

**SKRIPSI**

**STUDI PERENCANAAN REAKTOR BIOGAS SKALA  
KAMPUS (Studi Kasus: KAMPUS TAMALANREA,  
UNIVERSITAS HASANUDDIN)**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**NURUL FITRI UTAMI**

**D131181023**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2023**

**SKRIPSI**

**STUDI PERENCANAAN REAKTOR BIOGAS SKALA  
KAMPUS (Studi Kasus: KAMPUS TAMALANREA,  
UNIVERSITAS HASANUDDIN)**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**NURUL FITRI UTAMI**

**D131181023**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2023**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### STUDI PERENCANAAN REAKTOR BIOGAS SKALA KAMPUS (STUDI KASUS: KAMPUS TAMALANREA, UNIVERSITAS HASANUDDIN)

Disusun dan diajukan oleh

**Nurul Fitri Utami**  
**D131181023**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 31 Januari 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Asiyanthi T Lando, S.T.,M.T.  
NIP 198001202002122002

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Kartika Sari, S.T.,M.T.  
NIP 197312012000122001

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T.  
NIP 197204242000122001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:  
Nama : Nurul Fitri Utami  
NIM : D131181023  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{STUDI PERENCANAAN REAKTOR BIOGAS SKALA KAMPUS (Studi Kasus: KAMPUS TAMALANREA, UNIVERSITAS HASANUDDIN)}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Maret 2023

Yang Menyatakan



Nurul Fitri Utami

## ABSTRAK

**NURUL FITRI UTAMI.** *Studi Perencanaan Reaktor Biogas Skala Kampus (Studi Kasus: Kampus Tamalanrea, Universitas Hasanuddin)* (dibimbing oleh Asiyanthi T. Lando dan Kartika Sari)

Biogas adalah salah satu jenis bahan bakar nabati yang dihasilkan secara alami dari penguraian sampah organik dalam biomassa yang menghasilkan gas mudah terbakar dengan dasar proses teknologi fermentasi (pembusukan) akibat aktivitas mikroorganisme pada kondisi tanpa udara dan menjadi salah satu sumber energi alternatif terbarukan. Reaktor biogas dirancang untuk melakukan perubahan pada kotoran hewan, kotoran manusia, dan bahan organik lainnya menjadi gas dengan sebagian besar terdiri dari gas metana. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses pengolahan feses manusia dan menjadi potensi penyedia energi alternatif untuk bahan bakar yang lebih terbarukan dengan teknologi reaktor biogas. Metode perhitungan produksi kotoran manusia dilakukan dengan parameter menghitung produksi tinja dan potensi gas harian. Hasil penelitian ini didapatkan jumlah produksi feses manusia di Rusunawa (A,B,C,D dan E) dan Ramsis (1,2 dan 3) didapatkan 490,4 kg/hari dan di Rusunawa (Anggrek, Melati dan Cempaka) didapatkan 115,2 kg/hari. Feses yang dihasilkan memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai energi biogas dengan perencanaan reaktor biogas tipe *fixed dome* dengan kapasitas 61,3 m<sup>3</sup> dengan produksi biogas per hari yaitu 24,52 m<sup>3</sup>/hari dan dengan kapasitas 14,4 m<sup>3</sup> dengan produksi biogas per hari yaitu 5,76 m<sup>3</sup>/hari.

**Kata Kunci:** *Feses Manusia, Biogas, Reaktor Biogas*

## ABSTRACT

**NURUL FITRI UTAMI.** *Planning Study of Biogas Reactor Studi Perencanaan Reaktor Biogas on Campus Scale (Case Study: Campus at Tamalanrea, Hasanuddin University)* (Supervised by Asiyanthi T. Lando and Kartika Sari)

Biogas is a type of biofuel that is produced naturally from the decomposition of organic waste in biomass which produces flammable with the basis of the technological process of fermentation (decomposition) due to the activity of microorganisms in conditions without air and is one of the renewable alternative energy sources. Biogas reactors are designed to convert animal waste, human waste and other organic matter into gas, consisting mostly of methane gas. This study aims to know the process of processing human feces and become a potential provider of alternative energy for more renewable fuels with biogas reactor technology. Calculating method of human feces production is carried out by calculating the parameters of fecal production and daily gas potential. The results of this study showed that the amount of human feces production in Rusunawa (A, B, C, D and E) and Ramsis (1, 2 and 3) was 490.4 kg/day and in Rusunawa (Anggrek, Melati and Cempaka) was obtained 115, 2 kg/day. The feces produced has the potential to be utilized as energy for biogas by planning a fixed dome type biogas reactor with a capacity of 61,3 m<sup>3</sup> with biogas production per day of 24,52 m<sup>3</sup>/day and with a capacity of 14,4 m<sup>3</sup> with biogas production per day of 5,76 m<sup>3</sup>/day

**Key Word:** *Human Feces, Biogas, Biogas Reactor*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Feses Manusia	6
2.1.1 Pengertian	6
2.1.2 Sumber	6
2.1.3 Karakteristik	7
2.1.4 Dampak Negatif	9
2.1.5 Pengolahan	10
2.2 Biogas	12
2.2.1 Pengertian	12
2.2.2 Parameter	12
2.2.3 Komposisi	14
2.2.4 Proses Pembentukan	15
2.2.5 Manfaat	17
2.3 Digester Biogas	19
2.3.1 Pengertian	19
2.3.2 Komponen	19

2.3.3 Jenis	21
2.4 Perencanaan Reaktor Biogas	25
2.5 Penelitian Terdahulu Tentang Reaktor Biogas	30
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>33</b>
3.1 Bagan Alir Penelitian	33
3.2 Rancangan Penelitian	33
3.3 Waktu dan Lokasi Penelitian	34
3.4 Populasi dan Sampel	35
3.5 Sumber Data Penelitian	36
3.6 Analisa Data	37
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>38</b>
4.1 Perhitungan Biomassa Feses Manusia	38
4.2 Perencanaan Reaktor Biogas	39
4.3 Gambaran Perencanaan Reaktor Biogas	51
4.4 Lokasi Rencana Penempatan Reaktor Biogas	56
4.5 Kehilangan Energi Pada Pipa	59
4.6 Hasil Perhitungan Analisis Rencana Anggaran Biaya (RAB) Reaktor Biogas	70
4.7 Potensi Pengolahan Feses Manusia Pada Reaktor Biogas	74
<b>BAB V PENUTUP</b>	<b>76</b>
5.1 Kesimpulan	76
5.2 Saran	77
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>78</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>82</b>



**DAFTAR TABEL**

Tabel 1 Komposisi Feses Manusia	9
Tabel 2 Komposisi Biogas	14
Tabel 3 Dimensi Geometri Ukuran Tangki Digester Silinder	28
Tabel 4 Penelitian terdahulu tentang Reaktor Biogas	30
Tabel 5 Jumlah mahasiswa untuk Reaktor Biogas Pertama di Ramsis dan Rusunawa	35
Tabel 6 Jumlah mahasiswa untuk Reaktor Biogas Kedua di Rusunawa	36
Tabel 7 Kriteria Desain Kehilangan Energi	59
Tabel 8 Rencana Anggaran Biaya (RAB) Reaktor Biogas Pertama	71
Tabel 9 Rencana Anggaran Biaya (RAB) Reaktor Biogas Kedua	73
Tabel 10 Potensi pengolahan fese manusia pada Reaktor Biogas Pertama	75
Tabel 11 Potensi pengolahan fese manusia pada Reaktor Biogas Kedua	75

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
RPJMN	Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional
SPAL	Sistem Pengelolaan Air Limbah
IPLT	Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja
UPTD-PALD	Unit Pelaksana Teknis Daerah- Pengelolaan Air Limbah Domestik
PUPR	Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang
AHSP	Analisis Harga Satuan Pekerjaan
NH <sub>4</sub>	Amonium
N	Nitrogen
C	Karbon
BOD	Biochemical Oxygen Demand
COD	Chemical Oxygen Demand
Ca	Kalsium
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Difosfor Pentoksida
K <sub>2</sub> O	Kalium Oksida
CO <sub>2</sub>	Karbon Dioksida
CH <sub>4</sub>	Metana
H <sub>2</sub> S	Hidrogen Sulfida
H <sub>2</sub>	Hidrogen
CO	Karbon Monoksida
CaCO <sub>3</sub>	Kalsium Karbonat
O	Oksigen
P	Fosfor
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	Glukosa
CH <sub>3</sub> COOH	Asam Asetat
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	Ion Asetat
H <sub>2</sub> O	Air
HCO <sub>3</sub>	Bikarbonat

---

LPG	Liquefied Petroleum Gas
PVC	Polivinil Klorida
HRT	Hydraulic Retention Time
$V_d$	Volume Digester
$S_d$	jumlah masukan bahan baku setiap hari [ $m^3$ /hari]
RT	retention time (waktu bahan baku berada dalam digester)
G	produksi biogas ( $m^3$ /jam)
$T_{z \max}$	Waktu maksimum pada saat konsumsi biogas nol
$V_c$	Volume Ruangan penampungan gas
$V_{gs}$	Volume Ruangan Penyimpanan Gas
$V_f$	Volume Ruangan Fermentasi (fermentation chamber)
$V_H$	Volume Ruangan Hidrolik (hydraulic chamber)
$V_s$	Volume lapisan penampungan lumpur (sludge layer)
$f_1$	Tinggi Ruang penyimpanan gas
$f_2$	Tinggi lapisan penampungan lumpur
H	Tinggi Reaktor (ruang fermentasi)
$s_1$	panjang lengkungan atap reaktor
$s_2$	panjang lengkungan dasar reaktor
$v_1$	Volume Ruang penyimpanan gas ( <i>gas storage chamber</i> )
$v_2$	Volume lapisan penampungan lumpur ( <i>sludge layer</i> )
$v_3$	Volume Ruang fermentasi ( <i>Fermentation chamber</i> )
TS	Total biomassa per hari
KWH	Kilowatt-Hour
Mg	Miligram
Kg	Kilogram
M	Meter
Mg/l	Milligram/liter

