

**STUDI EVALUASI PEMANFAATAN SAMPAH MENJADI BIOGAS UNTUK  
MENGHASILKAN ENERGI LISTRIK  
(Studi kasus di TPS 3R Taruna Kompos Kelurahan Mulyaharja,  
TPS 3R Ceremai Kelurahan Cipaku dan TPS 3R Dharmais Kelurahan Kencana Dinas  
Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor)**

**Engkos Kausar<sup>1)</sup>, Didik Notosudjono<sup>2)</sup>, Waryani<sup>3)</sup>**

**ABSTRAK**

Sampah merupakan masalah klasik yang terlihat sepele, akan tetapi sampah dapat berakibat buruk bagi kesehatan manusia maupun kelestarian alam. TPS 3R adalah tempat pengelolaan sampah *reduce, reuse dan recycle* yaitu mengurangi – menggunakan dan mendaur ulang. Pengelolaan sampah organik dapat diolah menjadi biogas yang dapat menggantikan bahan bakar seperti elpiji, minyak tanah, minyak solar, bensin, gas kota, kayu bakar dan untuk pembangkit listrik.

Biogas adalah proses pengolahan limbah organik secara anaerob untuk menghasilkan gas metan (CH<sub>4</sub>). Pemanfaatan pengoahan biogas dapat diaplikasikan untuk bahan bakar generator. Generator sinkron merupakan mesin listrik arus bolak balik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik arus bolak – balik.

Volume timbulan sampah di Kota Bogor pada tahun 2016 per hari 2.734,03 m<sup>3</sup> yang terdiri dari sampah organik per hari 1.804,46 m<sup>3</sup>, sampah anorganik dan residu per hari 929,57 m<sup>3</sup>. Volume timbulan sampah per hari yang tertangani dan tidak tertangani oleh Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor adalah 2.071,9 m<sup>3</sup> dan 662,13 m<sup>3</sup>. Pengelolaan sampah 3R berbasis masyarakat lebih ditekankan kepada metoda pengurangan sampah yang lebih arif dan ramah lingkungan. Metode tersebut lebih menekankan kepada tingkat perilaku konsumtif dari masyarakat serta kesadaran terhadap kerusakan lingkungan akibat bahan tidak terpakai lagi yang berbentuk sampah. Pengolahan sampah organik dapat diolah menjadi kompos dan biogas. Pengolahan biogas memiliki manfaat yaitu dapat menggantikan bahan bakar, menghasilkan pupuk organik, mengatasi pencemaran lingkungan dan udara, tetapi secara tidak langsung pemakaian biogas juga berkontribusi pada pemanasan global. Jumlah sampah organik yang diolah menjadi biogas per hari di TPS 3R Taruna Kompos Kelurahan Mulyaharja adalah 85 kg, TPS 3R Ceremai Kelurahan Cipaku adalah 85 kg dan TPS 3R Dharmais Kelurahan Kencana adalah 55 kg. Energi listrik yang dapat dibangkitkan dari pengolahan biogas di TPS 3R Taruna Kompos Kelurahan Mulyaharja adalah 51,85 kWh, TPS 3R Ceremai Kelurahan Cipaku adalah 53,66475 kWh dan TPS 3R Dharmais Kelurahan Kencana adalah 33,55 kWh. Harga pembelian tenaga listrik per kWh dari PLTBg oleh PT PLN (Persero) lebih mahal dibandingkan dengan harga listrik yang berasal dari energi fosil (energi batubara) dan masih menjadi yang diminati investor karena harga batubara cenderung murah dan dapat menghasilkan energi yang cukup besar jika dibandingkan dengan Energi Baru Terbarukan dari PLTBg, sehingga Energi Baru Terbarukan dari PLTBg sulit berkembang di Indonesia.

Kata kunci : Biogas, energi listrik, generator sinkron, harga listrik, kelemahan biogas, manfaat biogas, pengelolaan sampah, sampah.

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sampah merupakan masalah klasik yang terlihat sepele, akan tetapi sampah dapat berakibat buruk bagi kesehatan manusia maupun kelestarian alam. Peningkatan aktivitas perkotaan yang berbanding lurus dengan peningkatan jumlah penduduk mengakibatkan konsumsi semakin tinggi. Konsumsi yang tinggi

juga mengakibatkan semakin tingginya produksi sampah. Volume timbulan sampah di Kota Bogor pada tahun 2016 per hari 2.734,03 m<sup>3</sup> yang terdiri dari sampah organik per hari 1.804,46 m<sup>3</sup>, sampah anorganik dan residu per hari 929,57 m<sup>3</sup>. Rata – rata sampah yang terangkut ke TPA Galuga per hari 1987 m<sup>3</sup>, yang terdiri dari sampah organik per hari 1.311,42 m<sup>3</sup>, sampah anorganik dan residu per hari 675,58 m<sup>3</sup>. Volume timbulan sampah yang tertangani di 12 lokasi TPS 3R Dinas

Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor per hari 84,9 m<sup>3</sup>, yang terdiri dari sampah anorganik per hari 43,5 m<sup>3</sup>, sampah organik per hari 21,58 m<sup>3</sup> dan sampah residu per hari 19,82 m<sup>3</sup>.

## 1.2 Maksud dan Tujuan

Adapun maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Untuk mengetahui kapasitas pengelolaan sampah dan pemanfaatan pengolahan sampah di TPS 3R Taruna Kompos Kelurahan Mulyaharja, TPS 3R Ceremai Kelurahan Cipaku dan TPS 3R Dharmais Kelurahan Kencana Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor.
- Untuk mengetahui proses pengolahan sampah organik menjadi biogas
- Untuk mengetahui potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dari pengolahan biogas.

## 1.3 Metodologi Penelitian

Metodologi tugas akhir ini di lakukan dengan :

- Studi Literatur : Dimana perumusan masalah yang diperoleh selanjutnya sebagai dasar untuk menganalisa.
- Survei Lapangan : Melakukan pengumpulan data – data teknis dilapangan, serta melakukan diskusi dan interview dengan petugas lapangan.
- Setelah data terkumpul dilakukan penganalisaan dan evaluasi pemanfaatan sampah menjadi biogas untuk menghasilkan energi listrik di TPS 3R Taruna Kompos Kelurahan Mulyaharja, TPS 3R Ceremai Kelurahan Cipaku dan TPS 3R Dharmais Kelurahan Kencana Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Sampah

Sampah adalah material sisa yang tidak diinginkan setelah berakhirnya suatu proses. Sampah merupakan konsep buatan manusia, dalam proses – proses alam tidak ada sampah, yang ada hanya produk – produk yang tak bergerak. Sampah dapat berada pada setiap fase materi yaitu padat, cair, atau gas. Berdasarkan bahan asalnya, sampah itu dibagi menjadi dua jenis, yaitu sampah organik dan anorganik

### 2.2 Pengelolaan Sampah

Menurut UU No. 18 Tahun 2008 didefinisikan pengelolaan sampah adalah kegiatan yang sistematis, menyeluruh dan berkesinambungan

yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah.

## 2.3 Biogas

Biogas adalah gas mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik oleh bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara (bakteri anaerob) terhadap limbah – limbah organik baik di digester (pencerna) anaerob maupun di tempat pembuangan akhir sampah (*sanitary landfill*). Teknologi biogas pada dasarnya memanfaatkan proses pencernaan yang dilakukan oleh bakteri methanogen yang produknya berupa gas methan (CH<sub>4</sub>). Gas metan hasil pencernaan bakteri tersebut dapat mencapai 60% dari keseluruhan gas hasil reaktor biogas sedangkan sisanya didominasi karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Sumber daya energi biogas rata – rata mengandung 60% gas metan (CH<sub>4</sub>), lebih dari 36% karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), kurang dari 3% belerang (H<sub>2</sub>S) dan kurang dari 1% hidrogen(H<sub>2</sub>).

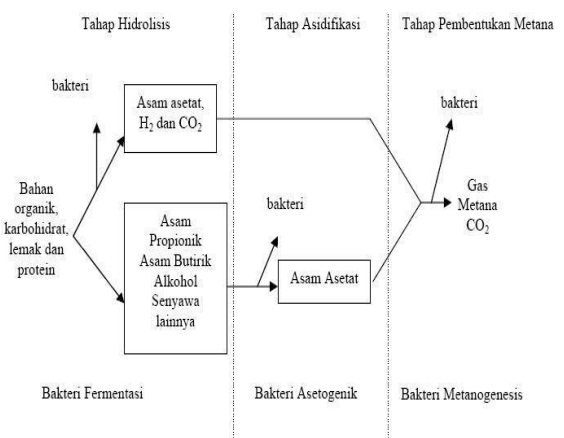
Secara umum proses biologis terbentuknya biogas adalah ada tiga tahapan untuk terbentuknya biogas dari proses fermentasi anaerob.

