

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Pola pikir.**

Dalam penyelesaian thesis ini digunakan pola pikir yang dimaksudkan agar thesis tetap dalam koridor identifikasi masalah serta penyelesaian masalahnya. Pola pikir ini ini berbentuk diagram alur yang dapat dilihat pada bagian lampiran 2 yang ada pada thesis ini.

#### **3.2. Skenario dalam penyelesaian masalah.**

Secara garis besar adalah membandingkan konfigurasi pasokan listrik yang dipakai oleh BTS selular selama ini yaitu konfigurasi listrik dari PLN dan diesel genset sebagai tenaga cadangan dengan konfigurasi listrik PLN dan genset gas yang menggunakan bahan bakar LPG, CNG dan natural gas yang disuplai oleh gas kota. Selain itu juga dianalisa pemanfaatan energi surya.

Skenario yang disusun guna menganalisa penyediaan serta jaminan ketersediaan energi listrik adalah sebagai berikut :

1. Genset solar dan genset gas bahan bakar LPG.
  - a. Genset gas bahan bakar LPG sebagai sumber tenaga utama dan sumber tenaga cadangan. Dalam hal ini artinya ada 2 buah genset yang selanjutnya kita sebut Genset gas LPG (1+1). Selanjutnya skenario ini disebut skenario 1A.
  - b. Genset gas bahan bakar LPG sebagai sumber tenaga cadangan. Dalam hal ini artinya ada 1 buah genset gas yang selanjutnya kita sebut Genset gas LPG (1+0). Selanjutnya skenario ini disebut skenario 1B.
  - c. PLN sebagai sumber tenaga utama dan genset solar sebagai sumber tenaga cadangan. Selanjutnya skenario ini disebut skenario 1C.
2. Genset solar dan genset gas bahan bakar CNG.
  - a. Genset gas bahan bakar CNG sebagai sumber tenaga utama dan sumber tenaga cadangan. Dalam hal ini artinya ada 2

buah genset yang selanjutnya kita sebut Genset gas CNG (1+1). Selanjutnya skenario ini disebut skenario 2A.

- b. Genset gas bahan bakar CNG sebagai sumber tenaga cadangan. Dalam hal ini artinya ada 1 buah genset gas yang selanjutnya kita sebut Genset gas CNG (1+0). Selanjutnya skenario ini disebut skenario 2B.
- c. PLN sebagai sumber tenaga utama dan genset solar sebagai sumber tenaga cadangan. Selanjutnya skenario ini disebut skenario 2C.

3. Genset solar dan genset gas bahan bakar gas kota.

- a. Genset gas bahan bakar gas kota sebagai sumber tenaga utama dan sumber tenaga cadangan. Dalam hal ini artinya ada 2 buah genset yang selanjutnya kita sebut Genset gas gas kota (1+1). Selanjutnya skenario ini disebut skenario 3A.
- b. Genset gas bahan bakar gas kota sebagai sumber tenaga cadangan. Dalam hal ini artinya ada 1 buah genset gas yang selanjutnya kita sebut Genset gas gas kota (1+0). Selanjutnya skenario ini disebut skenario 3B.
- c. PLN sebagai sumber tenaga utama dan genset solar sebagai sumber tenaga cadangan. Selanjutnya skenario ini disebut skenario 3C.

4. Panel Surya.

- a. Pada skenario ini penggunaan sel surya pada BTS dengan akan dibandingkan dengan listrik yang berasal dari PLN. Selanjutnya skenario ini disebut skenario 4.

Skenario 1 hingga 3 nantinya akan dihitung revenue margin NPV berdasarkan simulasi pemadaman listrik PLN dalam jam per minggu dan generator mengambil alih tugas suplai listrik. Variabel pemadaman akan menentukan biaya operasi daripada BTS.

Untuk skenario 4 ditujukan kepada daerah – daerah dimana akses terhadap sumber gas, produk gas (CNG ataupun LPG) sangat sulit dan mahal.

Selain itu seiring dengan rencana penggunaan natural gas yang bersumber dari gas kota sebagai sumber bahan bakar, akan diteliti berapa jarak ekonomis antara pipa distribusi ke metering yang terletak di BTS. Dalam penentuan jarak ekonomis ini akan disimulasikan jarak pipa dari *tapping point* gas kota ke generator sebagai variabel yang akan menghasilkan nilai investasi yang berbeda sebagai fungsi dari jarak kemudian dibandingkan dengan nilai investasi dari pemakaian CNG, LPG dan Solar.

### 3.3. Unit Konversi dan Penetapan konstanta.

Unit konversi dan penetapan konstanta dalam thesis ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Untuk tinjauan Tehnis.

- 1 Tahun = 365 hari.
- 1 Tahun = 52 minggu.
- 1 Hari = 24 jam.
- 1 Feet = 0.305 meter.
- Nilai Kalori daripada LPG = 21,000 BTU/Lb. <sup>12</sup>
- Nilai kalori dari CNG = 8,600 Kcal/m<sup>3</sup> = 34,128 BTU/m<sup>3</sup>.
- Nilai kalori gas kota <sup>13</sup>= 900 BTU/Ft<sup>3</sup> = 30,000 BTU/m<sup>3</sup>.
- 1 MMBTU = 293.1 KWH atau 1 KWH = 3,412 BTU.
- 1000 ft<sup>3</sup> = 1 MMBTU.
- 1 ft<sup>3</sup> = 0.0283 m<sup>3</sup>.
- 1GJ = 0.9478 mmbtu.
- 1GJ = 1,000 MJ
- Power factor = 1 untuk penggunaan PLN dan Genset gas (Seperti tercantum dalam datasheet genset gas).
- Biaya maintenance genset adalah sebesar 7% dari nilai Capex per tahunnya.
- Biaya maintenance pipa gas ditetapkan sebesar USD \$0.3/mmbtu. <sup>14</sup>

Universitas Indonesia

## 2. Untuk tinjauan Net Margin NPV.

- 1 USD (United States Dollar ) = Rp 9,500,-
- Harga gas kota di level pipa transmisi ditetapkan sebesar \$5.76/MMBTU. <sup>15</sup>
- LPG yang dipakai adalah kelas 50 Kg/tabung.
- Harga LPG untuk saat ini adalah Rp 7,355/Kg.
- Harga CNG untuk saat ini Rp 4,365/m<sup>3</sup> <sup>16</sup> (Sudah termasuk harga tangki penyimpanan, instalasi, gas metering, pressure reduction unit (PRU) dan PPN 10%.
- Harga BBG adalah Rp 2,562 per liter setara premium (LSP) <sup>17</sup>
- Harga Solar Industri untuk saat ini Rp 6,100 per liter.
- Tarif PLN adalah kategori multiguna dengan tarif sebesar Rp 1,380/KWH. <sup>18</sup>
- Harga tanah dalam kaitannya dengan pembebasan tanah adalah sebesar Rp 1,500,000 / m<sup>2</sup> untuk daerah perkotaan dan Rp 1,000,000 /m<sup>2</sup> untuk daerah kabupaten dan daerah terisolasi.
- Tinjauan investasi selama 15 tahun berdasarkan asumsi umur bangunan BTS.
- Tahun investasi adalah tahun 2009 yang merupakan tahun ke-0 dalam tinjauan keekonomian.

