

PENYELESAIAN *ECONOMIC DISPATCH* PADA PEMBANGKIT TERMAL MENGGUNAKAN METODE *HARMONY SEARCH* ALGORITHM

Muhammad Wirawan S¹⁾, M Iqbal Arsyad²⁾, Rudy Gianto³⁾

Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro^{1,2,3)}

Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak

ABSTRAK

Untuk melayani beban dengan nilai tertentu maka yang perlu diperhatikan adalah beberapa daya yang harus dibangkitkan oleh setiap unit pembangkit sehingga diperoleh biaya pembangkitan yang ekonomis atau biasa juga disebut dengan *Economic Dispatch*. Untuk mengatasi masalah *Economic Dispatch* berbagai teknik optimasi telah diterapkan, salah satunya adalah metode *Harmony Search Algorithm*. HSA telah banyak perhatian karena ada beberapa kelebihan diantaranya pada sistem yang kompleks HSA dapat mengungguli, mudah diimplementasikan, dan komputasi waktu yang cepat bila dibandingkan dengan metode *Artificial Intelligence* (AI) lainnya. Metode *Harmony Search Algorithm* (HSA) adalah metode yang terinspirasi dari pertunjukan seni musik dengan mekanisme pencarian menggunakan harmoni atau bunyi nada yang terbaik sehingga terlihat bagus didengar. Adapun tahapan untuk mencari HSA adalah inialisasi, membangun *Harmony Memory*, improvisasi *Harmony* baru, update *Harmony Memory*, dan mengecek pemberhentian kriteria. Untuk mencari hasil yang terbaik metode tersebut dibandingkan dengan metode *Quadratic Programming*. Hasil selisih biaya bahan bakar yang telah didapatkan untuk 6 unit generator beban 425 MW sebesar 1,5187 \$/h dengan prosentase $\pm 0,00002576\%$, beban 850 MW sebesar 8,0635 \$/h dengan prosentase $\pm 0,000131\%$, beban 1275 MW sebesar 133,6319 \$/h dengan prosentase $\pm 0,0000824\%$. Hasil selisih biaya bahan bakar yang telah didapatkan untuk 20 unit generator beban 1325 MW sebesar 33,6381 \$/h dengan prosentase $\pm 0,0872\%$, beban 2650 MW sebesar 569,8115 dengan prosentase $\pm 0,8684\%$, beban 3000 MW sebesar 1,9812 \$/h dengan prosentase $\pm 0,0027\%$. Hasilnya didapatkan selisih angka yang cukup besar dan HSA mampu memberikan hasil yang optimal pada sistem 6 unit generator dan sistem 20 unit generator HSA mengungguli *Quadratic Programming*. Masalah komputasi *Harmony Search Algorithm* lebih lama dibandingkan dengan *Quadratic Programming* sehingga dapat disimpulkan bahwa HSA adalah solusi terbaik karena pencarian dilakukan secara random dan untuk nilai parameter sangat mempengaruhi hasil dari metode HSA.

Kata kunci: *Economic Dispatch, Harmony Search Algorithm, Quadratic Programming*

ABSTRACT

To serve a load with a certain value, then need to be considered is some power must be generating by every unit generating so that obtained economical cost generated or usually called Economic Dispatch. For to solve the problem Economic Dispatch any various optimization techniques have applied, which one Harmony Search Algorithm Method. HSA has many attention because some advantages of which for complex system can leading, easy to implement, and computation faster than Artificial Intelligence (AI) method the other. Harmony Search Algorithm method (HSA) is a music-based with the search mechanism uses best harmony or pitch so that good for listening. There are stages to find HSA is initialization, make a Harmony Memory, improvisation a new Harmony Memory, update Harmony Memory, and stopping check criteriation. To find the best result compared to Quadratic Programming method. The results of the difference in fuel costs that have been obtained for 6 units of generators with a 425 MW load of 1,5187 \$/h with a percentage of $\pm 0,00002576\%$, a load of 850 MW at 8,0635 \$/h with a percentage of $\pm 0,000131\%$, a load of 1275 MW is 133,6319 \$/h with a percentage of $\pm 0,0000824\%$. The result of the difference in fuel costs that has been obtained for 20 units of 1325 MW generators is 33,6381 \$/h with a percentage of $\pm 0,0872\%$, a load of 2650 MW is 569,8115 with a percentage of $\pm 0,8684\%$, a load of 3000 MW is 1,9812 \$/h with a prostration of $\pm 0,0027\%$. The result is that the difference in numbers is quite large and HSA is able to provide optimal results on a system of 6 generator units and a system of 20 generator units HSA outperforms Quadratic Programming. The computational problem of Harmony Search Algorithm is longer than Quadratic Programming, so it can be concluded that HSA is the best solution because the search is done randomly and the parameter values greatly affect the results of the HSA

Keywords: *Economic Dispatch, Harmony Search Algorithm, Quadratic Programming*

1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi pada zaman sekarang membuat kebutuhan energi listrik pada manusia sangat bertingkat. Apabila kebutuhan listrik meningkat maka, secara otomatis permintaan beban akan meningkat. Pembangkitan listrik memiliki tiga faktor sangat penting yang mempengaruhi daya keluaran pembangkit, diantaranya adalah kemampuan unit-unit pembangkit, rugi-rugi saluran, dan permintaan beban, sehingga daya keluaran pembangkit dapat berubah sesuai dengan permintaan beban yang diterima. Besarnya daya yang dialirkan ke konsumen akan mempengaruhi peningkatan penggunaan bahan bakar dalam prosesnya pembangkitan salah satunya adalah dengan menggunakan batubara

Pada pemakaian bahan bakar sangat penting diperhatikan, hal ini disebabkan karena besarnya biaya terletak pada pengoperasian pembangkit. Bila besarnya biaya total pada pengoperasian pembangkit maka menjadi tidak ekonomis. Sehingga perlu dilakukan pengoptimalan biaya bahan bakar tetapi bisa memenuhi permintaan beban agar biaya operasi pembangkit menjadi lebih efisien. Pengoptimalan tersebut dapat dilakukan dengan cara menentukan kombinasi daya keluaran dari setiap unit pembangkit sesuai dengan kemampuan setiap unitnya dengan analisis *Economic Dispatch*. Analisis *Economic Dispatch* digunakan untuk membagi daya yang dibangkitkan oleh pembangkit untuk memenuhi permintaan beban dengan meminimalkan total biaya bahan bakar dengan tetap memenuhi batas-batas operasi (*constraint*) pada setiap unit generator.[1].

