

OPTIMISASI ECONOMIC DISPATCH MENGGUNAKAN ANT COLONY OPTIMIZATION PADA SISTEM IEEE 26 BUS

Rusilawati ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Pengajar Teknik Elektro, Akademi Teknik Pembangunan Nasional, Banjarbaru

Ringkasan

Economic dispatch akan diaplikasikan pada sistem IEEE 26 Bus dengan menggunakan metoda Ant Colony Optimization. Ant Colony Optimization merupakan salah satu teknik komputasi yang menyelesaikan suatu permasalahan optimisasi berdasarkan perilaku sekelompok semut untuk mencari jalur terpendek dari sarang ke suatu sumber makanan. Dari hasil pengujian terbukti bahwa Ant Colony Optimization mampu menghasilkan biaya pembangkitan yang lebih optimal jika dibandingkan dengan metoda Lagrange Multiplier. Ant Colony Optimization mampu meminimalkan biaya pembangkitan sebesar 0,796 \$ / jam dan meminimalkan rugi-rugi transmisi sebesar 0,043 MW

Kata Kunci : *Economic Dispatch, Optimal Power Flow, Ant Colony Optimization*

1. PENDAHULUAN

Dalam suatu sistem tenaga listrik, unit-unit pembangkit tidak berada dalam jarak yang sama dari pusat beban dan biaya pembangkitan tiap-tiap pembangkitpun berbeda. Pada kondisi operasi normal sekalipun, kapasitas pembangkitan harus lebih besar dari jumlah beban dan rugi-rugi daya pada sistem. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu pengaturan terhadap pembangkitan. Analisis aliran daya optimal adalah suatu metoda untuk meminimalkan biaya pembangkitan atau rugi-rugi transmisi dengan mengatur daya aktif dan daya reaktif pembangkitan tiap pembangkit sistem tenaga yang terinterkoneksi dengan memperhatikan batas-batas tertentu.

Analisis aliran daya optimal untuk meminimalkan biaya pembangkitan biasa dikenal dengan istilah "Economic Dispatch". *Economic dispatch* adalah pembagian pembebanan pada unit-unit pembangkit yang ada dalam sistem secara optimal ekonomis, pada harga beban sistem tertentu. Dengan penerapan *economic dispatch* maka akan didapatkan biaya pembangkitan yang minimum terhadap produksi daya listrik yang akan dibangkitkan dari unit-unit pembangkit pada suatu sistem kelistrikan pembangkit.

Ant Colony Optimization merupakan salah satu teknik komputasi yang menyelesaikan suatu permasalahan optimisasi berdasarkan perilaku sekelompok semut untuk mencari jalur terpendek dari sarang ke suatu sumber makanan. *Ant Colony Optimization* akan digunakan pada permasalahan optimisasi kombinasi generator, yaitu untuk mendapatkan suatu solusi optimal yang mampu menjamin pengoperasian multi generator paling murah.

Tujuannya adalah untuk membandingkan penggunaan metoda *Ant Colony Optimization* dan metoda Lagrange Multiplier pada masalah *economic dispatch* serta mendapatkan biaya pembangkitan yang optimal pada kondisi beban tertentu.

2. TEORI PENUNJANG

Klasifikasi Bus

Klasifikasi bus dapat dibedakan menjadi tiga yaitu :

1. *Voltage – controlled (PV) bus* : disebut juga *generator bus*. Pada bus ini, daya aktif dan magnitude tegangan ditetapkan.
2. *Load (PQ) bus* : daya aktif dan reaktif ditetapkan, beban normal diasumsikan mempunyai daya konstan.
3. *Slack (Swing) bus* : *Magnitude* tegangan dan sudut phase ditetapkan. Karena *losses* daya pada sistem tidak dapat diketahui sebelumnya, setidaknya 1 bus harus mempunyai P dan Q yang dapat diubah – ubah. Dengan demikian *slack bus* adalah satu-satunya bus dengan tegangan diketahui.