### 3.4. Komposisi gas.

Gas density dari gas kota perlu dihitung guna perhitungan dimensi pipa menggunakan rumus Penhandle A. Data gas gas kota mengambil sampel sebagai berikut :

Tabel 3- 1 : Sampel gas kota

Component	Mole Fraction (Y <sub>i</sub> )	Component	Mole Fraction (Y <sub>i</sub> )	Component	Mole Fraction (Y <sub>i</sub> )	Component	Mole Fraction (Y <sub>i</sub> )
N2	0.006741	C2	0.038864	nC5	0.000785	nC8	0.000017
CO2	0.033452	C3	0.018811	iC5	0.001917	nC9	0.000059
H2S	0.000001	iC4	0.003872	nC6	0.00145	nC10	0
C1	0.888827	nC4	0.004584	nC7	0.00062	H2O	0.00002

Sumber : Simulasi Proses Untuk Jaringan Pipa Distribusi Gas Bumi, Universitas Indonesia, Herman Dinata Saputra, Desember 2009.

Tekanan pada pipa gas kota ditetapkan 120 kPa (1.2 Bar) dan suhu sebesar 30° celcius.

Perhitungan gas density dan kompresibilitas menggunakan rumus dari Kay's rule<sup>19</sup>. Rumus tersebut menyatakan :

$$P'c = \sum Y_i \times P_{ci} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$T'c = \sum Y_i \times T_{ci} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana :

Y<sub>i</sub> = Fraksi mol pada setiap komponen didalam mixture.

P<sub>ci</sub> = Nilai kritis Tekanan (psi).

T<sub>ci</sub> = Nilai kritis suhu (°R)

Hasil diatas akan memberikan nilai reduksi daripada tekanan dan suhu yang nantinya akan menentukan kompresibilitas faktor (Z) berdasarkan grafik Katz's kompresibilitas faktor.

Rumus tekanan (P'i) dan suhu (T'i) reduksi adalah sebagai berikut :

$$P'i = \frac{P}{\sum P'c} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$T'i = \frac{T}{\sum T'c} \dots\dots\dots(3.4)$$

P adalah tekanan pada pipa (psia) dan T adalah suhu gas (°R).

Aktual density gas (Lb/Ft<sup>3</sup>) dapat dihitung dengan formula:

$$Gas\ density = \frac{P \times MW'}{Z \times R \times T} \dots\dots\dots(3.5)$$

Dimana :

P = Tekanan pada pipa (psia)

MW' = Berat Molekul x Fraksi Mol

Z = Kompresibilitas Faktor

$$R = 10.73 \text{ psia ft}^3/(\text{lb-mol})(^\circ\text{R})^{20}$$

$$T = \text{Suhu Pipa } (^\circ\text{R})$$

Relative density daripada gas dihitung dengan formula sebagai berikut :

$$\frac{MW_{gas}}{28.97} \dots\dots\dots(3.6)^{21}$$

### 3.5. Tipe Generator.

#### 3.5.1. Generator Solar.

Dalam perhitungan kebutuhan generator berbahan bakar solar, mengacu pada data sheet / spesifikasi generator tersebut. Dataseheet yang diambil adalah Generator merk Cummins, model DNAD 60 Hz. Kebutuhan bahan bakar adalah sebagai berikut:

Tabel 3- 2 : Kebutuhan bahan bakar tipe Solar

Fuel Consumption		Standby				Prime			
60 Hz Ratings, kW (kVA)		11.5 (14.4)				10.4 (13.0)			
	Load	1/4	1/2	3/4	Full	1/4	1/2	3/4	Full
	US Gal/hr	0.41	0.62	0.86	1.07	0.37	0.56	0.78	0.97
	L/hr	1.6	2.3	3.3	4.0	1.4	2.1	3.0	3.7

Sumber : Cummin Power Generation Website

#### 3.5.2. Generator Gas

Dalam perhitungan kebutuhan generator berbahan bakar solar, mengacu pada data sheet / spesifikasi generator tersebut. Dataseheet yang diambil adalah Generator merk Cummins, model GNAB 60 Hz. Kebutuhan bahan bakar adalah sebagai berikut:

Tabel 3- 3 : Kebutuhan bahan bakar tipe natural gas

Fuel Consumption - Natural Gas		Standby				Prime			
60 Hz Ratings, kW (kVA)		10.0 (12.5)				9.0 (11.3)			
	Load	1/4	1/2	3/4	Full	1/4	1/2	3/4	Full
	cfh	72.0	94.7	120.0	144.0	TBD	TBD	TBD	134.3
	m <sup>3</sup> /hr	2.0	2.7	3.4	4.1	TBD	TBD	TBD	3.8

Sumber : Cummin Power Generation Website

Tabel 3- 4 : Kebutuhan bahan bakar tipe LPG

Fuel Consumption - Propane		Standby				Prime			
60 Hz Ratings, kW (kVA)		11.5 (14.4)				10.4 (11.6)			
	Load	1/4	1/2	3/4	Full	1/4	1/2	3/4	Full
	cfh	33.5	45.3	57.6	69.9	TBD	TBD	TBD	65.2
	m <sup>3</sup> /hr	0.9	1.3	1.6	2.0	TBD	TBD	TBD	1.8

Sumber : Cummin Power Generation Website

Tekanan suplai gas di titik *inlet* generator gas berbahan bakar natural gas ataupun LPG yang diperbolehkan adalah sebesar 34 hingga 270 kPa.<sup>22</sup>

### 3.6. Rumus perhitungan dimensi pipa.

#### 3.6.1. Tipe aliran gas dalam pipa.

Jenis aliran dalam pipa dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok<sup>23</sup> yaitu :

1. Aliran Laminer ( $Re < 2000$ ).
2. Aliran Transisi ( $2000 < Re < 2500$ ).
3. Aliran Turbulen ( $Re \geq 2500$ ).

Pengelompokkan tersebut diatas berdasarkan bilangan Reynold. Bilangan Reynold ( $Re$ ) tergantung daripada sifat – sifat gas, diameter pipa dan kecepatan aliran dalam gas. Bilangan Reynold ini merupakan bilangan yang tidak berdimensi. Persamaan dasar untuk mencari bilangan Reynold ( $Re$ ) adalah :

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \dots\dots\dots(3.8)$$

Dimana :

- Re = Bilangan Reynold.  
 $\rho$  = Densitas gas rata – rata ( $Lb/Ft^3$ ).  
 $V$  = Kecepatan rata – rata gas sepanjang pipa ( $Ft/s$ ).  
 $D$  = Diameter pipa bagian dalam ( $ft$ ).  
 $\mu$  = Viskositas gas ( $Lb/Ft.s$ ).

Aliran laminer adalah aliran dimana fluida dianggap mengalir pada lapisan masing – masing dengan kecepatan konstan dan tidak ada pencampuran partikel – partikel antar lapisan.

Universitas Indonesia

Aliran turbulen adalah aliran dengan kecepatan tinggi, fluida encer dan terjadi pencampuran partikel antar lapisan bahkan seperti bergulung – gulung.

### 3.6.2. Koefisien kekasaran pipa.

Faktor friksi merupakan suatu bilangan yang tidak berdimensi dimana bilangan tersebut menyatakan besarnya friksi atau gesekan yang terjadi di sepanjang pipa.

$$f = \frac{0.0195}{(Q\gamma d)^{0.1461}} \dots\dots\dots(3.9)$$

Dimana :

- Q = Gas Rate (m<sup>3</sup>/hari) .
- $\gamma$  = Relative density daripada gas.
- D = Diameter dalam pipa (m).

### 3.6.3. Persamaan aliran fluida gas.

Persamaan aliran fluida didalam pipa yang digunakan merupakan persamaan aliran fluida gas untuk perencanaan sistem pipa distribusi dan transmisi gas.