Operasi ekonomis bertujuan untuk menjadwalkan atau mengatur daya keluaran dari masing-masing pembangkit yang ada dalam sistem tenaga listrik untuk melayani beban sehingga jumlah biaya pembangkitan yang dikeluarkan sekecil atau seminimal mungkin tanpa mengabaikan pelayanan kepada konsumen. Melayani beban dengan nilai tertentu, maka yang perlu diperhatikan adalah berapa daya yang harus dibangkitkan oleh setiap unit pembangkit sehingga diperoleh pembangkitan

yang ekonomis. Mengatasi masalah ED, berbagai teknik optimasi telah diterapkan. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan penjadwalan ekonomis pembangkit termal diantaranya metode *Lagrange*, metode *Gradien*, dan metode *Newton* menggunakan kurva biaya incremental, yang diperoleh dari hubungan biaya *incremental* bahan bakar (\$/h) terhadap daya output. Proses perhitungan dengan metode tradisional ini dapat dilakukan jika kurva karakteristik biaya *incremental* ini di idealkan terlebih dahulu, sehingga kurva yang terbentuk menjadi halus dan *convex*. Untuk unit pembangkit yang memiliki kurva *non-convex* tidak dapat diselesaikan dengan menggunakan metoda tradisional ini[19]. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah *economic dispatch* dengan kurva *non-convex* adalah *Harmony Search Algorithm*.

Penelitian ini akan menggunakan Metode yang telah ditemukan oleh Zong Woo Geem pada tahun 2001, yaitu metode *Harmony Search Algorithm* (HSA)[2]. Dalam beberapa tahun terakhir, HSA telah banyak perhatian dikarenakan ada beberapa kelebihan diantaranya HSA sangat mudah diimplementasikan untuk beberapa bidang studi salah satunya adalah *Economic Dispatch*. Algoritma tersebut terinspirasi oleh proses pertunjukan musik ketika musisi ingin menemukan harmonik yang lebih baik untuk memberikan solusi permasalahan optimisasi yang kompleks. Hasil simulasinya nanti akan dibandingkan dengan metode *Quadratic Programming*.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Penelitian Terkait

Terdapat beberapa penelitian yang menggunakan metode HSA diantaranya penelitian oleh (Efrita Arfah Zulifiari,2013) penelitian ini menjelaskan tentang masalah *Optimal Power Flow*(OPF) yang digunakan untuk mendapatkan fungsi biaya termurah dengan tidak melanggar ketentuan yang ada, yaitu *equality* dan *inequality*. Optimasi berbasis stokastik telah banyak digunakan dalam penelitian OPF, diantaranya ada GA (Genetika

Algoritma), EP (*Evolutionary Programming*), dan IPSO (*Improved Particle Swarm Optimization*). Penelitian ini menggunakan algoritma stokastik yang relatif baru dengan algoritma yang telah disebutkan di atas, yaitu HSA. Gagasan utama dibalik didasarkan pada instrument untuk menemukan harmoni yang indah. Data pada penelitian ini menggunakan data sistem Jawa-Bali 500 kV 23 bus dengan 8 generator mengetahui performa dari HSA, HSA dibandingkan dengan IPSO. Hasil perhitungan menunjukkan HSA memiliki biaya yang rendah sebesar 9,21% dari total biaya pembangkitan dibandingkan menggunakan IPSO[3].

Penelitian yang dilakukan Sudhir Sharma, Shivani, M, dan Nitish (2015), tentang *economic load dispatch using grey wolf optimization*. Pada penelitian ini menggunakan metode serigala abu-abu dalam penyelesaian *Economic Load Dispatch* dengan menggunakan 3 unit dan 6 unit generator pada sistem IEEE. Menguji keefektifan dari metode tersebut dilakukan dengan metode perbandingan adapun metode pembandingnya iterasi lambda dan algoritma CSO (*Cuckoo Search Optimization*) dengan dilakukan pengolahan data dengan aplikasi MatLab. Hasil dari penelitian tersebut yakni bahwa metode yang diusulkan metode serigala abu-abu memiliki keefektifitasan dalam masalah *Economic Dispatch* baik dari segi biaya bahan bakar maupun rugi rugi transmisi[4].

Penelitian yang dilakukan oleh (Rizky Imansyah Putra dan Purwanto) tentang Penerapan Algoritma *Harmony Search* pada *Resource-Constrained Project Scheduling Problem(RCPSP)* adalah perluasan dari *project scheduling*. *Resource-Constrained* digunakan untuk memperhitungkan durasi penjadwalan dalam pengerjaan proyek dengan kendala sumberdaya yang terbatas sehingga bisa ditentukan durasi pengerjaan proyek yang minimum tanpa melebihi sumberdaya yang tersedia. Algoritma pada *Harmony Search* memiliki tujuh langkah yaitu inialisasi masalah, masukkan RCSP, inialisasi parameter Algoritma *Harmony Search*, inialisasi *Harmony Memory(HM)*, membangkitkan vektor solusi baru, meng-update HM, mengecek kriteria pemberhentian. Hasil yang telah didapatkan pada penelitian ini adalah Algoritma *Harmony Search*

tidak selalu merupakan solusi terbaik. Karena pencarian dilakukan dengan random sehingga solusi yang didapat sangat bermacam-macam. Untuk mendapat solusi yang terbaik maka algoritma *Harmony Search* tergantung pada kriteria pemberhentian yang dipilih[5].

Penelitian yang dilakukan Zainal Abidin, Robandi, Roni Seto Wibowo tentang *Dynamic Dispatch* dengan menggunakan metode *Quadratic Programming* yang mana *Dynamic Economic Dispatch* merupakan pengembangan dari *Economic Dispatch* konvensional karena memperhitungkan *ramp rate* unit pembangkit. Digunakan untuk penentuan pembagian pembebanan per unit dalam rentang waktu tertentu tanpa melanggar batas *ramp rate* yang ada. Pada penelitian ini menggunakan 3 unit pembangkit dengan menggunakan profil beban yang berbeda menunjukkan bahwa parameter *ramp rate* menyebabkan pembagian pembebanan pada waktu lain serta terdapat variasi pembangkitan berbeda antara *Economic Dispatch* dan *Dynamic Economic Dispatch*. Parameter *ramp rate* juga menyebabkan total biaya pembangkitan pada *Dynamic Economic Dispatch* menjadi lebih mahal jika dibandingkan dengan *Economic Dispatch*[6].

