

Editor: Rohana

Muhammad Fitra Zambak

Ria Andriana

Josef Hadipramana

INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT) MENJADI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS (PLTBg)



Monograf

**INSTALASI
PENGOLAHAN
LUMPUR TINJA (IPLT)
MENJADI PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA BIOGAS
(PLTBg)**

HAK CIPTA DILINDUNGI UNDANG-UNDANG *Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam dan dengan sistem penyimpanan lainnya tanpa izin tertulis*

Monograf

INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT) MENJADI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS (PLTBg)

**Muhammad Fitra Zambak
Ria Andriana
Josef Hadipramana**

Editor: Rohana



Judul

Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg)

Penulis

Muhammad Fitra Zambak

Ria Andriana

Josef Hadipramana

Editor

Rohana

Layouter

Nurul Rahma Sagala

Cetakan Pertama; Januari 2024

(xiv + 128 hlm); 15 x 23 cm

ISBN : 978-623-408-531-0

E-ISBN : 978-623-408-532-7 (PDF)

Penerbit

**Redaksi**

Jalan Kapten Muktar Basri No 3 Medan, 20238

Telepon, 061-6626296, Fax. 061-6638296

Email; umsupress@umsu.ac.id

Website; <http://umsupress.umsu.ac.id/>

Anggota IKAPI Sumut, No: 38/ Anggota Luar Biasa/SUT/2020

Anggota APPTI, Nomor: 005.053.1.09.2018

Anggota APPTIMA (Afiliasi Penerbit Perguruan Tinggi Muhammadiyah Aisiyyah)

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL.....	ix
PRAKATA.....	xi
KATA PENGANTAR EDITOR.....	xiii
BAB I PROLOG.....	1
A. Latar Belakang Masalah	2
B. Identifikasi Masalah	3
C. Pembatasan Masalah.....	6
D. Rumusan Masalah	6
BAB II SISTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH	
DOMESTIK.....	11
A. Cara Kerja Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik.....	12
B. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).....	15
C. Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT).....	16
D. Municipal Sewage Sludge (MSS).....	17
BAB III TEKNOLOGI PEMANFAATAN MUNICIPAL	
SEWAGE SLUDGE (MSS).....	31
A. Proses Konversi Lumpur Tinja menjadi Biogas	33
B. Teknologi Konversi Biogas menjadi Energi Listrik ..	44
C. Teknologi Konversi Energi Panas Menjadi Cahaya.	51
BAB IV PERANCANGAN DAN PROSEDUR	
PENGELOLAAN TINJA MENJADI PEMBANGKIT	
LISTRIK TENAGA BIOGAS.....	57
A. Tahapan Rancangan Pengelolaan.....	58
B. Material dan Karakteristik Proses Perancangan.....	60
C. Prosedur Pengujian Kelayakan	65

D. Eksperimental Lumpur Tinja dengan Perancangan Reaktor Biogas.....	74
E. Teknik dan Proses Pengelolaan Tinja Menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas.....	76
BAB V INTEGRASI INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT) MENJADI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS (PLTBg).....	81
A. Pengolaan Bahan Baku <i>Municipal Sewage Sludge</i> (MSS).....	83
B. Eksperimental Rancangan Reaktor Biogas	91
C. Optimasi Desain Reaktor Biogas	96
D. Pembentukan Energi dari Pengujian Biogas MMS..	101
BAB VI EPILOG.....	107
A. Kesimpulan.....	109
B. Saran.....	110
GLOSARIUM.....	111
INDEKS.....	119
TENTANG PENULIS	123
TENTANG EDITOR	127

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	SPALD-Setempat	13
Gambar 2.2	SPALD-Terpusat	13
Gambar 2.3	Pengolahan Limbah Domestik terintegrasi IPLT & IPAL	14
Gambar 2.4	Diagram Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Kota Medan	16
Gambar 2.5	Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Kota Medan	17
Gambar 2.6	Flowchart Wastewater Treatment Plant [3]	18
Gambar 2.7	Teknologi Konversi Energi Biomasa [5]	20
Gambar 2.8	(a) Sewage Sludge & (b) Biosolid	25
Gambar 3.1	Ilustrasi Pengolahan MSS menjadi Energi Listrik	33
Gambar 3.2	Reaksi Proses Konversi Biogas[13]	35
Gambar 3.3	Korelasi Laju Produksi Biogas & HRT	37
Gambar 3.4	Flowchart Pengolahan MSS menjadi Listrik	41
Gambar 3.5	CSTR (Contious Stirred Tank Reaktor)	42
Gambar 3.6	CL (Covered Lagoon)	43
Gambar 3.7	Jenis Konversi Biogas	45
Gambar 3.8	Flowchart Konversi Biogas Menjadi listrik .	46
Gambar 3.9	Biogas Engine	47
Gambar 3.10	Boiler Burner [22]	49
Gambar 3.11	Flowchart Boiler – Steam Turbin – Generator [23]	50
Gambar 3.12	Steam Turbine [24]	51
Gambar 3.13	Lux Meter	54
Gambar 4.1	Tahapan Keseluruhan Penelitian	58
Gambar 4.2	IPLT Kota Medan	61

Gambar 4.3	Kajian Komparasi Kuantitas Biogas [25]	65
Gambar 4.4	Chart Biogas Flowrate, Methane Content and Time (Week) [25]	67
Gambar 4.5	(a) Electricity Produced vs % Deviation in variable & (b) Costs/Revenue vs Electricity Produced	67
Gambar 5.1	Reaktor Biogas Hasil Rancangan Studi Eksperimental	92
Gambar 5.2	Grafik Pembentukan Gas Periode Pertama	94
Gambar 5.3	Optimasi Desain Reaktor Biogas	96
Gambar 5.4	Grafik Peningkatan Pressure dan Volume Gas	100
Gambar 5.5	Grafik Korelasi Gas Volume dengan Intensitas Cahaya.....	104
Gambar 5.6	Grafik Korelasi Pressure dengan Intensitas Cahaya	105

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Biogas Production in WWTPs in Task 37 Member Countries (IEA Bioenergy Task 37, 2014 b) [3]	23
Tabel 2.2	Comparation Element of Sewage Sludge and Animal Manure [9]	27
Tabel 2.3	Chemical Composition of MSS [9]	28
Tabel 3.1.	Perbandingan Komposisi Biogas, Gas Alam & Landfill Gas [17].....	39
Tabel 3.2.	Simbol dan Satuan Cahaya	54
Tabel 4.1.	Daftar Penelitian Terdahulu yang Memiliki Kesamaan	63
Tabel 4.2	Ekuivalen Energi Metana	70
Tabel 5.1.	Parameter Bahan Baku MSS dengan Metode Pengujiannya.	84
Tabel 5.2	Percobaan Pembentukan Gas Periode Pertama	93
Tabel 5.3	Percobaan Pembentukan Gas Periode Kedua .	98
Tabel 5.4	Fase Gas Reforming (Pembentukan Gas Kembali)	99
Tabel 5.5	Pembentukan Energi dari Pengujian Biogas MSS	101
Tabel 5.6	Hasil Pengukuran Cahaya dengan Lux Meter	103

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. yang senantiasa memberikan nikmat dan hidayah-Nya, selanjutnya salawat dan salam kepada junjungan nabi Muhammad saw. Semoga kita semua dalam keadaan sehat dan keberkahan-Nya.

Buku “Integrasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg)” secara general membahas tentang upaya penciptaan sumber energi alternatif dari pembangkit listrik tenaga biogas. Buku ini mencoba untuk menampilkan kajian tentang sejauh mana kelayakan dari lumpur dan tinja dapat memberikan sumbangsih bagi terbentuknya sumber energi atau pembangkit listrik baru atau PLTBg)

Hadirnya buku ini, tentu saja dapat bermanfaat bagi berbagai pihak, terutama bagi yang pegiat dan pembelajar yang sedang menekuni bidang energi alternatif, baik itu para akademisi, peneliti, pemerintah dan para *stakeholder*. Melalui buku ini diharapkan dapat memberikan referensi dan kontribusi bagi pengembangan keilmuan dan penelitian ke depannya yang lebih baik.

Penulis ucapkan banyak terima kasih atas semua pihak yang telah terlibat, bersama-sama dengan penulis merancang kajian ini dan akhirnya dapat memberikan bahan bacaan bagi masyarakat secara luas.

Jika masih banyak kurang di sana-sini, kami memohon untuk memberikan masukan sehingga tercipta hasil publikasi yang lebih baik lagi ke depannya.
Selamat membaca!

Medan, Desember 2023
Penulis

KATA PENGANTAR EDITOR

Syukur *alhamdulillah*, hanya dengan rahmat dan ridho-Nya, maka hadirilah buku “Integrasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Menjadi Pem-bangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg)” di hadapan para pembaca sekalian.

Buku ini keseluruhan membedah tujuh topik utama. Pertama, pembahasan tentang identifikasi masalah dan latar belakang kajian studi kelayakan integrasi instalasi pengolahan lumpur tinja menjadi pembangkit listrik tenaga biogas. Kedua, pembahasan tentang sistem pengolahan air limbah domestik. Ketiga, pembahasan tentang Municipal Sewage Sludge (MSS). Keempat, pembahasan tentang pemanfaatan teknologi MMS. Kelima, pembahasan tentang studi kelayakan MMS menjadi energi listrik. Keenam, tentang perancangan dan prosedur penciptaan pembangkit listrik tenaga biogas. Ketujuh, pembahasan tentang integrasi IPLT Menjadi PLTBg.

Semoga buku ini dapat diterima secara luas dan terbuka, dan menjadi amal jariyah bagi pribadi penulis, *aamin*.

Medan, Desember 2023
Editor



BAB I

PROLOG

A. Latar Belakang Masalah

Studi kelayakan integrasi instalasi pengolahan lumpur tinja menjadi pembangkit listrik biogas merupakan *respons* terhadap tantangan lingkungan dan keberlanjutan energi. Beberapa latar belakang yang mendorong studi ini meliputi :

1. Masalah Limbah

Pertumbuhan penduduk dan urbanisasi menyebabkan peningkatan volume limbah tinja. Penanganan limbah tinja yang tidak tepat dapat menyebabkan pencemaran air tanah dan permukaan, serta potensi penyakit.

2. Potensi Energi

Lumpur tinja mengandung bahan organik yang dapat diuraikan menjadi biogas, terutama metana. Biogas ini dapat diubah menjadi energi listrik atau panas, memberikan sumber energi terbarukan yang lebih bersih dan berkelanjutan.

3. Diversifikasi Energi

Integrasi instalasi pengolahan lumpur tinja menjadi pembangkit biogas membantu diversifikasi portofolio energi suatu daerah. Hal ini mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang semakin langka dan mahal.

4. Pengurangan Emisi

Pemanfaatan biogas dari lumpur tinja mengurangi emisi gas rumah kaca seperti metana, yang memiliki potensi pemanasan global lebih tinggi daripada karbondioksida.

5. Pemberdayaan Lokal

Pembangkit biogas dapat memberikan sumber pendapatan baru bagi masyarakat lokal melalui penanganan limbah dan produksi energi.

6. Kebijakan dan Regulasi

Banyak negara mengadopsi kebijakan yang mendorong penggunaan energi terbarukan. Studi Kelayakan dapat membantu memahami kesiapan regulasi dan insentif untuk proyek ini.

7. Pengelolaan Sumber Daya

Studi kelayakan juga membantu dalam merencanakan penggunaan lahan dan sumber daya lainnya secara efisien, serta menilai dampak lingkungan yang mungkin timbul.

8. Kemitraan dan Investasi

Proyek integrasi ini memerlukan investasi awal. Studi kelayakan mitra dan investor dengan membuktikan potensi keuntungan jangka panjang.

Dengan latar belakang ini, studi kelayakan menjadi langkah penting untuk memastikan bahwa integrasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) dapat dilakukan dengan efisien, berkelanjutan secara ekonomi, dan memiliki dampak positif terhadap lingkungan dan masyarakat setempat.

B. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah adalah langkah awal yang penting dalam studi kelayakan integrasi Instalasi

Pengolahan Lumpur Tinja Menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas. Beberapa masalah potensial yang perlu diidentifikasikan dalam studi ini meliputi :

1. Ketersediaan Bahan Baku

Masalah utama adalah ketersediaan lumpur tinja sebagai bahan baku. Jumlah limbah tinja yang cukup dan konsisten diperlukan untuk menjaga produksi biogas yang stabil.

2. Kualitas Lumpur Tinja

Kualitas lumpur tinja juga menjadi masalah. Kontaminasi dengan bahan kimia atau zat berbahaya dapat mengganggu proses fermentasi anaerobik dan menghasilkan biogas yang berkualitas rendah.

3. Teknologi yang Sesuai

Pemilihan teknologi biodigester yang sesuai dengan kondisi lokal dan jenis limbah tinja sangat penting. Kesalahan dalam pemilihan teknologi dapat mengakibatkan efisiensi yang rendah.

4. Manajemen Limbah

Pengelolaan limbah sisa hasil proses biogas, seperti digestat (limbah yang telah diolah), juga menjadi masalah. Limbah ini perlu ditangani dengan benar untuk menghindari pencemaran lingkungan.

5. Kemampuan Operasional

Apakah operator memiliki pengetahuan dan keterampilan yang cukup untuk mengoperasikan instalasi ini dengan efisien ?

6. Aspek Lingkungan

Dampak lingkungan dari instalasi biogas, seperti pengelolaan gas metana yang bocor, juga harus dievaluasi dan dikelola.

7. Aspek Keuangan

Apakah proyek ini secara finansial layak ? Ini termasuk biaya investasi awal, biaya operasional, serta potensi pendapatan dari penjualan listrik.

8. Kebijakan dan Regulasi

Perubahan dalam peraturan lingkungan atau energi dapat mempengaruhi keberlanjutan proyek. Perizinan dan kepatuhan dengan peraturan perlu dipertimbangkan.

9. Dampak Sosial

Bagaimana proyek ini akan memengaruhi masyarakat setempat? Dampak positif, seperti peningkatan pekerjaan atau akses ke energi, serta dampak negatif seperti konflik tanah atau penggusuran, perlu dianalisis.

10. Pasar dan Penjualan Energi

Apakah ada pasar yang cukup untuk biogas atau listrik yang dihasilkan? Proyek ini perlu memiliki rencana pemasaran yang jelas.

Identifikasi masalah-masalah ini merupakan langkah kunci dalam menilai kelayakan proyek integrasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas.

C. Pembatasan Masalah

Terdapat beberapa batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya mensimulasikan proses pembentukan biogas sampai menghidupkan lampu.
2. Penelitian ini tidak membahas perbandingan antara inetgrasi IPAL dengan IPLT untuk menjadi PLTBg.
3. Penelitian ini membatasi jenis limbah tinja yang akan diolah, misalnya hanya limbah domestik atau limbah dari sektor tertentu seperti perumahan atau industri.
4. Penelitian ini tidak membahas mengenai teknologi PLTBg selain sistem CSTR (*Continuous Stirred Tank Reaktor*) dan beberapa komponen lain yang mengikutinya.
5. Penelitian ini hanya membahas waktu tinggal hidraulik (HRT) tertentu dapat digunakan untuk mengidentifikasi pengaruh durasi tertentu terhadap produksi biogas dan performa reaktor.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam studi kelayakan integrasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas mencakup pertanyaan-pertanyaan kunci yang perlu dijawab dalam penelitian ini. Beberapa rumusan masalah dalam penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana komposisi lumpur tinja sebagai bahan baku dapat mempengaruhi tingkat produksi biogas?
2. Bagaimana kualitas biogas yang dihasilkan dari reaktor dalam hal komposisi dan potensi sebagai sumber energi terbarukan?
3. Bagaimana efektivitas mitigasi dampak lingkungan dari proses pengolahan lumpur tinja menjadi biogas dalam reaktor?

E. Tujuan dan Manfaat

1) Tujuan Penelitian

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kelayakan proyek secara komprehensif dan menyeluruh. Tujuan penelitian yang ingin dicapai dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis studi potensi bahan baku MSS menjadi biogas serta melakukan rancangan reaktor biogas eksperimental dengan mengimplementasikan ketersediaan bahan MSS serta potensi energi listrik yang dibangkitkan.
2. Mengevaluasi kualitas biogas yang dihasilkan dari proses pengolahan lumpur tinja dengan menganalisis komposisi gas, kandungan metana serta potensi penggunaan biogas sebagai sumber energi.
3. Memberi kontribusi dalam mengatasi masalah pengelolaan limbah tinja dengan mengubahnya menjadi sumber energi berupa biogas dan memiliki potensi untuk mengurangi dampak lingkungan

sanitasi dan membantu mengurangi masalah pencemaran lingkungan akibat limbah.

2) Manfaat Penelitian

Penelitian dari studi kelayakan integrasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas memiliki berbagai manfaat yang signifikan sebagai berikut :

1. Pemanfaatan Limbah

Meningkatkan pemanfaatan limbah tinja manusia yang sebelumnya dianggap sebagai masalah lingkungan menjadi sumber energi yang bernilai.

2. Energi Terbarukan

Menghasilkan energi terbarukan, yakni biogas yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi, seperti memasak dan menghasilkan listrik, dengan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

3. Pengurangan Emisi

Mengurangi emisi gas metana ke atmosfer, yang merupakan gas rumah kaca yang lebih berpotensi pemanasan daripada karbondioksida dengan menangkap dan memanfaatkan gas ini sebagai biogas.

4. Diversifikasi Energi

Mendiversifikasi portofolio energi suatu daerah, sehingga meningkatkan ketahanan energi dan mengurangi kerentanannya terhadap fluktuasi harga bahan bakar fosil.

5. Pendapatan Tambahan

Memberikan peluang pendapatan tambahan bagi masyarakat setempat yang terlibat dalam pengumpulan

limbah tinja, pengoperasian instalasi biogas, dan penjualan energi.

6. Pemberdayaan Masyarakat

Memperkuat pemberdayaan masyarakat lokal dengan melibatkan mereka dalam manajemen limbah dan produksi energi terbarukan.

7. Peningkatan Sanitasi

Mendorong praktik sanitasi yang lebih baik dengan mendorong penggunaan toilet yang lebih baik dan pengelolaan tinja yang lebih baik,

8. Kesehatan Masyarakat

Mengurangi risiko penyakit yang terkait dengan pengelolaan limbah tinja yang tidak memadai.

9. Kurangi Pencemaran Air

Mengurangi pencemaran air tanah dan permukaan akibat limbah tinja yang tidak terkelola dengan baik.

10. Pengurangan Beban Pemerintah

Mengurangi beban pemerintah dalam penanganan limbah tinja dan meminimalkan biaya perawatan infrastruktur sanitasi tradisional.

11. Inovasi Teknologi

Mendorong inovasi dalam teknologi pengolahan biogas dan pengelolaan limbah yang dapat diterapkan di tempat-tempat lain.

Secara keseluruhan, penelitian dari Studi Kelayakan Integrasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas berpotensi memberikan dampak positif yang signifikan pada lingkungan, ekonomi, dan kesejahteraan masyarakat setempat.

F. Hipotesis

Hipotesis sementara yang diajukan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Konsumsi energi listrik untuk beban internal IPLT cukup jika dipenuhi dari pasokan energi listrik dari integrasi dengan PLTBg.
2. Kondisi Bahan Baku MSS secara kualitas dan kuantitas cukup untuk memenuhi permintaan bahan baku PLTBg yang dirancang sebagai pasokan energi listrik untuk IPLT.
3. Integrasi PLTBg dengan IPLT layak untuk diterapkan secara teknis maupun ekonomi di dalam pemenuhan beban internal IPLT.
4. Perumda Tirtanadi sudah pernah membuat Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan System Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T) untuk dapat menghasilkan gas metan namun sampai saat ini belum dapat menghasilkan gas metan dikarenakan tidak dilakukan penelitian dahulu.
5. Pemerintah pusat dalam hal ini Kementrian PUPR telah membangun Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di kota Medan yang dikelola oleh Perumda Tirtanadi dengan System Pengolahan Air Limbah Domestik Setempat (SPALD-S) untuk itu akan dilakukan penelitian dahulu seberapa besar metan yang terkandung dalam IPLT tersebut.

BAB 2

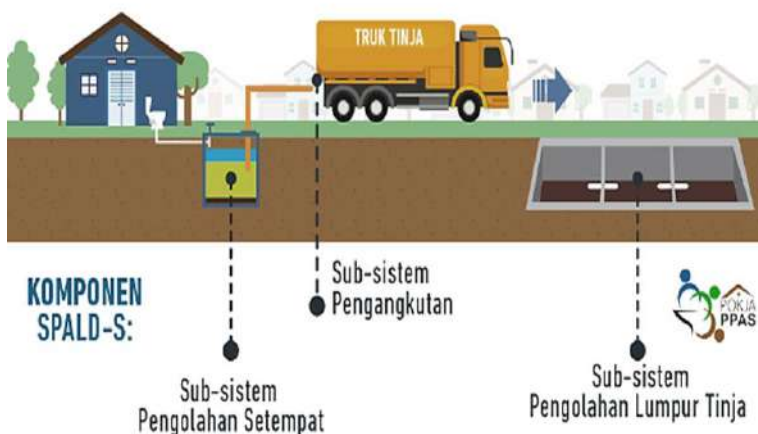


**Sistem Pengolahan
Air Limbah Domestik**

A. Cara Kerja Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik

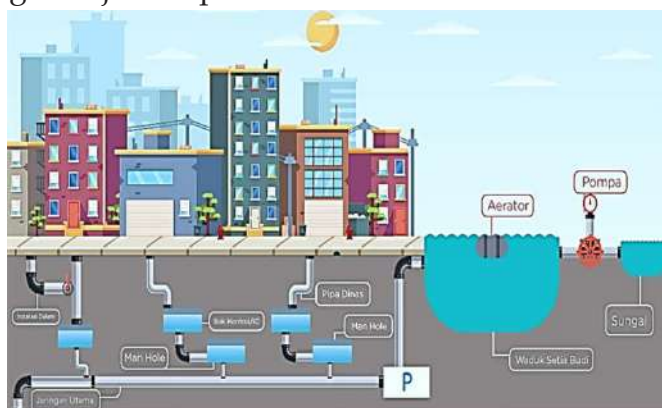
Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan/atau kegiatan pemukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen, dan asrama. Air limbah tentunya merupakan suatu hal yang perlu diperhatikan karena berpotensi mencemari lingkungan yang selanjutnya bisa berdampak buruk bagi makhluk hidup termasuk manusia. Pada umumnya di Indonesia sendiri sistem pengolahan air limbah domestik dibagi ke dalam dua sistem yaitu sistem setempat dan sistem terpusat.

Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik yang selanjutnya disingkat SPALD adalah serangkaian kegiatan pengelolaan air limbah domestik dalam satu kesatuan dengan prasarana dan sarana pengelolaan air limbah domestik. SPALD dapat berupa Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat (SPALD-S) dan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T). SPALD-S merupakan pengolahan air limbah domestik hanya berada pada satu titik lalu dikumpulkan melalui truk tinja untuk selanjutnya isi dari truk tersebut dikumpulkan dalam Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPTL) sebagai bagian dari proses pembersihan air limbah. Air limbah mengandung partikel yang dihilangkan dan yang kaya nutrisi dan bahan organik akan terikut bersama air untuk dilepaskan ke saluran irigasi terdekat. Berikut merupakan skema SPALD-Setempat yang diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 SPALD-Setempat

Sementara itu, SPALD Terpusat merupakan sistem pengolahan air limbah yang terkoneksi ke banyak cabang dengan sistem terintegrasi dengan pipa, tanpa proses pengangkutan. Proses pengiriman air limbah menggunakan pompa yang menyuplai air limbah hingga menuju ke tempat penerimaan IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah). Berikut merupakan skema SPALD-Terpusat yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar2.2 SPALD-Terpusat

Sistem Distribusi SPALD adalah suatu proses pengolahan air limbah yang dapat dilakukan dengan cara terpusat maupun setempat. Pada umumnya terdapat dua jenis limbah yang dapat diolah yaitu SPALD-Terpusat dan SPALD-Setempat. SPALD-Terpusat yaitu proses pengolahan air limbah dengan perpipaan dengan bantuan *station* pompa untuk dialirkan ke IPAL sedangkan SPALD-Setempat yaitu proses pengolahan air limbah dengan menggunakan pengangkutan lumpur tinja dengan menggunakan Truk dan lumpur tinja dan air limbahnya akan masuk ke dalam IPLT. Air limbah yang masuk ke dalam IPLT akan dilakukan pemisahan dengan melakukan proses kimia dengan memberikan bakteri untuk menghasilkan air yang bersih dan sudah cukup kualitasnya yang akan dibuang ke badan air (sungai) dapat dilihat pada Gambar 2.3 .



Gambar2.3 Pengolahan Limbah Domestik terintegrasi IPLT & IPAL

Pada umumnya sistem Integrasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 ada pada kawasan perkotaan

yang perencanaannya sudah baik, namun terdapat sistem terpisah di beberapa kota, khususnya kota kecil yang membuat sulitnya pengolahan air limbah domestik yang ada berjalan dengan baik. Lumpur Tinja atau dengan kata lain MSS (*Municipal Sewage Sludge*) merupakan bahan baku yang diperoleh atau dilakukan pengolahan pada IPLT. Di Indonesia IPAL & IPLT biasanya dikelola oleh PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) setempat di bawah pengawasan dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) tepatnya Balai Pengelolaan Infrastruktur Air limbah dan Air Minum. Instalasi Pengolahan di kota Medan:

B. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Instalasi Pengolahan Air Limbah (wastewater treatment plant/WWTP) adalah sebuah struktur yang dirancang untuk membuang limbah biologis dan kimiawi dari air sehingga memungkinkan air tersebut untuk digunakan pada aktivitas yang lain. Fungsi dari IPAL mencakup :

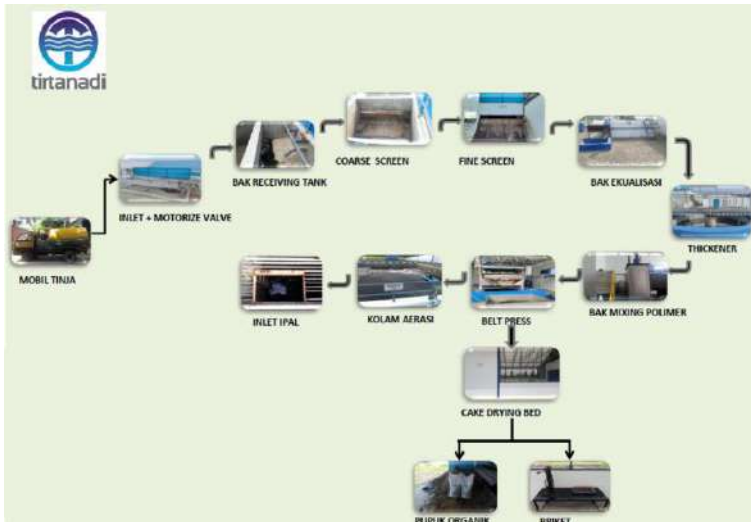
1. Pengolahan air limbah pertanian, untuk membuang kotoran hewan, residu pestisida, dan sebagainya dari lingkungan pertanian.
2. Pengolahan air limbah perkotaan, untuk membuang limbah manusia dan limbah rumah tangga lainnya.
3. Pengolahan air limbah industri, untuk mengolah limbah cair dari aktivitas manufaktur sebuah industri dan komersil, termasuk juga aktivitas pertambangan.

[illegible]

C. Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)

16 Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg)

Solid Separation and Press [1]. Teknologi IPLT kota Medan dapat dilihat pada Gambar 2.5 dibawah ini :



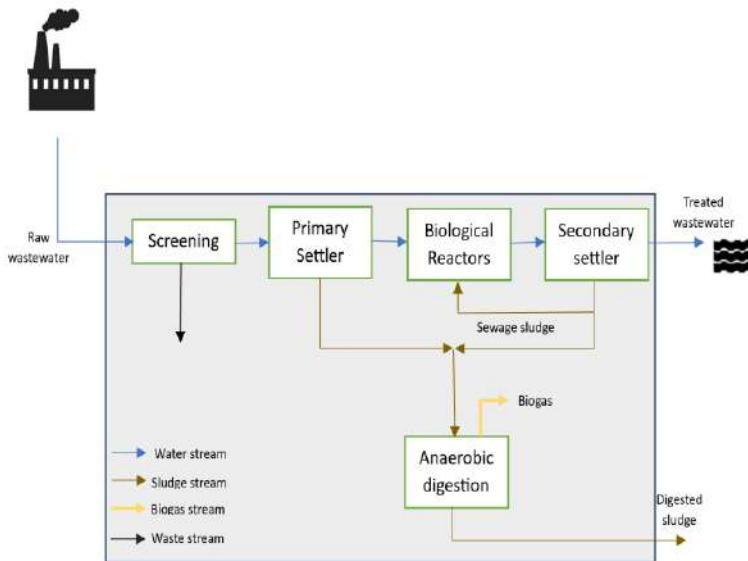
Gambar 2.5 Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Kota Medan

D. Municipal Sewage Sludge (MSS)

Municipal Sewage Sludge (MSS) adalah istilah yang digunakan untuk lumpur limbah kota berbentuk residu padat, semi-padat, atau cair yang dihilangkan selama pengolahan air limbah kota atau limbah rumah tangga. MSS atau juga disebut dengan lumpur tinja yang merupakan bahan baku melimpah dan terus ada setiap harinya[2].

Untuk Indonesia pengelolaan lumpur tinja berpusat di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT). Sementara itu diluar Negara Indonesia disebut dengan *Sewage & Wastewater Treatment Plant* dimana umumnya antara *wastewater* & *Sewage* dalam satu pusat pengolahan (*plant*). Sementara itu di Indonesia umumnya terpisah

antara Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT). Namun pengolahan lumpur tinja ada juga yang dihasilkan pada IPAL tunggal sebagai bagian dari proses pembersihan air seperti yang disajikan pada Gambar 2.6.



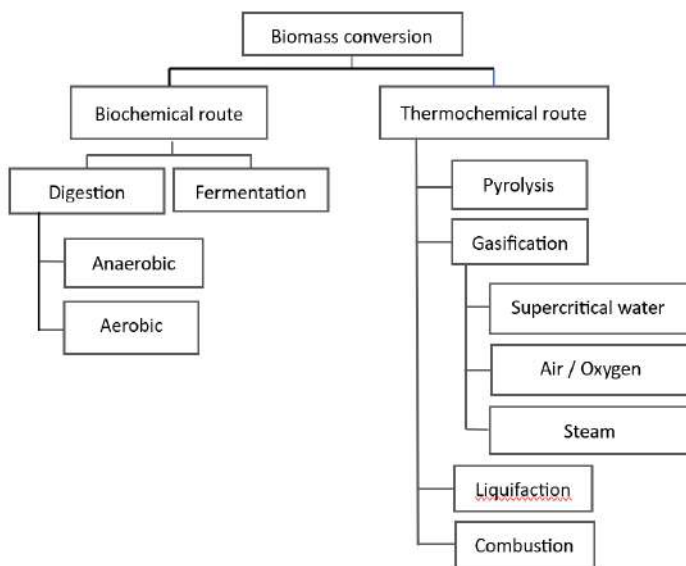
Gambar 2.6 Flowchart Wastewater Treatment Plant [3]

Indonesia sebagai negara berpenduduk yang tinggi tentu memiliki jumlah komponen limbah organik yang lebih besar. Pertumbuhan penduduk Indonesia juga dipastikan berbanding lurus dengan peningkatan jumlah limbah tersebut dengan pertumbuhan jumlah penduduk setiap tahunnya. Menurut data Badan Pusat Statistik pada tahun 2021 semester ke 2, penduduk Indonesia tercatat sebanyak 273 juta jiwa dengan proyeksi pada tahun 2030 mencapai 300 juta jiwa[4] Pertumbuhan

penduduk Indonesia juga dipastikan berbanding lurus dengan peningkatan jumlah limbah organik khususnya lumpur tinja. Daerah dengan kepadatan penduduk yang lebih tinggi seperti kota Medan sebagai kota metropolitan akan menyebabkan timbulnya lumpur tinja yang lebih banyak sehingga memiliki potensi untuk pengembangan pemanfaatan lumpur tinja menjadi bentuk energi baru dan terbarukan dengan mengkonversi lumpur tinja menjadi biogas.

Lumpur tinja akan diendapkan sehingga air terpisah dengan lumpur, air yang sudah terpisah akan diberi nutrisi dari bahan organik dan menjadi air bersih untuk dilepaskan ke badan air. Dengan populasi pertumbuhan penduduk dan semakin berkembangnya pusat industri dapat terlayani dengan baik apabila air limbahnya diolah ke IPAL maupun IPLT. Sehingga lingkungan menjadi bersih dan lumpur tinja bermanfaat menjadi bahan untuk dijadikan energi baru dan terbarukan.

Lumpur Tinja merupakan limbah organik yang dihasilkan dari kegiatan sehari-hari masyarakat atau makhluk hidup juga termasuk sebagai golongan biomasa. Teknologi proses pengolahan Lumpur Tinja menjadi biogas lalu menjadi listrik merupakan salah satu teknologi konversi energi yang disebut dengan WtE (*Waste to Energy*). Proses pemanfaatan limbah biomasa dengan teknologi WtE terdiri dari beberapa jenis pengolahan seperti yang disajikan pada Gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7 Teknologi Konversi Energi Biomasa [5]

Pada Gambar 2.7 menunjukkan teknologi konversi energi biomasa untuk pengolahan lumpur tinja umumnya dikelompokkan menjadi dua bagian besar yaitu secara biokimia dan termokimia. Secara biokimia pengolahan biomasa dilakukan dengan cara *digestion & fermentation*. Proses pengolahan secara *digestion* terdiri dari *anaerobic digestion & aerobic digestion*. *Anaerobic digestion* adalah salah satu teknologi WtE yang digunakan untuk menghasilkan biogas yang disebut juga sebagai biometanasi. Biometanasi ini membuat senyawa organik terdegradasi menjadi metana dan karbon dioksida dengan bantuan bakteri anaerob [6]. Sementara itu proses *aerobic digestion* adalah proses pengolahan secara biokimia yang terjadi dengan bakteri *aerobic* yang berbeda dari *anaerobic* yang tidak

membutuhkan oksigen biasanya *aerobic* diolah dengan sistem terbuka tidak di tangki seperti *anaerobic digestion*. [5]

Teknologi WtE secara termokimia merupakan cara yang umumnya terdiri dari beberapa jenis pengolahan seperti pembakaran (*insenerasi*), karbonisasi (*torefaksi*), *liquefaction*, pirolisis, serta gasifikasi [6]. Beberapa teknologi WtE dengan proses termokimia tersebut umumnya berkaitan dengan proses pembakaran. Proses pembakaran (*insenerasi*) menghasilkan panas yang dapat digunakan untuk menghasilkan uap yang kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik. Kisaran energi listrik yang dapat dihasilkan adalah sekitar 500 sampai 600 kWh per ton sampah yang dibakar. Dengan demikian, pembakaran sekitar 2.200 ton sampah per hari akan menghasilkan sekitar 50 MW daya listrik[7]. Karbonisasi merupakan teknologi konversi secara termokimia dengan pembakaran bahan baku untuk mendapatkan produk utama berupa arang. Proses karbonisasi terjadi pada rentang suhu 500-900°C dengan oksigen yang sangat sedikit atau bahkan tidak ada sama sekali sehingga proses pembakaran dalam kondisi *slow firing*. Sementara itu, *torefaksi* merupakan proses yang masih berhubungan dengan karbonisasi tetapi dengan rentang suhu yang lebih rendah yaitu 200-300°C. Sementara itu, *liquefaction* merupakan proses dekomposisi bahan baku padat menjadi cairan dengan molekul yang lebih kecil dan juga pada prosesnya dibantu dengan katalis. Pada proses *liquefaction* bahan baku dikontakkan dengan

media air pada rentang suhu 300-350 °C. Proses seperti ini dapat juga disebut dengan *hydrothermal liquefaction* [6].

Lumpur Tinja merupakan limbah organik dengan kadar air sangat tinggi. Pemanfaatan proses termokimia akan sangat tidak mungkin dilakukan. Pemanfaatan Lumpur Tinja menjadi biogas merupakan proses biokimia dengan *system digestion* dan menggunakan bakteri anaerobic. Secara keseluruhan system tersebut diberi nama *Anaerobic digestion*. *Anaerobic digestion* (AD) adalah sebuah teknologi yang terbukti untuk lumpur limbah pengobatan dan yang memungkinkan regenerasi dari mikro organisme yang ada. Bakteri merupakan jenis mikro organisme yang merusak partikel lumpur tinja sehingga mengubahnya kedalam bentuk gas yang merupakan campuran gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) yang dapat digunakan untuk listrik, panas dan *biofuel* produksi. Pada Tabel 2.1 berikut menyajikan pemanfaatan Lumpur Tinja menjadi listrik di negara yang sudah menerapkannya secara fasif tidak termasuk Indonesia.

Tabel 2.1 Biogas Production in WWTPs in Task 37 Member Countries (IEA Bioenergy Task 37, 2014 b) [3]

Country	Reference	Total Biogas Production From Agricultural Residues, Industrial Waste-Water, Biowaste, Land-Fills and Sewage Sludge	Biogas production in WWTPs only from sewage sludge	
			GWh/y	% of total production
Australia		na	na	na
Austria	2013	570 ³	na	na
Brazil	2014	613 ³	42 ³	7%
Denmark	2012	1.218 ¹	250 ¹	21%
Finland	2013	567 ³	126 ³	22%
France	2012	1273 ³	97 ³	8%
Germany	2014	41.550 ¹	3.050 ³	7%
Ireland		na	na	
Norway	2010	500 ¹	164 ¹	33%
South Korea	2013	2.578 ¹	969 ¹	38%
Sweden	2013	1.686 ¹	672 ¹	40%
Switzerland	2012	1.129 ¹	550 ¹	49%
The Netherlands	2013	3.631 ¹	711 ¹	20%
United Kingdom	2013	6.637 ³	761 ³	11%

Pembangunan Integrasi sistem IPLT dengan PLTBg (Pembangkit Listrik Tenaga Biogas) di Indonesia telah dilakukan sebatas melihat potensi dan studi kelayakannya, itupun hanya mencakup studi potensi untuk daerah yang ada di Pulau Jawa. Contoh yang paling banyak adalah studi mengenai kelayakan pembangunan PLTBg terintegrasi dengan IPLT yang dikelola oleh PD Pal Jaya di DKI Jakarta [8]. Kota Medan sebagai gerbang bagian barat Indonesia dan sebagai kota terbesar ketiga di

Indonesia memiliki penduduk hingga 2.460.858 jiwa dengan kepadatan 9.283 jiwa/km² yang sudah menyamai beberapa kota di Pulau Jawa. Kajian kelayakan integrasi ini sangat penting dilakukan di IPLT kota Medan karena dampak masifnya pertumbuhan penduduk ini yang harus dijadikan sebuah tantangan dan bukan sebagai hambatan membuat kota Medan akan menjadi lebih maju.

MSS (*Municipal Sewage Sludge*) merupakan limbah yang berbentuk seperti lumpur yang berasal dari kotoran manusia yang terkumpul menjadi satu (lumpur limbah mentah). Terdapat bentuk lain dari MSS yang telah terolah disebut sebagai *biosolid*. Industri mendefinisikan *biosolid* sebagai MSS yang telah mengalami perlakuan yang cukup untuk stabilisasi dan pengurangan patogen, dan memiliki kualitas yang cukup tinggi untuk diterapkan di lahan. Istilah ini dimaksudkan untuk membedakan lumpur limbah yang diolah dengan kualitas tinggi dari lumpur limbah mentah dan dari lumpur limbah yang mengandung polutan lingkungan dalam jumlah besar.

Istilah "biosolids" juga membantu membedakan lumpur limbah dari lumpur industri dengan menekankan bahwa yang pertama diproduksi oleh proses biologis. Istilah tersebut telah dikritik oleh beberapa orang sebagai upaya untuk menyamarkan sifat sebenarnya dari lumpur limbah, sehingga aplikasi tanah dari bahan ini tidak terlalu disukai masyarakat umum. Meskipun "biosolids" tidak diragukan lagi tidak memunculkan citra negatif yang sama seperti "lumpur limbah" atau hanya "lumpur", ini adalah istilah yang sah dan fungsional bila digunakan dengan

benar untuk membuat perbedaan yang dijelaskan di atas. MSS pada dasarnya akan muncul dari padatan pengolahan air limbah secara umum, dan "biosolid" akan digunakan untuk merujuk secara khusus pada material yang sesuai untuk aplikasi lahan.



Gambar 2.8 (a) Sewage Sludge & (b) Biosolid

Sebelum era pengolahan air limbah, air limbah kota tidak diolah dan lumpur juga tidak diolah. Lumpur limbah adalah produk akhir dari pengolahan air limbah kota dan mengandung banyak polutan yang dihilangkan dari air limbah. *Sludge* adalah suspensi padat dari air tersebut, sebagian besar terdiri dari bahan organik dan padatan organik sarat nutrisi, dan konsistensinya dapat bervariasi bentuk dari bubur menjadi padatan kering, tergantung pada jenis pengolahan lumpur yang ada. Pemanfaatan pertanian dari limbah lumpur telah dipraktikkan sejak pertama kali diproduksi. Mengingat pengalaman pertanian dengan penggunaan kotoran manusia, limbah, dan kotoran hewan pada lahan pertanian, yang merupakan perkembangan yang logis dan cukup baik [9].

MSS berasal dari berbagai tempat sumber yang bervariasi dalam komposisi dan toksisitas yang dihasilkan. Bagian penting dari limbah ini adalah bahan *biodegradable* organik yang memiliki karakteristik berbeda yang bergantung, pada dasarnya, seperti dari limbah pertanian, kehutanan, agroindustri, atau perkotaan. Secara umum, tidak terkendalinya pembuangan fraksi MSS ke dalam tanah karena waktu penguraianya yang tidak secepat yang dibayangkan. Kehadiran polutan juga sebagai alasan yang mendorong berbahaya dapat menghasilkan efek berbahaya yang mencemari tanah, udara dan air. Limbah *biodegradable* ini memiliki bahan organik yang tidak stabil, sehingga menghadirkan tingkat fitotoksitas yang tinggi, dan seringkali beban patogen yang tinggi, seperti virus, bakteri, jamur, dan parasit, baik untuk manusia maupun untuk hewan dan tumbuhan dapat berisiko terhadap lingkungan dan kesehatan. Dengan cara ini, sampah organik harus distabilkan dan dikondisikan mengurangi kemungkinan efek yang disebutkan sebelumnya sebelum dibuang ke tanah. Berikut merupakan perbandingan kandungan komposisi kimia MSS dan Kotoran Hewan.