#### a. Tahap hidrolisis

Pada tahap hidrolisis, bahan – bahan organik yang mengandung selulosa, hemiselulosa, dan bahan ekstratif seperti protein, karbohidrat dan lipida akan diuraikan dengan senyawa dengan rantai yang lebih pendek.

#### b. Tahap pengasaman

Pada tahap pengasaman, bakteri akan menghasilkan asam yang berfungsi untuk mengubah senyawa pendek hasil hidrolisis menjadi asam asetat CH<sub>3</sub>COOH, H<sub>2</sub> dan CO. Bakteri ini merupakan bakteri anaerob yang dapat tumbuh dalam keadaan asam, yaitu dengan pH 5,5 sampai 6,5. Bakteri ini bekerja secara optimum pada temperatur sekitar 30°C.



Gambar 1 Proses pembentukan biogas

Sumber : <http://inspiration-bioteknologi.blogspot.co.id/2009/06/teknologi-biogas-untuk-peternak.html>

c. Tahap pembentukan gas CH<sub>4</sub>

Pada tahap pembentukan gas CH<sub>4</sub>, bakteri yang berperan adalah bakteri methanogenesis (bakteri metana). Kelompok bakteri metana yaitu dari jenis methanobacterium, methanobacillus, methanosarcina dan methanococcus. Bakteri ini membentuk kondisi digester yang benar – benar kedap udara dan gelap. Temperatur dimana bakteri ini secara optimum 35°C dan sangat sensitif terhadap perubahan temperatur sekitar 2 – 3°C. Kisaran pH adalah 6,5 – 7,5. Pada akhir metabolisme dihasilkan CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> dari gas H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> dan asam asetat yang dihasilkan pada tahap pengasaman.

Kesebandingan nilai energi biogas dengan energi komersial bahan bakar seperti gas alam, solar, bensin dan listrik seperti pada tabel seperti pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 kesebandingan nilai energi biogas dengan energi komersial

No.	Bahan Bakar	Nilai Energi	Biogas (m <sup>3</sup> )	Gas Alam (m <sup>3</sup> )	Solar (I)	Bensin (I)	Listrik (Kwh)
1	1 m <sup>3</sup> Biogas	22, 10 MJ	1, 00	0, 66	0, 61	0, 72	6, 10
2	1 m <sup>3</sup> Gas Alam	33, 50 MJ	1, 52	1, 00	0, 93	1, 10	9, 30
3	1 Liter Solar	36, 00 MJ	1, 63	1, 07	1, 00	1, 18	10, 00
4	1 liter Bensin	30, 50 MJ	1, 38	0, 91	0, 85	1, 00	8, 50
5	1 kWh Listrik	0, 16	0, 16	0, 11	1, 20	0, 12	1, 00

Sumber : Unggul Wibawa ; 2001

Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap pembentukan biogas yaitu adalah sebagai berikut :

a. Kondisi anaerob atau kedap udara  
Biogas dihasilkan dari proses fermentasi bahan organik oleh mikroorganisme anaerob. Karena itu, instalasi pengolahan biogas harus kedap udara/keadaan anaerob (Simamora dkk, 2006).

b. Rasio C/N  
Prinsipnya gas metan (biogas) mengandung unsur karbon (C) dan nitrogen (N). Unsur karbon (C) didalam bahan organik sangat diperlukan sebagai penyedia energi bagi bakteri anaerob (bakteri yang tidak memerlukan oksigen untuk pertumbuhannya). Disamping unsur carbon tersebut unsur lain yang memegang peran penting dalam proses ini adalah nitrogen (N) karena sangat dibutuhkan bagi pembentukan/pembiakan bakteri. Dalam proses pembentukan biogas perbandingan antara jumlah unsur karbon dan nitrogen sangat menentukan keberhasilan proses pembentukan biogas. Perbandingan antara karbon dan

nitrogen ini dikenal dengan istilah rasio C/N. Secara empiris diketahui bahwa rasio C/N yang paling menguntungkan adalah pada kisaran 10 – 30. Jika rasio C/N terlalu tinggi, berarti kandungan karbonnya tinggi, produksi biogas menjadi tidak optimal. Jika rasio C/N terlalu rendah ( $\leq 9$ ) akan terbentuk amonika yang akan menyebabkan proses penguraian tidak dapat berjalan secara optimal.

Tabel 2 rasio C/N beberapa bahan organik

No.	Bahan Organik	% C (Kering)	% N (Kering)	Rasio C/N	% Kadar Air (Bahan Segar)
1	Kotoran Sapi	30, 0	1, 70	18	80-85
2	Kotoran Kambing	83, 6	3, 80	22	75-80
3	Kotoran Burung	87, 5	6, 60	14	70-80
4	Kotoran Babi	76, 0	3, 80	20	70-80
5	Kotoran Kuda	33, 4	2, 30	15	75-80
6	Kotoran Angsa	54, 0	2, 00	27	80-85
7	Kotoran Merpati	50, 0	2, 00	25	70-80
8	Kotoran Unta	75, 0	1, 80	42	70-80
9	Kotoran Gajah	60, 0	1, 30	46	70-85
10	Urine	15, 0	15, 00	1	90-95
11	Darah	36, 0	12, 00	3	90-95
12	Limbah Ikan	56, 0	7, 00	8	55-75
13	Serbuk Tulang	21, 0	7, 00	3	15-35
14	Limbah Jagal Hewan	64, 0	8, 00	8	55-75
15	Ekskremen Manusia	48, 0	6, 00	8	75-80
16	Ekskremen Manusi + Urine	70, 0	7, 00	10	80-85
17	Kulit Kentang	37, 5	1, 50	25	50-70
18	Kertas Koran	40, 0	0, 05	800	May-15
19	Rumput	48, 0	4, 00	12	40-60
20	Jerami Padi	18, 0	0, 30	60	20-40
21	Tangkai dan Daun Padi	55, 00	1, 00	55	25-40

22	Tangkai Kacang Tanah	40,00	2,00	20	25-40
23	Tebu	45,00	0,30	150	25-40
24	Kol dan Kubis	43,00	3,60	12	40-50
25	Limbah Sayuran	24,00	1,50	16	40-50
26	Pupuk Kompos	42,00	3,00	14	75-80

Sumber : Unggul Wibawa ; 2001

Untuk menghitung nilai rasio C, rasio N dan rasio C/N-nya dari berbagai macam bahan baku organik seperti pada tabel 2 di atas dengan persamaan 1, 2 dan 3 di bawah ini.

- Rasio N = Jumlah bahan baku × %N (kering) .....(1)
- Rasio N = Jumlah bahan baku × %N (kering) .....(2)
- Rasio C/N =  $\frac{\text{Rasio C}}{\text{Rasio N}}$  .....(3)

#### c. Temperatur (suhu)

Proses pembusukan atau penguraian secara anaerob berlangsung dengan baik pada kondisi temperatur antara 5 – 55 °C. Pada temperatur antara 5 – 40°C terjadi proses penguraian yang dilakukan jenis bakteri mesofil (bakteri yang cukup aktif). Sedangkan temperatur antara 40 – 55°C terjadi proses penghancuran bahan organik jenis bakteri termofil (bakteri yang sangat aktif). Pada temperatur sekitar 40°C kedua jenis bakteri tersebut masih dapat bekerja secara optimal. Proses penguraian pada umumnya terjadi pada daerah mesofil. Temperatur yang paling menguntungkan untuk keseluruhan proses terjadi pada 33° C.

Tabel 3 hubungan suhu dan HRT

<i>Thermal Stage</i>	<i>Process Temperatures</i>	<i>Minimum Retention Time</i>
Psychrophilic	< 20°C	70 to 80 days
Mesophilic	30 to 42°C	30 to 40 days
Thermophilic	43 to 55°C	15 to 20 days

Sumber : Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen

#### d. Kadar padatan/total solid content (TS)

Pengertian total solid content (TS) atau dry matter (DM) adalah jumlah materi padatan yang terdapat dalam limbah pada bahan organik selama proses digester terjadi dan ini mengindikasikan laju penghancuran atau pembusukan material padatan limbah organik. Total Solid merupakan salah satu faktor yang dapat menunjukkan telah terjadinya proses

pendegradasian karena padatan ini akan dirombak pada saat terjadinya pendekomposisi bahan. Jumlah TS biasanya direpresentasikan dalam % bahan baku. Volatile solid (VS) merupakan bagian padatan (total solid-TS) yang berubah menjadi fase gas pada tahapan asidifikasi dan metanogenesis sebagaimana dalam proses fermentasi limbah organik.