3. *Economic Dispatch*

ED adalah pembagian daya yang harus dibangkitkan oleh generator dalam suatu sistem tenaga listrik sehingga dapat memenuhi kebutuhan beban dengan biaya minimum.

Tujuan utama ED adalah menjadwalkan keluaran unit pembangkit agar dapat memenuhi permintaan beban pada suatu sistem dengan biaya operasi seminimal mungkin. Operasi sistem tenaga pada frekuensi konstan dapat disebut "*power balance*" yaitu pembangkitan daya *real* sama dengan total beban ditambah rugi-rugi. Untuk persamaannya dapat dirumuskan sebagai berikut

$$P_g = P_D + P_L \quad (1)$$

Dengan:

$$P_g = \sum_{i=1}^n P_{g_i} \quad (2)$$

Dimana:

P_{g_i} = output masing-masing pembangkit (MW)

P_D = total beban sistem (MW)

P_L = total rugi-rugi transmisi (MW)

n = jumlah pembangkit yang melayani sistem
Masing-masing pembangkit memiliki batas-batas dasar yaitu [3]:

$$P_{min_i} \leq P_{g_i} \leq P_{max_i} \quad (3)$$

Batas atas suatu generator dihubungkan terhadap rating termal stator generator. Sedangkan batas minimal suatu generator berhubungan dengan operasi boiler yang menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin.

Biaya operasi sebuah unit terdiri dari biaya bahan bakar, biaya pekerja dan biaya pemeliharaan. Semua jenis ini dikombinasikan dengan biaya bahan bakar, sehingga:

$$F_i = \text{biaya bahan bakar } (\$/MBtu) \times H_i \quad (4)$$

Dimana:

F_i = biaya bahan bakar (\$/Mbtu)

H_i = input daya unit i (Mbtu/jam)

Tujuan utama karakteristik tersebut adalah untuk mendapatkan persamaan biaya yang diberikan dalam bentuk polinom orde kedua.

$$F_i = a_i P_{g_i}^2 + b_i P_{g_i} + c_i \quad (5)$$

Dimana:

i = pembangkit i, satu dari n unit

F_i = biaya pembangkit i (\$/jam)

P_{g_i} = output daya listrik pembangkit i

a, b, c = koefisien persamaan (konstanta)

Untuk total operasi sistem adalah:

$$\text{Minimize } F_T = \sum_{i=1}^n F_i \quad (6)$$

Suatu set persamaan yang mewakili fungsi objektif dengan kendala-kendala yang ada dapat disimpulkan sebagai berikut:

$$\frac{dF_i}{dP_i} = \lambda \quad (7)$$

$i = 1, 2, \dots, n$

$$P_{i_{min}} \leq P_i \leq P_{i_{max}} \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_D \quad (9)$$

Setelah batas-batas pertidaksamaan dikenali, kemudian kondisi yang dibutuhkan dapat disimpulkan menjadi:

$$\frac{dF_i}{dP_i} = \lambda \text{ untuk } P_{i_{min}} \leq P_i \leq P_{i_{max}} \quad (10)$$

$$\frac{dF_i}{dP_i} \leq \lambda \text{ untuk } P_i = P_{i_{max}} \quad (11)$$

$$\frac{dF_i}{dP_i} \geq \lambda \text{ untuk } P_i = P_{i_{min}} \quad (12)$$

4. Quadratic Programming

Quadratic Programming adalah salah satu metode optimisasi yang secara khusus digunakan untuk mengoptimalkan (meminimalkan atau memaksimalkan) masalah masalah fungsi kuadrat dari beberapa variabel yang bergantung pada batasan linear variabel yang ditentukan. Model standar pada Quadratic Programming. Adapun langkah-langkah penyelesaian Economic Dispatch menggunakan metode Quadratic Programming adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi prosedur, alokasikan batasan terendah dalam setiap unit pembangkit;
2. Hitung nilai H, F, beq, Aeq, Ib, ub, pada masing-masing ;
3. Tentukan Alokasi daya dari masing-masing pembangkit dengan mensubstitusikan jumlah pada langkah kedua ke persamaan Quadratic Programming untuk menentukan daya sesuai pada pembangkit;
4. Substitusi nilai daya yang diperoleh dengan persamaan Economic Dispatch;
5. Hitung Rugi-rugi daya transmisi dengan persamaan rugi-rugi daya;
6. Periksa konvergensi hasil dengan persamaan:

$$\left| PD + PL - \sum_{i=1}^N P_{GI} \right| \leq \varepsilon$$

Dimana ε adalah nilai toleransi

7. Lakukan langkah- langkah 2-5 hingga konvergensi tercapai;

5. Harmony Search Algorithm

Untuk menjelaskan HSA secara rinci, pertama marilah kita mengidealkan proses improvisasi dari keahlian para professional musisi. Pada saat musisi memimprovisasi musik dia mempunyai tiga kemungkinan pilihan. Pertama bermain musik apapun yang sudah terkenal seperti yang diingat oleh musisi (serangkaian yang bernada harmonis)[8], yang kedua memainkan sesuatu nada yang mirip dengan bagian yang dikenal (dengan demikian dapat mengikuti alur nada yang baik), dan ketiga menulis nada baru secara acak untuk mendapatkan harmoni yang terbaik. Zong Woo Geem et al meresmikan ketiga opsi ini kedalam

proses optimasi kuantitatif pada tahun 2001 dan ketiga komponen tersebut menjadi penggunaan memori harmoni, penyesuaian nada, dan pengacakan[1]. Penjelasan untuk langkah-langkah HSA secara umum adalah :

5.1 Inisialisasi Parameter Harmony Search Algorithm

Pada langkah pertama, optimalisasi masalah ditetapkan berdasarkan fungsi dan tujuan dan parameter algoritma inisialisasi sebagai berikut :

- HMS (*Harmony Memory Search*) adalah banyak solusi yang disimpan pada HM (*Harmony Search*). HMS hampir sama seperti banyak populasi dalam algoritma genetika
- HMCR (*Harmony Memory Considering Rate*) digunakan selama proses improvisasi untuk menentukan apakah variabel dari solusi tersebut dapat diambil semua nilai HM. HMCR memilih suatu nilai antara [0,1]
- PAR (*Pitch Adjusting Rate*) juga digunakan selama proses improvisasi untuk menentukan apakah variabel dari suatu solusi tersebut harus diganti ke suatu nilai tetangga. PAR memilih suatu nilai [0,1].