Metoda Newton – Raphson

Metoda Newton Raphson adalah suatu metoda yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan dengan dua variabel atau lebih. Dengan menggunakan metoda Newton Raphson ini dapat dihitung besarnya arus pada transmisi dan besarnya daya yang keluar masuk bus [3]

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle \delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (1)$$

Bagian riil dan imajiner dipisahkan sehingga persamaannya menjadi :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (4)$$

Untuk elemen J_1

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (6)$$

Untuk elemen J_2 :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (7)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (8)$$

Untuk elemen J_3 :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (9)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (10)$$

Untuk elemen J_4 :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (11)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (12)$$

$\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ adalah selisih antara nilai yang dimasukkan dengan nilai yang dihitung yang disebut sebagai *power residual*:

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (13)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (14)$$

Estimasi tegangan bus yang baru adalah:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (15)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (16)$$

Proses iterasi akan berhenti jika persamaan berikut sudah terpenuhi:

$$|\Delta P_i^{(k)}| \leq \epsilon \quad (17)$$

$$|\Delta Q_i^{(k)}| \leq \epsilon \quad (18)$$

Economic Dispatch

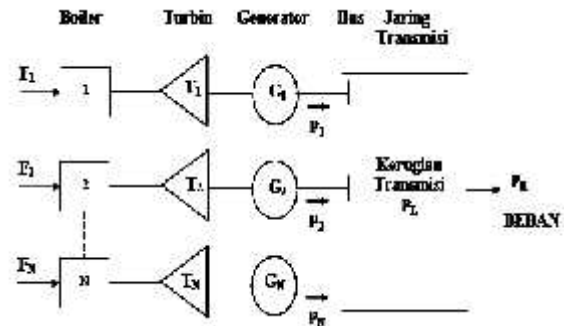
Yang dimaksud dengan *economic dispatch* adalah pembagian pembebanan pada pembangkit-pembangkit yang ada dalam sistem secara optimal ekonomis, pada harga beban sis-

tem tertentu. Besar beban pada suatu sistem tenaga selalu berubah setiap periode waktu tertentu, oleh karena itu untuk mensuplai beban secara ekonomis maka perhitungan *economic dispatch* dilakukan pada setiap besar beban tersebut. [4]

Ada beberapa metoda untuk menyelesaikan masalah *economic dispatch*, antara lain:

- a. Metoda Lagrange Multiplier ()
- b. Metoda Iterasi lamda
- c. Base point dan faktor partisipasi

Metoda Lagrange Multiplier Dengan Kerugian Transmisi Diperhitungkan



Gambar 1. Sistem N-buah pembangkit dengan kerugian transmisi

Dari bagan sistem di atas diperoleh:

Persamaan obyektif:

$$F_{total} = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n \quad (19)$$

$$= \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \quad (20)$$

Constraint:

$$\phi = 0 = P_R + P_L - \sum_{i=1}^N P_i \quad (21)$$

Persamaan Lagrange:

$$L = F_T + \lambda \phi \quad (22)$$

Syarat Optimum:

$$\frac{\delta L}{\delta P_i} = \frac{\delta F_i}{\delta P_i} + \lambda \left(\frac{\delta P_R}{\delta P_i} + \frac{\delta P_L}{\delta P_i} - \frac{\delta P_i}{\delta P_i} \right) = 0 \quad (23)$$

$$= \frac{\delta F_i}{\delta P_i} + \lambda \left(\frac{\delta P_L}{\delta P_i} - 1 \right) = 0$$

$$= \frac{\delta F_i}{\delta P_i} - \lambda \left(1 - \frac{\delta P_L}{\delta P_i} \right) = 0$$

$$\frac{\delta F_i}{\delta P_i} = \lambda \left(1 - \frac{\delta P_L}{\delta P_i} \right) \quad (24)$$

Keterangan:

- P_R tidak tergantung pada perubahan P_i ,

maka $\frac{\delta P_R}{\delta P_i} = 0$

- Perubahan P_L tergantung harga arus dan impedansi jaringan transmisi, maka

$$\frac{\delta P_L}{\delta P_i} \neq \frac{dP_L}{dP_i}$$

Ant Colony Optimization

Algoritma *Ant Colony Optimization* diadopsi dari perilaku koloni semut yang dikenal sebagai sistem semut (Dorigo, 1996). Secara alamiah koloni semut mampu menemukan rute terpendek dalam perjalanan dari sarang ke tempat-tempat sumber makanan.

