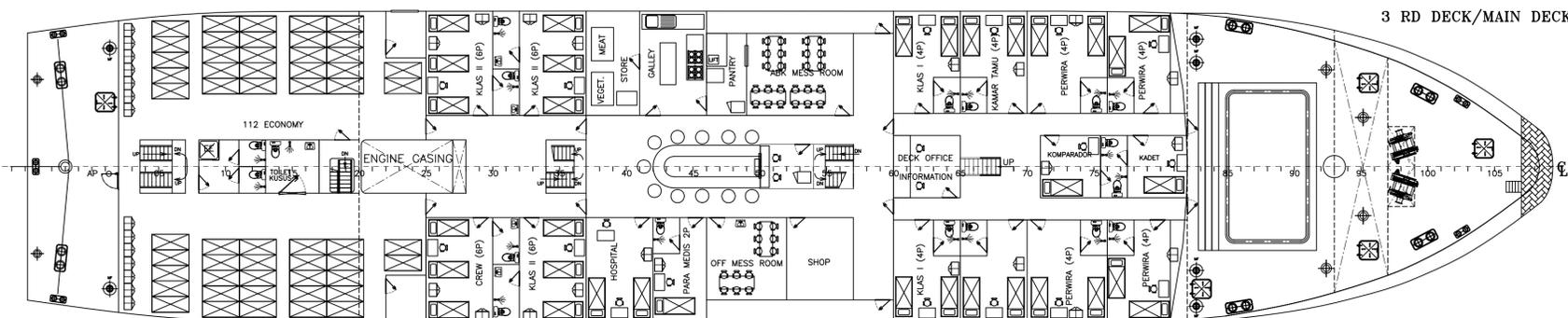
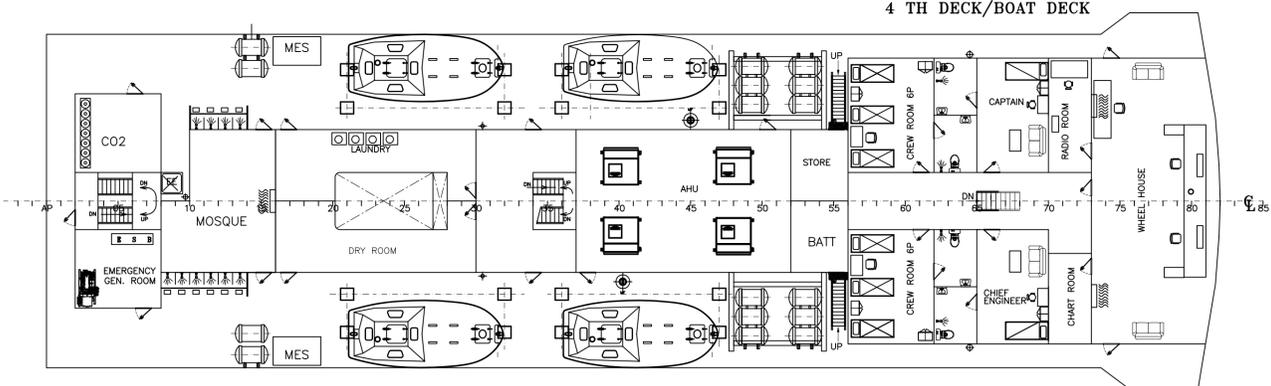
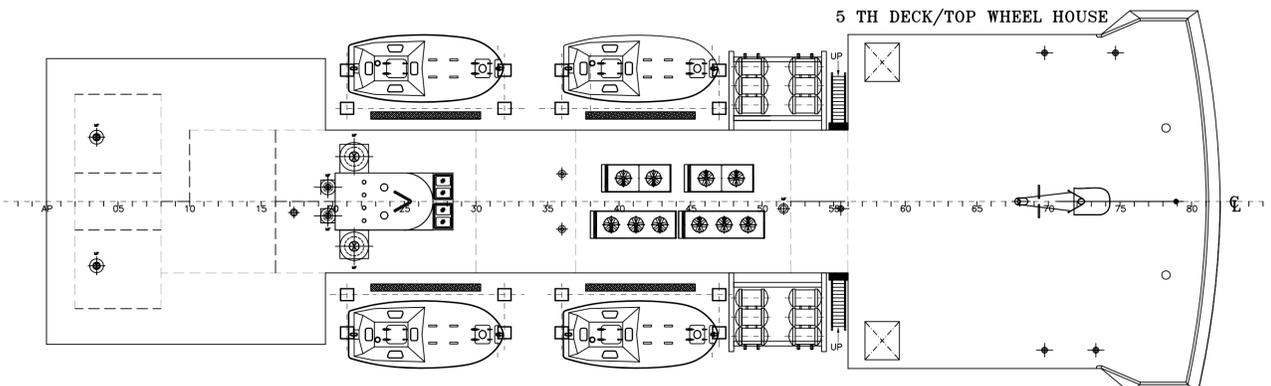
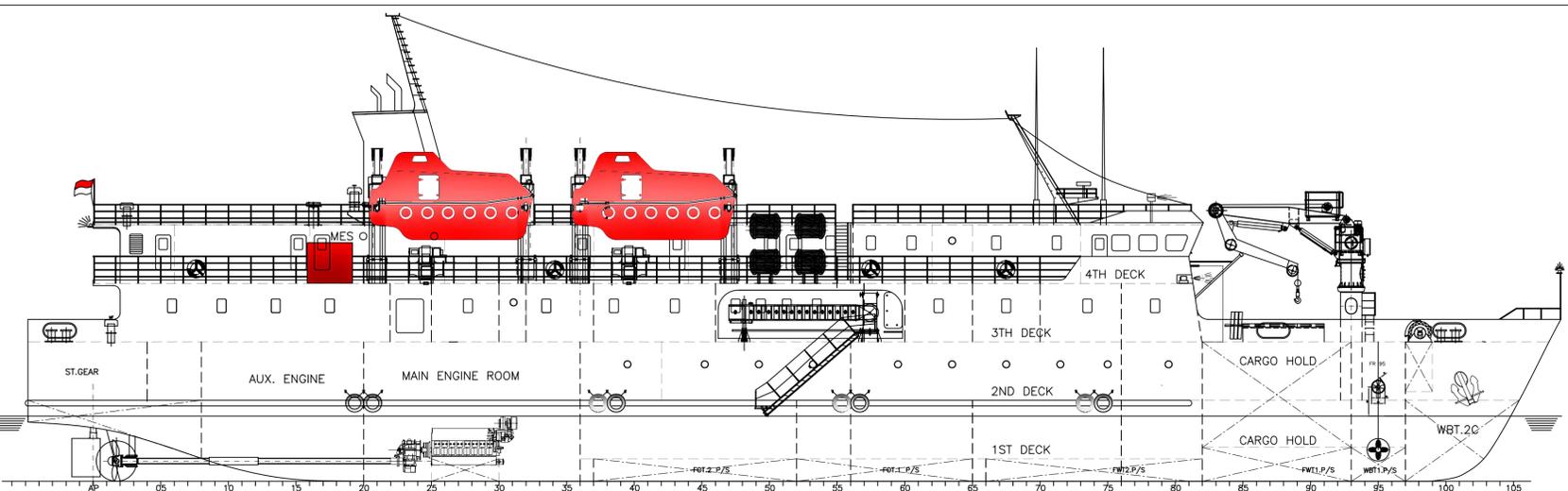
Terdapat langkah pencegahan bahaya secara umum yang dapat diterapkan pada proses produksi biogas berbahan baku ekskresi manusia.