5.2 Membangun Harmony Memory (HM)

Pada langkah kedua, suatu himpunan inisial solusi dari ukuran HMS dibangkitkan untuk membangun HM. HM digambarkan sebagai suatu bentuk matriks 2 dimensi. Baris menunjukkan sebagai vektor solusi atau himpunan solusi X^i , sedangkan kolom menunjukkan variabel keputusan untuk setiap solusi. Setiap solusi X^i dapat dilihat sebagai suatu susunan urutan. Berikut ini adalah contoh matriks HSA :

$$\begin{bmatrix} X_1^1 & X_2^1 & \dots & X_N^1 \\ X_1^2 & X_2^2 & \dots & X_N^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_1^{HMS-1} & X_2^{HMS-1} & \dots & X_N^{HMS-1} \\ X_1^{HMS} & X_2^{HMS} & \dots & X_N^{HMS} \end{bmatrix}$$

Gambar 1. Matriks Harmony Memory [10]

5.3 Improvisasi Harmony Baru

Pada langkah ini suatu vektor baru $X' = (X'_1, X'_2, \dots, X'_n)$ dibangkitkan berdasarkan pada tiga aturan yaitu (i) mempertimbangkan memory, (ii) pencocokan nada, (iii) pemilihan acak. Membangkitkan suatu harmony baru disebut dengan improvisasi. Dalam mempertimbangkan memory, nilai dari pemilihan pertama X'_1 untuk vektor baru dipilih berdasarkan nilai yang tersedia pada HM dari himpunan $\{X_1^1, X_2^1, \dots, X_N^{HMS}\}$, dengan kemungkinan $HMCR \in [0,1]$. Nilai keputusan dari X_2, X_3, \dots, X_n dipilih dengan cara yang sama. Jika nilai acak yang terpilih dengan kemungkinan $1 - HMCR$, maka nilai vektor solusi dipilih dari range yang mungkin dari nilai tersebut.

$$X'_1 \begin{cases} X_i \in \{X_i^1, X_i^2, \dots, X_i^{HMS}\} & 1 - HMCR \\ X_i \in X_i & (1 - HMCR) \end{cases} \quad [10]$$

Setiap komponen berdasarkan dari pertimbangan memory diuji untuk menentukan apakah dapat dijadikan pencocokan nada. Langkah ini menggunakan Parameter PAR, dengan pemilihan sebagai berikut :

$$x'_i \begin{cases} x'_i + rand[-1,1] * bw & \text{menggunakan PAR} \\ x'_i & \text{dengan kemungkinan } (1 - PAR) \end{cases}$$

Dimana bw (*bandwidth*) adalah suatu nilai sembarang.

5.4 Meng-update Harmony Memory (HM)

Apabila nilai vektor solusi yang baru lebih baik daripada nilai vektor solusi terjelek pada HM dilihat dari sudut pandang nilai fungsi tujuan, maka vektor terjelek akan dikeluarkan dan digantikan oleh vektor solusi yang baru. Jika nilai vektor solusi yang baru lebih buruk dari nilai vektor solusi terjelek, maka tidak akan terjadi perubahan pada HM.

5.5 Mengecek Kriteria pemberhentian

Apabila kriteria pemberhentian telah tercapai, maka iterasi dihentikan. Apabila belum tercapai maka ulangi langkah 5.3 dan 5.4 hingga kriteria pemberhentian terpenuhi.

6. Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan pengujian maka selanjutnya akan dilakukan perbandingan metode HSA dan QP untuk dilihat yang mana

lebih ekonomis biaya pengeluaran bahan bakar menggunakan data IEEE dengan sistem 6 unit generator dan 20 unit generator pada simulasi MATLAB 2015 dengan spesifikasi CPU 2.30 GHz RAM 4.00 GB. Parameter untuk nilai HSA pada HMS = 100, Bandwith = 0.1, HMCR = 0.95, PAR = 0.3.

6.1 Sistem 6 Unit Generator

Karakteristik pada pengujian sistem 6 unit generator dan rugi-rugi transmisi menggunakan bentuk matriks untuk karakteristik data sistem 6 unit generator diberikan pada tabel 1 beserta matriks rugi-rugi transmisi[13],perbandingan biaya bahan bakar HSA dan QP pada tabel 2, perbandingan rugi-rugi transmisi HSA dan QP pada tabel 3. Pada pengujian diberikan pembebanan senilai 425 MW, 850 MW, 1275 MW.

Tabel.1 Karakteristik sistem 6 unit Generator

No	Pi ^{Min} (MW)	Pi ^{Max} (MW)	a _i (\$/h)	b _i (\$/h)	c _i (\$/h)
1	10	125	0,1524 7	38,539 73	756,798 86
2	10	150	0,1058 7	46,156 16	451,325 13
3	35	225	0,0280 3	40,396 55	1049,99 77
4	35	210	0,0354 6	38.305 53	1243,53 11
5	130	325	0,0211 1	36.327 82	1658,56 96
6	125	315	0,0179 9	38.270 41	1356,65 92

$$B_{ij} = \begin{bmatrix} 0,140 & 0,017 & 0,015 & 0,019 & 0,026 & 0,022 \\ 0,017 & 0,060 & 0,013 & 0,016 & 0,015 & 0,020 \\ 0,015 & 0,013 & 0,065 & 0,017 & 0,024 & 0,019 \\ 0,019 & 0,016 & 0,017 & 0,071 & 0,030 & 0,025 \\ 0,026 & 0,015 & 0,024 & 0,030 & 0,069 & 0,032 \\ 0,022 & 0,020 & 0,019 & 0,025 & 0,032 & 0,085 \end{bmatrix}$$

Tabel 2. Perbandingan biaya bahan bakar

NO	Biaya Bahan (Bakar \$/h)	
	HSA	QP
425	24057,9070	24059,4257
850	44442,2373	44450,3008
1275	69571,2067	69704,8386

Tabel 3. Perbandingan rugi-rugi transmisi

NO	Rugi-Rugi Transmisi (MW)	
	HSA	QP

425	7,1246	7,1626
850	28,3454	28,5560
1275	55,9713	57,7906

6.2 Sistem 20 Unit Generator

Karakteristik pada pengujian sistem 20 unit generator dan rugi-rugi transmisi menggunakan bentuk matriks untuk karakteristik data sistem 6 unit generator diberikan pada tabel 4 beserta matriks rugi-rugi transmisi[9],perbandingan biaya bahan bakar HSA dan QP pada tabel 5, perbandingan rugi-rugi transmisi HSA dan QP pada tabel 6. Pada pengujian diberikan pembebanan senilai 425 MW, 850 MW, 1275 MW (dikarenakan rugi-rugi transmisi terlalu panjang maka untuk matriksnya berada di halaman selanjutnya).

