

Metode Particle Swarm Optimization Untuk Menentukan Daya Optimal Turbin Gas PLTGU Grati Berdasarkan Heat Rate

Mohammad Faris Wahyudi¹, Sabar Setyawidayat², Fachrudin³
^{1,2,3}) Fakultas Teknik, Teknik Elektro, Universitas Widya Gama
Email : wahyufariez@gmail.com

Abstrak

Pembangkit tenaga listrik thermal merupakan suatu pembangkit yang menghasilkan energi listrik yang berasal dari energi thermal. Energi thermal bisa dihasilkan melalui pembakaran bahan bakar berupa gas ataupun batubara. Berdasarkan hal tersebut, pada pembangkit tenaga listrik thermal konsumsi bahan bakar sangatlah mempengaruhi biaya produksi energi listrik, sehingga diperlukan suatu teknik pengoperasian pembangkit yang optimum. Salah satunya pada PT Indonesia Power UPJP Perak Grati yang merupakan perusahaan pembangkitan tenaga listrik yang dalam pengoperasiannya memerlukan cara dalam penghematan bahan bakar gas berdasarkan nilai heat rate (Kcal/kWh) khususnya dalam penghematan biaya pokok produksi. Pada penelitian ini Particle Swarm Optimization (PSO) digunakan sebagai metode untuk penentuan daya optimal pada generator Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Perak Grati. Berdasarkan hasil penelitian, dihasilkan adanya penghematan konsumsi gas antara metode PSO dengan kondisi aktual, dimana saat permintaan daya 310 MW, terjadi penghematan konsumsi gas sebesar 0.5968 BBTU/h atau setara dengan Rp 57.168,00/h.

Kata kunci: Heat Rate, Particle Swarm Optimization, optimisasi pembangkit thermal

Abstract

A thermal power plant is a generator that produces electrical energy derived from thermal energy. Thermal energy can be produced through combustion of fuel in the form of gas or coal. Based on this, the thermal power generation of fuel consumption greatly affects the cost of producing electricity, so an optimum generator operating technique is needed. One of them is PT Indonesia Power UPJP Perak Grati which is an electric power generation company which in its operation requires a way to save gas fuel based on the value of the heat rate (Kcal / kWh) specifically in saving the cost of production. In this study Particle Swarm Optimization (PSO) was used as a method for determining optimal power at the Silver Grati Gas Generator (PLTG) generator. Based on the results of the study, there was a savings in gas consumption between the PSO method and the actual conditions, where when the demand for power was 310 MW, there was a savings in gas consumption of 0.5968 BBTU/h or equivalent to Rp57.168,00h.

Keywords: Heat Rate, Particle Swarm Optimization, thermal generator optimization

1. PENDAHULUAN

Pembangkit tenaga listrik thermal merupakan suatu pembangkit yang menghasilkan energi listrik yang berasal dari energi thermal. Energi thermal bisa dihasilkan dari pemanasan air dengan bahan bakar berupa gas ataupun batu bara. Berdasarkan hal tersebut, pada pembangkit tenaga listrik thermal konsumsi bahan bakar sangatlah mempengaruhi biaya produksi energi listrik, sehingga diperlukan suatu teknik pengoperasian pembangkit yang optimal. Untuk mendapatkan pengoperasian yang optimal dalam memenuhi kebutuhan beban maka penjadwalan pengoperasian suatu generator pada pembangkit dan koordinasi antar pembangkit sangat diperlukan dalam upaya melakukan optimisasi pembebanan yang bertujuan untuk memperoleh biaya operasi yang optimal dan ekonomis dengan memperhatikan batasan-batasan dari kapasitas unit pembangkit itu sendiri. Energi listrik di Indonesia saat ini bersumber dari pembangkit listrik dengan sistem penggerak turbin [3]. Berbagai sistem untuk menggerakkan turbin ini memanfaatkan berbagai macam energi, mulai dari air (PLTA), gas (PLTG), uap (PLTU), angin (PLTAngin) dan nuklir (PLTN). Salah satu yang banyak digunakan adalah PLTG Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap) didalam sistem kerjanya merupakan jenis pembangkit yang cepat dalam merespon naik turunnya permintaan beban atau kebutuhan tenaga listrik pada sistem jaringan 500 kV maupun 150 Kv [1].

