Simulasi Parametrik Pengaruh Temperatur Lingkungan pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas

Praditya Firmansyah^{1*}, Pribadi Mumpuni Adhi², dan Cecep Slamet Abadi¹

¹ Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

² Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16425

Artikel info: Diterima: 01 Nov 2021 | Disetujui: 15 Nov 2021 | Tersedia online: 30 Nov 2021

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) merupakan pembangkit dengan keunggulan waktu pengoperasian yang singkat dengan daya pembangkitan relatif besar. Dibalik kecepatan pembangkit tersebut untuk dioperasikan terdapat kelemahan yaitu tingkat efisiensi pembangkit yang tergolong rendah atau boros dalam penggunaan bahan bakar. Pada saat proses pengoperasian pembangkit di industri sering terjadi perubahan permintaan pasokan beban, untuk memenuhi permintaan tersebut pembangkit harus siap terutama dalam ketersediaan bahan bakar. Permasalahan yang terjadi adalah PLTG tidak bisa dibebani daya maksimal karena sumber bahan bakarnya juga digunakan untuk bahan baku proses pokok industri. Penelitian ini bertujuan untuk mencari variasi temperatur inlet PLTG dengan besar nilai heat rate dan spesifik fuel consumption (SFC) pada pola operasi PLTG yang paling optimal. Selanjutnya melakukan analisis keterkaitannya dengan efisiensi bahan bakar yang bisa dihemat di objek yang diteliti. Hasilnya dengan 39,7 % pembukaan katup gas dan temperatur masuk udara sebesar 30°C dan tekanan kompresi 7 bar menghasilkan nilai paling optimum dengan nilai SFC 0,627 dan heat rate 8059.663 kcal/kWh. Pembukaan katup gas lain yaitu sebesar 42,9% pembukaan katup gas dan temperature masuk udara sebesar 30°C dan tekanan kompresi 7 bar menghasilkan nilai paling baik yaitu SFC 0.654 dan heat rate 8408.248 kcal/kWh.

Kata-kata kunci: PLTG, SFC, Heat rate PLTG, simulasi parametris, variasi temperatur

Abstract

Gas Turbine Power Plant has advantage in shorter operating time with relatively large power. That one disadvantages is smaller efficiency of power plant or wasteful of fuel. during operating power plant in industry very often to change in demand for load supply, to fillfull that demand generation must ready especially of fuel availability. The occurs that happen in gas turbine power plant cannot loaded with maximum power because of fuel source also used for basic raw materials. This study focusing at searching variation of temperature inlet gas turbine and correlation with heat rate value and specific fuel consumption value in operation design gas turbine. Furthermore doing analysis of linkage data with fuel efficiency wich was object of research. The Result with Gas Control Valve open at 39,7% and compressor inlet temperature at 30°C and pressure at 7 bar give maximum point of SFC 0,627 Heat Rate 8059.663 kcal/kWh. Other result at Gas Control Valve open at 42,9% and compressor inlet temperature at 30°C pressure at 7 bar give the maximum point of SFC 0.654 and heat rate 8408.248 kcal/kWh.

Keywords: Gas Turbine, SFC, Heat Rate, Parametrics Simulation, Variable Temperature

* Corresponding author E-mail address: praditya.firmansyah.tn17@mesin.pnj.ac.id

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan listrik merupakan hal yang sangat penting untuk menunjang proses produksi sebuah industri, hal tersebut dikarenakan banyaknya alat alat pada industri yang menggunakan listrik sebagai sumber tenaga utama. PT Pupuk Kujang menyuplai listrik tersebut dengan menggunakan dua sistem yaitu *Gas Turbine Generator (GTG)* dan *utility* dari PLN. Pada daerah industri penggunaan beban listrik tertinggi yang ditanggung oleh pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) terjadi ketika waktu sore hari menjelang malam (16.00 – 18.00). Beban listrik tersebut digunakan untuk menggerakkan motor listrik, sistem kontrol industri, boiler, serta peralatan lain yang membutuhkan listrik dalam jumlah kecil maupun besar. Pada PLTG nilai efisiensi yang kecil terjadi pada beban rendah dan efisiensi besar pada beban besar sesuai rating PLTG.

Dikarenakan penggunaan bahan bakar Gas Alam yang besar setiap harinya dan juga kebutuhan akan Gas Alam yang juga digunakan sebagai bahan baku utama untuk memproduksi pupuk, maka gas alam yang digunakan sebagai pembangkitan daya listrik tentunya diharapkan efisien dan juga mempunyai heat loss yang rendah. Pada PLTG yang akan diteliti diketahui efisiensi PLTG tersebut sudah mengalami penurunan karena lamanya masa operasi PLTG tersebut dan juga bahan bakar Gas Alam yang dipakai dibatasi konsumsinya setiap bulan, maka pencarian titik optimal pemakaian bahan bakar menjadi penting untuk dilakukan.