1. Memilih dan menggunakan jenis reaktor berbahan tebal, kuat terhadap benturan, tahan terhadap suhu tinggi.
2. Menggunakan sistem valve-valve pengaman.
3. Apabila reaktor tampak mengembang karena adanya gas tetapi gas tidak mengisi penampung gas, maka dapat dilakukan upaya pelurusan selang dari pengaman gas sampai reaktor, karena uap air yang ada di dalam selang dapat menghambat gas mengalir ke penampung gas.
4. Melakukan pencegahan masuknya air ke dalam reaktor dengan menutup tempat pengisian disaat tidak ada pengisian reaktor.
5. Selalu melakukan pengecekan sistem atau prosedur penggunaan saat mengalirkan dan menggunakan gas.

LAMPIRAN

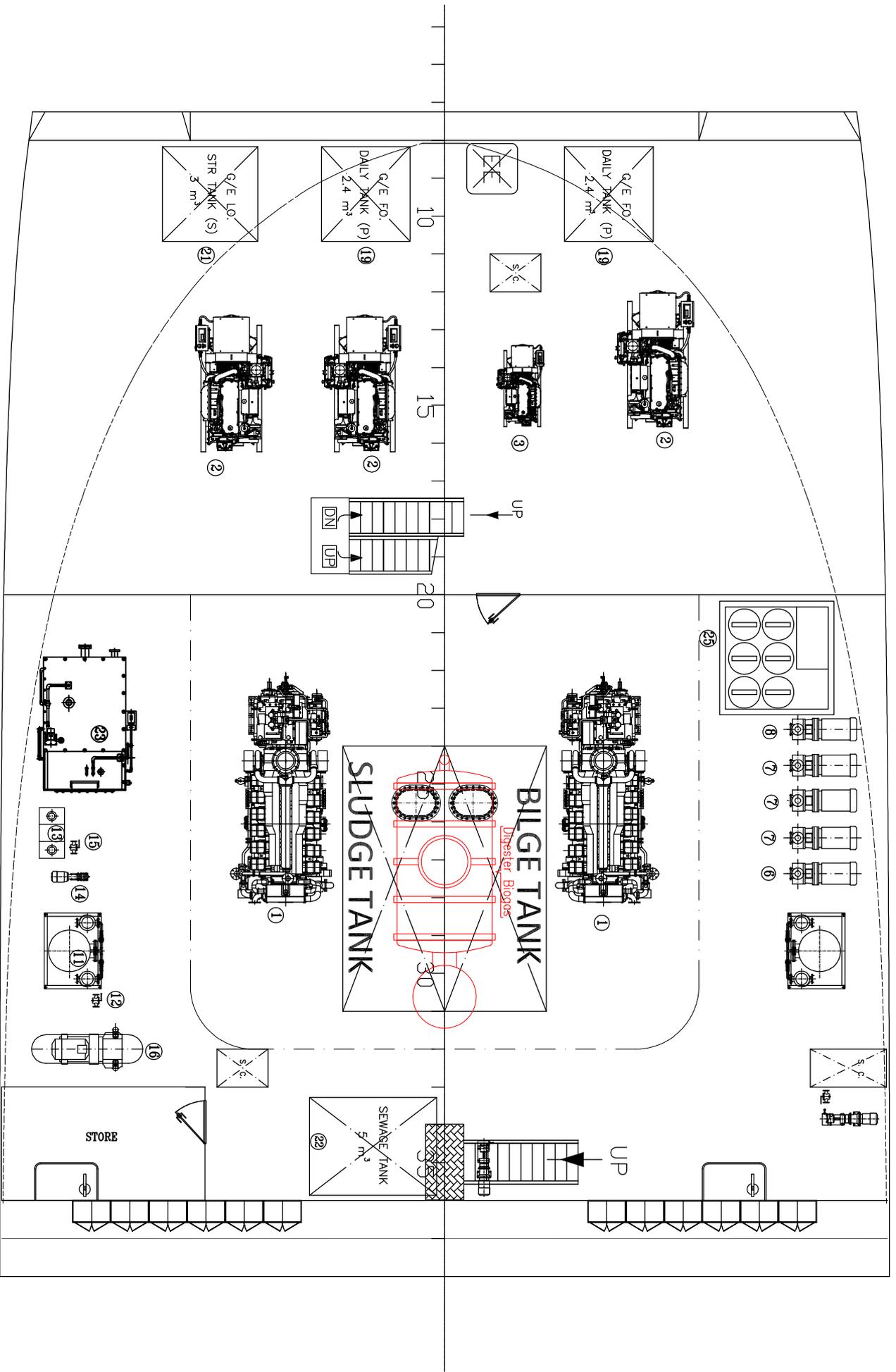
Jika Anda ingin suatu kehidupan yang berbeda, buatlah keputusan yang berbeda juga.