Tabel.4 Karakteristik sistem 20 unit Generator

No	Pi ^{Min} (MW)	Pi ^{Max} (MW)	a _i (\$/h)	b _i (\$/h)	c _i (\$/h)
1	150	600	0,00068	18,19	1000
2	50	200	0,00071	19,26	970
3	50	200	0,00650	19,80	600
4	50	200	0,00500	19,10	700
5	50	160	0,00738	18,10	420
6	20	100	0,00612	19,26	360
7	25	125	0,00790	17,14	490
8	50	150	0,00813	18,92	660
9	50	200	0,00522	18,27	765
10	30	150	0,00573	18,92	770
11	100	300	0,00480	16,69	800
12	150	500	0,00310	16,76	970
13	40	160	0,00850	17,36	900
14	20	130	0,00511	18,70	700
15	25	185	0,00398	18,70	450
16	20	80	0,07120	14,26	370
17	30	85	0,00890	19,14	480
18	30	120	0,00713	18,92	680
19	40	120	0,00622	18,47	700
20	30	100	0,00773	19,79	850

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} 0,70 & 0,43 & -0,61 & 0,36 & 0,32 & -0,66 & 0,96 & -1,60 & 0,80 & -0,10 & 3,60 & 0,64 & 0,79 & 2,10 & 1,70 & 0,80 & -3,20 & 0,70 & 0,48 & -0,70 \\ 0,43 & 8,30 & -0,97 & 0,22 & 0,75 & -0,28 & 5,04 & 1,70 & 0,54 & 7,20 & -0,28 & 0,98 & -0,46 & 1,30 & 0,80 & -0,30 & 0,52 & -1,70 & 0,80 & 0,20 \\ -4,61 & -0,97 & 9,00 & -2,00 & 0,63 & 3,00 & 1,70 & -4,30 & 3,10 & -2,00 & 0,70 & -0,77 & 0,93 & 4,60 & -0,30 & 4,20 & 0,38 & 0,70 & -2,00 & 3,60 \\ 0,36 & 0,22 & -2,00 & 5,30 & 0,47 & 2,62 & -1,96 & 2,10 & 0,67 & 1,80 & -0,45 & 0,92 & 2,40 & 7,60 & -0,20 & 0,70 & -1,00 & 0,86 & 1,60 & 0,87 \\ 0,62 & 0,75 & 0,63 & 0,47 & 8,60 & -0,80 & 0,37 & 0,72 & -0,90 & 0,69 & 1,80 & 4,30 & -2,80 & -0,70 & 2,30 & 3,60 & 0,80 & 0,20 & -3,00 & 0,50 \\ -0,66 & -0,28 & 3,00 & 2,62 & -0,80 & 1,18 & -4,90 & 0,30 & 3,00 & -3,00 & 0,40 & 0,78 & 6,40 & 2,60 & -0,20 & 2,10 & -0,40 & 2,30 & 1,60 & -2,10 \\ 0,96 & 5,04 & 1,70 & -1,96 & 0,37 & -4,90 & 8,24 & -0,90 & 5,00 & -0,60 & 8,50 & -0,83 & 7,20 & 4,80 & -0,90 & -0,10 & 1,30 & 0,76 & 1,90 & 1,30 \\ -1,60 & 1,70 & -4,30 & 2,10 & 0,72 & 0,30 & -0,80 & 1,30 & -0,96 & 0,56 & 1,60 & 0,80 & -0,40 & 0,23 & 0,75 & -0,56 & 0,80 & -0,30 & 5,30 & 0,80 \\ 0,80 & 0,54 & 3,10 & 0,67 & -0,90 & 3,00 & 5,90 & -0,96 & 0,93 & -0,39 & 6,50 & 2,30 & 2,60 & 0,59 & -0,10 & 0,23 & -0,30 & 1,50 & 0,74 & 0,70 \\ -0,10 & 7,20 & -2,00 & 1,80 & 0,69 & 3,00 & -0,60 & 0,56 & -0,30 & 0,99 & -6,60 & 3,90 & 2,30 & -0,30 & 2,80 & -0,80 & 0,38 & 1,90 & 0,47 & -0,26 \\ 3,60 & -0,28 & 0,70 & -0,45 & 1,80 & 0,40 & 8,50 & 1,60 & 6,50 & -6,60 & 10,7 & 5,30 & -0,60 & 0,70 & 1,90 & -2,60 & 0,93 & -0,60 & 3,80 & -1,50 \\ 0,96 & 5,04 & 1,70 & -1,96 & 0,37 & -4,90 & 8,24 & -0,90 & 5,00 & -0,60 & 8,50 & -0,83 & 7,20 & 4,80 & -0,90 & -0,10 & 1,30 & 0,76 & 1,90 & 1,30 \\ -1,60 & 1,70 & -4,30 & 2,10 & 0,72 & 0,30 & -0,80 & 1,30 & -0,96 & 0,56 & 1,60 & 0,80 & -0,40 & 0,23 & 0,75 & -0,56 & 0,80 & -0,30 & 5,30 & 0,80 \\ 0,80 & 0,54 & 3,10 & 0,67 & -0,90 & 3,00 & 5,90 & -0,96 & 0,93 & -0,39 & 6,50 & 2,30 & 2,60 & 0,59 & -0,10 & 0,23 & -0,30 & 1,50 & 0,74 & 0,70 \\ -0,10 & 7,20 & -2,00 & 1,80 & 0,69 & 3,00 & -0,60 & 0,56 & -0,30 & 0,99 & -6,60 & 3,90 & 2,30 & -0,30 & 2,80 & -0,80 & 0,38 & 1,90 & 0,47 & -0,26 \\ 3,60 & -0,28 & 0,70 & -0,45 & 1,80 & 0,40 & 8,50 & 1,60 & 6,50 & -6,60 & 10,7 & 5,30 & -0,60 & 0,70 & 1,90 & -2,60 & 0,93 & -0,60 & 3,80 & -1,50 \\ 0,96 & 5,04 & 1,70 & -1,96 & 0,37 & -4,90 & 8,24 & -0,90 & 5,00 & -0,60 & 8,50 & -0,83 & 7,20 & 4,80 & -0,90 & -0,10 & 1,30 & 0,76 & 1,90 & 1,30 \\ -1,60 & 1,70 & -4,30 & 2,10 & 0,72 & 0,30 & -0,80 & 1,30 & -0,96 & 0,56 & 1,60 & 0,80 & -0,40 & 0,23 & 0,75 & -0,56 & 0,80 & -0,30 & 5,30 & 0,80 \\ 0,80 & 0,54 & 3,10 & 0,67 & -0,90 & 3,00 & 5,90 & -0,96 & 0,93 & -0,39 & 6,50 & 2,30 & 2,60 & 0,59 & -0,10 & 0,23 & -0,30 & 1,50 & 0,74 & 0,70 \\ -0,10 & 7,20 & -2,00 & 1,80 & 0,69 & 3,00 & -0,60 & 0,56 & -0,30 & 0,99 & -6,60 & 3,90 & 2,30 & -0,30 & 2,80 & -0,80 & 0,38 & 1,90 & 0,47 & -0,26 \\ 3,60 & -0,28 & 0,70 & -0,45 & 1,80 & 0,40 & 8,50 & 1,60 & 6,50 & -6,60 & 10,7 & 5,30 & -0,60 & 0,70 & 1,90 & -2,60 & 0,93 & -0,60 & 3,80 & -1,50 \\ 0,96 & 5,04 & 1,70 & -1,96 & 0,37 & -4,90 & 8,24 & -0,90 & 5,00 & -0,60 & 8,50 & -0,83 & 7,20 & 4,80 & -0,90 & -0,10 & 1,30 & 0,76 & 1,90 & 1,30 \\ -1,60 & 1,70 & -4,30 & 2,10 & 0,72 & 0,30 & -0,80 & 1,30 & -0,96 & 0,56 & 1,60 & 0,80 & -0,40 & 0,23 & 0,75 & -0,56 & 0,80 & -0,30 & 5,30 & 0,80 \\ 0,80 & 0,54 & 3,10 & 0,67 & -0,90 & 3,00 & 5,90 & -0,96 & 0,93 & -0,39 & 6,50 & 2,30 & 2,60 & 0,59 & -0,10 & 0,23 & -0,30 & 1,50 & 0,74 & 0,70 \\ -0,10 & 7,20 & -2,00 & 1,80 & 0,69 & 3,00 & -0,60 & 0,56 & -0,30 & 0,99 & -6,60 & 3,90 & 2,30 & -0,30 & 2,80 & -0,80 & 0,38 & 1,90 & 0,47 & -0,26 \\ 3,60 & -0,28 & 0,70 & -0,45 & 1,80 & 0,40 & 8,50 & 1,60 & 