

# ANALISIS *EXERGY* PADA UNIT 2 PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS (PLTG) TELUK LEMBU KAPASITAS 21.6 MW

Awaludin Martin dan Nur Indah Rivai

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Km. 12,5  
Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293, Indonesia

E-mail : awaludinmartin01@gmail.com, nurindahrivai11@gmail.com

## ABSTRAK

Banyak usaha yang telah dilakukan dalam pengefisienan energi pada pembangkit listrik. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi adalah dengan melakukan analisis. Analisis yang dimaksud disini adalah analisis *exergy*. Konsep analisis ini, tidak hanya memperhitungkan kuantitas energi tetapi juga kualitas energi (hukum kedua termodinamika). Analisis Eksergi dilakukan dengan mengambil sampel pembangkit listrik turbin gas Teluk Lembu berkapasitas 21,6 MW. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan mengetahui lokasi dan besar kehilangan *exergy*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemusnahan eksergi paling besar terjadi di ruang bakar mencapai 21,85 MW dan sementara turbin gas terendah 3,09 MW. Dan efisiensi ekserginya didapat 22,73%. Berdasarkan perhitungan, analisis eksergi dapat menentukan besarnya, lokasi pemusnahan eksergi. Ini akan membuatnya lebih mudah untuk melakukan optimasi untuk meningkatkan efisiensi.

Kata Kunci : *pembangkit listrik tenaga gas, energi, eksergi, pemusnahan eksergi*

## ABSTRACT

*Many efforts have been made in energy efficiency in electricity generation. One way to improve the efficiency of energy use is by conducting an analysis. Analysis meant here is the exergy analysis and exergoeconomic analysis. The concept of this analysis, not only the quantity of energy but also the quality of energy (the second law of thermodynamics). Exergy is done by sampling Teluk Lembu gas turbine power plant capacity 21.6 MW. The aim of this study was to analyze the exergy destruction and the amount of the exergy destruction in the form of cost. The result showed that the highest exergy destruction occurred in the combustion chamber reached 21,85 MW and while gas turbine is the lowest 3,09 MW and efficiency exergetic was 22,73%. Based on the calculation, analysis of exergy can determine magnitude, location of the exergy destruction. These will make it easier to conduct optimizations to increase efficiency*

*Keywords: Gas turbine power plant, energy, exergy, exergy destruction*

## PENDAHULUAN

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 (Kadir, 2015).

Telah banyak usaha yang dilakukan dalam meningkatkan efisiensi pada pembangkit listrik.

Salah satu tahapannya adalah dengan melakukan analisis *exergy*. Selama ini analisis yang dilakukan hanya berdasarkan kepada hukum pertama termodinamika, yaitu energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan yang mana penurunan kualitas energi tidak diperhitungkan.

Maka untuk mengkaji lebih dalam mengenai penurunan kualitas dari energi tersebut digunakanlah analisis *exergy*. Analisis *exergy* menggunakan konservasi massa dan energi serta berdasar pada hukum termodinamika kedua, yaitu proses termodinamika selalu tidak ideal sehingga terjadi penurunan kualitas energi (Moran dan

Shapiro, 2007). Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi adalah dengan melakukan analisis. Melalui analisis *exergy* sehingga dapat diketahui lokasi, penyebab dan besar sebenarnya dari kerugian suatu sistem termal (Martin dkk, 2016)

**BAHAN DAN METODE**

**Lokasi, Populasi, dan Sampel**

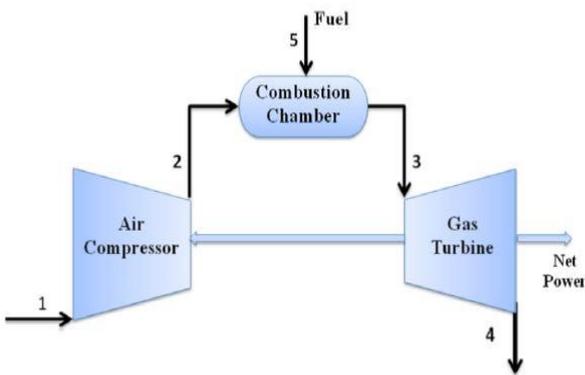
Penelitian dilakukan pada unit 2 PLTG Teluk Lembu PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Pekanbaru pada bulan Desember – Januari 2018. PLTG Teluk Lembu memiliki kapasitas Daya 2 x 21,6 MW.