Tabel 4 karakteristik beberapa jenis bahan baku dicerna

<i>Type of Feedstock</i>	<i>C/N Ratio</i>	<i>DM (%)</i>	<i>VS (%) of DM</i>	<i>Biogas Yield (m³/kg of VS)</i>
<i>Pig Slurry</i>	3 – 10	3 – 8	70 – 80	0,25 – 0,50
<i>Cattle Slurry</i>	6 – 20	5 – 12	80	0,20 – 0,30
<i>Poultry Slurry</i>	3 – 10	10 – 30	80	0,35 – 0,60
<i>Stomach/Intestine Content</i>	3 – 5	15	80	0,40 – 0,68
<i>Whey</i>	–	8 – 12	90	0,35 – 0,80
<i>Conc. Whey</i>	–	20 – 25	90	0,80 – 0,95
<i>Ferment &amp; Slops</i>	4 – 10	1 – 5	80 – 95	0,35 – 0,78
<i>Straw</i>	80 – 100	70 – 90	80 – 90	0,15 – 0,35
<i>Garden Wastes</i>	100 – 150	60 – 70	90	0,20 – 0,50
<i>Grass</i>	12 – 25	20 – 25	90	0,55
<i>Grass Silage</i>	10 – 25	15 – 25	90	0,56
<i>Fruit Wastes</i>	35	15 – 20	75	0,25 – 0,50
<i>Food Remains</i>	–	10	80	0,50 – 0,60

Sumber : AL SEADI 2001

Untuk mengetahui total nilai TS dari limbah organik seperti pada persamaan 4 di bawah ini.

$$\text{Total nilai TS} = \text{TS}(\%) \times \text{Jumlah bahan baku limbah organik (kg)} \quad \dots(4)$$

Untuk menghitung gas yang dihasilkan dari pengolahan biogas dari limbah organik seperti pada persamaan 5 di bawah ini.

$$\text{Gas yang dihasilkan dari pengolahan biogas (m}^3\text{)} = \text{Total nilai TS (kg)} \times \text{Produksi gas yang dihasilkan dari jenis limbah organik (m}^3\text{)} \quad \dots(5)$$

Untuk menghitung potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dengan menggunakan persamaan 6 di bawah ini.

$$\begin{aligned} &\text{Energi listrik (kWh)} \\ &= \text{Gas yang dihasilkan (m}^3\text{)} \times \text{Kesebandingan} \\ &\quad \text{nilai energi biogas dengan energi listrik} \\ &\quad \text{(kWh)} \quad \dots(6) \end{aligned}$$

Daya listrik didefinisikan sebagai energi listrik yang digunakan oleh suatu alat tiap satu satuan waktu. Secara matematis, daya listrik dirumuskan seperti persamaan 7 di bawah ini.

$$P = \frac{W}{t} \quad \dots(7)$$

Dimana :

P = Daya listrik (Watt)

W = Energi listrik (Joule)

t = Waktu (Sekon)

#### e. Nilai pH

Produksi biogas secara optimum dapat dicapai bila nilai pH dari campuran input didalam pencerna berada pada kisaran 6 dan 7.

#### f. Loading rate (laju pengumpanan)

Loading rate adalah jumlah bahan pengisi yang harus dimasukkan ke dalam digester per unit kapasitas per hari. Agar fermentasi berlangsung dengan optimal, perlu pengisian bahan organik yang kontinu setiap hari dengan memperhitungkan waktu tinggal dan volume digester.

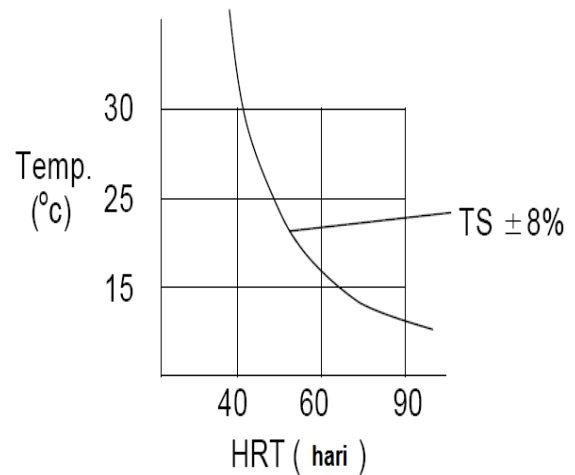
#### g. Zat toksin

Zat toksin yang terkandung dalam bahan organik atau alat produksi biogas dapat menjadi penghambat pertumbuhan mikroorganisme sehingga menurunkan produksi biogas. Zat toksin tersebut diantaranya ion mineral dan logam berat, seperti tembaga, detergen, pestisida, kaporit, dan antibiotik yang bersifat racun.

#### h. Waktu tinggal dalam pencerna (digester)

Waktu tinggal dalam pencerna adalah rerata periode waktu saat input masih berada dalam pencerna dan proses pencernaan oleh bakteri metanogen. Waktu tinggal juga tergantung pada suhu, dan diatas 35°C atau suhu lebih tinggi, waktu tinggal semakin singkat. Sebagian besar sistem digester anaerobik dirancang untuk menahan limbah dalam masa waktu yang ditentukan. Lamanya waktu material limbah tersimpan di dalam reaktor disebut lama retensi hidrolis atau waktu tinggal hidrolis (HRT). Secara teoritis merupakan waktu material organik berada di dalam tangki digester. Selama proses ini terjadi pertumbuhan bakteri anaerob pengurai, proses penguraian material organik, dan stabilisasi pembentukan biogas menuju kepada kondisi optimumnya. Proses perubahan padatan terlarut menjadi gas dalam reaksi anaerobik sangat bergantung pada HRT. Lamanya waktu retensi berpengaruh dalam

banyaknya produksi metan yang dihasilkan. Hubungan antara HRT, suhu dan total padatan (TS) Pada suhu mesofilik 30 – 35°C waktu ideal yang dibutuhkan adalah selama 40 – 50 hari.



Gambar 2 hubungan antara HRT, suhu dan TS  
Sumber :

<http://digilib.unila.ac.id/6358/16/BAB%20II.pdf>

#### i. Starter

Starter diperlukan untuk mempercepat proses perombakan bahan organik hingga menjadi biogas. Starter merupakan mikroorganisme perombak yang telah dijual komersial. Bisa juga menggunakan lumpur aktif organik atau cairan isi rumen (Simamora dkk, 2006).

## 2.4 Digester Biogas

Digester biogas merupakan suatu teknologi yang memanfaatkan bahan-bahan organik, termasuk kotoran manusia dan hewan, limbah rumah tangga, dan sampah – sampah organik secara anaerobik untuk menghasilkan gas methana. Gas metana yang dihasilkan bersifat dapat terbakar. Reaksi fermentasi terjadi tanpa kehadiran oksigen sama sekali atau yang disebut dengan reaksi fermentasi anaerobik.. Dalam perancangan digester biogas, ukuran biodigester tergantung dari kuantitas, kualitas, bahan organik, jenis bahan organik yang ada dan temperatur proses fermentasi. Ukuran reaktor biogas/biodigester dapat dinyatakan dengan volume digester (Vd) untuk bahan baku (padatan dan air). Secara umum volume digester (Vd) untuk bahan baku (padatan dan air) dapat diperhitungkan seperti rumus 8 di bawah ini.

$$Vd = Sd \times RT \quad \dots(8)$$

Dimana :

Vd = Volume ruang untuk bahan baku (padatan +air) digester (m<sup>3</sup>/Hari)

Sd = Masukan bahan baku setiap hari (m<sup>3</sup>/Hari)

RT = Retention time/waktu bahan baku berada dalam digester (Hari)

Pada umumnya *retention time* 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). Sedangkan untuk *retention time* untuk biodigester sederhana tanpa pemanasan dapat dipilih 40 hari (Uli Werner, 1989). Pemasukan bahan baku tergantung seberapa banyak air yang harus dimasukkan kedalam biodigester sehingga kadar bahan baku padatnya sekitar 4 – 8% seperti rumus 9 di bawah ini.

$$Sd = \text{Padatan} + \text{Air (m}^3/\text{Hari)} \quad \dots(9)$$

Keterangan :

Sd adalah Jumlah masukan bahan baku setiap hari (m<sup>3</sup>/hari)

Umumnya percampuran kotoran dari air dibuat dengan perbandingan antara 1 : 3 dan 2 : 1 (Uli Werner, 1989). Di Indonesia untuk kotoran sapi umumnya dicampur dengan air dengan perbandingan 1 : 1 sampai 1 : 2. Untuk limbah dari jerami padi dicampur dengan air perbandingan 1 : 3, untuk bungkil jarak pagar dicampur dengan air perbandingan 1 : 2, untuk limbah kelapa sawit dicampur dengan air perbandingan 1 : 2, untuk sampah organik dicampur dengan air perbandingan 1 : 2.