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Proses biologis terbentuknya biogas	15
Gambar 2 Tahap Pembentukan Biogas	17
Gambar 3 <i>Tipe Fixed Domed Plant</i>	22
Gambar 4 <i>Tipe Floating Dome Plant</i>	23
Gambar 5 <i>Digester Tipe Baloon</i>	24
Gambar 6 <i>Digester Tipe Plug Flow</i>	24
Gambar 7 Penampang Digester Biogas Silinder	27
Gambar 8 Dimensi Geometri Penampang Digester Biogas	28
Gambar 9 Bagan Alir Penelitian	33
Gambar 10 Peta Lokasi Rusunawa (A, B, C, D dan E) dan Ramsis (1, 2, dan 3)	34
Gambar 11 Rusunawa (Anggrek, Melati, dan Cempaka)	35
Gambar 12 Lokasi Reaktor Biogas Pertama di area Ramsis (1, 2, dan 3) serta Rusunawa (Rumah Susun) A,B, C, D dan E	37
Gambar 13 Lokasi Reaktor Biogas kedua di area Rusunawa (Rumah Susun) Anggrek, Melati dan Cempaka	37
Gambar 14 <i>Cross Section</i>	39
Gambar 15 Dimensi Reaktor Biogas Silinder	40
Gambar 16 Bak Pencampur	41
Gambar 17 Digester Chamber	43
Gambar 18 Hydraulic Chamber	44
Gambar 19 Lumpur <i>Slurry</i>	45
Gambar 20 Bak Pencampur	47
Gambar 21 Digester Chamber	48
Gambar 22 Hydraulic Chamber	49
Gambar 23 Lumpur <i>Slurry</i>	50

Gambar 24 Tampak atas dari Perencanaan Reaktor Biogas Pertama	52
Gambar 25 Tampak samping dari Perencanaan Reaktor Biogas Pertama	53
Gambar 26 Tampak atas dari Perencanaan Reaktor Biogas Kedua	54
Gambar 27 Tampak samping dari Perencanaan Reaktor Biogas Kedua	55
Gambar 28 Lokasi reaktor biogas pertama di area ramsis (asrama mahasiswa) 1, 2, dan 3 serta rusunawa (rumah susun) A, B, C, D dan E	57
Gambar 29 Lokasi reaktor biogas kedua di area rusunawa (rumah susun) anggrek, melati dan cempaka	58

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Analisa Data Perencanaan Reaktor Biogas	82
Lampiran 2 Dokumentasi Observasi Kondisi Eksisting di Lapangan	107

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah Subhanahuwata'ala karena atas berkat rahmat dan ridhoNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir dengan judul **“STUDI PERENCANAAN REAKTOR BIOGAS SKALA KAMPUS (STUDI KASUS: KAMPUS TAMALANREA, UNIVERSITAS HASANUDDIN)”**. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW pimpinan dan sebaik-baik teladan bagi ummat yang membawa manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang benderang.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mengalami hambatan, namun berkat bantuan, bimbingan, dan kerjasama yang ikhlas dari berbagai pihak, akhirnya tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Pencapaian tugas akhir ini tidak terlepas dari jasa-jasa orang tua penulis. Ungkapan terima kasih yang tulus penulis persembahkan untuk kedua orang tua tercinta Ayah Ahmad Syuaib dan Ibu Marwani atas doa-doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah dan yang telah mencurahkan segenap kasih sayang yang tak terbatas serta segala bentuk motivasi yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan sampai di tingkat perguruan tinggi. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya juga penulis ucapkan kepada kakak tersayang Ismunandar, Ahmad Akbar, Khaerunnisa serta abang Eldar Terima kasih atas dukungan, motivasi dan kesabaran dalam menghadapi penulis, serta untuk seluruh keluarga besar yang telah memberikan support dan doa demi kelancaran penelitian ini.

Dalam proses penyusunan hingga terselesaikannya tugas akhir ini, penulis sangat terbantu oleh banyak pihak, karenanya penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan, dan Dr. Eng Asiyanthi T. Lando, S.T., M.T., selaku Sekretaris Departemen Teknik Lingkungan

4. Bapak Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T., selaku Kepala Laboratorium Sanitasi dan Persampahan Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Ibu Dr. Eng. Asiyanthi T. Lando, S.T., M.T., selaku Dosen pembimbing I yang telah banyak melungkan waktu serta senantiasa memberikan saran dan dukungan selama penulis melaksanakan penelitian dan menyusun tugas akhir.
6. Ibu Dr. Eng. Kartika Sari, S.T., M.T., selaku Dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan masukan selama penulis melaksanakan proses penelitian dan penyusunan tugas akhir.
7. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis selama masa perkuliahan.
8. Seluruh Staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama penulis menempuh perkuliahan terutama kepada staf Departemen Teknik Lingkungan Ibu Sumi dan Kak Oland selaku staff yang selalu siap sedia membantu dalam proses administrasi tugas akhir dari penulis
9. Untuk Mohamad Fatkhurohman Romadhoni yang telah banyak membantu penulis selama masa perkuliahan serta dalam menyusun tugas akhir dan selalu memberikan support.
10. Untuk Era Fazirah dan Suarni yang telah banyak membantu penulis selama masa perkuliahan dan menyusun tugas akhir
11. Teman-teman se-Angkatan 2018 Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, yang telah banyak penulis reportkan selama masa perkuliahan.
12. Teman-teman seperjuangan di Lab Riset Sanitasi dan Persampahan yang selalu berbagi dan saling menolong selama proses penelitian,
13. Saudara-saudari se-TRANSISI 2019, yang telah menemani masa perkuliahan sejak menjadi mahasiswa baru sampai sekarang dan mengajarkan banyak hal selama menjalani masa perkuliahan



14. Semua pihak yang telah memberi dukungan dan dorongan kepada penulis yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalaskan kebaikan kepada kalian semua. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Namun, penulis berharap tugas akhir ini memberikan manfaat bagi pembaca. Akhir kata semoga tugas akhir ini memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Gowa, Maret 2023

Penulis,

**Nurul Fitri Utami**

**D131 18 1023**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu negara berkembang dengan jumlah pertumbuhan penduduk yang sangat pesat. Berdasarkan data dari sensus penduduk melalui Badan Pusat Statistik Indonesia tahun 2020 tercatat sebanyak 270 juta jiwa penduduk dan termasuk jumlah terbanyak keempat di dunia. Tingginya jumlah penduduk di Indonesia akan menimbulkan tingginya tingkat permasalahan khususnya pada lingkungan. Salah satu dampak yang terjadi di lingkungan adalah masalah sanitasi yang masih belum memiliki sistem pengelolaan yang baik dengan secara khusus mengacu pada permasalahan pengelolaan limbah feses manusia. (Badan Pusat Statistik, 2020)

Feses manusia adalah hasil akhir dari sistem pencernaan kompleks yang terjadi di dalam tubuh manusia dan dikeluarkan melalui sistem sekresi. Karena hasil dari pembuangan, sehingga feses manusia dikategorikan sebagai limbah. Limbah feses manusia dapat ditemukan di dalam penampungan yang disebut sebagai *septic tank*. Prinsip penampungan ini sebagai upaya dalam proses pengendapan dan terhindar dari pencemaran lingkungan. Pengelolaan limbah feses adalah salah satu bentuk dari sanitasi lingkungan sehingga, ketidaklayakan cara kelola akan menimbulkan beberapa permasalahan di lingkungan, khususnya mencakup pencemaran yang berupa pencemaran tanah, air, udara (penciuman) dan mata (sisi estetika). Perhatian secara khusus dalam sistem pembuangan limbah feses perlu dilakukan dengan basis paham lingkungan yang mencakup pada proses tampung (*septic tank*) hingga pada proses olah. (Widagdo, 2009)

Indonesia mengalami kemajuan signifikan dalam peningkatan mutu sanitasi dasar. Namun, hingga saat ini kesadaran masyarakat terhadap pengaruh langsung kepada risiko kesehatannya akibat proses pengelolaan *septic tank* yang kurang memadai dan durasi proses pengurusan masih terlalu rendah. Kurang dari 8% rumah tangga telah memiliki fasilitas toilet yang tersambung dengan *septic tank* dan membersihkan *septic tank* secara rutin setidaknya setiap lima tahun sekali. Hal tersebut terjadi karena kurangnya tingkat pemahaman beberapa rumah

tangga terkait pentingnya toilet dihubungkan ke saluran pembuangan melalui pipa ke *septic tank* dan memerlukan pembersihan rutin. Terdapat hingga 25 juta rumah tangga saat ini di Indonesia yang belum memiliki toilet dan hanya membuangnya di tempat umum seperti di sawah, hutan, sungai, dan tempat terbuka lainnya. Berdasarkan penelitian UNICEF bahwa sanitasi yang tidak dikelola dengan baik menjadi indikator menurunnya sistem kekebalan tubuh anak, yang dengan mudah memiliki efek yang bertahan lama hingga berujung kematian. (UNICEF, 2020)

Undang-Undang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2015–2019 merupakan salah satu prioritas Pemerintah Indonesia dalam mencapai tujuan pencapaian akses universal tahun 2019 terhadap kebersihan dengan menunjang sebuah Sistem Pengelolaan Air Limbah (SPAL) yang dinyatakan untuk menyediakan infrastruktur dan fasilitas sanitasi. SPAL adalah sebuah sistem pengelolaan yang mengumpulkan limbah tinja di fasilitas seperti *septic tank* dan dilakukan pengambilan dengan cara dihisap lalu diangkut dan dikumpulkan ke dalam sistem Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) untuk diproses lebih lanjut. Terdapat 134 daerah dari 507 daerah dan kota di Indonesia yang telah memiliki IPLT dan sisanya melakukan pembuangan lumpur feses di kebun dan atau di sungai. Inti dari program ini adalah pemerintah daerah pada umumnya masih kurang mengetahui cara penanganan lumpur feses. (Subhan, 2017)

Makassar merupakan salah satu kota yang telah memiliki IPLT. Menurut hasil data dari Unit Pelaksana Teknis Daerah-Pengelolaan Air Limbah Domestik (UPTD-PALD) Makassar, terdapat 40.000 rumah tangga yang secara rutin mengeluarkan lumpur feses secara aktif. Jumlah itu hanya 11% dari seluruh rumah tangga di Makassar, dengan lebih dari 300.000 rumah. Menurut Kerlinus Bubungan selaku Kepala UPTD-PALD, lebih dari 90% rumah di Makassar memiliki *septic tank* yang tidak standar (kontak langsung dengan tanah) yang mengakibatkan pencemaran tanah dan air tanah di Makassar sudah sangat masif. (Rasid, 2019)

Salah satu alternatif dalam metode pengelolaan limbah feses manusia dapat menggunakan reaktor biogas. Reaktor biogas dirancang untuk melakukan perubahan pada kotoran hewan, kotoran manusia, dan bahan organik lainnya

menjadi gas dengan sebagian besar terdiri dari gas metana. Biogas menjadi salah satu sumber energi alternatif terbarukan, berasal dari fosil gas alam dan dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar. Tingginya kebutuhan sumber energi menjadikan bahan bakar fosil mulai berkurang dan industrialisasi meningkat dari hari ke hari sehingga penggunaan sumber energi terbarukan sangat penting. (Ardiansyah, 2017)

