# BAB I

# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Energi menjadi persoalan yang krusial di dunia. Meningkatnya pertumbuhan populasi penduduk, pertumbuhan industri dan transportasi menyebabkan terjadinya peningkatan permintaan akan kebutuhan energi. Konsumsi bahan bakar minyak yang seringkali tidak seimbang dengan jumlah produksinya mengakibatkan terjadinya defisit, sehingga untuk memenuhi kebutuhan dilakukan dengan cara mengimpor bahan bakar minyak tersebut. Menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2006, cadangan minyak Indonesia hanya tersisa sekitar 9 milliar barel. Apabila cadangan minyak tersebut terus dikonsumsi tanpa ditemukannya cadangan minyak baru, diperkirakan cadangan minyak ini akan habis dalam dua dekade mendatang.

Upaya untuk menurunkan angka pemakaian energi dapat dilakukan dengan beberapa langkah, antara lain melalui efisiensi energi, konservasi energi dan diversifikasi energi. Salah satu cara untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak adalah dengan pengembangan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak. Pengembangan energi alternatif menekankan pada sumber daya yang dapat diperbaharui sebagai pengganti bahan bakar minyak dan salah satu sumber energi tersebut adalah biogas.

(Suminto, 2013)

Salah satu energi terbarukan yang dapat dihasilkan dengan teknologi tepat guna yang relatif lebih sederhana adalah energi biogas dengan memproses limbah biomassa di dalam alat kedap udara yang disebut digester. Biogas adalah gas mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan oleh aktifitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara) termasuk diantaranya kotoran manusia dan hewan, limbah domestik, dan sampah *biodegradable*. Proses degradasi tanpa melibatkan oksigen ini disebut *anaerobic digestion*. *Methane* dalam biogas, bila terbakar akan relatif lebih bersih daripada batu bara, dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbon dioksida yang lebih sedikit. Karbon dalam biogas merupakan karbon yang diambil dari atmosfer oleh fotosintesis tanaman, sehingga bila dilepaskan lagi ke atmosfer tidak akan menambah jumlah karbon di atmosfer bila dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar fosil. Biomassa berasal dari limbah dapat berupa kotoran ternak bahkan tinja manusia, sisa-sisa panenan seperti jerami, sekam dan daun-daunan sortiran sayur dan sebagainya. (Bayu dkk, 2012)

Dengan kondisi seperti ini, diversifikasi energi dengan biogas merupakan alternatif pilihan yang tepat untuk dilakukan. Sejalan dengan pemerintah melalui Dewan Energi Nasional yang berupaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak. Biogas untuk memenuhi kebutuhan energi di dalam negeri dan mengurangi ketergantungan import sehingga dapat menambah devisa negara, pendirian pabrik biogas dapat membuka lapangan pekerjaan. Biogas merupakan harapan baru untuk energi alternatif yang dapat digunakan di masa depan, mengingat Industri atau pabrik

biogas dari kotoran hewan dan limbah organik dari kebun binatang belum pernah didirikan di Indonesia. Dengan demikian pabrik biogas dari sampah pengunjung dan kotoran satwa di

Gembiraloka *zoo* ini dapat diperhitungkan untuk didirikan.

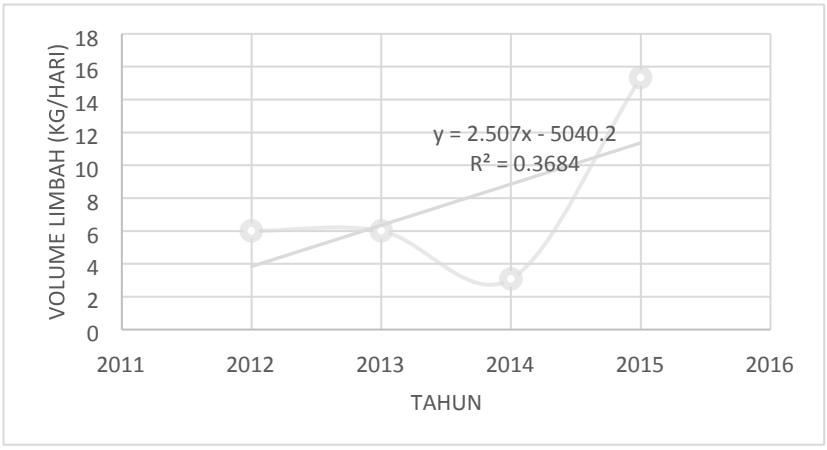
## 1.2 Penentuan Kapasitas Rancangan Pabrik