## 2.5 Kebijakan Energi Baru & Terbarukan

Peraturan Menteri ESDM No. 21 Tahun 2016 tentang Pembelian Tenaga Listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa dan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas oleh PT. Perusahaan Listrik Negara. Secara umum peraturan ini berisikan penugasan, pelaksanaan, harga pembelian tenaga listrik dari pembangkit listrik tenaga biomassa dan biogas.

Pendapatan adalah jumlah uang yang diterima oleh perusahaan dari aktivitasnya, kebanyakan dari penjualan produk dan atau jasa kepada pelanggan. Pendapatan yang diperoleh dari penjualan energi listrik dapat dirumuskan seperti persamaan 10 di bawah.

$$P = \text{Energi} \times \text{Price} \quad \dots(10)$$

Dimana :

P = Pendapatan

Energi = Energi yang dihasilkan, kWh.

Price = Harga energi listrik, Rp/kWh

Tabel 5 Harga pembelian Tenaga Listrik dari kelebihan Tenaga Listrik (*Excess Power*) dari PLTBg oleh PT PLN Persero

No.	Lokasi/wilayah Pembangkit Listrik	Harga Pembelian (Rp/kWh)			
		Kapasitas s.d. 20 MW		20 MW < Kapasitas < 50 MW	Kapasitas > 50 MW
		Teg. Rendah	Teg. menengah/tinggi	Teg.tinggi	Teg.tinggi
1	Pulau Jawa	1.759	1.424	1.211	1.139
2	Pulau Sumatera	1.759	1.424	1.211	1.139
3	Pulau Sulawesi	1.759	1.424	1.211	1.139
4	Pulau Kalimantan	1.759	1.424	1.211	1.139
5	Pulau Bali, Bangka Belitung, Lombok	1.759	1.424	1.211	1.139
6	Kepulauan Riau, Nusa Tenggara & lainnya	1.759	1.424	1.211	1.139
7	Pulau Maluku & Papua	1.759	1.424	1.211	1.139

Keterangan 1 Sen USD = Rp. 133,89 (Up-date tahun 2017)

Sumber : Peraturan Menteri ESDM No. 21 Tahun 2016

## 2.6 Generator Sinkron

Generator sinkron merupakan mesin listrik arus bolak balik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik arus bolak – balik. Energi mekanik diperoleh dari penggerak mula (*prime mover*) yang terkopel dengan rotor generator, sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang melibatkan kumparan rotor dan kumparan stator. Prinsip dasar generator arus bolak – balik menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah – ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik. Generator biogas adalah generator yang berbahan bakar dari biogas yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik.





Gambar 3 generator berbahan bakar biogas  
Sumber :

<https://indonesian.alibaba.com/product-detail/small-size-biogas-power-generator-832214842.html>

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisa Sampah di Kota Bogor

Volume timbulan sampah di Kota Bogor pada tahun 2016 per hari adalah 2.734,03 m<sup>3</sup> yang terdiri dari sampah organik per hari adalah 1.804,46 m<sup>3</sup>, sampah anorganik dan residu per hari adalah 929,57 m<sup>3</sup>.

Rata – rata sampah yang terangkut ke TPA Galuga per hari adalah 1.987 m<sup>3</sup>, yang terdiri dari sampah organik per hari adalah 1.311,42 m<sup>3</sup>, sampah anorganik dan residu per hari adalah 675,58 m<sup>3</sup>.

Volume timbulan sampah yang tertangani di 12 lokasi TPS 3R Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor per hari adalah 84,9 m<sup>3</sup>, yang terdiri dari sampah anorganik per hari adalah 43,5 m<sup>3</sup>, sampah organik per hari adalah 21,58 m<sup>3</sup> dan sampah residu per hari adalah 19,82 m<sup>3</sup>. Dari volume timbulan sampah di Kota Bogor per hari, rata – rata sampah yang terangkut ke TPA Galuga per hari dan volume sampah yang tertangani di 12 lokasi TPS 3R, maka volume timbulan sampah yang tertangani di Kota Bogor per hari adalah 2.071,9 m<sup>3</sup> (jumlah volume sampah yang diangkut ke TPA Galuga per hari + jumlah volume sampah yang tertangani di 12 lokasi TPS 3R Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor per hari = 1.987 m<sup>3</sup> + 84,9 m<sup>3</sup> = 2.071,9 m<sup>3</sup>) dan volume timbulan sampah yang tidak tertangani di Kota Bogor per hari adalah 662,13 m<sup>3</sup> (jumlah volume timbulan sampah di Kota Bogor per hari – jumlah volume timbulan sampah yang tertangani di Kota Bogor per hari 2.734,03 – 2.071,9 m<sup>3</sup> = 662,13 m<sup>3</sup>).

Dari jumlah volume timbulan sampah yang tidak tertangani di Kota Bogor per hari, apabila tidak dapat ditangani, maka akan mengakibatkan banyak masalah diantaranya adalah polusi udara, tumpukan sampah akan mengalami longsor, biang penyakit, lingkungan menjadi tercemar dan banjir pun bakal datang. Dengan adanya TPA dan TPS diharapkan dapat mengatasi volume timbulan sampah di Kota Bogor per hari

yang tidak dapat tertangani dan dapat mengatasi pencemaran udara, biang penyakit, pencemaran lingkungan dan mengatasi banjir.

#### 3.2 Analisa Sampah TPS 3R Kota Bogor

Pengelolaan sampah 3R (*Reduce, Reuse* dan *Recycle*) adalah pengelolaan sampah dengan cara mengurangi – menggunakan dan mendaur ulang. *Reduce* (mengurangi sampah) berarti mengurangi segala sesuatu yang mengakibatkan sampah. Mengurangi sampah merupakan langkah pertama untuk mengatasi volume timbulan sampah dan membantu mengatasi sampah yang tidak dapat diangkut ke TPA yaitu dengan mendirikan suatu Tempat Pengelolaan Sampah (TPS). Maka volume sampah yang dapat tertangani oleh TPS 3R Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor per hari adalah 84,9 m<sup>3</sup>. *Reuse* (menggunakan kembali) yaitu pemanfaatan kembali sampah secara langsung tanpa melalui proses daur ulang. *Recycling* (mendaur ulang) adalah pemanfaatan bahan buangan untuk di proses kembali menjadi barang yang sama atau menjadi bentuk lain. *Recycling* adalah pemanfaatan kembali sampah – sampah yang masih dapat diolah. Sampah organik didaur ulang menjadi kompos dan biogas.

Pengelolaan sampah 3R berbasis masyarakat merupakan paradigma baru dalam pengelolaan sampah. Paradigma baru tersebut lebih ditekankan kepada metoda pengurangan sampah yang lebih arif dan ramah lingkungan. Metode tersebut lebih menekankan kepada tingkat perilaku konsumtif dari masyarakat serta kesadaran terhadap kerusakan lingkungan akibat bahan tidak terpakai lagi yang berbentuk sampah. Pengurangan sampah dengan metoda 3R lebih menekankan kepada cara pengurangan sampah yang dibuang oleh individu, rumah, atau kawasan seperti RT ataupun RW. Dari pendekatan tersebut, maka di dalam pelaksanaan pengelolaan sampah 3R berbasis masyarakat terdapat tiga kegiatan yang harus di lakukan secara sinergi dan berkesinambungan, yaitu proses pengelolaan sampah sejak dari rumah warga masyarakat, proses pemahaman masyarakat dalam pengelolaan sampah dengan metoda 3R dan proses pendampingan kepada masyarakat pelaku 3R. Pengurangan sampah dengan 3R dan replikasi "*best practice*" memang bukan hal mudah untuk dilakukan karena akan sangat bergantung pada kemauan masyarakat dalam merubah perilaku, yaitu dari pola pembuangan sampah konvensional menjadi pola pemilah sampah. Melalui Program 3R ini masyarakat melalui kelompok swadaya masyarakat (KSM) dapat mengelola TPS 3R yang ada di lingkungan masing – masing

menjadi efektif sehingga masalah persampahan dapat diatasi dari hulu ke hilir sehingga TPA bukan lagi tempat pembuangan tapi tempat pemrosesan akhir sampah sehingga diharapkan setelah melalui pengelolaan sampah sekarang bisa menjadi mata pencaharian yang mendatangkan keuntungan.

