

BAB 4

PEMBAHASAN DAN ANALISIS

4.1. Potensi Gas Biometan dari Sampah Organik

4.1.1. Produksi Gas Biometan dari Sampah Organik^[12]

Biogas terdiri dari gas metan (CH_4): 55-75%, karbon dioksida (CO_2): 25-45%, hidrogen sulfida (H_2S) dan sisa uap air (H_2O). Untuk mendapatkan energi yang lebih besar per unit volume biogas, kandungan karbon dioksida (CO_2) di dalam biogas harus dihilangkan, sedangkan kandungan hidrogen sulfida (H_2S) bisa merusak sistem kompresor karena sifat korosifnya.

Ada banyak metode untuk pencucian karbon dioksida (CO_2) yaitu penyerapan di dalam air (*water scrubbing*), penyerapan dengan menggunakan zat kimia, penyerapan dengan tekanan (PSA), dan pemisahan membran (*membrane separation*). Dalam penelitian ini metode pemurnian biogas yang digunakan sebagai acuan adalah metode penyerapan karbon dioksida (CO_2) di dalam air (*water scrubbing*), metode ini merupakan metode yang paling sederhana, dibutuhkan biaya yang lebih murah, ramah lingkungan dan praktis dalam proses pencucian karbon dioksida (CO_2) dari biogas. Metode ini merupakan proses berkelanjutan dan secara simultan juga akan melakukan proses pencucian hidrogen sulfida (H_2S). Dengan menggunakan teknologi ini dapat diperoleh biogas dengan kemurnian yang tinggi (>95% kandungan metan). Konsentrasi hidrogen sulfida (H_2S) yang melebihi ambang batas harus dihilangkan sebelum digunakan di dalam mesin. Dengan pemurnian biogas, maka akan diperoleh gas dengan nilai kalor yang lebih tinggi, tidak menimbulkan korosi akibat tingkat hidrogen sulfida yang tinggi, dan memiliki kualitas gas yang terjamin.

Teknologi penyerapan karbon dioksida (CO_2) di dalam air (*water scrubbing*) didesain untuk menyerap karbon dioksida (CO_2) yang ada di dalam 40% kandungan biogas sehingga prosentase gas metan (CH_4) naik dari 60% hingga > 95% kandungan metan. Gas jernih hasil pemurnian ini disebut dengan gas biometan. Berdasarkan hasil studi kelayakan oleh Electrigaz Technologies Inc, Juni 2008, pemurnian biogas dengan menggunakan teknologi ini diperoleh

prosentase gas metan (CH_4) di dalam kandungan biogas yang sudah dimurnikan menjadi 98,5% (dengan *availability* gas metan $\approx 95\%$). Jumlah gas biometan yang dihasilkan ini yang akan digunakan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta. Secara lengkap persamaan produksi gas biometan dan jumlah energi gas biometan dari sampah organik dapat dituliskan sebagai berikut:

PERHITUNGAN JUMLAH GAS BIOMETAN

$$V_{gm} = 60\% \times V_b \quad (4.1)$$

$$V_{gbm} = 98,5\% \times V_{gm} \times 95\%$$

PERHITUNGAN JUMLAH ENERGI GAS BIOMETAN

$$E_{gbm} = 36 \text{ MJ/m}^3 \times V_{gbm} \quad (4.2)$$

Dengan :

V_{gm}	Produksi/jumlah gas metana	$[\text{m}^3]$
V_{gbm}	Produksi/jumlah gas biometan	$[\text{m}^3]$
E_{gbm}	Jumlah energi gas biometan	$[\text{MJ}]$
36 MJ/m^3	Nilai kalor gas biometan	

Dengan jumlah potensi biogas pertahun yang dihasilkan dari sampah organik sebesar $5.656.018 \text{ m}^3/\text{kg VS}$ pertahun atau setara $15.496 \text{ m}^3/\text{kg VS}$ perhari dan potensi gas metan pertahun yang dihasilkan sebesar $3.393.611 \text{ m}^3/\text{tahun}$ atau setara $9.298 \text{ m}^3/\text{hari}$ (berdasarkan Tabel 3.6), maka dengan menggunakan persamaan 4.1 dan 4.2 berturut-turut dapat diketahui jumlah produksi gas biometan dan energi gas biometan pertahun sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Produksi Gas Biometan (} V_{gbm} \text{)} &= \text{Produksi gas metan} \times \% \text{ Gas Biometan} \times 95\% \\ &= 3.393.611 \times 98,5\% \times 95\% \\ &= 3.175.571,49 \text{ m}^3/\text{tahun} \\ &\approx 8.700,19 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Energi Gas Biometan (} E_{gbm} \text{)} &= \text{Produksi Gas Biometan} \times \text{Nilai Kalor Gas} \\ &\quad \text{Biometan} \\ &= 3.175.571,49 \text{ m}^3/\text{tahun} \times 36 \text{ MJ/m}^3 \\ &= 114.320.573,6 \text{ MJ/tahun} \\ &\approx 313.207,05 \text{ MJ/hari} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan secara lebih lengkap jumlah potensi dan energi gas biometan untuk berbagai jenis sampah organik pasar induk dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah.

Tabel 4.1. Jumlah Produksi dan Energi Gas Biometan dari Sampah Organik di Pasar Induk Kramat Jati^[12]

Sampah Organik	Volume Gas Metan (m ³ /tahun)	Volume Gas Biometan (m ³ /tahun)	Energi Gas Biometan (MJ/tahun)
Sampah organik			
Sayuran/buah/umbi/bumbu	2.262.423	2.117.062	76.214.232
Jerami	754.182	705.726	25.406.136
Nasi/ikan/daging/dll	376.966	352.746	12.698.856
Total/tahun	3.393.611	3.175.572	114.320.573
Rata-rata/hari	9.298	8.701	313.207

Catatan: telah diolah kembali

Besarnya volume gas biometan yang dihasilkan tersebut sangat bergantung pada beberapa hal antara lain: jenis dan jumlah sampah organik yang menjadi bahan baku untuk menghasilkan biogas, kandungan gas metan yang terkandung dalam biogas, serta jenis teknologi yang digunakan dalam proses pemurnian biogas. Dalam proses pemurnian biogas, biogas dikompresi pada tekanan 1000 kPa (atau setara 10 Bar) dan dimasukkan ke dasar *scrubber* yang memiliki kolom penyerapan karbon dioksida (CO₂) yang ada di dalam 40% kandungan biogas untuk dapat menghasilkan gas biometan dengan kandungan sebesar 98,5%.

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 4.1 dan 4.2 di atas, dengan komposisi gas biometan yang dihasilkan memiliki kandungan sebesar 98,5% diperoleh perhitungan jumlah potensi gas biometan dan energi gas biometan pertahun dari sampah organik pasar induk sebesar 3.175.571,49 m³/tahun (setara 8.700,19 m³/hari) dan 114.320.573,6 MJ/tahun (setara 313.207,05 MJ/hari). Gas biometan yang dihasilkan dari proses pemurnian biogas ini memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dan kualitas gas yang terjamin. Gas biometan ini untuk kemudian dimampatkan (dikompresi) ke dalam silinder CNG dan dimanfaatkan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta.

4.1.2. Produksi Gas Biometan Untuk Disimpan Dalam Silinder CNG^{[14][16]}

Untuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta, gas biometan yang dihasilkan dikompresi dengan tekanan hingga 20×10^3 kPa (atau setara 200 Bar) dengan menggunakan kompresor tiga tahap dan disimpan di dalam silinder CNG. Besarnya energi yang dibutuhkan perhari untuk proses pemurnian biogas dan pemampatan/kompresi gas biometan ke silinder CNG yaitu sebesar $\pm 25\%$ dari total energi gas biometan yang dihasilkan per hari (Syam S. Kapdi, *Upgrading Biogas for Utilization as a Vehicle Fuel*, 2006). Proses perhitungan energi perhari produksi gas biometan yang tersedia untuk disimpan dalam silinder CNG dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

PERHITUNGAN ENERGI GAS BIOMETAN DISIMPAN DALAM SILINDER CNG	(4.3)
$E_{p\&k} = 25\% \times E_{gbm}$	
$E_{cyl} = E_{gbm} - E_{p\&c}$	

Dengan :

$E_{p\&k}$	Kebutuhan energi gas biometan untuk pemurnian dan kompresi	[MJ/hari]
E_{gbm}	Energi gas biometan	[MJ/hari]
E_{cyl}	Energi gas biometan yang disimpan dalam silinder CNG	[MJ/hari]

Dengan jumlah potensi energi gas biometan yang dihasilkan dari sampah organik perhari sebesar 313.207,05 MJ/hari (berdasarkan Tabel 4.1), maka dengan menggunakan persamaan 4.3 berturut-turut dapat diketahui kebutuhan energi gas biometan perhari untuk proses pemurnian dan kompresi dan jumlah produksi energi gas biometan dan produksi gas biometan perhari yang disimpan dalam silinder CNG sebagai berikut:

Kebutuhan Energi Gas Biometan Untuk Proses Pemurnian dan Kompresi Biogas

$$\begin{aligned}
 &= 25\% \times E_{gbm} \\
 &= 25\% \times 313.207,05 \text{ MJ/hari} \\
 &= 78.301,76 \text{ MJ/hari} \\
 &= \text{atau setara dengan } 2.175,05 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Jumlah Energi Gas Biometan Untuk Disimpan Dalam Silinder CNG

$$\begin{aligned}
 &= E_{\text{gbm}} - \text{Kebutuhan Energi Gas Biometan Untuk Proses Pemurnian dan} \\
 &\quad \text{Kompresi Biogas } (E_{p\&k}) \\
 &= 313.207,05 \text{ MJ/hari} - 78.301,76 \text{ MJ/hari} \\
 &= 234.905,29 \text{ MJ/hari}
 \end{aligned}$$

Produksi Gas Biometan Untuk Disimpan Dalam Silinder CNG

$$\begin{aligned}
 &= E_{\text{cyl}} / \text{Nilai Kalor Gas Biometan} \\
 &= 234.905,29 \text{ MJ/hari} / 36 \text{ MJ/m}^3 \\
 &= 6.525,15 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Untuk menghasilkan gas biometan yang dapat disimpan dalam silinder CNG Bis Transjakarta, biogas yang dihasilkan dari digester anaerob dilakukan proses pemurnian dengan menggunakan teknologi *water scrubbing* sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya dan proses pemampatan/kompresi ke dalam silinder CNG Bis Transjakarta dengan tekanan sebesar 20×10^3 kPa (atau setara 200 Bar). Untuk proses pemurnian biogas dibutuhkan energi sebesar $\pm 14\%$ dari total energi gas biometan yang dihasilkan. Kebutuhan energi ini utamanya digunakan untuk keperluan kompresor dan pompa pada *water scrubbing*. Sedangkan untuk proses pemampatan/kompresi ke dalam silinder CNG Bis Transjakarta dibutuhkan energi sebesar $\pm 11\%$ dari total energi gas biometan yang dihasilkan. Kebutuhan energi ini utamanya digunakan untuk keperluan kompresor tiga tahap agar diperoleh tekanan akhir dalam silinder CNG sebesar 20×10^3 kPa (atau setara 200 Bar). Sehingga total energi untuk proses pemurniaan biogas dan pemampatan/kompresi gas biometan yang dibutuhkan sebesar $\pm 25\%$ dari total energi gas biometan yang dihasilkan.

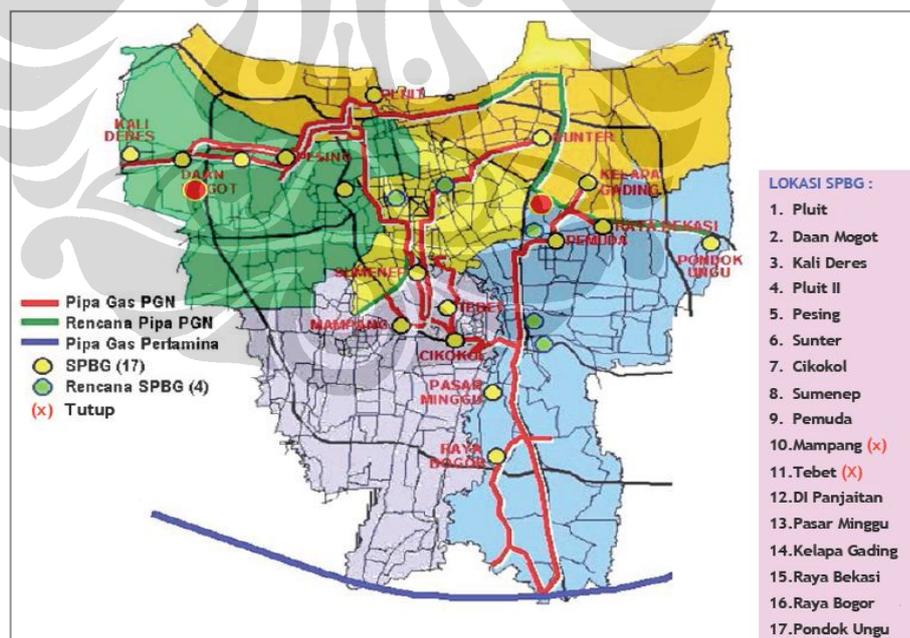
Dengan produksi gas biometan perhari sebesar $8.700,19 \text{ m}^3/\text{hari}$ (energi sebesar $313.207,05 \text{ MJ/hari}$), dibutuhkan energi untuk proses pemurniaan biogas dan pemampatan/kompresi gas biometan sebesar $78.301,76 \text{ MJ/hari}$ (atau setara $2.175,05 \text{ m}^3/\text{hari}$). Dengan kebutuhan energi sebesar $78.301,76 \text{ MJ/hari}$ (atau setara $2.175,05 \text{ m}^3/\text{hari}$), maka besarnya produksi gas biometan perhari yang dapat dihasilkan untuk disimpan dalam silinder CNG sebesar $6.525,15 \text{ m}^3/\text{hari}$ dan dapat langsung dimanfaatkan pada Bis Transjakarta sebagai bahan bakar.

4.2. Analisis Pemanfaatan Gas Biometan

4.2.1. Pemanfaatan Gas Biometan Sebagai Bahan Bakar Bis Transjakarta

Transjakarta atau umum disebut Busway adalah sebuah sistem transportasi bus cepat atau Bus Rapid Transit di Jakarta, Indonesia. Sistem ini dimodelkan berdasarkan sistem Trans Milenio yang sukses di Bogota, Kolombia. Sampai dengan akhir tahun 2009, jumlah armada busway yang beroperasi di DKI Jakarta dan berpotensi untuk menggunakan bahan bakar gas sebanyak 900 unit busway. Dari jumlah tersebut, saat ini sudah beroperasi 238 Bis Transjakarta koridor II sampai VII yang sudah menggunakan bahan bakar gas, sedangkan untuk koridor lainnya mengikuti selanjutnya.

Jumlah Stasiun Pengisian Bahan Bakar Gas (SPBG) yang ada di DKI Jakarta sampai dengan saat ini masih sangat terbatas. Saat ini di DKI Jakarta hanya terdapat 14 (empat belas) SPBG, tetapi yang berfungsi tidak lebih dari 6 (enam) SPBG dengan sebaran ke empat belas SPBG di DKI Jakarta sebagaimana Gambar 4.1. di bawah.



Gambar 4.1. Pipa Jaringan BGG dan SPBG di DKI Jakarta

Karena keterbatasan jumlah SPBG tersebut, bisa menjadi suatu kendala dalam perencanaan pengembangan bahan bakar gas pada Bis Transjakarta. Selain

dari itu juga jaringan pipa dari Perusahaan Gas Negara yang memasok gas ke SPBG masih belum mencukupi. Akibat kurangnya pasokan dan tekanan gas dari Pertamina dan PGN yang memasok SPBG di Jakarta, sempat mempengaruhi operasional Bis Transjakarta koridor II (Pulogadung-Harmoni) dan koridor III (Harmoni-Kalideres).

Dengan melihat kondisi di atas, maka pemanfaatan biometan dari sampah organik di area Pasar Induk Kramat Jati menjadi salah satu solusi dalam memenuhi kebutuhan bahan bakar Bis Transjakarta. Berikut perhitungan konversi produksi gas biometan ke dalam silinder CNG Bis Transjakarta.

1- Perhitungan Jumlah Bis Transjakarta Yang Dapat Dipenuhi

Total kapasitas silinder CNG yang ada dalam sebuah Bis Transjakarta sebesar ± 160 l-setara premium, yang terdiri dari 4 silinder CNG dengan kapasitas masing-masing sebesar ± 40 l-setara premium (dengan tekanan 200 Bar). Untuk mengetahui berapa jumlah silinder CNG Bis Transjakarta yang dapat dipenuhi dari potensi gas biometan yang dihasilkan dari sampah organik pasar induk adalah sebagai berikut :

Kebutuhan bahan bakar pada silinder CNG Bis Transjakarta

$$\begin{aligned}
 &= \text{Kapasitas total silinder CNG Bis Transjakarta} / \text{Faktor kesetaraan gas} \\
 &\quad \text{biometan (m}^3\text{) ke premium (liter)} \\
 &= 160 \text{ l-setara premium} / (0,8 \text{ l-setara premium/m}^3\text{)} \\
 &= 200 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Jumlah Bis Transjakarta yang dapat dipenuhi

$$\begin{aligned}
 &= \text{Jumlah produksi gas biometan yang tersedia dalam silinder CNG (m}^3\text{/hari)} \\
 &\quad / \text{kebutuhan bahan bakar pada silinder CNG Bis Transjakarta (m}^3\text{/hari)} \\
 &= 6.525,15 \text{ m}^3\text{/hari} / 200 \text{ m}^3\text{/hari} \\
 &= 32,63 \\
 &\approx 33 \text{ silinder CNG} \\
 &\approx 33 \text{ Bis Transjakarta}
 \end{aligned}$$

4.2.2. Perhitungan Pengurangan Emisi Karbon^[17]

Dalam perhitungan pengurangan emisi karbon penggunaan bahan bakar dalam bentuk CNG pada Bis Transjakarta, terdapat dua langkah perhitungan yang harus dilakukan berdasarkan *Project Design Document Form (CDM-SSC-PDD)-Version 3*, yaitu :

1- Menghitung Faktor Emisi Baseline Bis Transjakarta :

