

# ANALISIS EXERGOECONOMIC GAS ENGINE SIKLUS MILLER DENGAN BAHAN BAKAR BIOGAS BERBAHAN BAKU POME

Ahmad Hasnul Fajri Arsyah<sup>1</sup>, Romy<sup>2</sup>, Iwan Kurniawan<sup>3</sup>  
Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin Universitas Riau  
ahmad.arsyah94@gmail.com<sup>1</sup>, romy\_pku@yahoo.com<sup>2</sup>, iwan\_ktm@yahoo.com<sup>3</sup>

## ABSTRACT

Many alternatives have been made to Minimalized energy usage. One of them performs exergy analysis and exergoeconomic analysis. This concept of analysis, not only taking into account the quantity of energy but also the quality of the energy (the second law of thermodynamics). Exergoeconomic analysis, is an analysis that combines the exergy analysis with an economic approach (cost). Exergoeconomic analysis was done by taking data at PLTBg Tandun. The analysis was initiated by conducting economic analysis. Analyses conducted to figure out the total value of the waste from the Diesel PLTBg per year and the price of electricity/kWh. There were 3 aspects of costs that we calculated cost of investment, operational maintenance fix costs, (employee salaries and benefits), and the operational maintenance. Of the each variable cost value were, the investment costs \$0.016/kWh, for to investment cost \$0.030/kWh, OM Fix the cost \$0.009/kWh variable OM. The value of total cost loss for gas engine due to the destruction of the first period exergy is \$7.116/hour, They are cost of losses for each component is the fuel space worth \$7.09/hour, for combustion chamber, \$0.043/hour, for compressor, \$0.033/hour for turbocharge. While total cost loss value due to destruction of exergy the second period is \$5.626/hour. They were of losses for each component is the fuel space worth \$5.22/hour, compressor \$0.393/hour, turbocharge \$0.013/hour.

*Keywords:* exergy, exergoeconomic, gas engine, biogas

## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber energi, baik yang bersifat *unrenewable resources* maupun yang bersifat *renewable resources* namun demikian eksplorasi lebih banyak dilakukan pada energi yang bersifat *unrenewable resources* sedangkan energi *renewable* belum banyak dimanfaatkan. Kondisi ini akan mengakibatkan lambat laun energi tersebut akan menjadi langka. Kelangkaan energi terjadi karena pertumbuhan dan perkembangan jumlah penduduk yang tidak diimbangi dengan ketersediaan energi itu sendiri.[1]

Energi listrik merupakan suatu faktor penunjang yang sangat penting bagi perkembangan secara menyeluruh suatu bangsa, semakin meningkatnya kegiatan industri dan jumlah penduduk, maka kebutuhan akan energi listrik juga mengalami peningkatan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi ketersediaan listrik di Indonesia antara lain ketersediaan energi primer dan harga bahan bakar [2].

Di Indonesia, terdapat banyak pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil seiring berjalannya waktu pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil harus digantikan dengan pembangkit yang dapat diperbaharui (*renewable*) seperti halnya Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) dimana merupakan pembangkit yang mengolah energi alternatif yang berasal dari biogas dengan kandungan utama adalah metana (CH<sub>4</sub>). Gas *methane* pada biogas tersebut dapat digunakan sebagai bahan bakar *gas engine* sebagai motor penggerak untuk menghasilkan energi listrik pada PLTBg [3].