### 3.3 Potensi Biogas di TPS 3R Taruna Kompos Kelurahan Mulyaharja

Di TPS sampah yang digunakan untuk diolah menjadi biogas adalah sampah organik sayuran dan buah – buahan dari dapur rumah tangga. Jumlah sampah organik yang digunakan untuk diolah menjadi biogas per hari 85 kg. Berdasarkan pada tabel 4, nilai total *solid content* (TS%) dari sampah organik sayuran dan buah – buahan diasumsikan dapat menghasilkan 20% dan produksi biogas yang dapat dihasilkan dari sampah organik sayuran dan buah – buahan diasumsikan dapat menghasilkan 0,50 m<sup>3</sup>. Untuk menghitung jumlah total nilai TS dengan menggunakan persamaan (4) dan untuk menghitung gas yang dapat dihasilkan dari pengolahan biogas per hari dan per bulan dengan menggunakan persamaan (5).

- Total nilai TS  
 $= \text{TS}(\%) \times \text{Jumlah bahan baku (kg)}$   
 $= 20\% \times 85 \text{ kg}$   
 $= 17 \text{ kg}$
- Gas yang dihasilkan per hari  
 $= \text{Total nilai TS (kg)} \times \text{Produksi gas yang dihasilkan (m}^3\text{)}$   
 $= 17 \text{ Kg} \times 0,50 \text{ m}^3$   
 $= 8,5 \text{ m}^3$
- Gas yang dihasilkan per bulan  
 $= \text{Gas yang dihasilkan per hari} \times 1 \text{ bulan}$   
 $= 8,5 \text{ m}^3 \times 30 \text{ Hari}$   
 $= 255 \text{ m}^3$

Pada tabel 1, nilai energi biogas 1m<sup>3</sup> nilainya setara dengan energi listrik yaitu 6,1 kWh, maka energi listrik yang dapat dibangkitkan dapat dihitung dengan persamaan (6).

- Energi listrik per hari  
 $= \text{Gas yang dihasilkan perhari (m}^3\text{)} \times \text{Kesebandingan nilai energi biogas dengan energi listrik (kWh)}$   
 $= 8,5 \text{ m}^3 \times 6,1 \text{ kWh}$   
 $= 51,85 \text{ kWh}$
- Energi listrik per bulan  
 $= \text{Energi listrik per hari} \times 1 \text{ bulan}$   
 $= 51,85 \text{ kWh} \times 30 \text{ hari}$   
 $= 1.555,5 \text{ kWh}$

Dalam pengolahan biogas di TPS, sampah organik sayuran dan buah – buahan dicampurkan dengan air. Perbandingan sampah organik sayuran dan buah – buahan dengan air yaitu 1 : 2, maka untuk menghitung jumlah

bahan baku (volume cairan rasio A : K) dengan menggunakan persamaan (9).

$$\begin{aligned} & \text{Jumlah masukan bahan baku per hari} \\ &= \text{Padatan} + \text{Air} \\ &= 1 : 2 \\ &= 85 \text{ kg sampah organik} + 170 \text{ kg air} \\ &= 255 \text{ kg} \approx 255 \text{ liter} \end{aligned}$$

Pada saat starter awal dalam pengolahan sampah organik menjadi biogas di TPS, periode penyimpanan/*retention time* bahan baku (volume cairan rasio A : K) di dalam digester selama 40 hari. Untuk menghitung volume ruang untuk bahan baku (volume cairan rasio A : K) digester dengan menggunakan persamaan (8).

$$\begin{aligned} & \text{Volume ruang untuk bahan baku (volume} \\ & \text{cairan rasio A : K) digester} \\ &= \text{Masukan bahan baku setiap hari} \times \\ & \quad \text{Retention time} \\ &= 255 \text{ liter} \times 40 \text{ hari} \\ &= 10.200 \text{ liter} \approx 10,2 \text{ m}^3 \text{ (60\% dari volume} \\ & \text{total digester di TPS, apabila volume total} \\ & \text{digester di TPS adalah } 17 \text{ m}^3\text{) dan volume} \\ & \text{ruang untuk gas adalah 40\% dari volume} \\ & \text{total digester.} \end{aligned}$$

Pada tabel 2, diketahui bahwa sampah organik sayuran dan buah – buahan diasumsikan berada pada rasio *carbon* (C) yaitu 24% dan rasio nitrogen (N) yaitu 1,5%, maka untuk menghitung nilai rasio *carbon* (C) dengan menggunakan persamaan (1), untuk menghitung nilai rasio nitrogen (N) dengan menggunakan persamaan (2) dan untuk menghitung nilai rasio C/N dengan menggunakan persamaan (3).

- Rasio C = Jumlah bahan baku (kg) × % C (kering)  
 $= 85 \text{ kg} \times 24\%$   
 $= 20,4 \text{ kg}$
- Rasio N = Jumlah bahan baku (kg) × % N (kering)  
 $= 85 \text{ kg} \times 1,5\%$   
 $= 1,275 \text{ kg}$
- Rasio C/N =  $\frac{\text{Rasio C}}{\text{Rasio N}}$   
 $= \frac{20,4 \text{ kg}}{1,275 \text{ kg}}$   
 $= 16$

Energi listrik yang dapat dibangkitkan per hari dari pengolahan biogas adalah 51,85 kWh, sedangkan kapasitas generator biogas yang dipakai di TPS 5 kW, maka dapat dihitung berapa lama energi listrik dapat dipakai untuk generator biogas dengan menggunakan persamaan (7).

$$\text{Waktu} = \frac{\text{Energi listrik}}{\text{Daya listrik}}$$



$$= \frac{51,85 \text{ kWh}}{5 \text{ kW}}$$

$$= 10,37 \text{ jam}$$

Energi listrik yang dapat dibangkitkan per hari dari pengolahan biogas adalah 51,85 Kwh. Sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM No. 21 Tahun 2016 seperti pada tabel 5 yaitu harga pembelian Tenaga Listrik dari kelebihan Tenaga Listrik (*Excess Power*) dari PLTBg oleh PT PLN Persero untuk lokasi/wilayah Pembangkit Listrik di pulau jawa untuk kapasitas sampai dengan 20 MW untuk Tegangan Menengah atau Tegangan Tinggi harga pembelian per kWh adalah Rp 1.424, maka pendapatan yang dapat dihasilkan dari penjualan Tenaga Listrik Biogas diasumsikan ke PT PLN (Persero) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (10).

- Pendapatan per hari
  - = Energi yang dihasilkan (kWh) × Harga energi listrik (Rp/kWh)
  - = 51,85 kWh × Rp 1.424
  - = Rp 73.834,4
- Pendapatan per bulan
  - = Pendapatan per hari × 1 bulan
  - = Rp 73.834,4 × 30 hari
  - = Rp 2.215.032

### 3.4 Potensi Biogas di TPS 3R Ceremai Kelurahan Cipaku

Di TPS 3R Ceremai Kelurahan Cipaku, sampah yang digunakan untuk diolah menjadi biogas adalah sampah organik sayuran dan buah – buahan dari dapur rumah tangga, sampah organik rumput dan kotoran kambing. Jumlah sampah organik sayuran dan buah – buahan yang digunakan untuk diolah menjadi biogas per hari 50 kg, jumlah sampah organik rumput yang digunakan untuk diolah menjadi biogas per hari 25 kg dan jumlah kotoran kambing yang digunakan untuk diolah menjadi biogas per hari 10 kg. Jadi jumlah total bahan baku yang digunakan untuk diolah menjadi biogas per hari 85 kg. Berdasarkan pada tabel 4, nilai total *solid content* (TS%) dari sampah organik sayuran dan buah – buahan diasumsikan dapat menghasilkan 20% dan produksi biogas yang dapat dihasilkan dari sampah organik sayuran dan buah – buahan diasumsikan dapat menghasilkan 0,50 m<sup>3</sup>, nilai total *solid content* (TS%) dari sampah organik rumput diasumsikan dapat menghasilkan 25% dan produksi biogas yang dapat dihasilkan dari sampah organik rumput diasumsikan dapat menghasilkan 0,55 m<sup>3</sup>, nilai total *solid content* (TS%) dari kotoran kambing diasumsikan dapat menghasilkan 12% dan produksi biogas yang dapat dihasilkan dari kotoran kambing diasumsikan dapat menghasilkan 0,30 m<sup>3</sup>. Untuk menghitung jumlah total nilai TS dari bahan

baku sampah organik sayuran dan buah – buahan, sampah organik rumput dan kotoran kambing dengan menggunakan persamaan (4) dan untuk menghitung gas yang dapat dihasilkan dari pengolahan biogas dari bahan baku sampah organik sayuran dan buah – buahan, sampah organik rumput dan kotoran kambing per hari, jumlah total gas yang dapat baku dihasilkan dari pengolahan biogas per hari dan per bulan dengan menggunakan persamaan (5).