Tujuan dari penulisan ini :

1. Mencari hubungan nilai SFC dan Heat Rate yang pada konsumsi bahan bakar PLTG dari berbagai variabel temperatur lingkungan.
2. Mencari nilai Heat Rate dan Spesific Fuel Consumption (SFC) dan Heat Rate yang paling optimal di variasi bukaan Gas Control Valve.
3. Melakukan simulasi parameter temperatur lingkungan dan melihat pengaruhnya terhadap nilai SFC dan Heat Rate pada PLTG

2. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian simulasi temperatur lingkungan dan bukaan katup *Gas control Valve.*, yaitu mencari hubungan antara variabel dengan melakukan simulasi pada salah satu variabel data. Dalam hal penelitian ini peneliti ingin mencari hubungan variabel temperatur lingkungan yang disimulasikan terhadap katup bukaan *Gas Control Valve (GCV)*. Penentuan temperatur lingkungan berasal dari data geolokasi unit PLTG tersebut serta kemungkinan logis tentang rentang temperatur dapat terjadi pada daerah penelitian. Untuk *Gas Control Valve* diambil dua variasi yaitu pada GCV terendah dan GCV tertinggi. Penelitian terdahulu yang digunakan sebagai rujukan penelitian adalah sebagai berikut, Ibrahim et,al meneliti tentang turbin gas dari turbin poros tunggal dan turbin poros ganda dengan simple siklus dan kompleks siklus menghasilkan kesimpulan penurunan rasio tekanan kompresi dapat menurunkan panas temperatur keluar turbin sehingga berpengaruh ke dalam Heat rate turbin gas tersebut [1]. Selain itu juga terdapat penelitian terdahulu dari Haikal yang meneliti Penggunaan Intercooling System dan didapatkan kesimpulan penggunaan sistem tersebut dapat menurunkan temperatur dengan cara menginjeksikan air dingin kedalam ruangan *Intercooling*. Didapatkan efek lain yaitu, menurunnya temperatur menyebabkan turunnya kebutuhan daya untuk memutar kompresor, hal ini dikarenakan massa jenis udara yang meningkat [2]. Perbedaan penelitian ini dibanding penelitian yang sudah ada adalah tempat penelitian yang belum pernah diteliti oleh peneliti lain tentang simulasi parametrik terhadap efisiensi turbin gas. Metode yang digunakan untuk mendapatkan data hasil perhitungan dari berbagai variabel yang didapatkan. Teknik yang digunakan dalam pengumpulan data yaitu dengan cara pemilihan waktu operasi pada objek penelitian PLTG unit 1 dan 2, wawancara secara semi terstruktur, serta data yang diambil dalam penelitian ini adalah data kuantitatif. Hasil dari pengumpulan data penelitian akan dianalisis menggunakan rumus-rumus Kemudian dilakukan analisis dengan teori yang sudah dijabarkan sebelumnya.

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

4. Melakukan simulasi pada variabel temperatur lingkungan
5. Tidak melakukan perhitungan loses mekanik maupun elektrik yang terjadi
6. Katup *gas control valve* hanya di teliti 2 variasi

Siklus Gas Brayton

Siklus brayton terdiri dari dua proses isobarik yaitu proses ketika tekanan konstan dan dua proses isentropik yaitu proses ketika entropi konstan. Dua proses isobarik terdiri dari sistem pembakaran yang terjadi di combustion chamber. Dua proses isentropik yang juga merupakan proses adiabatik (yaitu proses termodinamika, dimana panasnya tidak diberikan juga dapat disebutkan yang berasal dari kerja fluida) yang mewakili proses pemampatan (kompresor) dan ekspansi (turbin) di turbin gas [3] gambar 1.