Tabel 2.2 Comparison Element of Sewage Sludge and Animal Manure [9]

Constituent (Unit)	Animal Manure ^a Range	Sewage Sludge Range	Typical
Nitrogen (% dry weight)	1.7 - 7.8	<0.1 - 17.6 ^b	3.0
Total phosphour (% dry weight)	0.3 - 2.3	<0.1 - 14.3 ^b	1.0
Total sulfur (% dry weight)	0.26 - 0.68	0.6 - 1.5 ^b	1.0
Calcium (% dry weight)	0.3 - 8.1	0.1 - 25 ^b	4.0
Magnesium (% dry weight)	0.29 - 0.63	0.03 - 2.0 ^b	0.4
Potassium (% dry weight)	0.8 - 4.8	0.02 - 2.6 ^b	0.3
Sodium (% dry weight)	0.07 - 0.85	0.01 - 3.1 ^b	-
Aluminum (% dry weight)	0.03 - 0.09	0.1 - 13.5 ^b	0.5
Iron (% dry weight)	0.02 - 0.13	<0.1 - 15.3 ^b	1.7
Zinc (mg/kg dry weight)	56 - 215	101 - 27.800 ^b	1200
Copper (mg/kg dry weight)	16 - 105	6.8 - 3120 ^c	750
Maganese (mg/kg dry weight)	23 - 333	18 - 7.100 ^b	250
Boron (mg/kg dry weight)	20 - 143	4 - 757 ^b	25
Molybdenum (mg/kg dry weight)	2 - 14	2 - 976 ^b	10
Cobalt (mg/kg dry weight)	1	1-18 ^b	10
Arsenic (mg/kg dry weight)	12 - 31	0.3 - 316 ^c	10
Barium (mg/kg dry weight)	26	21 - 8.980 ^b	-

MSS atau Lumpur limbah kota dicirikan oleh konsistensinya yang padat atau cair yang dihasilkan dari

kandungan airnya yang tinggi dan ukuran partikel yang kecil. Komposisi fisikokimia tergantung pada sistem terbuka, sistem semi terbuka yang merupakan sistem tertutup *statics* atau terdiri dari tumpukan/windrows dengan pasif atau aerasi paksa. Pemanfaatan MSS ini memusatkan senyawa yang ada dalam air limbah, sehingga MSS atau lumpur limbah mengandung berbagai macam zat terlarut, terendapkan, dan tersuspensi. Ini bukan hanya sumber bahan organik, nitrogen, dan fosfor tetapi juga mengakumulasi zat dengan potensi kontaminasi seperti logam berat, patogen, dan polutan organik. Berikut merupakan komposisi kima dari MSS dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Chemical Composition of MSS [9]

	<i>Mean</i>	<i>Median</i>	<i>Percentile 5–95%</i>
Moisture (%)	84.0	85.3	76.8–87.4
Organic matter (%)	71.7	73.6	55.7–81.5
pH	6.8	6.8	5.9–7.9
Electrical conductivity (mS cm ⁻¹)	0.63	3 0.59	0.09–1.41
Total carbon (% dw)	35.8	36.1	28.1–40.1
Total nitrogen (% dw)	5.23	5.5	3.3–6.7
C/N ratio	7.2	6.5	5.7–12.2
P2O5 (% dw)	3.5	3.6	1.6–5.1
N-NH4 + (g kg ⁻¹ dw)	7.3	6.0	0.7–19.5

Pada Tabel 2.3 terdapat parameter rasio C/N yang cukup penting untuk menilai jenis pemanfaatan MSS. Karena rasio ideal untuk pengomposan adalah sekitar 20–30 bagian karbon per bagian nitrogen, maka penambahan bahan berkarbonasi diperlukan untuk menghindari

kehilangan yang berlebihan pada unsur nitrogen. Penambahan kayu yang dihancurkan banyak digunakan di fasilitas industri untuk pembuangan limbah lumpur tinja yang dilihat dalam beberapa aspek seperti: peningkatan rasio C/N, peningkatan porositas, dan kelembapan kontrol, dan distribusi oksigen yang diperlukan untuk pengembangan mikro organisme aerobik yang melekat pada proses pengomposan. [9]

Namun, penggunaan yang berlebihan bahan penggembur atau *co-substrat* seperti kayu tadi tidak diinginkan dalam fasilitas pengolahan seperti pengolahan volume limbah yang lebih besar. Maka diprioritaskan untuk mengoptimalkan biaya dan sumber daya yang ada. Sudah diketahui sifat berbahaya dari lumpur limbah ketika senyawa tertentu, seperti berat logam, mencapai konsentrasi di atas ambang batas tertentu. Logam berat beracun yang paling penting termasuk kromium (Cr), kadmium (Cd), timbal (Pb), seng (Zn), tembaga (Cu), nikel (Ni), dan merkuri (Hg). Konsentrasi logam berat dalam lumpur limbah dapat sangat bervariasi, tergantung pada asal lumpur. Kandungan logam berat dalam air limbah, terutama yang berasal dari kawasan industri dan kawasan metropolitan besar, dapat menimbulkan masalah serius sejak saat itu lumpur cenderung mengakumulasi logam berat yang ada di air limbah. Karena berbagai penjelasan tersebut lebih baik MSS dimanfaatkan pada suatu pengolahan yang memiliki keunggulan yang besar seperti energi.

BAB III



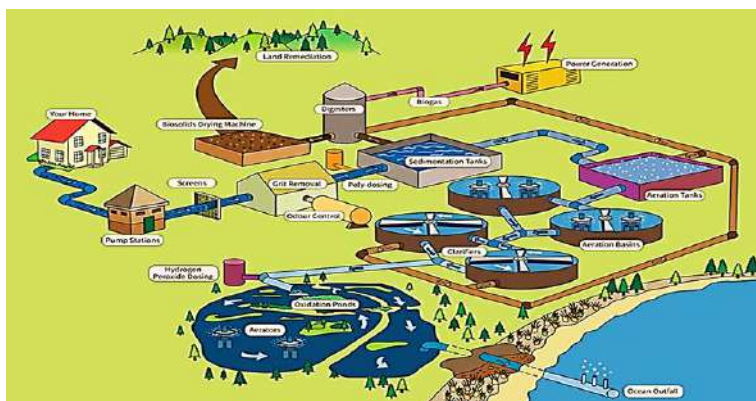
**Teknologi
Pemanfaatan MSS**

Secara umum ada dua jenis proses pemanfaatan yang paling sering diterapkan untuk proses biokimia. Biokimia terdiri dari proses *Digestion & Fermentation*. Berbagai teknologi yang tersedia tersebut dikelompokkan menjadi *Advanced Biological Treatment (ABT)*. Teknologi ini mencakup dua jenis yaitu *In Vessel Composting (IVC)* dan *Anaerobic Digestion (AD)* [10].

Pengembangan pemanfaatan secara biologis merupakan penggunaan yang relatif baru. Sampah makanan, lumpur tinja dan limbah hijau adalah bahan masukan yang cocok untuk teknologi ini. Bahan *biodegradable* lainnya, seperti kertas dan kayu juga dapat diproses, namun membutuhkan waktu lebih lama untuk mengoptimalkan pengolahan. Semua proses pengolahan limbah biologis melibatkan dekomposisi *biodegradable* limbah oleh mikroba hidup (bakteri dan jamur), yang menggunakan limbah tersebut sebagai sumber makanan untuk pertumbuhan dan proliferasi [10].

Pada dasarnya semua proses pengolahan memiliki potensi tinggi untuk memanfaatkan tetapi sistem *Digestion* khususnya *Anaerobic Digestion* lebih cocok jika bahan baku yang ada adalah MSS karena konversi ke kompos dengan teknologi IVC memiliki potensi yang kurang baik karena nilai C/N rasio MSS dibawah nilai 20-30 seperti yang ditunjukkan pada kandungan komposisi MSS pada Tabel 2.3. Oleh karena hal tersebut sistem *Anaerobic Digestion* dipilih untuk mengkonversi MSS menjadi Biogas untuk selanjutnya dikonversi kembali menjadi energi listrik.

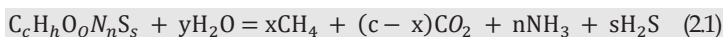
Secara umum keseluruhan proses tersebut dapat dilihat melalui Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Ilustrasi Pengolahan MSS menjadi Energi Listrik.

A. Proses Konversi Lumpur Tinja menjadi Biogas

Biogas dihasilkan dari proses anaerobik, yang melibatkan banyak kelompok mikro organisme yang berbeda seperti menghidrolisis, mengasamkan, bakteri asetogenik, dan metanogenik. Perumusan peningkatan pembentukan biogas dinyatakan dalam Persamaan 2.1 [11].



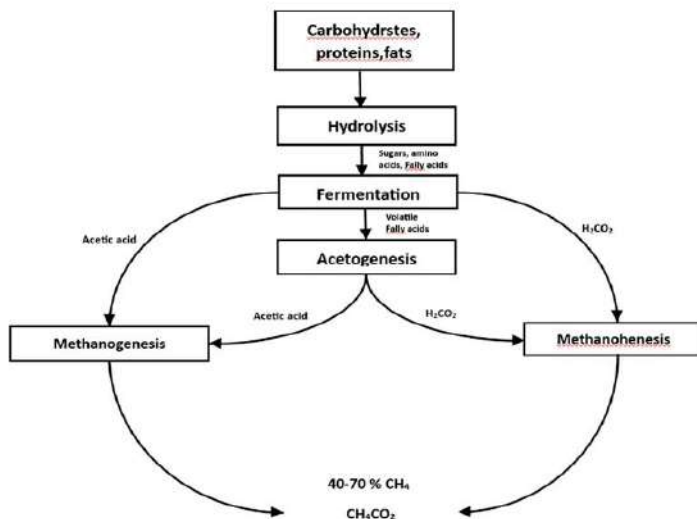
Untuk mengkonversi zat organik menjadi biogas secara efektif, mikroorganisme membutuhkan nutrisi dan kondisi lingkungan yang sesuai.

Nutrisi dan sintesis kimia yang diperlukan untuk penguraian anaerobic meliputi :

1. Mikronutrisi seperti $C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg$ untuk makanan bagi bakteri.
2. Makronutrisi seperti $Fe, Ni, Zn, Mn, Mo \ \& \ Co$ untuk menjaga bakteri tetap sehat.
3. Vitamin kadang-kadang diperlukan dalam jumlah kecil untuk memenuhi kebutuhan katalitik spesifik dalam biosintesis
4. Enzim(katalis protein yang dihasilkan oleh sel sel hidup) untuk mempercepat reaksi seluler dari mikroorganisme
5. Suhu sekitar $35^{\circ}C$ untuk mesofilik dan $55^{\circ}C$ untuk termofilik pH sekitar 7

Harga dan kualitas produksi biogas sangat bergantung pada jenis biomassa yang digunakan. Diferensiasi produksi CH_4 dari beberapa jenis bahan baku, seperti kotoran sapi, kotoran babi, lumpur limbah kota, limbah buah/sayur, dan limbah makanan, telah diteliti dalam beberapa penelitian. Nilai pupuk kandang untuk keperluan energi terutama bergantung pada kandungan bahan organik, abu mentah dan airnya. Secara umum, kualitas pupuk kandang yang tinggi sesuai dengan tingkat konsentrasi yang tinggi. [12]

Lebih lengkapnya proses pengolahan biomasa menjadi biogas pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Reaksi Proses Konversi Biogas[13]

Proses awal adalah tahapan hidrolisis yang biasanya terjadi pada *Equalization Pond* dimana pencampuran limbah dengan air dilakukan, Hidrolisis adalah langkah awal dari pencernaan anaerob, yang menguraikan bahan organik yang rumit, seperti karbohidrat, lemak dan protein menjadi monomer sederhana (glukose, asam amino dan asam lemak rantai panjang). Langkah ini melibatkan bakteri yang mengeluarkan enzim ekstra seluler untuk membantu pemecahan molekul kompleks menjadi molekul sederhana [14]. Beberapa bakteri hidrolisis yaitu *Peptostreptococcus*, *Bifidobacterium*, *Clostridium celerecrescens*, *Bacteroides ruminicola*, *Clostridium mutyricum*, dan *Clostridium viride* [15]; [11].

Langkah selanjutnya adalah proses fermentasi atau asidogenesis adalah proses yang mengubah produk

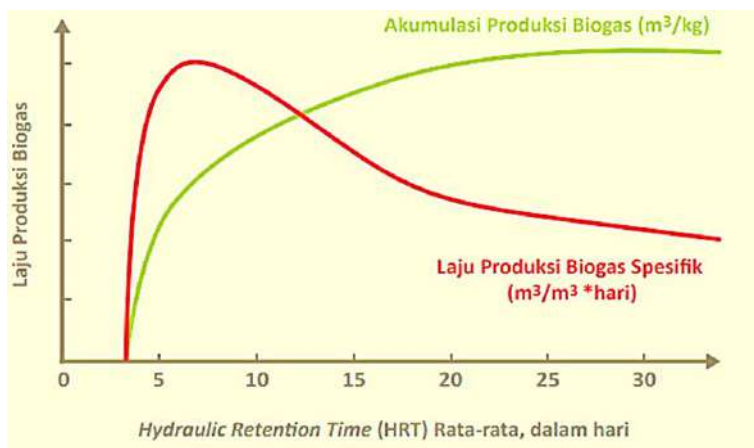
hidrolisis menjadi hidrogen, asam lemak rantai pendek atau asam lemak volatile (asam propionat, asam butirat, dan asam asetat), alkohol dan karbon dioksida oleh bakteri asidogenesis [14]. Jenis-jenis bakteri asidogen adalah *Enterobacterium*, *Bacteriodes*, *Acetobacterium* dan *Eubacterium* [15]. Selanjutnya langkah acetogenesis, produk asidogenesis (asam lemak volatil dan alkohol) diubah menjadi asetat, hidrogen, dan karbon dioksida oleh *Syntrophomonas* dan *Syntrophobacter*, sedangkan mikroorganisme *homoacetogenic* menghasilkan asam asetat dari hidrogen dan karbon dioksida [14]; [11]) . Beberapa produk asidogenesis seperti asetat, hidrogen, dan karbon dioksida dapat dikonsumsi langsung oleh metanogen, sedangkan asam lemak volatil dan alkohol akan dikonversi oleh asetojenik menjadi asetat [16]; [11]

Tahap terakhir adalah methanogenesis. Selama langkah ini, *methanogen* bekerja pada kondisi anaerob. Metanogen tidak menurunkan semua substrat. Jenis substrat yang dapat terdegradasi oleh *methanogen* terdiri dari tiga kelompok, yaitu [11]. Substrat utama yang digunakan oleh *methanogen* untuk menghasilkan metana yaitu karbon dioksida, hidrogen, dan asetat. Namun, substrat lain, misalnya, metil amina dan alkohol juga dapat digunakan untuk menghasilkan metana. Metanogen yang menghasilkan metana dari asetat disebut sebagai metanogensor asetat pemecah asetat, sedangkan metanogen yang menggunakan hidrogen dan karbondioksida untuk menghasilkan metana adalah asyhydrogenotrophs [16];[15].

Keseluruhan proses tersebut merupakan satu kesatuan yang memiliki waktu retensi. waktu retensi hidrolis atau (*Hydraulic Retention Time*) adalah lama waktu rata-rata suatu senyawa yang mudah larut untuk tetap berada di dalam reaktor. HRT merupakan standar untuk mengontrol degradasi substrat yang memadai tanpa membutuhkan volume reaktor yang terlalu besar. *Hydraulic Retention Time* (HRT) dapat dihitung dengan Persamaan 2.2:

$$\text{Hydraulic Retention Time (HRT)} = \frac{\text{Volume Reaktor (m}^3\text{)}}{\text{Debit Masuk (}\frac{\text{m}^3}{\text{hari}}\text{)}} \quad (2.2)$$

HRT sangat penting diamati untuk mengetahui seberapa lama pemecahan substrat bahan baku biomasa tadi untuk menjadi gas metana, HRT dipantau untuk menetapkan volume reaktor berdasarkan debit yang masuk. Pada Gambar 3.3 berikut dijelaskan mengenai hubungan laju produksi Biogas dan HRT.



Gambar 3.3 Korelasi Laju Produksi Biogas & HRT

Pada Gambar 3.3 diperlihatkan bagaimana grafik korelasi Laju produksi biogas dengan HRT dimana semakin tinggi HRT maka laju produksi Biogas akan menurun seiring dengan pertambahan nilainya, tetapi akumulais produksinya akan meningkat. Terdapat pengecualian pada nilai HRT di rentang kurang dari 5 hari sampai 10 hari, namun setelah itu nilai laju produksi akan menurun. Selain HRT, produk yang dihasilkan juga menjadi acuan keberhasilan pemanfaatan lumpur tinja menjadi biogas.

Berikut pada Tabel 3.1 merupakan perbandingan komposisi kandungan pada Biogas, Gas alam dan *Landfill Gas*.

Tabel 3.1. Perbandingan Komposisi Biogas, Gas Alam & Landfill Gas [17]

Komposisi	Unit	Biogas	Gas Alam	Landfill Gas
Methana CH ₄	% Vol	55 -70	91	45 –58
Ethana C ₂ H ₆	% Vol	0	5.1	0
Propana C ₃ H ₈	% Vol	0	1.8	0
Butana C ₄ H ₁₀	% Vol	0	0.9	0
Pentana	% Vol	0	0.3	0
CO ₂	% Vol	30 –45	0.61	32 –45
Nitrogen N ₂	% Vol	0 -2	0.32	0 –3
Volatile Organic Compounds (VOC)	% Vol	0	0	0.25 –0.5
Hidrogen H ₂	% Vol	0	0	Terdeteksi < 1%
Hidrogen Sulfida H ₂ S	ppm	< 500	<1	10 -200
Amonia NH ₃	Ppm	<100	0	0
Karbon Monoksida CO	Ppm	0	0	terdeteksi

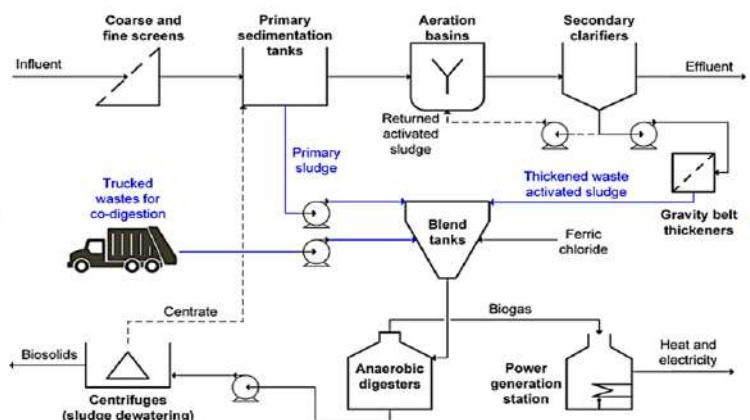
1. Teknologi Pengolahan Biogas

Untuk menghasilkan biogas, praktik yang biasa dilakukan adalah mencampurkan air dengan beberapa bahan organik, seperti beberapa kotoran sapi (sumber bebas dari mikro - organisme yang sesuai), tempatkan lumpur yang dihasilkan dalam wadah anti bocor (disebut digester) dan membiarkannya berfermentasi. Setelah beberapa hari pada suhu yang sesuai, metana yang cukup

akan terbentuk untuk membuat agas yang mudah terbakar [18].

Pada penjelasan sebelumnya mengenai pengolahan biogas dengan cara biokimia *Anaerobic digestion* adalah teknologi yang paling tepat. *Anaerobic digestion* adalah proses dekomposisi zat organik yang mudah terurai yang berlangsung dalam kondisi yang terkontrol dan melibatkan berbagai jenis mikro organisme dalam kondisi tidak ada oksigen [19]. Proses AD terjadi secara alami di lingkungan, contohnya di lingkungan rawa atau di dalam usus besar binatang ternak. Dengan menggunakan rekayasa teknologi, proses AD ini diaplikasikan untuk membantu proses dekomposisi zat organik didalam reactor / tangki kedap udara, yang umum disebut digester, untuk memproduksi energi terbarukan, yaitu biogas.

Berbagai jenis mikroorganisme terlibat dalam proses degradasi secara anaerobik, dimana produknya adalah biogas dan digestate (Ricci & Confalonieri, 2016). Digestate adalah material yang tersisa dari proses AD, bisa berbentuk padat, cair, maupun campuran keduanya yang kaya akan kandungan nutrisi, sehingga dapat digunakan sebagai pupuk. *Digestate* berbeda dengan kompos, walaupun keduanya memiliki karakteristik yang sama. Kompos adalah sebutan untuk produk dari proses dekomposisi aerobik, dimana oksigen diperlukan dalam prosesnya. Pada pengolahan MSS menjadi biogas dengan teknologi AD terdapat diagram flowchart yang ditampilkan pada Gambar 3.4.



Simplified process flow diagram for the integrated full-scale WWTP-AcoD system. The waste streams fed into the AcoD facility are indicated in blue.

Gambar 3.4 Flowchart Pengolahan MSS menjadi Listrik

Pemilihan teknologi pengolahan biogas umumnya ditentukan dari jenis reaktor yang ada menurut bentuknya. Pada umumnya untuk skala industri reaktor atau biodigester dan instalasi selanjutnya mengikuti dari jenis reaktor. Kedua jenis reaktor yang umum adalah CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) dan CL (*Covered Lagoon*). CSTR merupakan reaktor tangki dicirikan oleh aliran kontinyu dari reaktan ke dalam dan produk dari sistem reaksi. Komposisi dan suhu sistem reaksi selalu identik dengan komposisi dan suhu aliran produk. CSTR adalah model umum untuk reaktor kimia dalam teknik kimia yang umpannya terus ditambahkan dan produknya terus dibuang.