Menurut penelitian sebelumnya yang telah dilakukan terdapat metode sistem cerdas yang dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan penentuan daya optimal [4], diantaranya dengan menggunakan *particle swarm optimization*. Salah satu teknik solusi untuk menyelesaikan permasalahan optimalisasi ini yaitu dengan menggunakan teknik *Particle Swarm Optimization* (PSO) [15]. Kelebihan utama algoritma PSO adalah mempunyai konsep yang sederhana, mudah diimplementasikan dan cepat dalam proses pemrogramannya karena waktu yang cepat inilah yang dibutuhkan dalam melayani permintaan daya pada sistem jika diterapkan dalam optimasi daya pada generator di PLTG Grati maupun pada pembangkit thermal lainnya. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai optimisasi penentuan daya optimal pada generator dengan menggunakan metode sistem cerdas berupa PSO. Kemudian akan simulasikan menggunakan program Graphical User Interface (GUI) Matlab 2016 [7], untuk ditentukan pembagian daya yang optimal berdasarkan nilai heat rate pada masing-masing generator yang terdapat pada PLTG blok I Grati dengan permintaan daya tertentu.

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mampu menentukan nilai daya optimal pada gas turbin unit pembangkit di PLTG blok 1 Perak Grati dengan metode PSO.
2. Memberikan rekomendasi untuk menentukan usulan rencana pembebanan pembangkitan di PLTG Grati yang paling optimal untuk menekan biaya pokok produksi.
3. Mengimplementasikan PSO untuk analisa penentuan daya optimal ke dalam perangkat lunak menggunakan GUI Matlab 2016.

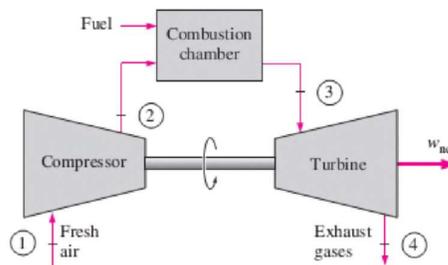
2. STUDI PUSTAKA

2.1 PLTG

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) adalah sebuah pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar gas sebagai energi penggerak turbin. Turbin gas merupakan sebuah mesin konversi energi yang mengkonversikan energi kimia yang terkandung dalam gas menjadi energi kalor dan kemudian diubah menjadi energi kinetic dengan putaran poros turbin gas, dari putaran poros dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator [2].

2.2 Siklus Bryton

Siklus Brayton merupakan siklus daya gas yang ditemukan oleh George Brayton pada tahun 1870 untuk mesin pembakaran minyak bolak-balik. Pada saat ini banyak digunakan pada mesin turbin gas dimana proses kompresi dan ekspansi berlangsung dengan putaran mesin. Udara lingkungan dihisap oleh kompresor, kemudian suhu dan tekanannya dinaikkan. Udara bertekanan tinggi hasil kompresi di masukkan kedalam ruang pembakaran sebagai campuran bahan bakar, di mana bahan bakar dibakar pada tekanan konstan. Gas hasil pembakaran dengan temperature tinggi kemudian di masukkan ke turbin gas, untuk menghasilkan putaran [9].



Gambar 1. Urutan siklus Brayton

2.3 Heat Rate Pembangkit

Heat rate merupakan parameter yang umum digunakan untuk menilai efisiensi suatu power plant. Heat rate menunjukkan jumlah kalori/panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan per kWh listrik dari generator [13]. Semakin besar nilai Heat Rate maka semakin jelek efisiensi power plan, dan sebaliknya semakin kecil nilai Heat Rate maka semakin efisien power plan tersebut.

2.4 Biaya Operasi Pembangkit Thermal

Secara umum, biaya pengoperasian pembangkit dalam hal ini adalah biaya bahan bakar yang digunakan digambarkan oleh fungsi kuadrat dari daya aktif yang dibangkitkan pada generator sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 2.