Berdasarkan penjabaran di atas, pemanfaatan pengolahan limbah feses manusia menjadi biogas dalam lingkungan masyarakat khususnya lingkup kampus masih terbatas, sehingga peneliti tergerak untuk melakukan penelitian “**Studi Kasus Perencanaan Reaktor Biogas Skala Kampus di Kampus Tamalanrea, Universitas Hasanuddin**”. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi permasalahan pengolahan feses dan menjadi penyedia energi alternatif untuk bahan bakar yang lebih terbarukan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang yang ada, adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana produksi feses manusia yang terdapat di Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin?
2. Bagaimana rancangan reaktor biogas skala Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin?
3. Bagaimana potensi pengolahan feses manusia pada reaktor biogas di Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Sesuai dengan rumusan masalah yang ada, adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui produksi feses manusia yang terdapat di Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin.
2. Mengetahui rancangan reaktor biogas skala Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin

3. Mengetahui potensi pengolahan feses manusia pada reaktor biogas di Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin

#### **1.4 Batasan Penelitian**

Pembatasan penelitian perlu dibuatkan untuk memfokuskan penelitian pada masalah yang berhubungan dengan tugas akhir serta agar menghindari lebarnya masalah tersebut, adapun batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilaksanakan di Kampus Tamalanrea, Universitas Hasanuddin.
2. Bentuk penelitian yang akan dilakukan yaitu mengkalkulasi produksi feses manusia per harinya.
3. Penelitian ini hanya berfokus pada perencanaan desain Reaktor Biogas Skala Kampus di Tamalanrea, Universitas Hasanuddin.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Sejalan dengan tujuan penelitian yang ada, adapun manfaat yang diharapkan dapat tercapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberi informasi yang relevan tentang sistem pengelolaan feses manusia di Kampus Tamalanrea Universitas Hasanuddin
2. Meningkatkan kesadaran para mahasiswa, dosen, pegawai serta masyarakat mengenai pentingnya pengolahan feses manusia.
3. Sebagai tambahan referensi bagi perguruan tinggi dan para peneliti mengenai reaktor biogas dengan menggunakan feses manusia agar dapat dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Laporan penelitian tugas akhir ini ditulis sesuai dengan sistematika yang berlaku yang terdiri dari beberapa bab, yang masing-masing mengkaji masalah individu. Ringkasan laporan ini adalah sebagai berikut:

##### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Bab ini mencakup latar belakang, rumusan masalah, batasan, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan sebagai bentuk awalan penelitian ini.

**BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini mencakup tinjauan pustaka dari beberapa penelitian dan dasar teori yang diperoleh dari buku, jurnal, dan laporan penelitian sebelumnya yang digunakan sebagai pedoman untuk penelitian ini.

**BAB 3. METODE PENELITIAN**

Bab ini mencakup bagan alir, rancangan, waktu dan lokasi, populasi dan sampel, sumber data, dan analisis data yang menunjang penelitian ini.

**BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini mencakup hasil dari studi kasus dan perhitungan produksi feses manusia dan pembahasan dari interpretasi hasil dan rancangan reaktor biogas.

**BAB 5. PENUTUP**

Bab ini mencakup kesimpulan yang memberikan penjelasan akhir pembahasan dan interpretasi hasil dan dilengkapi dengan saran berdasarkan pengalaman peneliti yang ditujukan untuk pembaca atau mahasiswa yang ingin mengembangkan hasil penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

Mencakup tentang buku, jurnal, dan sumber lain sebagai referensi dalam penelitian ini.

**LAMPIRAN**

Mencakup tentang lampiran yang berhubungan dengan penelitian ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Feses Manusia**

##### **2.1.1 Pengertian**

Feses manusia merupakan kotoran yang dikeluarkan dari tubuh manusia melalui anus sebagai residu dari proses pencernaan makanan di sepanjang saluran pencernaan (*gastrointestinal tract*). Satu liter feses manusia mengandung bahan organik dengan jumlah sekitar 200 hingga 300 mg BOD<sub>5</sub>. Feses manusia meliputi hasil sisa makanan yang tidak dapat dicerna yang dapat berupa lemak, karbohidrat, enzim, protein, sel-sel mati, dan mikroorganisme. Feses manusia masih memiliki nutrisi. Artinya, senyawa fosfor dan nitrogen serta residu protein dibawa oleh sel-sel mati. Satu liter feses, biasanya diekskresikan dalam bentuk ortofosfat (fosfat terikat) dan amonium (NH<sub>4</sub>-N) dengan masing-masing kandungan 30 mg fosfat dan 25 gram amonium. Ketika zat tersebut masuk ke air, akan mendorong pertumbuhan gangguan akuatik yang berakibat dapat menjerat oksigen sehingga membunuh ikan dan hewan air lainnya. (Soeparman, 2001)

Feses manusia termasuk kategori limbah organik yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber daya yang belum terjamah dan terungkap secara meluas. Kandungan nutrisi di dalam feses manusia dengan feses ternak tidak jauh berbeda. Tentu saja, ini disebabkan oleh sistem pencernaan dan pola makan manusia dan ternak tidak sama. Manusia pada umumnya mengkonsumsi makanan rendah serat dengan kandungan protein yang tinggi dan melalui proses pemasakan, sedangkan pada ternak terjadi sebaliknya, sehingga manusia unggul dari segi kandungan nutrisi pada fesesnya. Feses manusia memiliki manfaat nutrisi karena mengandung nitrogen (N) dan karbon (C) yang lebih rendah (rasio C/N: 6-10/18-30). (Maryani, 2016)

##### **2.1.2 Sumber**

Sumber utama produksi feses tentunya oleh manusia yang ditempatkan dan ditampung di dalam tanah melalui sarana toilet. Feses yang

tertampung seringkali telah bercampur dengan air seni sehingga terjadi perubahan konsentrasi menjadi padatan yang tersuspensi, terlarut, dan terakumulasi menyerupai lumpur (Hadianto, 2019). Sumber dan strategi pengelolaan feses manusia saling menghubungkan yang dibedakan atas dua kategori yaitu sebagai berikut:

a) Manusia sebagai perorangan atau individu

Individu mencakup manusia dengan dirinya sendiri yang tinggal dan hidup terpisah sehingga sumber feses yang dihasilkan dikelola secara mandiri dengan menggunakan fasilitas berupa toilet pribadi. Dalam hal ini, tanggung jawab untuk merancang, membangun, menggunakan, dan memelihara fasilitas tersebut dilakukan secara perorangan.

b) Manusia sebagai kelompok atau kolektif

Kelompok mencakup sekumpulan orang yang bermukim di wilayah geografis yang sama secara kolektif. Dalam suatu kelompok, setiap individu terikat oleh hubungan sosial dengan norma kelompok yang disepakati. Proses penanganan feses secara kolektif bersifat sangat kompleks. Berbagai faktor seperti keterbatasan, ketersediaan lahan, dan perbedaan kepentingan antar individu menjadi penentu keberhasilan pengelolaan feses. Pengelolaan feses dilakukan secara kolektif menggunakan fasilitas toilet umum. Dalam hal ini, tanggung jawab untuk merancang, membangun, menggunakan, dan memelihara fasilitas tersebut dilakukan secara berkelompok.

### 2.1.3 Karakteristik

Feses manusia akan mengalami proses akumulasi dan dekomposisi sehingga akan berubah menjadi bahan stabil menyerupai lumpur. Komposisi organik dan anorganik yang beraneka ragam akan memadat dan larut dan kehidupan mikroorganisme tidak terlepas di dalamnya (*decomposition process*). Feses diklasifikasikan berdasarkan karakteristik dalam kualitas kimia, biologi, dan fisika. Dalam pendeskripsian feses parameter yang digunakan terhadap karakteristik feses dapat berupa sebagai berikut (Hadianto 2019):



- a) Derajat Keasaman / pH sebagai parameter untuk mengukur kualitas dari limbah feses. Karena terjadi dekomposisi sehingga pH yang dihasilkan oleh feses bersifat asam yaitu  $< 7$ .
- b) Total Padatan (TS) sebagai parameter untuk menilai potensi penentuan jenis proses pengolahan dan penggunaan kembali air limbah. Nilai TS feses secara umum sebesar 400 mg/l.
- c) Konduktivitas Listrik (EC) sebagai parameter untuk mengetahui tingkat salinitas feses. Nilai kandungan kandungan garam secara umum 1000 ppt.
- d) Total Padatan Volatil (TVS) sebagai parameter untuk menentukan jumlah bahan organik yang terlarut dari residu yang dihasilkan. Nilai TVS feses secara umum sebesar 25 mg/l.
- e) Total Nitrogen Kjeldahl (TKN) sebagai parameter untuk mengevaluasi kandungan biologis di dalam feses. Nilai TKN mencakup jumlah total dari amonia dan nitrogen organik secara umum sebesar 700 mg/l.
- f) Amonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) berasal dari sisa proses pencernaan makanan. Nilai  $\text{NH}_4\text{-N}$  secara umum feses sebesar 150 mg/l.
- g) Rasio BOD-COD sebagai parameter untuk mengetahui kestabilan oksigen dalam feses. Nilai BOD sebesar 7 mg/l, sebagai parameter untuk mengakumulasi jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroba untuk menstabilkan hasil dekomposisi. Nilai COD 15 mg/l, sebagai parameter untuk menggambarkan jumlah total oksigen dibutuhkan untuk mendegradasi bahan organik.
- h) Lemak dan minyak sebagai parameter untuk menurunkan kemampuan kerja mikroorganisme dalam melakukan proses dekomposisi senyawa organik karena dapat mengurangi proses larut. Nilai batas toleransi lemak dalam feses sebesar 8000 mg/l.
- i) Parasit sebagai parameter untuk mengukur dan mengetahui kualitas feses dari organisme patogen yang dapat menyebabkan penyakit menular.

Feses manusia memiliki variasi dari segi kuantitas, konsistensi, dan konsentrasi. Perkiraan kuantitas feses manusia dibedakan atas total berat basah dan berat kering yang masing-masing sebesar 100–400 gr/hari dan 30–

60 gr/hari. Rata-rata manusia dapat menghasilkan sekitar 83 gr feses dan urin sekitar 970 gr per harinya. Berdasarkan debit dan massa feses, sebagian besar feses berupa air dan sisanya sekitar 20% berupa zat-zat organik (fosfat, nitrogen, sulfur, dan lainnya). (Widagdo, 2007)

Tabel 1. Komposisi feses manusia

<b>Komponen</b>	<b>Kandungan (%)</b>
Air	66 – 80
Bahan Organik	88 – 97
Rasio Karbon / Nitrogen	5 – 10
Karbon (C)	40 – 55
Nitrogen (N)	5,0 – 7,0
Kalsium (CaO)	4 – 5
Fosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	3,0 – 5,4
Potasium (K <sub>2</sub> O)	1,0 – 2,5

Sumber: (Indrasto Ary Widagdo, 2007)

Perkiraan komposisi feses secara garis besar berdasarkan total dari berat kering (Tabel 1). Selain itu, dalam setiap 1 gram feses mengandung jutaan mikroorganisme secara umum tidak menyebabkan penyakit namun memiliki potensi patogen jika diproduksi oleh penderita penyakit saluran pencernaan. Mikroorganisme tersebut mencakup protozoa, bakteri, parasit, atau virus. Jenis mikroba yang paling umum ditemukan adalah *Escherichia coli* atau yang dikenal sebagai *fecal enterococcus*, termasuk mikroba flora normal, yang diekskresikan melalui saluran pencernaan dengan jumlah besar rata-rata sekitar 50 juta/gram dari tubuh manusia.