Gambar 3.5 CSTR (Contious Stirred Tank Reaktor)

Laguna adalah badan air atau cekungan seperti kolam yang dirancang untuk menerima, menampung, dan mengolah air limbah untuk jangka waktu yang telah ditentukan. Jika perlu, mereka dilapisi dengan bahan, seperti tanah liat atau lapisan buatan, untuk mencegah kebocoran air tanah di bawahnya. Di laguna, air limbah diolah melalui kombinasi proses fisik, biologi, dan kimia. Sebagian besar pengolahan terjadi secara alami, namun beberapa sistem menggunakan perangkat aerasi untuk menambahkan oksigen ke air limbah. Aerasi membuat pengolahan lebih efisien, sehingga lebih sedikit lahan yang diperlukan. Aerator dapat digunakan untuk memungkinkan sistem yang ada mengolah lebih banyak air limbah. Laguna harus dirancang secara individual agar sesuai dengan situs dan penggunaan tertentu. Desain didasarkan pada faktor-faktor seperti jenis tanah, luas lahan yang tersedia, dan iklim. Pertimbangan desain yang penting untuk laguna mencakup jumlah dan jenis air limbah yang akan diolah dan tingkat pengolahan yang disyaratkan oleh

peraturan. Air limbah yang meninggalkan laguna mungkin memerlukan pengolahan tambahan, atau "pemolesan", untuk menghilangkan organisme penyebab penyakit atau nutrisi dari air limbah sebelum dapat dikembalikan ke lingkungan. Selain sistem CSTR ada juga sistem CL (*Covered Lagoon*) yang ada pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 CL (*Covered Lagoon*) 43

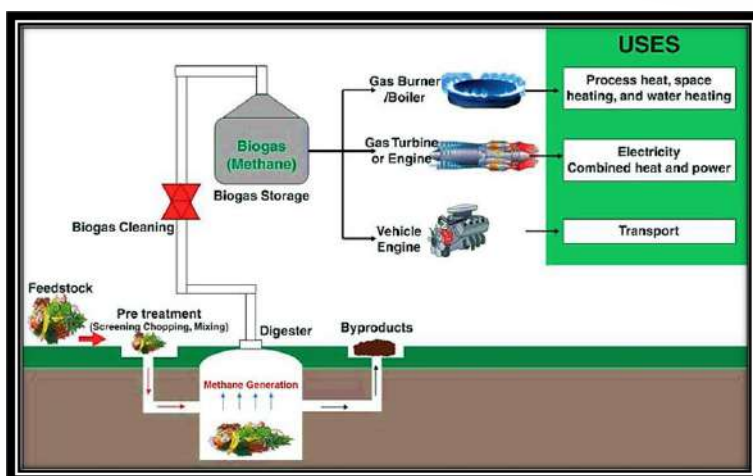
Sistem pencernaan anaerobik memiliki berbagai konfigurasi, termasuk konfigurasi reaktor tangki berpengaduk terus menerus (CSTR), *plug flow* (PF), dan reaktor *batch sequencing* anaerobik (ASBR). CSTR sering digunakan dalam penelitian karena kesederhanaannya dalam desain dan operasi, tetapi juga untuk keuntungannya dalam eksperimen. Dibandingkan dengan konfigurasi lainnya, CSTR memberikan keseragaman parameter sistem yang lebih besar, seperti suhu,

pencampuran, konsentrasi bahan kimia, dan konsentrasi substrat.

Pada akhirnya, ketika merancang reaktor skala penuh, konfigurasi reaktor yang optimal akan bergantung pada karakter substrat tertentu di antara banyak pertimbangan nonteknis lainnya. Namun, semua konfigurasi berbagi fitur desain dasar dan parameter operasi yang menjadikan CSTR sesuai untuk sebagian besar penilaian awal. Jika peneliti dan insinyur menggunakan aliran influen dengan konsentrasi padatan yang relatif tinggi, maka konfigurasi bioreaktor skala lab tidak dapat diumpankan secara terus menerus karena masalah penyumbatan pompa skala laboratorium dengan padatan atau pengendapan padatan dalam pipa. Untuk skenario tersebut dengan persyaratan pencampuran berkelanjutan, bioreaktor skala lab diumpankan secara berkala dan kami menyebut konfigurasi tersebut sebagai pengurai anaerobik berpengaduk terus menerus (CSAD).

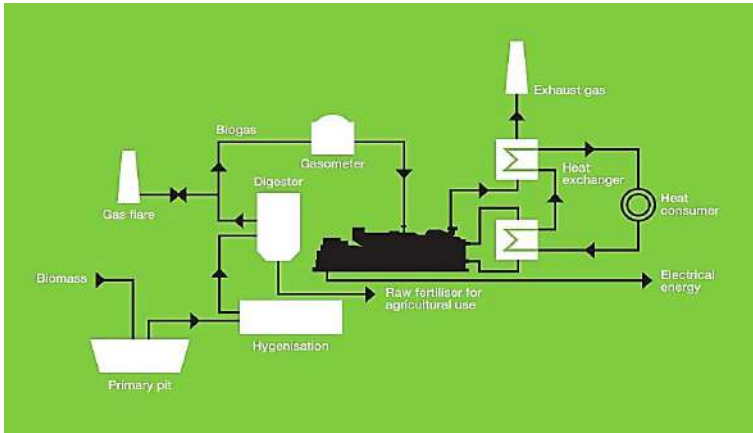
B. Teknologi Konversi Biogas menjadi Energi Listrik

Konversi energi dari biogas umumnya terdiri dari 2 jenis yaitu untuk panas (*heat conversion*) atau mengubah biogas menjadi listrik. Pada dasarnya konsep tersebut adalah proses konversi energi yang umum. Pada Gambar 3.7 berikut terdapat proses pemanfaatan biogas menjadi bentuk energi lainnya.



Gambar 3.7 Jenis Konversi Biogas 46

Pada umumnya teknologi konversi biogas menjadi energi yang paling banyak dipilih adalah dirubah menjadi energi listrik dengan penyaluran langsung menuju *gas engine*. Oleh karena itu teknologi ini dipilih pada penelitian ini. Biogas terbakar dengan api biru yang hampir tidak berbau dengan panas pembakaran yang setaramenjadi 21,5 MJ/m³. Kepadatan relatif biogas dibandingkan dengan air adalah sekitar 0,8. Pengapian otomatis suhu mirip dengan metana murni dan telah ditemukan bervariasi dari 923 K sampai 1023 K (650-750°C). Ketertarikan utama pada teknologi biogas adalah karena potensinya menghasilkan energi dengan biaya rendah dan merupakan sumber energi yang tersedia. Karena itu pentingnya biogas sebagai sumber energi bahan bakar yang efisien dan tidak berpolusi saat ini dengan baik dikenali[20]. Berikut merupakan *flowchart* proses konversi biogas menjadi listrik pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Flowchart Konversi Biogas Menjadi listrik

Peralatan utama untuk mengkonversi gas yaitu *gas engine*. *Gas engine* memiliki karakteristik yang berbeda dengan *gas turbine*, tetapi pada umumnya untuk tekanan dan debit yang tidak terlalu tinggi *gas engine* dipilih. Karena prinsip kerjanya yang memanfaatkan tenaga dari pembakaran gas pada piston lalu mengubahnya menjadi energi gerak yang menggerakkan *crankshaft*. *Crankshaft* ini akan memutar *shaft* generator yang dijadikan sebagai pembangkit listrik. Berikut gambaran *gas engine* yang digunakan untuk konversi biogas menjadi listrik pada Gambar 3.9.

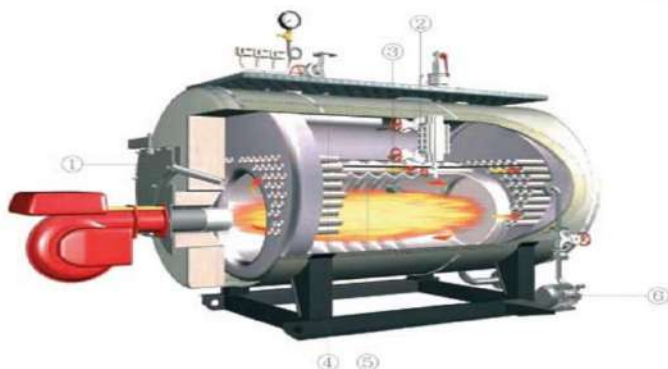


Gambar 3.9 Biogas Engine

Biogas terutama terdiri dari 50–70% (berdasarkan volume) metana(CH_4) dan 25–40% (berdasarkan volume) karbon dioksida (CO_2). Karena kandungan CO_2 yang tinggi, karakteristik pembakaran biogas lebih rendah daripada gas alam, yang hampir semuanya CH_4 , mengakibatkan kecepatan pembakaran berkurang, temperatur api lebih rendah dan kisaran stabilitas api lebih sempit. Tetapi bukan berarti tidak ada potensi untuk dikonversi menjadi energi panas. Untuk kekurangan yang disebutkan di atas, karakteristik api biogas mudah meledak dan telah dipelajari di beberapa penelitian. Tidak seperti gas bahan bakar lainnya, yang rentan terjadi pada api biogas karena kecepatan pembakaran, tetapi nyala api dan ledakan adalah kondisi ketidak stabilan api yang paling mengkhawatirkan [21].

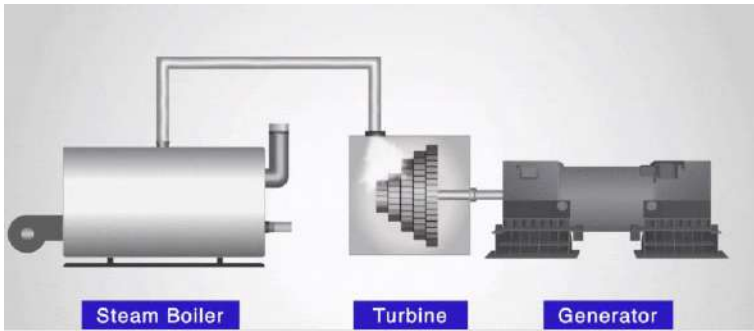
Berbagai metode pemanfaatan biogas telah diusulkan, yang dapat dibagi menjadi dua kategori. Salah satunya adalah mengubah biogas mentah berkualitas rendah menjadi bahan bakar berkualitas tinggi melalui pemurnian biogas atau mencampurnya dengan bahan

bakar bermutu tinggi (misal, H_2 , LPG). Biogas yang dicampur dengan LPG dapat meningkatkan nilai kalor dan kecepatan pembakaran dibandingkan dengan biogas mentah. biogas; dengan demikian, bahan bakar campuran dapat digunakan sebagai gas yang dapat dipertukarkan dari gas alam cair. Leung and Wierzba pada tahun 2008 mempelajari stabilitas biogas pembakaran api difusi yang dicampur dengan sejumlah kecil hidrogen. Sementara penambahan hidrogen awal 10% ke biogas menyebabkan peningkatan yang luar biasa pada batas ledakan, tingkat peningkatan batas ledakan berkurang dengan peningkatan terus-menerus dari 10% menjadi 25%. Cara pemanfaatan biogas lainnya adalah mengubah cara pembakaran biogas; misalnya, mengadopsi teknik baru seperti pembakaran tanpa api dan pembakaran media berpori. Mode pembakaran tanpa api dapat berkontribusi pada pengurangan konsumsi bahan bakar, stabilitas pembakaran, keseragaman suhu dan rendahnya pembentukan polutan. Pembakaran media berpori memungkinkan operasi dalam rezim pembakaran ultra ramping dengan pertukaran bahan bakar yang sangat baik dan mengurangi emisi polutan. Tetapi dari berbagai penjelasan yang paling umum digunakan adalah pembakaran biogas oleh burner di dalam *furnace boiler* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.10 [21].



Gambar 3.10 Boiler Burner [22]

Fungsi boiler adalah menghasilkan air panas atau uap. Boiler air panas memanaskan air untuk tujuan pemanasan rumah tangga atau komersial dan pasokan air panas. Boiler menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin untuk pembangkit listrik dan berbagai aplikasi pemanas industri lainnya. Untuk memvisualisasikan efek pembangkitan uap menggunakan boiler, bayangkan uap yang menggerakkan turbin. Ketika uap melewati bilah turbin, gaya memutar bilah dan mempercepat turbin. Uap mengandung energi yang sangat besar, sehingga membuat turbin cukup efisien dan tergantung pada bahan bakar yang digunakan untuk merebus air, cukup hemat energi juga [23].



Gambar 3.11 Flowchart Boiler – Steam Turbin – Generator [23]

Dapat dilihat dari Gambar 2.19 dari boiler kemudian steam yang sudah dibangkitkan akan masuk ke dalam sudu-sudu turbin yang sebelumnya disemprotkan oleh *nozzle turbin*. Turbin uap adalah perangkat yang mengekstraksi energi panas dari uap dan mengubahnya menjadi kerja mekanis pada poros keluaran yang berputar. Turbin uap diklasifikasikan berdasarkan siklus dan kondisi uap, seperti siklus *Rankine*, siklus regeneratif *Rankine*, siklus pemanasan ulang, kondensasi atau nonkondensasi, dan berdasarkan jumlah dan susunan poros dan selubung poros turbin.

Ketika dua atau lebih selongsong terlibat, desainnya adalah gabungan tandem (semua selongsong pada poros yang sama) atau senyawa silang (selongsong pada dua atau lebih poros). Turbin dirancang dengan beberapa tahap untuk mengakomodasi ekspansi volume uap saat tekanan turun. Saat uap bergerak melalui sistem dan kehilangan tekanan dan energi panas, volumenya mengembang, membutuhkan diameter yang lebih besar dan bilah yang lebih panjang di setiap tahap berikutnya untuk mengeks-

trak energi yang tersisa [24]. Berikut merupakan tampilan jelas *steam turbin* pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Steam Turbine [24]

C. Teknologi Konversi Energi Panas Menjadi Cahaya

1. Intensitas Cahaya

Intensitas Cahaya mengacu pada seberapa banyak energi cahaya yang melewati area tertentu dalam suatu periode waktu. Intensitas cahaya diukur dalam watt per meter persegi (W/m^2) atau candela (Cd). Intensitas cahaya adalah parameter penting dalam ilmu optik, fotometri, dan berbagai aplikasi teknologi, termasuk pengukuran pencahayaan, desain lampu, dan teknologi sensor cahaya. Intensitas cahaya adalah parameter penting dalam aplikasi penerangan, fotografi, astronomi, dan pengukuran sensor cahaya. Kualitas pencahayaan dalam ruangan atau lingkungan luar sering diukur dengan intensitas cahaya, sehingga penggunaan yang efisien dari lampu atau sistem pencahayaan dapat diatur sesuai kebutuhan.

Optimasi untuk penelitian ini memfokuskan pada pencahayaan, di mana pencahayaan berasal dari cahaya yang berarti merupakan suatu bentuk energi yang diradiasikan atau dipancarkan dari sebuah sumber dalam bentuk gelombang dan merupakan bagian dari keseluruhan kelompok gelombang-gelombang elektromagnet. Gelombang tersebut memiliki panjang dan frekuensi tertentu, yang nilainya dibedakan dari energi cahaya lainnya dalam spektrum elektromagnetisnya. Cahaya dipancarkan dari suatu benda dengan fenomena sebagai berikut :

- a. Pijar, benda padat, dan cair memancarkan radiasi yang dapat dilihat bila dipanaskan sampai suhu tertentu. Intensitas meningkat dan penampilan menjadi semakin putih jika suhu naik.
- b. Muatan listrik, jika arus listrik dilewatkan melalui gas, maka atom dan molekulnya akan memancarkan radiasi. Dimana spektrum elektromagnetisnya merupakan karakteristik dari elemen yang ada.
- c. Electro Luminescence. Cahaya dihasilkan jika arus listrik dilewatkan melalui padatan tertentu seperti semikonduktor atau bahan yang mengandung fosfor.
- d. Photo luminescence, radiasi pada salah satu panjang gelombang biasanya oleh suatu padatan dan dipancarkan kembali pada berbagai Panjang gelombang. Bila radiasi yang dipancarkan kembali tersebut merupakan fenomena yang dapat dilihat,

maka radiasi tersebut disebut fluorescence atau phosphorescence.

Dalam pencahayaan terdapat beberapa istilah standar dalam beserta satuannya antara lain arus cahaya, intensitas cahaya, illuminan, dan luminan

- a. Arus Cahaya (luminous flux) adalah banyaknya cahaya yang dipancarkan ke segala arah oleh sebuah sumber cahaya per satuan waktu, dengan satuan Lumen.
- b. Intensitas Cahaya (luminous intensity) adalah kuat cahaya yang dikeluarkan oleh sebuah sumber cahaya ke arah tertentu, diukur dengan satuan Candela.
- c. Illuminan (illuminance) adalah banyaknya arus cahaya yang datang pada satu unit bidang, diukur dengan lux atau lumen per meter persegi, sedangkan prosesnya disebut iluminasi yaitu datangnya cahaya ke suatu objek.
- d. Luminan (luminance) adalah intensitas cahaya yang dipancarkan, dipantulkan, dan diteruskan oleh suatu unit bidang yang diterangi, diukur, dengan satuan Candela per meter persegi. Sedangkan prosesnya disebut luminasi yaitu perginya cahaya dari suatu objek.

Tabel 3.2 Simbol dan Satuan Cahaya

Kesatuan	Simbol	Satuan	Simbol Satuan
Kuat Cahaya (intensitas cahaya)	I	Candela	Cd
Arus Cahaya (fluks luminus)	Φ	Lumen	lm
Arus Cahaya yang datang (iluminan)	E	Lux	lx
Arus Cahaya yang pergi (luminan)	IL	Cd/m^2	Cd/m^2

2. Lux Meter

Lux meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya atau tingkat pencahayaan di suatu tempat. Alat ini bekerja secara otomatis untuk menghitung dan mengukur intensitas cahaya dan menyesuaikannya dengan cahaya yang dibutuhkan. Lux meter terdiri dari tiga komponen utama yaitu rangka, LED, dan photodiode.



Gambar 3.13 Lux Meter

Fungsi lux meter adalah sebagai pengukur intensitas cahaya yang tersebar di dalam suatu tempat. Lux meter dapat digunakan untuk mengukur tingkat iluminasi atau penerangan pada suatu area atau daerah tertentu. Iluminasi adalah besaran yang menggambarkan seberapa banyak cahaya yang diterima oleh mata manusia dari suatu sumber cahaya. Dengan menggunakan lux meter, kita dapat mengetahui apakah iluminasi pada suatu tempat sudah sesuai dengan standar atau tidak.

Cara kerja lux meter adalah dengan mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Alat ini memiliki sensor dengan sel foto atau photodiode yang diletakkan pada sumber cahaya yang akan diukur intensitasnya. Cahaya akan menyinari sel foto menjadi arus listrik. Makin banyak cahaya yang diserap oleh sel, arus yang dihasilkan pun semakin besar.

Sensor yang digunakan pada alat ini adalah photodiode. Sensor ini termasuk kedalam jenis sensor cahaya atau optik. Sensor cahaya atau optik adalah sensor yang mendeteksi perubahan cahaya dari sumber cahaya, pantulan cahaya ataupun bias cahaya yang mengenai suatu daerah tertentu. Gambar 2.21 merupakan alat ukur lux meter.

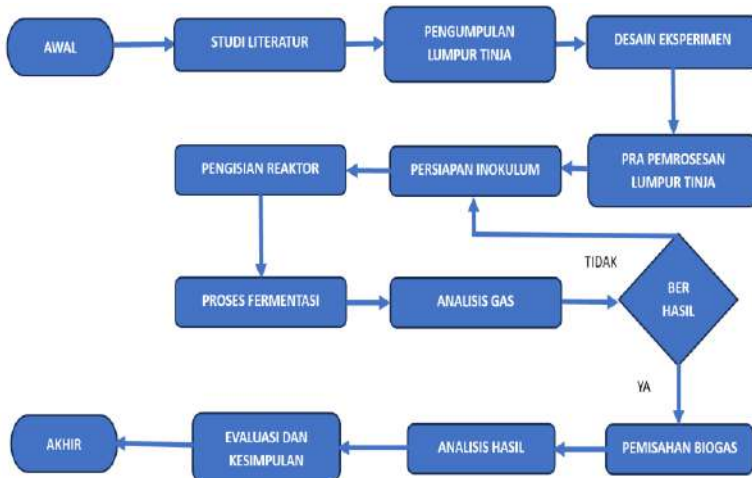
BAB IV



**Perancangan & Prosedur
Pengelolaan Tinja
Menjadi Pembangkit
Listrik Tenaga Biogas**

A. Tahapan Rancangan Pengelolaan

Pada Tahapan dan Prosedur penelitian kali ini yaitu mengubah lumpur tinja menjadi biogas dengan menggunakan reaktor dengan tahapan utama terdapat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Tahapan Keseluruhan Penelitian

1. Studi Literatur

Melakukan penelitian mendalam tentang proses fermentasi anaerobik, karakteristik lumpur tinja, jenis mikroorganisme yang terlibat, dan desain reaktor biogas dalam memahami dasar ilmiah dan praktik terbaik.

2. Pengumpulan Lumpur Tinja

Kumpulkan sampel lumpur tinja dari sumber yang mewakili kondisi nyata dengan menganalisis awal membantu dalam pemahaman komposisi dan potensi biogas.

a. Desain Eksperimen

Menentukan jenis reactor yang akan digunakan (misalnya, reactor anaerobic tipe UASB atau CSTR) dan parameter penting seperti suhu, pH, dan waktu retensi hidup (HRT).

b. Pra - Pemrosesan Lumpur Tinja

Melakukan pra-pemrosesan pada lumpur tinja dengan penggilingan atau penyaringan untuk mempersiapkan masuk kedalam reaktor.

c. Persiapan Inokulum

Mengumpulkan inokulum yang kaya akan mikroorganisme pengurai anaerobik atau menambah bahan yang mengandung bakteri pengurai anaerobik kedalam reactor untuk memulai proses fermentasi.

d. Pengisian Reaktor

Isi reaktor dengan campuran lumpur tinja yang telah diproses dan inokulum, pastikan proporsi yang tepat untuk mendukung aktivitas mikroorganisme.

e. Proses Fermentasi

Biarkan reaktor berjalan dalam kondisi yang sesuai, dengan desain eksperimen dengan mengamati perubahan suhu, pH, dan produksi gas secara berkala.

f. Analisis Gas

Memonitor produksi gas secara berkala untuk mengukur jumlah dan komposisi biogas yang dihasilkan.

g. Pemantauan Parameter

Memantau parameter apabila tidak ada mucul gas maka akan Kembali ke persiapan inokulum dengan menambah bahan yang mengandung bakteri dengan mengaduk isi reactor tersebut untuk pencampuran yang merata.

h. Pemisahan Biogas

Pisahkan bioagas dari residu dengan metode pemisahan yang sesuai, seperti pemisahan gravitasi

i. Analisis Hasil

Uji kualitas biogas yang dihasilkan dengan menyambungkan lampu lantern dengan membandingkan waktu lampu menyala.

j. Evaluasi dan Kesimpulan

Mengevaluasi hasil yang diperoleh dari produksi biogas, efisiensi proses, dan parameter-parameter lainnya

B. Material dan Karakteristik Proses Perancangan

Bahan yang digunakan adalah MSS (*Municipal Savage Sludge*). MSS disajikan sebagai sampel yang diambil dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Medan, selain itu juga terdapat beberapa data sekunder yang diambil dari Laboratorium & kantor operasional IPLT Kota Medan. IPLT Kota Medan berlokasi di Medan Estate, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera

Utara 20241. Berikut merupakan gambaran IPLT Kota Medan yang terdapat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 IPLT Kota Medan

Peralatan yang digunakan pada penelitian kali ini diantaranya adalah peralatan hitung, data logsheet IPLT, komputer untuk melakukan pengolahan data dan literatur review serta alat tulis. Penelitian ini terdiri dari pengambilan data primer dan data sekunder, Data sekunder merupakan data yang mayoritas digunakan sehingga peralatan pada penelitian hanya pada peralatan dasar ditambah dengan alat ukur kelistrikan.