Penentuan kapasitas pabrik biogas ditinjau dari perkiraan jumlah limbah yang dihasilkan Gembiraloka *Zoo* selama satu tahun. Prediksi kapasitas pabrik salah satunya diambil berdasarkan data statistik yang diperoleh dari Badan Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta mengenai pengaruh jumlah pengunjung di Gembiraloka *zoo* terhadap volume limbah padat yang dihasilkan. Jumlah pengunjung Gembiraloka *Zoo* selama kurun waktu 4 tahun, dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Jumlah Pengunjung dan Limbah Padat Gembiraloka Zoo

| **Tahun** | **Jumlah Pengunjung (Jiwa)** | **Volume Limbah Padat ($m^3$/hari)** |
|---|---|---|
| 2012 | 944.880 | 6 |
| 2013 | 1.445.148 | 6 |
| 2014 | 1.780.000 | 3,08 |
| 2015 | 1.795.486 | 15,33 |

*Sumber: Badan Lingkungan Hidup DIY, 2016*




Gambar 1. 1 Grafik Regresi Linier Volume Limbah Vs Tahun

Untuk menghitung berat limbah padat di Gembiraloka *Zoo* pada beberapa tahun yang akan dating, maka dapat digunakan persamaan garis lurus pada persamaan (1).

$$y = ax + b \qquad \text{.....(1)}$$

Keterangan: y= berat sampah padat, x= tahun, a= *gradient*, b= *intercept*.

Dengan menggunakan persamaan tersebut, maka dapat diketahui berat sampah padat di Gembiraloka *Zoo* pada tahun 2022 adalah:

$y = 2{,}507x - 5040{,}2$ $y =$

$2{,}507(2022) - 5040{,}2$ $y$

$= 28{,}954\ m^3/hari$

Dengan dikalikan data kerapatan sampah sebesar 300 $Kg/m^3$ (Sudrajat, 2006) maka berat limbah padat pada tahun 2022 didapatkan sebesar 8.686,2 Kg/hari. Berdasarkan data dari Bagian Pendidikan Gembiraloka *Zoo* berat kotoran hewan yang berhasil dikumpulkan yaitu 100 kg/hari ditambah dengan % berat

komposisi sampah organik pengunjung menjadi 8786,2 Kg/hari. Maka besarnya kapasitas bahan baku pabrik biogas yang direncanakan yaitu sebesar 3.207 Ton/Tahun.

## 1.3 Tinjauan Pustaka

### 1.3.1 Biogas

Biogas adalah gas mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan oleh aktifitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik oleh bakteribakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara) termasuk diantaranya kotoran manusia dan hewan, limbah domestik, dan sampah *biodegradable*. Gas yang dihasilkan sebagian besar berupa metan sebanyak 50% dan material organik yang terkumpul dalam digester akan diuraikan menjadi dua tahap dengan bantuan dua jenis bakteri. Nilai kalori gas methan 17% lebih tinggi dari bensin. Nilai kalori gas methan murni 8.900 kcal/$m^3$, sedangkan nilai kalori biogas yang masih berupa campuran gas-gas berkisar 5.000- 6.513 kcal/$m^3$. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metan. Semakin tinggi kandungan metan maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan methan semakin kecil nilai kalor. (Amrit dkk, 2009)

Komponen terbesar umumnya metan ($CH_4$) dan $CO_2$. Metan merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, mudah terbakar, dan dalam pengapian berwarna biru. Karbon dioksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan bukan gas yang mudah terbakar.

