

ANALISIS EFISIENSI SIKLUS *COMBINE CYCLE POWER PLANT (CCPP) GAS TURBINE GENERATOR* TERHADAP BEBAN OPERASI PT KRAKATAU DAYA LISTRIK

***Eflita Yohana, Rigo Muhammad Herriza**

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*E-mail: rherriza@gmail.com

ABSTRAK

Turbin Gas Generator umumnya mengalami perubahan beban untuk memenuhi kebutuhan daya listrik yang berubah sewaktu-waktu, sesuai dengan permintaan konsumen. Beban dari turbin gas yang berubah-ubah akan berpengaruh terhadap kinerja dari tiap-tiap komponennya antara lain kompresor, *combustion chamber*, dan turbin gas. Dalam merespon perubahan beban yang terjadi, maka suplai bahan bakar, udara pembakaran, serta gas buang yang akan di proses di HRSG untuk mengoperasikan turbin uap ikut berubah pula. Hal tersebut akan berpengaruh pada kinerja dan efisiensi dari gas turbin tersebut. Dengan mengetahui efisiensi siklus pada tiap beban maka diperoleh grafik efisiensi siklus pada turbin gas generator sehingga diketahui perbedaan nilai efisiensi siklus pada tiap variasi pembebanan. Analisa efisiensi siklus Gas Turbin Generator dilakukan pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap melalui perhitungan efisiensi kompresor, dan efisiensi turbin gas, tanpa memperhitungkan efisiensi yang terjadi di ruang bakar. Selain itu analisa efisiensi gas turbin generator juga menghasilkan nilai efisiensi dari tiap pembebanan yang terjadi di turbin gas generator Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap. Data temperatur dan tekanan yang diperoleh telah tercatat melalui layanan sistem operasi interface. Dari hasil perhitungan pada turbin gas Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap diperoleh nilai efisiensi siklus turbin gas generator yang berbahan bakar gas alam (metan) sebesar 31.28% pada pembebanan 23 MW, 38.71% pada pembebanan 27MW, dan 45.56% pada pembebanan 33MW. Dari hasil perhitungan efisiensi pada 3 proses pembebanan diketahui bahwa semakin besar pembebanan dilakukan maka efisiensi yang dihasilkan mesin semakin tinggi.

Kata kunci: efisiensi siklus, pembebanan, turbin gas generator

1. PENDAHULUAN

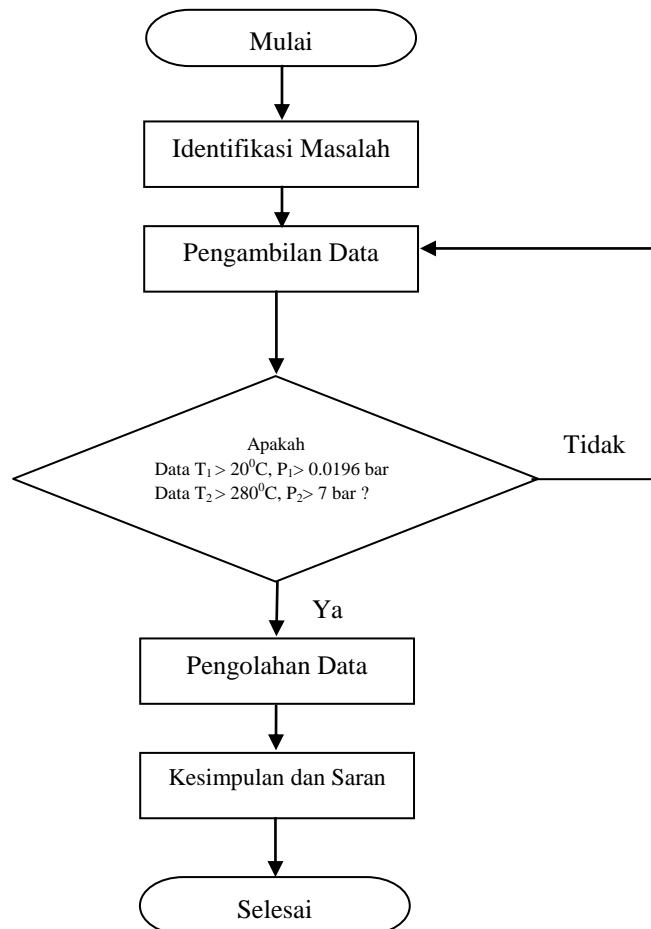
Perkembangan pada bidang industri, properti, teknologi serta semakin meningkatnya jumlah penduduk menyebabkan kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin bertambah sehingga diperlukan pengembangan pada sistem pembangkit dan juga pemanfaatan listrik secara efisien baik dari segi penggunaan maupun proses pembangkitan energi listrik itu sendiri [1]. Menganalisa jumlah energi yang dihasilkan dari sebuah pembangkit serta perawatan pada komponen – komponen pembangkit merupakan faktor penting dalam menjaga agar efisiensi sekitar 70% - 90%. Gas Turbin Generator merupakan salah satu komponen penyusun dari Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap. Turbin Gas Generator umumnya mengalami variasi pembebanan setiap waktunya sesuai dengan permintaan konsumen. Beban dari turbin gas yang berubah setiap waktu mempengaruhi kinerja dari tiap-tiap komponennya yaitu kompresor, ruang bakar dan turbin gas. Dalam merespon perubahan beban yang terjadi, maka suplai bahan bakar, udara pembakaran, serta gas buang yang akan di proses di HRSG untuk mengoperasikan turbin uap ikut berubah pula.