Langkah pertama untuk menentukan emisi baseline Bis Transjakarta adalah menghitung faktor emisi baseline Bis Transjakarta per kilometer untuk setiap Bis Transjakarta (*BEF*). Faktor emisi baseline untuk Bis Transjakarta ditentukan dengan mengalikan efisiensi bahan bakar Bis Transjakarta dengan nilai kalori bersih bahan bakar apabila Bis Transjakarta menggunakan mesin diesel dikali dengan faktor emisi CO₂ apabila menggunakan bahan bakar diesel. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$BEF = \eta_{BV} \times NCV \times EF_{CO_2} \quad (4.4)$$

BEF = Faktor emisi per kilometer Bis Transjakarta (tCO₂/km)

η_{BV} = Efisiensi bahan bakar Bis Transjakarta (t/km)

NCV = Nilai kalori netto dengan menggunakan bahan bakar diesel (MJ/t)

EF_{CO2} = factor emisi CO₂ dari bahan bakar diesel (tCO₂/MJ)

Diperoleh parameter perhitungan faktor emisi baseline untuk kendaraan Bis Transjakarta (berdasarkan dokumen *(CDM-SSC-PDD)-Version 3*) sebagai berikut :

$$\eta_{BV, bus} = 0,000228 \text{ (t/km)}$$

$$NCV_{diesel} = 43.330 \text{ (MJ/t)}$$

$$EF_{CO_2, diesel} = 0.00007407 \text{ (tCO}_2\text{/MJ)}$$

Maka:

$$\begin{aligned} BEF_{bus} &= \eta_{BV, bus} \times NCV_{diesel} \times EF_{CO_2, diesel} \\ &= 0,000228 \text{ (t/km)} \times 43.330 \text{ (MJ/t)} \times 0,00007407 \text{ (tCO}_2\text{/MJ)} \\ &= 0,00073175 \text{ (tCO}_2\text{/km)} \end{aligned}$$

2- Menghitung Emisi Baseline Bis Transjakarta

Emisi baseline adalah emisi yang disebabkan oleh jumlah jarak per tahun Bis Transjakarta dikali faktor emisi baseline Bis Transjakarta. Emisi baseline dihitung per tahun dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$BE = N_{PJ} \times D_{PJ} \times BEF \quad (4.5)$$

Dimana:

BE = Total emisi baseline Bis Transjakarta dalam satu tahun (tCO₂)

D_{PJ} = Total jarak yang ditempuh oleh Bis Transjakarta dalam satu tahun (km)

BEF = Faktor emisi baseline Bis Transjakarta dalam satu tahun (tCO₂/km)

N_{PJ} = Jumlah Bis Transjakarta dalam satu tahun

Parameter-parameter di atas dapat dihitung sebagai berikut:

N_{PJ} - Jumlah Bis Transjakarta dalam satu tahun

= Jumlah produksi gas biometan yang tersedia dalam silinder CNG pertahun (m³/tahun) / kebutuhan bahan bakar gas biometan pertahun (m³/tahun)

= 2.381.679,75 m³/tahun / 73.000 m³/tahun

= 32,63

≈ 33 Bis Transjakarta

D_{PJ} - Total jarak yang ditempuh oleh Bis Transjakarta dalam satu tahun (km)

= Kapasitas total silinder CNG Bis Transjakarta (l-setara premium/hari) x 365 hari x faktor konversi jarak (2,1 km/l-setara premium)

= 160 l-setara premium/hari x 365 hari x 2,1 km/l-setara premium

= 122.640 km

BEF - Faktor emisi baseline untuk Bis Transjakarta (tCO₂/km)

= 0,00073175 (tCO₂/km)

Maka:

$$\begin{aligned}
 BE_{bis} &= N_{PJ,bis} \times D_{PJ,bis} \times BEF_{bis} \\
 &= 33 \text{ Bis Transjakarta} \times 122.640 \text{ km} \times 0,00073175 \text{ (tCO}_2\text{/km)} \\
 &= 2.961,48 \text{ tCO}_2
 \end{aligned}$$

3- Menghitung Pengurangan Emisi Bis Transjakarta

Besarnya pengurangan emisi dengan pemanfaatan gas biometan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta dalam bentuk silinder CNG dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$ER = BE - PE - LE \quad (4.6)$$

Dimana :

ER = Pengurangan emisi karbon (tCO₂)

BE = Emisi baseline (tCO₂)

PE = Emisi proyek (tCO₂)

LE = *Leakage emission* (tCO₂)

Berdasarkan dokumen (CDM-SSC-PDD)-Version 3, emisi proyek (PE) = 0, karena keseluruhan energi yang digunakan untuk proses pemurnian biogas maupun kompresi biogas tidak menggunakan energi fosil atau energi dari luar sistem, melainkan diambil dari energi yang dihasilkan sendiri dari proses produksi gas biometan. Sedangkan *leakage emission* (tCO₂), tidak diperlukan perhitungan. Maka besarnya pengurangan emisi karbon pemanfaatan gas biometan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta adalah sebesar:

$$\begin{aligned}
 \text{Pengurangan Emisi Karbon} &= ER = BE - PE - LE \\
 &= 2.961,48 \text{ tCO}_2 - 0 - 0 \\
 &= 2.961,48 \text{ tCO}_2
 \end{aligned}$$

Dengan produksi gas biometan yang tersedia dalam silinder CNG sebesar 6.525,15 m³/hari dan kebutuhan bahan bakar pada silinder CNG Bis Transjakarta sebesar 200 m³/hari, maka berdasarkan hasil perhitungan di atas diperoleh jumlah Bis Transjakarta yang dapat dipenuhi perhari sekitar 33 Bis Transjakarta. Hal ini

menunjukkan bahwa potensi gas biometan dari sampah organik Pasar Induk Kramat Jati yang dihasilkan perhari mampu memenuhi kebutuhan bahan bakar Bis Transjakarta perhari sekitar 13,86% dari total keseluruhan Bis Transjakarta yang saat ini sudah menggunakan bahan bakar gas yaitu sejumlah 238 Bis Transjakarta. Pemanfaatan potensi gas biometan dari sampah organik Pasar Induk Kramat Jati ini sebagai bahan bakar Bis Transjakarta dapat membantu mengatasi keterbatasan jumlah pasokan bahan bakar gas pada Bis Transjakarta, yang diakibatkan karena keterbatasan jumlah SPBG yang beroperasi serta kurangnya pasokan dan tekanan gas dari Pertamina dan PGN yang memasok SPBG.

Pemanfaatan gas biometan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta dapat digunakan untuk mengurangi emisi karbon. Besarnya pengurangan emisi karbon ditentukan berdasarkan faktor emisi baseline dan emisi baseline Bis Transjakarta. Faktor emisi baseline Bis Transjakarta ditentukan dengan mengalikan efisiensi bahan bakar Bis Transjakarta dengan nilai kalori bersih bahan bakar apabila Bis Transjakarta menggunakan mesin diesel dikali dengan faktor emisi CO₂ apabila menggunakan bahan bakar diesel. Dari hasil perhitungan di atas diperoleh faktor emisi baseline Bis Transjakarta sebesar 0,00073175 tCO₂/km. Sedangkan nilai emisi baseline Bis Transjakarta sebesar 2.961,48 tCO₂ diperoleh dari perkalian jumlah Bis Transjakarta yang digunakan dengan jumlah jarak per tahun yang dapat ditempuh dikali faktor emisi baseline Bis Transjakarta. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah Bis Transjakarta yang dapat dipenuhi kebutuhan bahan bakar gasnya dan semakin jauh jarak tempuhnya maka nilai emisi baseline yang dihasilkan akan semakin besar.

Dalam penelitian ini, besarnya nilai emisi baseline Bis Transjakarta yang dihasilkan menunjukkan nilai pengurangan emisi karbon yang dihasilkan dari pemanfaatan gas biometan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta. Sehingga dapat dikatakan bahwa dengan potensi produksi gas biometan sebesar 2.381.679,75 m³/tahun (untuk disimpan dalam silinder CNG) dari sampah organik Pasar Induk Kramat Jati apabila dimanfaatkan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta akan mampu menghasilkan pengurangan emisi karbon sebesar 2.961,48 tCO₂/tahun. Pengurangan emisi karbon ini dapat mereduksi tingkat pencemaran udara yang diakibatkan karena emisi gas buang kendaraan bermotor.

4.3. Analisis Biaya Produksi Biometan

Perhitungan biaya produksi biometan dibagi menjadi 2 (dua) tahap utama, yaitu:

1. Tahap perhitungan biaya produksi biogas
2. Tahap perhitungan biaya produksi biometan

4.3.1. Perhitungan Biaya Produksi Biogas

Biaya untuk memproduksi biogas dari sistem digester anaerob memerlukan modal investasi infrastruktur yang besar. Sebuah sistem digester anaerob yang lengkap terdiri dari tangki pencernaan, tangki sisa pencernaan (*sludge*), tangki penyimpanan gas, sistem masukan-keluaran (*inlet-outlet*), dan instrumentasi pelengkap lainnya seperti pompa dan kompresor. Dalam perhitungan biaya investasi dan biaya produksi biogas, ukuran volume dari digester anaerob harus ditentukan terlebih dahulu.