Dalam studi kelayakan Integrasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas memiliki definisi sebagai berikut:

1. Populasi yang dimaksud adalah lokasi atau wilayah yang berpotensi untuk mengintegrasikan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Menjadi Pembangkit Listrik Biogas.

2. Dalam studi ini, sampel adalah lokasi atau wilayah tertentu yang dipilih secara acak atau berdasarkan kriteria tertentu dari populasi potensial. Sampel ini digunakan untuk melakukan evaluasi kelayakan untuk dipelajari lebih efisien karena dapat memengaruhi hasil dan generalisasi temuan.
3. Keaslian & Kebaruan Kebaruan penelitian ini adalah dengan membuat studi eksperimental pengolahan lumpur tinja dengan perancangan reaktor dengan miniatur bentuk silinder vertikal dengan menyambungkan dengan lampu lantern sebagai sumber energi. Jenis lumpur tinja yang digunakan adalah lumpur tinja domestik rumah tangga yang dikumpulkan di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja di Kota Medan. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian dengan mengamati gas yang muncul pada reaktor dengan alat ukur tekanan gas yang disambungkan pada lampu lantern sebagai alat ukur gas yang dihasilkan.

Kebaruan penelitian mengacu pada satu atau beberapa elemen yang baru dalam penelitian, termasuk metodologi baru atau pengamatan baru yang mengarah pada penemuan pengetahuan baru. Sebuah kebaruan akan berkontribusi pada kemajuan ilmiah, seperti yang dinyatakan oleh Filsuf, Imre Lakatos, bahwa program penelitian yang baik adalah "progresif" [26]. Pada Tabel 3.1 ditampilkan beberapa penelitian yang berkaitan dengan pengolahan MSS dengan proses gasifikasi sebagai berikut.

Tabel 4.1. Daftar Penelitian Terdahulu yang Memiliki Kesamaan

No	Penulis	Teknologi	Negara	Hasil
1	Manyuchi, M., et al., 2013	<i>CSTR + Gas Engine</i>	Zimbabwe	Layak dengan tambahan <i>Bio Catalyst</i> .
2	Basrawi, F, et al., 2017	<i>CSTR + Co Firing Boiler + Steam Turbin</i>	Malaysia	Layak dengan catatan Pembangkit Listrik (Steam Turbin) lebih besar kapasitasnya
3	Da Silva, J., C., A., 2021.	<i>Fix Bed Biodigester Reactor</i>	Portugal	Secara teknis layak, secara ekonomi tidak layak, NPV (bernilai negatif)
4	Scarcelli, P, G, et al., 2021	<i>CSTR+Micro algae Pond</i>	Spanyol	Layak dengan integrasi Microalga Plant
5	Ardiansyah, 2017	<i>Konvensional Biodigester + Gas Engine</i>	Indonesia	Layak di konversi menjadi listrik di Kota Pontianak
6	Rahmani, P, dkk., 2013	<i>Konvensional Biodigester + Sistem Pemipaan</i>	Indonesia	Layak secara teknis dan lingkungan untuk dikonversi menjadi gas untuk memasak di sekitar PD Pal Jaya DKI Jakarta

Beberapa penelitian terdahulu tersebut juga akan dijadikan sebagai referensi yang akan mengarahkan penelitian terhadap tujuan yang diinginkan. Studi kelayakan Integrasi IPLT dengan PLTBg di Kota Medan ini akan menjadi dasar dari penelitian berikutnya untuk kajian lebih spesifik mengenai potensi MSS menjadi Biogas di Kota Medan.

Kerangka Berpikir/ Konseptual

Kerangka berpikir ini membantu menyusun metodologi studi kelayakan yang sistematis dan komprehensif untuk mengintegrasikan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja menjadi Pembangkit Listrik Biogas. Kerangka berpikir / Konseptual dapat dibagi menjadi beberapa tahap dan komponen utama:

1) Penilaian Awal (Pra-Studi Kelayakan)

- a. Identifikasi Lokasi : Menentukan lokasi potensial untuk Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja dan Pembangkit Biogas
- b. Ketersediaan Lumpur Tinja : Menilai ketersediaan lumpur tinja sebagai bahan baku, termasuk volume dan kualitasnya.
- c. Pengumpulan Data Awal : Mengumpulkan data dasar seperti karakteristik limbah tinja, kebijakan lingkungan, dan aspek sosial ekonomi.

2) Studi Kelayakan Teknis

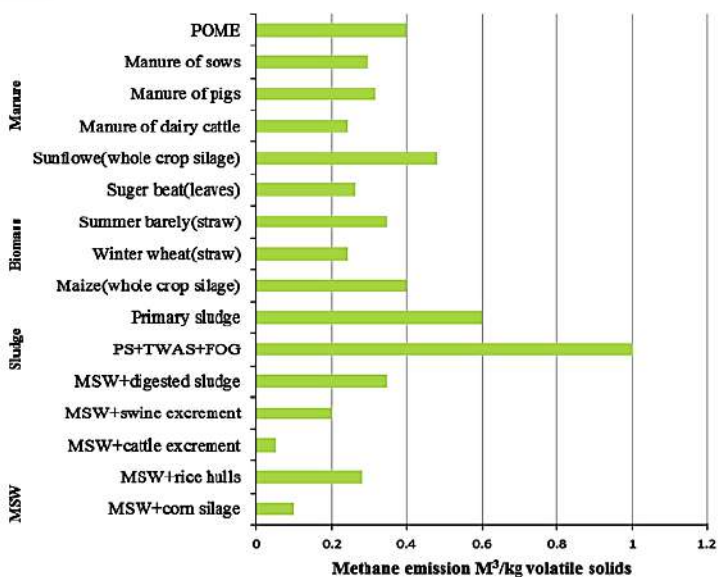
yaitu pemilihan teknologi, analisis proses biogas dan manajemen limbah dengan Studi Eksperimental Lumpur Tinja Dengan Perancangan Reaktor Biogas.

Variabel Oprasional

Definisi operasional variabel adalah langkah penting dalam metodologi penelitian yang membantu mengukur, mengamati, atau mengumpulkan data tentang variabel-variabel yang relevan dalam studi kelayakan integrasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas. Ketersediaan lumpur tinja (*Variabel Independen*) merupakan Jumlah lumpur tinja yang dapat dikumpulkan dari sumber-sumber tertentu dalam periode waktu tertentu, diukur dalam liter atau ton per hari. Kualitas Lumpur Tinja (*Variabel Independen*) merupakan kualitas lumpur tinja diukur berdasarkan parameter seperti kandungan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan kandungan logam berat, dianalisis secara laboratorium.

C. Prosedur Pengujian Kelayakan

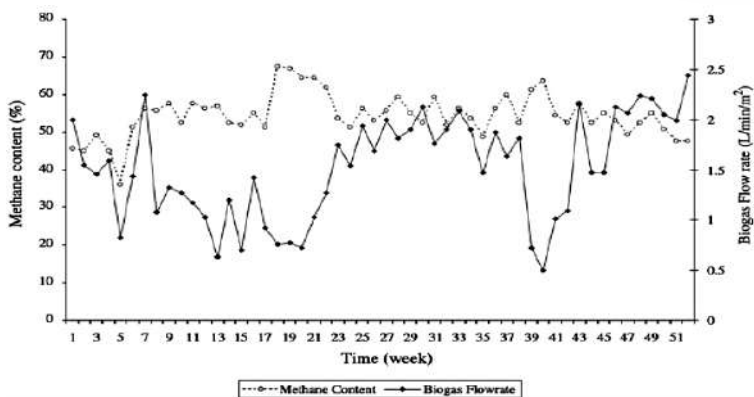
Studi kelayakan sangat erat kaitannya kuantitas biogas yang dihasilkan didasarkan pada komposisi biomethane optimum yaitu 78%, yang merupakan komponen utama yang dibutuhkan dalam biogas untuk pembangkit listrik untuk beban limbah optimum 7,5 g/ hari. Untuk dapat melihat komparasi berbagai bahan baku pembuatan biogas seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.22.



Gambar 4.3 Kajian Komparasi Kuantitas Biogas [25]

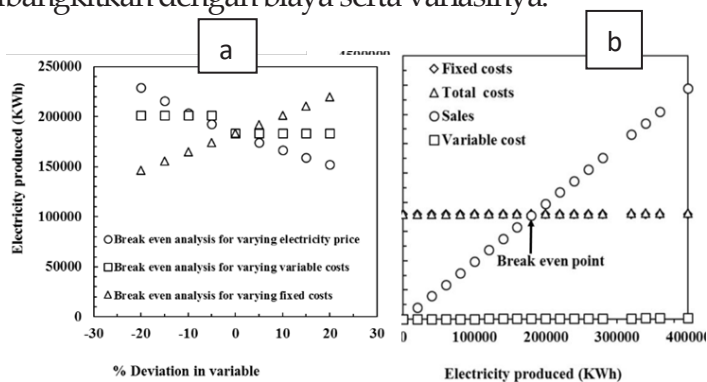
Perbandingan yang terdapat pada gambar 2.21 dimana terdapat 4 golongan *Manure*, *Biomass*, *Sludge*, dan *MSW*. *Golongan Sludge* dengan *PS+TWAS+FOG* merupakan bahan baku yang menghasilkan gas metana terbanyak. Selanjutnya

terdapat grafik hubungan antara *methane content* dengan *Biogas flowrate* dan waktu retensi seperti yang terdapat pada Gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4 Chart Biogas Flowrate, Methane Content and Time (Week)
[25]

Selain itu dari kelayakan tidak dipandang hanya dari segi teknis mengenai seberapa besar biogas yang dibangkitkan untuk selanjutnya dibangkitkan menjadi energi listrik tetapi juga analisis dari segi ekonomi. Beberapa proyek yang ada akan baik dari segi teknis tetapi belum tentu dari segi ekonominya. Pada gambar 4.5 disajikan mengenai hubungan antara listrik yang dibangkitkan dengan biaya serta variasinya.



Gambar 4.5 (a) Electricity Produced vs % Deviation in variable & (b) Costs/Revenue vs Electricity Produced

Pada suatu proyek pengolahan limbah menjadi biogas dengan menggunakan *Activ-enzyme* sebagai pencernaannya bio-katalis adalah teknologi ekonomis yang dapat diadopsi sebagai strategi penambahan nilai dengan *active enzyme* untuk limbah lumpur untuk pembangunan berkelanjutan di negara berkembang. Proyek ini memiliki *Net Present Value* (NPV) positif, *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 16,6% dan impas penjualan sebesar 183.059,16 KWh lalu sesudahnya menginvestasikan \$22.199.501,40 untuk siklus hidup proyek bertahun-tahun. Periode pengembalian *payback period* (PP) proyek adalah 5,94 tahun. Dari beberapa proyek yang ada bagaimana MSS (*Municipal Sewage Sludge*) sebagai bahan baku untuk pembuatan biogas dan di konversi menjadi energi listrik memang layak untuk diterapkan.

Kajian yang mencakup berbagai sumber yang berhubungan dengan aspek teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan dari penelitian tersebut. Penelitian yang mengidentifikasi komposisi dan kualitas lumpur tinja dari berbagai lokasi termasuk analisis nutrisi dan kontaminan potensial. Kajian yang membandingkan berbagai jenis biodigester dan teknologi pengolahan biogas untuk menentukan teknologi yang paling sesuai dengan kondisi tertentu. Menganalisis tentang efisiensi proses fermentasi anaerobik dalam pengolahan limbah tinja menjadi biogas, termasuk faktor-faktor yang memengaruhi tingkat produksi biogas.

1) Analisis Teknis

Dalam kajian pemanfaatan MSS menjadi biogas lalu mengkonversinya menjadi energi listrik. Penelitian kali ini memiliki beberapa persamaan untuk mengetahui potensi dari metana yang dibangkitkan terdapat persamaan 2.3 mengenai heating value. Nilai kalor adalah jumlah panas yang diperoleh ketika bahan bakar atau zat lain dari kuantitas satuan tertentu dibakar. Ada dua jenis nilai kalor :

- a. Nilai kalor rendah (LHV- *Lower Heating Value*) adalah jumlah panas yang dihasilkan ketika bahan bakar sepenuhnya terbakar, tetapi panas yang dihasilkan diperhitungkan dengan mengurangi panas yang diperlukan untuk menguapkan air yang dihasilkan dari pembakaran. Nilai kalor rendah sering digunakan dalam perhitungan untuk bahan bakar cair seperti bahan bakar minyak dan biofuel.
- b. Nilai kalor Tinggi (HHV- *Higher Heating Value*) adalah jumlah panas yang dihasilkan ketika bahan bakar sepenuhnya terbakar dalam kondisi adiabatik, yaitu ketika panas yang dihasilkan tidak hilang ke lingkungan. Nilai kalor tinggi biasanya digunakan dalam perhitungan untuk bahan bakar seperti gas alam dan batubara.

Nilai kalor bahan bakar sebagian besar digunakan untuk menentukan konsumsi bahan bakar mesin. Aplikasi lain termasuk perhitungan untuk efisiensi energi keseluruhan sistem dan menganalisis efektivitas biaya dari gabungan panas dan pembangkit listrik. Biasanya, nilai

kalor atas dikutip untuk konsumsi bahan bakar, sedangkan nilai lebih rendah digunakan untuk perhitungan efisiensi energi. Namun, penting untuk menyatakan konvensi yang digunakan untuk menghindari kebingungan. Perbedaan antara nilai kalor atas dan bawah terkait dengan komposisi kimia dari bahan bakar yang dibakar. Nilai kalor dapat diperoleh secara eksperimental dengan menggunakan kalorimeter bom. Untuk nilai atas, air yang dihasilkan dari pembakaran harus berwujud cair, sedangkan untuk nilai lebih rendah harus berwujud gas.

$$\text{Lower Heating Value} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{Nm}^3} \right) = \% \text{CH}_4 \times \text{Specific Heat CH}_4 \quad (23)$$

Gas Methane (CH₄) memiliki ciri-ciri masa molar sebesar 16.04g/mol dengan nilai *specific heat* sebesar 55.5 MJ/kg atau 890 KJ/mol atau 23900 BTU/lb dengan densitas sebesar 0.6680kg/m³. Selain itu terdapat beberapa acuan tentang gas metanan setara atau ekuivalen dengan energi yang dibangkitkan. Energi tersebut merupakan perwujudan dari energy secara mekanikal.

Tabel 4.2 Ekuivalen Energi Metana

Jenis Energi	Setara Energi
1 kg Gas Metan	6,13 x 10 ⁷ J
1 kWh	3,6 x 10 ⁶ J
1m ³ gas metan (Massa Jenis Gas Metan = 0,656 kg/m ³)	4,0213 x 10 ⁷ J
1m ³ gas metan	11,17 kWh

Selanjutnya terdapat persamaan 2.4 yang adalah persamaan masa dari gas metana. Banyak definisi atau persamaan untuk menghitung aliran massa atau aliran volumetrik untuk aplikasi anda. Metode perhitungan yang sama ini juga dapat digunakan untuk menentukan volume pada beberapa kondisi lainnya. Untuk mengubah aliran massa menjadi volume, gunakan Persamaan 2.4

$$M = \text{gas density} \times \text{volume flow rate} \quad (2.4)$$

Selanjutnya untuk mengetahui keseluruhan nilai kalor dari keseluruhan mass flowrate adalah menggunakan Persamaan 2.5

$$Q = \text{mass flow rate} \times \text{gas heating value} \quad (2.5)$$

Selanjutnya ada daya (*power*) listrik, adalah laju usaha yang dilakukan atau perbandingan besaran usaha dengan waktu, sebagai salah satu parameter pengukuran dalam fisika, daya memiliki satuan dengan standar satuan internasional (SI). Satuan daya adalah Joule/sekon (J/s) atau watt (w). untuk diketahui, penggunaan satuan Watt ini merupakan penghormatan pada ilmuwan penemu mesin uap, James Watt. Satuan daya lain yang digunakan secara global yaitu dikenal dengan Daya Kuda atau Horse Power (hp). Daya 1 hp setara dengan 746 Watt (w). Istilah *watt* digunakan untuk mengartikan "daya listrik dalam *watt*". Daya listrik dalam *watt* yang dihasilkan oleh arus listrik I yang terdiri dari muatan *Q coulomb* setiap *t* detik melewati

beda potensial (tegangan) listrik sebesar V adalah yang digunakan terutama mengenai daya listrik yang dibangkitkan. Sebagian besar hal di sekitar kita membutuhkan daya untuk bekerja secara efisien.

Di sini, kata daya digunakan untuk menyebut apa pun yang memberikan kekuatan atau energi yang diperlukan agar benda itu berfungsi dengan baik. Misalnya, banyak perangkat seperti ponsel, komputer, kipas angin, dll bekerja dengan listrik, jika kita tidak mengisi baterai ponsel kita, maka semua alat itu akan mati. Begitu pula jika tidak ada listrik di rumah, kipas angin tidak bisa bekerja. Oleh karena itu, listrik adalah kekuatan untuk perangkat tersebut. Selain itu, kekuatan ini juga bisa dalam bentuk lain, seperti fisik, atau sumber daya manusia. Persamaan mengenai daya terdapat pada Persamaan 2.6.

$$P (VA) = V (Volt) \times I (Ampere) \quad (2.6)$$

Rumus daya ini diambil dari bab kelistrikan. Rumus tersebut diberikan oleh seorang ilmuwan besar bernama *Ohm*, dan rumus ini dinamai menurut namanya dan juga dikenal sebagai hukum ohm. Ini menyatakan bahwa daya berbanding lurus dengan beda potensial konduktor. Di sini P berarti daya, V berarti beda potensial dan I berarti Arus. Satuan International (SI) adalah watt. Satuan V dalam volt dan untuk I dalam kolom

$$P (W) = R (Ohm) \times I^2 (Ampere) \quad (2.7)$$

Atau,

$$P (w) = \frac{V^2 (Volt)}{R (Ohm)} \quad (2.8)$$

Ini adalah formula kekuatan yang paling umum dan mendasar yang kita ketahui sejak dini. Rumus ini diturunkan dari teorema usaha-energi. Ini menyatakan bahwa usaha yang dilakukan per satuan waktu disebut daya. Di sini W adalah usaha dalam *joule* dan t adalah waktu dalam detik

$$P(w) = F \times s/t \quad (2.9)$$

Dalam rumus ini, F menunjukkan gaya yang diterapkan pada benda, s menunjukkan perpindahan benda dan t menunjukkan total waktu yang diperlukan. Ini menyatakan bahwa total waktu yang dibutuhkan oleh suatu benda untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain ketika gaya eksternal diterapkan padanya disebut daya. Rumus daya yang digunakan berbeda untuk bidang yang berbeda seperti yang disebutkan di atas, tetapi artinya hampir sama untuk semua.

Energi merupakan daya yang ada dikalikan dengan Satuan energi adalah joule, daya adalah watt, dan waktu adalah detik. Jika kita mengetahui daya dalam watt suatu alat dan berapa detik yang digunakan, kita dapat menghitung jumlah joule energi listrik yang telah diubah menjadi bentuk lain.

$$E(kWh) = P \times t \quad (2.10)$$

D. Eksperimental Lumpur Tinja dengan Perancangan Reaktor Biogas

Dalam studi eksperimental perancangan fisik reaktor biogas adalah tahap dalam pembuatan reaktor yang akan digunakan untuk menghasilkan biogas dari proses fermentasi anaerobik. Rancangan ini melibatkan bentuk, ukuran, dan komponen-komponen reaktor yang akan memfasilitasi proses produksi biogas dengan efisien. Berikut adalah penjelasan mengenai beberapa aspek dalam rancangan fisik reaktor biogas:

1. Bentuk Reaktor

Reaktor biogas dapat memiliki berbagai bentuk, seperti tangki silinder vertikal, tangki silinder horizontal, atau bahkan bentuk yang lebih kompleks tergantung pada kapasitas dan tujuan reaktor. Dalam penelitian ini menggunakan reaktor bentuk tangki silinder vertikal.

2. Ukuran Reaktor

Ukuran reaktor biogas tergantung pada kapasitas produksi yang diinginkan, jenis bahan baku, dan lokasi reaktor. Ukuran yang tepat harus mempertimbangkan jumlah lumpur tinja yang diolah dan kebutuhan gas yang dihasilkan. Rancangan Reaktor Biogas dengan studi eksperimental ini adalah bentuk silinder berdiameter 50 cm dengan tinggi silinder 90 cm, bentuk kerucut dengan ukuran diameter alas 58 cm dengan tinggi kerucut 16 cm, sedangkan Gas Holder memiliki ukuran diameter 7,5 cm dengan tinggi tabung 36,5 cm.

3. Material Reaktor

Bahan konstruksi reaktor harus tahan terhadap korosi, tekanan, dan bahan kimia yang ada dalam proses fermentasi. Material yang digunakan dalam rancangan Reaktor Biogas ini dengan plat besi dengan ketebalan 4 mm.

4. Lapisan Isolasi

Reaktor perlu dilengkapi dengan lapisan isolasi termal untuk menjaga suhu optimal dalam reaktor, yang akan mendukung aktivitas mikroorganisme dalam proses fermentasi.

5. Penutup Reaktor

Penutup reaktor perlu dirancang sedemikian rupa sehingga gas yang dihasilkan bisa diarahkan dengan baik ke saluran gas. Penutup juga harus cukup kedap udara agar tidak terjadi kebocoran gas.