**Pengumpulan Data**

Pada tahap awal penelitian, dilakukan identifikasi masalah untuk mengetahui kondisi pembangkit yang akan dijadikan studi kasus pada tugas akhir ini. Permasalahan yang diangkat adalah mengenai identifikasi jenis, lokasi dan nilai kerugian termal pada PLTG Teluk Lembu.

Pengumpulan data dilakukan dengan observasi ke lapangan dengan mengambil sampel data aktual operasi unit. Data aktual diambil dari *logsheet* atau *daily report* PLTG Teluk Lembu pada lima hari per setiap jam nya di rata-rata kan. Data aktual operasi yang diambil adalah temperatur dan tekanan per setiap *state* nya, dan komposisi gas alam.

Skema PLTG ditunjukkan pada Gambar 1 (Cengel dan Boles, 2015)

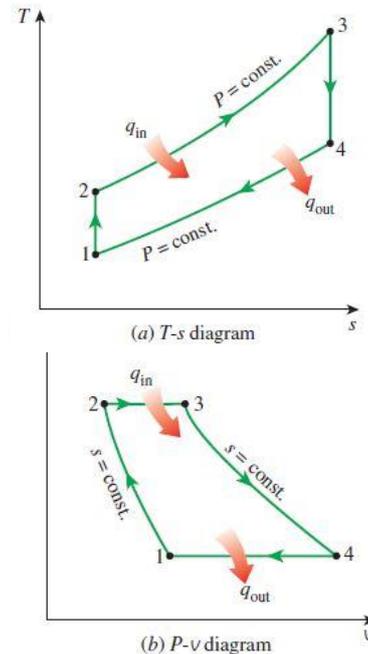


Gambar 1. Skema PLTG Teluk Lembu (Cengel dan Boles, 2015)

Adapun diagram T-s dan P-v untuk siklus terbuka seperti terlihat pada Gambar 2.

- (1 – 2) : Kompresi Isentropik
- (2 – 3) : Penambahan kalor pada tekanan konstan
- (3 – 4) : Ekspansi Isentropik (di dalam turbin)

(4 – 1) : Pembuangan kalor pada tekanan konstan



Gambar 2. Diagram pada Siklus *Brayton* (Cengel dan Boles, 2015)

Pengolahan data dilakukan dengan melakukan perhitungan energi dan *exergy* pada tiap-tiap komponen pembangkit yaitu kompresor, ruang bakar dan turbin gas. Setelah didapat perhitungan energi pembangkit, dilanjutkan dengan melakukan perhitungan *exergy* pembangkit. (Bejan dkk, 1996) menyatakan bahwa *exergy* total suatu sistem dibagi menjadi 4 komponen, yaitu *exergy thermo mechanical* ( $\dot{X}^{TM}$ ), *exergy kimia* ( $\dot{X}^{CH}$ ), *exergy potensial* ( $\dot{X}^{PT}$ ), dan *exergy kinetik* ( $\dot{X}^{KN}$ ). Dengan catatan tidak adanya efek nuklir, magnetik, elektrik dan tegangan permukaan. Sehingga nilai *exergy* total dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\dot{X} = \dot{X}^{TM} + \dot{X}^{CH} + \dot{X}^{PT} + \dot{X}^{KN} \tag{1}$$

Efisiensi *exergy* dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{III,PLTG} = \frac{W_{GT,net}}{\dot{X}_3} \tag{2}$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil**

Adapun hasil perhitungan rata - rata pemusnahan *exergy* dan efisiensi *exergy* untuk sistem pembangkit dapat di tunjukkan pada Tabel 1:

**Tabel 1. Pemusnahan Eksergi dan Efisiensi Eksergi**

KOMPONEN	Pemusnahan Exergy (MW)	Efisiensi Exergy (%)
KOMPRESOR	8,49	73,78
RUANGBAKAR	21,85	76,45
TURBIN GAS	3,09	95,63

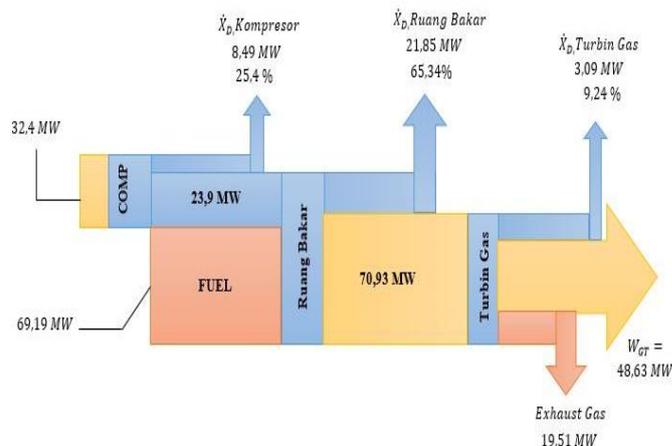
Adapun tabel kesetimbangan *exergy* ditunjukkan pada Tabel 2 (Igbong dan Farkode, 2014):

**Tabel 2. Kesetimbangan Eksergi**

Komponen	$\dot{X}_{in}$ (MW)	$\dot{X}_{out}$ (MW)	$\dot{X}_D$ (MW)	$\eta_{II}$ (%)
AC	$\dot{W}_c + \dot{X}_1$	$\dot{X}_2$	$\dot{W}_c + \dot{X}_1 - \dot{X}_2$	$\frac{\dot{X}_2}{\dot{W}_c + \dot{X}_1}$
CC	$\dot{X}_2 + \dot{X}_5$	$\dot{X}_3$	$\dot{X}_2 + \dot{X}_5 - \dot{X}_3$	$\frac{\dot{X}_3}{\dot{X}_2 + \dot{X}_5}$
GT	$\dot{X}_3 + \dot{W}_{GT}$	$\dot{X}_4 + \dot{W}_{GT}$	$\dot{X}_3 - (\dot{X}_4 + \dot{W}_{GT})$	$\frac{(\dot{X}_4 + \dot{W}_{GT})}{\dot{X}_3}$

Kemudian dari perhitungan *exergy* yang telah dilakukan juga dapat dijelaskan melalui Diagram *Grassman*. (Gong dan Werner, 2017) Diagram *Grassman* adalah suatu diagram yang menunjukkan arus energi maupun *exergy* dari sumber utama hingga pada masing-masing penggunaan akhir. Sisi kiri diagram menunjukkan arus masuk sumber utama (*input*), bagian tengahnya berisi proses konversi dan proses perpindahan *exergy*, sisi kanan menunjukkan pengguna akhir (*output*) dan kehilangan *exergy* ditunjukkan oleh tiap panah naik ataupun turun.

Diagram *Grassman* ditunjukkan pada Gambar 3. Dari Diagram *Grassman* dapat terlihat *exergy* dari sumber utama sebesar 101,59 MW yang kemudian melewati tiap-tiap batas dalam sistem. Terlihat pemusnahan *exergy* dari tiap-tiap proses yang dilalui beserta persentase *exergy* yang hilang tiap *state* yang dilalui dimana pada ruang bakar (*combustion chamber*) merupakan lokasi pemusnahan *exergy* terbesar yaitu 21,86 MW (65,34%), pada komponen turbin gas merupakan pemusnahan *exergy* yang paling sedikit sebesar 3,09 MW (9,24%) dan potensi kerja berguna pada sistem sebesar 48,63 MW.