Digester anaerob yang direncanakan dioperasikan di area Pasar Induk Kramat Jati mampu menghasilkan potensi sumber energi biogas sebesar 5.656.018 m³/kgVS pertahun (atau setara 15.496 m³/kgVS perhari) yang dihasilkan dari pemanfaatan sampah organik dengan jumlah potensi sampah organik sebesar 5.656.018 ton/tahun (atau setara 15.496 ton/hari). Dengan biaya rata-rata dalam memproduksi biogas sebesar Rp. 562,-/m³/kgVS biogas. Asumsi-asumsi dan detail perhitungan biaya investasi dan biaya operasi-pemeliharaan dalam perhitungan biaya produksi biogas sebagaimana berikut:

4.3.1.1. Biaya Investasi dan O&M

Biaya-biaya ini meliputi 2 komponen biaya utama yaitu biaya investasi modal dan biaya O&M.

1- Biaya Investasi

a. Biaya Investasi *Anaerob Digestion System*^[10]

Biaya investasi untuk pembangunan *anaerob digestion system* ini sudah meliputi biaya investasi digester anaerob beserta komponen pelengkap lainnya seperti

sistem kontrol emisi, pekerjaan sipil, pompa set, instalasi pipa, dan pekerjaan elektrikal. Jenis digester anaerob yang digunakan adalah *carbon steel* dan dilapisi dengan *coating-epoxy*. Besarnya biaya investasi *anaerob digestion system* ini dipengaruhi ukuran/volume dari digester yang akan dibangun, semakin besar ukuran digester maka semakin besar biaya investasi yang harus dikeluarkan.

Berdasarkan hasil perhitungan volume digester, diperoleh jumlah digester yang direncanakan akan dibangun berdasarkan potensi sumber energi biogas yang dihasilkan tiap hari berjumlah 16 buah digester, dengan total volume sebesar 15.953,902 m³ (volume tiap-tiap digester @ ± 1000 m³). Sehingga besarnya biaya investasi untuk 1 (satu) buah *anaerob digestion system* dapat diketahui sebagai berikut: (BG Yeah, 2006)

$$C_{\text{digester}} = 2,9 \times 10^5 \left(\frac{V_{\text{digester}}}{3800} \right)^{0,7} \quad (4.7)$$

Dimana:

V_{digester} = Volume digester

Maka

$$\begin{aligned} C_{\text{digester}} &= 2,9 \times 10^5 (1000 / 3.800)^{0,7} \\ &= 2,9 \times 10^5 \cdot (0,39) \\ &= 113.906,75 \text{ US\$ (1 buah anaerob digestion system)} \end{aligned}$$

Biaya yang diperlukan untuk 16 buah *anaerob digestion system* adalah :

$$\begin{aligned} C_{\text{digester}} &= 16 \times 113.906,75 \text{ US\$} \\ &= 1.822.508,08 \text{ US\$} \\ &\approx \text{Rp. 16.493.698.120,- (diasumsikan kurs 1 US\$ = Rp. 9.050,-)} \end{aligned}$$

b. Biaya Investasi *Biogas Storage System*^[10]

Biaya investasi ini sudah mencakup biaya *pressurized storage vessels* (tangki baja stainless steel), *scrubbers*, kompresor, *piping* dan *housing*. Perhitungan biaya investasi *biogas storage system* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$C_{\text{biogas}} = \frac{V_{\text{biogas}}}{2,12 \times 10^6} \frac{0,22 \times 10^6}{3,8} (1,05)^{14} \quad (4.8)$$

$$= 0,05407 V_{\text{biogas}}$$

Dimana:

V_{biogas} = kapasitas volume biogas (m^3/tahun)

Maka:

$$C_{\text{biogas}} = 0,05407 \cdot (5.656.018)$$

$$= 305.820,89 \text{ US\$}$$

$$\approx \text{Rp. } 2.767.679.055,- \text{ (diasumsikan kurs } 1 \text{ US\$} = \text{Rp. } 9.050,-\text{).}$$

c. Biaya Investasi Penggunaan Lahan

Biaya investasi untuk penggunaan lahan disini diperuntukkan bagi kegiatan penyiapan lahan tempat pemasangan *anaerob digestion system*. Besarnya biaya investasi untuk penggunaan lahan, ditentukan dari luas area yang diperlukan untuk tempat pemasangan *anaerob digestion system* dan harga lahan berdasarkan NJOP (Nilai Jual Obyek Pajak), dimana nilai NJOP di area Pasar Induk Kramat Jati sebesar Rp. 1.300.000,-/ m^2 . Perhitungan biaya investasi untuk penggunaan lahan 1 (satu) buah *anaerob digestion system* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$C_{\text{land}} = \text{Luasan alas digester anaerob (m}^2\text{)} \times \text{Harga lahan (Rp/m}^2\text{)}$$

$$= \pi \cdot r^2 \times \text{Rp. } 1.300.000,-/\text{m}^2$$

$$= (3,14) \cdot (6,539)^2 \times 1.300.000$$

$$= 134,26 \times 1.300.000$$

$$= \text{Rp. } 174.538.000,- / \text{anaerob digestion system}$$

Biaya yang diperlukan untuk 16 buah *anaerob digestion system* adalah :

$$C_{\text{land}} = 16 \times \text{Rp. } 174.538.000,-$$

$$= \text{Rp. } 2.792.608.000,-$$

d. Biaya Lahan Untuk Pengolahan Air Limbah dan *Sludge*

Biaya lahan ini digunakan untuk pengolahan kompos (*sludge*), pengolahan air limbah, pembersihan lokasi digester, bongkar material organik atau pemuatan kompos hasil digester ditentukan sebesar Rp. 500.000.000,-

2- Biaya Operasional dan Pemeliharaan (O&M)

a. Biaya O&M *Anaerob Digestion System*^[10]

Terdiri dari biaya penggunaan tenaga kerja (*labour cost*) berupa operator untuk mengoperasikan peralatan, biaya pembelian air baku yang dikonsumsi untuk keperluan operasional, biaya penggantian *spare part*. Dalam literatur ditentukan biaya O&M pertahun sebesar 3,85% dari total biaya investasi modalnya, sehingga diperoleh biaya O&M *anaerob digestion system* sebesar Rp. 868.328.429,-/tahun.

b. Biaya O&M *Biogas Handling*^[10]

Terdiri dari biaya tenaga kerja untuk mengoperasikan kompresor, biaya pemeliharaan dan penggantian *spare part*. Dalam literatur ditentukan biaya O&M pertahun sebesar 2,32% dari total biaya investasi modalnya, sehingga diperoleh biaya O&M *biogas handling* sebesar Rp. 523.252.456,-/tahun.

c. Biaya O&M Pengolahan Air Limbah dan *Sludge*^[10]

Terdiri dari biaya penggunaan tenaga kerja dan bahan-bahan kimia yang diperlukan untuk operasional pengolahan air limbah dan pengolahan kompos (*sludge*) sisa dari proses pencernaan dalam digester. Dalam literatur ditentukan biaya O&M pertahun sebesar 2,93% dari biaya investasi modalnya, sehingga diperoleh biaya O&M pengolahan air limbah dan *sludge* sebesar Rp. 660.831.766,-/tahun.

4.3.1.2. Biaya Produksi Biogas^[13]

Setelah mengetahui besarnya biaya investasi modal awal dan biaya operasi dan pemeliharaan (O&M) tahunan sistem digester anaerob, dengan rentang waktu 20 tahun sebagai masa usia proyek untuk sistem digester anaerob, sehingga bisa

diketahui penurunan nilai (depresiasi) peralatan secara bertahap. Dengan membagi biaya investasi modal dengan masa usia proyek dalam hitungan tahun, biaya investasi modal dapat diturunkan menjadi nilai Rp./tahun dan biaya O&M dapat dikombinasikan dan dibagi dengan produksi biogas tahunan untuk menghasilkan biaya per m³/kgVS biogas. Perhitungan tersebut dituliskan dalam persamaan sebagai berikut ini:

$$C_{Bg} = \frac{\frac{I_{cap}}{20yr} + I_{O\&M}}{V_{day} \times 365} \quad (4.9)$$

Dimana:

- C_{Bg} = Biaya produksi biogas per m³/kg VS [Rp.]
 I_{cap} = Biaya investasi modal [Rp.]
 I_{OM} = Biaya operasi dan pemeliharaan pertahun [Rp.]
 V_{day} = Volume biogas yang dihasilkan per hari [m³/kgVS]

Berdasarkan persamaan 4.6 di atas besarnya biaya produksi biogas per m³/kg VS dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_{Bg} &= \frac{[(Rp. 22.553.985.180,- / 20 \text{ tahun}) + Rp. 2.052.412.651,-] /}{[15.496 \text{ m}^3 \times 365]} \\ &= \frac{[Rp. 1.127.699.259,- + Rp. 2.052.412.651,-] /}{[5.656.018 \text{ m}^3]} \\ &= Rp. 3.180.111.910,- / 5.656.018 \text{ m}^3 \\ &= Rp. 562,25,-/m^3/kgVS \\ &\approx Rp. 562,-/m^3/kgVS \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas diperoleh besarnya biaya untuk memproduksi 1 m³/kgVS biogas adalah sekitar Rp. 562,-/m³/kgVS.