Anonymous

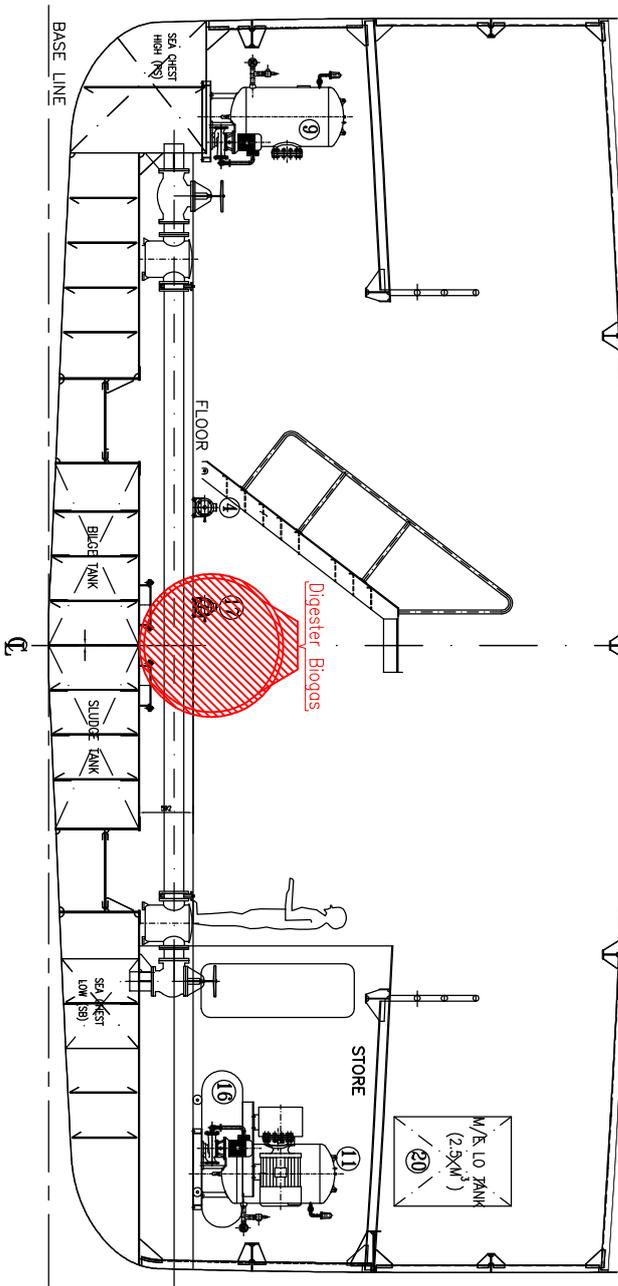


UKURAN UTAMA :
 PANJANG UTAMA KAPAL (Loa) = 68.50 m
 PANJANG A.G.T (Lpp) = 63.00 m
 LEBAR (B) = 14.00 m
 TINGGI (H) = 6.20 m
 SARAT (T) = 2.90 m
 KECEPATAN = 12.00 Knot
 DAYA MESIN = 2x1400 HP
 A.B.K = 36 ORANG
 PENUMPANG CLASS = 26 ORANG
 PENUMPANG (max) = 472 ORANG

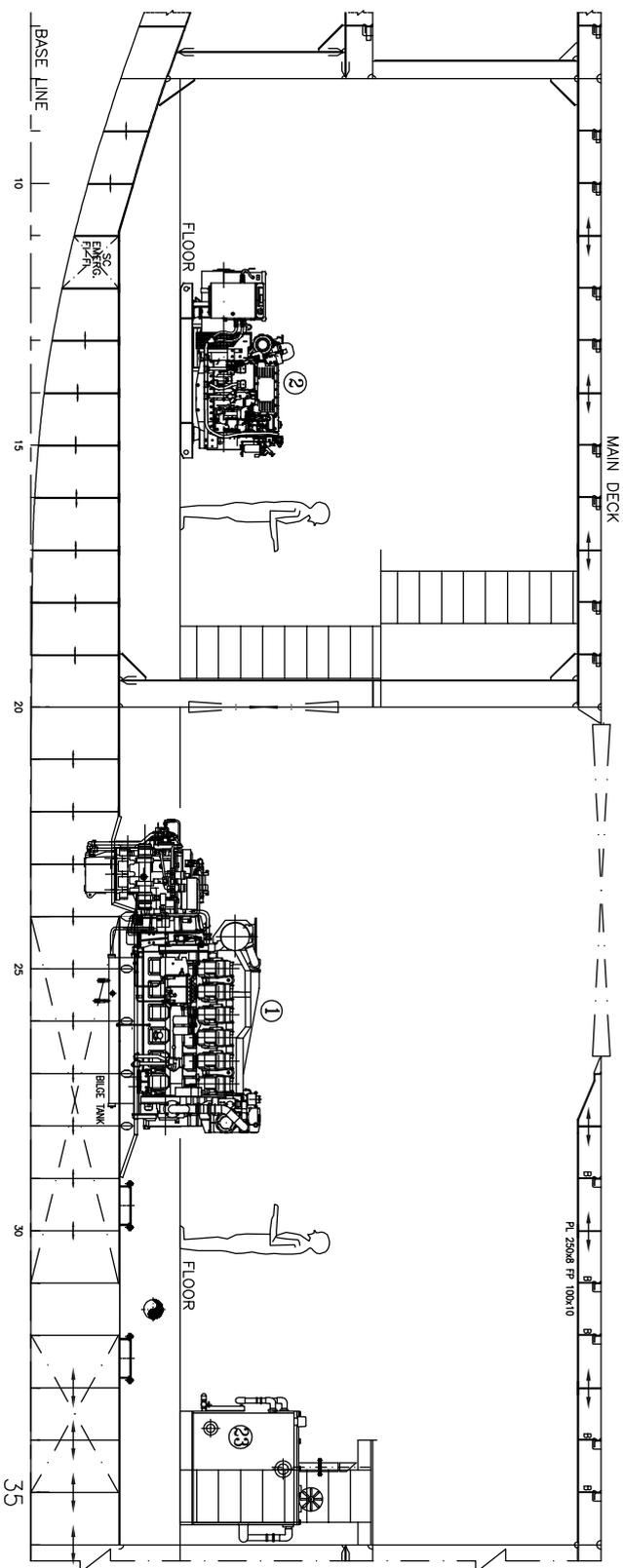
YEAR : 2015	DATE	APPROVAL	PROJECT NAME : KAPAL PERINTIS 2000 GT	PROJECT NO : 290 - 291
DRAWN BY : DD	11/12		DRAWING / DOCUMENT NAME : GENERAL ARRANGEMENT	OWNER : DEPHUBA
DESIGNED BY : DD	11/12			CLASS : 801
CHECKED BY : HDR				DESIGNER : PT. DRU
APPROVED BY : AR				GROUP : -
				SCALE : 1 : 150
				SIZE : -
				SHEET : -
				DRW/DOCUMENT NO : -
				G - 2
				Rev(0) 1 2 3 4