Rumus Panhandle A merefleksikan aliran gas pada pipa halus (*Smooth pipe*). Persamaan ini dapat dipakai pada sistem perpipaan dengan diameter besar (lebih dari 10 in) dan kapasitas alir (*flow rate*) yang tinggi serta aliran dengan bilangan Reynold 4 juta – 40 juta. Bentuk persamaan dari Panhandle A<sup>24</sup> sebagai berikut:

$$Q = K \left[ \frac{T_{sc}}{P_{sc}} \right]^{1.0788} \left[ \frac{(P_1^2 - P_2^2) d^{4.854}}{\gamma^{0.8541} L T_m Z_m} \right]^{0.5394} (E) \dots\dots\dots(3.11)$$

Dimana :

- Q = Gas Rate (m<sup>3</sup>/hari) .
- K = 1.364 x 10<sup>7</sup> .
- T<sub>sc</sub> = Suhu pada kondisi standar ( °K).
- P<sub>sc</sub> = Tekanan pada kondisi standar ( Kpa).



- P1 = Tekanan pada titik tapping pipa distribusi gas kota ke generator (Kpa).
- P2 = Tekanan pada titik generator (Kpa).
- L = Panjang dari pipa (meter).
- Tm = Suhu pada pipa distribusi ( °K).
- Zm = Kompresibility faktor.
- E = Effisiensi pipa.
- D = Diameter dalam pipa (m).
- $\gamma$  = Relative density daripada gas.

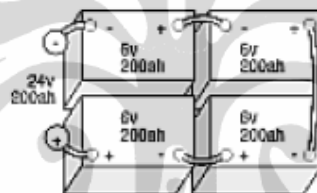
### 3.7. DASAR – DASAR ELEKTRONIKA.

Berikut adalah dasar – dasar di dalam ilmu elektronika yang banyak dipakai pada bab pembahasan.

- Volt : Nilai beda potensial listrik.
- Ampere : Nilai kuat arus listrik.
- Watt : Nilai daya listrik atau nilai suplai / konsumsi energi listrik.  
Watt merupakan bentuk perkalian antara volt x ampere.....(3.17).
- Watt–Jam : Merupakan energi yang disuplai / dikonsumsi selama waktu tertentu. Watt-Jam merupakan bentuk perkalian Watt x lama waktu (jam).....(3.18).
- Voltase pada maksimum daya (*Voltage at Maximum Power* atau  $V_{mp}$ ) merupakan voltase tertinggi yang dihasilkan oleh suatu sistim dan beroperasi pada saat effisiensi tertinggi. Nilai ini banyak ditemukan pada spesifikasi solar sel yang dikeluarkan oleh manufaktur yang bersangkutan.
- Kuat arus maksimum ( $I_{mp}$ ) merupakan kuat arus maksimum yang tersedia disaat solar panel dioperasikan pada kondisi effisiensi yang tertinggi .  $I_{mp}$  ini memiliki satuan ampere dan banyak ditemukan pada

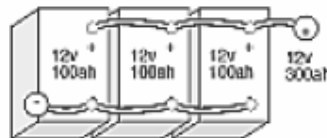
spesifikasi solar sel yang dikeluarkan oleh manufaktur yang bersangkutan.

- Pemasangan serial merupakan cara pemasangan beberapa sistim menjadi satu kesatuan dimana akan meningkatkan beda potensial tetapi tidak meningkatkan kuat arusnya. Misalkan kita memiliki 2 buah 6 volt baterai yang memiliki kuat arus sebesar 350 ampere, dengan mengkoneksikan terminal positif dari baterai pertama ke terminal negatif pada baterai lainnya maka kita akan mendapatkan nilai akhir 12 volt baterai dengan kuat arus sebesar 350 ampere. Misalkan kita memasang secara serial 4 buah baterai diatas maka akan didapatkan 24 volt – 350 ampere.



Gambar 3- 1 : Pemasangan secara serial

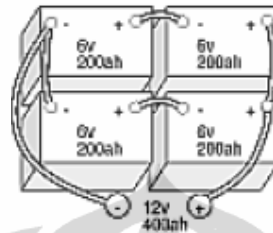
- Pemasangan paralel merupakan cara pemasangan beberapa sistim menjadi satu kesatuan dimana akan meningkatkan kuat arus tetapi tidak meningkatkan beda potensialnya. Misalkan kita memiliki 2 buah 6 volt baterai yang memiliki kuat arus sebesar 350 ampere, dengan mengkoneksikan terminal positif dari baterai pertama ke terminal positif pada baterai lainnya serta demikian juga antar terminal negatif maka kita akan mendapatkan nilai akhir 6 volt baterai dengan kuat arus sebesar 700 ampere.



Gambar 3- 2 : Pemasangan secara paralel.

- Pemasangan secara paralel dan serial merupakan kombinasi dari sistim pemasangan yang telah disebutkan diatas. Pada gambar dibawah terdapat 4 buah baterai dimana 2 baterai dipasang secara serial

(kelompok A) dan 2 baterai selanjutnya juga dipasang secara serial (Kelompok B). Kemudian kelompok A dan B dihubungkan secara paralel. Dari masing baterai yang memiliki spesifikasi 6 volt 200 ampere didapatkan 12 volt 400 ampere.



Gambar 3- 3 : Pemasangan secara paralel dan serial

### 3.8. Perhitungan sel surya (solar cell).

Langkah langkah dalam perhitungan kebutuhan sel surya adalah sebagai berikut:

1. Inventarisasi kebutuhan daya perangkat baik yang memiliki sistim AC (*Alternate Current*) ataupun DC (*Direct Current*).
2. Menghitung kebutuhan modul surya yang disesuaikan dengan *datasheet* sel surya yang dikeluarkan dari manufaktur sel surya yang bersangkutan,
3. Menghitung kebutuhan battery yang menampung arus DC yang dihasilkan oleh sel surya tersebut. Battery akan mensuplai arus listrik di malam hari atau pada saat terjadinya permasalahan cuaca dimana sel surya tidak secara optimum bekerja dalam menghasilkan listrik.

#### 3.8.1. Inventarisasi kebutuhan listrik.

Masing masing perangkat yang akan dipasang di dalam suatu BTS termasuk lampu penerangan ataupun pendingin ruangan membutuhkan daya dalam watt agar perangkat dapat berjalan. Kebutuhan daya tersebut dibuat dalam tabel yang terpisah ( daya dengan sistim AC (*Alternate Current*) dan daya dengan sistim DC (*Direct Current*) kemudian masing – masing dijumlah sehingga didapatkan total kebutuhan daya ( $P_{total}$ ). Total kebutuhan daya kemudian

dikalikan dengan lama pengoperasian alat dalam jam (T jam) tersebut sehingga didapatkan:

$$\text{Beban Kerja (Watt – Jam)} = P_{\text{total}} (\text{watt}) \times T(\text{jam}) \dots \dots \dots (3.19).$$

Formulir rencana kebutuhan daya seperti dibawah ini:

Tabel 3- 5 : Form rencana kebutuhan daya

**A. AC (Alternating Current) Load**

No	Deskripsi	Watts	Jam / Minggu	Sub Total Jam / Minggu	Keterangan
1.	Air Conditioning (AC) 1/2 PK - 2 Buah	720.00	168.00	120,960.00	
2.	Lampu Penerangan - 2 Buah	40.00	168.00	6,720.00	
<b>Sub Total AC</b>				<b>127,680.00</b>	(A)
Inverter Loss dan Battery Efficiency Factor				1.25	(B)
Inverter DC Input Voltage (12, 24, 48)				48.00	(C)
Total Amps Jam per Minggu				3,325.00	(D) = (A) x (B) / (C)
Pembulatan Keatas				3,325.00	(E)

**B. DC (Direct Current) Load**

No	Deskripsi	Watts	Jam / Minggu	Sub Total Jam / Minggu	Keterangan
1.	2/2/2 Single Band Telecomm System	781.00	168.00	131,208.00	
2.	Microwave (1+1)	100.00	168.00	16,800.00	
<b>Sub Total AC</b>				<b>148,008.00</b>	(F)
Sistim DC Voltage (12, 24, 48)				48.00	(G)
Total Amps Jam per Minggu				3,083.50	(H) = (F) / (G)
Pembulatan Keatas				3,084.00	(J)

**C. Total Amps Jam Per Hari**

Total Amps per Minggu untuk AC Load	3,325.00	(E)
Total Amps per Minggu untuk DC Load	3,084.00	(J)
Total Amps per Minggu untuk AC + DC Load	6,409.00	(K) = (E) + (J)
Total Amps per Hari untuk AC + DC Load	915.57	(L)

Sumber : <http://www.solar4power.com/solar-power-loads.html>.