4.3.2. Perhitungan Biaya Produksi Gas Biometan

Biaya produksi gas biometan meliputi: biaya efisiensi ekstraksi metana, pemanfaatan energi sistem, biaya investasi modal: pemurnian biogas, pekerjaan sipil, enjiniring; biaya pengoperasian dan perawatan: tenaga kerja, perawatan,

unsur kimia, buangan unsur kimia; dan biaya *scrubbing* H₂S. Biaya untuk pemurnian biogas tidak mencakup unsur eksternal seperti kontaminasi udara dan potensi kerusakan lingkungan.

4.3.2.1. Biaya Investasi dan O&M^[12]

1- Biaya Investasi

Biaya investasi untuk pemurnian biogas ini meliputi biaya investasi untuk kompresor, pompa dan *blower*, kolom *scrubber*, pekerjaan sipil, enjiniring, dan biaya investasi untuk pembangunan SPBG (Stasiun Pengisian Bahan Bakar Gas). Berdasarkan literatur yang ada (Electrigaz Technology Inc, Juni 2008), biaya investasi yang diperlukan untuk pemurnian biogas dengan menggunakan teknologi *water scrubbing* dengan kapasitas produksi biogas 645,67 m³/jam adalah sebesar ± Rp. 18.552.500.000,- sedangkan rata-rata biaya investasi untuk pembangunan SPBG adalah sebesar ± Rp. 5.000.000.000,-.

2- Biaya Operasional dan Pemeliharaan (O&M)

Terdiri dari biaya penggunaan tenaga kerja (*labour cost*) berupa tenaga kerja yang mengoperasikan peralatan, biaya pembelian air baku yang dikonsumsi untuk keperluan operasional, penggunaan energi, perawatan, unsur kimia, buangan unsur kimia. Dalam literatur disebutkan biaya O&M pertahun sebesar ± Rp. 1.798.597.000,-/tahun. Selain itu juga terdapat biaya O&M lainnya yaitu biaya O&M untuk SPBG yaitu sebesar ± Rp. 500.000.000,-/tahun (± 10% dari biaya investasinya) dan biaya O&M untuk proses kompresi ke tabung silinder CNG Bis Transjakarta sebesar ± Rp. 361.920.795,- (Electrigaz Technology Inc).

4.3.2.2. Biaya Produksi Gas Biometan^[13]

Setelah mengetahui biaya investasi dan biaya operasional-pemeliharaan pemurnian biogas, maka besarnya biaya pemurnian biogas per m³ gas biometan yang dihasilkan oleh digester dapat digambarkan dalam rumus berikut:

$$C_{BM} = \frac{\frac{I_{cap}}{20yr} + I_{O\&M}}{V_{day} \times 365} \quad (4.10)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} C_{Bm} &= \text{Biaya pemurnian biogas per m}^3 && [\text{Rp}] \\ I_{cap} &= \text{Biaya investasi modal} && [\text{Rp}] \\ I_{OM} &= \text{Biaya operasi dan pemeliharaan tahunan} && [\text{Rp}] \\ V_{day} &= \text{Volume produksi biometan per hari} && [\text{m}^3] \end{aligned}$$

Usia proyek diperkirakan hingga 20 tahun dan fasilitas diasumsikan beroperasi pada kapasitas penuh. Berdasarkan persamaan 4.6 di atas besarnya biaya produksi gas biometan per m³ dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_{Bm} &= [(Rp. 23.552.500.000,- / 20 \text{ tahun}) + Rp. 2.660.517.795,-] / \\ &\quad [6.525,15 \text{ m}^3 \times 365] \\ &= [Rp. 1.177.625.000,- + Rp. 2.660.517.795,-] / [2.381.679,75 \text{ m}^3] \\ &= Rp. 3.838.142.795,- / 2.381.679,75 \text{ m}^3 \\ &= Rp. 1.611,53,-/m^3 \approx Rp. 1.612,-/m^3 \end{aligned}$$

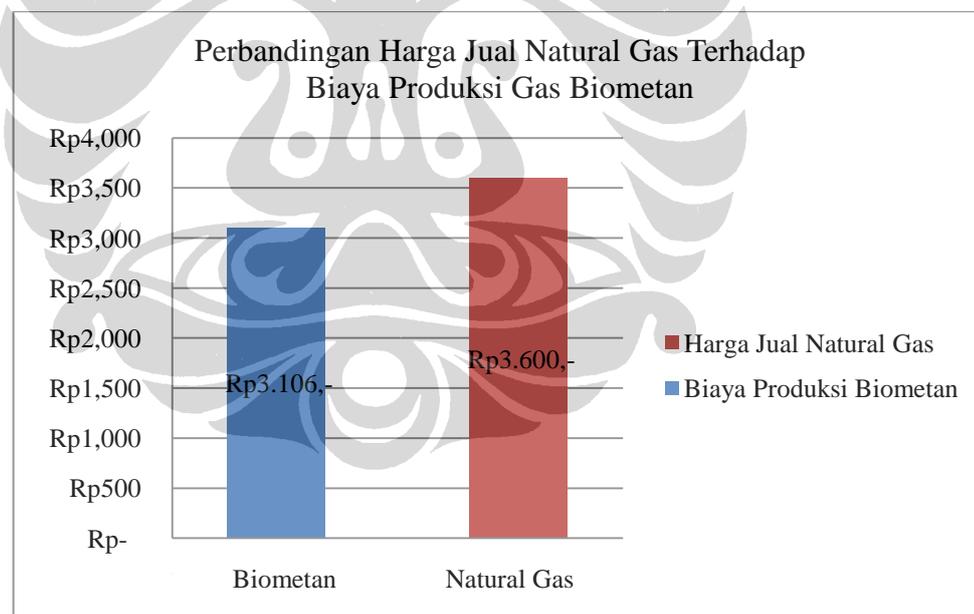
Dari hasil perhitungan di atas diperoleh besarnya biaya untuk memproduksi 1 m³ gas biometan adalah sekitar Rp. 1.612,-/ m³.

4.3.3. Total Biaya Produksi Gas Biometan

Dari digester anaerob dengan laju aliran biogas sebesar 646 m³/jam dan dikompresikan ke tabung silinder CNG untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta, diperlukan biaya produksi biogas sebesar Rp. 562,-/m³/kgVS, sedangkan biaya yang diperlukan untuk proses pemurnian biogas menjadi gas biometan sebesar Rp. 1.612,-/m³. Sehingga total biaya yang diperlukan untuk memproduksi gas biometan adalah sebesar Rp. 2.174,-/m³ (atau setara Rp. 3.106,-/l-setara premium). Harga ini diperoleh dari komponen biaya yang timbul selama proses produksi gas biometan (meliputi biaya investasi modal, biaya operasi dan pemeliharaan tahunan) tanpa memasukkan besarnya pendapatan (keuntungan)

yang dapat diperoleh dari pemanfaatan gas biometan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta.

Dengan biaya produksi gas biometan sebesar Rp. 2.174,-/m³ (atau setara Rp. 3.106,-/l-setara premium), dirasa cukup memberatkan untuk pengembangan pemanfaatan gas biometan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta, mengingat harga jual bahan bakar gas (natural gas) yang ada dipasaran sekarang ini masih sangat rendah bila dibandingkan dengan harga jual bahan bakar yang lainnya, seperti: premium, solar, pertamax,dll. Harga jual gas (natural gas) pada SPBG yang ada dipasaran sebesar Rp. 3.600,-/l-setara premium. Harga jual ini mengikuti harga yang telah ditentukan oleh PT. PGN (Perusahaan Gas Negara), dan bahkan pada beberapa stasiun SPBG masih menggunakan harga jual natural gas sebesar Rp. 2.562,-/l-setara premium mengikuti harga jual yang telah ditentukan oleh PT. Pertamina. Perbandingan harga jual natural gas terhadap biaya produksi gas biometan dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah.



Gambar 4.2. Grafik Perbandingan Harga Jual Natural Gas Terhadap Biaya Produksi Gas Biometan

Dengan harga jual natural gas sebesar Rp. 2.562,-/l-setara premium, maka biaya produksi gas biometan lebih tinggi dari harga jualnya. Sedangkan bila

digunakan harga jual sebesar Rp. 3.600,-/l-setara premium, maka masih diperoleh profit margin sebesar Rp. 494,-/l-setara premium.

Apabila pada biaya produksi gas biometan ini dimasukkan pula komponen pendapatan lain seperti, penjualan pupuk (*sludge*), pendapatan yang diperoleh dari pemanfaatan sampah organik pasar dan pendapatan dari pengurangan emisi karbon, maka dapat mengurangi besarnya biaya produksi gas biometan.

4.3.4. Perhitungan Pendapatan dari Pemanfaatan Gas Biometan

4.3.4.1. Penjualan Gas Biometan Untuk Bis Transjakarta

Selama ini pasokan bahan bakar gas dari jaringan pipa utilitas publik sering kali masih mengalami berbagai permasalahan, antara lain: ada kendala keterbatasan beberapa jaringan pipa gas yang menuju SPBG terutama untuk beberapa daerah diluar kota besar seperti Jakarta. Sedangkan untuk di dalam kota Jakarta sendiri terkendala dengan adanya keterbatasan lahan. Selain itu kadangkala pasokan gas dari jaringan pipa gas utilitas publik juga terlalu rendah tekanannya (di bawah tekanan standar). Dengan beberapa kondisi semacam ini, maka pembangunan SPBG dapat dijadikan sebagai salah satu langkah solusi mengatasi kekurangan akan kebutuhan jumlah SPBG.