**Gambar 3. Diagram Grassman**

**Pembahasan**

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa eksergi efisiensi dari kompresor, ruang bakar dan turbin gas secara berturut-turut adalah 73,78% , 76,45 % , dan 95,63%. Efisiensi merupakan ukuran seberapa besar efektifitas input yang dapat diubah menjadi output, sedangkan kehilangan eksergi pada kompresor, ruang bakar, turbin gas berturut-turut adalah 8,49 MW, 21,85 MW, dan 3,09 MW. Kehilangan eksergi terbesar terjadi pada ruang bakar sementara kehilangan eksergi terkecil terjadi di turbin gas.

Laju kehilangan eksergi yang terjadi di ruang bakar didapat sangat besar jika dibandingkan dengan komponen lainnya. Hasil ini sama dengan beberapa peneliti. (Santoso, 2011) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Eksergi Siklus Kombinasi Turbin Gas-Uap Unit PLTGU Inderalaya” dan menyatakan bahwa pemusnahan eksergi PLTG (siklus *brayton*) terbesar terjadi di ruang bakar 47,41 MW (77,7%) diikuti dengan kompresor senilai 5,87 MW (9,78 %) dan turbin gas senilai 7,73 MW (12,88%) dan efisiensi eksergi nya adalah 29,3 %

(Memon dkk, 2013) melakukan analisis eksergi pada siklus gabungan 144 MW Kotri, Pakistan. Hasilnya menunjukkan bahwa pemusnahan eksergi (siklus *brayton*) dari kompresor, ruang bakar dan turbin gas adalah 13, 5 MW (6,41%), 167,94 MW (79,74%) dan 29,62 MW (14,06%) dengan ruang bakar adalah tempat terjadinya pemusnahan eksergi terbesar.

Hasil ini sama juga dengan peneliti (Tiwari dkk, 2013) yang melakukan analisis eksergi pada siklus gabungan: NTPC India dan menyimpulkan bahwa pemusnahan eksergi yang terbesar terjadi pada

ruang bakar mencapai 35 % dari total pemusnahan eksergi pada sistem dan menyimpulkan penyebabnya adalah irreversibilitas pembakaran dan menuliskan untuk mengurangi hal ini dengan pengembangan teknologi proses pembakaran yang baru.

(Igbong dan Farkode, 2014) melakukan analisis *exergoeconomic* PLTG 100 MW GE dan hasilnya menunjukkan bahwa pemusnahan eksergi pada kompresor, ruang bakar, dan turbin gas berturut-turut adalah 9,66 MW (3,53%), 238,7 MW (86,38%) dan 27,97 MW (10,12%).

(Dev dan Attri, 2012) didalam penelitiannya menyimpulkan penyebab ruang bakar mengalami pemusnahan eksergi lebih tinggi dari komponen lainnya adalah bahwa tidak terbakarnya bahan bakar (*unburn fuel*), pembakaran yang tidak sempurna, dan rugi panas dengan sekitarnya melalui proses pembakaran.

Berdasarkan hasil perhitungan dari analisis energi dan eksergi, maka ada beberapa saran untuk optimasi kepada perusahaan yang dapat dilakukan selain proses perawatan yang teratur.

Sampai saat ini, cara yang paling dikenal untuk meningkatkan efisiensi pembakaran adalah dengan pra-pemanasan udara pembakaran, mengurangi rasio bahan bakar dan udara. Pemusnahan eksergi pada turbin dan kompresor dapat berkurang bila gesekan dikurangi.

Pertimbangan - pertimbangan yang diuraikan sebelumnya memberikan dasar untuk mengimplementasikan langkah - langkah perekrayasaan praktis untuk peningkatan kerja sistem turbin gas. Misalnya hasil penelitian yang menjelaskan bahwa efisiensi akan meningkat dan berkurangnya irreversibilitas jika dilakukan penurunan temperatur lingkungan, maka cara yang didapat adalah seperti yang dilakukan oleh (Abam dkk, 2012) dengan menambahkan *spray cooler*.