#### **2.1.4 Dampak Negatif**

Tidak terlepas dari komposisi feses yang sebagian besar terdiri atas zat-zat organik terlarut dan mikroorganisme secara khusus, sehingga dalam proses penanganan feses yang kurang baik dapat memicu terjadinya dampak negatif. Salah satu faktor pemicu dari dampak yang dapat ditimbulkan feses mencakup kehidupan individu yaitu keterlibatan manusia dengan dirinya sendiri dan kehidupan secara kolektif yang telah terhubung dengan kehidupan sosial dan lingkungan. (Dahruji, 2017)

Pengolahan sanitasi feses merupakan salah satu kegiatan yang dapat memicu meningkatnya kualitas kesehatan lingkungan yang dapat dilakukan

dengan beberapa tahap yaitu dengan melakukan pembersihan lingkungan, menyediakan air bersih, membuang sampah, menjaga kebersihan rumah dan ruang publik, mematuhi protokol kesehatan baik dalam makan dan minum, serta mengendalikan vektor penyakit dan pencemaran lingkungan. Untuk menjaga kesehatan lingkungan, feses dapat menjadi vektor penularan penyakit jika pembuangannya tidak ditangani secara khusus. (Prasetio, 2020)

Feses yang tercemar secara langsung maupun tidak langsung dapat menyebabkan penyakit baik dari skala gejala ringan hingga berat. Efek secara langsung yang dapat ditimbulkan akibat kontaminasi feses berupa tifus, diare, *ascariasis*, disentri, kolera, serta infestasi dan infeksi parasit ke dalam saluran pencernaan. Penularan penyakit secara langsung seringkali dijumpai pada usia anak-anak namun tidak menutup kemungkinan usia dewasa terbebas dari infeksi tersebut. Terdapat tiga kategori penyakit secara garis besar yang dapat disebabkan oleh kontaminasi feses manusia yaitu penyakit enterik atau saluran pencernaan yang disebabkan kontaminasi zat racun dalam feses, penyakit infeksi oleh mikroorganisme baik bakteri, virus, dan protozoa, serta penyakit infestasi dari parasit seperti cacing yang dapat menyebabkan penyakit *ascariasis*, *schistosomiasis*, dan *ankilostomiasis*. (Prasetio, 2020)

Efek secara tidak langsung dari pencemaran feses dihubungkan dengan komponen sanitasi lingkungan. Feses tercemar dapat melalui udara dan tanah, melalui resapan tanah, feses mengkontaminasi air yang nantinya akan digunakan oleh manusia sehingga dapat menimbulkan turunnya kualitas lingkungan. Kualitas lingkungan yang menurun dapat mempengaruhi perkembangan kehidupan sosial bermasyarakat sehingga daya dukung lingkungan akan menurun hingga ke tingkat kritis. Fasilitas penampungan feses yang memadai dapat menjadi salah satu upaya mendukung pelestarian lingkungan. (Dahruji, 2017)

### **2.1.5 Pengolahan**

Manajemen feses mencakup proses penyimpanan, pengumpulan, transportasi, pengolahan, penggunaan, dan pembuangan akhir yang aman (Fujita, 1989). Dalam pelaksanaan manajemen feses sebagai salah satu upaya

dalam proses pengolahan feses, terdapat beberapa aspek keterlibatan yang menjadi perhatian, diantaranya adanya kebijakan dan regulasi dalam tata olah feses, adanya peran institusi atau kelembagaan sebagai pendukung sistem olah feses, adanya teknis yang jelas dalam mengolah feses, adanya keuangan sebagai penunjang pengolahan feses, dan serta adanya peran masyarakat sebagai sumber daya dalam menjalankan proses olah limbah feses (El Haq, 2010).

Konsep pengolahan feses sebagai formulasi awal dalam manajemen feses secara ideal sehingga dapat dikembangkan menjadi bagian secara keseluruhan dari penerapan yang melibatkan beberapa aspek sebagai bagian internal meliputi kebijakan, kelembagaan, keuangan, dan teknis yang terangkum ke dalam beberapa proses meliputi fasilitas sanitasi, pembuangan akhir, dan penggunaan kembali. Pengolahan feses secara khusus dibedakan berdasarkan dari karakteristik kualitas feses dan mencakup beberapa proses yaitu proses pengambilan lumpur feses, pengangkutan dan pengosongan tempat penampungan limbah feses, pengolahan limbah feses, penggunaan kembali limbah feses, dan penyimpangan limbah feses. (Hardianto, 2019)

Proses pengolahan awal feses yaitu melakukan pemisahan fraksi antara padat yang kaya akan kandungan organik dan cairan yang berupa air kontaminasi dengan urin. Pemilahan feses juga harus dilakukan karena setiap manusia memiliki sistem pencernaan dan kualitas feses yang berbeda. Padatan yang telah tersortir melewati proses penstabilan lumpur dikeringkan hingga larutan mineralisasinya hilang. Perawatan yang dilakukan berdasarkan tujuan dari pemanfaatan feses, jika digunakan untuk mengurangi pencemaran, sehingga bahan organik harus dilakukan penyisihan nutrisi kekuatan tinggi sehingga dapat menciptakan produk yang dapat digunakan kembali berupa biosolids (padatan). Biosolids yang dihasilkan harus secara higienis sehingga mengurangi zat patogen yang ikut terakumulasi di dalamnya. (Hardianto, 2019)

Jika sistem pengolahan feses berjalan, feses secara tidak langsung memiliki keunggulan. Dengan kata lain, feses akan memiliki nilai ekonomi sehingga dapat meningkatkan pendapatan. Lumpur dari limbah feses dapat

digunakan untuk membuat pupuk dengan kualitas yang cukup baik dan dapat digunakan sebagai biomassa dalam teknologi reaktor biogas. (Hardianto, 2019)

## 2.2 Biogas

### 2.2.1 Pengertian

Biogas merupakan salah satu jenis bahan bakar nabati yang dihasilkan secara alami dari penguraian sampah organik dalam biomassa yang menghasilkan gas mudah terbakar (*flammable gas*) sebagai akibat aktivitas mikroorganisme pada kondisi tanpa udara. Biogas mencakup campuran metana, karbon dioksida, dan sejumlah kecil gas lainnya (Hadi, 1980). Campuran senyawa-senyawa tersebut dapat berhasil digunakan sebagai sumber energi terbarukan. Sehingga biogas dikategorikan sebagai produk sampingan dari pencernaan anaerobik dari biomassa (bahan organik). (Simamora, 2006)

Menurut Hadiyanto dkk., (2019), biogas terbentuk dari campuran gas-gas alam seperti karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ), dan gas-gas lainnya gas hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), nitrogen ( $\text{N}_2$ ), hidrogen ( $\text{H}_2$ ), dan karbon monoksida ( $\text{CO}$ ) yang diperoleh dari hasil dekomposisi bahan organik (feses hewan, manusia, dan tumbuhan) oleh mikroorganisme penghasil metana (bersifat metanogen). Biogas menjadi salah satu energi alternatif yang telah diterapkan oleh para peternak di beberapa desa dengan memanfaatkan feses ternak. Pengembangan sanitasi pengolahan dan pemanfaatan limbah domestik sebagai wujud dari pencanangan program energi alternatif yang ada di desa. Kehadiran gas metana hasil dari biogas menjadi peluang yang sangat besar karena memiliki sifat yang mudah terbakar dan dapat digunakan sebagai sumber energi dalam halnya untuk penerangan bahkan pada skala besar dapat menghasilkan energi listrik. (Hadiyanto, 2019)

### 2.2.2 Parameter

Dekomposisi bahan organik dalam biogas terjadi dalam lingkungan anaerobik, sehingga proses yang menghasilkan biogas dikenal sebagai

pencernaan anaerobik dengan secara bentuk alami dari limbah menjadi energi yang menggunakan proses fermentasi untuk memecah bahan organik. Kotoran hewan, sisa makanan, air limbah, dan kotoran manusia merupakan contoh bahan organik yang dapat menghasilkan biogas melalui pencernaan anaerobik. (Jorgensen, 2009)

Menurut Abbasi *et al.*, (2012) karena kandungan metana yang tinggi, biogas mudah terbakar sehingga dapat digunakan sebagai sumber energi. Energi dari biogas bergantung pada konsentrasi gas metana. Kandungan gas metana yang tinggi akan mempengaruhi besaran nilai kalor pada biogas.

Menurut Noraini (2017), terdapat beberapa faktor yang menjadi parameter terhadap kondisi lingkungan yang mempengaruhi produksi biogas, antara lain derajat keasaman (pH), temperatur, alkalinitas, substrat (rasio C/N), dan waktu retensi yang secara garis besar sebagai berikut:

a) Derajat keasaman (pH)

Nilai derajat keasaman atau pH optimal yang dibutuhkan dalam produksi biogas berada dalam keadaan netral (7). Dalam keberlangsungan proses produksi biogas, pH akan mengalami penurunan hingga mencapai kondisi asam (4,5) dan akan menyebabkan berhentinya proses pembentukan gas sehingga harus dipacu dengan penambahan basa berupa kapur ( $\text{CaCO}_3$ ).

b) Temperatur

Nilai temperatur atau suhu optimal yang dibutuhkan dalam proses pembentukan gas metana dalam biogas dalam kondisi mesofilik (berkisar  $25^\circ\text{C}$  hingga  $40^\circ\text{C}$ ) dan dalam kondisi termofilik (berkisar  $50^\circ\text{C}$  hingga  $65^\circ\text{C}$ ).

c) Kadar Air

Nilai kadar air sebagai parameter berlangsungnya proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme. Tingginya produksi gas terbentuk oleh kadar kelembaban yang tinggi, sedangkan jika kelembaban rendah akan menghambat aktivitas metanogen.

d) Substrat (rasio C/N)

Rasio perbandingan karbon dan nitrogen yang dijadikan sebagai konsentrasi substrat mempengaruhi kecepatan perombakan untuk menghasilkan lumpur. Substrat yang rendah akan meracuni mikroorganisme sehingga menghambat proses dekomposisi.

e) Waktu Retensi (pengadukan)

Waktu retensi yang terkait dalam proses pengadukan mempengaruhi interaksi antar mikroorganisme dengan substrat sehingga memicu meningkatnya produksi biogas.

