

# KAJIAN EKSERGI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS (STUDI KASUS DI PT. INDONESIA POWER UP PERAK-GRATI)

## *EXERGY ANALYSIS OF GAS TURBINE POWER PLANT (CASE STUDY IN PT. INDONESIA POWER UP PERAK-GRATI)*

Putri Sundari<sup>1</sup>, Bayu Rudiyanto<sup>2</sup>, Budi Hariyono<sup>3</sup>

<sup>1)2)</sup>Teknik Energi Terbarukan, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember

<sup>3)</sup>Keteknikan Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

Jl. Mastrip PO BOX 164, Jember

Email : [bayu\\_rudiyanto@yahoo.com](mailto:bayu_rudiyanto@yahoo.com)

Diterima (received) : 26-09-2015, Direvisi (reviewed) : 11-09-2015

Disetujui (accepted) : 27-10-2015.

### **Abstrak**

Penelitian ini membahas analisis energi dan eksergi pada sistem pembangkit listrik tenaga gas berkapasitas 112,45 MW. Laju aliran eksergi dibagi menjadi dua komponen yaitu eksergi fisik dan eksergi kimia yang dievaluasi pada masing-masing keadaan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pemusnahan eksergi terbesar terjadi di ruang bakar (68,61%), dimana perbedaan temperatur yang besar merupakan sumber utama terjadinya irreversibilitas. Sedangkan pemusnahan eksergi pada turbin gas dan kompresor masing-masing sebesar 26,62% dan 7,57%. Pada penelitian ini juga membahas pengaruh dari tingkat pembebanan dan suhu udara lingkungan untuk mengetahui perubahan performa yang dihasilkan. Hasil dari variasi pembebanan menunjukkan bahwa peningkatan beban turbin gas berpengaruh positif terhadap efisiensi siklus maupun komponennya, yaitu kompresor dan ruang bakar. Peningkatan suhu udara lingkungan berdampak sebaliknya, dimana efisiensi siklus mengalami penurunan pada suhu udara lingkungan yang lebih tinggi. Sehingga untuk mengendalikan faktor tersebut dapat dilakukan dengan pendinginan suhu udara masuk kompresor.

**Kata kunci:** energi, eksergi, efisiensi eksergi, Pembangkit Listrik Tenaga Gas.

### **Abstract**

*This research discusses an energy and exergy analysis of a 112,45 MW gas turbine power generation system. The exergy of a material stream is divided into physical and chemical exergy and evaluated on each state. The results of this study reveal that the highest exergy destruction occurs in combustion chamber (65,81%), where the large temperature difference is the major source of the irreversibility. The exergy destruction in turbine gas and compressor was found 26,62% and 7,57% respectively. The effect of various gas turbine load and ambient temperature to the system's performance were also studied. The result shows that increasing gas turbine load gives positive effect on the exergy efficiency of the cycle as well as the components compressor and combustion chamber. Increasing ambient temperature gives negative effect, by which exergy efficiency of cycle was decreasing. Accordingly, cooling of the compressor inlet air is considered as the solution to this problem.*

**Keywords:** energy, exergy, exergy efficiency, Gas Turbine Power Plant.

## **1. PENDAHULUAN**

Pertumbuhan berbagai sektor vital dalam kehidupan manusia menghasilkan suatu kondisi dimana kebutuhan energi listrik semakin meningkat

tetapi tidak diimbangi dengan ketersediaan bahan bakar yang saat ini cenderung memiliki tren negatif. Hal tersebut mendorong berbagai upaya optimasi siklus pembangkit listrik guna memanfaatkan sumber energi bahan bakar yang kebanyakan masih

berupa energi fosil secara lebih efisien. Analisis energi berdasarkan hukum termodinamika I merupakan metode yang paling umum digunakan dalam analisa sistem termal. Kekurangan dari metode ini yaitu tidak dapat mengukur kualitas energi yang benar-benar terpakai dalam sistem, sehingga pada tahun 1824, seorang ilmuwan Prancis Sadi Carnot memperkenalkan dasar dari analisis eksergi untuk pertama kalinya. Ia menyatakan bahwa konversi energi termal menjadi kerja mekanik pada suatu mesin adalah terbatas. Selanjutnya “*work potential*” dan “*maximum usable work*” dari suatu nilai energi tertentu diuji menggunakan rumusan matematika berdasarkan hukum termodinamika II oleh Clausius, Thomson, Maxwell dan Gibbs. Penggunaan kata “*exergy*” sebagai “*available work*” pertama kali dilakukan oleh Bonsjnakovic pada tahun 1960, Trepp (1961) dan Baehr (1962), dan kemudian kata eksergi dapat diterima dan digunakan untuk perkembangan prinsip hukum termodinamika kedua dalam pengaplikasiannya pada sistem industri.