6,50 & -6,60 & 10,7 & 5,30 & -0,60 & 0,70 & 1,90 & -2,60 & 0,93 & -0,60 & 3,80 & -1,50 \\ 0,96 & 5,04 & 1,70 & -1,96 & 0,37 & -4,90 & 8,24 & -0,90 & 5,00 & -0,60 & 8,50 & -0,83 & 7,20 & 4,80 & -0,90 & -0,10 & 1,30 & 0,76 & 1,90 & 1,30 \\ -1,60 & 1,70 & -4,30 & 2,10 & 0,72 & 0,30 & -0,80 & 1,30 & -0,96 & 0,56 & 1,60 & 0,80 & -0,40 & 0,23 & 0,75 & -0,56 & 0,80 & -0,30 & 5,30 & 0,80 \\ 0,80 & 0,54 & 3,10 & 0,67 & -0,90 & 3,00 & 5,90 & -0,96 & 0,93 & -0,39 & 6,50 & 2,30 & 2,60 & 0,59 & -0,10 & 0,23 & -0,30 & 1,50 & 0,74 & 0,70 \\ -0,10 & 7,20 & -2,00 & 1,80 & 0,69 & 3,00 & -0,60 & 0,56 & -0,30 & 0,99 & -6,60 & 3,90 & 2,30 & -0,30 & 2,80 & -0,80 & 0,38 & 1,90 & 0,47 & -0,26 \\ 3,60 & -0,28 & 0,70 & -0,45 & 1,80 & 0,40 & 8,50 & 1,60 & 6,50 & -6,60 & 10,7 & 5,30 & -0,60 & 0,70 & 1,90 & -2,60 & 0,93 & -0,60 & 3,80 & -1,50 \\ 0,96 & 5,04 & 1,70 & -1,96 & 0,37 & -4,90 & 8,24 & -0,90 & 5,00 & -0,60 & 8,50 & -0,83 & 7,20 & 4,80 & -0,90 & -0,10 & 1,30 & 0,76 & 1,90 & 1,30 \\ -1,60 & 1,70 & -4,30 & 2,10 & 0,72 & 0,30 & -0,80 & 1,30 & -0,96 & 0,56 & 1,60 & 0,80 & -0,40 & 0,23 & 0,75 & -0,56 & 0,80 & -0,30 & 5,30 & 0,80 \\ 0,80 & 0,54 & 3,10 & 0,67 & -0,90 & 3,00 & 5,90 & -0,96 & 0,93 & -0,39 & 6,50 & 2,30 & 2,60 & 0,59 & -0,10 & 0,23 & -0,30 & 1,50 & 0,74 & 0,70 \\ -0,10 & 7,20 & -2,00 & 1,80 & 0,69 & 3,00 & -0,60 & 0,56 & -0,30 & 0,99 & -6,60 & 3,90 & 2,30 & -0,30 & 2,80 & -0,80 & 0,38 & 1,90 & 0,47 & -0,26 \\ 3,60 & -0,28 & 0,70 & -0,45 & 1,80 & 0,40 & 8,50 & 1,60 & 6,50 & -6,60 & 10,7 & 5,30 & -0,60 & 0,70 & 1,90 & -2,60 & 0,93 & -0,60 & 3,80 & -1,50 \\ 0,96 & 5,04 & 1,70 & -1,96 & 0,37 & -4,90 & 8,24 & -0,90 & 5,00 & -0,60 & 8,50 & -0,83 & 7,20 & 4,80 & -0,90 & -0,10 & 1,30 & 0,76 & 1,90 & 1,30 \\ -1,60 & 1,70 & -4,30 & 2,10 & 0,72 & 0,30 & -0,80 & 1,30 & -0,96 & 0,56 & 1,60 & 0,80 & -0,40 & 0,23 & 0,75 & -0,56 & 0,80 & -0,30 & 5,30 & 0,80 \\ 0,80 & 0,54 & 3,10 & 0,67 & -0,90 & 3,00 & 5,90 & -0,96 & 0,93 & -0,39 & 6,50 & 2,30 & 2,60 & 0,59 & -0,10 & 0,23 & -0,30 & 1,50 & 0,74 & 0,70 \\ -0,10 & 7,20 & -2,00 & 1,80 & 0,69 & 3,00 & -0,60 & 0,56 & -0,30 & 0,99 & -6,60 & 3,90 & 2,30 & -0,30 & 2,80 & -0,80 & 0,38 & 1,90 & 0,47 & -0,26 \\ 3,60 & -0,28 & 0,70 & -0,45 & 1,80 & 0,40 & 8,50 & 1,60 & 6,50 & -6,60 & 10,7 & 5,30 & -0,60 & 0,70 & 1,90 & -2,60 & 0,93 & -0,60 & 3,80 & -1,50 \\ 0,96 & 5,04 & 1,70 & -1,96 & 0,37 & -4,90 & 8,24 & -0,90 & 5,00 & -0,60 & 8,50 & -0,83 & 7,20 & 4,80 & -0,90 & -0,10 & 1,30 & 0,76 & 1,90 & 1,30 \\ -1,60 & 1,70 & -4,30 & 2,10 & 0,72 & 0,30 & -0,80 & 1,30 & -0,96 & 0,56 & 1,60 & 0,80 & -0,40 & 0,23 & 0,75 & -0,56 & 0,80 & -0,30 & 5,30 & 0,80 \\ 0,80 & 0,54 & 3,10 & 0,67 & -0,90 & 3,00 & 5,90 & -0,96 & 0,93 & -0,39 & 6,50 & 2,30 & 2,60 & 0,59 & -0,10 & 0,23 & -0,30 & 1,50 & 0,74 & 0,70 \\ -0,10 & 7,20 & -2,00 & 1,80 & 0,69 & 3,00 & -0,60 & 0,56 & -0,30 & 0,99 & -6,60 & 3,90 & 2,30 & -0,30 & 2,80 & -0,80 & 0,38 & 1,90 & 0,47 & -0,26 \\ 3,60 & -0,28 & 0,70 & -0,45 & 1,80 & 0,40 & 8,50 & 1,60 & 6,50 & -6,60 & 10,7 & 5,30 & -0,60 & 0,70 & 1,90 & -2,60 & 0,93 & -0,60 & 3,80 & -1,50 \\ 0,96 & 5,04 & 1,70 & -1,96 & 0,37 & -4,90 & 8,24 & -0,90 & 5,00 & -0,60 & 8,50 & -0,83 & 7,20 & 4,80 & -0,90 & -0,10 & 1,30 & 0,76 & 1,90 & 1,30 \\ -1,60 & 1,70 & -4,30 & 2,10 & 0,72 & 0,30 & -0,80 & 1,30 & -0,96 & 0,56 & 1,60 & 0,80 & -0,40 & 0,23 & 0,75 & -0,56 & 0,80 & -0,30 & 5,30 & 0,80 \\ 0,80 & 0,54 & 3,10 & 0,67 & -0,90 & 3,00 & 5,90 & -0,96 & 0,93 & -0,39 & 6,50 & 2,30 & 2,60 & 0,59 & -0,10 & 0,23 & -0,30 & 1,50 & 0,74 & 0,70 \\ -0,10 & 7,20 & -2,00 & 1,80 & 0,69 & 3,00 & -0,60 & 0,56 & -0,30 & 0,99 & -6,60 & 3,90 & 2,30 & -0,30 & 2,80 & -0,80 & 0,38 & 1,90 & 0,47 & -0,26 \\ 3,60 & -0,28 & 0,70 & -0,45 & 1,80 & 0,40 & 8,50 & 1,60 & 6,50 & -6,60 & 10,7 & 5,30 & -0,60 & 0,70 & 1,90 & -2,60 & 0,93 & -0,60 & 3,80 & -1,50 \\ 0,96 & 5,04 & 1,70 & -1,96 & 0,37 & -4,90 & 8,24 & -0,90 & 5,00 & -0,60 & 8,50 & -0,83 & 7,20 & 4,80 & -0,90 & -0,10 & 1,30 & 0,76 & 1,90 & 1,30 \\ -1,60 & 1,70 & -4,30 & 2,10 & 0,72 & 0,30 & -0,80 & 1,30 & -0,96 & 0,56 & 1,60 & 0,80 & -0,40 & 0,23 & 0,75 & -0,56 & 0,80 & -0,30 & 5,30 & 0,80 \\ 0,80 & 0,54 & 3,10 & 0,67 & -0,90 & 3,00 & 5,90 & -0,96 & 0,93 & -0,39 & 6,50 & 2,30 & 2,60 & 0,59 & -0,10 & 0,23 & -0,30 & 1,50 & 0,74 & 0,70 \\ -0,10 & 7,20 & -2,00 & 1,80 & 0,69 & 3,00 & -0,60 & 0,56 & -0,30 & 0,99 & -6,60 & 3,90 & 2,30 & -0,30 & 2,80 & -0,80 & 0,38 & 1,90 & 0,47 & -0,26 \\ 3,60 & -0,28 & 0,70 & -0,45 & 1,80 & 0,40 & 8,50 & 1,60 & 6,50 & -6,60 & 10,7 & 5,30 & -0,60 & 0,7$$