- a. Sampah organik sayuran dan buah – buahan
  - Total nilai TS
    - = TS(%) × Jumlah bahan baku (kg)
    - = 20% × 50 kg
    - = 10 kg
  - Gas yang dihasilkan per hari
    - = Total nilai TS (kg) × Produksi gas yang dihasilkan (m<sup>3</sup>)
    - = 10 kg × 0,50 m<sup>3</sup>
    - = 5,0 m<sup>3</sup>
- b. Sampah organik rumput
  - Total nilai TS = TS(%) × Jumlah bahan (kg)
    - = 25% × 25 kg
    - = 6,25 Kg
  - Gas yang dihasilkan per hari
    - = Total nilai TS (kg) × Produksi gas yang dihasilkan (m<sup>3</sup>)
    - = 6,25 kg × 0,55 m<sup>3</sup>
    - = 3,4375 m<sup>3</sup>
- c. Kotoran kambing
  - Total nilai TS
    - = TS(%) × Jumlah bahan baku (kg)
    - = 12% × 10 kg
    - = 1,2 kg
  - Gas yang dihasilkan per hari
    - = Total nilai TS (kg) × Produksi gas yang dihasilkan (m<sup>3</sup>)
    - = 1,2 kg × 0,30 m<sup>3</sup>
    - = 0,36 m<sup>3</sup>

Maka, total gas yang dihasilkan per hari dan per bulan dari pengolahan biogas dapat dihitung dengan menjumlahkan gas yang dihasilkan per hari dan perbulan dari pengolahan biogas dari jenis sampah organik sayuran dan buah – buahan, sampah organik rumput dan kotoran kambing.

- Total gas yang dihasilkan per hari
  - = Gas yang dihasilkan per hari dari sampah organik sayuran dan buah – buahan + Gas yang dihasilkan per hari dari sampah organik rumput + Gas yang dihasilkan per hari dari kotoran kambing
  - = 5,0 m<sup>3</sup> + 3,4375 m<sup>3</sup> + 0,36 m<sup>3</sup>
  - = 8,7975 m<sup>3</sup>
- Total gas yang dihasilkan per bulan
  - = Total gas yang dihasilkan per hari × 1 bulan
  - = 8,7975 m<sup>3</sup> × 30 hari
  - = 263,925 m<sup>3</sup>

Pada tabel 1, nilai energi biogas  $1\text{m}^3$  nilainya setara dengan energi listrik yaitu  $6,1\text{ kWh}$ , maka energi listrik yang dapat dibangkitkan dapat dihitung dengan persamaan (6).

- Energi listrik per hari  
 $= \text{Gas yang dihasilkan perhari (m}^3) \times \text{Kesebandingan nilai energi biogas dengan energi listrik (kWh)}$   
 $= 8,7975\text{ m}^3 \times 6,1\text{ kWh}$   
 $= 53,66475\text{ kWh}$
- Energi listrik per bulan  
 $= \text{Energi listrik per hari} \times 1\text{ bulan}$   
 $= 53,66475\text{ kWh} \times 30\text{ hari}$   
 $= 1.609,9425\text{ kWh}$

Dalam pengolahan biogas di TPS, sampah organik sayuran dan buah – buahan, sampah organik rumput dan kotoran kambing dicampurkan dengan air. Perbandingan antara bahan baku dengan air 1 : 2, maka untuk menghitung jumlah masukan bahan baku (volume cairan rasio A : K) per hari dengan menggunakan persamaan (9).

$$\begin{aligned} &\text{Jumlah masukan bahan baku per hari} \\ &= \text{Padatan} + \text{Air} \\ &= 1 : 2 \\ &= 85\text{ kg bahan baku} + 170\text{ kg air} \\ &= 255\text{ kg} \approx 255\text{ liter} \end{aligned}$$

Pada saat starter awal pengolahan sampah organik sayuran dan buah – buahan, sampah organik rumput dan kotoran kambing yang diolah menjadi biogas di TPS, periode penyimpanan/*retention time* bahan baku (volume cairan rasio A : K) di dalam digester selama 40 hari. Untuk menghitung volume ruang untuk bahan baku (volume cairan rasio A : K) digester dengan menggunakan persamaan (8).

$$\begin{aligned} &\text{Volume ruang untuk bahan baku (volume cairan rasio A : K) digester} \\ &= \text{Masukan bahan baku setiap hari} \times \text{Retention time} \\ &= 255\text{ liter} \times 40\text{ hari} \\ &= 10.200\text{ liter} \approx 10,2\text{ m}^3 \text{ (60\% dari volume total digester di TPS, apabila volume total digester di TPS adalah } 17\text{ m}^3\text{) dan volume ruang untuk gas adalah 40\% dari volume total digester.} \end{aligned}$$

Pada tabel 2, diketahui bahwa sampah organik sayuran dan buah – buahan diasumsikan berada pada rasio *carbon* (C) yaitu 24% dan rasio nitrogen (N) yaitu 1,5%. Sampah organik rumput memiliki nilai rasio *carbon* (C) yaitu 48% dan rasio nitrogen (N) yaitu 4%. Kotoran kambing memiliki nilai rasio *carbon* (C) yaitu 83,6% dan rasio nitrogen (N) yaitu 3,8%. Untuk menghitung nilai rasio *carbon* (C) sampah organik sayuran dan buah – buahan, sampah organik rumput dan kotoran kambing dengan menggunakan persamaan (1). Untuk menghitung nilai rasio nitrogen (N) sampah

organik sayuran dan buah – buahan, sampah organik rumput dan kotoran kambing dengan menggunakan persamaan (2) dan untuk menghitung nilai rasio C/N sampah organik sayuran dan buah – buahan, sampah organik rumput dan kotoran kambing dengan menggunakan persamaan (3).

a. Nilai rasio C/N sampah organik sayuran dan buah - buahan

- Rasio C = Jumlah bahan baku (kg)  $\times$  % C (kering)  
 $= 50\text{ Kg} \times 24\%$   
 $= 12\text{ Kg}$

- Rasio N = Jumlah bahan baku (kg)  $\times$  % N (kering)  
 $= 50 \times 1,5\%$   
 $= 0,75\text{ Kg}$

- Rasio C/N =  $\frac{\text{Rasio C}}{\text{Rasio N}}$   
 $= \frac{12\text{ kg}}{0,75\text{ kg}}$   
 $= 16$

b. Nilai rasio C/N sampah organik rumput

- Rasio C = Jumlah bahan baku (kg)  $\times$  % C (kering)  
 $= 25\text{ kg} \times 48\%$   
 $= 12\text{ kg}$

- Rasio N = Jumlah bahan baku (kg)  $\times$  % N (kering)  
 $= 25\text{ kg} \times 4\%$   
 $= 1\text{ kg}$

- Rasio C/N =  $\frac{\text{Rasio C}}{\text{Rasio N}}$   
 $= \frac{12\text{ kg}}{1\text{ kg}}$   
 $= 12$

c. Nilai rasio C/N kotoran kambing

- Rasio C = Jumlah bahan baku (kg)  $\times$  % C (kering)  
 $= 10\text{ kg} \times 83,6\%$   
 $= 8,36\text{ kg}$

- Rasio N = Jumlah bahan baku (kg)  $\times$  % N (kering)  
 $= 10\text{ kg} \times 3,8\%$   
 $= 0,38\text{ kg}$

- Rasio C/N =  $\frac{\text{Rasio C}}{\text{Rasio N}}$   
 $= \frac{8,36\text{ kg}}{0,38\text{ kg}}$   
 $= 22$

Maka untuk menghitung nilai total Rasio C/N dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3).

- Nilai rasio C total =  $12\text{ kg} + 12\text{ kg} + 8,36\text{ kg}$   
 $= 32,36\text{ kg}$

- Nilai rasio N total =  $0,75 \text{ kg} + 1 \text{ kg} + 0,38 \text{ kg}$   
= 2,13 kg
- Nilai rasio C/N total =  $\frac{32,36 \text{ kg}}{2,13 \text{ kg}}$   
= 15,1924

Energi listrik yang dapat dibangkitkan per hari dari pengolahan biogas adalah 53,66473 kWh, sedangkan kapasitas generator biogas yang dipakai di TPS 5 kW, sehingga dapat dihitung berapa lama energi listrik dapat dipakai untuk generator biogas dengan menggunakan persamaan (7).

$$\begin{aligned} \text{Waktu} &= \frac{\text{Energi listrik}}{\text{Daya listrik}} \\ &= \frac{53,66473 \text{ kWh}}{5 \text{ kW}} \\ &= 10,73295 \text{ jam} \end{aligned}$$

Energi listrik yang dapat dibangkitkan per hari dari pengolahan biogas adalah 53,66475 kWh. Sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM No. 21 Tahun 2016 seperti pada tabel 5 yaitu harga pembelian Tenaga Listrik dari kelebihan Tenaga Listrik (*Excess Power*) dari PLTBg oleh PT PLN Persero untuk lokasi/wilayah Pembangkit Listrik di pulau Jawa untuk kapasitas sampai dengan 20 MW untuk Tegangan Menengah atau Tegangan Tinggi harga pembelian per kWh adalah Rp 1.424, maka pendapatan yang dapat dihasilkan dari penjualan Tenaga Listrik Biogas diasumsikan ke PT PLN (Persero) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (10).

