

ANALISIS EXERGOECONOMIC PADA RUANG BAKAR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS UAP (PLTGU) TELUK LEMBU 30 MW

Putri Wahyuni 1¹, Awaludin Martin 1²

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

¹ putriwahyuniunri@gmail.com, ² awaludinmartin01@gmail.com

Abstract

One of the causes of the energy crisis in Indonesia is, because it is not efficient in energy use. Many alternatives have been done to make efficient use of energy. One way is to perform the analysis. Analysis meant here is the exergy analysis and analysis exergoeconomic. The concept of this analysis, not only of the quantity of energy but also the quality of energy (the second law of thermodynamics). Exergoeconomic analysis, is a technique that combines exergy analysis with the economic approach (cost). Exergoeconomic analysis is done by sampling Teluk Lembu combined cycle power plant . The analysis begins with the economic analysis. This analysis was conducted to determine the value of the total expenditures of the Teluk Lembu combined cycle power plant per year and electricity prices/kWh. The following four aspects of the calculated cost is the cost of investment, maintenance fixed operating costs, including employee salaries and benefits adjusted to the standard INKINDO 2014, fuel costs, maintenance and operating cost variable. Each value is, the cost of investment of IDR 196.03/kWh, the cost OM fix IDR 69.72/kWh, OM variable costs IDR 34.86/kWh, fuel costs IDR 1072.74/kWh. Loss value cost for combustion chamber is valued at IDR 8,338,282.46/h.

Key Word : Exergy, Exergoeconomic, cost

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang kaya dengan sumberdaya energi, baik energi yang bersifat *unrenewable resources* maupun yang bersifat *renewable resources*. Namun demikian, eksplorasi sumberdaya energi lebih banyak difokuskan pada energi yang bersifat *unrenewable resources*, sedangkan energi yang bersifat *renewable* relatif belum banyak dimanfaatkan. Kondisi ini menyebabkan ketersediaan energi yang bersifat *unrenewable resources* menjadi langka [1]. Kelangkaan ini mengakibatkan terjadinya krisis energi.

Krisis energi merupakan masalah yang sangat fundamental di Indonesia. Selain permasalahan ketersediaan energi yang kurang memadai, krisis energi juga dipicu oleh kurangnya efisiensi penggunaan energi. Indonesia merupakan salah satu negara yang tidak efisien dalam pemanfaatan energi. Bisa dilihat dari nilai

elastisitas dan intensitas energi di Indonesia. Nilai elastisitas energi Indonesia adalah 1,84 [2]. Angka ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan Negara-negara maju lainnya. Sehingga, diperlukan solusi dari permasalahan ini. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi adalah dengan melakukan analisis [3]. Analisis yang dimaksud adalah analisis *exergy*.

Konsep analisis *exergy*, tidak hanya memperhitungkan kuantitas energi tetapi juga kualitas energi (hukum kedua termodinamika). Namun, analisis *exergy* saja tidak cukup. Karena, analisis *exergy* hanya mengidentifikasi lokasi, proses dan nilai *exergy* terbuang yang menyebabkan kerugian [4]. Sedangkan *real* kerugian itu, mudah diamati jika telah dalam bentuk *cost*. Sehingga perlu dilakukan analisis lanjutan untuk mengetahui nilai kerugian ini, yaitu analisis gabungan *exergy* dan

ekonomi teknik. Analisis ini disebut analisis *exergoeconomic*.