Salah satu penelitian mengenai keterkaitan efisiensi turbin gas dengan pembebanan pernah dilakukan oleh Ir. Naryono dan Lukman Budiono, Universitas Muhammadiyah Jakarta [2]. Pada penelitian tersebut, didapatkan nilai efisiensi dengan variasi beban 90 MW , 100 MW, 110 MW, 125 MW, dan 136 MW pada turbin gas dengan kapasitas terpasang 145 MW. Nilai efisiensi yang dihasilkan adalah 33.54 % , 34.09 % , 34.41%, 35.07%, dan 35.55% untuk setiap variasi beban. Dari nilai tersebut masih tergolong baik karena turbin gas generator dengan kapasitas 3 – 480 MW dikatakan memiliki efisiensi siklus yang baik apabila efisiensinya berada diantara 30% – 46%. Pada penelitian ini diketahui bahwa semakin besar proses pembebanan maka semakin besar efisiensinya, namun jika efisiensinya semakin menurun seiring dengan besar pembebanan yang terjadi maka terjadi cacat pada turbin dan turbin gas harus di *maintenance* atau bahkan di *overhaul* [1].

Pada penelitian ini, analisa dilakukan untuk mengetahui efisiensi dari tiap pembebanan yang terjadi pada turbin gas generator dengan kapasitas terpasang 40 MW pada variasi pembebanan 23 MW, 27 MW, dan 33 MW.

2. MATERIAL DAN METODOLOGI

Pada Gambar 1 dibawah menjelaskan tentang metode penelitian. Penelitian dilakukan pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap. Untuk mendukung analisa, metode pengambilan data temperatur serta tekanan keluar dan masuk turbin yang diperoleh telah tercatat melalui layanan sistem operasi interface. Dalam perhitungan dan pengolahan data dilakukan secara analitik. Setelah dilakukan analisa akan diketahui besarnya nilai efisiensi siklus gas turbin generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

Persamaan 1 merupakan persamaan interpolasi untuk mencari nilai entalpi, T_{atas} merupakan temperatur atas dari data yang dicatat, T_{bawah} merupakan temperatur bawah dari data yang dicatat, h_{atas} merupakan entalpi atas yang didapat dari data, h_{bawah} merupakan nilai entalpi bawah yang didapat dari data, T merupakan nilai temperatur data, dan h merupakan nilai entalpi yang dicari. Persamaan 2 dan 3 adalah persamaan isentropis pada gas ideal yang digunakan untuk mencari T_{2s} dan T_{4s} (temperatur ideal keluar kompresor dan keluar turbin). Nilai T_1 (K) dan T_3 (K) adalah temperatur aktual masuk kompresor dan masuk turbin gas, T_3 (K) adalah temperatur masuk turbin, P_1 (bar) dan P_2 (bar) adalah tekanan masuk dan keluar kompresor, P_3 dan P_4 adalah tekanan masuk dan keluar turbin gas. Persamaan 4 merupakan persamaan untuk mencari nilai efisiensi kompresor gas turbin generator. Nilai h_{2s} (kcal/kg) merupakan nilai entalpi ideal keluar kompresor, h_1 (kcal/kg) merupakan nilai entalpi aktual masuk kompresor, h_2 (kcal/kg) merupakan nilai entalpi aktual keluar kompresor. Persamaan 5 merupakan persamaan untuk mencari kerja aktual kompresor. Nilai \dot{m}_a (kg/s) merupakan nilai laju aliran udara yang terjadi di kompresor. Persamaan 6 digunakan untuk mencari nilai kalor dari hasil pembakaran di ruang bakar. Nilai \dot{m}_f (kg/s) merupakan laju aliran bahan bakar di ruang bakar, LHV (kcal/kg) adalah nilai bahan bakar gas alam. Persamaan 7 merupakan persamaan untuk mencari nilai efisiensi turbin. Nilai h_3 (kcal/kg) merupakan nilai entalpi aktual masuk turbin, h_4 (kcal/kg) merupakan nilai entalpi aktual keluar turbin, dan h_{4s} (kcal/kg) merupakan nilai entalpi ideal keluar turbin. Persamaan 8 merupakan persamaan untuk mencari nilai kerja aktual dari turbin. Persamaan 9 merupakan persamaan untuk mencari efisiensi siklus turbin gas generator. (MW).