SECTION FR.30-35
(LOOKING FWD.)

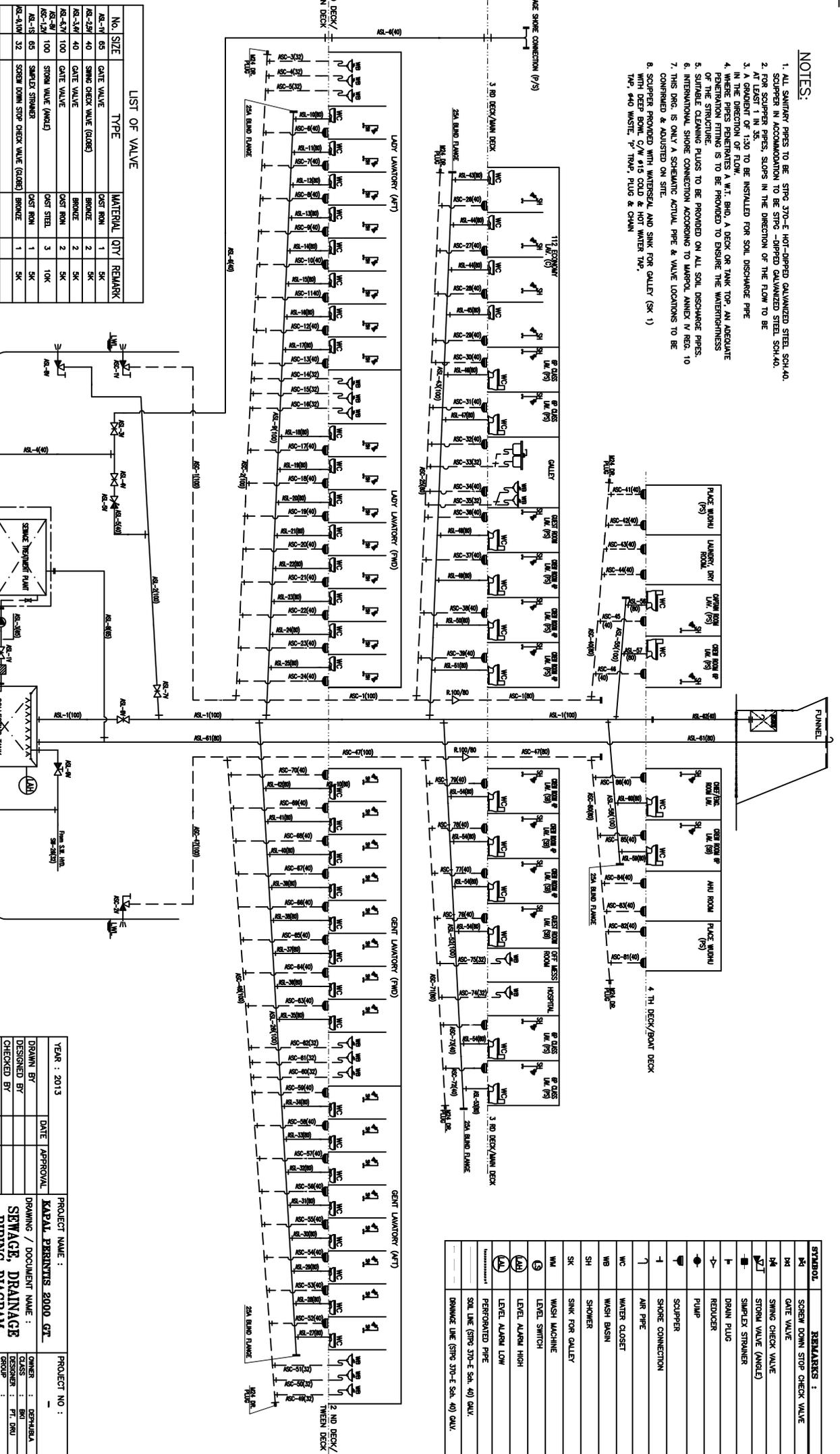


SECTION CENTER LINE



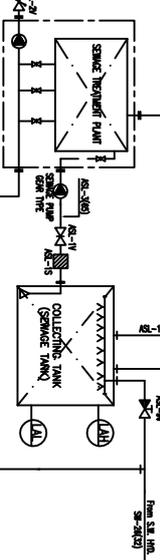
NOTES:

1. ALL SANITARY PIPES TO BE SIZED 370-E HOT-DIPPED GALVANIZED STEEL SCH.40.
2. FOR SCUPPER PIPES, SLOPS IN THE DIRECTION OF THE FLOW TO BE AT LEAST 1 IN 33.33 TO BE INSTALLED FOR SOIL DISCHARGE PIPE.
3. PENETRATION OF FLOW IN THE DIRECTION OF FLOW.
4. WHERE PIPES PENETRATES A W.T. BHD, A DECK OR TANK TOP, AN ADEQUATE PENETRATION FITTING IS TO BE PROVIDED TO ENSURE THE WATER-TIGHTNESS OF THE STRUCTURE.
5. SUITABLE CLEANING PLUGS TO BE PROVIDED ON ALL SOIL DISCHARGE PIPES.
6. INTERNATIONAL SHORE CONNECTION ACCORDING TO MARPOL ANNEX IV REG. 10
7. THIS DRG. IS ONLY A SCHEMATIC ACTUAL PIPE & VALVE LOCATIONS TO BE CONFIRMED & ADJUSTED ON SITE.
8. SCUPPER PROVIDED WITH WATERSEAL AND SINK FOR GALLEY (SK 1) WITH DEEP BOWL C/W #15 COLD & HOT WATER TAP, TAP, #40 WASTE, 1" TAP, PLUG & CHAIN.



LIST OF VALVE

NO. SIZE	TYPE	MATERIAL	QTY	REMARK
AS-10	GATE VALVE	CAST IRON	1	5K
AS-29	SHIM CHECK VALVE (GLOB)	BRONZE	2	5K
AS-34	GATE VALVE	BRONZE	2	5K
AS-47	GATE VALVE	CAST IRON	2	5K
AS-81	STON VALVE (WAGL)	CAST STEEL	3	10K
AS-15	SAMPLE STRAINER	CAST IRON	1	5K
AS-41	SCREW DOWN STOP CHECK VALVE (GLOB)	BRONZE	1	5K
AS-41	SCREW DOWN STOP CHECK VALVE (GLOB)	BRONZE	1	5K



PT. DAYA RADAR UTAMA
SHIPYARD & ENGINEERING

YEAR : 2013	DATE APPROVAL	PROJECT NAME :	PROJECT NO. :
DRAWN BY		KARAL BERANTIS 2000 CRT	
DESIGNED BY		DRAWING / DOCUMENT NAME :	
CHECKED BY		SEWAGE, DRAINAGE	
APPROVED BY		PIPING DIAGRAM	
OWNER : DENHUBA		DESIGNER : PT. DRU	
SCALE : 1		SIZE : A-1	
SHEET : 1		DRW/DOCUMENT NO. :	

M - 9.11/9.17

REV	1	2	3	4	5
-----	---	---	---	---	---

BAB V KESIMPULAN & SARAN

V.1 KESIMPULAN

1. - Potensi bahan baku limbah ekskresi yang didapat bisa sampai 26,8 kg/hari dengan lama waktu penguraian 19 hari.
- Dari nilai potensi bahan baku secara kalkulasi didapat nilai TS (total solid) 5,36 m³/kg, biogas rate sebanyak 2,3 m³/hari, metan dari 60% biogas sebesar 1,38 m³/hari.
2. Reaktor biogas dipilih dari produk jadi yang ada di pasaran dengan volume ruang 5000 liter dengan potensi biogas 1,29 m³/hari. Kemudian utilitas kapasitas yang didapat sebesar 56%.
3. Pemanfaatan biogas ditentukan untuk substitusi pemanas atau kompor. Dari potensi biogas yang dihasilkan sebanyak 1,29 m³ perhari atau setara 4 jam 27 menit kompor biogas jika dialirkan secara langsung. Sedangkan unuk kompor listrik daya 3kW dapat memenuhi kebutuhan energi sebesar 1,61 kWh. Dengan asumsi penggunaan kompor 9 jam perhari maka jumlah energi yang dibutuhkan sebesar 27 kWh maka biogas yang dibutuhkan sebanyak 16,77 m³.
4. Penempatan reaktor, komponen lain beserta instalasinya ditentukan di kompartemen ruang mesin. Reaktor/digester biogas diletakkan di atas *tank top* dan penampung biogas beserta komponen lainnya diletakkan di *tween deck* dengan saling berdekatan. (gambar terlampir)
5. Hasil analisis kelayakan investasi pada tingkat suku bunga 10% selama umur ekonomis 20 tahun ditunjukkan sebagai berikut:
 - 1) *payback period* dapat dilakukan selama 3,1 tahun dan investasi dinyatakan layak.
 - 2) Investasi dinilai layak berdasarkan kriteria NPV karena memiliki nilai NPV positif sebesar Rp. 18.207.690.