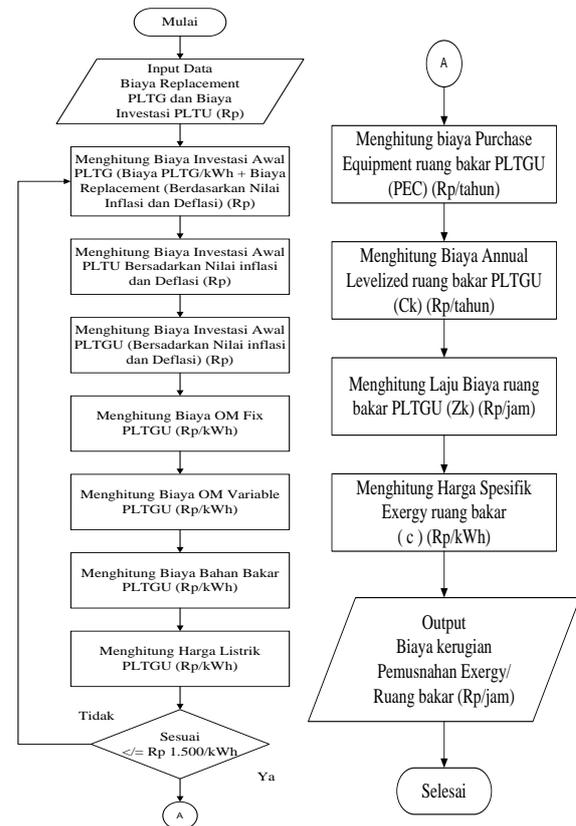
Analisis *exergoeconomic* dilakukan berdasarkan 2 kasus, yaitu waktu pemakaian dan pembebanan. Berdasarkan nilai pembebanan (50%, 70%, 100%) nilai kerugian *cost* terbesar adalah pada kondensor, yaitu 1,919296 (dihitung berdasarkan perbandingan bahan bakar dengan produk yang dihasilkan). Sedangkan untuk waktu pemakaian, kerugian *cost* akibat pemusnahan *exergy* terjadi pada *ekternal heat exchanger* yaitu senilai 67.55 % dari total biaya keseluruhan. Ini terjadi pada pemakaian tahun ke-9 [5].

Penelitian selanjutnya dengan objek penelitian adalah Pembangkitan yang ada di Tripoli Selatan. Penelitian dilakukan dengan tiga variasi beban dan disimpulkan bahwa biaya pemusnahan *exergy* terbesar adalah pada ruang bakar dan dari analisa *exergoeconomic* menunjukkan bahwa unit tersebut mempunyai performansi yang maksimal apabila beroperasi pada beban penuh [6]. Sedangkan penelitian dari Indonesia sendiri juga telah dilakukan. Analisis *exergy* dilakukan pada PLTGU PT PJB Gresik, dan disimpulkan bahwa pemusnahan *exergy* di ruang pembakaran memberikan kontribusi yang paling besar. Namun, dengan analisis ekonomi, HP *steam turbine* adalah lokasi dimana kerugian *exergy* terbesar dalam bentuk ekonomi. Perbedaan ini terjadi karena harga spesifik dari uap lebih besar dibandingkan harga spesifik gas dan bahan bakar [7]. Pada jurnal Giuna dan Gunawan, menyatakan bahwa pemusnahan *exergy* terbesar terjadi pada ruang bakar. Berdasarkan jurnal diatas, penulis melakukan penelitian untuk mengetahui kerugian *cost* akibat pemusnahan *exergy* pada ruang bakar PLTGU Teluk Lembu.

2. Metode

Penelitian dilakukan dengan mengambil sampel Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) Teluk Lembu 30 MW. PLTGU menggunakan sistem

kombinasi 1-1-1 (1 turbin gas, 1 HRSG dan 1 turbin uap). Data yang digunakan untuk perhitungan, adalah data keuangan yang diperoleh dari PLTGU Teluk Lembu dan asumsi-asumsi lain. Berikut *flow chart* perhitungan dalam analisis *exergoeconomic*.



Gambar 1 *Flow chart* Perhitungan

3. Hasil

1. Analisis Ekonomi

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui nilai pengeluaran total per tahun dan harga listrik/kWh dari PLTGU Teluk Lembu. Berikut 4 aspek biaya yang dihitung ialah biaya investasi, biaya *operasional maintenance fix*, yang meliputi gaji pegawai dan tunjangan yang disesuaikan dengan standar Inkindo 2014, biaya bahan bakar, dan biaya *operasional maintenance variable*.

Setelah diperoleh nilai harga listrik/kWh PLTGU Teluk Lembu, selanjutnya dihitung nilai *purchase equipment* ruang bakar. Nilai *Purchase*

Equipment Cost (PEC) adalah biaya pembelian peralatan untuk ruang bakar. Tujuan dari perhitungan biaya ini adalah untuk menghitung nilai biaya *Annual Levelized* ruang bakar (\dot{C}_r) dan laju biaya ruang bakar (\dot{Z}_r). Tingkat suku bunga Bank (i) pada tahun 2010 (masa pembangunan) adalah 5,24 %, *life time* PLTGU adalah 15 tahun, nilai faktor maintenance (ϕ) adalah 1,06 [8].