### 3.8.2. Kebutuhan modul surya.

Pada perhitungan kebutuhan modul surya langkah yang perlu diketahui sebelumnya adalah :

1. Intensitas radiasi matahari di daerah kita dalam KWh/m<sup>2</sup>.
2. Spesifikasi dari modul surya yang akan kita pakai. Pada thesis ini, spesifikasi modul surya yang diambil dari produk “Canadian Solar” dengan tipe CS6C-120. Produk tersebut memiliki Optimum Operating Current (Imp) = 6.92 Ampere, Optimum Operating

Voltage ( $V_{mp}$ ) = 17.3 volt dan Nominal maximum power (P) pada standar test condition (STC) = 120 watt.

3. Dimensi daripada modul surya yang akan kita pakai dimana nantinya akan menentukan luas lahan yang diperlukan guna menempatkan modul surya tersebut. Modul surya dengan tipe diatas memiliki dimensi 1485 x 666 x 40 mm.
4. Spesifikasi dari baterai yang akan kita pakai. Pada perhitungan baterai yang dipakai adalah 2 volts 1500 Ah.

Perhitungan kebutuhan modul sel surya kemudian dapat dihitung seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 3- 6 : Form perhitungan kebutuhan modul surya

SOLAR ARRAY SIZING WORKFORM			
No	Deskripsi	Results	Keterangan
1.	Total Amps per Hari untuk AC + DC Load	915.57	(L)
2.	Battery Charge & Discharge factor tidak boleh dibawah 20%	0.80	(M)
3.	Intensitas Radiasi Matahari (KWh/M <sup>2</sup> )	5.17	(N)
4.	Total Solar Array Amps diperlukan	221.37	(P) = (L)/(M)/(N)
5.	Optimum Peak Amps Solar Module (Ambil dari Module Specification)	6.92	(Q)
6.	Jumlah Solar Module dalam paralel	31.99	(S) = (P)/(Q)
7.	Jumlah Solar Module dalam paralel (Pembulatan)	32.00	(T)
8.	Jumlah Module dalam series untuk DC battery Voltage	4.00	(W)
	DC Battery Voltage	48.00	
9.	Total Solar Module yang diperlukan	128.00	(X) = (T) x (W)
10.	Dimensi Solar Module		
	Panjang (m)	1.49	(Y)
	Lebar (m)	0.67	(Z)
	Luas Module (m <sup>2</sup> )	0.99	(i) = (Y) x (Z)
11.	Total Luas Module Keseluruhan (m <sup>2</sup> )	126.59	(ii) = (X) x (i)
12.	20% Faktor untuk inspeksi & maintenance	25.32	(iii) = 20% x (ii)
13.	Total Kebutuhan Lahan	151.91	(iv) = (ii)+(iii)
14.	Total Luas Lahan Pembulatan Terdekat	152.00	
		DC Battery Voltage (Volt)	Jumlah Module dalam tiap Series
		12	1
		24	2
		48	4

Sumber : [http://www.solar4power.com/solar-power-solar\\_form.html](http://www.solar4power.com/solar-power-solar_form.html)

Langkah perhitungan kebutuhan sel surya secara kasar (*Rough Estimate*) dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Inventarisasi kebutuhan daya keseluruhan (watt). Hitung pemakaian daya tersebut dalam 1 hari (misalkan 24 jam per hari) guna mendapatkan rencana pemakaian dalam 1 hari. Misalkan didapatkan kebutuhan daya dalam 1 hari untuk arus AC sebesar 18,240 watt jam dan arus DC sebesar 21,114 watt jam.

Universitas Indonesia

2. Tetapkan voltase yang dibutuhkan untuk mengoperasikan alat tersebut. Misalkan voltase yang dibutuhkan adalah 48 Volt DC.
3. Observasi lama sinar matahari yang optimum / intensitas sinar matahari optimum pada daerah yang akan dipasang sel surya tersebut. Biasanya data diberikan dalam KWh/m<sup>2</sup>. Misalkan didapat 5 KWH/m<sup>2</sup> maka intensitas matahari optimum pada daerah tersebut selama 5 jam.
4. Lihat datasheet yang diberikan oleh manufaktur sel surya tersebut, berapa output listrik yang dihasilkan. Biasanya nilai tersebut tertera pada Nominal maximum power (P) pada standar test condition (STC). Misalkan didapat P = 120 watt. Maka untuk 5 jam intensitas matahari, sel surya tersebut diharapkan mengeluarkan output sebesar 5 jam x 120 watt = 600 watt – jam.
5. Pertimbangkan efisiensi yang dihasilkan oleh baterai, inverter & sistim perkabelan. Untuk inverter & sistim pengkabelan terjadi kehilangan rata – rata sebesar 25%. Pengisian baterai diasumsikan pada saat kondisi 20% dari kondisi baterai penuh.
6. Jumlah sel surya yang didapatkan (n) adalah :

$$\frac{\text{Kebutuhan daya AC per hari} \times 1.25 + \text{daya DC} \text{ (watt - jam)}}{0.8} \div \text{output sel surya rencana (watt) x lama intensitas matahari (jam)}$$

.....(3.20)

Maka sel surya yang dibutuhkan :

$$\frac{(18,240 \times 1.25) + 21,114 \text{ (watt jam)}}{0.8} \div \frac{120 \text{ (watt) x } 5 \text{ (jam)}}{1} = 92 \text{ buah}$$

### 3.8.3. Kebutuhan battery.

Langkah – langkah yang ditempuh guna menentukan jumlah baterai yang diperlukan sebagai tenaga cadangan adalah sebagai berikut :

1. Spesifikasi daripada baterai yang akan dipakai. Pada spesifikasi tersebut biasanya diberikan keterangan mengenai voltase (Volt) dan kuat arusnya (Ampere). Pada thesis ini dipakai baterai 2 Volts

- 1500 Ah. Selain itu pada spesifikasi tersebut juga diberikan discharge rate yang akan diperlukan pada perhitungan nantinya.

Perhitungan jumlah baterai dituangkan pada form dibawah ini:

Tabel 3- 7 : Form perhitungan kebutuhan baterai

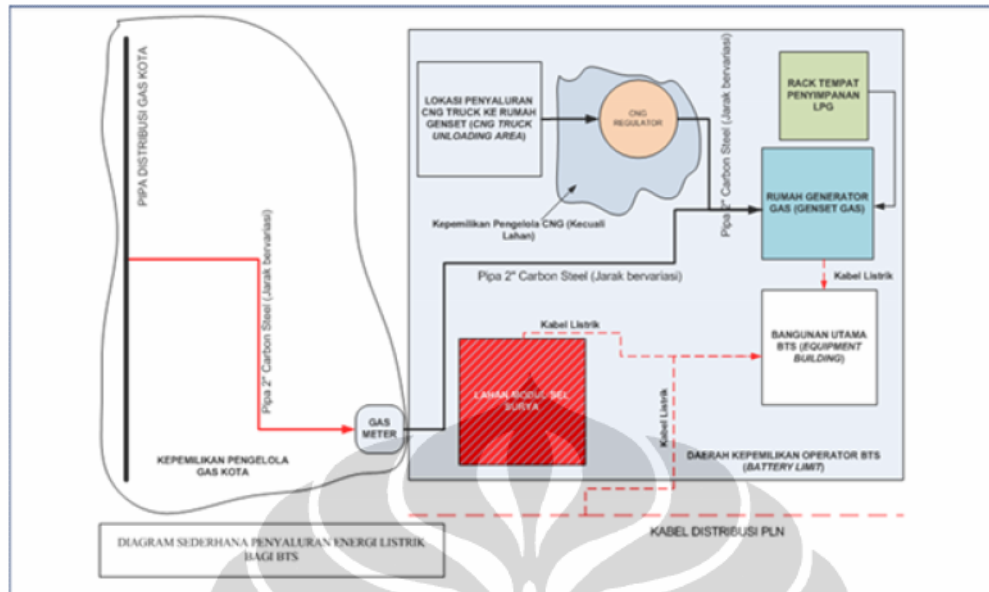
BATTERY SIZING WORKFORM			
No	Deskripsi	Results	Keterangan
1.	Total Amps per Hari untuk AC + DC Load	915.57	(L)
2.	Kemampuan Baterai membackup listrik bila tidak ada matahari (Hari)	3.00	(M)
3.	Discharge Faktor Periode	0.80	(N)
4.	Amp Hari Yang Dibutuhkan	3,433.39	(P) = (L) x (M)/(N)
5.	Rata Rata Ambient Temperature	1.00	(Q)
6.	Temperatur Battery	80°F / 26.7°C	
7.	Optimum Ukuran Baterai amp-Jam	3,433.39	(T) = (P) x (Q)
8.	Amp Jam Baterai Yang dipilih	1,500.00	(U)
9.	Total paralel Battery yang diperlukan	2.29	(V) = (T) / (U)
10.	Pararel Baterai yang diperlukan	3.00	(V)
11.	Jumlah Baterai yang diperlukan	72.00	(W)=(V)x(48/2)
Note : 1 Buah Baterai = 2 volts		<b>Temperatur Battery</b>	<b>Faktor Pengali</b>
		80°F / 26.7°C	1
		70°F / 21.2°C	1.04
		60°F / 15.6°C	1.11
		50°F / 10°C	1.19
		40°F / 4.4°C	1.3
		30°F / -1.1°C	1.4
		20°F / -6.7°C	1.59

Sumber : Sumber : [http://www.solar4power.com/solar-power-solar\\_form.html](http://www.solar4power.com/solar-power-solar_form.html)

### 3.9. Perhitungan biaya investasi.

Dalam rencana penggunaan bahan bakar gas atau solar untuk generator dan penggunaan sel surya, pihak penyelenggara mengeluarkan biaya investasi guna mewujudkan hal tersebut.

Layout dari rencana penggunaan bahan bakar gas ataupun sel surya diperlihatkan gambar dibawah.



Gambar 3- 4 : Layout rencana penyaluran bahan bakar ke generator dan tata letak sel surya.

### 3.9.1. Gas LPG sebagai suplai bahan bakar generator.

Komponen – komponen yang terlibat pada investasi generator gas berbahan bakar LPG sebagai berikut:

- Pengadaan genset 8.5 KVA dengan bahan bakar LPG...(A)
- Pengadaan accessories genset yang meliputi *Automatic Transfer Switch (ATS)*, *Grounding*, pengkabelan dan lain lain...(B)
- Pengadaan Rumah Genset yang berbentuk pagar besi sekeliling genset dan dilengkapi oleh atap sebagai penahan panas ataupun hujan juga pondasi setempat bagi genset...(C)
- Pengadaan Genset Rack untuk tabung LPG@50 Kg yang dapat memuat 6 buah Tabung LPG@50 Kg...(D)
- Jasa Instalasi Genset...(E)

Total investasi merupakan penjumlahan komponen (A) hingga komponen (E).



### 3.9.2. Compressed Natural Gas (CNG) sebagai suplai bahan bakar generator.

Komponen – komponen yang terlibat pada investasi generator gas berbahan bakar CNG sebagai berikut:

- Pengadaan Genset 8.5 KVA dengan bahan bakar CNG...(A).
- Pengadaan Accessories Genset yang meliputi *Automatic Transfer Switch (ATS)*, *Grounding*, pengkabelan dan lain lain...(B).
- Pengadaan Rumah Genset...(C).
- Jasa Instalasi Genset...(D).
- Pembebasan Lahan peruntukkan CNG trailer & Administrasi...(E).
- Pembetonan pada lahan tersebut 30 cm (K175)....(F).

Total investasi merupakan penjumlahan komponen (A) hingga komponen (F).

Dalam pengadaan rumah regulator yang menghubungkan antara CNG trailer dengan inlet generator merupakan tanggungjawab daripada penyedia jasa CNG seperti yang dijelaskan dalam salahsatu website mereka (sumber : [www.cng.co.id](http://www.cng.co.id)).

Komponen tersebut diatas merupakan biaya capex untuk suplai CNG berikut tabung yang disediakan oleh penyedia jasa CNG.

Keterbatasan lahan kemungkinan akan dihadapi oleh pihak penyelenggara BTS mengingat lahan yang dibutuhkan untuk trailer CNG cukup besar. Untuk mengatasi hal ini, opsi penggunaan tabung BBG juga akan diperhtungkan.

### 3.9.3. Gas kota sebagai suplai bahan bakar generator.

Komponen – komponen yang terlibat pada investasi generator gas berbahan bakar gas kota sebagai berikut:

- Pengadaan Genset 8.5 KVA dengan bahan bakar natural gas ...(A).
- Pengadaan Accessories Genset yang meliputi *Automatic Transfer Switch (ATS)*, *Grounding*,pengkabelan dan lain lain...(B).
- Pengadaan Rumah Genset...(C).
- Jasa Instalasi Genset...(D).
- Pipa carbonsteel 2" dari pipe distribusi gas kota ke generator...(E).

Universitas Indonesia

- Material pipa dan assesoriesnya.
- Pembebasan lahan bagi jalur pipa.
- *Hot Tap* di titik pipa distribusi gas kota.
- Ducting pipa, material dan instalasi.
- Penggalian jalur pipa, stringing, instalasi pipa, welding dan lain lain.
- Metering di titik dekat BTS (sedikit di luar *battery limit* BTS ).

Total investasi merupakan penjumlahan komponen (A) hingga komponen (E).

#### **3.9.4. Solar diesel sebagai suplai bahan bakar generator.**

Komponen – komponen yang terlibat pada investasi generator berbahan bakar solar sebagai berikut:

- Pengadaan Genset 8.5 KVA dengan bahan bakar solar...(A).
- Pengadaan Accessories Genset yang meliputi *Automatic Transfer Switch* (ATS), *Grounding*, pengkabelan dan lain lain...(B).
- Pengadaan Rumah Genset dan Tanki 1000 liter berikut pondasi...(C).
- Jasa Instalasi Genset...(D).

Total investasi merupakan penjumlahan komponen (A) hingga komponen (D).

#### **3.9.5. Sel surya (*Solar Cell*).**

Komponen komponen yang terlibat pada investasi pengadaan sel surya adalah sebagai berikut:

- PV Module ...(A).
- Battery 2Volts 1500 AH...(B).
- Solar Controler...(C).
- Switching Power Supply...(D).
- Inverter apabila digunakan guna membangkitkan kebutuhan listrik AC.....(E)

- Jasa Instalasi termasuk pengiriman...(F).
- Pembelian Lahan...(G).

Total investasi merupakan penjumlahan komponen (A) hingga komponen (G).

### 3.10. Analisa Ekonomi.

Setelah dilakukan perhitungan teknis maka perlu dilakukan analisa ekonomis guna menambah keyakinan bahwa investasi mana yang memberikan nilai ekonomis (Net Margin NPV).

