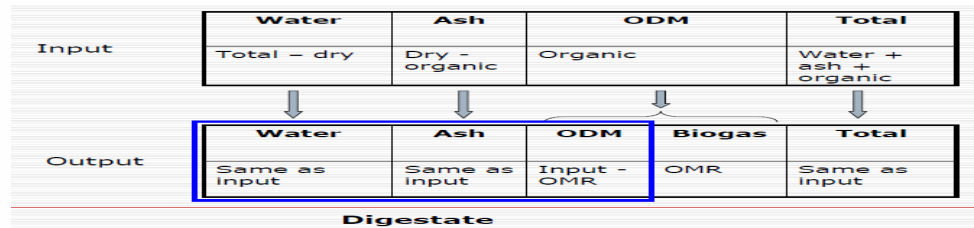


LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. Contoh Perhitungan Produksi Biogas Sampah Organik

Untuk berat limbah organik yang diolah 50 ton perhari, maka
 Bila ditentukan (berdasarkan hasil riset laboratorium/uji sampel berkala) nilai DM (30%),
 ODM (90%) dan OMR (66,7%) maka produksi biogas teoritis adalah (dari tabel di bawah
 ini dapsat diketahui):



DM = 30% X 50 = 15 (ton/hari), ODM = 90% X 15 = 13,5 (ton/hari) dan ODMR = 66,7% X 13,5 = 9,004 (ton/hari)

Karena produksi biogas secara teoritis setara dengan pengurangan limbah organik kering (ODMR atau OMR) maka setiap hari dihasilkan biogas sebanyak 9004 Kg, sebagaimana diperlihatkan gambar berikut ini

Input (ton/hari)	Air	Kadar Abu	ODM	Total
	35	1,5	13,5	50
Output (ton/hari)	Air	Kadar Abu	ODM	Biogas
	35	1,5	4,5	9
				Total
				50

Bila Biogas terdiri dari gas metan 60%, dan volume digester 3.000 m³, maka

- Volume biogas dihasilkan = setara dengan ODMR = 9,004 ton perhari
 Bila diketahui jenis limbah organik (untuk limbah MSW dengan Produksi biogas 0,31 – 0,35 m³/kg dry solid) maka volume biogas
 = antara (0,31 X 13.500) = 4.185 kg dan (0,35 X 13.500) = 4.725 kg
- Specific Loading Rate (laju penambahan bahan organik spesifik)
 = (ODM/Volume Digester) = (9.004/3.000) = 3 kg/m³ perhari.
- Hydraulic Retention Time =(volume digester/daily feed rate)
 Dengan asumsi 1 m³ = 1 ton, dan HRT sampai dengan proses menghasilkan biogas
 maka = 3.000 m³/50 m³ perhari = 60 hari
 Bila HRT dilakukan sampai proses ODM terjadi maka (belum pada fase pembentukan biogas), maka = 3000 m³ / 41 m³ perhari = 73, 170 hari.
- Spesifik Biogas Production (SBP) = (biogas production/Digester Volume) secara teoritikal = 9.004 kg / 3.000 m³ = 3 kg/m³
 Untuk limbah MSW dengan Produksi biogas 0,31 – 0,35 m³/kg dry solid) maka SBP
 adalah = 4.185 m³ / 3000 kg = 1,40 m³/kg dan = 4.725 kg/ 3000 m³ = 1,58 m³/kg
- Spesifik Methane Production (SMP) = volume % CH₄ (m³/day)/OM Loading Rate .
 Secara teoritis produksi biogas 9.004 kg setara dengan = (0.6 x 9.004)/13.500= 0.40 m³/kg

Lampiran 2. Contoh Rancangan Digester Limbah Organik Mal Metropolitan

- Salah satu potensi limbah yang ada adalah limbah sanitasi toilet (feces dan urine). Dalam tulisan ini diberikan contoh pembuatan digester anaerob secara sederhana untuk limbah organik dari toilet^{[14]20}, dengan asumsi pengunjung 2000 orang perhari.
- Perhitungan Volume Ruang Digester dan Ruang Hidrolik.
Untuk memberikan gambaran lengkap tentang pembuatan digester anaerob biogas, maka akan disimulasikan contoh pembuatan digester biogas tipe mengambang (floating drum tank) untuk pada sistem sanitasi toilet Sulabh^{[14]20} yang banyak digunakan di beberapa negara di Asia.