### 2.2.3 Komposisi

Secara umum, hasil produksi biogas tersusun atas gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dengan sedikit hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) beberapa komposisi sebagai bahan baku dan faktor kondisi lingkungan dalam proses fermentasi yang optimal untuk pertumbuhan bakteri dekomposer (Barros dkk, 2014).

Biogas yang dihasilkan dari bahan baku terbarukan merupakan sumber energi yang layak dan mudah disimpan. Proses mikrobiologi menjadi aktif selama produksi biogas yang dihasilkan dari fermentasi anaerobik limbah zat organik (Pizzuti dkk, 2016). Biogas dengan densitas 0,83 dan bilangan oktan 110, juga merupakan gas yang menyala melalui nyala biru terang. Nilai kalor gas alam dan metana adalah  $37,3 \text{ Mj.m}^3$  sedangkan nilai kalor biogas berkisar antara  $26,7 - 29,8 \text{ Mj.m}^3$  tergantung pada kandungan metana (Alibas dkk., 2016). Produksi energi biogas dapat dipengaruhi oleh beberapa komponen sebagai berikut:

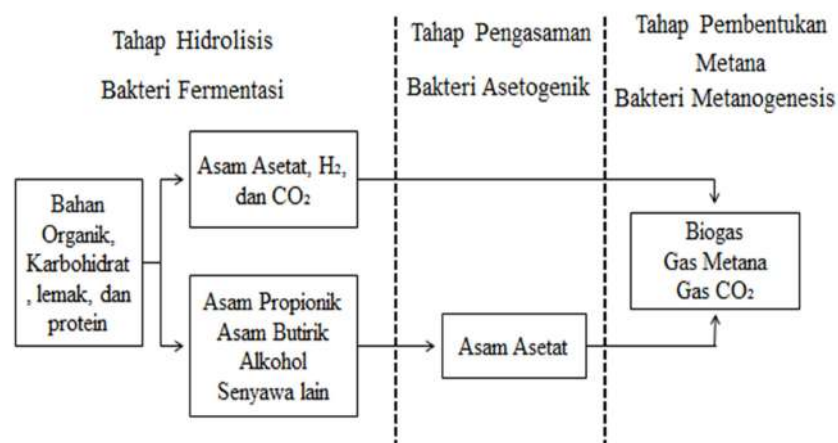
Tabel 2. Komposisi biogas

<b>Komponen (gas)</b>	<b>Kandungan (%)</b>
Metana ( $\text{CH}_4$ )	55 – 75
Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ )	25 – 45
Hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ )	1 – 5
Karbon monoksida ( $\text{CO}$ )	0,10
Hidrogen ( $\text{H}_2$ )	1 – 5
Oksigen ( $\text{O}_2$ )	0,1 – 0,5
Nitrogen ( $\text{N}_2$ )	0 – 0,3
Gas lain	Rendah

Sumber: (Pertiwiningrum, 2015)

### 2.2.4 Proses Pembentukan

Fermentasi merupakan dasar dari proses pembentukan biogas. Proses fermentasi terjadi secara alami (pembusukan) dimana melibatkan bakteri metana (*organism methane bacteria*) secara anaerob sehingga menghasilkan gas metana dari limbah yang dihasilkan. Proses penguraian bahan organik yang dibutuhkan untuk menghasilkan biogas ditempatkan dalam wadah yang disebut sebagai biofermentor. Penguraian bahan organik ini bersifat anaerob atau tanpa membutuhkan oksigen. Biogas akan diproduksi selama kurun waktu 4 hingga 5 hari setelah bio-fermentor terisi penuh dan mencapai puncaknya dalam 20 hingga 25 hari, secara biologi pada Gambar 1 (Maryani, 2016).



Gambar 1. Proses biologis terbentuknya biogas

Kotoran manusia memiliki rasio C/N sebesar 14,6. Biogas dapat diproduksi dalam jumlah banyak pada rasio substrat (C/N) sekitar 25-30. Oleh karena itu, feses perlu dikombinasikan dengan substrat lain untuk mencapai rasio C/N yang tepat. Salah satu substrat yang dapat digunakan sebagai substrat tambahan adalah menambahkan penambahan bahan baku dengan rasio C/N yang tinggi seperti jerami padi (C/N ratio 12,5-25), sekam padi (C/N ratio 100-125), atau tongkol jagung (C/N ratio 66,5) (Tompkins, 2005). Pada dasarnya, proses pembuatan biogas dari kotoran manusia sama dengan sistem biogas pada beberapa jenis limbah organik lainnya dengan memanfaatkan mikroorganisme anaerob dengan proses yang terbagi atas tiga

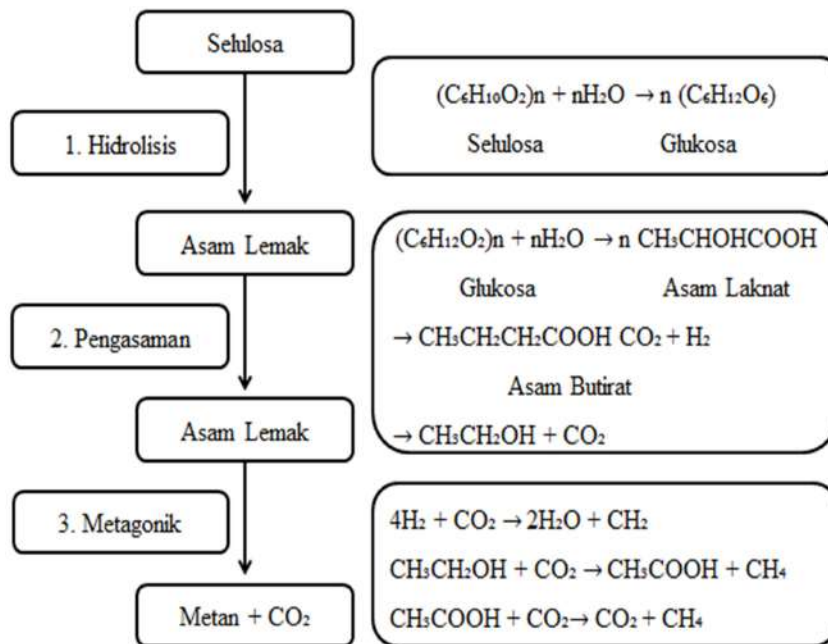


tahapan (Gambar 2) yaitu, pelarutan (hidrolisis), pengasaman (asidifikasi), dan pembentukan gas metana (metanogenesis).

Tahap pelarutan atau hidrolisis merupakan tahap pemecahan bahan-bahan organik yang mengandung senyawa hemiselulosa, selulosa, ekstrak protein, lemak, dan karbohidrat menjadi senyawa rantai pendek (*chain medium*) oleh bakteri *hydrolytic*. Proses ini dikatalis oleh enzim hidrolisis yang disekresikan oleh bakteri seperti selulase, lipase, dan protease. Dalam proses hidrolisis terjadi reaksi pemecahan molekul yang terdapat pada reaksi  $C_6H_{10}O_4 + 2H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 2H_2$ . (El Haq, 2010)

Tahap pengasaman atau asidifikasi merupakan tahap hidupnya bakteri asetonik yang memiliki peran dalam mengurai asam dengan cara memecah struktur organik kompleks menjadi struktur kecil yang terbentuk dari asam-asam volatil (volat) dan melepaskan gas karbon dioksida dan hidrogen. Bakteri asetonik melakukan pengasaman dengan cara mengubah hasil hidrolisis menjadi asam asetat ( $CH_3COOH$ ),  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $H_2S$ , alkohol, asam organik, asam amino, dan  $CH_4$  dengan jumlah yang sedikit dalam kondisi asam (pH 5,5–6,5) pada suhu  $30^\circ C$ . (El Haq, 2010)

Tahap pembentukan gas metana atau metanogenesis merupakan tahap hidup bakteri metanogen yang memiliki peran dalam proses pembentukan gas metana dengan mengakumulasi hidrogen untuk mereduksi  $CO_2$  menjadi produk inert ( $CH_4$ ). Jenis bakteri metanogen dibedakan menjadi *methanosarcina*, *methanobacterium*, *methanococcus*, dan *methanobacillus*. Bakteri metanogen dapat bekerja dalam kondisi menuju netral (pH 6,5–7,5) pada suhu  $35^\circ C$  seperti yang terdapat pada reaksi  $CH_3COO^- + H_2O \rightarrow CH_4 + HCO_3^-$ . (El Haq, 2010)



Gambar 2. Tahap pembentukan biogas

### 2.2.5 Manfaat

Inovasi bahan organik yang digunakan dalam produksi biogas seringkali menggunakan kotoran ternak maupun manusia. Menurut Andriani (2015), secara khusus, kotoran manusia memiliki potensi biogas yang hampir sama dengan kotoran sapi, karena memiliki asal yang sama dari saluran pencernaan yang mengandung bakteri perombak feses yang bersifat anaerob. Dalam penelitian Febrianto (2012, dalam 1 kg feses manusia mengandung lebih tinggi potensi biogas dari pupuk kandang dengan kadar metana yang dihasilkan dapat mencapai 70%. Selain itu, faktor pendukung potensi produksi biogas yang tinggi dipicu oleh kadar pH berkisar 7,3 yang merupakan pH optimal produksi biogas.

Nilai energi biogas jika dibandingkan dengan nilai energi bahan bakar yang lain yaitu kalori dalam satu (1) m<sup>3</sup> biogas setara dengan :

- 6 kwh energi listrik
- 0,62 liter minyak tanah
- 0,52 liter minyak solar atau minyak diesel
- 0,46 kg elpiji

- e) 3,50 kg kayu bakar
- f) 0,80 liter bensin
- g) 1,50 m<sup>3</sup> gas kota

Sumber : (Pertiwiningrum, 2015)

Campuran gas bio akan mudah terbakar jika kandungan gas metan lebih dari 50%. Ketika gas dibakar, maka api yang terbentuk akan berwarna biru layaknya api dari elpiji dan energi panas yang dihasilkan berkisar sekitar 5200-5900 kcal/m<sup>3</sup> gas atau sama halnya dengan memanaskan 65-73 liter air dari suhu 20°C sampai mendidik atau menyalakan lampu dengan daya 50-100 watt selama 3-8 jam.