Proses pembentukan Biogas yang menghasilkan metan ($CH_4$) dapat terbentuk karena proses fermentasi secara anaerobik oleh bakteri anaerobik dan bakteri biogas yang mengurangi sampah-sampah yang banyak mengandung bahan organik sehingga terbentuk gas methan yang apabila dibakar menghasilkan energi panas. Secara umum kandungan senyawa karbon yang termasuk dalam sampah organik dapat dikonversi menjadi biogas (metan dan karbondioksida), sedangkan kandungan bahan organik lain dapat digunakan sebagai pupuk organik. (Beni, 2007)

Komposisi gas dari produksi biogas akan bervariasi tergantung pada proses anaerobik yang terjadi. Gas landfill memiliki konsentrasi metan sekitar 50%, sedangkan sistem pengolahan limbah yang baik dapat menghasilkan biogas dengan kadar presentase 55% sampai dengan 75% metan ($CH_4$). Jika biogas dibersihkan dari pengotor secara baik akan memiliki karakteristik yang sama dengan gas alam. Pada Tabel 1.4 dibawah ini, diperlihatkan hasil penelitian mengenai komposisi gas dari produksi biogas. (Amrit dkk, 2009).

Biogas dalam skala rumah tangga dengan jumlah hewan 2-4 ekor atau suplai kotoran sebanyak kurang lebih 25 kg/hari cukup menggunakan tabung reaktor berkapasitas 2500-5000 liter yang dapat menghasilkan biogas setara dengan 2 liter minyak tanah/hari dan mampu memenuhi kebutuhan energi memasak satu rumah tangga pedesaan dengan 6 orang anggota keluarga. (Kaharudin dan Sukmawati, 2010)

Dibanding beberapa sumber energi lain (*coalgas* dan *watergas*), biogas memiliki keunggulan tingkat nilai kalorinya. Setiap $m^3$ biogas setara

dengan 0,5 kg gas alam cair (*liquid petroleum gases= LPG),* 0,54 liter bensin, 0,52 liter minyak diesel dan dapat dan membangkitkan tenaga listrik sebesar 1,25-1,50 *kilo watt hour* (kwh). (Daru, 2007)

Tabel 1. 2 Perbandingan Kandungan dan Nilai Kalori Biogas dan Gas dari Sumber energi Lain

| No. | Kandungan (%) dan nilai Kalori | Gas Alam | Biogas | Coalgas | Watergas |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Metan | 97 | 54,7 | 31,6 | 0,7 |
| 2 | Karbon Dioksida | 0,8 | 27,4 | 1,8 | 3,5 |
| 3 | Karbon Monoksida | - | 0,1 | 6,3 | 43,5 |
| 4 | Hidrogen | - | 1,1 | 53 | 47,3 |
| 5 | Nitrogen | 2,1 | 1,5 | 3,4 | 4,4 |
| 6 | Oksigen | - | 0,7 | 0,2 | 0,6 |
| 7 | Nilai Kalori (Kcal/m3) | 967 | 590-700 | 586 | 302 |

*Sumber: Daru,2007*

Pada Tabel 1.2 dapat disimpulkan bahwa kandungan dan nilai kalori biogas lebih tinggi dibanding dengan *coalgas* dan *watergas*. Teknologi biogas diharapkan dapat membantu memperlambat laju pemanasan global. Selain bisa menjadi energi alternatif, biogas juga dapat mengurangi permasalahan lingkungan, seperti polusi udara, polusi tanah, dan pemanasan global (Wahyuni, 2011).

**a. Proses Pembentukan Biogas**

Pada pembuatan biogas bahan baku harus banyak mengandung selulosa. Bahan baku dalam bentuk selulosa akan lebih mudah dicerna oleh bakteri anaerob. (Wiratmana, 2012).

Pada proses fermentasi biogas tidak ditambahkan bakteri dari luar karena bakteri tersebut terdapat pada kotoran hewan dan sampah organik.

Pembentukan biogas secara biologis dengan memanfaatkan sejumlah mikroorganisme anaerob meliputi tiga tahap, yaitu:

**1. Tahap Hidrolisis (Tahap Pelarutan)**

Pada tahap ini bahan yang tidak larut seperti selulosa, polisakarida dan lemak diubah menjadi bahan yang larut dalam air seperti glukosa. Bakteri *streptococci* berperan mendekomposisi rantai panjang karbohidrat, protein dan lemak menjadi senyawa yang lebih sederhana. Sebagai contoh, polisakarida diubah menjadi monosakarida. Tahap pelarutan berlangsung pada suhu 35$^{o}$C di digester. Reaksi:

$(C_6H_{10}O_5)n + nH_2O \rightarrow n(C_6H_{12}O_6)$

Selulosa glukosa

**2. Tahap Asidogenesis (Tahap Pengasaman)**

Pada tahap ini, bakteri asam menghasilkan asam asetat dalam suasana anaerob. Tahap ini berlangsung pada suhu 35$^{o}$C di digester (Price dan Cheremisinoff, 1981). Bakteri *desulfovibrio* akan menghasilkan asam yang akan berfungsi untuk mengubah senyawa pendek hasil hidrolisis menjadi asam asam organik sederhana seperti asam asetat, $H_2$ dan $CO_2$, karena itu bakteri ini disebut pula bakteri penghasil asam (acidogen). Bakteri ini merupakan bakteri anaerob yang dapat tumbuh pada keadaan asam. Untuk menghasilkan asam asetat, bakteri tersebut memerlukan oksigen dan karbon yang diperoleh dari oksigen yang terlarut dalam larutan.

Reaksi:

a) $n\ C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2n\ (C_2H_5OH) + 2n\ CO_2\ (g) + kalor$

glukosa etanol karbondioksida

b) $2n\ (C_2H_5OH)(aq) + n\ CO_2(g) \rightarrow 2n\ (CH_3COOH)(aq) + n\ CH_4(g)$

etanol karbondioksida asam asetat metan

**3. Tahap metanogenesis (tahap pembentukan metan)**

Pada tahap ini, bakteri *methanobacterium methanica* membentuk metan secara perlahan secara anaerob. Proses ini berlangsung selama 14 hari dengan suhu 35$^oC$ di dalam digester. Pada proses ini akan dihasilkan 70% $CH_4$, 30 % $CO_2$, sedikit $H_2$ dan $H_2S$. Reaksi: $n\ CO_2\ (g) + 4n\ H_2\ (g) + \rightarrow n\ CH_4\ (g) + nH_2O\ (l)$

Karbondioksida Hidrogen metan air

**b. Faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Biogas**

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses pembuatan biogas, anatara lain faktor pengenceran, jenis bakteri, derajat kesamaan (pH), suhu, keberadaan bahan-bahan yang berpotensi menghambat pertumbuhan bakteri serta perbandingan antara karbon (C) dan nitrogen (N) bahan.

**1. Pengenceran Bahan Baku Pembuatan Biogas**

Karakteristik utama dari bahan baku yang dapat diolah menjadi biogas adalah adanya kandungan rasio C-N. Rasio C-N tersebutlah yang mempengaruhi kualitas dari biogas. Bahan baku pembuatan perlu diencerkan. Umumnya pengenceran bahan baku dilakukan dengan perbandingan 1:1 sampai 2 antara bahan baku: air.

**2. Jenis bakteri**

Bakteri yang berpengaruh pada pembuatan biogas yaitu bakteribakteri pembentuk asam dan bakteri pembentuk metan. Bakteri *desulfovibrio* memecah bahan organik menjadi asam-asam lemak. Asamasam lemak hasil penguraian oleh bakteri *methanobacterium methanica* kemudian diuraikan lebih lanjut menjadi biogas.

**3. Derajat Keasaman (pH)**

Derajat kesamaan juga mempengaruhi kerja dari mikroba yang ada dalam digester. pH yang terlalu asam atau terlalu basa sangat mempengaruhi kerja mikroba ini. pH antara 6,8 sampai 7 merupakan pH optimum dalam proses pembentukan biogas.

**4. Suhu**

Suhu lingkungan juga sangat menentukan aktif tidaknya bakteri yang berperan dalam pembuatan biogas. Perkembangbiakan bakteri sangat dipengaruhi oleh suhu. Suhu yang terlalu tinggi atau rendah dapat menyebabkan kurang atau tidak aktifnya mikroba penghasil biogas, sehingga kurang baik untuk proses pembentukan biogas. Suhu yang baik adalah kisaran 32-37$^{o}$C merupakan suhu yang baik untuk pembentukan biogas.

**5. Perbandingan C dan N**

Perbandingan karbon (C) dan nitrogen (N) yang terkandung dalam bahan organic yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan biogas sangat menentukan kehidupan dan aktivitas mikroorganisme.