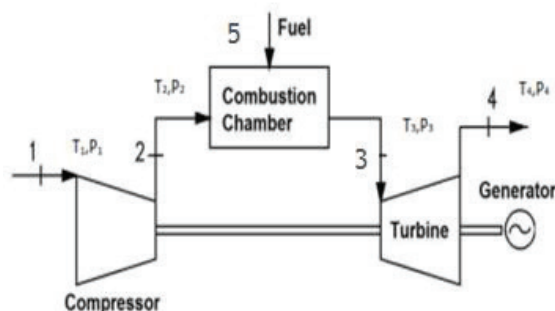
Metode eksergi merupakan perangkat yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi lokasi irreversibilitas atau kerugian energi berguna serta tingkat ketidakefisienan dari sistem pembangkit tenaga. Bejan et al pada tahun 1996 menerapkan konsep eksergi untuk sistem kogenerasi turbin gas yang sampai saat ini banyak dijadikan acuan oleh peneliti untuk melakukan analisis eksergi pada pembangkit seperti yang dilakukan oleh Chand et al (2013) yang melakukan analisis eksergi pada gas turbin poros tunggal dengan berbagai variasi operasi yaitu rasio kompresi, temperatur masuk kompresor dan temperatur masuk turbin. Wadhah (2012) melakukan analisa eksergi turbin gas dengan pengaruh temperatur siklus yang menghasilkan ruang bakar dan turbin sebagai sumber irreversibilitas terbesar. Serta Mousafarash and Ameri (2013) yang melakukan studi analisis eksergi dan termoekonomi pada pembangkit Montazer Ghaem dengan menggunakan variasi suhu lingkungan dan beban turbin gas.

Penelitian ini menerapkan konsep analisis energi serta analisis eksergi pada siklus turbin gas di PLTGU PT. Indonesia Power UP Perak-Grati. Tujuan dari studi ini yaitu mengevaluasi kinerja siklus maupun komponennya dengan mengidentifikasi letak pemusnahan eksergi terbesar sehingga dapat dijadikan acuan dalam pengambilan langkah-langkah untuk meningkatkan efisiensi eksergetik sistem tersebut. Penerapan variasi beban turbin gas dan suhu lingkungan juga dievaluasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa sistem.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Deskripsi Sistem

Skematik siklus turbin gas yang dianalisis ditunjukkan pada Gambar 1. Turbin gas yang digunakan termasuk siklus terbuka dengan poros tunggal yang menghubungkan antara turbin dengan kompresor. Sistem terdiri dari kompresor udara, ruang bakar, dan turbin gas yang memiliki kapasitas 112,45 MW. Bahan bakar yang digunakan dalam sistem ini adalah gas alam yang diasumsikan sebagai metana ( $CH_4$ ).



Gambar 1. Siklus Turbin Gas.

Pada gambar tersebut terdapat 5 titik kondisi yang akan dianalisis yaitu :

- State 1 yaitu udara lingkungan yang dihisap masuk kedalam kompresor
- State 2 yaitu udara yang telah dinaikkan tekanannya dan akan memasuki ruang bakar sebagai udara pembakaran
- State 3 yaitu gas hasil pembakaran yang memiliki suhu tinggi
- State 4 yaitu gas buang sisa proses ekspansi di turbin gas
- State 5 yaitu bahan bakar metana ( $CH_4$ ) masuk ruang bakar

### 2.2 Prosedur Analisis

Langkah-langkah pengolahan data dalam penelitian ini dibagi menjadi dua bagian yaitu analisis energi dan analisis eksergi. Analisis tersebut dilakukan dengan memasukkan parameter-parameter operasi pada masing-masing *state*. Asumsi-asumsi untuk penyederhanaan analisis diantaranya: sistem turbin gas beroperasi pada keadaan stedi, prinsip-prinsip campuran gas ideal diterapkan pada udara dan produk pembakaran, bahan bakar (gas alam) dipertimbangkan sebagai metana dan diperlakukan sebagai gas ideal, pembakaran di dalam ruang bakar

adalah sempurna, komponen-komponen lainnya beroperasi tanpa kerugian kalor (adiabatik).