- Data Perhitungan
Dengan mengasumsikan penggunaan toilet oleh 2000 orang, dengan berat badan rata-rata 50-60 kg per orang. Temperatur udara sekitar rata-rata 30°C, maka dapat ditentukan jumlah biogas yang dihasilkannya dan rancangan dimensi tangki digester anaerob yang akan dipasang di mal Metropolitan untuk pengunjung 2000 orang perhari.

- Penyelesaian Perhitungan
Dari gambar di bawah ini diketahui berat rata-rata feces orang Indonesia/Malaysia antara 0.40 - 0.5 kg per orang perhari dan lama proses penguraian (HRT) berkisar 60 sampai dengan 90 hari (dari sumber yang berbeda HRT kotoran manusia dengan system sanitasi toilet Sulabh, India hanya 30-50 hari)^[20]

Maka: - Total limbah organik = 0.5 kg X 2000 = 1000 kg/hari
 - Total Solid (TS) limbah organik = 0,2 X 1000 Kg = 200 KG

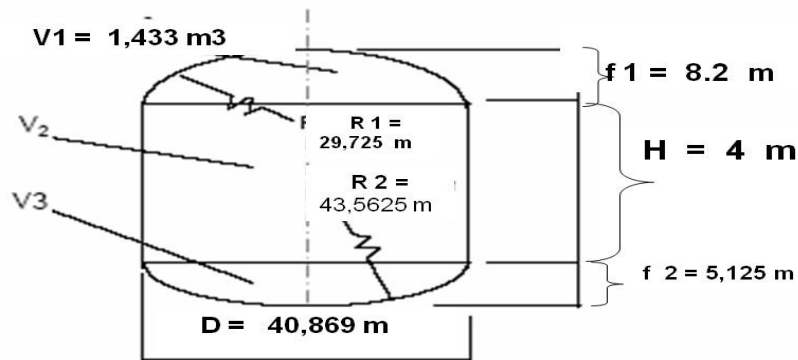
Data nilai Total Solid (TS) dapat dilihat dari tabel produksi gas per kg total solid matrial organik dibawah ini

Materials	Dry Matter Content (%)	Water Content (%)
Dry Rice Straw	83	17
Dry Wheat Straw	82	18
Corn Stalks	80	20
Green Grass	24	76
Human Excrement	20	80
Pig Excrement	18	82
Cattle Excrement	17	83
Human Urine	0.4	99.6
Pig Urine	0.4	99.6
Cattle Urine	0.6	99.4

- Untuk mendapatkan konsentrasi pengenceran matrial organik ideal (dengan kepekatan 8%) maka :
 $8 \text{ Kg Solid} = 100 \text{ Kg influent}$ atau $1 \text{ Kg Solid} = 100/8 \text{ Kg influent}$
 $200 \text{ Kg Solid} = 100 \times 200 / 8 = 2500 \text{ Kg. influent}$
 Maka total influent dibutuhkan 2500 kg.
- Air yang ditambahkan untuk mencapai kondisi 8% dari konsentrasi TS
 $= 2500 \text{ Kg} - 1000 \text{ kg} = 1500 \text{ kg}$ (ini bisa diambil dari limbah cair toilet yang dialirkan ke tangki digester)
- Volume kerja digester (Working volume digester) = $V_{gs} + V_f$
 Dimana: $V_{gs} + V_f = Q \cdot \text{HRT}$

- = 2500 Kg/hari X 30 hari (ditentukan HRT = 70 hari)
- = 177.500 Kg (1000 Kg = 1 m³) = 75 m³
- Dari asumsi persamaan geometrical, diperoleh
 - $V_{gs} + V_f = 0.80 V$ atau $V = (V_{gs} + V_f) / 0.80 = 93,75 \text{ m}^3$
 - $D = 1.3078 V^{1/3} = 40,869 \text{ m}$ (dibulatkan ke 41 m)
 - Dari persamaan $V_3 = 0.3142 D^3$ (dimana $D^3 = f_1 + f_2 + H$)
 - Bila diasumsikan $H = 4 \text{ m}$, maka dari nilai D dan H yang diperoleh yakni:
 - $f_1 = D/5 = 41 / 5 = 8.2 \text{ m}$ dan $f_2 = D/8 = 41/8 = 5,125 \text{ m}$
 - $R_1 = 0.725 D = 29,725 \text{ m}$ dan $R_2 = 1.0625 D = 43,5625 \text{ m}$
 - $V_1 = 0.0827 D^3 = 1,433 \text{ m}^3$ dan $V_c = 0.05V = 11,094 \text{ m}^3$