Kondisi saat ini, terdapat 2 (dua) harga jual bahan bakar gas yang berbeda di pasaran. Sebagian SPBG mengacu pada harga jual yang telah ditetapkan dari PT. Pertamina dengan harga Rp. 2.562,-/l-setara premium dan sebagian SPBG yang lainnya mengacu pada harga jual yang telah ditetapkan oleh PT. Perusahaan Gas Negara (PGN) dengan harga Rp. 3.600,-/l-setara premium. Dalam penelitian ini digunakan harga jual bahan bakar gas yang tertinggi, yaitu sebesar Rp. 3.600,-/l-setara premium. Maka besarnya pendapatan pertahun yang diperoleh dari penjualan bahan bakar gas biometan dengan produksi sebesar 2.381.679,75 m³/tahun kepada konsumen Bis Transjakarta dapat dihitung sebagai berikut:

Kapasitas produksi gas biometan (dalam liter setara premium)

$$\begin{aligned}
 &= \text{Kapasitas produksi biometan (m}^3\text{)} \times \text{Nilai kesetaraan terhadap premium} \\
 &= 2.381.679,75 \text{ m}^3\text{/tahun} \times 0,7 \text{ (liter setara premium/m}^3\text{)} \\
 &= 1.667.175,83 \text{ l-setara premium/tahun}
 \end{aligned}$$

Pendapatan dari penjualan bahan bakar gas kepada konsumen Bis Transjakarta

$$\begin{aligned}
 &= \text{Kapasitas produksi biometan (1-setara premium)} \times \text{Harga jual bahan} \\
 &\quad \text{bakar gas.} \\
 &= 1.667.175,83 \text{ l-setara premium/tahun} \times \text{Rp. 3.600,-/l-setara premium} \\
 &= \text{Rp. 6.001.832.988,-/tahun}
 \end{aligned}$$

4.3.4.2. Pendapatan Dari Pengurangan Emisi

Penjualan karbon melalui mekanisme CDM (*Clean Development Mechanism*) bertujuan untuk mengurangi efek rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global di seluruh dunia. Selain itu sistem penjualan karbon dapat merangsang pengembangan energi terbarukan biogas.

Setelah diketahui nilai pengurangan emisi CO₂ yaitu sebesar 2.961,48 tCO₂ pertahun, baru dihitung besarnya pendapatan dari pengurangan emisi CO₂. Dengan harga rata-rata penjualan emisi CO₂ adalah sebesar US\$ 10/ton, maka pendapatan yang didapat dari CO₂ *reduction* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 &\text{Pendapatan dari pengurangan emisi karbon (CO}_2\text{)} \\
 &= \text{CO}_2 \text{ emission reduction} \times \text{US\$ 10} \\
 &= 2.961,48 \text{ tCO}_2 \times \text{US\$ 10} \\
 &= 29.614,80 \text{ US\$/tahun} \\
 &= \text{Rp. 268.013.940,- (Kurs 1US\$ = Rp.9.050,-)}
 \end{aligned}$$

4.3.4.3. Pendapatan Dari Pemanfaatan Sampah Pasar

Potensi pendapatan dari penggunaan sampah pasar sebagai sumber energi biogas ini diperoleh dari pengurangan biaya pengangkutan sampah yang dapat ditekan dengan pemanfaatan sampah. Dalam setahun Pasar Induk Kramat Jati menghasilkan sampah pasar sebanyak 45.293 ton/tahun (atau setara 113.234 m³/tahun) diperoleh sampah pasar organik sebesar 40.880 ton/tahun (atau setara 102.200 m³/tahun) yang bisa dimanfaatkan. Berdasarkan data yang diperoleh dari pihak PD Pasar Jaya, besarnya biaya pengangkutan sampah baik dengan menggunakan truk tronton maupun dengan menggunakan truk container dari TPS (Tempat Pembuangan Sementara) di area Pasar Induk Kramat Jati menuju TPA

(Tempat Pembuangan Akhir) di Bantar Gebang Bekasi adalah sebesar Rp. 40.000,-/m³ sampah.

Maka besarnya pendapatan yang diperoleh dari pengurangan biaya pengangkutan sampah dengan pemanfaatan sampah organik sebagai sumber energi biogas adalah:

$$\begin{aligned} \text{Pendapatan} &= \text{Jumlah sampah organik/tahun (m}^3\text{)} \times \text{Biaya angkutan sampah (m}^3\text{)} \\ &= 102.200 \text{ m}^3\text{/tahun} \times \text{Rp. 40.000,-/m}^3 \\ &= \text{Rp. 4.088.000.000,-/tahun} \end{aligned}$$

4.3.4.4. Pendapatan Dari Hasil Penjualan *Sludge*

Dari proses produksi biogas akan dihasilkan limbah atau sisa bahan organik. Limbah yang keluar dari digester biogas berbentuk lumpur yang mengandung cairan dan padatan. Limbah tersebut umumnya disebut dengan istilah *sludge*, limbah tersebut akan keluar secara otomatis ketika digester diisi dengan bahan organik yang baru. Limbah dari digester biogas tersebut memiliki nilai manfaat yang cukup tinggi, yaitu dapat dijadikan sebagai pupuk organik yang sangat kaya akan unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tanaman. Bahkan, unsur-unsur tertentu seperti protein, selulose, lignin dan lain-lain tidak dapat digantikan oleh pupuk kimia. Pupuk-pupuk tersebut dapat langsung digunakan untuk memupuk tanaman.

Besarnya pendapatan dari hasil penjualan *sludge* dipengaruhi dari berapa banyak jumlah *sludge* yang dihasilkan (kg), dan dapat dituliskan dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} \text{Penjualan } \textit{sludge} &= \text{Jumlah } \textit{sludge} \text{ (kg/tahun)} \times \text{Harga jual } \textit{sludge} \text{ (Rp./kg)} \\ &= 5.635.333 \text{ (kg/tahun)} \times \text{Rp.500,-/kg (Sri Wahyuni MP, 2008)} \\ &= \text{Rp. 2.817.666.500,-/tahun} \end{aligned}$$

4.4. Analisis Ekonomi

4.4.1. Analisis Aliran Tunai (*Cash Flow*)

Dengan memasukkan biaya-biaya yang timbul dalam memproduksi gas biometan sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya ditambah manfaat ekonomi

(pendapatan) baik secara langsung maupun yang tidak langsung selama proses produksi gas biometan, maka dapat disusun aliran tunai (*cash flow*) pemanfaatan gas biometan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta sebagaimana pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Aliran Tunai Tahunan (*Annual Cash Flow*)

DESKRIPSI		NILAI (Rp.)
I. BIAYA-BIAYA (EXPENCES)		
A. Biaya Investasi Modal (<i>Capital Cost</i>)		46.106.485.180,-
1.	<i>Anaerob Digestion System</i>	16.493.698.120,-
2.	<i>Biogas Storage System</i>	2.767.679.055,-
3.	Penggunaan Lahan	2.792.608.000,-
4.	Penggunaan Lahan Untuk Pengolahan Air Limbah dan Sludge	500.000.000,-
5.	Peralatan Untuk Pemurnian Biogas (<i>Water Scrubbing</i>)	18.552.500.000,-
6.	Pembangunan SPBG	5.000.000.000,-
B. Biaya Operasi & Pemeliharaan Tahunan (<i>Annual O&M Cost</i>)		7.018.254.705,-
1.	<i>Anaerob Digestion System</i>	868.328.429,-
2.	<i>Biogas Handling</i>	523.252.456,-
3.	Pengolahan Air Limbah dan Sludge	660.831.766,-
4.	Pemurnian Biogas (<i>Water Scrubbing</i>)	1.798.597.000,-
5.	SPBG	500.000.000,-
6.	Kompresi Ke Tabung Silinder CNG	361.920.795,-
7.	Depresiasi	2.305.324.259,-
TOTAL BIAYA-BIAYA (<i>EXPENCES</i>)		53.124.739.890,-
II. PENDAPATAN (REVENUES)		
A. Pendapatan Tahunan Berkaitan Langsung		8.819.499.488,-
1.	Penjualan Bahan Bakar Gas (Biometan)	6.001.832.988,-
2.	Pendapatan Dari Hasil Penjualan <i>Sludge</i>	2.817.666.500,-
B. Pendapatan Tahunan Dari Sumber Lainnya		4.356.013.940,-
1.	Pendapatan Dari Pemanfaatan Sampah Organik Pasar	4.088.000.000,-
2.	Pendapatan Dari Pengurangan Emisi Karbon	268.013.940,-
TOTAL PENDAPATAN (<i>REVENUES</i>)		13.175.513.430,-
III. INFORMASI LAINNYA		
1.	Usia Proyek (Tahun)	20
2.	Suku Bunga Bank (%)	10
3.	Kurs 1 US\$	9.050,-
NET ANNUAL CASH FLOW		6.157.258.723,-

Berdasarkan Tabel 4.2 di atas, dapat dievaluasi karakteristik ekonomi pemanfaatan gas biometan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta berdasarkan total aliran pendapatan tahunan (*inflow*) dan total aliran biaya pengeluaran tahunan (*outflow*). Total aliran pendapatan tahunan (*inflow*) diperoleh dari pemanfaatan gas biometan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta baik secara langsung yang berupa hasil penjualan bahan bakar gas di SPBG maupun pendapatan yang

diperoleh secara tidak langsung yang diperoleh sebagai akibat dari proses produksi gas biometan, yang berupa: pendapatan dari hasil penjualan sisa pencernaan digester (*sludge*), pendapatan dari pengurangan sampah organik pasar induk, dan pendapatan dari pengurangan emisi karbon dengan total aliran pendapatan tahunan sebesar Rp. 13.175.513.430,-.