### 1.3.2 Gembiraloka *Zoo*

Gembiraloka merupakan salah satu sarana hiburan yang sering dikunjungi sebagai tempat untuk mengenalkan aneka satwa dan tumbuhan kepada masyarakat dan salah satu kebun binatang dari 25 kebun binatang yang ada di Indonesia terletak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Gembiraloka terletak di Jalan Kebun Raya Nomor 2 Kotagede, Yogyakarta atau sekitar 4 km dari pusat Kota Yogyakarta dan menempati area seluas 19,88 hektar yang sebagian merupakan hutan lindung.

Gembiraloka memiliki 100 spesies satwa dan 61 flora (Yayasan Gembira Loka, 2014). Kawasan wisata ini memiliki visi atau tujuan dalam melestrikan tumbuhtumbuhan dan satwa sesuai habitatnya adalah Kebun Binatang Gembiraloka. Selain itu, kawasan tersebut juga bermanfaat sebagai paru-paru kota dan cadangan resapan air di wilayah Kota Yogyakarta. (Gembiraloka *zoo*, 2018)

### 1.3.3 Sampah Organik

Beberapa jenis sampah yang termasuk organik atau *biodegradable waste* adalah sisa makanan, tumbuhan, hewan, kertas dan pupuk. Sumber sampah yang terbanyak dari pemukiman dan pasar tradisional. Sampah pasar seperti sayur mayur, buah-buahan, ikan, dan lain-lain, sebagian besar (95%) berupa sampah organik sehingga lebih mudah untuk ditangani dan bisa diurai oleh mikroba. Sedangkan sampah yang berasal dari pemukiman umumnya sangat beragam, tetapi secara umum minimal 75% terdiri dari sampah organik dan sisanya anorganik (Sudradjat, 2006).

### 1.3.4 Kotoran Hewan

Kotoran hewan adalah limbah hasil pencernaan. Contohnya sapi yang memiliki sistem pencernaan khusus yang menggunakan mikroorganisme dalam sistem pencernaan yang berfungsi untuk mencerna selulosa dan lignin dari rumput berserat tinggi. Berdasarkan hasil riset yang pernah ada diketahui bahwa setiap 1 kg kotoran ternak berpotensi menghasilkan 36 liter biogas.

Pembatas utama laju beban limbah kotoran hewan adalah kandungan nitrogen (N) tinggi dibandingkan kadar karbon (C). Rasio karbon terhadap nitrogen limbah ditambahkan ke digester sebaiknya 20 bagian C terhadap satu bagian N (20:1) untuk memperoleh produksi optimum metan. Residu limbah organik, biasanya berkadar N rendah tapi tinggi kadar C, dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kinerja digester. Pencampuran residu limbah organik dengan N tinggi limbah kotoran hewan memberi lebih baik rasio C/N untuk produksi biogas. Berikut kandungan rasio C/N kotoran hewan pada Tabel 1.3

Tabel 1.3 Rasio C/N beberapa Jenis Kotoran Hewan

| Jenis Kotoran | Rasio C/N |
|---|---|
| Sapi | 18 |
| Kerbau | 18 |
| Kuda | 25 |
| Babi | 25 |
| Kambing/Domba | 30 |
| Ayam | 15 |

*Sumber: Sutedjo, 2002*

Kotoran hewan disimpan dalam kondisi anaeroeb pada suhu 15 $^{0}$C maka bakteri metanogenik memproduksi metan. Pengolahan kotoran hewan dengan teknik pemanfaatan energi metan dalam bentuk biogas, dapat menurunkan 70% emisi metan ke atmosfer. Hasil akhir berupa padatan yang berfungsi sebagai pupuk organik tanaman (Daru, 2007)

## 1.4 Pemilihan Proses

Proses pembuatan biogas dalam perancangan pabrik ini dipilih dengan menggunakan digesti anaerobik buatan dengan menggunakan *continuous stirred tank reactor* (CSTR). Alasan utama dipilih reaktor tersebut adalah sistem pengolahan anaerobik dengan *hydraulic retention time* (HRT) dan waktu retensi padatan (SRT) 35 hari. CSTR memberikan waktu retensi yang cukup baik untuk operasi dan stabilitas proses. Digester anaerobik berpengaduk tanpa *recycle* lebih cocok untuk limbah dengan konsentrasi padatan tinggi (Tchobanoglous dkk, 2003).