Sekarang dapat dilihat dimensi ruangan tangki digester sebagai rancangan digester limbah toilet Mal Metropolitan Bekasi sebagai berikut,



- Perhitungan isi ruangan hidrolik (hydraulic chamber)
 - Dari asumsi : $V_c = 0.05V = 11,094 \text{ m}^3$
 - $V_{gs} = 0.50 \times (V_{gs} + V_f + V_s) \times K$
 - Dimana K = laju produksi gas tiap m³ per hari dan dari tabel di bawah ini diperoleh nilai K untuk manusia = 0,43

Laju produksi biogas gas tiap total solid limbah toilet feces manusia (*human waste*) berasal dari tabel di bawah ini untuk temperatur berbeda (m³/Kg TS) ^[14].

Materials	Production Rate at Temperature 35°C (m ³ /Kg TS)	Production Rate at Temperature 8°C-25°C (m ³ /Kg TS)
Pig Manure	0.45	0.25-0.30
Cattle Dung	0.30	0.20-0.25
Human Waste	0.43	0.25-0.30
Rice Straw	0.40	0.20-0.25
Wheat Straw	0.45	0.20-0.25
Green Grass	0.44	0.20-0.25

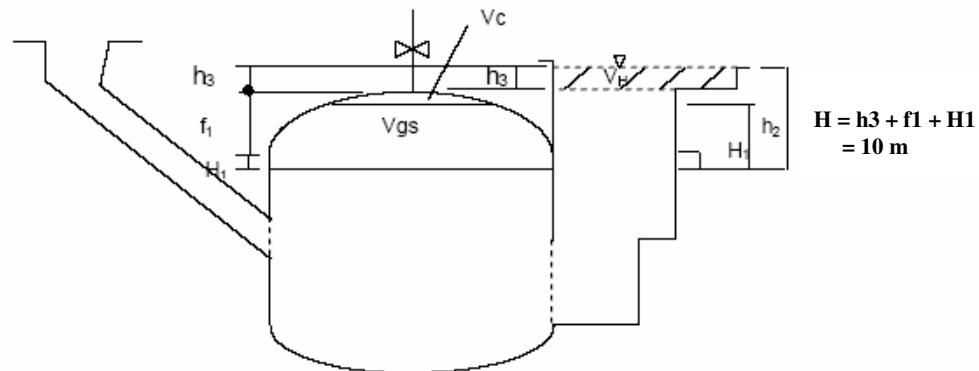
Maka $V_{gs} = 0.5 \times 5.7 \times 0.4 = 0.5 \times (14,063 + 75) \times 0.43 \text{ m}^3$
 $= 19,148 \text{ m}^3$

Kemudian diketahui $V_{gs} = 50\%$ dari produksi gas di ruangan (daily gas yield)

Maka $V_{gs} = 0.5 \times TS \times \text{laju produksi gas per Kg total solid}$.

$$\begin{aligned} \text{Sehingga diperoleh laju produksi biogas dalam tangki tiap matrial padatan (TS), } V_{gs} &= 0.5 \times (1000 \text{ kg} \times 0.20) \times 0.43 \text{ m}^3/\text{kg TS} \\ &= 43 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berikut gambar ruang hidrolis (ruang penampungan biogas) pada anaerob digester silinder ^[14].



Dari nilai V_{gs} ($19,148 \text{ m}^3$) dan sebesar (43 m^3) ditetapkan nilai yang terbesar sebagai acuan sehingga :

$$V_c + V_{gs} = 11,094 \text{ m}^3 + 43 \text{ m}^3 = 54,094 \text{ m}^3$$

Kembali ditinjau persamaan berikut:

$$V_1 = [(V_c + V_{gs}) - \{p D^2 H_1\}/4]$$

$$1,433 = [54,094 - \{3.14 \times (2.4)^2 \times H_1\}/4]$$

$$H_1 = [54,094 - 1,433] / (3.14 \times 41 \times 2)$$

$$= 0,205 \text{ m}$$

Dapat ditentukan sendiri nilai h ($h > f_1$) dan dalam hal ini . tetapkan $h = 10$ meter, maka

$$h = h_3 + f_2 + H_1 \text{ atau } h_3 = 1.595 \text{ m}$$

Dari asumsi geometris juga diketahui $V_{gs} = VH$, artinya biogas akan menempati seluruh ruang penyimpanan gas bahkan akan mendorong ruang itu (*floating drum digester type*) sesuai dengan volume gas yang dihasilkan.