6. Sistem Pengadukan dan Pemanasan

Reaktor perlu dilengkapi dengan system pengadukan untuk menjaga campuran bahan baku agar proses fermentasi berjalan merata. Sistem pemanasan juga bisa diperlukan untuk menjaga suhu optimal dalam reaktor.

7. Sistem Pengumpulan Gas (Gas Holder)

Gas metana yang dihasilkan selama proses fermentasi perlu diarahkan dengan baik menggunakan saluran gas yang sesuai. Sistem ini harus mampu mengumpulkan dan mengalirkan gas menuju penyimpanan gas.

8. Pengamatan dan Pemantauan

Reaktor bisa dilengkapi dengan jendela pengamatan atau system pemantauan seperti sensor suhu, pH, atau tekanan untuk memantau kondisi dalam reaktor. Perancangan reaktor dalam penelitian ini menggunakan alat ukur tekanan untuk memantau tekanan pada gas holder.

E. Teknik dan Proses Pengelolaan Tinja Menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

Teknik pengumpulan data dengan melakukan survei di lokasi-lokasi potensial untuk mengintegrasikan instalasi biogas. Berikut adalah beberapa teknik pengumpulan data sebagai berikut:

1. Proses Pengambilan Data Bahan Baku (MSS)

Bahan baku MSS diteliti lebih lanjut untuk mengetahui ketersediaannya sehingga dapat dipasok untuk dikonversi menjadi energi sesuai kebutuhan dari permintaan listrik IPLT. Selain secara kuantitas, secara kualitas juga harus mencukupi sesuai dengan parameternya.

2. Proses Pengambilan Data Literature Review Analisis Teknis dan Ekonomi

Pengambilan data *literature review* digunakan untuk mendukung analisis secara empiris (perhitungan) tentang studi kelayakan integrasi IPLT dengan PLTBg pada penelitian ini.

Mengetahui konsumsi energi listrik pada keseluruhan operasional IPLT dan kondisi dari Bahan baku MSS yang diterima IPLT Kota Medan. Mempelajari ketersediaan bahan MSS serta potensi energi listrik yang dibangkitkan serta proyeksi yang akan dilakukan selama 10 Tahun. Mempelajari kelayakan pembangunan proyek integrasi IPLT kota Medan dan PLTBg dari sudut pandang teknis dan ekonomi.

1. Proses Pengambilan Data Literature Review Analisis Teknis dan Ekonomi

Analisis konsumsi listrik dilakukan untuk mengetahui konsumsi energy rata-rata yang diperlukan untuk mengatasi beban internal IPLT dalam satuan MWh (setiap jam), setiap hari, bulan dan satu tahun untuk melakukan estimasi kapasitas dari PLTBg yang ada. Selanjutnya data kedua yang dilakukan adalah mengambil data mengenai kuantitas MSS (*flowrate* m^3/s) yang masuk setiap jam, setiap hari, bulan & tahun serta kualitas dari MSS secara umum Keseluruhan daripada Analisis ini menggunakan data primer yang ada di IPLT.

2. Analisis Potensi MSS

Selanjutnya untuk merencanakan suatu pembangkit harus dapat menghitung potensi dari MSS sebagai bahan baku, keberlangsungan serta keadaanya dapat diukur dengan menggunakan *lower heating value* (*net caloric value*). Pada analisis kali ini menggunakan data sekunder yang didapat dari literature review, seperti data ekivalen konversi MSS ke biogas, komposisi gas metana pada biogas. Biogas *flowrate* yang dihasilkan dari MSS,

sesuai kuantitas yang ada pada IPLT lalu yang terakhir adalah menghitung dengan persamaan 2.3, 2.4 & 2.5 tentang potensi MSS IPLT secara keseluruhan.

3. Analisis Teknis dan Ekonomi Integrasi IPLT dan PLTBg

Analisis Teknis & Ekonomi ini melibatkan beberapa aspek, termasuk reaksi kimia yang terjadi dalam reaktor, teknologi yang digunakan, keamanan, dan biaya terkait. Berikut adalah poin penting yang perlu dipertimbangkan dalam analisis sebagai berikut:

a. Analisis Teknis

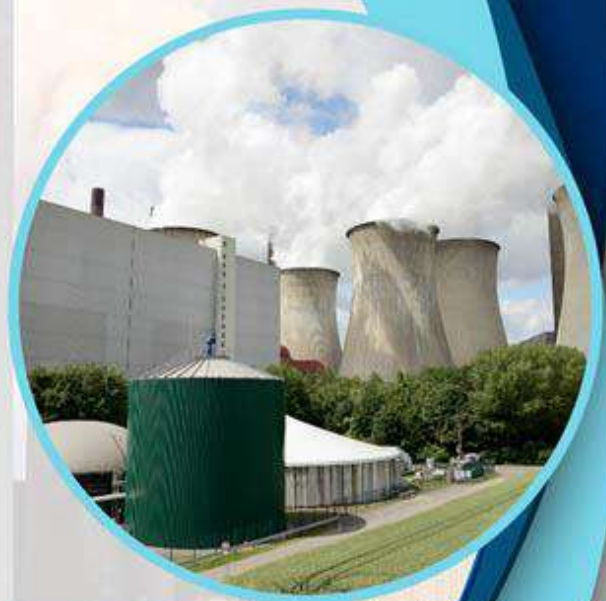
- Jenis Reaktor : Tentukan jenis reaktor yang akan digunakan untuk mengolah lumpur tinja tersebut. Mungkin ada beberapa pilihan, seperti reaktor anaerobic, reaktor aerobik, atau kombinasi dari keduanya.
- Desain Reaktor : Tentukan desain fisik dan struktural dari reaktor yang sesuai dengan volume lumpur tinja. Aspek-aspek penting yang harus dipertimbangkan adalah pengadukan, pengontrolan suhu, aliran reaktor dan manajemen gas.
- Efisiensi dan Waktu Operasi : Evaluasi efisiensi reaktor dalam mengolah lumpur tinja dan perkiraan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai hasil yang diinginkan.
- Pengelolaan Limbah : Pertimbangkan bagaimana limbah yang dihasilkan selama

proses pengolahan akan dikelola dan dibuang secara aman.

b. Analisis Ekonomi

- Biaya Pembangunan : Perkiraan biaya pembangunan reaktor dan fasilitas pendukungnya.
- Penghematan Biaya : Evaluasi apakah pengolahan lumpur tinja dengan reaktor ini dapat menghasilkan produk yang memiliki nilai tambah ekonomis, seperti gas metana yang dapat digunakan sebagai sumber energi.
- Analisis Kelayakan : Lakukan analisis kelayakan penelitian untuk menilai apakah investasi dalam pembuatan dan operasi reaktor ini akan menguntungkan dalam jangka panjang

BAB V



**Integrasi IPLT
Menjadi PLTBg**

Hasil penelitian dari studi kelayakan integrasi instalasi pengolahan lumpur tinja menjadi pembangkit listrik tenaga biogas adalah rangkuman dari temuan dan analisis yang diperoleh dari penelitian. Hasil penelitian ini dengan Perancangan Reaktor Biogas Studi Eksperimental.

Deskripsi data hasil penelitian dari studi kelayakan integrasi instalasi pengolahan lumpur tinja menjadi pembangkit listrik tenaga biogas adalah proses menyajikan dan menjelaskan data yang telah dikumpulkan selama penelitian tersebut. Ini melibatkan penyajian informasi tentang aspek dari penelitian, termasuk data teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan dalam bentuk yang dapat dipahami.

A. Pengolaan Bahan Baku *Municipal Sewage Sludge* (MSS)

Municipal Sewage Sludge (MSS) juga sering disebut sebagai lumpur limbah, merupakan bahan residu setengah padat yang dihasilkan selama pengolahan air limbah domestik di instalasi pengolahan limbah kota. Ketika air limbah diolah, padatan dipisahkan dari bagian cair, dan padatan ini, bersama dengan sisa air, membentuk lumpur limbah.

Municipal Sewage Sludge (MSS) terdiri dari campuran bahan organik dan anorganik. MSS mungkin mengandung berbagai zat, termasuk kotoran manusia, sisa makanan, polutan industri dan kotoran lainnya yang masuk ke sistem pembuangan limbah. Komposisi lumpur limbah dapat bervariasi tergantung pada faktor-faktor

seperti populasi yang dilayani, kontribusi industri terhadap limbah, dan proses pengolahan yang digunakan. Kandungan MSS menurut baku mutu untuk potensi menjadi biogas adalah sebagai berikut.

Tabel 5.1. Parameter Bahan Baku MSS
dengan Metode Pengujiannya.

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode
1	<i>Total Suspended Solid (TSS)</i>	mg/l	5	SNI 06-6989.3-2004
2	<i>pH</i>	-	7.6	SNI 06-6989.11-2004
3	<i>Biological Oxygen Demand (BOD)</i>	mg/l	290.4	SNI 06-6989.72-2009
4	<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	mg/l	64	SNI 06-6989.73-2009
5	<i>Suhu</i>	mg/l	29	SNI 06-6989.23-2005
6	<i>Oil and Grease</i>	mg/l	146	SNI 06-6989.10-2004
7	<i>Fatty Acid</i>	%	3.82	Titration Asam Basa
8	<i>Densitas</i>	kg/m ³	1.185	-

Pada Tabel 5.1 dapat diketahui beberapa parameter tersebut dijadikan dasar acuan untuk menjadi biogas terutama kadar BOD & COD beserta pH untuk kondisi *pre-treatment* di awal. pH menjadi indikator proses fermentasi akan berjalan. Jika pH mengalami kenaikan hingga sampai pada rentang basa >7 maka proses fermentasi

akan sulit dilakukan. Oleh karena itu perlu dilakukan proses selanjutnya dengan penambahan pH koreksi berupa

biogas prebiotik. Biogas prebiotik ini merupakan suatu bahan penambah tekanan gas yang kuat dan tanpa bau.

Biological Oxygen Demand (BOD) adalah ukuran jumlah oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) yang dibutuhkan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik yang ada dalam sampel cairan. Nilai BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi zat organik dalam air secara biologis selama masa inkubasi 5 hari. Nilai BOD yang lebih tinggi menunjukkan bahwa air mengandung lebih banyak bahan organik yang dapat terurai secara alami.

BOD pada penelitian ini mengandung hingga 290.4 mg/l dengan angka yang dapat dikatakan tergolong menengah, pada contohnya nilai BOD untuk larutan limbah peternakan sapi ataupun limbah pengolahan kelapa sawit (POME) mencapai hingga 5000 – 12000 mg/l angka ini mempengaruhi kecepatan pembentukan gas metana dan juga kuantitas pembentukannya.

Sementara itu *Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi secara kimia bahan organik dan anorganik yang ada dalam sampel air. Tidak seperti *Biological Oxygen Demand* (BOD), yang bergantung pada dekomposisi mikroba dari bahan organik, COD mengukur jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi secara kimiawi semua zat yang dapat teroksidasi di dalam air, baik yang dapat terurai

secara hayati maupun yang tidak dapat terurai secara hayati.

COD dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/L) atau bagian per juta (ppm) dan memberikan informasi berharga tentang keseluruhan kandungan organik dan yang dapat teroksidasi di dalam air. Nilai COD yang tinggi menunjukkan jumlah yang lebih besar dari zat organik dan anorganik yang dapat dioksidasi secara kimiawi, menunjukkan beban pencemaran yang lebih tinggi di dalam air. COD adalah parameter penting dalam memberikan informasi berharga tentang kebutuhan oksigen total, itu tidak membedakan antara zat biodegradable dan non-biodegradable, oleh karena itu nilai ini hanya representasi untuk mengetahui oksidasi yang terjadi.

BOD (Biological Oxygen Demand) dan COD (Chemical Oxygen Demand) memiliki hubungan yang erat dalam pembentukan biogas melalui proses penguraian anaerobik atau fermentasi anaerobik. Biogas adalah campuran gas yang terutama terdiri dari metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), serta beberapa komponen gas lainnya, yang dihasilkan oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa oksigen (anaerobik) ketika mereka mendekomposisi bahan organik. Hubungan antara BOD dan COD dalam pembentukan biogas adalah sebagai berikut:

a. Bahan Organik

Untuk BOD maupun COD mengukur jumlah bahan organik yang ada dalam sampel air atau limbah.

Bahan organik ini terdiri dari senyawa organik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme selama proses anaerobik. Semakin tinggi kandungan bahan organik (terutama bahan organik yang mudah terurai) dalam sampel, semakin banyak biogas yang dapat dihasilkan selama proses fermentasi anaerobik. Nilai 290.4 mg/l dan 64 mg/l pada penelitian ini untuk BOD dan berturut turut belum termasuk ke dalam rentang nilai yang cukup besar.

b. Biodegradabilitas

BOD khusus mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mendekomposisi bahan organik secara biologis selama periode 5 hari. COD, di sisi lain, mengukur total oksigen yang diperlukan untuk mendegradasi semua bahan organik secara kimiawi. Oleh karena itu, BOD memberikan gambaran tentang biodegradabilitas bahan organik, sedangkan COD mencakup biodegradabilitas dan non-biodegradabilitas.

c. Efisiensi Penguraian

Perbandingan BOD terhadap COD, yang disebut rasio BOD/COD, dapat memberikan indikasi tentang efisiensi penguraian bahan organik dalam proses anaerobik. Rasio BOD/COD yang tinggi menunjukkan bahwa lebih banyak bahan organik yang dapat diuraikan secara biologis, sehingga proses anaerobik lebih efisien dan menghasilkan lebih banyak biogas.

d. Potensi Biogas

Semakin tinggi nilai BOD dan COD, semakin banyak potensi biogas yang dapat dihasilkan selama proses fermentasi anaerobik. Bahan organik yang mudah terurai memiliki nilai BOD yang tinggi dan memiliki potensi besar untuk menghasilkan biogas.

Dalam konteks produksi biogas dari limbah organik, pengukuran BOD dan COD menjadi penting untuk memahami kualitas limbah dan potensi produksi biogasnya. Penguraian anaerobik limbah organik dalam biodigester adalah salah satu metode yang umum digunakan untuk menghasilkan biogas. Proses ini dapat ditingkatkan dengan mengoptimalkan perbandingan BOD/COD dan memastikan bahwa kondisi anaerobik yang sesuai dijaga untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme yang efisien dalam menghasilkan biogas.

Selanjutnya total padatan tersuspensi atau *Total Suspended Solids* (TSS) dalam air atau padatan tidak terlarut dalam air adalah senyawa kimia yang terdapat dalam air, baik dalam keadaan melayang, terapung, maupun mengendap. TSS dijumpai dalam bentuk organik maupun anorganik. organik selama proses digester terjadi dan ini mengindikasikan laju penghancuran/pembusukan material padatan limbah organik merupakan salah satu faktor yang dapat menunjukkan telah terjadinya proses pendegradasian karena padatan ini akan dirombak pada saat terjadinya pendekomposisian bahan. Proses inilah yang menyebabkan terbentuknya gas, dimana semakin besar kadar TSS mempersulit terbentuknya tetapi terlalu

kecilnya TSS hingga 5 mg/l dapat juga mengindikasikan seulitnya terbentuknya gas karena jumlah padatan yang terlalu sedikit sehingga materi organiknya juga menjadi sedikit.

Berikutnya terdapat parameter *oil and grease* (O/G) yang merupakan parameter penting untuk dipertimbangkan dalam konteks produksi biogas, terutama ketika limbah organik atau air limbah yang mengandung lemak, minyak, dan lemak (O/G) digunakan sebagai bahan baku untuk proses pembangkitan biogas. Parameter ini membantu menilai potensi tantangan dan dampak yang terkait dengan bahan yang mengandung O/G pada produksi biogas. Kandungan minyak dan lemak dalam bahan baku diukur untuk menentukan konsentrasi lemak dan minyak yang akan dimasukkan ke dalam digester biogas. Kadar minyak dan lemak yang tinggi dapat memengaruhi kinerja digester, berpotensi menimbulkan masalah operasional dan mengurangi produksi biogas. Rentang nilai 146 mg/l merupakan nilai yang cukup baik dimana terdapat tambahan nilai fatty acid sebesar 3.46 mg/l sehingga total FOG hampir mencapai 150 mg/l. Berikut merupakan hal yang menjadi penghambat adanya kadar *Fat Oil and Grease* (FOG) pada suatu bahan baku biogas.

a. *Inhibitor*

Konsentrasi minyak dan lemak yang tinggi dapat menghambat aktivitas mikroorganisme anaerobik yang bertanggung jawab untuk produksi biogas. Asam lemak tertentu dan trigliserida rantai panjang

dalam lemak dapat menjadi racun bagi komunitas mikroba, menyebabkan ketidakseimbangan proses dan mengurangi hasil biogas.

b. *Foaming*

FOG dapat menyebabkan kelebihan busa di dalam digester biogas. Busa dapat menghambat pemisahan gas-padat, menghambat pengumpulan gas, dan berpotensi menyebabkan gangguan sistem. FOG dapat menyebabkan terbentuknya lapisan buih pada permukaan digester. Scum dapat mengurangi volume efektif digester dan mengganggu pengumpulan gas.

c. *Separation and Pre-Treatment*

Hal ini tergantung pada jenis dan konsentrasi FOG dalam bahan baku, langkah pra-perlakuan mungkin diperlukan untuk memisahkan atau mengurangi kandungan FOG sebelum memasukkan efluen ke dalam digester biogas.

d. *Co-Digestion*

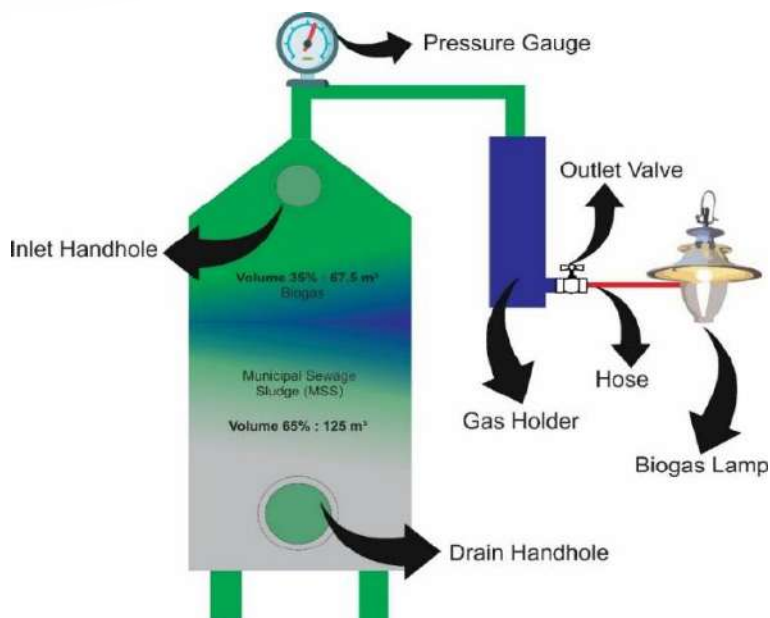
Minyak dan lemak dapat dicerna bersama dengan bahan limbah organik lainnya untuk menyeimbangkan kandungan nutrisi dan meningkatkan produksi biogas secara keseluruhan. Pencernaan bersama dengan berbagai bahan mentah dapat mencairkan potensi efek penghambatan dari konsentrasi FOG yang tinggi dan meningkatkan produksi biogas.

Penting untuk memantau dan mengelola kandungan minyak dan lemak dengan hati-hati untuk

memastikan produksi biogas yang stabil dan efisien. *Pre-treatment* dan kontrol proses yang tepat dapat membantu mengatasi tantangan yang terkait dengan bahan baku yang mengandung FOG dan mengoptimalkan proses pembangkitan biogas. Selain itu, pemantauan rutin tingkat minyak dan lemak selama produksi biogas memungkinkan operator mengambil tindakan korektif jika muncul masalah.

B. Eksperimental Rancangan Reaktor Biogas

Perancangan reaktor biogas adalah tahap penting dalam menghasilkan biogas dengan efisien dan berkelanjutan. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan reaktor biogas meliputi penentuan Bahan Baku (*feedstock*), pemilihan jenis reaktor serta metode pengumpanan *feedstock* dalam penelitian ini digunakan reaktor jenis *non stirrer* dengan metode pengumpanan dengan sistem *batching*. Desain reaktor dapat dilihat pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Reaktor Biogas Hasil Rancangan Studi Eksperimental

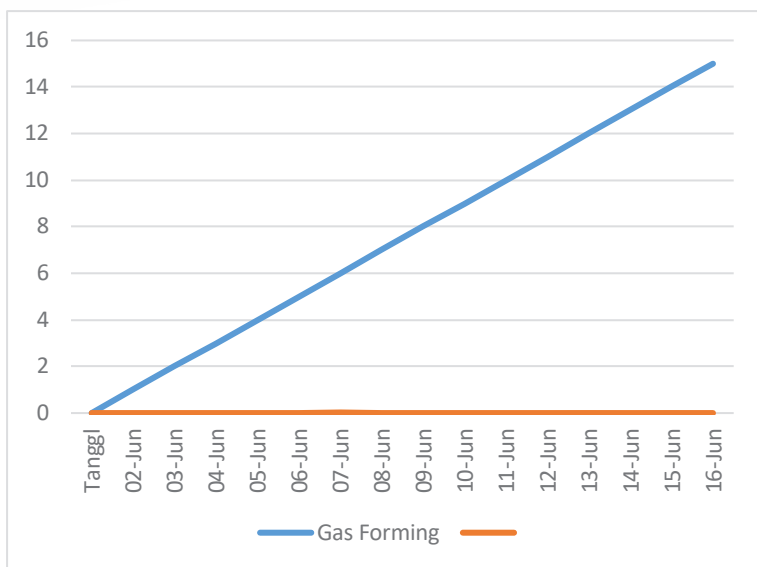
Dari Gambar 5.1 dapat dilihat secara keseluruhan desain dari reaktor biogas tipe batching tanpa stirrer, kondisi ini menyebabkan total volume dari reaktor mencapai hingga 192.5 m³ dengan persentase umpan MSS hingga 65% dengan total volume 125 m³. Sementara itu ruangan tersisa pada reaktor diisi oleh gas dimana mencapai 67.5 m³ gas dapat dihasilkan dengan memenuhi outlet hingga gas holder diperkirakan sebesar 13.5 m³. Pengaruh persentase volume ini sangat signifikan pengaruhnya untuk pembentukan biogas. Persentase perbandingan antara gas dan feedstock yang baik adalah 65% MSS dibandingkan 35% gas yang terbentuk. Pada perjalannya desain pada Gambar 4.1. Setelah

melakukan penerapan desain, selanjutnya dilakukan proses pengujian dengan memasukkan feedstock biomasa MSS sebanyak 123 liter. Lalu diamati dari tanggal 2 Juni 2023 hingga 16 Juni terdapat beberapa hari tekanan bertambah tetapi tidak terus menerus naik hingga kondisi kembali kosong seperti yang terdapat pada Tabel 6.2 berikut.