- Pendapatan per hari  
= Energi yang dihasilkan (kWh)  $\times$  Harga energi listrik (Rp/kWh)  
= 53,66475 kWh  $\times$  Rp 1.424  
= Rp 76.418,604
- Pendapatan per bulan  
= Pendapatan per hari  $\times$  1 bulan  
= Rp 76.418,604  $\times$  30 hari  
= Rp 2.292.558,12

### 3.5 TPS 3R Dharmais Kelurahan Kencana

Di TPS, sampah yang digunakan untuk diolah menjadi biogas adalah sampah organik sayuran dan buah – buahan dapur rumah tangga. Jumlah sampah organik yang digunakan untuk diolah menjadi biogas per hari 55 kg. Berdasarkan pada tabel 4, nilai total *solid content* (TS%) dari sampah organik sayuran dan buah – buahan diasumsikan dapat menghasilkan 20% dan produksi biogas yang dapat dihasilkan dari sampah organik sayuran dan buah – buahan diasumsikan dapat menghasilkan 0,50 m<sup>3</sup>. Untuk menghitung jumlah total nilai TS dengan menggunakan persamaan (4) dan untuk menghitung gas yang dapat dihasilkan dari

pengolahan biogas per hari dan per bulan dengan menggunakan persamaan (5).

- Total nilai TS  
= TS(%)  $\times$  Jumlah bahan baku (kg)  
= 20%  $\times$  55 kg  
= 11 kg
- Gas yang dihasilkan per hari  
= Total nilai TS (kg)  $\times$  Produksi gas yang dihasilkan (m<sup>3</sup>)  
= 11 kg  $\times$  0,50 m<sup>3</sup>  
= 5,5 m<sup>3</sup>
- Gas yang dihasilkan per bulan  
= Gas yang dihasilkan per hari  $\times$  1 bulan  
= 5,5 m<sup>3</sup>  $\times$  30 hari  
= 165 m<sup>3</sup>

Pada tabel 1, nilai energi biogas 1m<sup>3</sup> nilainya setara dengan energi listrik yaitu 6,1 kWh, maka energi listrik yang dapat dibangkitkan dapat dihitung dengan persamaan (6).

- Energi listrik per hari  
= Gas yang dihasilkan per hari (m<sup>3</sup>)  $\times$  Kesebandingan nilai energi biogas dengan energi listrik (kWh)  
= 5,5 m<sup>3</sup>  $\times$  6,1 kWh  
= 33,55 kWh
- Energi listrik per bulan  
= Energi listrik per hari  $\times$  1 bulan  
= 33,55 kWh  $\times$  30 hari  
= 1.006,5 kWh

Dalam pengolahan biogas di TPS, sampah organik sayuran dan buah – buahan dari dapur rumah tangga akan dicampurkan dengan air. Perbandingan sampah organik sayuran dan buah – buahan dengan air yaitu 1 : 2, maka untuk menghitung jumlah bahan baku (volume cairan rasio A : K) dengan menggunakan persamaan (9).

$$\begin{aligned} \text{Jumlah masukan bahan baku per hari} &= \text{Padatan} + \text{Air} \\ &= 1 : 2 \\ &= 55 \text{ kg sampah organik} + 110 \text{ kg air} \\ &= 165 \text{ kg} \approx 165 \text{ liter} \end{aligned}$$

Pada saat starter awal dalam pengolahan sampah organik menjadi biogas di TPS, periode penyimpanan/*retention time* bahan baku (volume cairan rasio A : K) di dalam digester selama 40 hari. Untuk menghitung volume ruang untuk bahan baku (volume cairan rasio A : K) digester dengan menggunakan persamaan (8).

$$\begin{aligned} \text{Volume ruang untuk bahan baku (volume cairan rasio A : K) digester} &= \text{Masukan bahan baku setiap hari} \times \text{Retention time} \\ &= 165 \text{ liter} \times 40 \text{ hari} \\ &= 6.600 \text{ liter} \approx 6,6 \text{ m}^3 \text{ (60\% dari volume total digester di TPS, apabila volume total digester di TPS adalah 11 m}^3 \text{) dan volume} \end{aligned}$$

ruang untuk gas adalah 40% dari volume total digester.

Pada tabel 2, diketahui bahwa sampah organik sayuran dan buah – buahan diasumsikan berada pada rasio *carbon* (C) yaitu 24% dan rasio nitrogen (N) yaitu 1,5%, maka untuk menghitung nilai rasio *carbon* (C) dengan menggunakan persamaan (1). Untuk menghitung nilai rasio nitrogen (N) dengan menggunakan persamaan (2) dan untuk menghitung nilai rasio C/N dengan menggunakan persamaan (3).

- Rasio C = Jumlah bahan baku (kg) × % C (kering)  
= 55 kg × 24%  
= 13,2 kg
- Rasio N = Jumlah bahan baku (kg) × % N (kering)  
= 55 kg × 1,5%  
= 0,825 kg
- Rasio C/N =  $\frac{\text{Rasio C}}{\text{Rasio N}}$   
=  $\frac{13,2\text{kg}}{0,825\text{kg}}$   
= 16

Energi listrik yang dapat dibangkitkan per hari dari pengolahan biogas 33,55 kWh, sedangkan kapasitas generator biogas yang dipakai di TPS 5 kW, sehingga dapat dihitung berapa lama energi listrik dapat dipakai untuk generator biogas dengan menggunakan persamaan (7).

$$\begin{aligned} \text{Waktu} &= \frac{\text{Energi listrik}}{\text{Daya listrik}} \\ &= \frac{33,55 \text{ kWh}}{5 \text{ kW}} \\ &= 6,71 \text{ jam} \end{aligned}$$

Energi listrik yang dapat dibangkitkan per hari dari pengolahan biogas adalah 33,55 kWh. Sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM No. 21 Tahun 2016 seperti pada tabel 5 yaitu harga pembelian Tenaga Listrik dari kelebihan Tenaga Listrik (*Excess Power*) dari PLTBg oleh PT PLN Persero untuk lokasi/wilayah Pembangkit Listrik di pulau Jawa untuk kapasitas sampai dengan 20 MW untuk Tegangan Menengah atau Tegangan Tinggi harga pembelian per kWh adalah Rp 1.424, maka pendapatan yang dapat dihasilkan dari penjualan Tenaga Listrik Biogas ke PT PLN (Persero) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (10).

- Pendapatan per hari  
=Energi yang dihasilkan (kWh) × Harga energi listrik (Rp/kWh)  
= 33,55 kWh × Rp 1.424  
= Rp 47.775,2

- Pendapatan per bulan  
= Pendapatan per hari × 1 bulan  
= Rp 47.775,2 × 30 hari  
= Rp 1.433.256

### 3.6 Analisa Manfaat Biogas dan Kelemahan Biogas

Ada beberapa manfaat dari pengolahan biogas yaitu sebagai bahan bakar kendaraan, sebagai pengganti kayu bakar, sebagai pengganti gas elpiji, dapat menghasilkan pupuk organik dan memanfaatkan sampah lingkungan karena volume timbulan sampah yang setiap tahun selalu meningkat baik itu sampah dari pemukiman (seperti sampah rumah tangga) ataupun dari non pemukiman.

Ada beberapa kelemahan biogas diantaranya adalah membutuhkan dana tinggi untuk aplikasi dalam bentuk instalasi biogas, tenaga kerja tidak memiliki kemampuan memadai terutama dalam proses produksi, belum dikenal masyarakat, tidak dapat dikemas dalam bentuk cairan dalam tabung dan belum bisa seperti halnya elpiji, sehingga pemakaian harus berdekatan dengan sumber biogas dan pada akhirnya biogas belum bisa dipasarkan. Kelemahan lainnya dari pengolahan biogas yaitu kandungan gas yang kompleks karena sumber daya energi biogas rata – rata mengandung 60% gas metan (CH<sub>4</sub>), lebih dari 36% karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), kurang dari 3% belerang (H<sub>2</sub>S) dan kurang dari 1% hidrogen(H<sub>2</sub>) yaitu menjadi kekurangan tersendiri dari bagian pemanfaatan biogas. Kandungan dari biogas yang mengalami pembakaran yaitu metan dan hidrogen sedangkan gas lainnya menjadi faktor pengganggu dalam pembakaran. Hasil pembakaran metan yang berupa CO<sub>2</sub> merupakan salah satu gas rumah kaca penyebab pemanasan global sehingga secara tidak langsung pemakaian biogas juga berkontribusi pada pemanasan global.