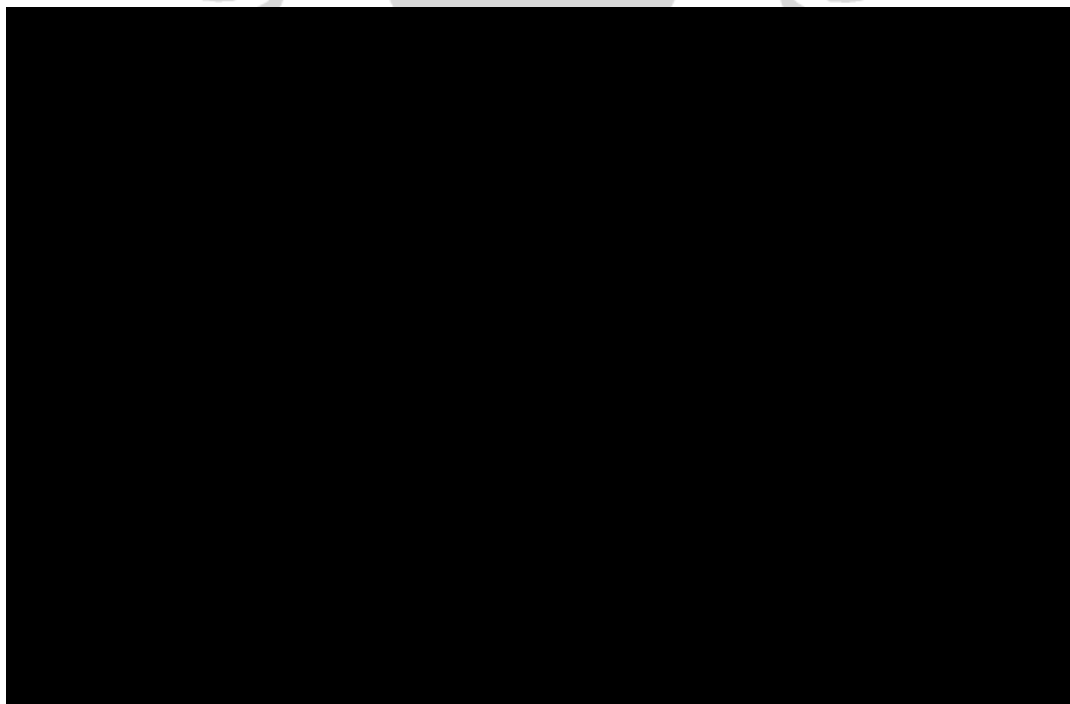
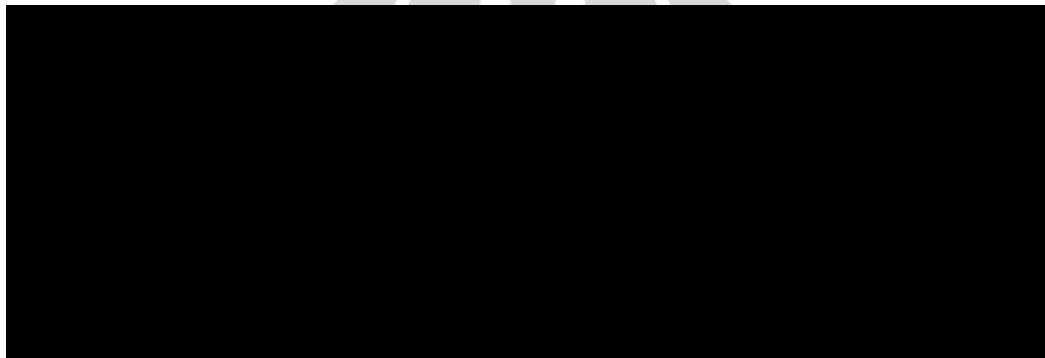
$$\text{Maka } 43 \text{ m}^3 = VH$$