Sedangkan total aliran biaya pengeluaran tahunan (*outflow*) diperoleh dari biaya operasional dan pemeliharaan yang timbul selama proses produksi gas biometan maupun pemanfaatan gas biometan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta ditambah dengan biaya tahunan yang berasal dari depresiasi biaya investasi modal selama masa usia proyek (20 tahun) dengan total aliran biaya pengeluaran tahunan (*outflow*) sebesar Rp. 7.018.254.705,-.

Besarnya *Net Annual Cash Flow* menunjukkan selisih besaran antara total aliran pendapatan tahunan (*inflow*) dengan total aliran biaya pengeluaran tahunan (*outflow*). Selisih besaran antara total aliran pendapatan tahunan (*inflow*) dengan total aliran biaya pengeluaran tahunan (*outflow*) ini menunjukkan suatu keuntungan atau kerugian. Dengan memasukkan pendapatan yang diperoleh secara tidak langsung dari proses produksi gas biometan, maka diperoleh nilai *Net Annual Cash Flow* sebesar Rp. 6.157.258.723,-. Dengan nilai *Net Annual Cash Flow* yang positif ini menunjukkan bahwa pemanfaatan gas biometan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta menguntungkan.

4.4.2. Analisis Kelayakan Finansial^[11]

Analisis kriteria kelayakan finansial digunakan untuk menilai kelayakan pemanfaatan biometan yang dihasilkan dari sampah organik di area Pasar Induk Kramat Jati sebagai bahan bakar kendaraan berbahan bakar gas. Analisis ini dimaksudkan untuk menilai kelayakan secara finansial berdasarkan beberapa kriteria kelayakan usaha yaitu NPV, IRR dan *Payback Period*.

Analisis kelayakan finansial dilakukan dengan menggunakan tingkat suku bunga 10 %. Tingkat suku bunga 10 % merupakan tingkat suku bunga bank rata-rata selama periode Januari 2009 – Juni 2010. Kriteria ini dilakukan untuk melihat sejauh mana kelayakan proyek tersebut jika menggunakan modal pinjaman dari bank yang ada.

4.4.2.1. Nilai Sekarang Bersih (*Net Present Value, NPV*)^[11]

Metode ini menggunakan pertimbangan bahwa nilai uang sekarang lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai uang pada waktu mendatang, karena adanya faktor bunga. Metode NPV merupakan metode yang dipakai untuk menilai usulan proyek investasi yang mempertimbangkan nilai waktu dari uang (*time value of money*). Dengan usia proyek 20 tahun, faktor bunga sebesar 10%, pengeluaran yang berupa biaya investasi awal sebesar Rp. 46.106.485.180,-, pengeluaran tahunan sebesar Rp. 7.018.254.705,- serta pendapatan tahunan sebesar Rp. 13.175.513.430,-, maka *net present value* dapat dihitung sebagai berikut:

$$NPV = PW_{\text{pendapatan}} - PW_{\text{pengeluaran}}$$

$$= \sum_{k=0}^N R_k \left(\frac{P}{A}, i\%, k \right) - E_k \left(\frac{P}{A}, i\%, k \right)$$

Dimana:

R_k = pendapatan untuk tahun ke-k

E_k = pengeluaran untuk tahun ke-k termasuk biaya investasi

N = umur proyek

Maka:

$$NPV = \text{Rp. } 13.175.513.430,- \left(\frac{P}{A}, 10\%, 20 \right) - \text{Rp. } 7.018.254.705,- \left(\frac{P}{A}, 10\%, 20 \right)$$

$$- \text{Rp. } 46.106.485.180,-$$

$$= \text{Rp. } 6.157.258.725,- \left(\frac{P}{A}, 10\%, 20 \right) - \text{Rp. } 46.106.485.180,-$$

$$= \text{Rp. } 6.157.258.725,- (8,5136) - \text{Rp. } 46.106.485.180,-$$

$$= \text{Rp. } 52.420.437.880,- - \text{Rp. } 46.106.485.180,-$$

$$= \text{Rp. } 6.313.952.701,-$$

Nilai NPV positif berarti dana yang diinvestasikan dalam proyek tersebut dapat menghasilkan *present value* arus kas lebih tinggi dari *present value* investasi awal dan jika NPV negatif berarti dana yang diinvestasikan dalam proyek tersebut dapat menghasilkan *present value* arus kas lebih rendah dari *present value* investasi awal.

4.4.2.2. Waktu Pengembalian (*Payback Period*)^[11]

Waktu pengembalian adalah waktu yang diperlukan (jumlah tahun) untuk mengembalikan modal investasi awal. Pemanfaatan gas biometan dari sampah organik pasar induk sebagai bahan bakar Bis Transjakarta membutuhkan investasi awal sebesar Rp. 46.106.485.180,- apabila pengeluaran tahunannya sebesar Rp. 7.018.254.705,- dan pendapatan per tahunnya sebesar Rp. 13.175.513.430,- maka *payback period* nya adalah :

$$\text{Pay Back Period} = \sum_{k=1}^{\theta} (R_k - E_k) - I \geq 0$$

Dimana :

θ = waktu pengembalian, maka

$$\begin{aligned} \text{payback period} &= \sum_{k=1}^{\theta} (\text{Rp. } 13.175.513.430,00 - \text{Rp. } 7.018.254.705,00) - \\ &\quad \text{Rp. } 46.106.485.180,00 \geq 0 \\ &= \sum_{k=1}^{\theta} (\text{Rp. } 6.157.258.725,00) - \text{Rp. } 46.106.485.180,00 \geq 0 \\ \theta &= 7,49 \text{ tahun} \end{aligned}$$

4.4.2.3. Tingkat Pengembalian Internal (*Internal Rate of Return, IRR*)^[11]

Tingkat pengembalian internal (*internal rate of return-IRR*) adalah tingkat bunga yang dapat menjadikan NPV sama dengan nol, karena PV arus kas pada tingkat bunga tersebut sama dengan investasi awalnya.

$$NPV = 0 = \text{PWpendapatan} - \text{PWpengeluaran}$$

$$0 = \text{Rp. } 13.175.513.430,- (P/A, i', 20) - (\text{Rp. } 7.018.254.705,- (P/A, i', 20) - \text{Rp. } 46.106.485.180,-)$$

Untuk mendapatkan nilai IRR (i'), akan dicoba nilai dengan menggunakan i' yang lebih rendah ($i'=5\%$) dan dengan menggunakan i' yang lebih tinggi ($i'=15\%$).

Pada $i' = 5\%$,

$$\begin{aligned} \text{PW} &= \text{Rp. } 13.175.513.430,- (P/A, 5\%, 20) - (\text{Rp. } 7.018.254.705,- \\ &\quad (P/A, 5\%, 20) - \text{Rp. } 46.106.485.180,-) \\ &= \text{Rp. } 6.157.258.725,- (P/A, 5\%, 20) - \text{Rp. } 46.106.485.180,- \end{aligned}$$

$$= \text{Rp. } 6.157.258.725,- (12,4622) - \text{Rp. } 46.106.485.180,-$$

$$= \text{Rp. } 30.626.504.500,-$$

Pada $i' = 15\%$,

$$\text{PW} = \text{Rp. } 13.175.513.430,- (P/A,15\%,20) - (\text{Rp. } 7.018.254.705,-$$

$$(P/A,15\%,20) - \text{Rp. } 46.106.485.180,-).$$

$$= \text{Rp. } 6.157.258.725,- (P/A,15\%,20) - \text{Rp. } 46.106.485.180,-$$

$$= \text{Rp. } 6.157.258.725,- (6,2593) - \text{Rp. } 46.106.485.180,-$$

$$= \text{Rp. } -7.566.355.643,-$$

Dengan interpolasi polar, diperoleh tingkat suku bunga internal (IRR) sebesar :

$$i' = (5\%) + \frac{(\text{Rp. } 30.626.504.500,00 - 0)}{(\text{Rp. } 30.626.504.500,00 + \text{Rp. } 7.566.355.643,00)} (15\% - 5\%)$$

$$= 13,02\%$$

Resume hasil analisis kelayakan finansial pemanfaatan gas biometan dari sampah organik pasar induk sebagai bahan bakar Bis Transjakarta dengan tingkat suku bunga sebesar 10% dapat ditunjukkan pada Tabel 4.3. di bawah.