Dalam melakukan analisa ekonomi tersebut langkah – langkah yang dilakukan sebagai berikut :

1. Membuat arus kas keluar dan arus kas masuk. Arus kas keluar merupakan uang yang dikeluarkan selama umur observasi investasi. Arus kas keluar misalkan biaya maintenance, biaya modal dan lain lain. Sedangkan arus kas masuk merupakan pemasukan uang selama umur investasi, misalkan penerimaan atas penggunaan servis telekomunikasi dan lain lain.
2. Menetapkan suku bunga yang diambil guna perhitungan *Net Present Value* (NPV). Pada perhitungan NPV, suku bunga yang diambil adalah 12%.

#### 3.10.1. Discount factor (DF).

Discount faktor dihitung berdasarkan rumus :

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \dots\dots\dots(3.13)$$

Dimana :

i = tingkat suku bunga (dalam hal ini diambil 12%)

n = umur investasi dalam hal ini diambil selama 15 tahun.

### 3.10.2. Net Present Value (NPV)

*Net Present Value* (NPV) adalah nilai arus kas penerimaan dan pengeluaran yang terjadi selama umur investasi yang ditinjau pada kondisi saat ini.

Dalam melakukan perhitungan dengan metode NPV dibutuhkan nilai *discount factor* yang pada penelitian ini dilakukan penghitungan dengan besaran bunga sebesar 12%.

Bentuk persamaan dari NPV adalah:

$$\sum_{n=0}^n \frac{X_i}{(1+i)^n} \dots\dots\dots(3.14)$$

Dimana :

$X_i$  = Cash flow pada tahun ke – n.

$I$  = Suku bunga (*discount rate*).

Apabila NPV menunjukkan nilai positif maka investasi dianggap menguntungkan, sedangkan apabila nilai investasi maka proyek dianggap tidak layak. Apabila terdapat lebih dari satu nilai NPV yang positif, maka NPV yang dianggap paling menguntungkan adalah nilai NPV yang terbesar.

### 3.11. Pertumbuhan harga listrik, bahan bakar generator diesel dan gas.

#### 3.11.1. Harga listrik.

Kementrian Negara BUMN<sup>25</sup> pada bulan September 2009 menegaskan bahwa tarif daya listrik (TDL) dengan daya minimal 6600 VA atau 6.6 KVA pada tahun 2010 dipastikan naik antara 20 hingga 30% .

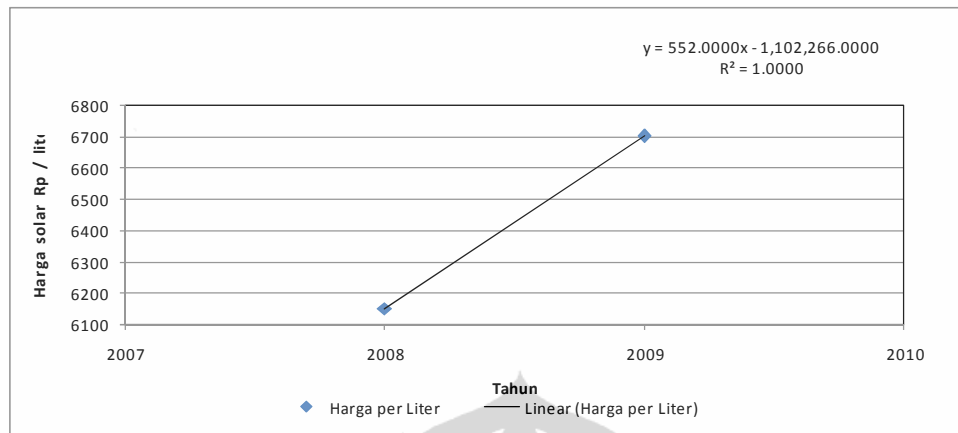
Dalam penelitian ini diasumsikan bahwa tarif yang disetujui oleh pemerintah akan berakhir pada kenaikan 20% dengan alasan kenaikan sebesar 30% pasti akan memukul perindustrian di Indonesia.

Pertumbuhan tarif listrik antara 2010 hingga 2025 diasumsikan secara linear, yang mengikuti tren garis dibawah ini :

$Y$  = 276.000x - 553,104.000, dimana

$Y$  = Perkiraan harga Listrik pada tahun perkiraan dalam Rp / KWH.

$X$  = Tahun perkiraan.



Gambar 3- 5 : Pertumbuhan harga listrik

Tabel 3- 8 : Rencana pertumbuhan harga listrik

TAHUN	Harga Listrik per KWH
2009	1380
2010	1656
2011	1932
2012	2208
2013	2484
2014	2760
2015	3036
2016	3312
2017	3588
2018	3864
2019	4140
2020	4416
2021	4692
2022	4968
2023	5244
2024	5520
2025	5796
2026	6072
2027	6348
2028	6624
2029	6900
2030	7176
2031	7452
2032	7728
2033	8004
2034	8280
2035	8556

Sumber : Keputusan Presiden RI no 104 dan diolah kembali sesuai keperluan.

Sebagai dasar acuan pada tahun 2009, tarif dasar listrik (TDL) yang ditetapkan oleh pemerintah untuk kategori tarif multiguna adalah sebesar Rp 1,380,- dimana hal ini sesuai dengan keputusan Presiden Republik Indonesia nomor 104 yang dikeluarkan pada tahun 2004.

### 3.11.2. Bahan bakar solar.

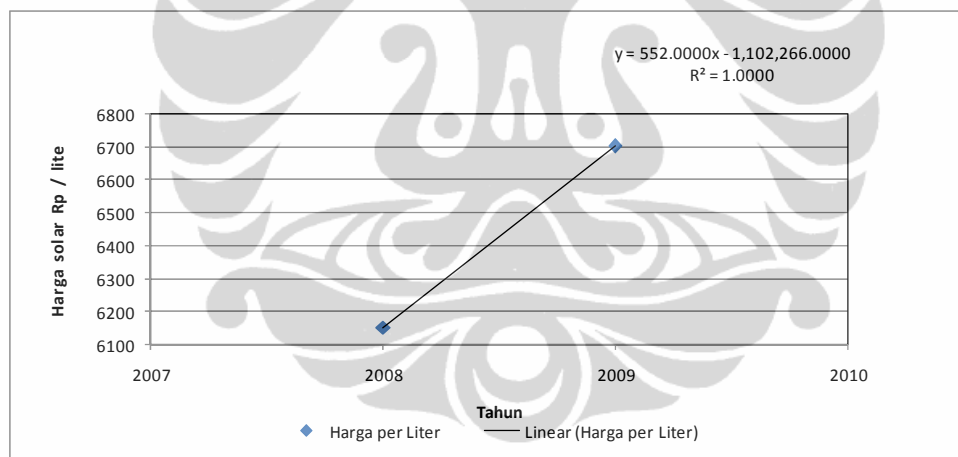
Berikut adalah data yang diambil sejak tahun 2008 hingga tahun 2009 dimana untuk tahun 2010 hingga tahun 2025 merupakan angka perkiraan yang diasumsikan secara liner dengan formula :

$$Y = 552.0000x - 1,102,266.0000, \text{ dimana}$$

Y = Perkiraan Harga Solar pada tahun perkiraan dalam Rp / Liter.

X = Tahun perkiraan.

Data tahun 2008 hingga 2009 diambil dari beberapa website<sup>26</sup> . Harga solar disini merupakan harga solar industri dimana harga tersebut lebih mahal daripada harga solar yang diperjualbelikan di stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU). Dari hasil pengolahan data maka didapatkan pertumbuhan harga solar per tahun sebesar Rp 552 / liter.