Gambar 1. Siklus brayton kurva *Air Standard* diagram P-V dan T-S [4]

- **Proses 1-2**, Kompresi Isentropik di kompresor

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (1)$$

Untuk daya kompresor dicari dengan

$$\dot{W}_{kompresor} = \dot{m}_{udara} \times C_p \text{ udara (air)} \times (T_2 - T_1) \quad (2)$$

- **Proses 2-3**, Proses Isobarik di combustion chamber

$$\dot{Q}_{in} = LHV \times \dot{m}_{bb} \quad (3)$$

- **Proses 3-4**, Ekspansi Isentropik di turbin gas

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (4)$$

Untuk daya turbin gas dicari dengan

$$\dot{W}_{turbin} = \dot{m}_{total} \times C_p \text{ gas} \times (T_3 - T_4) \quad (5)$$

Mencari nilai C_p udara dan C_p gas

C_p merupakan Kapasitas panas (*specific heat*) yang diperlukan untuk menaikkan suhu sejumlah zat sebesar kenaikan derajat temperature, karena energy bisa dipindahkan dengan cara perindahan panas dalam suatu proses. yang terdapat pada massa jenis benda. C_p udara dapat dicari [5] :

$$C_p \text{ udara} = \frac{28,11 + 0,1967 \times 10^{-2}T + 0,4802 \times 10^{-5}T^2 + 1,966 \times 10^{-9}T^3}{29} \quad (6)$$

Untuk C_p gas dapat dicari [6] :

$$C_p \text{ gas} = 1,8083 - 2,3127 \times 10^{-3}T + 4,045 \times 10^{-6}T^2 - 1,7363 \times 10^{-9}T^3 \quad (7)$$

Specific Fuel Consumption

Specific Fuel Consumption (SFC) merupakan rasio perbandingan total konsumsi bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan listrik satu satuan daya dalam satu satuan waktu dicari dengan persamaan

$$SFC = \frac{\dot{m}_{bb} \times 3600}{W_{net}} \quad (8)$$

Heat Rate

Heat Rate mengukur dari tingkat energi yang digunakan untuk membangkitkan 1kWh daya. Dapat dicari dengan persamaan

$$Heat\ Rate = SFC \times LHV \quad (9)$$

Efisiensi PLTG

Efisiensi PLTG yang dapat dicari dengan persamaan

$$\eta_{PLTG} = \frac{1}{Heat\ Rate} \times 3600 \quad (10)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN**Analisis Kerja Kompresor, Kerja Turbin, Kerja Total, Dan Kalor Panas Masuk PLTG Pada GCV 39,7% Dan GCV 42,9%**

setelah semua data diketahui dan dilakukan tabulasi perhitungan maka dapat dilihat kerja kompresor, turbin gas, dan kerja total, energi panas masuk pada buka katup GCV 39,7 % dan 42,9 % pada variasi temperatur lingkungan dengan nilai SFC dan Heat Rate di Tabel 1 dan 2 :

Tabel 1. Kerja kompresor, kerja turbin, dan kerja netto dari buka GCV 39,7% dengan variasi temperatur

GCV	Temperatur Lingkungan [°C]	$\dot{W}_{KOMPRESSOR}$ [kJ/s]	$\dot{W}_{TURBIN}$ [kJ/s]	$\dot{W}_{Nett}$ [kJ/s]
39,7 %	30	1908.29	4588.70	2680.41
	31	1932.64	4588.70	2656.06
	32	1939.00	4588.70	2649.70
	33	1945.35	4588.70	2643.35
	34	1951.71	4588.70	2637.00
	35	1958.06	4588.70	2630.64
	36	1982.77	4588.70	2605.93
	37	1989.19	4588.70	2599.51
	38	1995.60	4588.70	2593.10
	39	2020.55	4588.70	2568.15
	40	2027.02	4588.70	2561.67

diketahui semakin besar variabel temperatur udara lingkungan akan membuat kerja kompresor semakin besar karena nilai pengali untuk semua variabel tekanan inlet dan outlet di set sama maka nilai yang berpengaruh adalah nilai temperatur lingkungan. Sedangkan kerja turbin sama karena nilai temperatur keluar turbin di set pada simulasi parametris tersebut dengan temperatur sama. untuk variasi buka katup GCV 42,7% ada pada tabel 2 :

Tabel 2. Kerja kompresor, kerja turbin, dan kerja netto dari buka GCV 39,7% dengan variasi temperatur

GCV	Temperatur Lingkungan [kJ/s]	$\dot{W}_{KOMPRESSOR}$ [kJ/s]	$\dot{W}_{TURBIN}$	$\dot{W}_{Nett}$
42,7 %	30	1908.29	4588.70	2680.41
	31	1932.64	4588.70	2656.06
	32	1939.00	4588.70	2649.70
	33	1945.35	4588.70	2643.35
	34	1951.71	4588.70	2637.00
	35	1958.06	4588.70	2630.64
	36	1982.77	4588.70	2605.93
	37	1989.19	4588.70	2599.51
	38	1995.60	4588.70	2593.10
	39	2310.28	4588.70	2648.02
	40	2317.68	4588.70	2640.62

diketahui juga nilai kerja kompresor akan semakin besar jika variabel temperatur udara semakin besar, karena nilai pengali akan semakin besar dan temperatur keluar kompresor semakin besar jika temperatur lingkungan semakin besar dengan demikian nilai kerja kompresor akan semakin besar pada setiap pertambahan satu derajat temperatur lingkungan. Untuk kerja turbin sama karena faktor pengali yaitu temperatur keluar turbin di set sama untuk setiap variabel temperatur lingkungan sehingga temperatur masuk turbin juga sama maka kerja turbin menjadi sama untuk setiap variabelnya.