### 2.3 Rumusan Analisis Energi

Dalam analisis ini, proses-proses dipertimbangkan sebagai aliran stedi keadaan stedi (*steady flow steady state*). Analisis yang digunakan adalah analisa siklus *Brayton* standart udara (*Air Standart Brayton Cycle*) sehingga seluruh properties dari masing-masing *state* menggunakan rujukan tabel *Ideal Gas Properties of Air*. Kesetimbangan energi tiap komponen dapat dirumuskan sebagai (Moran and Saphiro, 1996) :

- Kerja input kompresor

$$\dot{W}_c = \dot{m}_{udr} (h_2 - h_1) \quad (1)$$

- Energi kalor masuk ruang bakar

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_{bb} (h_3 - h_2) \quad (2)$$

- Kerja output turbin gas

$$\dot{W}_{GT} = \dot{m}_g (h_3 - h_4) \quad (3)$$

Untuk mencari laju alir bahan bakar dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Shanti dkk, 2012) :

$$\dot{m}_{bb} = \frac{V_{bb} \cdot SG_{bb} \cdot \rho_{udara}}{3600} \quad (4)$$

Sedangkan laju massa udara dapat dihitung dengan menggunakan rasio udara terhadap bahan bakar (AFR), yang dilakukan dengan persamaan berikut:

$$\frac{\dot{W}_{generator}}{\dot{m}_{generator}} = \left[ 1 + \frac{A}{F} \right] \cdot \dot{m}_{bb} (h_3 - h_4) - \left[ \frac{A}{F} \right] \cdot \dot{m}_{bb} (h_2 - h_1) \quad (5)$$

Sehingga laju aliran massa udara dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\dot{m}_{ud} = \left( \frac{A}{F} \right) \times \dot{m}_{bb} \quad (6)$$

Dan laju aliran massa gas hasil pembakaran :

$$\dot{m}_{fuel\ gas} = \dot{m}_{ud} + \dot{m}_{bb} \quad (7)$$

Sedangkan efisiensi termal dari siklus yaitu :

$$\eta = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2)} \quad (8)$$

### 2.4 Rumusan Analisis Eksergi

Aliran eksergi pada siklus turbin gas dievaluasi pada masing-masing komponennya. Eksergi suatu sistem dapat dibagi menjadi empat komponen yaitu

eksergi fisik  $E^{PH}$ , eksergi kinetik  $E^{KN}$ , eksergi potensial  $E^{PT}$ , dan eksergi kimia  $E^{CH}$  asalkan tidak adanya efek-efek nuklir, magnetik, elektrik dan tegangan permukaan (Bejan *et al*, 1996):

$$\dot{E} = \dot{E}^{PH} + \dot{E}^{KN} + \dot{E}^{PT} + \dot{E}^{CH} \quad (9)$$

Persamaan (9) dapat dinyatakan dengan basis unit massa sebagai berikut:

$$e = e^{PH} + e^{KN} + e^{PT} + e^{CH} \quad (10)$$

Eksergi kinetik dan eksergi potensial sebagai berikut:

$$e^{KN} = \frac{1}{2} V^2 \quad (11)$$

$$e^{PT} = g \cdot z \quad (12)$$

Eksergi fisik selalu berkaitan dengan temperatur dan tekanan dari bahan. Komponen eksergi fisik yang menyertai arus/aliran suatu gas ideal dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut (Kotas, 1985):

$$\dot{E}^{PH} = C_p \left( T - T_0 - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right) + \bar{R} T_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (13)$$

dimana  $C_p$  merupakan kalor spesifik gas ideal (kJ/kg.K),  $T$  adalah temperatur pada *state* tersebut (K),  $T_0$  adalah temperatur *dead state* (K),  $P$  adalah tekanan pada *state* tersebut (kg/cm<sup>2</sup>),  $P_0$  adalah tekanan udara *dead state* (kg/cm<sup>2</sup>) dan  $R$  merupakan konstanta gas dengan nilai sebesar 0,287 (kJ/kg.K).

Eksergi kimia adalah komponen eksergi yang terkait dengan perbedaan komposisi kimia dari suatu sistem dengan yang dimiliki lingkungan. Eksergi kimia per mol sebuah campuran pada gas ideal dapat diformulasikan sebagai berikut (Bejan *et al*, 1996):

$$\bar{e}^{CH} = - \bar{R} \cdot T_0 \cdot \sum x_k \cdot \ln \frac{x_{ok}}{x_k} \quad (14)$$

Pada persamaan diatas  $x_k$  merupakan fraksi mol gas  $k$  dalam campuran gas. Sedangkan  $x_{ok}$  merupakan fraksi mol gas  $k$  pada kondisi *dead state*. Analisis molar udara (%) adalah: 77.48 N<sub>2</sub>, 20.59 O<sub>2</sub>, 0.03 CO<sub>2</sub>, 1.90 H<sub>2</sub>O(g) (Bejan *et al*, 1996).