- 3) Investasi dinilai layak berdasarkan kriteria IRR yang nilai persentasenya lebih besar dari tingkat suku bunga modal pinjaman yaitu sebesar 13,4%.
- 4) Nilai Profitability Index yang didapat adalah sebesar 1,249 atau $PI > 1,00$. Sehingga rencana investasi layak untuk dilaksanakan.

Dari kesimpulan analisa kelayakan investasi di atas menunjukkan proyek pengembangan instalasi biogas layak dilaksanakan dan dikembangkan untuk investasi jangka panjang.

V.2 SARAN

1. Pengembangan instalasi biogas di kapal patut diimplementasikan terutama pada kapal penumpang banyak atau kapal ternak.
2. Menganalisa proses produksi dan pemurnian biogas untuk kebutuhan bahan bakar mesin pada kapal.
3. Business Owner harus benar-benar memikirkan tentang strategi investasi dan memasukkannya dalam visi untuk mendapatkan profit yang terus masuk.

DAFTAR PUSTAKA

BOK Books/Proceedings

- BOK 1.** M.Khetagurov. *Marine Auxiliary Machinery and system*, Peace Publisher, Moskow, 2004.
- BOK 2.** Sugiharto. *Dasar – dasar Pengelolaan Air Limbah*, Cetakan Pertama, UI Press, Jakarta. 1987
- BOK 3.** Dieter Deublein & Angelika Steinhauser. *Biogas from Waste and Renewable Resources*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008.
- BOK 4.** Wellinger A, Lindeberg A. *Biogas upgrading and utilization*. Task 24: energy from biological conversion of organic wastes 1999. 1-19.
- BOK 5.** Biswas TD, Kartha ARS, Pundarikakhadu R. *Removal of carbon dioxide from biogas*. Proceedings of national symposium on biogas technology and uses. New Delhi: IARI; 1977.
- BOK 6.** Wise DL. *Analysis of systems for purification of fuel gas. Fuel gas production from biomass*, vol 2. Boca Raton, FL: CRC Press; 1981.
- BOK 7.** Pandey DR, Fabian C. Feasibility studies on the use of naturally accruing molecular sieves for methane enrichment from biogas. *Gas Separation and Purification* 1989;3:143-7.
- BOK 8.** Glub JC, Diaz LF. *Biogas purification process. Biogas and alcohol fuels production*, vol II.: The JP Press Inc; 1991.
- BOK 9.** Walls JL, Ross C, Smith MS, Harper SR. *Utilization of biogas*. *Biomass* 1989;20:277-90.
- BOK 10.** Abdul Halim. 2005. *Analisis Investasi*, Edisi ke-2. Jakarta: Salemba Empat.
- BOK 11.** Richard L. Daft, 2010, *Era Baru Manajemen*, Edward Tanujaya, Edisi 9, Salemba Empat
- BOK 12.** Freddy Rangkuti, 2004, *Analisis SWOT Teknik Membedah Kasus Bisnis*, PT. Graedia, Jakarta

DIS Dissertations/theses/research reports

- DIS 1.** Hagen M, Polman E. *Adding gas from biomass to the gas grid*. Final report submitted to Danish Gas Agency; 2001:26-47.
- DIS 2.** Budiman R. Saragih, *Analisis Potensi Biogas untuk Menghasilkan Energi Listrik dan Termal pada Gedung Komersil Di Daerah Perkotaan (Studi Kasus Pada Mall Metropolitan Bekasi)*, Tesis FT UI, 2010
- DIS 3.** Shefali Verma. *Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes*. Columbia University. May 2002.
- DIS 4.** Suyati, F., 2006, *Perancangan Awal Instalasi Biogas Pada Kandang Terpencar Kelompok Ternak Tani Mukti Andhini Dukuh Butuh Prambanan Untuk Skala Rumah Tangga*, Skripsi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- DIS 5.** Khasristya Amaru, 2004. *Rancang Bangun dan Unit Kerja Biodigester Plastik Polyethylene Skala Kecil*. Fakultas Pertanian UNPAD: Indonesia.