Karakteristik input output pembangkit termal adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara input bahan bakar (liter/jam) dan output yang dihasilkan oleh pembangkit (MW)[4]. Pada umumnya karakteristik input output pembangkit termal didekati dengan fungsi polinomial orde dua yaitu :

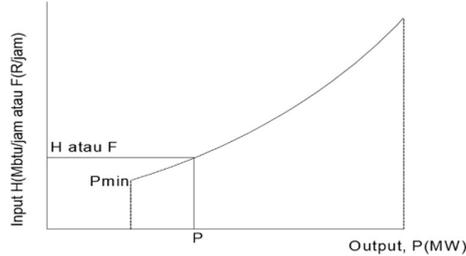
$$C_i = a_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (1)$$

dengan :

C_i = Input bahan bakar pembangkit termal ke-i (liter/jam)

P_i = Daya yang dihasilkan (MW)

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ = Karakteristik unit pembangkit



Gambar 2 Karakteristik unit pembangkit (C_i) input bahan bakar terhadap (P_i) daya

2.5 Batas Pembebanan Ekonomis Pembangkit Termal

Umumnya mesin pembangkit tenaga listrik mempunyai batas pembebanan yang dibatasi oleh kapasitas ekonomis minimum dan kapasitas ekonomis maksimum dan juga keterbatasan kerja komponen-komponen mesin, sehingga dalam pembebanan pembangkit termal harus diperhatikan karakteristik efisiensi dan karakteristik kenaikan panas tiap unit pembangkit termal. Misal batas minimum dan maksimum dari suatu unit pembangkit adalah sebagai berikut :

$$P_i(\min) \leq P_i \leq P_i(\max) \quad i=I \quad (2)$$

2.6 Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimazion (PSO) adalah teknik optimasi berdasarkan populasi stokastik yang terinspirasi oleh perilaku sosial kawanan burung atau kawanan ikan. PSO memiliki banyak kesamaan dengan teknik komputasi evolusi seperti algoritma genetika. Sistem ini diinisialisasi dengan populasi secara acak dan mencari solusi optimal dengan memperbarui generasi [3].

Algoritma dari PSO yaitu :

1. Menentukan ukuran *swarm* dan menentukan nilai awal masing-masing partikel secara random.
2. Mengevaluasi nilai fungsi tujuan untuk setiap partikel.
3. Menentukan kecepatan / *velocity* mula-mula.
4. Menghitung Pbest dan Gbest mula-mula.
5. Menghitung kecepatan pada iterasi berikutnya dengan Persamaan

$$V_j(i) = \theta V_j(i-1) + c_1 r_1 [P_{best,j} - X_j(i-1)] + c_2 r_2 [G_{best} - X_j(i-1)] \quad (3)$$

Dengan,

$$\theta = \theta_{max} - \left(\frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{iter_{max}} \right) * iter \quad (4)$$

i = iterasi; $j = 1, 2, 3, \dots, N$; r_1 dan r_2 adalah bilangan random; θ_{max} dan θ_{min} adalah random.

6. Menentukan posisi partikel pada iterasi berikutnya menggunakan Persamaan (5).

$$X_j(i) = X_j(i - 1) + V_j(i) \quad (5)$$

7. Mengevaluasi nilai fungsi tujuan pada iterasi selanjutnya.
8. Mengupdate Pbest dan Gbest.
9. Mengecek apakah solusi sudah optimal atau belum. Bila sudah optimal, maka proses algoritma berhenti, namun bila belum optimal maka kembali ke langkah 5

2.7 GUI MATLAB

Secara umum, Graphical User Interface (GUI) [7] adalah jenis antarmuka pengguna yang menggunakan metoda interaksi pada piranti elektronik secara grafis (bukan perintah teks) antara pengguna dan komputer. Tujuan dari penggunaan GUI yaitu membuat program terlihat lebih simpel dan praktis bagi para end-user. Oleh karena itu, hal yang perlu diperhatikan dalam membuat GUI adalah bagaimana menampilkan user *interface* yang mudah digunakan (*user friendly*) sekalipun user adalah orang awam yang tidak memahami kerumitan program di dalamnya. GUI atau biasa disebut *GUIDE (GUI builder)* Matlab merupakan aplikasi display dari MATLAB yang mengandung tugas, perintah, atau komponen program yang mempermudah *user* (pengguna) dalam menjalankan sebuah program dalam MATLAB.