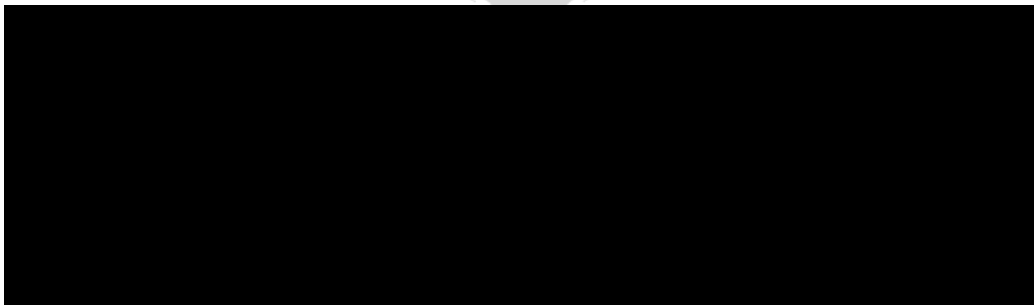
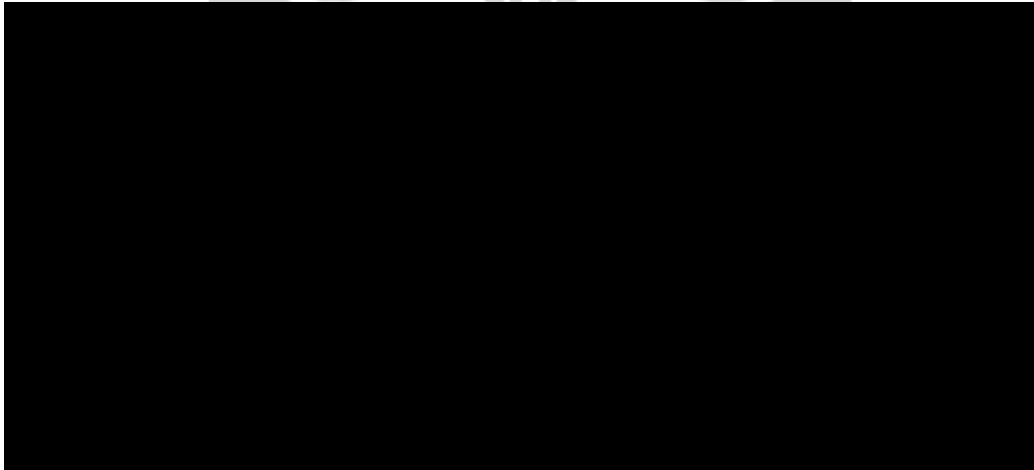
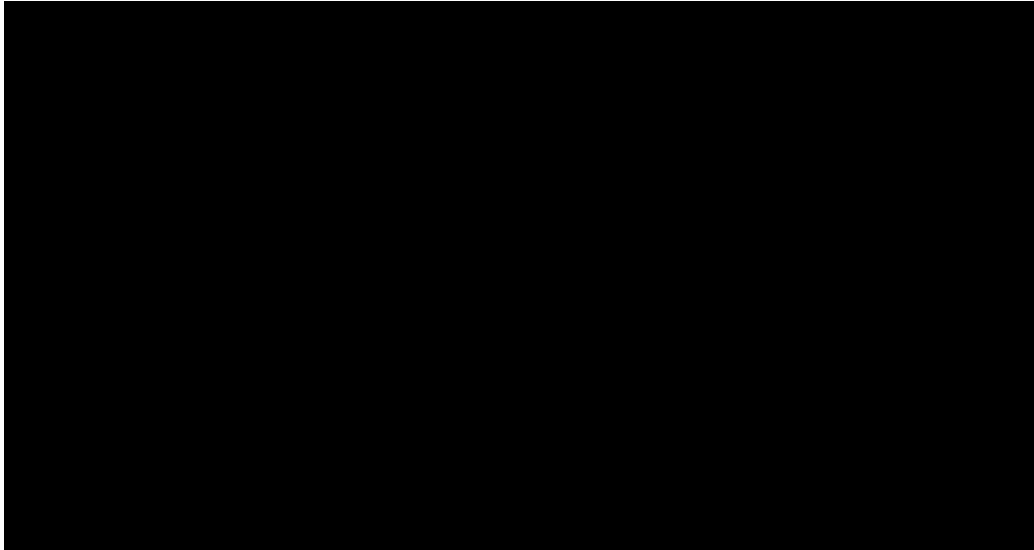
$$\text{Atau } 43 \text{ m}^3 = [3.14 \times (DH)^2 \times h_3]/4$$