Tabel 5.2 Percobaan Pembentukan Gas Periode Pertama

Tanggal	Hari	Pressure (bar)
2-Jun	1	0
3-Jun	2	0
4-Jun	3	0
5-Jun	4	0
6-Jun	5	0
7-Jun	6	0.025
8-Jun	7	0
9-Jun	8	0
10-Jun	9	0
11-Jun	10	0
12-Jun	11	0
13-Jun	12	0.015
14-Jun	13	0
15-Jun	14	0.0025
16-Jun	15	0

Dalam percobaan Pembentukan Gas Periode Pertama biogas tidak optimal terbentuknya dapat dilihat pada Gambar 6.2 dibawah ini:



Gambar 5.2 Grafik Pembentukan Gas Periode Pertama

Biogas tidak optimal terbentuk seperti yang terdapat pada Gambar 6.2 ataupun produksinya rendah dari *municipal sewage sludge* (lumpur tinja kota), ada beberapa kemungkinan penyebabnya. Beberapa masalah yang umum terjadi dalam produksi biogas dari sewage sludge adalah:

a. Kondisi Reaktor Tidak Optimal

Biogas dapat terbentuk hanya jika kondisi reaktor anaerobik (tempat proses fermentasi anaerobik terjadi) optimal. Faktor-faktor seperti suhu, pH, dan konsentrasi nutrisi harus dijaga pada tingkat yang mendukung pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme yang bertanggung jawab untuk menghasilkan biogas.

b. Komposisi Feedstock

Kualitas dan komposisi sewage sludge dapat bervariasi dari satu tempat ke tempat lain. Jika feedstock (lumpur tinja) yang dimasukkan ke dalam reaktor memiliki kualitas rendah atau kandungan bahan organik yang terlalu rendah, produksi biogas mungkin akan terhambat.

c. Kandungan Toksik

Jika sewage sludge mengandung bahan-bahan toksik, seperti bahan kimia atau logam berat dalam konsentrasi tinggi, ini dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme anaerobik dan mengurangi produksi biogas.

d. Co-digestion yang Tidak Tepat

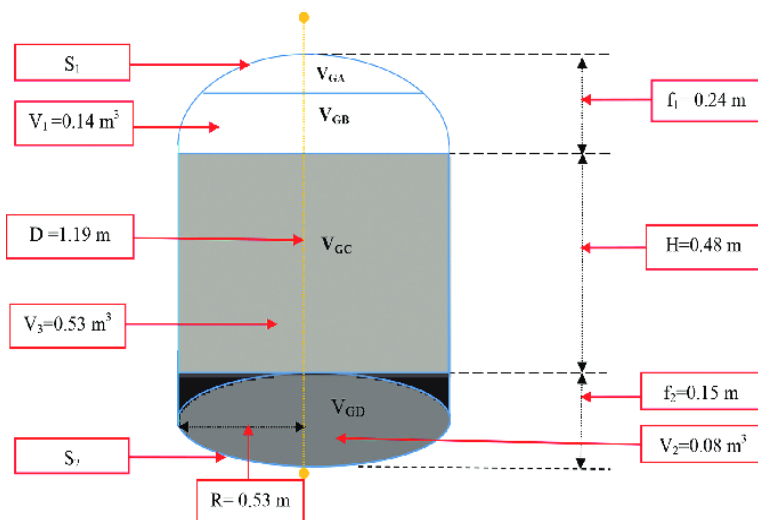
Beberapa reaktor biogas menggunakan co-digestion, yaitu mencampurkan beberapa jenis bahan baku untuk meningkatkan efisiensi dan produksi biogas. Jika komposisi campuran tidak sesuai atau keseimbangan nutrisi tidak dijaga, hasil produksi biogas dapat terpengaruh negatif.

e. Inhibisi Bakteri

Bakteri anaerobik yang bertanggung jawab untuk menghasilkan biogas, sensitif terhadap beberapa zat kimia atau kondisi lingkungan tertentu. Keberadaan senyawa yang menghambat pertumbuhan bakteri ini dapat menyebabkan rendahnya produksi biogas.

C. Optimasi Desain Reaktor Biogas

Percobaan pada Tabel 5.2 mengindikasikan dua hal yang pertama adalah kondisi reaktor tidak optimal, ada beberapa titik kebocoran sera proses co-digestion tidak optimal karena *raw material* atau feedstock belum sesuai standar. Perbaikan dilakukan dengan pengurangan pada pH hingga menjadi dibawah 7 dengan penambahan biogas prebiotic yang dimasukkan sebanyak 2 liter setelah penggantian isi dengan penambahan MSS hingga 125 liter. Perbaikan untuk optimasi desain biogas terdapat pada Gambar 6.3 dimana untuk merancang reaktor dengan baik dan benar diikuti panduan standar tersebut.



Gambar 5.3 Optimasi Desain Reaktor Biogas

Tekanan diperbaiki selama kurang lebih 1 hari dengan proses menunggu gas terbantu selama kurang lebih 8 hari karena indikator penguraian organic content. Dekomposisi kandungan organik MSS biasanya

berlangsung lebih lama daripada limbah peternakan ataupun sampah sisa makanan. Proses pencampuran atau mixing dilakukan dengan mixer berputaran sekitar 125 rpm untuk membuat laurtan menjadi lebih homogen dibandingkan proses sebelumnya. Pembentukan biogas berhasil dilakukan pada hari ke 8 tanggal 24 Juni dimana instalasi biogas akan disambungkan dengan lampu biogas dengan equivalen daya sebesar 25 watt seperti pada Gambar 5.1.

Secara umum kandungan biogas pada *Municipal Sewage Sludge* (lumpur tinja kota) dapat bervariasi tergantung pada berbagai faktor, termasuk jenis proses pengolahan limbah, kondisi operasional reaktor biogas, komposisi bahan baku, dan suhu. Secara umum, biogas yang dihasilkan dari municipal sewage sludge mengandung sebagian besar metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), serta sejumlah kecil gas lainnya. Berikut adalah perkiraan kandungan komposisi biogas dari *municipal sewage sludge*.

Metana (CH_4) : Biasanya, biogas dari sewage sludge mengandung sekitar 50% hingga 70% metana. Metana adalah komponen utama dalam biogas dan bertanggung jawab atas nilai energi tinggi yang dimiliki biogas. **Karbon Dioksida (CO_2) :** Kandungan karbon dioksida dalam biogas dapat mencapai sekitar 30% hingga 50%. CO_2 adalah produk sampingan dari proses fermentasi anaerobik yang menghasilkan biogas. **Gas Lainnya:** Biogas juga dapat mengandung beberapa gas lainnya dalam jumlah kecil, seperti nitrogen (N_2), hidrogen sulfida (H_2S),

serta jejak gas lain yang tergantung pada komposisi bahan baku dan kondisi proses. Namun pada penelitian kali ini tidak sampai pengujian komposisi gas yang dihasilkan.

Pada pembentukan gas periode kedua ini setelah proses menunggu dari 16 juni terdapat indikasi pembentukan gas pada hari ke 4 setelah 1 minggu dengan proses pengamatan pressure gauge yang naik hingga 0.0015 bar pada Tabel 6.3.

Tabel 5.3 Percobaan Pembentukan Gas Periode Kedua

Tanggal	Hari	Pressure (bar)	Gas Volume (m3)
24-Jun	1	0	0.00
25-Jun	2	0	0.00
26-Jun	3	0	0.00
27-Jun	4	0.0015	0.00
28-Jun	5	0.025	0.03
29-Jun	6	0.05	0.05
30-Jun	7	0.1	0.10
1-Jul	8	0.2	0.21
2-Jul	9	0.4	0.42
3-Jul	10	0.5	0.52
4-Jul	11	0.65	0.68
5-Jul	12	0.75	0.79
6-Jul	13	0.85	0.89
7-Jul	14	1.05	1.10
8-Jul	15	1.15	1.21
9-Jul	16	1.22	1.28
	Rata-Rata	0.4342	0.4557

Pembentukan gas (gas forming) pada biogas berhasil hingga dapat menyentuh tekanan puncak sebesar 1.22 bar atau setara dengan 122 kPa (Kilo Pascal). Tekanan standard biogas pada 1 atm dengan reaktor biogas dengan sistem batch dimana biogas di dalam reaktor tertutup tidak selalu konstan dan dapat bervariasi tergantung pada jenis reaktor, kondisi operasional, dan tingkat produksi biogas. Namun, dalam banyak kasus, tekanan standar yang umum digunakan dalam proses biogasifikasi adalah sekitar 1 atmosfer atau 101.325 kilopascal (kPa).

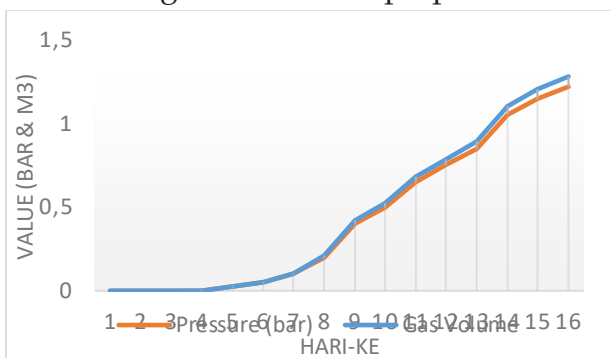
Tabel 5.4 Fase Gas Reforming (Pembentukan Gas Kembali)

Hari	Pressure	Gas Volume
1	1.050	1.102
2	1.150	1.207
3	1.220	1.280
4	0.650	0.682
5	1.050	1.102
6	1.830	1.921
7	0.350	0.367
8	0.880	0.924
9	1.920	2.015
10	0.250	0.262
11	0.550	0.577
12	1.145	1.202
13	0.250	0.262
14	0.000	0.000

Pembentukan biogas kembali atau proses siklik dari produksi biogas melalui proses fermentasi anaerobik. Dalam proses biogasifikasi, bahan organik (seperti limbah

pertanian, limbah makanan, atau limbah lainnya) diuraikan oleh mikroorganisme dalam kondisi anaerobik (tanpa oksigen) untuk menghasilkan biogas. Secara umum, proses biogasifikasi berlangsung secara berkesinambungan dengan adanya penambahan bahan baku yang terus-menerus ke dalam reaktor biogas. Ketika bahan organik baru dimasukkan ke dalam reaktor, mikroorganisme akan terus mendekomposisi bahan organik tersebut, menghasilkan biogas secara berulang.

Proses siklik ini memungkinkan produksi biogas yang berkelanjutan selama operasi reaktor berlangsung dengan baik dan kondisi operasionalnya terjaga. Penting untuk memantau dan menjaga kondisi reaktor agar produksi biogas tetap optimal dan berlangsung tanpa gangguan. Namun dengan proses biogas dengan sistem batch perlu dihabiskan terlebih dahulu isi dari volume gas. Tekanan mencapai 1,2 barg atau sekitar 120 kPa dihasilkan waktu hingga sekitar 60 menit dalam artian tiap menitnya berkurang 2 kPa. Sementara untuk kenaikan tekanan dan pressure bar dan gas volume terdapat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik Peningkatan Pressure dan Volume Gas

D. Pembentukan Energi dari Pengujian Biogas MMS

Secara umum, biogas dari reaktor anaerobik, seperti dalam proses biogasifikasi municipal sewage sludge, memiliki kandungan metana yang bervariasi, tergantung pada kualitas feedstock, kondisi operasional, dan jenis reaktor yang digunakan. Kandungan metana dalam biogas biasanya dinyatakan dalam persentase atau fraksi mol. Normalnya 1 m³ biogas menghasilkan 5,5 KW. Namun dalam penelitian ini hanya Sebagian kecil saja yang dapat dihasilkan dari 1 m³ hanya berkisat sekitar 1.046 KWH. Hal- hal ini dapat disebabkan beberapa hal terutama adalah proses pemurnian kandungan metana yang tidak ada serta kandungan BOD yang sangat kecil sehingga proses anaerobic tidak berjalan optimal. Pada Tabel 4.5 disajikan hasil Pembentukan Energi dari proses biogas.

Tabel 5.5 Pembentukan Energi dari Pengujian Biogas MSS

<i>Tes ting</i>	<i>Initial Pressure</i>	<i>End Pressure</i>	<i>Pressure Reduction Rate (PRR) bar/menit</i>	<i>Time</i>	<i>Watt- Eq</i>	<i>kWh</i>	<i>Gas Volume</i>	<i>m³ Gas/Kwh</i>
1	1.22	0.18	0.018	57.38	25	1.435	1.281	0.893
2	1.83	0.075	0.023	76.17	25	1.904	1.921	1.009
3	1.35	0.25	0.016	70.32	25	1.758	2.015	1.146
4	1.55	0	0.024	65.85	25	1.646	1.868	1.135
Rata- Rata	1.4875	0.126	0.020	67.430	25	1.686	1.771	1.046

Proses optimasi biogas dapat dilakukan dengan beberapa cara sebagai berikut ini, yang pertama adalah Water Scrubbing, Metode ini menggunakan air untuk menghilangkan karbon dioksida (CO_2) dari biogas. Biogas dialirkan melalui tangki yang berisi air, di mana CO_2 larut dalam air dan dipisahkan dari gas metana. Proses ini memperoleh biogas yang lebih murni. Pressure Swing Adsorption (PSA): Metode ini melibatkan penggunaan zeolit atau bahan adsorben lainnya untuk menyerap CO_2 dan gas-gas lainnya dari biogas pada tekanan yang lebih tinggi. Setelah jenuh, adsorben dilepaskan dari tekanan dan gas murni (metana) dilepaskan sebagai hasilnya.

Percobaan penelitian ini dengan menggunakan lampu lantern yang dioperasikan dengan biogas dinyalakan, dan intensitas cahaya yang dihasilkan diukur menggunakan lux meter. Lux meter akan memberikan nilai dalam satuan lux yang mencerminkan tingkat pencahayaan pada titik tertentu. Hasil pengukuran intensitas cahaya (dalam lux) dicatat. Percobaan ini diulang pada berbagai tingkat produksi biogas atau dengan variasi kondisi lainnya terhadap pencahayaan. Pada Tabel 5.6. menunjukkan pengukuran cahaya lampu dengan menggunakan lux meter.

Tabel 5.6 Hasil Pengukuran Cahaya dengan Lux Meter

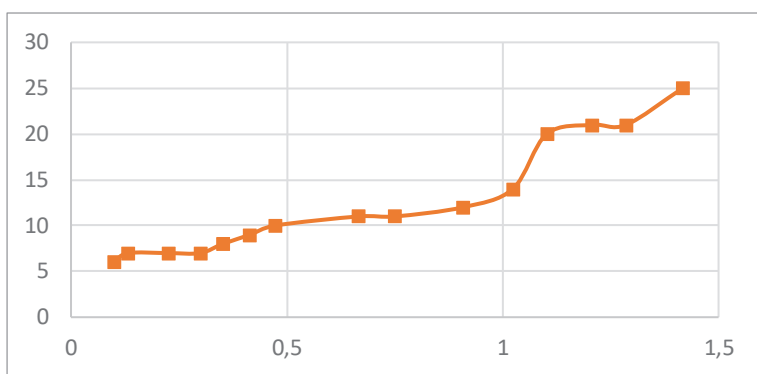
Percobaan	Pressure	Gas Volume	Lux
1	0,095	0,09971074	6
2	0,125	0,13119835	7
3	0,215	0,22566116	7
4	0,285	0,29913223	7
5	0,335	0,35161157	8
6	0,395	0,41458678	9
7	0,45	0,47231405	10
8	0,635	0,6664876	11
9	0,715	0,75045455	11
10	0,865	0,90789256	12
11	0,975	1,02334711	14
12	1,050	1,10206612	20
13	1,150	1,20702479	21
14	1,225	1,2857438	21
15	1,35	1,41694215	25

Hasil dari percobaan ini menunjukkan kemampuan biogas yang dihasilkan dari lumpur tinja untuk menghasilkan pencahayaan yang cukup untuk mengoperasikan lampu lantern. Hal ini mendemonstrasikan salah satu potensi aplikasi dari biogas sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Selain itu penggunaan lux meter membantu mengukur dan mengamati sejauh mana cahaya yang dihasilkan oleh lampu lantern yang dioperasikan dengan biogas.

Dari hasil percobaan diatas dapat dijelaskan dengan memvisualisasikan hubungan antara variabel-variabel dan dapat membantu dalam pemahaman terhadap perubahan dalam satu variabel dapat memengaruhi variabel lainnya. Grafik ini dapat memberikan gambaran tentang sejauh

mana produksi biogas memengaruhi tingkat pencahayaan yang dihasilkan oleh lampu.

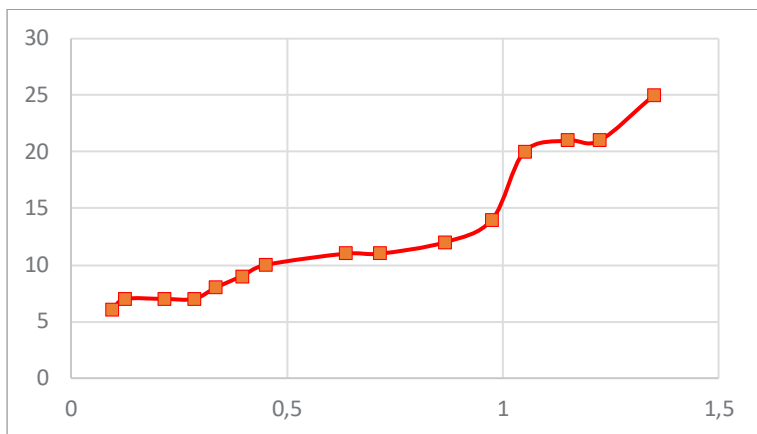
Pada Gambar 5.4. menunjukkan korelasi gas volume dengan Intensitas Cahaya, dimana korelasi antara volume gas dan intensitas cahaya adalah konsep yang berhubungan dengan sejauh mana perubahan dalam volume gas (biogas) mempengaruhi intensitas cahaya dari lampu lantern yang dioperasikan dengan biogas tersebut.



Gambar 5.5 Grafik Korelasi Gas Volume dengan Intensitas Cahaya

Pada Gambar 5.5 menunjukkan korelasi pressure dengan intensitas cahaya di mana korelasi ini adalah hubungan statistik antara dua variabel yang dapat digunakan untuk mengukur sejauh mana perubahan dalam satu variabel berhubungan dengan perubahan variabel lainnya. Korelasi antara tekanan gas dan intensitas cahaya mungkin bersifat non liner, yang berarti bahwa peningkatan tekanan tidak selalu menghasilkan peningkatan intensitas cahaya yang sama. Pengaturan tekanan gas menuju lampu lantern perlu dikendalikan dengan baik. Tekanan yang tidak terkendali dapat

mengakibatkan nyala api yang tidak stabil atau mati, yang akan memengaruhi intensitas cahaya.



Gambar 5.6 Grafik Korelasi Pressure dengan Intensitas Cahaya

Selanjutnya Temperature Swing Adsorption (TSA): Mirip dengan PSA, namun berdasarkan perbedaan adsorpsi pada suhu yang berbeda. Pada suhu yang lebih rendah, zeolit atau bahan adsorben lainnya mampu menyerap CO_2 dan gas-gas lainnya, dan ketika dipanaskan, adsorben melepaskan gas murni (metana). Cryogenic Separation: Metode ini melibatkan pendinginan biogas ke suhu sangat rendah sehingga komponen seperti CO_2 dapat dipisahkan dari metana berdasarkan perbedaan titik didih. Setelah pemisahan, gas murni (metana) dikembalikan ke suhu normal. Membrane Separation: Metode ini menggunakan membran selektif untuk memisahkan komponen gas berdasarkan ukuran dan kelarutannya. Membran memungkinkan metana untuk lewat sementara gas-gas lainnya dipisahkan.

Pembuatan Biogas dari MSS dapat dilakukan hanya saja hasil yang dihasilkan belum memenuhi kriteria yang sangat potensial, kata yang tepat hanya menggambarkan-nya adalah “cukup berpotensi”.

BAB VI



EPILOG

A. Kesimpulan

Beberapa Kesimpulan yang terdapat pada penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Dalam perancangan dan pembuatan reaktor biogas terdapat beberapa titik yang tidak optimal seperti pada sambungan serta inlet dan mainhole dimana terdapat beberapa titik kebocoran sehingga menyebabkan kondisi reaktor tidak optimal serta potensi bahan baku untuk Co-digestion yang sangat kurang karena nilai BOD yang rendah hanya mencapai 290 mg/l dengan ph yang mencapai 7.6 serta beberapa indikator lainnya yang menyebabkan potensi MSS menjadi biogas hanya cukup baik tidak mencapai titik yang memuaskan dan layak diterapkan tanpa penambahan dan penyempurnaan sistem lainnya.
2. Ketersediaan MSS sangat fluktuatif secara kuantitas dan juga parameter kualitas yang menunjang biogas kondisi rata-rata pembentukan biogas dipandangan dari sisi pembentukan gas dengan indikator tekanan sebesar rata-rata 0.4342 barg per hari dengan 0.4557 m³ per hari dengan proses pembentukan biogas selama kurang lebih 10 hari dimana setelah itu terdapat pembentukan Kembali gas, atau gas reforming sebanyak 4 proses siklus selama kurang lebih 3-4 hari.
3. Energi yang dihasilkan dari pembentukan biogas kembali mengacu pada konsep keseimbangan energi dalam proses biogasifikasi. Proses biogasifikasi

adalah reaksi fermentasi anaerobik di mana mikroorganisme menguraikan bahan organik (seperti limbah pertanian, limbah makanan, atau limbah lainnya) menjadi biogas yang mengandung metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), serta beberapa gas lainnya, dimana pada penelitian ini 1 m³ biogas menghasilkan 1.046 KWH dimana potensi tersebut digolongkan menjadi rendah.