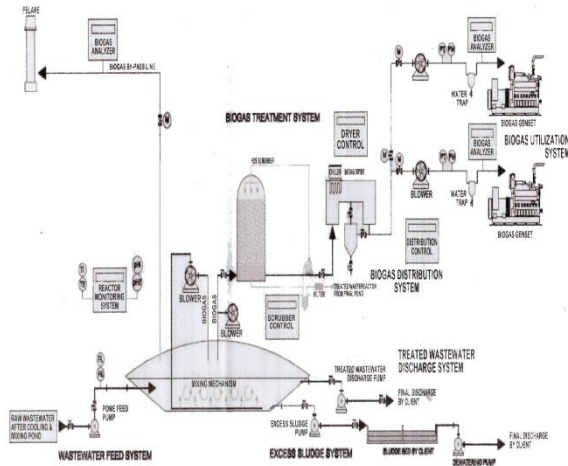
Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi adalah dengan melakukan analisis *exergy*. Melalui analisis *exergy* maka dapat diketahui lokasi, penyebab dan besar sebenarnya dari kerugian dan pemborosan suatu sistem termal [4]. Namun, analisis *exergy* saja tidak cukup. Karena, analisis *exergy* hanya mengidentifikasi nilai energi terbuang. Sedangkan *real* kerugian itu, mudah diamati jika telah dalam bentuk *cost*. Sehingga perlu dilakukan analisis lanjutan untuk mengetahui nilai kerugian ini. Analisis ini disebut analisis *exergoeconomic*, yaitu analisis gabungan *exergy* dan ekonomi teknik.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kerugian *cost* akibat kehilangan energi pada gas engine *siklus miller* Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg).

## 1. Metode

Penelitian dilakukan pada PLTBg Tandun PT KME (Karya Mas Energi) berkapasitas 1 MW. Pada tahap awal penelitian dilakukan identifikasi masalah untuk mengetahui kondisi pemangkit yang akan dijadikan studi kasus pada penelitian ini. Permasalahn yang diangkat adalah mengidentifikasi lokasi dan nilai kerugian biaya pada PLTBg PT KME Tandun.

Pengumpulan data dilakukan dengan observasi kelapangan, dengan menggambil data ekonomi perusahaan dan beberapa data asumsi lainnya. Skema PLTBg ditunjukkan Gambar 1



Gambar 1 Skema PT KME

## 2. Hasil

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui biaya total dari PLTBg Tandun per tahun dan biaya harga listrik/kWh PLTBg Tandun. Berikut beberapa aspek yang dihitung ialah biaya investasi, biaya *operasional maintenance fix*, dan biaya *operasional maintenance variabel*.

Perhitungan pertama dimulai dengan menghitung nilai PEC komponen (*purchased equipment cost*) PLTBg seperti Turbocharger, Ruang bakar, kompresor.

Setelah nilai PEC komponen diperoleh, dilanjutkan dengan menghitung biaya investasi PLTBg, yang mana nilai PEC adalah 40% [5] dari total biaya investasi. Setelah biaya investasi diketahui, kemudian dilanjutkan dengan menghitung *annual levelized cost* dan laju biaya perkomponen. Dengan tingkat suku bunga pada tahun 2019 adalah 2,84%, *life time* PLTBg adalah 20 tahun [6], nilai faktor maintenance ( $\Phi$ ) 1,06 [7].

### ➤ Purchased equipment cost (PEC)

Untuk menghitung PEC [8] dibutuhkan data operasional komponen gas engine PLTBg seperti gambar berikut:

- Ruang Bakar

$$PEC_{cc} = \left( \frac{12,1 \text{ \$/}(kg/s) m_a}{0,995 - \left(\frac{P_3}{P_2}\right)} \right) [1 + \exp(0,018 (K^{-1}) T_3 - 26,4)] \quad (1)$$

- Kompresor

$$PEC_k = \left( \frac{71,1 \text{ \$(kg/s) } m_{ac}}{0,9 - \eta_{ac}} \right) \left[ \frac{p_2}{p_7} \right] \ln \left[ \frac{p_2}{p_7} \right] \quad (2)$$

- Turbocharger

$$PEC_{tc} =$$

$$\left[ \left( \frac{266,3 m_g}{0,92 - \eta_{tt}} \right) \ln \left( \frac{P_4}{P_7} \right) (1 + \exp(0,036 T_4 - 54,4)) \right] \quad (3)$$