$$\text{Sehingga } DH = 5,860 \text{ m}$$

Dengan mengetahui dimensi ruangan hidrolis tempat penyimpanan biogas, dapat dirancang *digester anaerob*. Dari hasil perhitungan terlihat sekilas tinggi $h = 10$ meter, namun karena biogas bukan gas murni gas alam murni dan tekanannya juga dapat dikontrol, maka dimensi pembuatan *digester anaerob* dapat diminimalisir sesuai bentuk atau ketersediaan lahan.

Lampiran 3. Segmentasi Pemanfaatan Energi Listrik Mal Metropolitan
Periode Oktober 2009





Lampiran 4. Karakteristik dan Pola Operasi *Water Heater* Hotel Horizon

Sistem Penyediaan dan Penyaluran air Panas	Data Teknis	
	Jumlah	Satuan
1. Hot Water Heater	2	Unit
2. Karakteristik Operasional untuk 1 (satu) unit water heater		
a. Kapasitas Uap (setara 6285.7 kkal Celcius/Jam)	175,000	kkal steam /jam
b. Jumlah	1	unit
c. Max temperatur hot water	54	celcius
d. Setting temperatur normal	52	celcius
e. Minimum seting temperatur	48	celcius
f. Konsumsi bahan bakar solar (rata-rata)	350	L/hari
g. Jam operasi efektif perhari	8	Jam
h. Konsumsi solar efektif(L/jam)	43.75	L/Jam
i. Konsumsi solar efektif (kg/jam)	23	kg
j. Konsumsi solar efektif(kalori)	225,000	kkal
k. Konsumsi solar efektif (joule)	60,750	Joule
l. Energi yang dihasilkan (watt detik)	60,750	watt detik
m. Tangki utama penyimpanan air	5,000	L
n. Tangki penyimpanan air panas	500	L
o. Biaya investasi per unit (termasuk instalasi)	260,000,000	Rupiah