3. METODE

3.1 Karakteristik unit-unit pembangkit

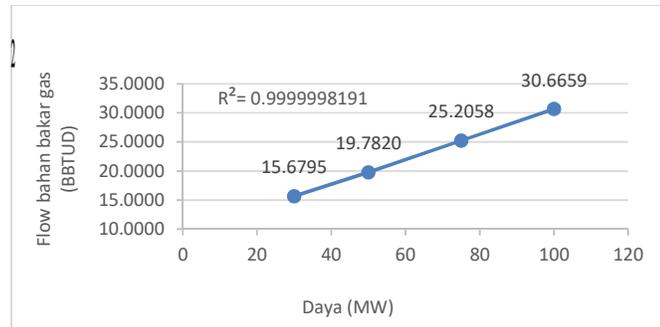
Dalam pemodelan ini biaya-biaya operasi dari setiap variable unit tersebut harus dinyatakan sebagai fungsi keluaran daya dan dimasukkan kedalam rumus biaya bahan bakar. Grafik yang menunjukkan pemodelan dari suatu unit pembangkit merupakan pemetaan antara fungsi bahan bakar yang diperlukan terhadap keluaran daya dari unit tersebut.

Dari data lapangan yang diperoleh, karakteristik bahan bakar yang di butuhkan terhadap daya keluaran pada PLTG unit GTG 1.1, 1.2, 1.3 di PLTG blok I Grati dapat dilihat pada grafik 3, 4, dan 5.

1. PLTG GTG 1.1

Gambar 3 merupakan grafik fungsi kuadratis karakteristik unit pembangkit GTG 1.1 dengan persamaan karakteristik pembangkit adalah

$$C_i = 10.295862860235000 + 0.159039782176666P + 0.000780691573338P^2 + (-0.000003340886811P^3) \quad (6)$$

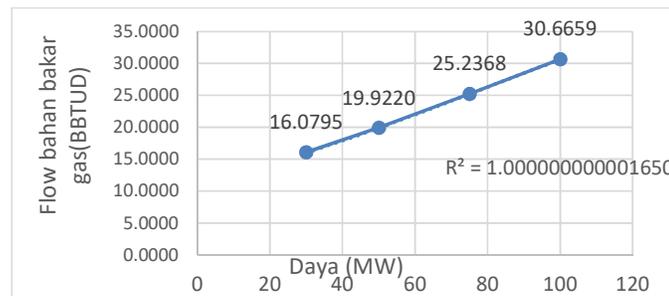


Gambar 3. Kurva karakteristik konsumsi bahan bakar GT 1.1

2. PLTG GTG 1.2

Gambar 4 merupakan grafik fungsi kuadratis karakteristik unit pembangkit GTG 1.2 dengan persamaan karakteristik pembangkit adalah

$$C_i = 11.553429050713800 + 0.118587813922545P + 0.001226541287626P^2 + (-0.000005017623319P^3) \quad (7)$$

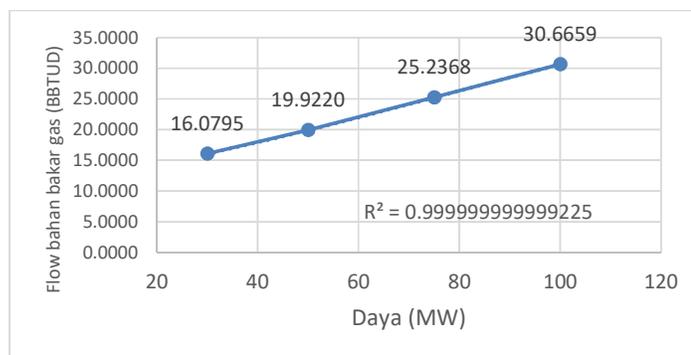


Gambar 4 Kurva karakteristik konsumsi bahan bakar GT 1.2

3. PLTG GTG 1.3

Gambar 5 merupakan grafik fungsi kuadratis karakteristik unit pembangkit GTG 1.3 dengan persamaan karakteristik pembangkit adalah