(Ogbe dkk, 2017) dengan menambahkan *evaporator cooler*. Akan tetapi langkah-langkah yang demikian itu harus diterapkan secara bijaksana. Langkah-langkah peningkatan performansi (unjuk kerja) termodinamika pada suatu komponen dapat saja memberikan efek yang berlawanan, tidak mengarah kepeningkatan bersih secara keseluruhan. Selain itu, langkah-langkah untuk meningkatkan performansi termodinamika selalu mempunyai konsekuensi ekonomi. Hal ini tentunya memerlukan pertimbangan-pertimbangan baik dari sisi termodinamika maupun sisi ekonomi.

## KESIMPULAN

Simpulan dari hasil analisis perhitungan, didapat efisiensi *thermal* PLTG 24,51% dan efisiensi *exergetic* PLTG Teluk Lembu 22,73%. Dari hasil analisis didapat lokasi kehilangan *exergy* terbesar pada komponen ruang bakar sebesar 21,85 MW, selanjutnya pada kompresor sebesar 8,49 MW, dan turbin gas sebesar 3,09 MW.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abam, F.I., Ugot, I.U., Igbong, D.I. 2011. Thermodynamic Assessment of Grid-Based Gas Turbine Power Plants in Nigeria. *Journal of Engineering Trends in Engineering and Applied Sciences*, (JETEAS), 2 (6), pp. 1026-1033.
- A. G. Memon, K. Harijan, S. F. Shah, R.A. MEMON, M. A. Uqaily. 2013, *Analysis of 144 MW Combined Cycle Power Plant*” Kotri Pakistan, Sindh University Research Journal.
- Bejan, Adrian., George, Tsatsaronis., and Michael, Moran. 1996. *Thermal Design & Optimization*. Canada: John Wiley & Sosn, Inc.
- Cengel, Y.A., Boles M.A. 2015. *Thermodynamic An Engineering Approach*. New York: Mc Graw-Hill Education.
- Dev, N., Attri, R. 2012. *Exergetic Analysis of Combustion Chamber of a Combined Heat and Power System*. Proceedings of the National Conference on Trends and Advances in Mechanical Engineering, YMCA University of Science & Technology, Faridabad, Haryana, Oct 19-20.
- Egware H.O, Obanor A.I, 2013. Exergy analysis of Omotosho Phase 1 Gas Thermal Power Plant. *International Journal of Energy and Power Engineering*. 2(5), pp.197-203.
- Gong, M., Werner, S. 2017. Mapping Energy and Exergy Flows of District Heating in Sweden. (M. Gong, Ed.) *Energy Procedia*, 116, 119-127
- Igbong, D.I, 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*.
- Kadir, Abdul. 2010. *Energi Sumberdaya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi*. Canada: John Wiley & Sosn, Inc.
- Martin, Awaludin., Miswandi., Prayitno, Adhy., Kurniawan, Iwan., Romy. 2016. Exergy Analysis of Gas Turbine Power Plant 20 MW in Pekanbaru Indonesia. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Riau. *International Journal of Technology*.
- Miswandi. 2015. *Analisis Exergy pada PLTG Teluk Lembu Kapasitas 20 MW*. Pekanbaru: Fakultas Teknik. Jurusan Teknik Mesin. Univesitas Riau

Moran, M.J., and Howard N.S. 2007. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. 5th. Southern Gate, Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Ogbe, O.P., Anosike, N.B. and Okonkwo, U.C. 2017. *Probabilistic Exergoeconomic Analysis of Transcorp Power Plant, Ughelli*. Energy and Power Engineering, 9, 588-613.

Santoso, Basri. 2011. *Analysis Exergy Siklus Kombinasi Turbin Gas-Uap*. Prosiding Seminar Nasional Avoer ke-3 Palembang

Tiwari, A.K., Hasan, M.M., Islam, M. 2013. *Energy Analysis of Combined Cycle Power Plant*. NTPC Dadri, India. *International Journal of Thermodynamics (IJOT)*.