- **Biaya investasi**

Biaya ini meliputi biaya modal sendiri (*equity*), hutang (*Dept*) dan biaya *Interest During Construction* (IDC) [9]. Analisis *equity* dan *dept* digunakan perbandingan 30:70. Biaya total PLTGU Teluk Lembu adalah Rp 307.518.765.838,81.

Equity

$$E = \% \text{ Asumsi} \times \text{biaya PLTGU} \quad (2.1)$$

Dept

$$D = \% \text{ Asumsi} \times \text{biaya PLTGU} \quad (2.2)$$

Diasumsikan masa peminjaman adalah 10 tahun, dengan tingkat suku bunga pinjaman bank (i) 5,24 % per tahun. Nilai pembayaran *dept* untuk tahun ke-n adalah:

$$C_{dn} = \left[\left\{ \frac{C_d}{N} + \left\{ i \left(C_d - \left(n \times \frac{C_d}{N} \right) \right) \right\} \right\} \right] \quad (2.3)$$

C_{dn} adalah nominal pembayaran pinjaman pada tahun ke-n, N adalah waktu peminjaman, i adalah suku bunga pinjaman bank, C_d adalah nilai pinjaman total dan n adalah periode tahun pembayaran.

IDC

IDC dilakukan 2 kali selama masa pembangunan. Diasumsikan nilai IDC 50% dari biaya total selama masa pembangunan 2 tahun.

$$IDC_1 = \left\{ \left(\frac{50}{100} \times \text{dept} \right) \times \frac{5,24}{100} \right\} \quad (2.4)$$

$$IDC_2 = \left\{ \left(\frac{50}{100} \times \text{dept} \right) \times \frac{5,24}{100} + IDC_1 \right\}$$

$$IDC_{\text{total}} = IDC_1 + IDC_2 \quad (2.5)$$

Berikut nilai *equity*, nilai pembayaran *dept* dan IDC per tahun adalah sebagai berikut: Rp6.150.375.316,78, Rp 26.602.218.357,65 dan Rp 8.459.841.248,23

Nilai faktor kapasitas PLTGU adalah 80 % [10]. Artinya, rata-rata, PLTGU akan beroperasi pada daya 80% dari 30.000 kWatt yaitu 24.000 kWatt. Sehingga, energi listrik yang dihasilkan PLTGU Teluk Lembu dalam setahun adalah 210.240.000 kWh.

$$\text{Energi} = \text{Daya} \times \text{jam op.} \times \text{f. kapasitas} \quad (2.6)$$

$$\frac{\text{Rp}}{\text{kWh}} \text{ investasi} = \frac{\text{Nominal rupiah investasi / tahun}}{\text{energi / tahun}} \quad (2.7)$$

Biaya total investasi adalah penjumlahan dari biaya equity, dept dan IDC yaitu Rp 41.212.434.922,65 dan nilai Rupiah/kWh untuk investasi adalah Rp 196,03/kWh

- **Biaya OM Fix**

Biaya operasi dan perawatan terdiri dari dua komponen, yaitu biaya tetap (*fix*) dan biaya *variable*. Biaya *operasional maintenance fix* meliputi biaya untuk gaji pegawai dan biaya tunjangan. Biaya tunjangan, diasumsikan senilai 2 bulan gaji untuk setiap tahun.

$$\text{Nilai OM fix} = 0,51 \text{ cent} \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \quad (2.8)$$

Nilai setara dengan Rp 69,72/kWh

- **Biaya bahan bakar**

Penyediaan bahan bakar berkaitan erat dengan jumlah energi listrik yang dihasilkan PLTGU Teluk Lembu. Selain itu, permintaan bahan bakar juga berkaitan erat dengan efisiensi pembangkit. Bahan bakar yang digunakan pada PLTGU Teluk

Lembu adalah Metana (CH₄). Setiap kWh yang dihasilkan, akan diperoleh nilai kalor.

$$F(c) = \frac{864 \text{ kkal/kWh} \times U_i}{\eta} \quad (2.9)$$

U_i merupakan harga bahan bakar dan η efisiensi PLTGU yang 44 %. Harga bahan bakar per kWh adalah Rp 1.072,74