### ➤ Biaya investasi

PEC adalah 40% dari total biaya investasi, sehingga:

$$\text{Total capital investment} = \frac{PEC_{total}}{30\%} \quad (4)$$

Didapat nilai investasi total US\$1.935.924,4

### - Modal sendiri (equity)

$$\begin{aligned} E &= \% \text{ Equity} \times \text{biaya investasi} \quad (5) \\ &= 100\% \times \text{US\$1.935.924,4} \\ &= \text{US\$1.935.924,4} \end{aligned}$$

### ➤ Biaya operational maintenance

Biaya *operational maintenance* terdiri dari dua komponen, yaitu biaya tetap (*fix*) dan biaya *variable* [9]. Biaya *operational maintenance fix* meliputi gaji karyawan dan biaya tunjangan. Biaya tunjangan umumnya adalah 2 bulan gaji untuk setiap tahun. Sehingga diperoleh OM *fix* sebesar cent US\$ 0,030/kwh.

Dimana OM *variable* 30% dari OM *fix* [10]

$$OM \text{ variable} = 30\% \times \text{biaya OM fix tahunan} \quad (6)$$

diperoleh cent US\$ 0,009/kwh.

### ➤ Pengadaan bahan bakar

Pengadaan bahan bakar berkaitan dengan jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh PLTBg Tandun. Selain itu permintaan bahan bakar juga berkaitan erat dengan efisiensi pembangkit. Bahan bakar yang digunakan pada PLTBg ini adalah Methana ( $CH_4$ ) yang berasal dari limbah cair pabrik kelapa sawit, yang biasa dikenal dengan POME (Palm Oil Mill Effluent). Yang apabila di buang kelingkungan akan merusak ekosistem sekitar, dan POME juga memiliki unsur methana yang bisa diolah menjadi biogas [11]. Jadi biaya pengadaan bahan bakar diasumsikan Rp. 0 karena berasal dari limbah.

Dengan menjumlahkan biaya investasi, biaya OM *fix*, biaya OM *variable*, sehingga didapat biaya listrik/kWh PLTBg Tandun sebesar US\$ 0,055/kWh.

### ➤ Annual levelized cost dan laju biaya komponen

Biaya *Annual levelized cost* adalah biaya pembelian kelengkapan alat komponen dikurangi dengan nilai pembungaan per periode waktu, seperti persamaan berikut [12]:

$$\dot{C}_k = \left[ \left( PEC - \frac{0,1}{(1+i)^n} \right) \left( \frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} \right) \right] \quad (7)$$

Laju biaya komponen dapat dihitung dengan persamaan [13]:

$$Z_k = \frac{\Phi \times \dot{C}_k}{H} \quad (8)$$

dimana:

$\Phi$  = maintenance factor 1.06 [13]

H = Jam operasional PLTBg

dengan tingkat suku bunga (i) 2019 adalah 2,43% dan *life time* PLTBg [14], sehingga diperoleh *annual*

levelized cost dan laju biaya komponen PLTBg pada Tabel. 1

Tabel 1. Annual Levelized Cost dan Laju Biaya Komponen

Equipment	Annual levelized cost (US\$)	Z <sub>k</sub> (US\$)
Kompresor	7.019,8	1,2821
Ruang Bakar	2,01	0,00036
Turbocharger	3.461,8	0,6322

### ➤ Analisis Exergoeconomic

Harga spesifik *exergy* dihitung dengan persamaan kesetimbangan biaya [15].

$$\Sigma_{out} \dot{C}_{out,k} = \Sigma_{in} \dot{C}_{in,k} + \dot{Z}_k \quad (9)$$

Sedangkan laju biaya aliran pemusnahan *exergy* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [16]:

$$\dot{C}_{D,k} = C_k \times \dot{X}_{D,k} \quad (10)$$

nilai biaya akibat pemusnahan *exergy gas engine* PLTBg periode pertama pada tanggal 09/11/2018 dapat dilihat pada. Tabel 2