### 3.7 Analisa Harga Listrik PLTBg

Berdasarkan pada tabel 5, Harga Pembelian Tenaga Listrik per kWh dari Kelebihan Tenaga Listrik (*Excess Power*) dari PLTBg oleh PT PLN (Persero) lebih mahal apabila dibandingkan dengan harga listrik per kWh yang berasal dari fosil (energi batubara) yaitu harga tarif listrik per kWh Rp 1.000 (harga batubara dunia yang mencapai US\$ 110 atau setara dengan Rp. 1.472.790,-/ton atau Rp 1.472,-. PLTU batubara memiliki parameter yang digunakan yaitu *SCC* (*specific Coal Consumption*) dengan satuan kg/kWh. PLTU batubara kalori rendah (4500 Kkal/kg), *SCC* empiris adalah 0,68 kg/kWh. Harga beli

batubara adalah 1.472 rupiah/kg. Maka biaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kWh listrik adalah  $0,68 \text{ kg/kWh} \times \text{Rp } 1.472/\text{Kg} = \text{Rp. } 1.000/\text{kWh}$ . Beritasatu.com | Minggu, 04 Desember 2016 | 14:56) dan masih menjadi yang diminati investor karena harga batubara cenderung murah dan dapat menghasilkan energi yang cukup besar jika dibandingkan dengan Energi Baru Terbarukan dari PLTBg, sehingga Energi Baru Terbarukan dari PLTBg sulit berkembang di Indonesia. Menerapkannya sistem *Feed-in Tariff* (FIT) yaitu harga listrik per unit yang harus dibayarkan oleh perusahaan utilitas (dalam kasus di Indonesia PLN) untuk listrik yang dihasilkan dari sumber Energi Baru Terbarukan dengan menggunakan tarif/harga yang telah ditentukan oleh pemerintah.

#### 4. KESIMPULAN

Volume timbulan sampah per hari yang tertangani dan tidak tertangani oleh Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor adalah 2.071,9 m<sup>3</sup> dan 662,13 m<sup>3</sup>.

Pengelolaan sampah 3R (*Reduce, Reuse dan Recycle*) adalah pengelolaan sampah dengan cara mengurangi – menggunakan dan mendaur ulang. Volume sampah yang dapat tertangani oleh TPS 3R Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor per hari adalah 84,9 m<sup>3</sup>.

Pengelolaan sampah 3R berbasis masyarakat lebih ditekankan kepada metoda pengurangan sampah yang lebih arif dan ramah lingkungan. Metode tersebut lebih menekankan kepada tingkat perilaku konsumtif dari masyarakat serta kesadaran terhadap kerusakan lingkungan akibat bahan tidak terpakai lagi yang berbentuk sampah. Pengolahan sampah organik dapat diolah menjadi kompos dan biogas. Pengolahan Biogas memiliki manfaat yaitu dapat menggantikan bahan bakar, menghasilkan pupuk organik, mengatasi pencemaran lingkungan dan udara, akan tetapi secara tidak langsung pemakaian biogas juga berkontribusi pada pemanasan global.

Volume gas dan energi listrik yang dapat dibangkitkan dari jumlah sampah organik dan kapasitas digester yang sama, di TPS 3R Ceremai Kelurahan Cipaku adalah 8,7975 m<sup>3</sup> dan 53,66475 kWh lebih besar dibanding di TPS 3R Taruna Kompos Kelurahan Mulyaharja yang sebesar 8,5 m<sup>3</sup> dan 51,85 kWh. Sedangkan dari jumlah sampah organik dan kapasitas digester yang berbeda, volume gas dan energi listrik yang dapat dibangkitkan di TPS 3R Dharmais Kelurahan Kencana adalah 5,5 m<sup>3</sup> dan 33,55 kWh lebih kecil dibandingkan dengan di TPS 3R Taruna Kompos Kelurahan Mulyaharja dan TPS 3R Ceremai Kelurahan Cipaku.

Harga pembelian tenaga listrik per kWh dari PLTBg oleh PT PLN (Persero) lebih mahal dibandingkan dengan harga listrik yang berasal dari energi fosil (energi batubara) dan masih menjadi yang diminati investor karena harga batubara cenderung murah dan dapat menghasilkan energi yang cukup besar jika dibandingkan dengan Energi Baru Terbarukan dari PLTBg, sehingga Energi Baru Terbarukan dari PLTBg sulit berkembang di Indonesia.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Apriaji, Hary. 2004. *Memproses Sampah*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Al Seadi, Teodorita. 2008. *Biogas Handbook*. Esbjerg: University of Southern Denmark.
- Design of Biogas Plant, Bio-gas Project, LGED: Preparing this training material all the important information have been collected from the booklets & research materials of Biogas Training Center (BRC) Chendu, Sichuan, China.
- Dewangga, Anugera. 2011. *Generator Sinkron*. <https://anggadewangga.wordpress.com/2011/03/28/generator-sinkron/>. Diakses pada tanggal 20 maret 2017.
- Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor, 2016.
- Faizah. 2008. *Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Berbasis Masyarakat (Studi Kasus di Kota Yogyakarta)*. Semarang: Tesis pada Universitas Diponegoro.
- Ibrahim, Hamza. 1991. *Pegantar Teknik Tenaga Listrik*, Yogyakarta: Andi Offset.
- J., S., Slamet. 2002. *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Asmare, Molla. 2014. *Design of Cylindrical Fixed dome Bio Digester in the Condominium Houses for Cooking Purpose at Dibiza Site, East Gojjam, Ethiopia*. American Journal of Energy Engineering. Vol. 2, No. 1, 2014, pp. 16-22.
- Pramana, Kurniawan. 2011. *Generator Sinkron*. <https://kurniawanpramana.wordpress.com/2011/11/04/generator-sinkron-3/>. Diakses pada tanggal 31 Oktober 2016.

Republik Indonesia. Peraturan Menteri. 2015. *Pembelian Tenaga Listrik oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) dari Pembangkit Listrik Berbasis Sampah Kota*. Jakarta: Sekretariat Negara.

Republik Indonesia. Peraturan Menteri. 2016. *Pembelian Tenaga Listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa dan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas oleh PT. Perusahaan Listrik Negara*. Jakarta: Sekretariat Negara.

S., Alex 2012. *Sukses Mengolah Sampah Organik Menjadi Pupuk Organik*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press.

Simamora, Salundik dan Sri. 2006. *Membuat Biogas Pengganti Bahan Bakar Minyak dan Gas dari Kotoran ternak*. Jakarta: Agromedia Pustaka.

Sumantri, Arif. H. 2010. *Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: PT.Fajar Interpratama Mandiri.

Suyitno; Nizam, Muhammad; Dharmanto. 2010. *Teknologi Biogas*, Yogyakarta: Graha Ilmu.

TPS 3R Ceremai Kelurahan Cipaku Kecamatan Bogor Selatan Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor, 2016.

TPS 3R Dharmais Kelurahan Kencana Kecamatan Tanah Sareal Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor, 2016.

TPS 3R Taruna Kompos Kelurahan Mulyaharja Kecamatan Bogor Selatan Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor, 2016.

Wahyuni, Sri. 2011. *Ringkasan Makalah Biogas Energi Terbarukan Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan*.<http://www.opi.lipi.go.id/data/1228964432/data/13086710321321257022.makalah.pdf>. Diakses pada tanggal 18 Februari 2017.

Wahyuni, Sri. 2015. *Panduan Praktis Biogas*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Wibawa, Unggul. 2001. *Sumber Daya Energi Alternatif*. Malang: Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Wintoko, Bambang. 2012. *Panduan Praktis Mendirikan Bank Sampah Keuntungan Ganda Lingkungan Bersih dan Keamanan Finansial*, Yogyakarta: Pustaka Baru Press.

Zuhal. 1998. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

## RIWAYAT PENULIS

1. **Engkos Kausar, S.T**, Alumni Tahun 2017 Program Studi Elektro – Fakultas Teknik – Universitas Pakuan Bogor.
2. **Prof. Dr. Ir. H. Didik Notosudjono, M.Sc**, Guru Besar dan Staf Dosen Program Studi Elektro - Fakultas Teknik – Universitas Pakuan Bogor .
3. **Ir. Dede Suhendi, M.T**, Ketua Program Studi Elektro - Fakultas Teknik – Universitas Pakuan Bogor.