Analisis Data simulasi Parametrik PLTG Efisiensi Termal dan Efisiensi PLTG

Dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan dengan menggunakan rumus yang terdapat di metode penelitian maka grafik data efisiensi *Thermal* dilihat pada gambar 1.

Gambar 2. Grafik Efisiensi *Thermal* Pada Buka GCV 39,7% Dan GCV 42,7% terhadap Variasi Temperatur Lingkungan

Dari Gambar 1. dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi berada pada variasi temperatur lingkungan untuk masing masing bukaan katup GCV baik di 39,7 % maupun di 42,7%. Efisiensi thermal yang didapatkan optimal pada bukaan katup GCV 39,7 % di 10.68% dan bukaan katup GCV 42,7 % di 10.23% Bahwa efisiensi thermal akan semakin menurun karena ketika temperatur semakin tinggi, dikarenakan temperatur keluar kompresor yang semakin tinggi juga menyebabkan energi yang dihasilkan kerja kompresor semakin besar. Hal ini disebabkan karena temperatur masuk kompresor yang tinggi mampu menghasilkan kerja kompresor , kerja turbin dan nilai kalor masuk yang tinggi. Untuk efisiensi PLTG dapat dilihat pada gambar 2 :

Gambar 3. Grafik Efisiensi Pada Bukaannya GCV 39,7% Dan GCV 42,7% terhadap Variasi Temperatur Lingkungan

diketahui bahwa penambahan temperatur lingkungan menurunkan efisiensi terhadap kerja PLTG, diketahui efisiensi PLTG terbaik pada bukaan katup GCV 39,7 % di temperatur 30° C dengan efisiensi PLTG sebesar 44.67% dan pada bukaan katup GCV 42,7 % di temperatur 30° C dengan efisiensi PLTG sebesar 42.82%. salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi tersebut adalah PLTG salah satunya adalah temperatur udara pada *inlet* kompresor. ketika temperatur udara yang masuk rendah, maka massa jenis dari udara lebih rapat daripada temperatur yang lebih tinggi. Semakin rapat massa jenis udara yang masuk, maka kerja kompresor untuk mengompresi udara akan semakin kecil [7] [8].

Sedangkan untuk nilai Heat rate dan nilai SFC yang sudah dilakukan perhitungan sebelumnya dapat dilihat pada gambar 3. Dan 4. :

Gambar 4. Heat Rate Pada Variasi Temperatur Di Posisi Katup GCV 39,7% Dan 42,9%

Dapat dilihat pada gambar 3. diperoleh hasil jika heat rate paling kecil pada bukaan GCV 39,7% berada pada temperature 30° C sebesar 8059,663 Kcal/kWh dan heat rate terkecil di bukaan GCV 42,9 % ada pada temperatur 30°C sebesar 8408,248 Kcal/kWh. Heat rate nilai yang kecil mengindikasikan PLTG berjalan efisien pada temperatur lingkungan yang lebih kecil karena pada temperatur lingkungan kecil maka densitas udara akan lebih besar sehingga akan lebih banyak udara yang dimampatkan didalam kompresor [7]. Nilai Heat Rate kecil berarti untuk membangkitkan 1 kWh energi dalam jumlah lebih sedikit. Trend kenaikan grafik tersebut adalah semakin besar temperatur lingkungan akan semakin naik nilai dari Heat Rate yang berarti untuk menghasilkan 1kWh energi jumlah yang dibutuhkan akan semakin besar. Berdasarkan grafik diatas diketahui temperatur lingkungan berpengaruh kedalam nilai heat rate yang berarti semakin panas temperatur lingkungan akan mempengaruhi kinerja PLTG itu sendiri. Juga faktor bukaan gas (GCV) juga ikut berpengaruh karena akan menentukan untuk laju bahan bakar yang digunakan dalam PLTG itu sendiri.