Dengan menyatakan rasio bahan bakar udara sebagai  $\lambda$ , laju aliran molar bahan bakar, udara, dan produk pembakaran dihubungkan oleh:

$$\frac{\dot{n}_f}{\dot{n}_a} = \lambda \quad \text{dan} \quad \frac{\dot{n}_p}{\dot{n}_a} = 1 + \lambda \quad (15)$$

dimana subskrip  $f$ ,  $p$ , dan  $a$  masing-masing menyatakan bahan bakar, produk pembakaran, dan udara. Untuk pembakaran sempurna dari metana, persamaan kimia adalah sebagai berikut:

$$\bar{\lambda} CH_4 + [0.7748N_2 + 0.2059O_2 + 0.0003CO_2 + 0.019H_2O] \rightarrow [1 + \bar{\lambda}][x_{N_2}N_2 + x_{O_2}O_2 + x_{CO_2}CO_2 + x_{H_2O}H_2O]$$

Sehingga neraca karbon, hidrogen, dan nitrogen, fraksi mol dari komponen-komponen produk pembakaran adalah (Bejan *et al*, 1996):

$$\begin{aligned} x_{N_2} &= \frac{0.7748}{1 + \bar{\lambda}}, & x_{O_2} &= \frac{0.2059 - 2\bar{\lambda}}{1 + \bar{\lambda}} \\ x_{CO_2} &= \frac{0.0003 + \bar{\lambda}}{1 + \bar{\lambda}}, & x_{H_2O} &= \frac{0.019 + 2\bar{\lambda}}{1 + \bar{\lambda}} \end{aligned} \quad (16)$$

Sedangkan eksergi kimia bahan bakar gas hidrokarbon dapat diketahui melalui hubungan berikut:

$$\dot{E}^{CH} = \dot{m}e^{-CH} \quad (17)$$

Laju pemusnahan eksergi per komponen dapat dirumuskan berdasarkan persamaan kesetimbangan eksergi yaitu:

$$\dot{E}x_Q + \sum_{in} \dot{m}_i e x_i = \sum_{out} \dot{m}_e e x_e + \dot{E}x_W + \dot{E}x_D \quad (18)$$

Sehingga Kesetimbangan eksergi untuk tiap komponen pada pembangkit listrik tenaga gas (Mousafarash and Ameri, 2013) adalah sebagai berikut:

- Kompresor

$$\dot{E}x_1 + \dot{W}_c = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_D \quad (19)$$

- Ruang bakar

$$\dot{E}x_2 + \dot{E}x_5 = \dot{E}x_3 + \dot{E}x_D \quad (20)$$

- Turbin gas

$$\dot{E}x_3 = \dot{W}_{GT} + \dot{E}x_5 + \dot{E}x_D \quad (21)$$

Eksergi yang dimusnahkan atau destruksi eksergi  $\dot{E}_D$  pada komponen sistem dapat dibandingkan dengan laju eksergi bahan bakar yang diberikan ke tiap komponen,  $\dot{E}_F$  memberikan rasio pemusnahan eksergi:

$$y_D = \frac{\dot{E}_D}{\dot{E}_F} \quad (22)$$

Sebagai alternatif, laju pemusnahan eksergi komponen dapat dibandingkan dengan laju pemusnahan eksergi total di dalam sistem,  $\dot{E}_{D,tot}$  memberikan rasio:

$$y_D = \frac{\dot{E}_D}{\dot{E}_{D,tot}} \quad (23)$$

Efisiensi eksergetik didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah suatu produk eksergi

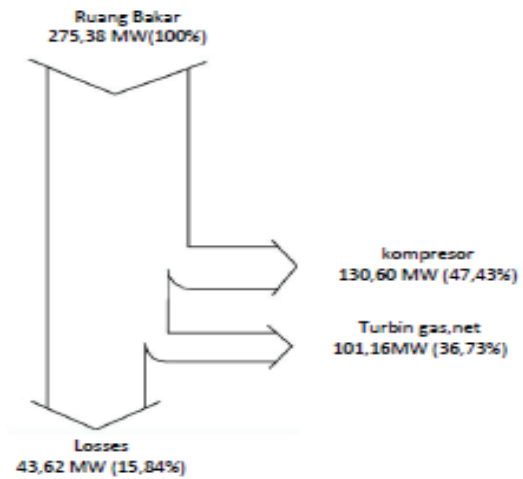
dalam suatu siklus dengan masukan bahan bakar. Berdasarkan kesetimbangan laju eksergi suatu sistem, dituliskan (Bejan *et al*, 1996):

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_P}{\dot{E}_i} \quad (24)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisis Energi

Analisis energi dilakukan untuk mengetahui laju energi pada masing-masing keadaan dan besarnya kerugian yang dialami oleh sistem. Berdasarkan data yang telah diolah menggunakan persamaan energi yang diberikan pada bagian terdahulu, maka dapat dibuat suatu diagram alir yang menggambarkan kesetimbangan energi siklus turbin yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Diagram Aliran Energi Pada Siklus Turbin Gas.