Tabel 5. Perbandingan biaya bahan bakar

NO	Biaya Bahan (Bakar \$/h)	
	HSA	QP
1325	38539,9540	38573,5921
2650	65611,8971	66181,7086
3000	73068,0161	73069,9973

Tabel 6. Perbandingan rugi-rugi transmisi

NO	Rugi-Rugi Transmisi (MW)	
	HSA	QP
1325	32,2725	33,1003
2650	101,3133	112,9580
3000	123,9276	124,0767

6.3 Analisa

Pada simulasi 6 unit generator dengan menggunakan beban 425 MW, 850 MW, dan 1275 MW didapatkan hasil bahwa HSA mampu memberikan biaya bahan bakar yang lebih optimal dibandingkan dengan QP. Pada rugi-rugi transmisi HSA juga mampu memberikan keluaran daya yang lebih optimal daripada QP

Pada simulasi 20 unit generator juga dengan menggunakan beban 1325 MW, 2650 MW, dan 3000 MW juga memberikan biaya bahan bakar yang lebih ekonomis dibandingkan dengan QP. Pada rugi-rugi transmisi HSA mampu memberikan keluaran daya yang lebih optimal dibandingkan QP. HSA memiliki kelebihan yaitu bila sistem dalam keadaan kompleks maka simulasi akan semakin unggul dengan mempengaruhi parameter yang ada.