B. Saran

Beberapa Saran yang terdapat pada penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Proses perancangan desain harus dapat melibatkan kaidah kaidah standar serta juga dapat didesain lebih baik dengan ukuran yang lebih besar dengan penambahan stirrer dan juga outlet valve yang lebih baik.
2. Proses co-digestion diharapkan dapat berjalan optimal dengan penambahan larutan injeksi bakteri methanogenesis (biogas prebiotik) yang bervariasi sehingga dapat dilihat pengaruhnya terhadap pembentukan gas.
3. Pengujian selanjutnya harus dilakukan lebih komprehensif dengan percobaan penggunaan mesin generator atau pembangkit listrik tenaga gas untuk mengkonversi menjadi listrik.

GLOSARIUM

<i>Integrasi</i>	<i>Adalah Proses Mengubah Berbagai Hal Dalam Kehidupan Masyarakat Untuk Menghasilkan Cara Hidup Yang Menunjukkan Keharmonisan.</i>
<i>Biogas</i>	<i>Adalah Gas Yang Dihasilkan Oleh Aktivitas Anaerobik Yang Menguraikan Bahan Organik</i>
<i>Tinja</i>	<i>Kotoran Ini Adalah Produk Limbah Akhir Dari Sistem Pencernaan Tubuh Anda.</i>
<i>Portofolio</i>	<i>Merupakan Kumpulan Karya Atau Karya Seseorang Yang Disusun Secara Berurutan. Artinya Portofolio Harus Dibuat Secara Sistematis Untuk Mendukung Proses Evaluasi Keterampilan Seseorang.</i>
<i>Fluktuasi</i>	<i>Adalah Perubahan Harga Yang Disebabkan Oleh Tren Pasar, Perubahan Berupa Kenaikan Atau Penurunan Harga Itu Sendiri Yang Dapat Ditampilkan Secara Grafis.</i>
<i>Estimasi</i>	<i>Adalah Proses Menemukan Rencana Atau Inklusi, Yaitu Nilai-Nilai Yang Dapat Digunakan Untuk Tujuan Tertentu Meskipun Data Masukannya Mungkin Tidak Lengkap, Tidak Pasti, Dan Tidak Menentu.</i>

<i>Biodigester</i>	Adalah Sistem Yang Mempercepat Penguraian Bahan Organik.
<i>Diversifikasi</i>	Terdiri Dari Peningkatan Upaya Untuk Menghindari Ketergantungan Pada Singularitas Tindakan, Produk, Layanan, Atau Investasi.
<i>Inokulum</i>	Merupakan Bagian Dari Patogen Atau Virus Itu Sendiri Yang Dapat Menimbulkan Penyakit Pada Tanaman.
<i>Syntrophobacter</i>	adalah genus bakteri dalam keluarga Syntrophobacteraceae. Syntrophobacter memiliki kemampuan untuk tumbuh pada propionat.
<i>Metana</i>	merupakan hidrokarbon paling sederhana dalam bentuk gas dengan rumus kimia CH_4 . Metana murni tidak berbau, tetapi ketika digunakan, sejumlah kecil belerang ditambahkan untuk mendeteksi kemungkinan reaksi.
<i>Anaerobik</i>	adalah jenis olahraga intens yang dilakukan dalam jangka waktu singkat, seperti lari dan angkat beban. Latihan dilakukan dengan mengerahkan seluruh kekuatan Anda hingga batasnya.
<i>Kimiawi</i>	yaitu semua zat kimia anorganik dan organik yang berbentuk fisik dapat berupa salah satu atau lebih jenis berikut: gas, uap, debu, uap, asap, awan, cairan dan/atau zat padat.

<i>Parameter</i>	<i>adalah suatu nilai yang berfungsi sebagai acuan, keterangan atau informasi yang dapat menggambarkan suatu parameter atau bagian dari sistem.</i>
<i>inlet</i>	<i>adalah saluran masuk laut, seperti teluk, teluk, selat, fjord, danau atau rawa, yang mengarah ke perairan besar yang tertutup seperti danau, pelabuhan, teluk, atau lautan.</i>

DAFTAR PUSTAKA

- Medan.Metro Sumut, "Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Kota Medan Diresmikan," <https://www.metrosumut.com/2018/01/instalasi-pengolahan-lumpur-tinja-iplt.html>, 2018.
- M. Manyuchi dkk., "Techno-Economic Assessment For Biogas Generation For Energy Usage From Municipal Sewage Sludge Using Acti-Zyme As Digestion Catalyst," 2016. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.researchgate.net/publication/288369070>
- N. Bachmann, "Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants," 2015.
- Bps.go.id. <https://medankota.bps.go.id>, "Badan Pusat Statistik Kota Medan," 2022.
- Biomass Gasification and Pyrolysis*. 2010.
- Budiman A, *Biomassa: Anugerah dan Berkah yang Belum Terjamah*. Yogyakarta: UGM Press, 2018. Diakses: 19 Maret 2023. [Daring]. Tersedia pada: https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fimages.tokopedia.net%2Fimg%2Fcache%2F700%2Fproduct-1%2F2018%2F8%2F10%2F15597973%2F15597973_dd8f0f85-0df4-444f-90d6-fc71bcb2b861_926_1280.jpg&tbid=bucLiy6XHOpUcM&vet=1&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.tokopedia.com%2Fpustakapelajar1%2Fbuku-biomassa-arief-budiman-ugm-press&docid=pwpzFG6Ozth1SM&w=700&h=967&itg=1&source=sh%2Fx%2Fim
- S. R. Green, P. A. Kragel, M. E. Fecteau, dan K. S. LaBar, "Development and validation of an unsupervised scoring system (Autonamate) for skin conductance

- response analysis," *International Journal of Psychophysiology*, vol. 91, no. 3, hlm. 186–193, Mar 2014, doi: 10.1016/j.ijpsycho.2013.10.015.
- P. Rahmani *dkk.*, "Kajian Kelayakan Pemanfaatan Biogas Dari Pengolahan Air Limbah Untuk Memasak," vol. 11, hlm. 132–140, 2013.
- J. Jiang, "Study on the current situation of municipal sewage sludge disposal and disposal process," dalam *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020. doi: 10.1088/1755-1315/450/1/012070.
- A. Garg, "Mechanical biological treatment for municipal solid waste," *International Journal of Environmental Technology and Management*, vol. 17, no. 2–4, 2014, doi: 10.1504/IJETM.2014.061795.
- L. Mulia Shitophyta, S. Kaisupy, dan I. Puspita Sari, "Utilization Of Tofu Liquid Waste Into Biogas: Review," vol. 10, no. 1, hlm. 1–6, 2021, doi: 10.2057/k.v10i1.10033.
- A. Toka, D. Vlachos, dan E. Iakovou, "Manure and municipal sewage biomass supply chains," dalam *Biomass Supply Chains for Bioenergy and Biorefining*, 2016. doi: 10.1016/B978-1-78242-366-9.00016-2.
- H. Budiarto, M. F. Afriyadi, dan A. Tuhuloula, "Pemanfaatan Sludge Hasil Produksi Biogas Berbasis Limbah Cair Latex Menjadi Pupuk Kompos Cair," *Konversi*, vol. 3, no. 1, 2014, doi: 10.20527/k.v3i1.134.
- S. Kore, "Recent Trends in Anaerobic Codigestion: A Review," 2011. [Daring]. Tersedia pada: www.environmentaljournal.org
- A. Schnürer dan Å. Jarvis, "Microbiological Handbook for Biogas Plants Swedish Waste Management U2009:03 Swedish Gas Centre Report 207," 2010. [Daring]. Tersedia pada: www.avfallsverige.se

- N. Boontian, "Conditions of the Anaerobic Digestion of Biomass," *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, vol. 8, no. 9, 2014.
- A. Ardiansyah, "Kajian Potensi Limbah Kotoran Manusia Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Di Kota Pontianak," *Elkha*, vol. 9, no. 2, hlm. 53, 2019, doi: 10.26418/elkha.v9i2.25197.
- A. G. Marshall, "Anon. 1984. Publications on international agricultural research and development. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 539 pages. ISBN 971-104-122-7. Price US \$10.20 (includes air-mail postage, available from Publications Department, IRRI, PO Box 933, Manila, Philippines).," *J Trop Ecol*, vol. 1, no. 2, hlm. 156–156, Mei 1985, doi: 10.1017/S0266467400000201.
- M. Centemero, "Italian composting and anaerobic digestion report-2016," 2016, doi: 10.13140/RG.2.1.4578.6485.
- S. T. Tun, "Biogas Production and Engine Conversion from Diesel Engine to Biogas Engine for Lighting in Rural Area (Seint Thandar Tun) BIOGAS PRODUCTION AND ENGINE CONVERSION FROM DIESEL ENGINE TO BIOGAS ENGINE FOR LIGHTING IN RURAL AREA."
- M. Sun, X. Huang, Y. Zhao, P. Zhang, dan Y. Zhou, "Design of a partially premixed burner for biogas-fired wall-mounted boiler," *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 16, no. 1, hlm. 212–219, Mar 2021, doi: 10.1093/ijlct/ctaa055.
- AONG Company, "Boiler Burner," 12 oktober, 2018.
- James Jowett, "What Is A Boiler And How Does It Work?," Aug 19, 2019. <https://www.arab-oil-naturalgas.com/what-are-boiler-types/> (diakses 5 April 2023).

- Bruce Miller, "Anatomy of a Cool Fired Power Plant," 31 Desember, 2011.
https://www.researchgate.net/publication/288243596_Anatomy_of_a_Coal-Fired_Power_Plant
- S. E. Hosseini dan M. A. Wahid, "Feasibility study of biogas production and utilization as a source of renewable energy in Malaysia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 19, hlm. 454–462, Mar 2013, doi: 10.1016/j.rser.2012.11.008.
- B. A. Cohen, "Point of View: How should novelty be valued in science?," *Elife*, vol. 6, Jul 2017, doi: 10.7554/eLife.28699.

INDEKS

A

aerobic · 23, 85
Air · v, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 47, 74, 122
Air limbah · 12, 14, 15, 47
Air Limbah · v, 12, 13, 16, 17, 20, 74, 122
alkohol · 40
Anaerobic digestion · 23, 25, 44
Anaerobic Digestion · 36, 123
anaerobik · 4, 37, 44, 48, 65, 71, 76, 77, 92, 93, 95, 100, 101, 103, 106, 107, 115
Anaerobik · 16, 117, 118
asetogenik · 37

B

bahan organik · 29, 90, 91, 92, 93, 106
Bahan Organik · 92, 117, 118
biodegradable · 29, 36, 91
biodigester · 4, 45, 65, 93
Biodigester · 81, 82, 118
Biogas · i, iii, iv, v, vi, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 26, 37, 39, 41, 42, 43, 49, 50, 51, 52, 62, 63, 71, 72, 78, 79, 82, 83, 85, 88, 90, 92, 93, 97, 98, 100, 102, 104, 108, 112, 117, 121, 122, 123
biologis · 16, 27, 36, 90, 92, 93
biomasa · 22, 23, 38, 41, 99
Biomasa · 23
biosolids · 27

buku · ii

D

diversifikasi · 2
Diversifikasi · 2, 8, 118
domestik · 6, 12, 15, 80, 88
Domestik · v, 12, 15, 74

E

Emisi · 2, 8
Energi · v, 2, 5, 8, 23, 37, 49, 55, 61, 67, 70, 107, 108, 115

F

fermentasi · 4, 40, 65, 71, 72, 73, 76, 77, 90, 92, 93, 100, 103, 106, 115
Fermentasi · 77
fermentasi anaerobik · 92, 100
fisikokimia · 31
fitotoksistas · 29
fosil · 2, 8

I

Indonesia · 12, 15, 20, 21, 25, 26, 81, 82
insentif · 3
Instalasi · i, iii, iv, v, 2, 3, 5, 6, 8, 10, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 70, 71, 74, 78, 79, 80, 82, 121

integrasi · 2, 3, 5, 6, 8, 27, 74, 81, 82,
83, 84, 88
Integrasi · i, iii, iv, 10, 15, 26, 74, 79, 82,
85, 117
IPLT · i, iii, iv, vi, 3, 6, 14, 15, 17, 18, 20,
22, 26, 74, 78, 79, 82, 83, 84, 85, 87,
121

K

karbon dioksida · 23, 25, 40, 51, 92,
103, 108, 115
Karbon Dioksida · 103
karbondioksida · 2, 8, 41
karbondioksida · 2
karbonisasi · 24
Karbonisasi · 24
Konversi · v, 23, 37, 39, 49, 50, 55, 122
kotoran manusia · 27, 29, 88
Kotoran Manusia · 123

L

Limbah · 2, 4, 8, 12, 13, 15, 16, 17, 20,
29, 74, 86, 117, 122, 123
limbah kota · 20, 28, 31, 38, 88
Listrik · i, iii, iv, v, vi, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10,
26, 37, 45, 49, 61, 71, 79, 81, 83, 84,
123
Listrik Biogas · 2, 71, 79
Listrik Tenaga Biogas · i, iii, iv, vi, 3, 4,
5, 6, 8, 10, 26, 79, 83, 84, 123
lumpur · 2, 4, 6, 7, 14, 20, 21, 22, 23,
25, 27, 29, 31, 32, 36, 38, 42, 43, 64,
65, 71, 72, 76, 77, 80, 83, 85, 86, 88,
100, 101, 103, 109, 121

Lumpur · i, iii, iv, v, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12,
15, 17, 18, 20, 22, 25, 28, 31, 37, 70,
71, 74, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 121
lumpur industri · 27

M

Medan · iv, v, 15, 16, 17, 18, 21, 26, 74,
78, 79, 80, 82, 84, 121
Mendiversifikasi · 8
mikro organisme · 25, 32, 37, 44
mikroba · 36, 91, 95
MSS · v, vi, 7, 15, 19, 20, 27, 28, 29, 31,
32, 33, 35, 36, 37, 45, 61, 64, 65, 74,
78, 81, 82, 83, 84, 88, 89, 98, 102,
103, 108, 112, 114

O

organik · 2, 21, 22, 23, 25, 28, 29, 31,
37, 38, 39, 43, 44, 88, 90, 91, 92, 93,
94, 96, 101, 103, 106, 115

P

pemanasan global · 2
Penelitian · 5, 6, 7, 8, 65, 76, 79, 81
pengolahan · 7, 9, 12, 13, 14, 15, 16,
20, 22, 23, 24, 28, 32, 36, 38, 44, 45,
46, 64, 65, 79, 80, 81, 86, 88, 89, 90,
103, 121
Pengolahan · i, iii, iv, v, 3, 5, 6, 8, 10, 12,
13, 15, 16, 17, 18, 20, 37, 43, 45, 70,
71, 74, 78, 79, 80, 82, 121, 122
Pengolahan Lumpur · i, iii, iv, 2, 3, 5,
6, 8, 10, 12, 17, 18, 20, 70, 71, 74,
78, 79, 80, 82, 121

Perancangan · v, vi, 71, 73, 76, 78, 79,
82, 88, 97
pertanian · 16, 29, 106, 115
PLTBg · i, iii, iv, vi, 3, 6, 26, 74, 82, 83,
84, 85
portofolio · 2, 8
Portofolio · 117

R

risiko penyakit · 9

S

Sistem · v, 12, 14, 16, 48, 73, 82, 117,
118
Sludge · vi, 15, 16, 19, 20, 26, 27, 28,
30, 62, 64, 78, 88, 103, 121, 122
SPALD · 12, 13, 14, 74
Studi · vi, 2, 3, 10, 62, 71, 76, 82, 88, 97,
98

Studi Kelayakan · 3, 10, 62, 71
sumber · 2, 3, 7, 8, 29, 31, 32, 36, 43,
50, 56, 57, 59, 60, 65, 69, 76, 80, 83,
86, 109
sumber daya · 3, 32, 69
Syntrophobacter · 40, 118

T

termokimia · 23, 24, 25
Tinja · i, iii, iv, v, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12,
15, 17, 18, 20, 22, 25, 37, 70, 71, 74,
76, 77, 78, 79, 80, 82, 117, 121
toksisitas · 29
Truk · 14

U

urbanisasi · 2

TENTANG PENULIS



Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra Zambak. Lahir di Kota Sibolga, 27 Mei 1987. Penulis beragama muslim dan sudah menikah. Penulis pernah menyelesaikan Sekolah Dasar di SDN 081236 Kota Sibolga pada tahun 1993-1999. Lalu melanjutkan studi ke Sekolah Menengah Pertama di SMPN3 Kota Sibolga pada tahun 1999-2002. Selanjutnya penulis melanjutkan ke SMK-TI N1 Sibolga Tapanuli Tengah dengan mengambil jurusan Teknik Elektro pada tahun 2002-2005. Selanjutnya penulis melanjutkan studi ke tingkat perguruan tinggi. Penulis menyelesaikan studi S-1 di Institute Teknologi Medan dengan mengambil jurusan Teknik Elektro pada tahun 2005-2009 sehingga mendapatkan gelar Sarjana Teknik. Selesai S1 bekerja di PT ADD-Plus Technologies Indonesia Kenwood Division (2009—2011). Selanjutnya penulis menempuh Pendidikan S-2 di Universiti Malaysia Perlis pada tahun 2011-2013 dan berhasil mendapatkan gelar M.Sc.. Terakhir, penulis menyelesaikan Pendidikan S-3 di Universiti Malaysia Perlis pada tahun 2014—2016 dan mendapatkan gelar P.hD.



Ria Andriana, S.T., M.T. Lahir di Kota Medan, 01 Februari 1982. Penulis beragama Muslim dan sudah menikah. Saat ini menetap di Jalan Pendidikan Gang Ikhlas, Kota Medan, Sumatera Utara. Penulis menyelesaikan Sekolah Dasar di SDN 060868 Kota Medan

pada tahun 1988—1994. Melanjutkan studi ke Sekolah Menengah Pertama di SMP Swasta Pertiwi Kota Medan pada tahun 1994—1997. Selanjutnya penulis melanjutkan ke SMK-Telkom Sandhy Putra Medan dengan mengambil jurusan Suitsing pada tahun 1997—2000. Selanjutnya penulis melanjutkan studi S-1 di STT - Harapan pada tahun 2001—2005 dengan mengambil jurusan Teknik Elektro sehingga mendapatkan gelar Sarjana Teknik. Selanjutnya penulis menempuh Pendidikan S-2 di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara pada tahun 2021—2023 dan mendapatkan gelar Magister Teknik.



Josef Hadipramana, S.T., M.Sc. Ph.D. Lahir di Kota Bandung, 22 Juni 1972. Penulis kini beraktivitas sebagai dosen dan peneliti di Universitas Muhamma-
diyah Sumatera Utara, Medan Indonesia. Mendapat gelar Doktor pada tahun

2015 di Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Department Civil of Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, dengan bidang penelitian material dan struktur. Setelah lulus S3 dan pada tahun penulis terdaftar sebagai Insinyur Profesional yang dianugerahi oleh Persatuan Insinyur Indonesia (PII) dengan predikat Insinyur Profesional Madya (IPM). Sejak 2010, penulis sudah menghasilkan lebih dari 30 publikasi dalam jurnal dan prosiding bereputasi nasional maupun internasional begitu juga buku nasional dan internasional. Penulis dianugerahi sertifikat kompetensi nasional sebagai Peneliti Kuantitatif Internasional pada tahun 2021 dan sebelumnya pada tahun 2019 telah dianugerahi sertifikat kompetensi sebagai Reviewer Penelitian Internasional dan kedua kompetensi tersebut diakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN).

TENTANG EDITOR



Rohana, S.T., M.T., lahir di Kota Medan, 4 Pebruari 1976. Penulis beragama Islam dan sudah menikah. Alamat rumah Jalan Swadaya No.132A, Kelurahan Harjosari II, kecamatan Medan Amplas, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara.

Menempuh pendidikan Sekolah Dasar (SD) Negeri No.104211 di Medan tahun 1982—1988, melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 2 Medan pada tahun 1988—1991, kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Atas (SMA) Angkasa Lanud Medan pada tahun 1991—1994. Pendidikan tinggi ditempuh di Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) tahun 1994—2000. Kemudian melanjutkan ke Program Studi Magister Teknik Industri Universitas Sumatera Utara (USU) pada tahun 2003—2008, dan tahun 2017 hingga sekarang sedang menempuh Pendidikan S3 di Universitas Syiah Kuala pada Program Doktor Ilmu Teknik .

INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT) MENJADI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS (PLTBg)

Buku ini keseluruhan membedah tujuh topik utama. Pertama, pembahasan tentang identifikasi masalah dan latar belakang kajian studi kelayakan integrasi instalasi pengolahan lumpur tinja menjadi pembangkit listrik tenaga biogas. Kedua, pembahasan tentang sistem pengolahan air limbah domestik. Ketiga, pembahasan tentang *Municipal Sewage Sludge (MSS)*. Keempat, pembahasan tentang pemanfaatan teknologi MMS. Kelima, pembahasan tentang studi kelayakan MMS menjadi energi listrik. Keenam, tentang perancangan dan prosedur penciptaan pembangkit listrik tenaga biogas. Ketujuh, pembahasan tentang integrasi IPLT Menjadi PLTBg.



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3
Medan, Sumatera Utara
Website: <http://umsupress.umsu.ac.id/>
Email: umsupress@umsu.ac.id

REFERENSI

ISBN 978-623-408-531-0



9 786234 085310

ISBN 978-623-408-532-7 (PDF)



9 786234 085327

Harga P. Jawa Rp. 70.000,00