Analisis kesetimbangan energi yang dilakukan menunjukkan adanya selisih antara energi masuk dan energi keluar sistem, yang berarti terdapat *losses* atau energi yang terbuang dari siklus turbin gas yaitu sebesar 15,84%. Analisis energi hanya memberikan nilai besarnya kerugian (*losses*) energi pada keseluruhan sistem, sehingga tidak dapat diketahui pada komponen mana terjadi letak kerugian energi terbesar beserta penyebabnya, sehingga pada penelitian ini juga membahas analisis eksergi pada siklus turbin gas sehingga hasilnya dapat dijadikan acuan untuk melakukan optimasi efisiensi maupun perbaikan pada kinerja sistem.

#### 3.2 Analisis Eksergi

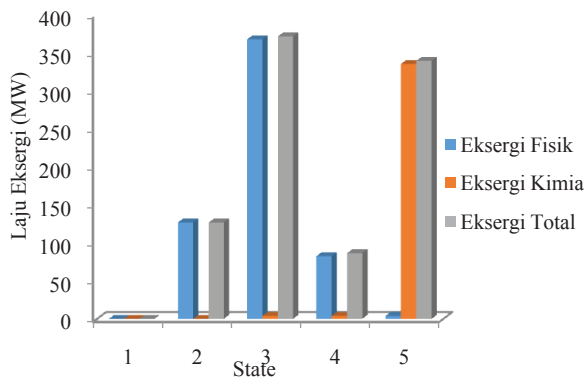
Analisis eksergi dilakukan untuk mengetahui besar, letak dan penyebab irreversibilitas atau

kerugian eksergi dari siklus turbin gas yang terdiri dari kompresor, ruang bakar dan turbin gas. Laju eksergi pada masing-masing *state* pada siklus turbin gas dicantumkan pada Tabel 1.

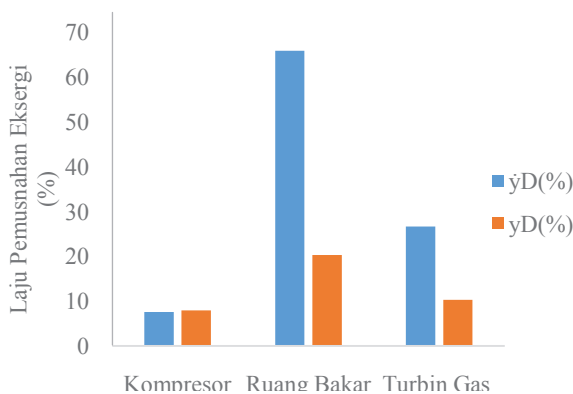
Suhu maupun tekanan pada *state* 1 dianggap sebagai *deadstate*, sehingga sistem dianggap setimbang dan tidak terdapat perpindahan. Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa laju aliran eksergi terkecil yaitu pada *state* 1 disebabkan oleh energi yang dapat terjadi. Laju eksergi terbesar terdapat pada *state* 3 dengan kontribusi terbesar berasal dari eksergi fisik sebesar 367,61MW sedangkan eksergi kimia sebesar 3,96 MW.

Tabel 1. Laju Aliran Eksergi Masing-masing *State*

State	Substansi	Laju Eksergi (MW)		
		$\dot{E}_{PH}$	$\dot{E}_{CH}$	$\dot{E}$
1	Udara Masuk Kompresor	0	0	0
2	Udara Keluar Kompresor	126,78	0	126,78
3	Produk Pembakaran Masuk Turbin	367,61	3,96	371,56
4	Produk Pembakaran Keluar Turbin	82,65	3,96	86,61
5	Metana Masuk Ruang Bakar	4,06	335,31	339,37



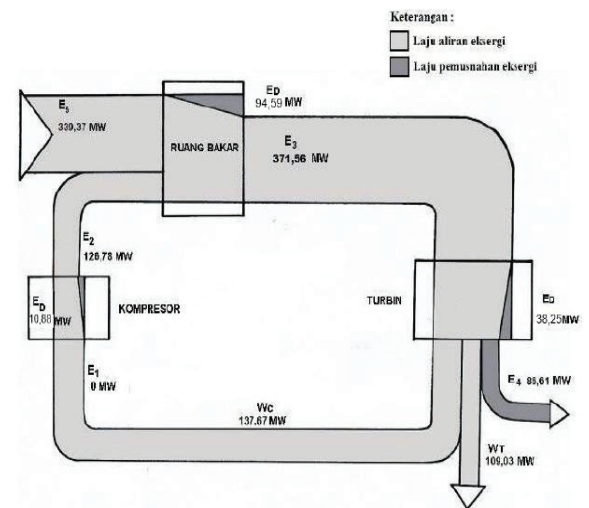
Gambar 3. Laju Eksergi pada Siklus Turbin Gas.