Sehingga, manfaat yang dihasilkan dari proses biogas menurut Bates (2007), dapat dimanfaatkan sebagai antara lain:

- a) Biogas sebagai sumber energi terbarukan yang mengandalkan proses karbon-netral, artinya tidak ada jumlah karbon baru yang dilepaskan ke atmosfer,
- b) Biogas dapat membantu mengalihkan limbah organik dari tempat pembuangan sampah sehingga saat menguntungkan dari aspek lingkungan dan ekonomi,
- c) Biogas dapat mengurangi kontaminasi tanah dan air sehingga komoditas kesehatan lingkungan dapat terjaga.
- d) Biogas dapat dijadikan sebagai bioindikator dalam mitigasi perubahan iklim,
- e) Biogas dapat menjadi sumber energi sehingga dapat mengubah energi gas menjadi panas dan menjadi penghantar produksi listrik yang baik,
- f) Biogas memiliki tekanan yang jauh lebih rendah dari tekanan gas yang terdapat didalam tabung LPG sehingga dapat menjadi salah satu teknologi yang paling aman.
- g) Biogas memiliki proses instalasi dan pembuatan yang terbilang mudah dan tanpa memerlukan waktu yang banyak, sehingga setiap orang dapat mengaplikannya.

## 2.3 Digester Biogas

### 2.3.1 Pengertian

Alat dalam proses pembentukan dan produksi biogas dari penguraian bahan organik disebut digester. Digester biogas memiliki bentuk menyerupai tank besar tertutup (*anaerob condition*) sebagai wadah penampung limbah bahan organik. Di dalam digester, limbah organik akan difermentasi oleh bakteri metanogen untuk menghasilkan gas metana. Digester biogas adalah sistem yang mengolah limbah menjadi biogas, dan kemudian menyalurkan biogas menjadi energi yang dapat digunakan secara produktif. (El Haq, 2010)

Digester biogas menerima bahan organik, yang terurai di ruang pencernaan. Ruang pencernaan sepenuhnya terendam air, menjadikan lingkungan di dalam digester anaerobik (bebas oksigen). Lingkungan anaerob memungkinkan mikroorganisme untuk memecah bahan organik dan mengubahnya menjadi biogas. Biogas yang dihasilkan akan dialirkan ke tempat penampungan biogas dan lumpur hasil sisa dari aktivitas fermentasi dikeluarkan lalu dimanfaatkan sebagai mulsa dan pupuk organik yang dapat diaplikasikan oleh usaha perkebunan dan pertanian. (Wardahni, 2011)

Digester biogas memiliki prinsip kerja untuk pelestarian lingkungan dengan mengurangi jumlah limbah organik khususnya feses dan menghasilkan biogas yang kaya akan  $\text{CH}_4$ . Digester biogas harus bekerja secara kontinu sehingga produksi biogas yang dihasilkan dapat stabil dan tidak mengalami penyumbatan. Digester biogas memiliki variasi yang dibedakan berdasarkan konstruksi, posisi, dan jenis aliran sesuai dengan tujuan pengaplikasiannya. (Maryani, 2016)

### 2.3.2 Komponen

Berdasarkan konstruksi, posisi, jenis aliran, dan tujuan fungsi, digester biogas tersusun atas beberapa komponen penyusun yang paling penting di setiap jenisnya. Komponen-komponen penyusun digester biogas memiliki variasi yang cukup banyak yang berbeda pada tiap jenisnya. Secara garis besar, komponen-komponen dalam digester biogas terbagi atas dua yaitu sebagai berikut (Pratiwiningrum, 2016):

a) Komponen Utama

Komponen utama digester biogas tersusun atas empat bagian yang memiliki peran sangat penting dalam produksi biogas yang terbagi atas saluran masuk, ruang fermentasi, saluran residu, dan tangki penampung biogas, secara garis besar sebagai berikut:

- 1) Saluran masuk (*slurry*) berfungsi sebagai tempat masuknya limbah ke dalam reaktor utama. Di dalam saluran ini, limbah akan mengalami pencampuran yang bertujuan untuk memaksimalkan produksi biogas, menghindari terjadinya pengendapan, dan mengalir bahan baku.
- 2) Ruang fermentasi (*digestion space*) berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses fermentasi karena bersifat kedap udara.
- 3) Saluran residu (*sludge*) berfungsi sebagai saluran untuk mengeluarkan residu berupa lumpur (*slurry*) hasil dari proses fermentasi bakteri.
- 4) Tangki penampungan biogas berfungsi untuk menyimpan hasil produksi biogas dengan konstruksi ruang tangki dalam keadaan tertutup dan tidak mengalami kebocoran agar tekanan gas stabil.

b) Komponen Pendukung

Komponen pendukung digester biogas tersusun atas tiga bagian yang memiliki peran pendukung dalam menghasilkan biogas dalam jumlah yang banyak dan aman yang terbagi atas katup pengaman tekanan, pengaduk, dan saluran biogas, secara garis besar sebagai berikut:

- 1) Katup pengaman tekanan (*control valve*) berfungsi sebagai pengaman digester biogas dalam mencegah terjadinya lonjakan tekanan yang berlebihan dengan cara mengalirkan tekanan keluar melalui katup dan bekerja secara kontinu. Katup pengaman tekanan ini sebagai parameter dalam menstabilkan tekanan yang ada di dalam reaktor.
- 2) Sistem pengaduk memiliki peran penting pada digester yang memiliki ukuran besar dengan kecepatan yang berbanding lurus

dengan tinggi dan diameter pengaduk. Sistem pengaduk berfungsi untuk mengurangi terjadinya proses pengendapan, mensirkulasi bahan organik agar proses penguraiannya cepat dan menyebarkan mikroorganisme sehingga populasi mikroorganisme yang seragam tidak terdapat pada lokasi yang sama sehingga meminimalisir kompetisi “saling makan” pada mikroorganisme tersebut. Sistem pengaduk mengambil andil dalam membantu proses pelepasan gas menuju tangki penampungan.

- 3) Saluran biogas berfungsi untuk membantu proses aliran biogas hasil dari digester biogas. Saluran biogas tersusun atas bahan polimer yang berfungsi untuk menghindari terjadinya proses korosi dan pipa penyambung dari saluran biogas menuju tangki penampungan terbuat dari logam yang berfungsi untuk menghindari terjadinya pembakaran pada suhu yang tinggi.

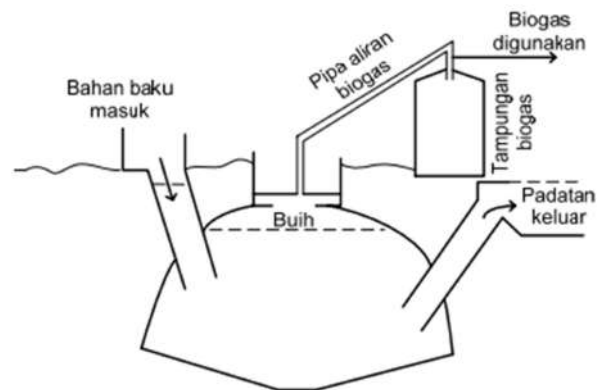
### 2.3.3 Jenis

Ada beberapa jenis sistem dan instalasi digester biogas yang telah dirancang untuk memanfaatkan biogas secara efisien. Meskipun setiap model berbeda tergantung pada *input*, *output*, ukuran, dan jenisnya, proses biologis yang mengubah sampah organik menjadi biogas adalah sama. Digester biogas dibedakan atas empat tipe dengan masing-masing tujuan, kelebihan dan kekurangannya sebagai berikut (Pertiwiningrum, 2016) :

#### a) Tipe *fixed domed plant*

Digester tipe *fixed domed plant* memiliki volume tetap seiring dengan terjadinya peningkatan produksi tekanan di dalam reaktor. Konstruksi digester biogas tipe *fixed domed plant* berbentuk kubah tetap, gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke dalam tangki penampungan gas yang berada di luar reaktor. Indikator produksi gas dapat dilakukan dengan memasang indikator tekanan. Tipe *fixed domed plant* tersusun dari bagian pencernaan yang berbentuk kubah tertutup (Gambar 3). Di dalam digester terdapat ruang penampung gas dan *removal tank*. Ketika gas mulai dihasilkan, gas tersebut akan menekan lumpur (*slurry*) sisa

fermentasi ke bak penampungan *slurry*. Apabila limbah organik (kotoran) dalam jumlah banyak secara kontinu, maka gas yang terbentuk secara akan terus menekan produksi lumpur hingga meluap keluar dari bak *slurry*. Gas yang telah dihasilkan akan dialiri melewati pipa gas yang telah terpasang katup kontrol pengaman. Tekanan gas di dalam digester akan meningkat seiring dengan meningkatnya volume gas di dalam penampung gas.



Gambar 3. Tipe *fixed domed plant*

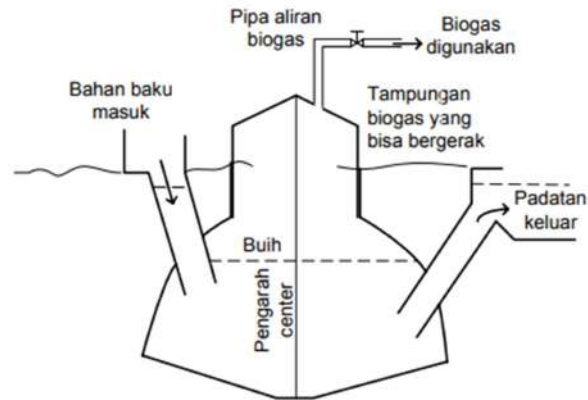
Keunggulan digester tipe *fixed domed plant* memiliki instalasi yang sederhana sehingga mudah untuk dikonstruksi dengan harga yang relatif rendah, bersifat statis karena tidak membutuhkan bagian yang bergerak, tahan lama, dan pengaplikasiannya tertimbun di dalam tanah sehingga terlindung dari gangguan dan menghemat ruangan.

Kelemahan digester tipe *fixed domed plant* pada bagian dalam digester (reaktor) sangat sulit mendeteksi adanya kebocoran karena tertimbun di dalam tanah dan menyebabkan suhu di dalamnya rendah sehingga meningkatkan fluktuasi yang memicu tingginya tekanan gas yang dihasilkan.

#### b) Tipe *floating domed plant*

Digester tipe *floating domed plant* bersifat mengapung sehingga dapat bergerak sebagai bentuk penyesuaian dengan kenaikan tekanan gas yang terdapat dalam reaktor. Pergerakan digester dipengaruhi oleh proses fermentasi dan proses terbentuknya gas. Digester akan bergerak ke atas ketika produksi gas bertambah dan bergerak turun ke bawah ketika

kondisi gas berkurang seiring mengikuti alur dalam penggunaan gas. Digester tipe *floating domed plant* bekerja untuk memproduksi gas ditandai dengan adanya pergerakan pada digester. Tipe *floating domed plant* memiliki bentuk silinder sebagai tempat menampung dan menyimpan gas yang dilengkapi dengan rangka pengarah agar pergerakan stabil (Gambar 4).