Tabel 2. Biaya *Exergy* dan *Destroyed* 09/11/2018

Komponen	09/11/2018 12.00 A.M	
	<i>Exergy cost</i> US\$	<i>Destroyed cost</i> US\$
Ruang Bakar	0,099	7,09
Kompresor	0,021	0,043
Turbocharger	0,023	0,033
<b>Total</b>	<b>0,143</b>	<b>7,116</b>

Sedangkan nilai biaya akibat pemusnahan *exergy gas engine* PLTBg periode kedua pada tanggal 09/03/2019 dapat dilihat pada. Tabel 3

Tabel 3. Biaya *Exergy* dan *Destroyed* 09/03/2019

Komponen	09/03/2019	
	<i>Exergy cost</i> US\$	<i>Destroyed cost</i> US\$
Ruang Bakar	0,088	5,22
Kompresor	0,021	0,393
Turbocharger	0,13	0,013
<b>Total</b>	<b>0,289</b>	<b>5,626</b>

### 3. Pembahasan

Analisis *exergoeconomic*, merupakan teknik yang mengkombinasikan analisis *exergy* dengan pendekatan ekonomi (*cost*). Analisis ini dimulai dengan melakukan analisis *exergy* [17], agar diketahui nilai pemusnahan *exergy* pada masing-masing komponen gas engine PLTBg.

.Analisis ekonomi ini dilakukan untuk mengetahui nilai pengeluaran total PLTBg per tahun sebesar US\$ 169.297/tahun.

Pembangunan PLTBg ini dilakukan pada Januari 2011 sampai dengan Desember 2011. Artinya masa pembangunan untuk PLTBg ini adalah 1 tahun. Dari analisis ekonomi didapatkan harga listrik/kWh yang

dihasilkan PLTBg US\$ 0,055/kWh atau sama dengan cent US\$ 5,5/kWh.

Setelah diperoleh nilai biaya dari *annual levelized cost* dan laju biaya komponen, dilanjutkan dengan menghitung nilai kerugian *cost* akibat pemusnahan *exergy*, sehingga didapatkan nilai biaya akibat pemusnahan *exergy* terbesar terjadi di (ruang bakar) sebesar US\$7,09/hour setelah itu kompresor sebesar US\$ 0,043 dan terkecil di turbocharger US\$ 0,033/hour. Dengan total biaya akibat pemusnahan *exergy* US\$ 7,116/hour.

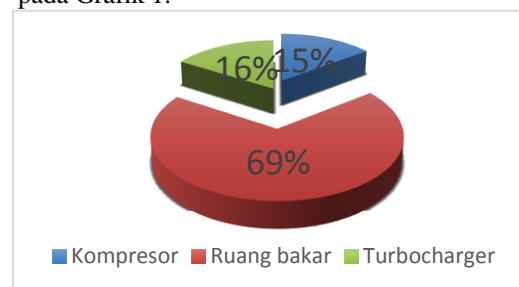
Nilai biaya akibat pemusnahan *exergy* di (ruang bakar) sangat besar karena reaksi pembakaran yang terjadi ruang bakar tidak sempurna [18]. Ada beberapa faktor yang menyebabkan reaksi pembakaran yang tidak sempurna di ruang bakar yaitu:

- Temperatur bahan bakar biogas yang fluktuatif.
- Temperatur udara pembakaran.
- Potensi *exergy* yang tersedia setelah proses kompresi tidak sepenuhnya dapat dikonfersikan menjadi kerja, sehingga *exergy* produk lebih kecil dari *pada exergy fuel* setelah proses pembakaran.

### 5. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah nilai dari kerugian *cost* total akibat pemusnahan *exergy* adalah US\$1.011.509,52/hour.