Gambar 4. Eksergi yang Dimusnahkan tiap Komponen Siklus Turbin Gas.

Besarnya eksergi fisik pada *state* ini disebabkan besarnya perbedaan temperatur yang dihasilkan setelah proses pembakaran dengan temperatur lingkungan. Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa pemusnahan eksergi terbesar terjadi di ruang bakar yaitu sebesar 65,81 % kemudian diikuti oleh turbin gas sebesar 26,62% dan kompresor sebesar 7,57%. Pemusnahan eksergi pada komponen-komponen tersebut berasal dari beberapa irreversibilitas utama yang terkait diantaranya yaitu reaksi pembakaran, perpindahan kalor dan adanya gesekan.

Pada Gambar terlihat bahwa ruang bakar merupakan komponen dengan laju pemusnahan eksergi terbesar. Hal ini disebabkan terjadinya reaksi kimia pembakaran yang merupakan sumber irreversibilitas terbesar serta perbedaan temperatur yang tinggi antara temperatur pembakaran dengan fluida kerja sehingga mempermudah terjadinya proses perpindahan panas. Berbeda dengan turbin gas dan kompresor, dimana sumber irreversibilitas utama berasal dari gesekan yang disebabkan akumulasi kotoran yang dibawa oleh udara maupun bahan bakar yang mengandung zat pengotor.

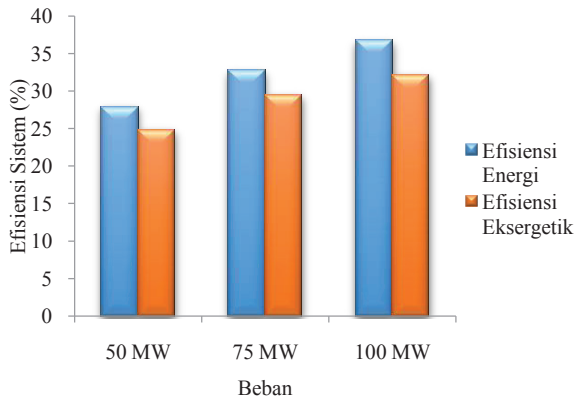


Gambar 5. Diagram Grassman Aliran Eksergi Siklus Turbin Gas.

Diagram diatas menggambarkan secara jelas laju aliran eksergi maupun pemusnahan eksergi yang terjadi pada sistem. Sebagai tambahan, 86,61 MW atau 23,31% dari eksergi bahan bakar dibawa oleh sistem kekeadaan 4 dan selanjutnya dibuang ke lingkungan, laju eksergi ini dianggap sebagai kerugian eksergi yang menjadi penyebab rendahnya efisiensi PLTG.

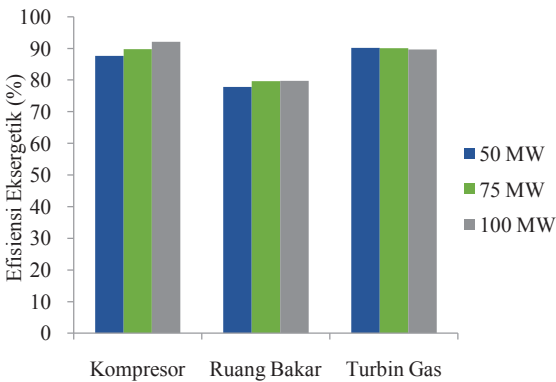
Gambar 6 menjelaskan bahwa baik efisiensi energi maupun efisiensi eksergetik siklus turbin gas mengalami peningkatan seiring dengan penambahan beban. Selain itu, diketahui efisiensi energi nilainya

selalu lebih besar dibandingkan efisiensi eksergetik dikarenakan dalam perhitungan efisiensi energi hanya berdasarkan hukum termodinamika I, yaitu hukum kekekalan energi sedangkan efisiensi eksergetik berpedoman pada hukum termodinamika II yang juga mempertimbangkan efek irreversibilitas dari suatu proses.