Gambar 3- 6: Pertumbuhan harga solar

Tabel 3- 9 : Rencana pertumbuhan harga solar

Tahun	Harga per Liter Solar Industri
2008	6,150.00
2009	6,702.00
2010	7,254.00
2011	7,806.00
2012	8,358.00
2013	8,910.00
2014	9,462.00
2015	10,014.00
2016	10,566.00
2017	11,118.00
2018	11,670.00
2019	12,222.00
2020	12,774.00
2021	13,326.00
2022	13,878.00
2023	14,430.00
2024	14,982.00
2025	15,534.00

Sumber : Berbagai website dan diolah kembali sesuai keperluan.

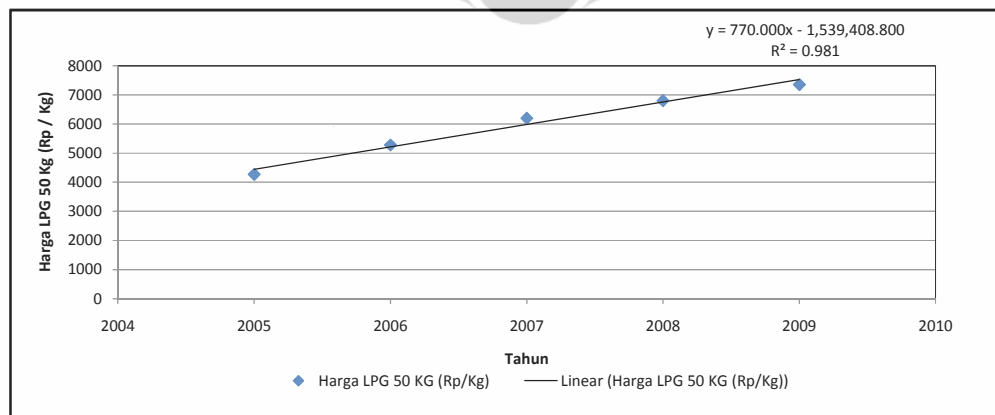
### 3.11.3. Bahan bakar Liquified Petroleum Gas (LPG).

Berikut adalah data yang diambil sejak tahun 2005 hingga tahun 2009 dimana untuk tahun 2010 hingga tahun 2025 merupakan angka perkiraan yang diasumsikan secara liner dengan formula :

$$Y = 770,000 X - 1,539,408.800, \text{ dimana}$$

Y = Perkiraan harga LPG @50kg pada tahun perkiraan dalam Rp / Kg

X = Tahun perkiraan.



Gambar 3- 7 : Pertumbuhan harga LPG

Tabel 3- 10 : Rencana pertumbuhan harga LPG

Tahun	Harga LPG 50 KG
2005	4267
2006	5280
2007	6200
2008	6804
2009	7355
2010	8292
2011	9062
2012	9832
2013	10602
2014	11372
2015	12142
2016	12912
2017	13682
2018	14452
2019	15222
2020	15992
2021	16762
2022	17532
2023	18302
2024	19072
2025	19842

Dari hasil pengolahan data didapatkan pertumbuhan harga LPG per tahun sebesar Rp 770 / Kg.

#### 3.11.4. Bahan bakar gas kota.

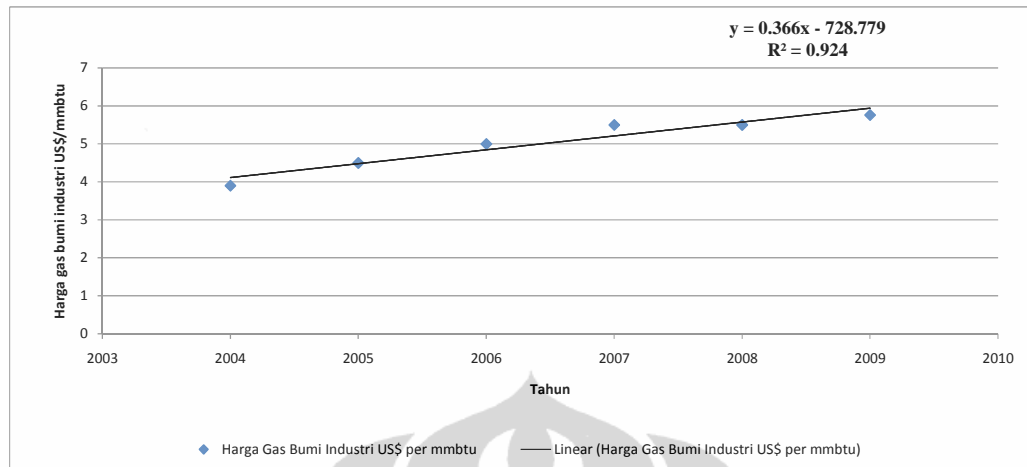
Berikut adalah data yang diambil sejak tahun 2005 hingga tahun 2009 dimana untuk tahun 2010 hingga tahun 2025 merupakan angka perkiraan yang diasumsikan secara liner dengan formula :

$$Y = 0.366x - 728.779, \text{ dimana}$$

Y = Perkiraan Harga Gas kota pada tahun perkiraan dalam US\$ / mmbtu

X = Tahun perkiraan





Gambar 3- 8: Pertumbuhan harga gas kota di level pipa distribusi.

Tabel 3- 11 : Rencana pertumbuhan harga gas bumi

Tahun	Harga Gas Bumi Industri US\$ per mmbtu
2004	3.9
2005	4.5
2006	5
2007	5.5
2008	5.5
2009	5.76
2010	6.9
2011	7.3
2012	7.7
2013	8
2014	8.4
2015	8.8
2016	9.1
2017	9.5
2018	9.9
2019	10.2
2020	10.6
2021	11
2022	11.3
2023	11.7
2024	12.1
2025	12.4

Sumber : Berbagai website dan diolah kembali sesuai keperluan

Dari hasil tersebut diatas maka didapatkan pertumbuhan harga gas kota per tahun sebesar US\$ 0.37/mmbtu.

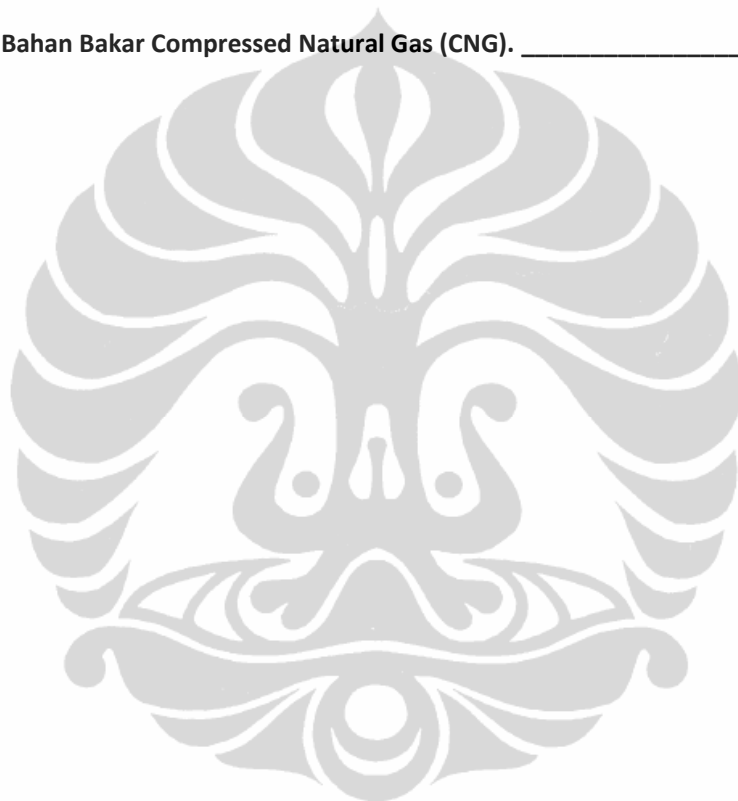
### 3.11.5. Bahan Bakar Compressed Natural Gas (CNG).