Koloni semut dapat menemukan rute terpendek antara sarang dan sumber makanan berdasarkan jejak kaki pada lintasan yang telah dilalui. Semakin banyak semut yang melalui suatu lintasan, maka semakin jelas bekas jejak kakinya. Hal ini menyebabkan lintasan yang dilalui semut dalam jumlah sedikit semakin lama semakin berkurang kepadatan semut yang melewatinya, bahkan akan tidak dilewati sama sekali. Sebaliknya lintasan yang dilalui semut dalam jumlah banyak semakin lama akan semakin bertambah kepadatan semut yang melewatinya, bahkan semua semut akan melalui lintasan tersebut.

Ada beberapa algoritma *Ant Colony Optimization* yang telah berhasil menyelesaikan masalah optimisasi antara lain *Original Ant System* (AS), *Max-Min Ant System* (MMAS), dan *Ant Colony System* (ACS). Perbedaan ketiga algoritma *Ant Colony Optimization* ini terletak pada cara memperbaharui (*updating pheromone*). [5]

3. PEMODELAN SISTEM

Pemodelan Sistem IEEE 26 Bus

Single line diagram (diagram satu garis) sistem IEEE 26 Bus ditunjukkan pada gambar 2.

Meminimalkan Generation Cost dengan Metoda Lagrange Multiplier

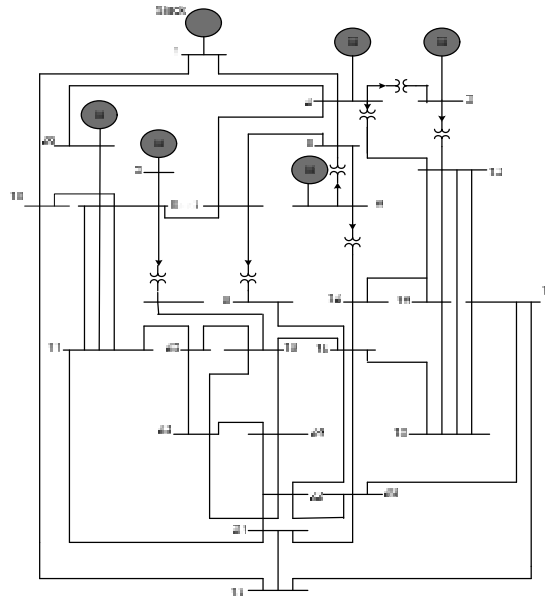
Loss Coefficients dan Biaya Pembangkitan

Efek rugi-rugi pada jaringan dapat diketahui dengan cara menyatakan total rugi-rugi jaringan sebagai suatu fungsi kuadrat dari keluaran daya pembangkit-pembangkit dalam suatu sistem. Bentuk persamaan kuadrat sederhananya adalah :

$$P_L = \sum_{i=1}^{N_G} \sum_{j=1}^{N_G} P_i B_{ij} P_j \quad (25)$$

Rumusan yang lebih umum terdiri dari persamaan linier dan persamaan konstan, dikenal sebagai Rumusan Losses Kron.

$$P_L = \sum_{i=1}^{N_G} \sum_{j=1}^{N_G} P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^{N_G} B_{0i} P_i + B_{00} \quad (26)$$



Gambar 2. *Single Line Diagram* sistem IEEE 26 bus

Koefisien B_{ij} adalah koefisien losses atau koefisien B. Koefisien B ini dianggap konstan. Maka, permasalahan pembangkitan daya yang optimal dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$C_t = \sum_{i=1}^{N_G} C_i = \sum_{i=1}^{N_G} i + i P_i + i P_i^2 \quad (27)$$