$$h_2 = \frac{T_{atas} - T_{bawah}}{h_{atas} - h_{bawah}} = \frac{T_2 - T_{bawah}}{h_2 - h_{bawah}} \quad (1)$$

$$T_{2s} = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (2)$$

$$T_{4s} = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (3)$$

$$\eta_c = \frac{W_{cs}}{W_c} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \tag{4}$$

$$W_c = \frac{\dot{m}_a \cdot (h_2 - h_1)}{\eta_c} \tag{5}$$

$$Q_{in} = \dot{m}_f \cdot LHV \tag{6}$$

$$\eta_t = \frac{W_{ta}}{W_{ts}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}} \tag{7}$$

$$W_{ta} = (\dot{m}_a + \dot{m}_f) \cdot (h_3 - h_4) \cdot \eta_t \tag{8}$$

$$\eta_{siklus} = \frac{W_{ta} - W_{ca}}{Q_{in}} \tag{9}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan pada tanggal 10 Februari 2016. Tabel 1 menjelaskan data penelitian yang dibutuhkan untuk melakukan analisa. Data penelitian yang diperlukan adalah temperatur dan tekanan pada inlet kompresor, turbin gas dan outlet turbin gas serta nilai steam mass flow rate berdasarkan variasi beban 23 MW (57.5% dari kapasitas terpasang), 27 MW (57.5% dari kapasitas terpasang), dan 33 MW (67.5% dari kapasitas terpasang) [3].

Tabel 1. Data Operasional Turbin Gas pada tanggal 10 Februari 2016 [4].

No	Item		Satuan	Variasi Pembebanan		
	Notasi	Keterangan		23 MW	27 MW	33MW
1.	T ₁	Temperature Inlet Compressor	°C	39	33	32
2.	T ₂	Temperature Outlet Compressor	°C	335	336	350
3.	T ₃	Temperatur Inlet Turbin	°C	1180.08	1358.524	1240.359
4.	T ₄	Temperatur Output Turbin	°C	616	602	522.412
5.	P ₁	Pressure Inlet Compressor	bar	0.007	0.008	0.010
6.	P ₂	Pressure Outlet Compressor	bar	7.4	8.1	9.5
7.	LHV	Nilai Bahan Bakar Gas Alam	Kcal/kg	12039.458	12039.45863	12039.458
8.	m _f	Laju Aliran Bahan Bakar Gas Alam	Kg/s	1.9825	2.182	2.373

Data yang diolah adalah data Turbin gas dengan beban 33 MW yang terdapat pada Tabel 1. Untuk mencari nilai efisiensi yang dihasilkan gas turbin generator, pada Tabel 2 menunjukkan nilai entalpi dari *Ideal Gas Properties of Air* untuk mencari T₁, T₂, T₃, dan T₄. Pada Tabel 3 menunjukkan nilai entalpi dari *Ideal Gas Heats of Some Common Gases* untuk mencari T_{2s} dan T_{4s}.

Tabel 2. *Ideal Gas Properties of Air* [5].

T (K), h and u (kJ/kg), s° (kJ/kg.K)											
When Δs = 0 ^l						When Δs = 0					
T	h	u	s°	P _r	v _r	T	h	u	s°	P _r	v _r
305	305.22	217.67	1.718	1.468	596.0	580	586.04	419.55	2.373	14.38	115.7
325	325.31	232.02	1.782	1.834	508.4	620	628.07	450.09	2.443	18.36	96.92
330	330.34	235.61	1.797	1.935	489.4	630	638.63	457.78	2.460	19.84	92.84

Tabel 3. *Ideal Gas Heats of Some Common Gases* [5].