7. Kesimpulan

Setelah melakukan uji tes dengan menggunakan program aplikasi Matlab menggunakan sistem 6 unit generator dan 20 unit generator sehingga menguji keefektifan metode *Harmony Search Algorithm* dengan menggunakan rugi-rugi transmisi dan tanpa rugi-rugi transmisi untuk membandingkan dengan metode *Quadratic Programming* sehingga dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode *Harmony Search Algorithm* telah berhasil mengimplementasikan kedalam permasalahan *Economic Dispatch* unit-unit pembangkit *thermal*;
2. Metode *Harmony Search Algorithm* selalu merupakan solusi terbaik, karena pencarian solusi dilakukan secara random, sehingga solusi yang diperoleh sangat beragam. Pada sistem yang besar dan kompleks HSA dapat

digunakan untuk mencari biaya bahan bakar yang paling optimal;

3. HSA yang memiliki biaya bahan bakar yang ekonomis;
4. Untuk metode dengan menggunakan rugi-rugi transmisi didapat biaya bahan bakar yang lebih ekonomis dibandingkan dengan metode *Quadratic Programming* untuk sistem 6 unit generator dan 20 unit generator lebih rendah. Pada 6 unit generator beban 425 MW selisih biaya bahan bakar didapatkan sebesar $\pm 0,006312\%$, beban 850 MW selisih biaya bahan bakar didapatkan sebesar $\pm 0,0181\%$, beban 1275 MW selisih biaya bahan bakar didapatkan sebesar $\pm 0,1917\%$. Pada 20 unit generator beban 1325 MW selisih biaya bahan bakar didapatkan sebesar $\pm 0,0872\%$, beban 2650 MW selisih biaya bahan bakar didapatkan sebesar $\pm 0,8684\%$, beban 3000 MW selisih biaya bahan bakar didapatkan sebesar $\pm 0,0027\%$;

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A.J Wood and B.F. Wollenberg, *Power Generation Operation and Control*, John Wiley and Sons, New York, 1984.
- [2]. Geem ZW, Kim JH and Loganathan GV (2001) *A new heuristic optimization algorithm: Harmony Search*. Simulation, 76:60-68
- [3]. Efrita Arfah Zuliari. 2013, "*Harmony Search Algorithm* untuk *Optimal Power Flow*" jurnal IPTEK Vol 17 no.1 MEI 2013 Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- [4]. Sudjir, S.; shivani, M., and Nitish, C. 2015 *Economic Load Dispatch Using Grey Wolf Optimization*. *International journal of EGINEERING RESEARCH AND APPLICATIONS* ISSN: 2248-9622. Vol 5 Issue 4, (part-6) april, pp.128-132.
- [5]. Rizky Imansyah Putra, Purwanto " Penerapan Algoritma *Harmony Search* pada *Resource-Constrained Project Scheduling Problem* (RCPSP) Jurnal jurusan Matematika Universitas Negeri Malang.
- [6]. Zainal Abidin, Imam Robandi, Rony Seto Wibowo," *Dynamic Economic Dispatch*

- Menggunakan Quadratic Programming*”, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Insitut Teknologi Sepuluh Nopember(ITS). Jurnal teknik ITS Vol.1, no 1(Sept.2012) ISSN: 2301-9271
- [7]. Djiteng, Marsudi, “Pembangkitan Energi Listrik”, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [8]. X.-S.Yang, “*Harmony Search as a Metaheuristic Algorithm*”, in; *Music-Inspired Harmony Search Algorithm: Theory and Application Computational Intelligence*, Springer Berlin, vol, 191, pp. 1-14 (2009).
- [9]. Leandro Dos Santos Coelho, Viviana Cocco Mariani, “*An Improved Harmony Search Algorithm for Power Economic Dispatch*”, Pontifical Catholic University of Parana, Brazil, 2009.
- [10]. Joong Hoon Kim, “*Harmony Search Algorithm : A unique music-inspired algorithm*”, School of Civil, Enviromental, and Architectural Engineering, Korea University, Procedia Engineering 154 (2016) 1401-1405
- [11]. Alireza Azkarzedah and Eshmat Rashedi(2017), “*Harmony Search Algorithm : Basic Concepts and Engineering Applications*,” Kerman Graduate University of Technology, Iran, DOI : 10.4018/978-1-5225-2322-2.ch001.
- [12]. F.Z.Benayed, L.Abdelhakem-Koridak, Mostefa Rahli, “*Harmony Search Algorithm Optimization for the Combined Heat and Power Economic Dispatch*”, Faculty of Electrical and Mechanical Engineering, USTO BP 1505, Oran El M’naouer. Oran. Algeria, 2015.
- [13]. El-Fergany, Atta A. *Solution of Economic Load Dispatch Problem with Smooth and Non-Smooth Fuel Cost Function Including Line Loses using Genetic Algorithm. International Journal of Computer and Electrical Engineering. 3(5): 706-710*
- [14]. Hardiansyah. *Analisa Sistem Tenaga*. Untan Press. Pontianak. 2012.
- [15]. Pramudia Danu, Hardiansyah, Juanidi.2018,” *Penyelesaian Economic Dispatch Pada unit Pembangkit Thermal Dengan Menggunakan Artificial Bee Colony(ABC) Algorithm*,” Universitas Tanjungpura Kalimantan Barat.
- [16]. Hardiansyah, Junaidi, Yohanes SM,” *Application of Soft Computing Methods for Economic Load Dispatch Problems*”, *International Journal of Computer Applications*. November 2012.
- [17]. RM Saloman Danaraj,” *Solution To Economic Dispatch by Equal Incremental Cost Criterion*”. EEE Department Aurora Technological Reserarch Insitute.
- [18]. Danu Pramudia, Hardiansyah, Junaidi, “*Penyelesaian Economic Dispatch Pada Unit-Unit Pembangkit Thermal Dengan menggunakan Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm*”. Universitas Tanjungpura. Pontianak. 2018.
- [19]. Adrianti. *Penjadwalan Ekonomis Pembangkit Thermal dengan Memperhitungkan Rugi-Rugi Saluran Transmisi Menggunakan Metode Algoritma Genetika. TeknikA. 2010. 1(33): 41-47.*

Biografi



Muhammad Wirawan S, lahir di Pontianak pada tanggal 16 Oktober 1996. Menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2015. Memperoleh gelar Sarjana (S1) Teknik Elektro pada tahun 2021 dengan konsentrasi Teknik Tegangan Tinggi.

Pembimbing I,

Dr. Ir. H. M. Iqbal. Arsyad, MT., IPM.

NIP 196609071992031002

Pembimbing II,

Ir. Rudy. Gianto, MT., Ph.D.

NIP 196703271992031004