Agar nilai pembangkitan sama dengan beban ditambah dengan losses, maka:

$$\sum_{i=1}^{N_G} P_i = P_D + P_L \quad (28)$$

Untuk *inequality constraint*, dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_i(\min) \leq P_i \leq P_i(\max) \quad i = 1, \dots, N_G \quad (29)$$

Dengan $P_i(\min)$ dan $P_i(\max)$ adalah batas minimum dan maksimum pembangkit i . [3]

Meminimalkan Generation Cost dengan Ant Colony Optimization

Parameter Ant Colony Optimization

Beberapa parameter yang digunakan pada metoda *Ant Colony Optimization* adalah sebagai berikut:

- Jumlah semut = 10
- Iterasi maksimum = 500
- Ketahanan *pheromone* (α) = 0.9

Inisialisasi Pheromone (Matriks Tau)

Matriks tau ini memiliki ukuran $n \times m$, dengan n adalah banyaknya bus pada sistem, sedangkan m adalah banyaknya nilai pembangkitan unit-unit pembangkit dengan skala 0 sampai dengan 1 yang memiliki interval 0,01.

Nilai dari matriks ini akan di-update setiap dilakukan *tour* oleh koloni semut (*ant tours*).

Penentuan Jarak Antar Kota

Kota yang dimaksud di sini adalah besarnya nilai pembangkitan dari masing-masing pembangkit. Sebelum dilakukan *tour*, jarak antara nilai dari pembangkitan pembangkit yang satu dengan pembangkit yang lainnya dihitung terlebih dahulu (diinisialisasi).

Setelah dilakukan inisialisasi, maka semut diletakkan di kota pertama tertentu secara acak. Kemudian semut akan melanjutkan perjalanannya dari satu kota ke kota yang lainnya secara acak sampai ke tujuan akhir, yaitu kota terakhir. Setelah *tour* selesai, lokasi kota-kota yang telah dilalui oleh semut akan digunakan untuk menghitung solusi yang dihasilkan dari *tour* tersebut. [2]

Ant Tours

Semut memilih suatu jalur yang akan dilalui mulai dari titik *r* menuju ke titik *s* dalam suatu perjalanan dengan probabilitas :

$$p(r,s) = \frac{\gamma(r,s)}{\sum_t \gamma(r,t)} \quad s, t \in N_r^k \quad (30)$$

dimana matrix $\gamma(r,s)$ merepresentasikan jumlah intensitas pheromone antara titik *r* dan *s*.

Analisis Aliran Daya

Metoda yang digunakan adalah metoda Newton Raphson. Daya yang dibangkitkan *generator* dan *slack bus* didapatkan dari hasil *tour* yang dilakukan oleh koloni semut. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan daya terbangkitkan dari masing-masing pembangkit adalah sebagai berikut.

$$P_i = (P_{i_{min}} + (P_{i_{max}} - P_{i_{min}}) \cdot P_{gn_i}) \quad (31)$$

Dengan:

- P_i = daya yang dibangkitkan generator ke-*i*
- $P_{i_{min}}$ = batas minimum daya generator ke-*i*
- $P_{i_{max}}$ = batas maksimum daya generator ke-*i*
- P_{gn_i} = nilai dari *ant tours* untuk generator ke-*i*

Menghitung Objective Fuction

Pada *economic dispatch* ini, yang dijadikan sebagai fungsi objektif (*objective function*) adalah biaya pembangkitan total. Fungsi dari biaya pembangkitan total dari pembangkit-pembangkit yang terhubung pada sistem adalah sebagai berikut.

$$C_t = \sum_{i=1}^{n_g} \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (32)$$

Batas-batas atau *constraints* dari pembangkit diberikan oleh dua persamaan berikut, *equality constraint* diberikan oleh persamaan (33), dan *inequality constraint* diberikan oleh persamaan (34).

$$\sum_{i=1}^{n_g} P_i = P_D \quad (33)$$

$$P_{i_{min}} \leq P_i \leq P_{i_{max}} \quad (34)$$

Update Local Pheromone

Jejak *pheromone* (*r,s*) untuk perjalanan terbaik yang telah dilakukan semut (semut yang menghasilkan biaya pembangkitan terkecil) akan diperbaharui dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\gamma(r,s) = \alpha \cdot \gamma(r,s) + \frac{Q}{f_{best}} \quad r, s \in J_{best}^k \quad (35)$$

dengan *Q* merupakan sebuah konstanta positif yang sangat besar nilainya. [1]