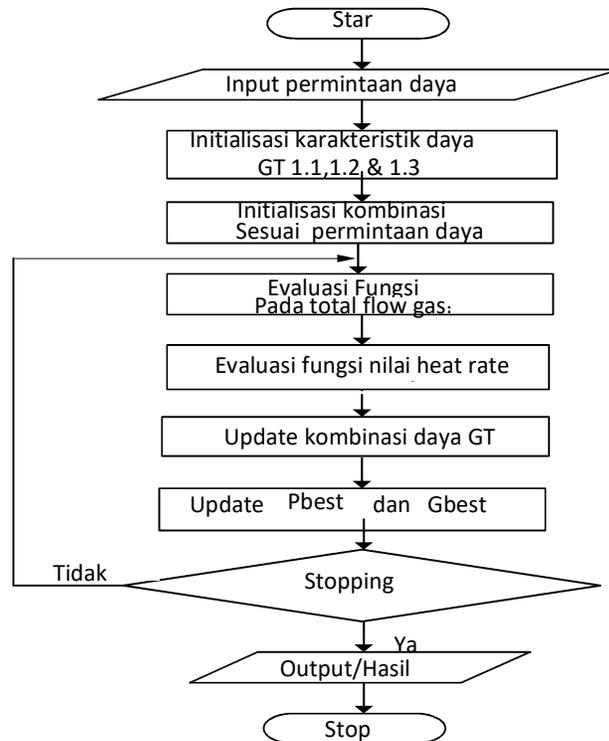
$$C_i = 0.003120174677267P^3 - 0.245798709320888P^2 + 11.009489406505600P - 96.447299661021400 \quad (8)$$



Gambar 5. Kurva karakteristik konsumsi bahan bakar GT 1.3

3.2 Pembuatan Program Simulasi

Perencanaan program simulasi optimasi ini menggunakan program Matlab R2016 dengan metode optimasi PSO (*Particle Swarm Optimization*). Algoritma pembuatan program simulasi ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Pembuatan Program Simulasi

Diagram alir ini dibuat dalam 7 tahap, tahap pertama yaitu input permintaan daya, tahap kedua adalah inisialisasi karakteristik daya dari GT 1.1, 1.2 dan 1.3, tahap ketiga adalah tahap inisialisasi kombinasi daya secara acak, tahap keempat evaluasi fungsi pada total bahan bakar gas, tahap kelima adalah tahap evaluasi nilai nilai *heat rate*, tahap keenam adalah tahap update kombinasi daya terbaik secara acak, tahap ketujuh adalah tahap update Pbest dan Gbest.

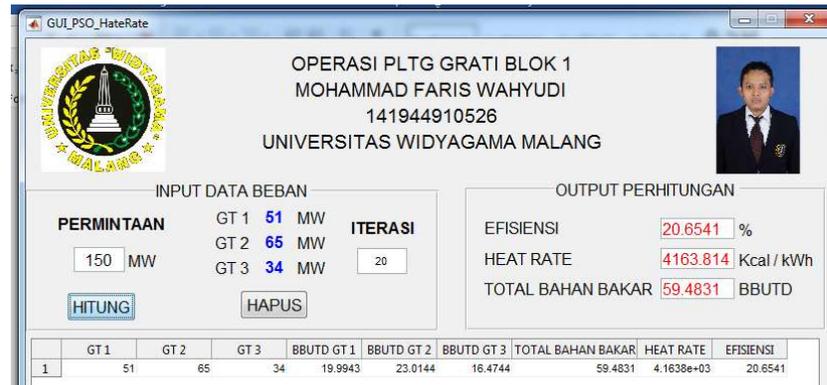
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas tentang pengamatan pada saat pengambilan data yang dilakukan di CCR (*Central Control Room*) PLTGU Grati. Aspek yang dapat diamati adalah pola penentuan daya pembangkit, data *flow* bahan bakar, data *efisiensi thermal* dan *Heat Rate* pembangkit. Berdasarkan nilai kurva karakteristik pemakaian gas dengan permintaan daya pada GT 1.1, GT 1.2 dan GT 1.3, di dapatkan hasil dari optimasi metode PSO terhadap simulasi permintaan daya tertentu dengan menggunakan *software* Matlab yang kemudian hasil optimasi PSO tersebut dibuat ke dalam *Microsoft Excel* untuk di olah dengan penambahan perhitungan nilai *Efisiensi thermal*, nilai *heat rate* dan juga total *flow* bahan bakar yang telah digunakan.

Berikut hasil optimasi PSO dengan GUI Matlab 2016 :

1. Hasil optimasi PSO untuk permintaan daya 150 MW

Pada saat kebutuhan daya (*demand*) 150 MW, maka kemungkinan unit pembangkit ada dua atau tiga GT yang beroperasi, karena untuk mengoperasikan satu unit pembangkit GT saja tidak mungkin dilakukan karena tidak memenuhi syarat pembebanan maksimum operasi pembangkit yaitu 105 MW.