Gambar 4. Tipe *floating dome plant*

Kelebihan digester tipe *floating dome plant* memiliki sistem instalasi yang mudah dipahami sehingga sangat mudah untuk dioperasikan, volume gas yang terbentuk dapat dikontrol dengan mudah sehingga tekanan gas yang dihasilkan akan relatif menjadi konstan.

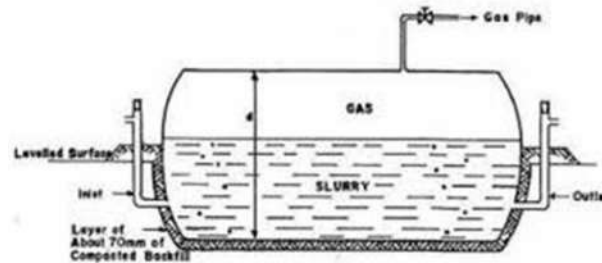
Kelemahan digester tipe *floating dome plant* karena di dalam tangki reaktor terbuat dari logam, sehingga akan mengalami korosi sehingga biaya dalam perawatannya akan relatif mahal dan menyebabkan usia reaktor ini lebih singkat.

#### c) Tipe *baloon plant*

Digester tipe *baloon plant* memiliki konstruksi yang sederhana, yang tersusun atas plastik dan pada tiap ujung sisi dan atasnya dibenamkan pipa sebagai jalur masuk limbah organik dan keluarnya residu yang berbentuk lumpur dan pipa pada bagian atas berfungsi sebagai jalur keluarnya gas. Pengaplikasian digester tipe *baloon plant* banyak terdapat pada skala rumah tangga karena memiliki efisiensi yang sangat mudah dalam segi penanganan dan perawatan. Digester tipe



*baloon plant* terdiri dari satu tangki besar sebagai reaktor tanpa sekat di dalamnya sehingga ruang fermentasi dan penampungan gas tercampur di dalam satu ruangan (Gambar 5).



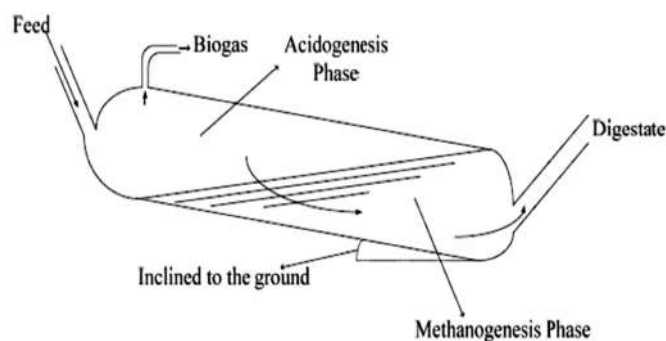
Gambar 5. Digester tipe baloon

Keunggulan digester tipe *baloon plant* memiliki sistem instalasi dengan biaya yang relatif murah dan bersifat *portable* yang dapat dengan mudah digerakkan dan dibersihkan.

Kelemahan digester tipe *baloon plant* karena memiliki biaya yang terbilang murah, sehingga tidak dapat bertahan lama dan seringkali mengalami kerusakan.

#### d) Tipe *plug flow*

Digester tipe *plug flow* tersusun dari pipa *polivinil klorida* (PVC) yang setiap ujungnya dilengkapi wadah berbentuk saluran sebagai tempat masuk dan keluarnya residu.



Gambar 6. Digester tipe *plug flow*

Keunggulan digester tipe *plug flow* memiliki sistem konstruksi yang sangat praktis dan mudah dengan biaya yang relatif lebih murah.

Kelemahan digester tipe *plug flow* memiliki saluran pipa aliran yang terbatas dan memiliki konstruksi yang kecil sehingga digunakan dalam skala rumah tangga.

#### 2.4. Perencanaan Reaktor Biogas

Dasar dari teknologi biogas merupakan proses fermentasi (pembusukan) secara alami menggunakan bahan sampah yang terbuat dari tumbuhan atau binatang secara anaerobik (tanpa oksigen) oleh sebuah bakteri metana (bakteri metan organik) sehingga dapat dihasilkan gas metana. Pada proses pencernaan anaerobik adalah dasar dari sebuah reaktor biogas yang artinya proses pada pemecahan bahan organik oleh aktivitas bakteri metanogenik dan aktivitas bakteri asidogenik dengan kondisi tidak adanya oksigen. Pengolahan limbah pada kotoran hewan maupun kotoran manusia untuk itu biogas sangat memiliki banyak manfaat untuk kehidupan mendatang. Selain memberikan sumber tenaga, barang selain itu yang memiliki manfaat sama adalah ampas biogas (*bio-slurry*). (Rizal, 2019)

Dalam perancangan desain unit instalasi pemroses biomassa faktor penting yang harus diacu adalah :

- a. jumlah penduduk akan berpengaruh pada kuantitas kotoran manusia, urine dan jumlah air pembersih,
- b. pengisian reaktor dipengaruhi oleh volume reaktor dan jumlah kotoran manusia yang akan digunakan,
- c. lamanya bahan berada di dalam reaktor (*Hydraulic Retention Time*),
- d. perkiraan tekanan gas metana yang dihasilkan dan
- e. perkiraan produksi volume gas metana.

Sedangkan perencanaan pembuatan unit instalasi pemroses energi biomassa dari kotoran manusia harus memperhatikan empat faktor, yaitu :

- a. ketersediaan dan kemudahan jenis bahan konstruksi yang dapat dipakai untuk membuat unit penghasil biogas,
- b. ketersediaan jenis bahan organik buangan sebagai bahan isian,
- c. jumlah kebutuhan dasar akan energi dari suatu keluarga atau kelompok masyarakat dan jenis keperluannya,

- d. pemanfaatan bahan keluaran yang berupa lumpur untuk pupuk tanaman ataupun algae pada kolam ikan.

Ukuran dari biodigester tergantung dari kuantitas, kualitas bahan organik, jenis bahan organik yang ada dan temperatur proses fermentasi. Ukuran biodigester dapat dinyatakan dengan volume digester ( $V_d$ ). Secara umum  $V_d$  dapat diperhitungkan dari (Uli Werner, 1989):

$$V_d = S_d \times RT \quad (1)$$

Dimana :

$S_d$  = jumlah masukan bahan baku setiap hari [ $m^3$  /hari].

$RT$  = retention time (waktu bahan baku berada dalam digester) [hari].

Pada umumnya  $RT$  dipengaruhi oleh temperatur operasi dari biodigester. Untuk di Indonesia karena temperatur sepanjang musim yang hampir stabil, maka banyak biodigester dibuat dan beroperasi pada temperatur kamar (*unheated biodigester*). Pada kondisi biodigester semacam ini, dalam perancangan biodigester, temperatur operasi dapat dipilih 1-2°C diatas temperatur tanah. Sedangkan  $RT$  untuk biodigester sederhana tanpa pemanasan dapat dipilih 40 hari (Uli Werner, 1989).

Pemasukan bahan baku tergantung seberapa banyak air harus dimasukkan kedalam biodigester sehingga kadar bahan baku padatnya sekitar 4-8%.

$$S_d = \text{Padatan} + \text{Air} \text{ (} m^3/\text{hari)} \quad (2)$$

Umumnya, pencampuran kotoran dari air dibuat dengan perbandingan antara 1:3 dan 2:1 (Uli Werner, 1989). Di Indonesia, untuk kotoran sapi umumnya dicampur dengan air pada perbandingan 1:1 sampai 1:2.

Setelah ukuran dari biodigester ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah merancang gas penampung. Volume dari penampung gas dinyatakan dengan  $V_g$ . Dalam perancangan ukuran penampung gas ( $V_g$ ) harus diperhatikan laju konsumsi gas puncak ( $V_{g1}$ ) dan laju konsumsi nol untuk jangka waktu yang lama ( $V_{g2}$ ).

$$V_g = \begin{cases} V_{g1} & \text{jika } V_{g1} > V_{g2} \\ V_{g2} & \text{jika } V_{g2} > V_{g1} \end{cases} [m^3] \quad (3)$$

$$V_{g1} = \text{Konsumsi gas maks per jam} \times \text{waktu konsumsi maks} \quad (3.1)$$

$$V_{g2} = G \times T_{z \text{ max}} \quad (3.2)$$

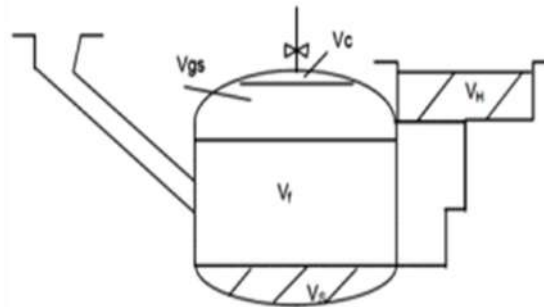
Keterangan:

$G$  = produksi biogas ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )

$T_{z \text{ max}}$  = Waktu maksimum pada saat konsumsi biogas nol (jam)

Untuk keselamatan, ukuran dari penampung gas ( $V_g$ ) dibuat 10-20% lebih besar dari hasil perhitungan di atas. Secara umum, perancangan volume biodigester dengan volume penampung biogas dapat dibuat dengan perbandingan 3:1 sampai 10:1 dengan 5:1 sampai 6:1 adalah yang paling umum digunakan (Uli Werner, 1989).