Temperature K	Cp	Cv	k
	Air		
550	1.040	0.753	1.381
600	1.051	0.764	1.376

Berdasarkan Tabel 2 diketahui nilai entalpi dari $T_1 = 305\text{K}$ (temperatur masuk kompresor) sebesar 305.22 kJ/kg atau 72.900 kcal/kg . Untuk mengetahui nilai entalpi yang tidak tertera pada Tabel 2 digunakan persamaan 1 interpolasi linier untuk memperoleh nilainya. Diketahui nilai $T_2 = 623\text{K}$, berdasarkan Tabel 2 letaknya berada diantara $T=620$, dan 630K maka didapatkan nilai h_2 adalah $150.7686713 \text{ kcal/kg}$. Dengan menggunakan persamaan yang sama diperoleh nilai entalpi (h) dari T_1 , T_2 , T_3 , dan T_4 . Untuk mengetahui entalpi ideal maka nilai dari T_{2s} (temperatur ideal keluar kompresor) dan T_{4s} (temperatur ideal keluar turbin) dapat diketahui dengan Persamaan 2 dan 3 isentropik pada gas ideal [5]. Data entalpi ideal dan aktual dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Data Entalpi Ideal dan Aktual Turbin Gas Pada Beban 33 MW.

Notasi	Item Keterangan	T (°C)	T (K)	h (kcal/kg)
T_1	Temperature Inlet Compressor	32	305	72.9
T_2	Temperature Outlet Compressor	350	623	150.768
T_3	Temperature Inlet Turbine	1240.359	1513.35	328.87
T_4	Temperature Outlet Turbine	522.412	795.412	129.819
T_{2s}	<i>Ideal Temperature Outlet Compressor</i>	306.61	579.61	139.877
T_{4s}	<i>Ideal Temperature Outlet Turbine</i>	175.17	448.17	129.81

Berdasarkan Tabel 3, kerja kompresor dan turbin, kalor pembakaran diruang bakar dan efisiensi yang terjadi pada kompresor dan gas turbin juga efisiensi siklus gas turbin generator pada beban 33 MW bisa diperoleh. Dengan menggunakan persamaan 4, efisiensi dari kompresor diperoleh yaitu sebesar 86% dan kerja kompresor dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 5 yaitu sebesar $27145.0828 \text{ kcal/s}$. Untuk mengetahui nilai kalor pada proses pembakaran yang terjadi diruang bakar digunakan persamaan 6 diperoleh nilai kalor hasil pembakaran sebesar $28573.24717 \text{ kcal/s}$. Dengan menggunakan persamaan 7 efisiensi dari turbin gas diperoleh sebesar 92% dan dengan persamaan 8 diperoleh nilai kerja aktual dari turbin sebesar $27145.08278 \text{ kcal/s}$. Persamaan 9 digunakan untuk memperoleh nilai efisiensi siklus gas turbin generator dan diperoleh nilai sebesar 45.56%.

Dengan menggunakan persamaan dan perhitungan yang sama maka diperoleh nilai efisiensi, kalor hasil pembakaran, dan efisiensi siklus pada variasi pembebanan 23 MW, 27 MW dan 33 MW seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Kalor hasil Pembakaran Pada Pembebanan 23 MW, 27MW, dan 33MW.

MW	Efisiensi Kompresor	Efisiensi Gas Turbin	Efisiensi Siklus	Nilai Kalor Hasil Pembakaran (kcal/kg)
23	94.09%	81.90%	31.21%	23868.226
27	90.10%	88.02%	38.71%	26280.934
33	86.00%	92.78%	45.56%	28573.247

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan efisiensi siklus pada 3 variasi pembebanan diperoleh nilai efisiensi siklus sebesar 31.21% dengan beban 23 MW, 38.71% dengan beban 27 MW, dan 45.56% dengan beban 33 MW. Gas turbin generator masih dikategorikan dengan kondisi baik karena dibuktikan dengan naiknya efisiensi seiring dengan semakin besarnya variasi pembebanan. Menurut Buku Gas Turbine Handbook 2nd karangan Boyce, turbin gas dengan kapasitas 3 – 480 MW dikatakan memiliki efisiensi siklus yang baik apabila berada diantara 30 – 46% [6].

REFERENSI

- [1] Ristyanto, A., Windarto, J, and Handoko, S. 2012. “Simulasi Perhitungan Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Rembang”.
- [2] Naryono, Lukman Budiono. 2013. Analisis Efisiensi Turbin Gas Terhadap Beban Operasi PLTGU Muara Tawar Blok 1. Sintek Vol 7 No 2.
- [3] Data temperature, tekanan, laju massa, dan kalor pembakaran Turbin Gas Generator didapat dari PT Krakatau Daya Listrik Cilegon, Banten Februari 2016.
- [4] Onny (2016). Artikel Teknologi. From <http://artikel-teknologi.com>. Diakses pada tanggal 6 February, 2016.
- [5] Moran, Michael J ,dan Shapiro, Howard N. 2004. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* 5th Edition.
- [6] Maherwan P. Boyce. (2002). *Gas Turbine Engineering Handbook* (2nd ed). Texas: Gulf Publishing Company