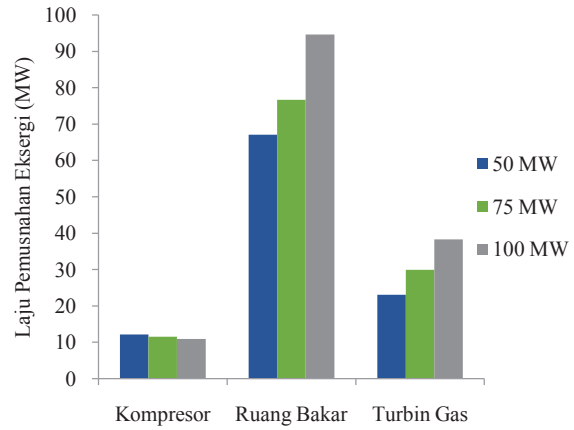
Gambar 6. Efisiensi Eksergetik dan Efisiensi Energi Sistem pada berbagai Tingkat Pembebanan.

Hubungan antara variasi beban dengan efisiensi eksergetik serta laju pemusnahan eksergi per komponen juga ditunjukkan pada gambar 7 dan 8. Dari grafik dapat diketahui bahwa semakin tinggi beban, maka efisiensi eksergetik kompresor cenderung meningkat yang disebabkan oleh semakin tingginya tekanan keluar kompresor sehingga laju alir massa udara yang dihasilkan semakin besar.

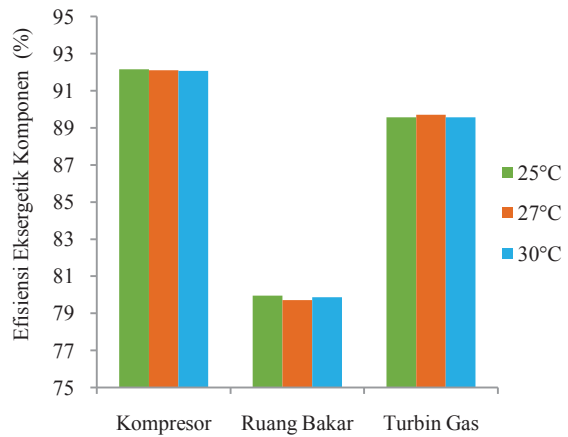


Gambar 7. Efisiensi Eksergetik Komponen pada Berbagai Tingkat Beban.

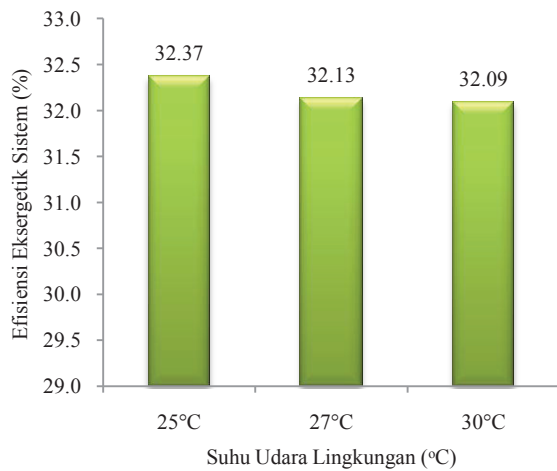
Begitu juga dengan ruang bakar dimana besarnya udara akan meningkatkan nilai *air fuel ratio* sehingga pembakaran akan berjalan lebih sempurna dan suhu pembakaran yang dapat dicapai semakin tinggi. Sedangkan pada komponen turbin gas efisiensinya cenderung stabil.



Gambar 8. Laju Pemusnahan Eksergi Komponen pada Berbagai Tingkat Beban.



Gambar 9. Pengaruh Suhu Udara Lingkungan terhadap Efisiensi Eksergetik Komponen.



Gambar 10. Pengaruh Suhu Udara Lingkungan terhadap Efisiensi Eksergetik Sistem.

Berdasarkan grafik diatas diketahui bahwa efisiensi eksergetik sistem turbin gas cenderung mengalami penurunan seiring dengan peningkatan suhu lingkungannya. Hal ini dapat dijelaskan bahwa semakin dingin suhu udara lingkungan yang dianggap sebagai *dead state* maka performa siklus akan semakin baik. Suhu udara yang dingin memiliki densitas udara yang tinggi sehingga akan meningkatkan laju alir massa udara pembakaran, oleh karena itu nilai *Air Fuel Ratio* (AFR) meningkat sehingga proses pembakaran dalam ruang bakar terjadi dengan sempurna. Selain itu, suhu *dead state* yang rendah menyebabkan besarnya perbedaan temperatur dengan sistem sehingga laju alir eksergi pada masing-masing *state* juga meningkat.