Tabel 4.3. Hasil Analisis Kelayakan Finansial Pemanfaatan Gas Biometan^[11]

No	Indikator	Satuan	Nilai
1.	Net Present Value	Rp.	6.313.952.701,-
3.	Payback Period	Tahun	7,49
4.	IRR	%	13,02

Catatan: telah diolah kembali

Analisis NPV dalam suatu penilaian investasi merupakan cara yang praktis untuk mengetahui apakah suatu proyek menguntungkan atau tidak. Nilai NPV merupakan selisih antara *present value* dari aliran pendapatan (*inflow*) dikurangi *present value* dari aliran biaya (*outflow*). Hasil analisis pada Tabel 4.2. di atas terlihat bahwa nilai NPV yang dihasilkan dari proyek pemanfaatan gas biometan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta bernilai positif sebesar Rp. 6.313.952.701,-.

Hal ini berarti bahwa nilai manfaat yang diterima dari proyek lebih besar dari semua biaya total yang dikeluarkan, maka dapat dikatakan bahwa proyek ini dinilai layak.

Hasil analisis tersebut juga menunjukkan bahwa besarnya waktu pengembalian (*payback period*) selama 7,49 tahun. Ini berarti bahwa besarnya modal investasi awal yang diperlukan dalam pemanfaatan gas biometan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta akan tertutup dengan aliran tunai netto tahunan (*net annual cash flow*) selama 7,49 tahun. Dalam penelitian ini besarnya biaya modal investasi awal adalah Rp. 46.106.485.180,-, sedangkan aliran tunai netto tahunan (*net annual cash flow*) sebesar Rp. 6.157.258.725,-. Lama waktu pengembalian ini memberikan indikasi terhadap tingkat resiko dan likuiditas suatu proyek. Makin pendek waktu pengembalian, makin besar likuiditas proyek dan makin kecil resikonya.

Untuk mengetahui sejauh mana pemanfaatan gas biometan dari sampah organik pasar induk sebagai bahan bakar Bis Transjakarta dapat memberikan keuntungan, digunakan analisis tingkat pengembalian internal (*Internal Rate of Return, IRR*). Penggunaan investasi akan layak jika diperoleh nilai IRR yang persentasenya lebih besar dari tingkat suku bunga bank yang telah ditentukan, karena proyek berada dalam keadaan yang menguntungkan. Dari hasil analisis sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.2 di atas, diperoleh nilai IRR sebesar 13,02%. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan gas biometan dinilai layak, karena mempunyai nilai IRR di atas tingkat suku bunga bank yaitu sebesar 10%.

4.4.3. Analisis Sensitivitas

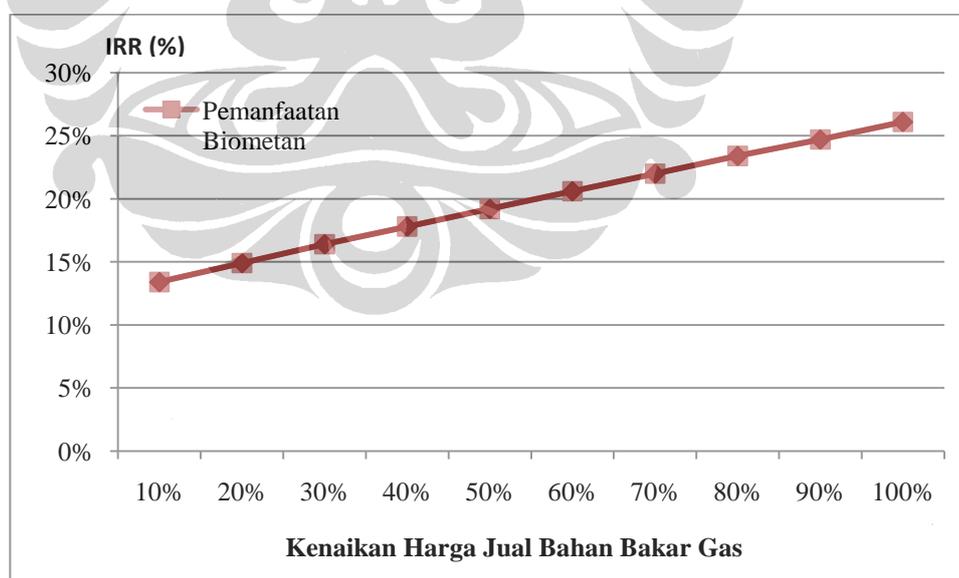
Suatu proyek pada dasarnya menghadapi ketidakpastian karena dipengaruhi perubahan-perubahan baik dari sisi penerimaan atau pengeluaran yang akhirnya akan mempengaruhi tingkat kelayakan proyek. Analisis sensitivitas bertujuan untuk melihat apa yang akan terjadi dengan hasil analisis proyek jika ada suatu kesalahan atau perubahan-perubahan dalam dasar-dasar perhitungan biaya atau manfaat.

Pengujian dengan analisis sensitivitas ini dilakukan sampai dicapai tingkat minimum dimana proyek dapat dilaksanakan dengan menentukan berapa besarnya

proporsi manfaat yang akan turun akibat manfaat bersih sekarang menjadi nol ($NPV=0$). NPV sama dengan nol akan membuat IRR sama dengan tingkat suku bunga. Analisis sensitivitas pada penelitian ini dilakukan pada IRR dan Payback Period terhadap harga jual bahan bakar gas.

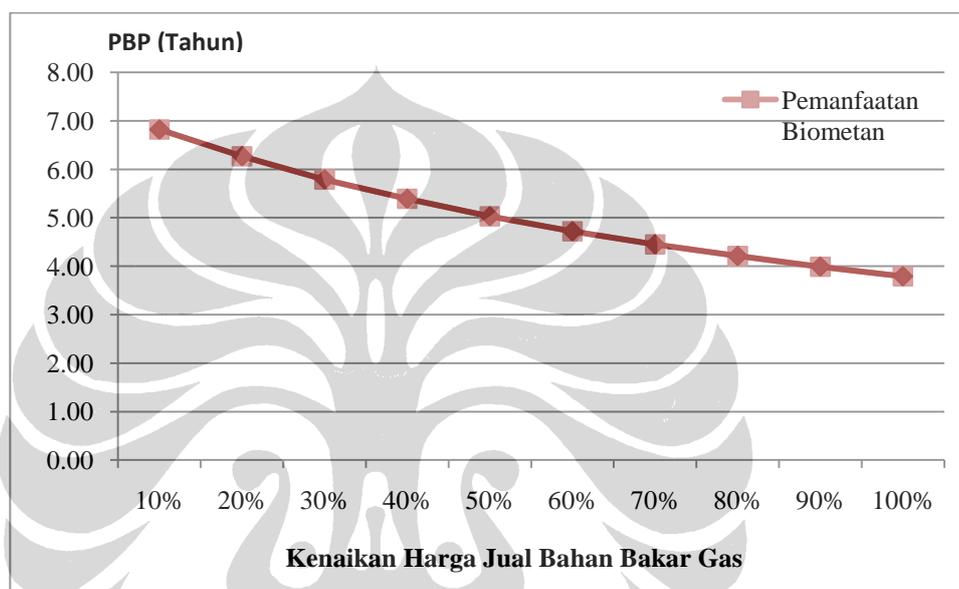
4.4.3.1. Kenaikan Harga Penjualan Bahan Bakar Gas

Dengan menggunakan harga bahan bakar natural gas sebagaimana perhitungan di atas, untuk kenaikan harga jual bahan bakar gas 10% dari kondisi awal yaitu sebesar Rp. 3.600,-/l-setara premium $\times 110\% = \text{Rp. } 3.960,-/l$ -setara premium, sehingga perubahan pada arus kas terutama pada pendapatan dari penjualan bahan bakar gas biometan menjadi Rp. 6.602.016.287,-. Perubahan harga jual bahan bakar gas ini, selanjutnya akan mempengaruhi nilai IRR menjadi 13,40%, dengan cara yang sama dapat diperoleh nilai IRR dan PBP untuk kenaikan harga jual bahan bakar gas diambil dengan skala kenaikan 10%, maka diperoleh sensitivitas kenaikan harga jual bahan bakar gas terhadap IRR hingga 100% untuk pemanfaatan gas biometan dari sampah organik pasar induk, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3. Analisis Sensitivitas Kenaikan Harga Jual Bahan Bakar Gas Terhadap IRR

Dari analisis ini, dapat diamati bahwa semakin besar kenaikan harga jual bahan bakar gas, pemanfaatan gas biometan sebagai bahan bakar Bis Transjakarta semakin layak untuk dilaksanakan. Hal ini terlihat dengan adanya indikator, bahwa dengan kenaikan harga jual bahan bakar gas, perubahan nilai IRR menunjukkan nilai yang semakin lebih besar dari suku bunga yang telah ditetapkan yaitu sebesar 10%. Sementara sensitivitas kenaikan harga jual bahan bakar gas hingga 100% terhadap *Pay Back Period (PBP)* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Analisis Sensitivitas PBP Terhadap Kenaikan Harga Jual Bahan Bakar Gas

Dari grafik analisis sensitivitas PBP terhadap kenaikan harga jual bahan bakar gas terlihat bahwa pada kenaikan harga jual bahan bakar gas 10%, nilai PBP sebesar 6,82 tahun, dengan kenaikan harga jual bahan bakar gas hingga kenaikan 100%, maka diperoleh nilai PBP yang semakin kecil yaitu selama 3,79 tahun, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar tingkat kenaikan harga jual bahan bakar gas, maka semakin rendah tingkat risikonya.