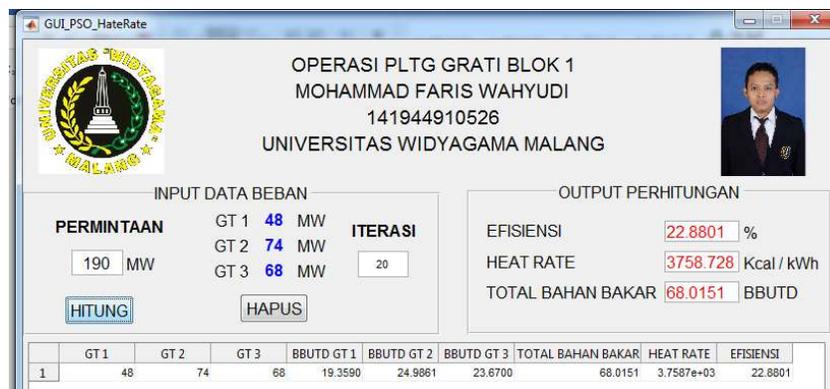


Gambar 7. Hasil pembebanan saat permintaan daya 150 MW dengan GUI Matlab

Dari hasil simulasi metode PSO dengan kebutuhan daya 150 MW bahwa untuk memenuhi permintaan daya tersebut dengan mengoperasikan tiga unit GT, dengan pilihan beban GT 1.1 = 51 MW, GT 1.2 = 65 MW dan GT 1.3 = 34 MW. Berdasarkan hasil simulasi pada Matlab maka diperoleh efisiensi Gas turbin sebesar 20,6541 %, *Heat rate* sebesar 4163,814 Kcal/kWh dan juga menghabiskan total penggunaan gas sebesar 59,4831 BBTUD.

2. Hasil optimasi PSO untuk permintaan daya 190 MW

Pada saat permintaan daya 190 MW, maka unit pembangkit ada dua atau tiga GT yang akan beroperasi, karena untuk mengoperasikan satu unit pembangkit GT saja tidak mungkin dilakukan karena tidak memenuhi syarat pembebanan maksimum operasi pembangkit yaitu 105 MW. Hasil simulasi metode PSO dapat dilihat pada gambar 8.

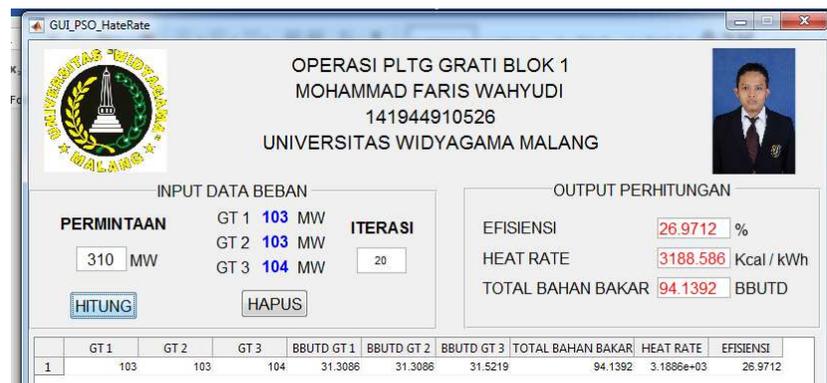


Gambar 8. Hasil pembebanan saat permintaan daya 190 MW dengan GUI Matlab

Dari hasil simulasi metode PSO dengan kebutuhan daya 190 MW bahwa untuk memenuhi permintaan daya tersebut dengan mengoperasikan tiga unit GT, dengan pilihan beban GT 1.1 = 48 MW, GT 1.2 = 74 MW dan GT 1.3 = 68 MW. Berdasarkan hasil simulasi pada Matlab maka diperoleh efisiensi Gas turbin sebesar 20,8801 %, Heat rate sebesar 3758.728 Kcal/kWh dan juga menghabiskan total penggunaan gas sebesar 68,0151 BBTUD.