Untuk CNG, kenaikan harga diasumsikan sama dengan kenaikan gas kota. Kenaikan harga gas kota di perkirakan US\$ 0.37 / mmbtu atau Rp 124 / m<sup>3</sup>.

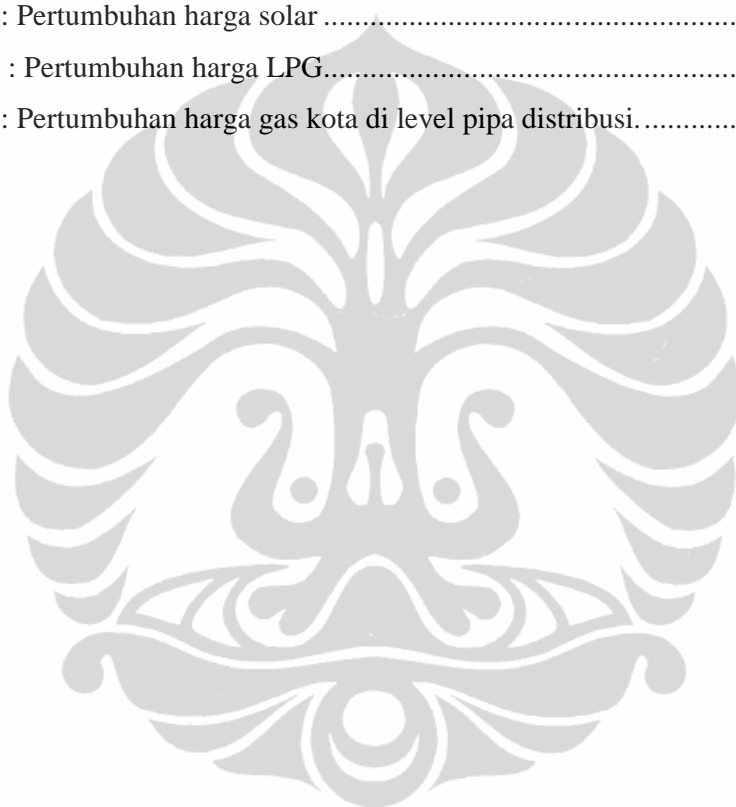
Universitas Indonesia

<b>BAB 3</b>	<b>60</b>
3.1. <i>Pola pikir.</i>	60
3.2. <i>Skenario dalam penyelesaian masalah.</i>	60
3.3. <i>Unit Konversi dan Penetapan konstanta.</i>	62
3.4. <i>Komposisi gas.</i>	63
3.5. <i>Tipe Generator.</i>	65
3.5.1. <i>Generator Solar.</i>	65
3.5.2. <i>Generator Gas</i>	65
3.6. <i>Rumus perhitungan dimensi pipa.</i>	66
3.6.1. <i>Tipe aliran gas dalam pipa.</i>	66
3.6.2. <i>Koefesien kekasaran pipa.</i>	67
3.6.3. <i>Persamaan aliran fluida gas.</i>	67
3.7. <i>DASAR – DASAR ELEKTRONIKA.</i>	68
3.8. <i>Perhitungan sel surya (solar cell).</i>	70
3.8.1. <i>Inventarisasi kebutuhan listrik.</i>	70
3.8.2. <i>Kebutuhan modul surya.</i>	71
3.8.3. <i>Kebutuhan battery.</i>	73
3.9. <i>Perhitungan biaya investasi.</i>	74
3.9.1. <i>Gas LPG sebagai suplai bahan bakar generator.</i>	75
3.9.2. <i>Compressed Natural Gas (CNG) sebagai suplai bahan bakar generator.</i>	76
3.9.3. <i>Gas kota sebagai suplai bahan bakar generator.</i>	76
3.9.4. <i>Solar diesel sebagai suplai bahan bakar generator.</i>	77
3.9.5. <i>Sel surya (Solar Cell).</i>	77
3.10. <i>Analisa Ekonomi.</i>	78
3.10.1. <i>Discount factor (DF).</i>	78

3.10.2.	Net Present Value (NPV)	79
3.11.	<i>Pertumbuhan harga listrik, bahan bakar generator diesel dan gas.</i>	79
3.11.1.	Harga listrik.	79
3.11.2.	Bahan bakar solar.	81
3.11.3.	Bahan bakar Liquified Petroleum Gas (LPG).	82
3.11.4.	Bahan bakar gas kota.	83
3.11.5.	Bahan Bakar Compressed Natural Gas (CNG).	84



Gambar 3- 1 : Pemasangan secara serial.....	69
Gambar 3- 2 : Pemasangan secara paralel.....	69
Gambar 3- 3 : Pemasangan secara paralel dan serial.....	70
Gambar 3- 4 : Layout rencana penyaluran bahan bakar ke generator dan tata letak sel surya.....	75
Gambar 3- 5 : Pertumbuhan harga listrik.....	80
Gambar 3- 6: Pertumbuhan harga solar .....	81
Gambar 3- 7 : Pertumbuhan harga LPG.....	82
Gambar 3- 8: Pertumbuhan harga gas kota di level pipa distribusi.....	84



Tabel 3- 1 : Sampel gas kota .....	64
Tabel 3- 2 : Kebutuhan bahan bakar tipe Solar .....	65
Tabel 3- 3 : Kebutuhan bahan bakar tipe natural gas .....	65
Tabel 3- 4 : Kebutuhan bahan bakar tipe LPG .....	66
Tabel 3- 5 : Form rencana kebutuhan daya .....	71
Tabel 3- 6 : Form perhitungan kebutuhan modul surya.....	72
Tabel 3- 7 : Form perhitungan kebutuhan batterai .....	74
Tabel 3- 8 : Rencana pertumbuhan harga listrik .....	80
Tabel 3- 9 : Rencana pertumbuhan harga solar .....	82
Tabel 3- 10 : Rencana pertumbuhan harga LPG .....	83
Tabel 3- 11 : Rencana pertumbuhan harga gas bumi .....	84

<sup>12</sup> <http://www.pertamina.com/konversi/elpiji.php>

<sup>13</sup> Yanwarizal.2007. Perancangan Sistim Perpipaan Gas Kota di Perumahan Dengan Studi Kasus di Pesona Kayangan Depok.

<sup>14</sup> Hermawan (2007). Tinjauan pola investasi instalasi pipa distribusi gas bumi dengan aplikasi analisa resiko. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, hal.66.

<sup>15</sup> Harga-gas-senoro-sangat-mahal-bagi-pgn.<http://www.inilah.com/berita/ekonomi>.

<sup>16</sup> PT. CNG Indonesia. *CNG versus other fuel*. <http://www.cng.co.id>.

<sup>17</sup> Program.Langit.Biru.Terhambat. <http://www1.kompas.com/printnews/xml/2010/04/20/18170685>

<sup>18</sup> Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 104 (2004). *Harga jual listrik*.

<sup>19</sup> John.M.Campbell, *Gas Conditioning and Processing*, p. 56.

<sup>20</sup> John.M.Campbell, *Gas Conditioning and Processing*, p. 51.

<sup>21</sup> John.M.Campbell, *Gas Conditioning and Processing*, p. 84.

<sup>22</sup> Cummins corporation. *Liquid cooled generator sets*. P.125. <http://www.cumminspower.com>

<sup>23</sup> James Carvill. *Mechanical Engineer's Data Handbook*. p.148.

<sup>24</sup> John M. Campbell .*Gas Conditioning and Processing Volume 1*. hal. 339

<sup>25</sup> <http://www.mediaindonesia.com/read/2009/09/09/96740/21/2/Tarif-Listrik-2010-Dipastikan-Naik>

<sup>26</sup> <http://supplierbbm.blogspot.com/2010/01/harga-solar-industri-1-15-februari-2010.html>