- Biaya OM Variable

Biaya *operasional maintenance variable*, berhubungan dengan pengoperasian pembangkit dan faktor yang mempengaruhi adalah pemeliharaan dan desain pembangkit. Nilai OM *variable* meliputi nilai pengeluaran untuk *sparepart*. Nilai dapat dihitung dengan persamaan :

$$OM \text{ 50 \%} \times \text{Biaya OM fix tahunan} \quad (2.10)$$

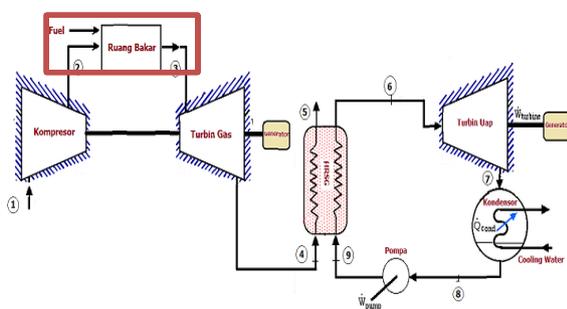
Biaya OM fix tahunan = Rp 34,86/ kWh

Berdasarkan 4 komponen biaya, diperoleh harga listrik, yaitu penjumlahan dari 4 komponen biaya tersebut Rp 1.373,14/ kWh

Purchase Equipment Cost (PEC)

Untuk memperoleh *Annual Levelized Cost* ruang bakar (\dot{C}_r) dan laju biaya ruang bakar (\dot{Z}_r), dihitung nilai pembelian alat ruang bakar seperti berikut [11]:

Ruang bakar



$$PEC_{rb} = \left[\left(\frac{25,6 \text{ } m_a}{0,995 \frac{P_3}{P_2}} \right) (1 + \exp(0,018T_3 - 26,4)) \right] \quad (2.11)$$

Berdasarkan data yang diperoleh dari PLTGU Teluk Lembu, $m_a = 70,75 \text{ kg/s}$, $P_3 = 803,16 \text{ kPa}$, $P_2 = 828 \text{ kPa}$ dan $T_3 = 1.204,26 \text{ K}$, sehingga nilai PEC ruang bakar adalah

$$PEC_{rb} = \text{Rp } 986.814.558,52$$

Annual Levelized Cost Ruang Bakar (\dot{C}_r)

$$\dot{C}_r = \left[\left(PEC_r - \frac{1}{(1+i)^n} \right) \left(\frac{1}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} \right) \right] \quad (2.12)$$

$$\dot{C}_r = \text{Rp } 96.620.425,11$$

Laju Biaya Komponen Ruang bakar

$$\dot{Z}_r = \frac{\phi \times \dot{C}_p}{H} \quad (2.13)$$

$$\dot{Z}_r = \text{Rp } 11.691,51$$

2. Analisis Exergoeconomic

Setelah diperoleh nilai \dot{Z}_r dihitung nilai harga spesifik eksergi komponen ruang bakar dengan kesetimbangan biaya tiap komponen

$$\sum_{\text{out}} \dot{C}_{o,r} = \sum_{\text{in}} \dot{C}_{i,r} + \dot{Z}_r \quad (2.14)$$

$$c_3 \dot{X}_3 = c_2 \dot{X}_2 + c_{bb} \dot{X}_2 + \dot{Z}_r$$

$$c_3 = \text{Rp } 618,09/\text{kWh}$$

Nilai kerugian rupiah akibat pemusnahan *exergy* adalah:

$$\dot{C}_{Dr} = c_p \dot{X}_{D,r} \quad (2.15)$$

$$\dot{C}_{Dr} = \text{Rp } 8.338.282,46/\text{jam}$$

4. Pembahasan

Analisis *exergoeconomic*, merupakan teknik yang mengkombinasikan analisis *exergy* dengan pendekatan ekonomi (*cost*). Analisis diawali dengan melakukan analisis *exergy*, supaya diketahui nilai pemusnahan *exergy* masing-masing komponen PLTGU Teluk Lembu. Kemudian meninjau dari segi ekonomi, sehingga diperoleh nilai kerugian berupa *cost* pada setiap komponen PLTGU Teluk

Lembu. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui nilai pengeluaran total dari PLTGU Teluk Lembu per tahun dan biaya harga listrik/kWh PLTGU Teluk Lembu.