Gambar 4. SFC Pada Variasi Temperatur Di Posisi GCV 39,7% Dan 42,9%

Nilai SFC paling baik saat kondisi dengan buka katup GCV 39,7% di temperatur 30°C sebesar 0.627 dan pada kondisi dengan buka katup 42,9% di temperatur 30°C sebesar 0.654. berdasarkan gambar 4. hasil tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan bahan bakar bisa lebih efisien karena dari temperatur lingkungan semakin kecil akan didapatkan temperatur keluaran turbin lebih besar dengan bahan laju bahan bakar yang sama dan juga nilai SFC akan kecil. Trendline grafik mengalami kenaikan sejalan dengan temperatur lingkungan yang semakin besar, dengan begitu nilai SFC akan terus naik jika temperatur lingkungan juga naik. Nilai SFC yang tinggi akan mengakibatkan rasio bahan bakar yang digunakan untuk membangkitkan daya akan semakin tinggi yang artinya bahan bakar yang digunakan akan semakin boros [9]. Temperatur tersebut disimulasikan dengan memperhatikan faktor lingkungan perusahaan sendiri yang berada pada zona katulistiwa dan tingkat *humidity* yang rendah karena berada pada daerah industri dan juga di kawasan daratan rendah.

4. KESIMPULAN

1. SFC dan *Heat Rate* akan semakin tinggi ketika temperatur lingkungan bertambah sehingga tingkat konsumsi bahan bakar PLTG akan semakin boros karena nilai SFC tinggi berarti pembangkit menggunakan konsumsi bahan bakar lebih banyak dalam membangkitkan 1kWh. Sedangkan *Heat Rate* tinggi berarti energi yang digunakan untuk membangkitkan 1kWh harus lebih banyak
2. Pada katup *Gas Control Valve* 39.7 % dengan nilai *Heat Rate* paling optimal adalah sebesar 8059,66 Kcal/kWh dan nilai SFC paling optimal sebesar 0.627. pada katup *Gas Control Valve* 42.9 % dengan nilai *Heat Rate* paling optimal adalah sebesar 8408,25 Kcal/kWh dan nilai SFC paling optimal sebesar 0.654.
3. Temperatur lingkungan yang semakin kecil akan membuat kerja kompresor semakin kecil dan memperbesar total kerja sistem kompresor – turbin gas pada PLTG, yang menghasilkan berdasarkan hasil simulasi parametrik menunjukkan semakin kecil parameter temperatur lingkungan maka akan semakin kecil nilai dari SFC dan nilai dari *Heat Rate* pada PLTG.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Pupuk Kujang Cikampek Unit Pemeliharaan Mekanik 1 dan 2 atas dukungan pada penelitian ini.

REFERENSI

1. T. K. Ibrahim, M. K. Mohammed, W. H. A. A. Doorri, A. T. Al-SAMmarraie, and F. Basrawi, "Study of The Performance of The Gas Turbine Power Plants From The Simple To Complex Cycle : A Technical Review," no. May, 2019.
2. F. Haikal, "ANALISIS PENGGUNAAN INTERCOOLING SYSTEM PADA TURBIN GAS," Politeknik Negeri Jakarta, 2020.
3. A. M. Y. Razak, *Industrial gas turbines*, First. Abington Hall, Abington, Cambridge CB21 6AH, England: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, (2007).
4. NASA/Glenn Research Center (May 5, 2015). "[PV and TS Diagrams](http://www.grc.nasa.gov)". www.grc.nasa.gov.
5. N. Ravi Kumar, K. Rama Krishna, and A. V. Sita Rama Raju, "Thermodynamic analysis of heat recovery steam generator in combined cycle power plant," *Therm. Sci.*, vol. 11, no. 4, pp. 143–156, (2007), doi: 10.2298/TSCI0704143R.
6. T. K. Ibrahim, M. K. Mohammed, W. H. A. A. Doorri, A. T. Al-SAMmarraie, and F. Basrawi, "Study of The Performance of The Gas Turbine Power Plants From The Simple To Complex Cycle : A Technical Review," no. May, (2019).
7. S. C. Gülen, "Thermodynamics," in *Gas Turbines for Electric Power Generation*, First (1)., Cambridge: Cambridge University Press, (2019), pp. 75–118
8. N. Firbarini, "KARAKTERISASI TEMPERATUR DAN KELEMBAPAN UDARA PADA INLET COMPRESSOR TERHADAP PERFORMA PLTG LAB KONVERSI ENERGI PNJ," Politeknik Negeri Jakarta, (2020).
9. D. R. Utomo, B. Belyamin, and S. Prasetya, "Perancangan Air Cooler Turbin gas Aero derivative Lm6000 Jenis Compact Heat Exchanger Untuk Meningkatkan Performa Turbin gas," *J. Mek. Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 61–70, (2020), doi: 10.32722/jmt.v1i1.3333.