Ukuran tangki digester biogas tergantung dari jumlah, kualitas dan jenis limbah organik yang tersedia dan temperatur saat proses fermentasi anaerob. Dibawah ini gambar bentuk penampung silinder digester anaerob (*Cylindrical Shaped Biogas Digester Body*) dengan penjelasan sebagai berikut:



Gambar 7. Penampung digester biogas silinder

Keterangan:

$V_c$  = Volume Ruangan penampungan gas (gas collecting chamber)

$V_{gs}$  = Volume Ruangan Penyimpanan Gas (gas storage chamber)

$V_f$  = Volume Ruangan Fermentasi (fermentation chamber)

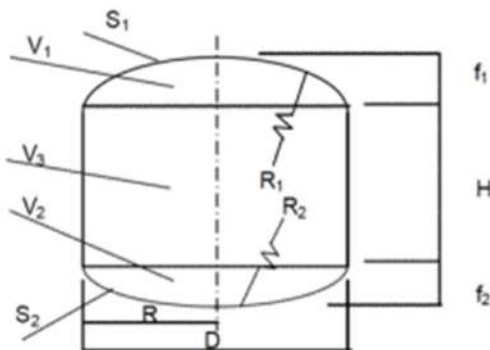
$V_h$  = Volume Ruangan Hidrolik (hydraulic chamber)

$V_s$  = Volume lapisan penampungan lumpur (sludge layer)

Total Volume Digester adalah :

$$V = V_c + V_{gs} + V_f + V_s \quad (4)$$

Untuk mendesain tangki digester biogas, dapat dilihat pada gambar dimensi geometri tangki digester di bawah ini:



Gambar 8. Dimensi geometri penampang digester biogas

Sumber : Ardiansyah, 2017

Keterangan :

- $f_1$  : Tinggi Ruang penyimpanan gas
- $f_2$  :Tinggi lapisan penampungan lumpur
- H : Tinggi Reaktor (ruang fermentasi)
- $s_1$  : panjang lengkungan atap reaktor
- $s_2$  : panjang lengkungan dasar reaktor
- $v_1$  : Volume Ruang penyimpanan gas (*gas storage chamber*)
- $v_2$  : Volume lapisan penampungan lumpur (*sludge layer*)
- $v_3$  : Volume Ruang fermentasi (*Fermentation chamber*)

Dari Gambar 8 berlaku bentuk geometri ruangan digester biogas dengan ketentuan sebagai berikut:

Tabel 3. Dimensi geometri ukuran tangki digester silinder

Volume	Dimensi Geometri
$V_c \leq 5\% V$	$D = 1.3078 \cdot V^{1/3}$
$V_s \leq 15\% V$	$V_1 = 0.0827 D^3$
$V_{gs} + V_f = 80\% V$	$V_2 = 0.05011 D^3$
$V_{gs} = VH$	$V_3 = 0.3142 D^3$
$V_{gs} = 0,5 (V_{gs}+V_f+V_s)$	$R_1 = 0.725 D$
K,	$R_2 = 1.0625 D$
Dimana K adalah Tingkat Produksi Gas per	$f_1 = D/5$
$m^3$ volume <i>digester</i> per hari	$f_2 = D/8$
(per hari sebesar $0,4 m^3/hari$ )	$S_1 = 0.911 D^2$
HRT = 40 hari	$S_2 = 0.8345 D^2$

Sumber : Monet F., 2003, An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes (Final Report),

Remade scotland

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

1. Bak (*Batch*)

Pada digester biogas jenis bak, bahan baku ditempatkan di dalam suatu wadah (bak) dari sejak awal hingga selesainya proses *digestion*. Digester biogas jenis ini umumnya digunakan pada tahap eksperimen untuk mengetahui potensi gas dari limbah organik atau digunakan pada kapasitas biogas yang kecil.

2. Mengalir (*continuous*)

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

Dapat dilihat dari segi tata letak penempatan, digester biogas dibedakan menjadi:

a) Seluruh digester biogas di atas permukaan tanah

Biasanya digester biogas jenis ini dibuat dari tong-tong bekas minyak tanah atau aspal. Kelemahan tipe ini adalah volume yang kecil, sehingga biogas yang dihasilkan hanya mampu digunakan untuk kebutuhan sebuah rumah tangga (keluarga). Kelemahan lain adalah kemampuan material yang rendah untuk menahan korosi sehingga tidak tahan lama. Untuk pembuatan skala besar, digester biogas jenis ini jelas memerlukan luas lahan yang besar juga.

b) Sebagian tangki digester biogas diletakkan di bawah permukaan tanah

Biasanya digester biogas ini terbuat dari campuran semen, pasir, kerikil, dan kapur yang dibentuk seperti sumur dan ditutup dari plat baja atau konstruksi semen. Volume tangki dapat dibuat untuk skala besar maupun skala kecil sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Kelemahan pada sistem ini adalah jika ditempatkan pada daerah yang memiliki suhu rendah (dingin), suhu dingin yang diterima oleh plat baja merambat ke dalam bahan baku biogas, sehingga menghambat proses bekerjanya bakteri. Ingat kembali bahwa bakteri akan bekerja secara optimum pada temperatur tertentu saja.

c) Seluruh tangki digester biogas di letakkan di bawah permukaan tanah

Model ini merupakan model yang paling populer di Indonesia, dimana seluruh instalasi digester biogas dibuat di dalam tanah dengan konstruksi yang permanen. Selain dapat menghemat tempat atau lahan, pembuatan digester biogas di dalam tanah juga berguna untuk mempertahankan temperatur digester biogas stabil dan mendukung pertumbuhan bakteri metanogen. Kekurangannya adalah jika terjadi kebocoran gas dapat menyulitkan untuk memperbaikinya.

## 2.5 Penelitian Terdahulu Tentang Reaktor Biogas

Tabel 4. Penelitian terdahulu tentang reaktor biogas

<b>Nama, Tahun, Judul Penelitian</b>	<b>Tujuan Penelitian</b>	<b>Hasil Penelitian</b>
Aszhura. 2021.” Potensi sumber biogas berbasis tinja pada suatu cluster perumahan”.	Untuk mengetahui proses dari pembuatan biogas serta mengetahui dampak dari energi alternatif yang dihasilkan	Proses pembuatan biogas dilakukan secara fermentasi yaitu proses terbentuknya gas metana dalam kondisi anaerob dengan bantuan bakteri anaerob di dalam suatu digester sehingga akan menghasilkan gas metana (CH <sub>4</sub> ) dan gas karbon dioksida (CO <sub>2</sub> ) yang volumenya lebih besar dari gas hydrogen (H <sub>2</sub> ), gas nitrogen (N <sub>2</sub> ) dan gas hidrogen sulfide (H <sub>2</sub> S). Proses fermentasi memerlukan waktu 7 hari sampai 10 hari untuk menghasilkan biogas dengan suhu optimum 35°C dan pH optimum pada range 6,4 – 7,9. Bakteri pembentuk biogas yang digunakan yaitu bakteri anaerob seperti Methanobacterium, Methanobacillus, Methanococcus dan Methanosarcina. Tingkatan panasnya gas metana lebih besar dibandingkan dengan proses membakar pada minyak tanah, arang, serta bahan tradisional yang lain.
Ardiansyah. 2017. “Kajian Potensi Limbah Kotoran Manusia Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Di Kota Pontianak”.	Untuk mengetahui potensi pemanfaatan tinja untuk pembuatan biogas serta pemanfaatannya menjadi energi listrik.	Melalui proses anaerobic digestion, limbah kotoran manusia dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi biogas yang selanjutnya biogas tersebut dimanfaatkan menjadi energi utama Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLT Biogas). Dengan jumlah penduduk yang berjumlah 618.388 jiwa, dapat menghasilkan biogas dengan volume 3.091,94 m <sup>3</sup> /hari, produksi gas metan sebesar 2.164,36 m <sup>3</sup> /hari, potensi energy listrik sebesar 24.157,88 kWh/hari, dan daya listrik sebesar 1.007,33 kW. PLT Biogas dengan menggunakan microturbine generator 250 kW, efisiensi 30%,

Nama, Tahun, Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
		dan power factor 0,8 menghasilkan 31 energy listrik sebesar 5.797,9 kWh/hari atau dengan daya 241,6 kW
Agus Hadiyanto. 2019. "Anaerobic Co-Digestion of Human Excreta and Corn Stalk for Biogas Production".	Untuk mengetahui kombinasi substrat kotoran manusia dan limbah batang jagung dalam produksi biogas.	Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, produksi biogas dari kombinasi substrat kotoran manusia dan limbah batang jagung menunjukkan produksi biogas yang optimal pada rasio C/N 30 dengan volume gas kumulatif hingga 13,185 ml. Produksi biogas yang optimal dengan memvariasikan jenis lumpur aktif diperoleh dengan menggunakan lumpur aktif dari rumen dengan volume kumulatif gas yang terkumpul hingga 13,185 ml. Proses fermentasi dilakukan dalam waktu 60 hari. Rendemen biogas optimum diperoleh pada COD 4,184 liter/kg yang dicapai pada hari ke-20 <sup>th</sup> ke 44 <sup>th</sup> dalam fase diam dengan rasio C/N 30 dan batang jagung busuk sebagai sumber mikroba.
Alberto Regattieri. 2018. "Biogas Micro-Production from Human Organic Waste".	Untuk berkontribusi pada manajemen sampah organik dengan menghadirkan solusi sederhana, murah dan mudah digunakan untuk produksi mikro biogas dari kotoran manusia.	Hasil utama menunjukkan produksi biogas spesifik sekitar 0,15 m <sup>3</sup> /kgSV (dalam kondisi normal) dengan organic load rate sekitar 0,417 kgSV/M3/hari. Fraksi massa metana dalam campuran biogas adalah sekitar 74%. Hasil tersebut berasal dari uji laboratorium penuh pertama dan memerlukan penyempurnaan dan validasi lebih lanjut, misalnya, waktu destruksi yang lebih lama, variasi komposisi slurry, perubahan kondisi lingkungan, dan tangki yang berbeda.
Dian Andriani. 2014. "Tinjauan daur ulang kotoran manusia menjadi energi melalui biogas generasi: kasus Indonesia".	Untuk mengetahui potensi pemanfaatan kotoran manusia, menekankan pada kotoran manusia, untuk menghasilkan biogas sebagai energi alternatif terbarukan.	Penerapan biogas dengan menggunakan kotoran manusia dapat memberikan berbagai manfaat, baik dari segi lingkungan maupun sebagai sumber energi alternatif. Mengingat tingginya jumlah penduduk di Indonesia dengan potensi produksi gas dari kotoran manusia/ feses manusia 106,85 m <sup>3</sup> memperoleh 2.350,7 MJ/hari atau energi 652,97 kWh/hari, teknologi ini perlu dikembangkan dan dipastikan keberlanjutannya
Muhammad Rizal. 2019." Studi Perencanaan Reaktor Biogas Skala Kampus Pada Tpst Di	Untuk mengetahui jumlah produksi kotoran manusia di Kampus Fakultas Teknik Gowa	Berdasarkan perhitungan produksi kotoran manusia di Ramsis Kampus Fakultas Teknik Gowa Universitas Hasanuddin, didapatkan 148 kg/hari. Produksi kotoran manusia yang dihasilkan merupakan biomassa dari perencanaan Reaktor Biogas di Kampus Fakultas Teknik Gowa Universitas



<b>Nama, Tahun, Judul Penelitian</b>	<b>Tujuan Penelitian</b>	<b>Hasil Penelitian</b>
Kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin”.	Universitas Hasanuddin. Dan merancang reaktor biogas Skala Kampus pada TPST di Kampus Fakultas Teknik Gowa Universitas Hasanuddin.	Hasanuddin. Perencanaan Reaktor Biogas Skala Kampus di Fakultas Teknik Gowa Universitas Hasanuddin didapatkan tipe fixed dome dengan kapasitas 18,5 m <sup>3</sup> dengan produksi biogas per hari yaitu 7,4 m <sup>3</sup> /hari dan dari hasil perencanaan reaktor biogas skala kampus di Fakultas Teknik Gowa Universitas Hasanuddin memerlukan biaya sebesar Rp. 19,446,000,00.