1. Nilai total investasi PLTBg tandun dengan satu engine, yaitu Guascor SFGM 560 sebesar \$ 1.935.924,4
2. Biaya *operational maintenance* di bagi atas dua bagian :
  - Operasional Maintenance fix = \$ 169.297 / tahun atau \$ 0,030 /kWh
  - Operasional Maintenance variabel = \$ 50.789,1 / tahun atau \$ 0,009 / kWh
3. Nilai kerugian *cost* pada kompresor tidak terjadi perubahan nilai tetap pada \$ 0,021/kWh, pada ruang bakar terjadi penurunan *cost exergy* dari \$ 0,099/kWh menjadi \$ 0,088/kWh, namun pada turbocharger terjadi peningkatan *cost exergy* dari \$ 0,023/kWh menjadi \$ 0,13/kWh. Persentase nilai ekonomis *exergy* dapat di lihat pada Grafik 1.



Grafik 1. Persentase Nilai Exergy Ekonomis Gas Engine

dapat dilihat bahwa *exergy* ekonomis terbesar terdapat pada ruang bakar sebesar 69 %, diikuti oleh turbocharger sebesar 16% dan yang paling rendah pada kompresor 15%.

#### Daftar Pustaka

- [1] Kuncoro Indra Adji. 2008. PLTN merupakan solusi yang tepat dalam mengatasi masalah *global warming* dan *krisis energy*. ITB Expo.
- [2] Ontoseno, Penangsang, "Diktat Kuliah Pengoperasian Optimum Sistem Tenaga Listrik", Jurusan Teknik Elektro .FTI .ITS.
- [3] Situngkir, Caesar. 2014. *Macam-Macam Pembangkit Tenaga Listrik*. Studi Teknik Elektro UGM
- [4] Gundersen, Truls. 2009. *An Introduction to the Concept of Exergy and Energy Quality. Energy and Process Engineering III* : 1-25.
- [5] Bejan, Adrian, George Tsatsaronis, and Michael Moran. 1996. *Thermal Design & Optimization*. Canada: John Wiley & Sosn, Inc.
- [6] Modul Pembiayaan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas
- [7] Igbong, D.I, and Fakorde, D.O. 2014. *Exergoeconomic Analysis of A 100 MW Unit GE Frame 9 Gas Turbine in Ughelli, Nigeria. International Journal of Engineering and Technology*
- [8] Bejan, Adrian, George Tsatsaronis, and Michael Moran. 1996. *Thermal Design & Optimization*. Canada: John Wiley & Sosn, Inc.
- [9] Harjono, Titon. 2013. Studi Pembangunan Batubara Kariangau 2x100 MW pada Sistem Mahakam, Balikpapan dan Pengaruhnya Terhadap Tarif Dasar Listrik Regional. Jurnal Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri. ITS
- [10] (Technology Data for Energy Plants, May 2012)
- [11] *Winrock International*, 2015. *Konversi POME menjadi Biogas*. Studi Mesin
- [12] Bejan, Adrian, George Tsatsaronis, and Michael Moran. 1996. *Thermal Design & Optimization*. Canada: John Wiley & Sosn, Inc.
- [13] Bejan, Adrian, George Tsatsaronis, and Michael Moran. 1996. *Thermal Design & Optimization*. Canada: John Wiley & Sosn, Inc.
- [14] Modul Pembiayaan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas
- [15] Bejan, Adrian, George Tsatsaronis, and Michael Moran. 1996. *Thermal Design & Optimization*. Canada: John Wiley & Sosn, Inc.
- [16] Bejan, Adrian, George Tsatsaronis, and Michael Moran. 1996. *Thermal Design & Optimization*. Canada: John Wiley & Sosn, Inc.
- [17] Cengel, Yunus A. 2015. *Thermodynamic An Engineering Approach*. New York: Mc Graw-Hill Education
- [18] Purwantari, Atikah, 2019. *Analisis Exergy Gas Engine Siklus Miller dengan Bahan Bakar biogas Berbahan Baku POME*