JOU Learned journals

- JOU 1.** ERFIN Y. F dan SLAMET P., *Studi Pemanfaatan Feses (Kotoran Manusia) sebagai Bahan Baku Alternatif Energi Terbarukan*. Vol. 30 (1) 2012 : 19-24, ISSN : 0125-9121. Pusat Penelitian Fisika – LIPI, Komp. Puspiptek Serpong Tangerang, 2012.
- JOU 2.** Bhattacharya TK, Mishra TN, Singh B. *Techniques for removal of CO₂ and H₂S from biogas*. Paper presented at XXIV annual convention of ISAE, held at PKV, Akola, 1988.

- JOU 3.** Vijay VK. *Studies on utilization of biogas for improved performance of dual fuel engine*. ME (Ag.) Thesis, CTAE, Udaipur; 1989.
- JOU 4.** Khapre UL. *Studies on biogas utilization for domestic cooking*. Paper presented at XXV annual convention of ISAE, held at CTAE, Udaipur; 1989.
- JOU 5.** Dubey AK. *Wet scrubbing of carbon dioxide*. Annual report of CIAE, Bhopal (India); 2000.
- JOU 6.** Shyam M. *Promising renewable energy technologies*. AICRP technical bulletin number CIAE/2002/88; 2002: 47-48.
- JOU 7.** Savery WC, Cruzon DC. *Methane recovery from chicken manure*. J Water Pollut Control Fed 1972;44: 2349-54.
- JOU 8.** Schomaker IT, Boerboom AHHM, Vissel A, Pfeifer AE. *Technical summary on gas treatment*. Anaerobic digestion of agro industrial wastes: information network project FAIR-CT96-2083; 2000.
- JOU 9.** Rautenbach R, Ehresmann E, Water H. *Removal of carbon dioxide from fermentation gas by membrane separation*. Chem Abstr 1987;107(14):154.
- JOU 10.** Anonymous. *Biogas technology: an information package*. Mumbai: TERI; 1985.
- JOU 11.** Mande S. Scientist generate vehicle fuel from distillery waste—a news brief. SESI Newslett 2000;22(4):5.
- JOU 12.** Nema A, Bhuchner K. *Kampogas—a robust technology for solid waste to energy projects*. Bio-Energy News 2002;6(2): 10-12.
- JOU 13.** D. Elango, M. Pulikesi, P. Baskaralingam, V. Ramamurthi, and S. Sivanesan. *Production of biogas from municipal solid waste with domestic sewage*, Anna University, Chennai 600 025, India, July 2006.
- JOU 14.** I. Kholiq, Muharom. *Analisis Perencanaan Reaktor Biogas Kap. 16 m³ dengan Pemanfaatan Kotoran Manusia*, JEMIS Vol. 3 No. 2 Th. 2015, ISSN 2338-3925. Universitas Wijaya Putra, Jurusan Teknik Mesin, Surabaya, 2015.

WEB Internet –publications

- WEB 1.** Badan Pusat Statistik. Sensus Penduduk 2010. <http://sp2010.bps.go.id/> . Diakses pada tanggal 15 Agustus 2015.
- WEB 2.** Shodikin, Ali. 2011. *Memfaatkan Limbah Menjadi Energi Biogas*.
<http://aliandr4.blogspot.com/2011/10/memanfaatkan-limbah-menjadi-energi.html> .Diakses pada tanggal 06 Oktober 2015.
- WEB 3.** Shannon R. Biogas conference proceedings 2000
<http://www.rosneath.com.all/ipc6/ch08/shannon2/>.
- WEB 4.** Prima Utama, PT. *Mengelola Digester Biogas Terpadu Sangat Menguntungkan*.
<http://pennyu.co.id/mengelola-digester-biogas-terpadu-sangat-menguntungkan/> Diakses pada tanggal 10 Maret 2016.

BIODATA PENULIS



Usman Nur Fajar, lahir di Surabaya, 14 Juli 1990, anak ke-tiga dari empat bersaudara dari pasangan Suprayitno dan Sriwati ini telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Muhammadiyah 11 Surabaya, SLTPN 5 Surabaya dan SMK Teknik PAL Surabaya. Setelah lulus SMK, pada tahun 2008 penulis melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) jurusan Teknik Kelistrikan Kapal kemudian memilih melanjutkan Pendidikan Lintas Jalur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Jurusan Teknik Sistem Perkapalan melalui jalur Reguler.

Penulis melakukan penelitian untuk tugas akhir dibidang *Marine Machinery and System (MMS)* dengan tema “studi kelayakan biogas pada kapal penumpang”. Penulis menguasai beberapa software seperti Autocad 3D, CorelDraw, photoshop dan Macromedia Flash. Hobi penulis adalah membaca, bersepeda, desain grafis, berwirausaha dan menciptakan ide-ide kreatif.

Motto : *Innadina Indallahi Islam*