Suhu udara yang rendah dapat diperoleh saat malam hari, yaitu berkisar antara 23-25°C sedangkan pada siang hari suhu udara dapat mencapai 29°C. Mengingat pembangkit listrik bekerja non-stop, maka untuk mensiasati penurunan performa siklus turbin gas akibat suhu tinggi maka dapat dilakukan dengan menambahkan fog system pada IGV, yaitu dengan memspray air pada udara masuk kompresor untuk menurunkan suhunya. Namun diperlukan kajian yang lebih dalam baik dari segi teknis maupun ekonomis dalam penambahan inovasi tersebut.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan maka dapat disimpulkan bahwa analisis energi hanyadapat memberikan informasi besarnya *losses* pada siklus turbin gas. Selain itu analisis eksergi yang telah dilaksanakan mampu memberikan lokasi dan besar kerugian eksergi serta tingkat ketidak efisienan proses pada siklus turbin gas. Dimana letak pemusnahan eksergi (*exergy destruction*) tertinggi terjadi di ruang bakar diikuti oleh turbin gas dan kompresor.

Pengaruh penambahan beban terhadap efisiensi eksergi komponen turbin gas adalah berbanding lurus, dimana semakin besar beban yang ditanggung unit maka efisiensi eksergi semakin meningkat. Sedangkan peningkatan suhu udara lingkungan berdampak negative terhadap efisiensi eksergetik sistem, efisiensi eksergetik tertinggi diperoleh saat suhu lebih rendah.

Berdasarkan pembahasan dan kesimpulan pada penelitian diatas, maka saran yang dapat diberikan adalah mengoperasikan siklus turbin gas pada beban tinggi serta mengkondisikan udara lingkungan pada suhu rendah untuk memperoleh efisiensi yang optimal. Apabila penelitian ini dilanjutkan, maka hendaknya dilakukan analisis termoekonomi, mengingat optimasi performansi termodinamika selalu mempunyai konsekuensi ekonomi serta

melakukan kajian lebih mendalam mengenai *fog system*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Basri, H.dan Dyos, S. 2010. Analisis Eksergipada Siklus Turbin Gas Sederhana 14 MW Instalasi Pembangkit Tenaga Keramasan Palembang. Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Bejan A,Tsatsaronis G, Moran M. 1996. Thermal Design and Optimization. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Cengel,Y.A. and Michael, A.B. 2002. Thermodynamics, An Engineering Approach, Second Edition. New York: McGraw Hill.
- Chand, V.T. Sankar, B.R. and Chowdary,J.R. 2013. Exergy Analysis of Gas Turbine Power Plant. IJETT, Vol.4 (9).
- Ebadi, J. danMofid, G.B. 2005. Exergetic Analysis of Gas Turbine Plants. International Journal of Exergy Vol. 2 (1).
- Ghazikhani,M. and Ahmadzadehtalatapeh, M. 2010. Experimental investigation of exergy destruction in a 8-kW power plant. Int. J. Energy Environ., 1(5), 815-822.
- Kotas T. 1985. The Exergy Method in Thermal Plant Analysis. London: Butterworths.
- Kwak, H.Y. Kim, D.J. Jeon, J.S. 2003. Exergetic and Thermoeconomic Analyses of Power Plants. Energy. 28: 343-360.
- Moran MJ. dan Howard NS. 1996. Fundamentals of Engineering Thermodynamics 3<sup>th</sup> Edition. Canada: John Wiley and Sons Inc.
- Mousafarash, A. and Mohammad, A. 2013. Exergy and Exergo-Economic Based Analysis of Gas Turbine Power Generation System. Journal of Power Technologies, Vol. 93 (1) 44-51.
- Oh, S. Pang, H. Kim, S. and Kwak, H. 1996. Exergy Analysis for a Gas-Turbine Cogeneration System. J Eng Gas Turb Power, 118(4), 782-791.
- Querol, E. Gonzalez-Reguerol, B. Perez-Benedito, J.L 2011. Novel Application for Exergy and Thermoeconomic Analysis of Processes Simulated with Aspen Plus®. Energy 36:964-974.
- Rudiyanto B. 2008. Kajian Eksergi pada Mesin Pendingin Adsorpsi Menggunakan Pasangan Silikagel-Metanol. Agritech, Vol.28 (3).

Shanti, I. Nugroho, G. dan Sarwono. 2012. Analisa Termoekonomi pada Sistem Kombinasi Turbin Gas-Uap PLTGU PT.PJB Unit Pembangkit Gresik. Jurnal Teknik POMITS, Vol. 1 (93).

Shukuya, M. dan Abdelaziz, H. 2002. Introduction to the Concept of Exergy – for Better Understanding of Low-Temperature- Heating and High Temperature-Cooling System. VTT Tiedotteita 2158 : 10-14.

Wadhah H. 2012. Exergy Analysis of a Gas Turbine Performance with Effect Cycle Temperature. IJRRAS Vol.13 (2).