Berdasarkan data, masa pembangunan PLTG adalah dari Desember 2004 s/d Desember 2006, mulai operasi pada bulan Januari 2007 dan memperoleh COD pada bulan Juli 2007. Sedangkan PLTU, masa pembangunan dari Desember 2010 s/d Desember 2012, mulai operasi Januari 2013 dan memperoleh COD Juli 2013. Untuk memperoleh nilai *cost* pembuatan PLTGU, diasumsikan pembuatan PLTG dan PLTU adalah pada waktu bersamaan, yaitu pada saat pembangunan PLTU dimulai. Sehingga nilai *cost* pembangunan PLTG senilai Rp 25 Miliar ditambah dengan biaya pembuatan PLTG/kWh pada bulan Desember 2004 diakumulasikan dengan harga pada bulan Desember 2010 berdasarkan nilai inflasi dan deflasi per bulan. Nilai inflasi dan deflasi diperoleh dari data *online* Badan Pusat Statistik Indonesia. Berdasarkan perhitungan yang telah diperoleh, nilai kerugian *cost* akibat pemusnahan *exergy* pada ruang bakar adalah Rp 8.338.282,46/jam.

5. Simpulan

Harga listrik berdasarkan 4 komponen biaya (investasi, OM fix, OM variable dan biaya bahan bakar. Nilai masing-masingnya adalah, biaya investasi Rp 196,03/kWh, biaya OM fix Rp 69,72/kWh, biaya OM variable Rp 34,86/kWh, biaya bahan bakar Rp 1.072,74/kWh. Sehingga diperoleh harga listrik Rp 1.373,14/kWh. Nilai kerugian *cost* ruang bakar akibat pemusnahan *exergy* adalah Rp 8.338.282,46/jam.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih penulis ucapkan kepada pihak PLTGU Teluk Lembu yang telah memberikan informasi yang penulis butuhkan untuk penelitian ini. Selanjutnya dosen pembimbing penulis, Bapak Dr.

Awaludin Martin, S.T.,M.T dan semua keluarga besar Teknik Mesin UNRI.

Daftar Pustaka

- [1] Apriliana. 2011. *Analisis Hubungan Konsumsi Energi dengan Pertumbuhan Ekonomi di Indonesia*. Junal ekonomi
- [2] *Blueprint* pengelolaan energi nasional, 2006
- [3,4,7] B, Ika Susanti, Gunawan Nugroho, Sarwono. 2012. Analisa Termoekonomi Pada Sistem Kombinasi Turbin Gas Uap PLTGU PT PJB Unit Pembangkitan Gresik. Jurnal Teknik POMITS Vol. 1. No 1 : 1-6.
- [5] Galicia, Acevedo, Luis Enrique, Torrico Aguilar dan Jose Mario. 2012. Thermo-economic diagnosis of 200 MW Conventional Combined Cycle Power Plant, Irreversibility Analysis Based On The Symbolic Exergoeconomics. Mechanical engineering UNAM. Mexico.
- [6] Fella M Gioma, Fathi A Mgherbi, Saleh M Aboghres. 2010. Exergoeconomics Analysis for Unit Gt14 of South Tripoli Gas Turbine Power Plant. Mechanical and Industrial Engineering Al Fateh. Vol. 4: 507-516.
- [8] Baghestani, Muhammad et al. 2011. Evaluation of repowering in a gas fired steam power plant based on exergy and exergoeconomic analysis. Mechanical Engineering. World Renewable Energy Congress-Sweden.
- [9] Fatony, Muhammad Gadhavai. 2010." Analisa kelayakan ekonomi proyek". Skripsi Strata 1. Program Sarjana Ekonomi UI.

- [10] Sianturi, Ronny Samuel. 2008. Studi Pembangkit Listrik Tenaga Uap dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Aplikasi PT. Musim Mas Kim II Medan. Skripsi. Program Studi Teknik Elektro USU.
- [11] Bejan, Adrian, George Tsatsaronis, Michael Moran. 1996. *Thermal Design and Optimization*. New York : A Willey- Interscience Publication.