Update Global Pheromone

Untuk menghindari terjadinya stagnan (suatu situasi ketika semut akan mengikuti jalur yang sama yang akan menghasilkan solusi yang sama), maka kekuatan jejak *pheromone* dibatasi pada interval berikut :

$$\gamma(r,s) = \begin{cases} \tau_{min} & \text{if } \gamma(r,s) \leq \tau_{min} \\ \tau_{max} & \text{if } \gamma(r,s) \geq \tau_{max} \end{cases} \quad (36)$$

Batas atas dan batas bawahnya adalah sebagai berikut:

$$\tau_{max} = \frac{1}{\alpha \cdot f_{best}} \quad (37)$$

$$\tau_{min} = \frac{\tau_{max}}{M^2} \quad (38)$$

M adalah jumlah semut yang melakukan perjalanan. [1]

4. SIMULASI DAN ANALISIS

Pengujian

Pengujian dilakukan menggunakan metoda Lagrange Multiplier dan *Ant Colony Optimization* pada sistem IEEE 26 bus.

Hasil simulasi menggunakan metoda Lagrange Multiplier ditunjukkan pada tabel 1 dan hasil simulasi menggunakan *Ant Colony Optimization* ditunjukkan pada tabel 2.

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa dengan pembebanan yang sama sebesar 1263

MW, metoda *Ant Colony Optimization* mampu menghasilkan total biaya pembangkitan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan metoda Lagrange Multiplier.

Tabel 1. Hasil simulasi sistem IEEE 26 bus menggunakan metoda Lagrange Multiplier

No	Pembangkit	Metode Lagrange Multiplier		
		Daya Aktif (MW)	Biaya (\$/h)	Losses (MW)
1	P1	447,611	15.447,720	12,815
2	P2	173,087		
3	P3	263,363		
4	P4	138,716		
5	P5	166,099		
6	P26	86,939		
Total		1.275,815	15.447,720	12,815

Tabel 2. Hasil simulasi sistem IEEE 26 bus menggunakan Ant Colony Optimization

No	Pembangkit	Ant Colony Optimization		
		Daya Aktif (MW)	Biaya (\$/h)	Losses (MW)
1	P1	446,472	4.760,666	12,772
2	P2	170,000	2.174,550	
3	P3	260,400	3.043,673	
4	P4	138,000	1.889,396	
5	P5	174,500	2.295,852	
6	P26	86,400	1.282,787	
Total		1.275,772	15.446,924	12,772

5. PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil pengujian terhadap sistem IEEE 26 bus di atas dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa metoda *Ant Colony Optimization* mampu menghasilkan biaya pembangkitan yang lebih optimal jika dibandingkan dengan penggunaan metoda Lagrange Multiplier. Maka metoda ini layak diaplikasikan pada sistem yang lebih besar.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. J. G. Vlachogiannis, N. D. Hatziaargyriou, dan K. Y. Lee, (2005), "Ant Colony System-Based Algorithm for Constrained Load Flow Problem", *IEEE Transactions On Power Systems*, Vol. 20, No. 3, August 2005.
2. Linda S. dan Tarek B. (2007), "Economic Power Dispatch of Power System with Pollution Control using Multi Objective Ant Colony Optimization", *International Journal of Computational Intelligence Research*, Vol. 3, No. 2, 2007.
3. H. Saadat, (2004) *Power System Analysis*, McGraw Hill, Singapore, 2004.
4. Allen J.W. dan Bruce F.W. (1996), *Power Generation, Operation, and Control*, John Wiley & Sons Inc., Canada, 1996.
5. Eddon M. (2008), *Rekonfigurasi Jaring Distribusi Untuk Meminimalkan Rugi Daya dan Jatuh Tegangan Menggunakan Metode Fuzzy-Ant Colony Optimization*, Tesis Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2008.