3. Hasil optimasi PSO untuk permintaan daya 310 MW

Pada saat kebutuhan daya 310 MW, maka unit pembangkit ada tiga GT yang akan beroperasi, karena untuk mengoperasikan satu atau dua unit pembangkit GT saja tidak mungkin dilakukan karena tidak memenuhi syarat pembebanan maksimum operasi pembangkit yaitu 105 MW.



Gambar 9. Hasil pembebanan saat permintaan daya 310 MW dengan GUI Matlab

Dari hasil simulasi metode PSO pada saat kebutuhan permintaan daya 310 MW dihasilkan pola pengoperasian pembangkit yang optimal yaitu yang mengoperasikan tiga unit pembangkit GTG yaitu dengan mengoperasikan GT 1.1 = 103 MW, GT 1.2 = 103 MW, dan GT 1.3 = 104 MW. Berdasarkan hasil simulasi pada Matlab maka diperoleh efisiensi gas turbin sebesar 26.9712 %, Heat rate sebesar 3188.5861 Kcal/kWh dan juga menghabiskan total penggunaan gas sebesar 94.1392 BBTUD.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa Metode Particle Swarm Optimization (PSO) dapat diterapkan untuk solusi dari masalah pembebanan optimal pada unit pembangkit di PLTG Grati blok 1 maupun pada pembangkit thermal lainnya. Dari hasil pengujian PSO, untuk penghematan gas yang didapat dengan data pendistribusian daya merata saat permintaan daya 310 MW yaitu sebesar 0.5968 BBTU/h atau setara dengan Rp 57.168,00 /h. Dari hasil pengujian, rancangan penggunaan aplikasi GUI Matlab 2016 dapat memudahkan penulis dalam mencari nilai *heat rate* yang paling kecil, penggunaan bahan bakar yang paling rendah dan juga mendapatkan efisiensi thermal yang tinggi. Pada penelitian lanjutan dapat dikembangkan optimasi pembebanan pada unit pembangkit dengan pertimbangan daya yang dihasilkan saat operasi *combine cycle* serta sistem yang lebih besar dengan pertimbangan rugi-rugi pada jaringan.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Kadir, Abdul. "Pembangkit Tenaga Listrik", UI – Press, Universitas Indonesia, Jakarta, 1996.
- [2] General Electric Company.. *Gas Turbine Operations 6B Gas Fuel Only*. Schnectady, NY, USA, 2013.
- [3] J. Kennedy and R. C. Eberhart. Particle swarm optimization. In *Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks*. IEEE Service Center, Piscataway, 1995.
- [4] Andi Syarifuddin, " Economic Dispatch For Thermal Generator In Sulawesi Selatan System Using Modified Improved Particle Swarm Optimization" ITS Surabaya, 2008.
- [5] Kadir, Abdul. "Pemrograman Database dengan Matlab 2016 dengan GUI", Andi, Yogyakarta, 2005.
- [6] Allen J, Wollenberg Bruce F, "Power Generation, Operational, and Control", Second Edition, Jhon Wiley & Sons, Inc, (1996).
- [7] Mangkulo, H.A., " Pemrograman Database Menggunakan MATLAB", PT. Elex Media Komputindo, Gramedia, Jakarta, 2004.
- [8] Marno. "Optimasi Pembagian Beban Pada Unit PLTG Di PLTGU Tambak Lorok Dengan Metode Lagrange Multiplier", Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2001.
- [9] Marsudi, Djiteng. "Pembangkitan Energi Listrik", Erlangga, Jakarta, 2005.
- [10] Nugroho, Agung. "Metode Pengaturan Penggunaan Tenaga Listrik dalam Upaya Penghematan Bahan Bakar Pembangkit dan Energi", Majalah Transmisi Vol. 11, No. 1, Hal. 45 -51, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Juni 2006.
- [11] Perusahaan Umum Listrik Negara."Standar Operasi Pusat Listrik Tenaga Gas", SPLN 80: 1989, Desember 1989.
- [12] Arismunandar W, "Pengantar Turbin Gas dan Motor Propulsi". Dirjen Dikti, Depdiknas. Marsudi, Djiteng. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 2005.
- [13] Vessel, Richard. "Introduction to Heat Rate and Controllable Losses". ABB Group. Ariyadi, Anggi. *Prinsip Kerja Turbin Gas*, 2012.
- [14] *Manual Book Mitsubishi Heavy Industries LTD*. Jakarta, 1995