POLA OPERASI HARIAN WATER HEATER (MILIK HOTEL HORIZON)						
JAM	UNIT OPERASI		JUMLAH BBM/JAM OPERASI			JADWAL OPERASI
	UNIT 1	UNIT 2	BBM UNIT 1/JAM OPERASI	BBM UNIT 2/JAM OPERASI		
0:00	OFF	OFF	0	0	0	0 UNIT 1 DAN UNIT 2 OFF
1:00	OFF	OFF	0	0	0	0 UNIT 1 DAN UNIT 2 OFF
2:00	OFF	OFF	0	0	0	0 UNIT 1 DAN UNIT 2 OFF
3:00	OFF	OFF	0	0	0	0 UNIT 1 DAN UNIT 2 OFF
4:00	OFF	OFF	0	0	0	0 UNIT 1 DAN UNIT 2 OFF
5:00	ON	ON	0	0	21.875	0.5 UNIT 2 ON 1/2 FULL LOAD, UNIT 1 OFF (ATAU SEBALIKNYA)
6:00	ON	ON	43.75	0.5	0	0 UNIT 1/2 FULL LOAD, UNIT 2 OFF (ATAU SEBALIKNYA)
7:00	ON	ON	43.75	1	21.875	0.5 UNIT 1 FULL LOAD, UNIT 2 ON 1/2 FULL LOAD (ATAU SEBALIKNYA)
8:00	ON	ON	0	0.5	21.875	0.5 UNIT 1 OFF, UNIT 2 ON 1/2 FULL LOAD
9:00	ON	OFF	0	0	21.875	0.5 UNIT 2 ON 1/2 FULL LOAD, UNIT 1 OFF (ATAU SEBALIKNYA)
10:00	OFF	ON	21.875	0.5	0	0 UNIT 1 ON 1/2 FULL LOAD, UNIT 2 OFF (ATAU SEBALIKNYA)
11:00	OFF	ON	0	0	21.875	0.5 UNIT 2 ON 1/2 FULL LOAD, UNIT 1 OFF (ATAU SEBALIKNYA)
12:00	OFF	ON	21.875	0.5	0	0 UNIT 1 ON 1/2 FULL LOAD, UNIT 2 OFF (ATAU SEBALIKNYA)
13:00	OFF	ON	0	0	21.875	0.5 UNIT 2 ON 1/2 FULL LOAD, UNIT 1 OFF (ATAU SEBALIKNYA)
14:00	OFF	ON	21.875	0.5	0	0 UNIT 1 ON 1/2 FULL LOAD, UNIT 2 OFF (ATAU SEBALIKNYA)
15:00	ON	ON	43.75	1	43.75	1 UNIT 1 DAN UNIT 2 FULL LOAD
16:00	ON	ON	43.75	1	43.75	1 UNIT 1 DAN UNIT 2 FULL LOAD
17:00	ON	ON	0	0	43.75	1 UNIT 2 ON FULL LOAD, UNIT 1 OFF (ATAU SEBALIKNYA)
18:00	ON	ON	21.875	0.5	0	0 UNIT 1 ON 1/2 FULL LOAD, UNIT 2 OFF (ATAU SEBALIKNYA)
19:00	ON	OFF	0	0	43.75	1 UNIT 2 FULL LOAD, UNIT 1 OFF (ATAU SEBALIKNYA)
20:00	OFF	ON	43.75	1	0	0 UNIT 1 FULL LOAD, UNIT 2 OFF (ATAU SEBALIKNYA)
21:00	ON	OFF	21.875	0.5	0	0 UNIT 1 ON 1/2 FULL LOAD, UNIT 2 OFF (ATAU SEBALIKNYA)
22:00	OFF	ON	0	0	21.875	0.5 UNIT 2 ON 1/2 FULL LOAD, UNIT 1 OFF (ATAU SEBALIKNYA)
23:00	OFF	OFF	0	0	0	0 UNIT 1 DAN UNIT 2 OFF
JAM OPERASI/2 UNIT			328.125	7.5	328.125	7.5

Lampiran 5. Parameter Ekonomi Perangkat Lunak EconCalculator Biogas

Parameter Ekonomi
<i>Taxes</i>
Federal Tax Rate (%)
State Tax Rate (%)
Production Tax Credit (\$/kWh)
Income other than energy
Electricity Capacity Payment (\$/kW-y)
Interest Rate on Debt Reserve (%/y)
Sales price for sludge (\$/t)
<i>Escalation/Inflation</i>
General Inflation (%/y)
Escalation--Fuel (%/y)
Escalation for Production Tax Credit (%/y)
Escalation--Heat sales (%/y)
Escalation--Sludge sales (%/y)
Escalation--Other (%/y)
<i>Financing</i>
Debt ratio (%)
Interest Rate on Debt (%/y)
Economic Life (y)
Cost of equity (%/y)

Lampiran 6. Perhitungan CER Gas Metan Pada Mal Metropolitan.

Bila potensi CER diperhitungkan, keberadaan pembangkit PLTBiogas ini memberikan kontribusi pengurangan polusi dan memperoleh manfaat ekonomi sebagai berikut:

- Bila ditentukan 1 M³ Gas setara 0,672 Kg Gas dan 1 Kg CH₄ setara 21 Kg CO₂ dan diasumsikan komponen biogas yang ada mengandung CH₄ (60%) dan CO₂ (38 %) dan lainnya 2%.
- Potensi gas metan yang dihasilkan digester anaerob pada mal Metropolitan sebesar 122.795,36 M³ pertahun 73.677,22 M³ CH₄ pertahun.
- Harga 1 *certificate emission reduction* (CER) adalah US\$ 10 dan 1 CER setara dengan 1000 Kg CO₂
- Maka CH₄ yang dikonversikan menjadi CO₂ pertahun:
= 21 x 73.677,22 x 0.672 = 1.039.733 Kg Gas CO₂
- Nilai 1 CER = 1000 Kg CO₂ adalah
= 1.039,733 CER CO₂ pertahun
- Nilai CER potensi biogas pada mal Metropolitan pertahun:
= 1.039,733 x 10 US\$ = 10.397 US\$/tahun.