

Economic and Emission Dispatch pada Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL 2015 – 2024 Menggunakan Modified *Artificial Bee Colony Algorithm*

Dio Adya Pratama, Ontoseno Penangsang, Ni Ketut Aryani
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: dioadyapratama@gmail.com

Abstrak—Biaya bahan bakar sebuah pembangkit termal merupakan fungsi beban pembangkit tersebut. Pada unit pembangkit termal, penambahan beban akan mendorong pertambahan jumlah bahan bakar per satuan waktu dan pada akhirnya akan meningkatkan pertambahan biaya per satuan waktu. Selain itu, beban listrik merupakan fungsi biaya pembangkitan, maka perlu dicari solusi untuk mengoperasikan unit-unit pembangkit secara optimum dengan menekan biaya bahan bakar seminimum mungkin namun tetap memperhatikan *constraint* operasional. Selain itu, tiap pembangkit thermal yang beroperasi menghasilkan emisi Nitrogen dioksida (NO_2). Dengan demikian perlu adanya reduksi emisi yang dihasilkan oleh tiap pembangkit. Penggabungan kedua permasalahan di atas disebut dengan *Economic and Emission Dispatch*. *Plant* yang digunakan adalah kelistrikan pada sistem transmisi Jawa Bali 500 kV. Pada penelitian ini diaplikasikan Modified *Artificial Bee Colony Algorithm* (MABCA). Simulasi dilakukan dengan menggunakan *weighting factor* dan diketahui bahwa pada kondisi $W1=1$ dan $W2=0$, maka biaya pembangkitan memiliki nilai yang paling kecil namun memiliki emisi yang paling besar. Ketika $W1=0.5$ dan $W2=0.5$, maka biaya pembangkitan dan emisi akan sama-sama diprioritaskan. Jika $W1=0$ dan $W2=1$, maka biaya pembangkitan akan memiliki nilai paling besar, namun memiliki tingkat emisi yang paling kecil.

Kata Kunci—*Economic and Emission Dispatch*, *weighting factor*, *constraint*.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan tenaga listrik disuatu daerah secara terus menerus akan mengalami peningkatan sejalan dengan pembangunan dan kemajuan daerah tersebut. Kemajuan dan perkembangan teknologi dewasa ini mengakibatkan kebutuhan tenaga listrik akan semakin meningkat, baik yang berhubungan dengan listrik rumah tangga, komersil maupun industri. Sehingga dibutuhkan pasokan energi listrik yang akan terus meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik, perusahaan listrik harus menyediakan energi secara berkesinambungan.

Sistem tenaga listrik yang besar yang memiliki pembangkit-pembangkit termal seperti PLTU dan PLTG akan menghadapi permasalahan dalam hal biaya bahan bakar untuk pengoperasiannya. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu upaya untuk mengurangi biaya operasi melalui pengurangan biaya bahan bakar sampai pada tingkat minimum. Metode untuk memproduksi dan

mendistribusikan tenaga listrik secara ekonomis sedang dipelajari secara intensif oleh peneliti-peneliti yang berkecimpung dalam persoalan ini. Permasalahannya kemudian bagaimana mengatur pembebanan pembangkit listrik tersebut, sehingga jumlah energi listrik yang dibangkitkan sesuai dengan kebutuhan dan biaya produksi menjadi seminimal mungkin serta tetap memperhatikan tuntutan pelayanan. Cara yang dapat ditempuh adalah dengan melakukan koordinasi pembangkit-pembangkit termal dengan pembangkit hidro seperti PLTA, karena PLTA tidak membutuhkan biaya bahan bakar. PLTA dan pembangkit-pembangkit termal diinterkoneksi untuk melayani beban sistem. Dalam hal ini PLTA akan dioperasikan secara maksimum dan unit-unit pembangkit termal dioperasikan setelah mencukupi kebutuhan tenaga listrik yang ada.

Pada tugas akhir ini akan digunakan salah satu teknik solusi masalah optimasi yaitu menggunakan teknik Modified *Artificial Bee Colony Algorithm*.

II. ECONOMIC AND EMISSION DISPATCH

A. Sistem Tenaga Listrik

Pada umumnya, sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga bagian utama. Ketiga bagian ini tidak dapat dipisahkan karena merupakan suatu sistem yang kompleks yang bekerja untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Berikut penjelasannya :

- **Pusat Pembangkit Listrik (Power Plant)**

Pusat pembangkit listrik merupakan tempat pertama kali energi listrik dibangkitkan atau dihasilkan. Di sini terdapat turbin penggerak awal dan juga generator yang mengubah tenaga turbin menjadi energi listrik. Terdapat beberapa jenis pusat pembangkit listrik yang biasanya dibagi kedalam dua bagian besar yaitu pembangkit *hidro* (PLTA) dan pembangkit *thermal* (PLTU, PLTG, PLTGU, PLTD, PLTP).

- **Transmisi Tenaga Listrik**

Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkitan listrik hingga saluran distribusi listrik sehingga nantinya sampai pada konsumen/pengguna listrik.

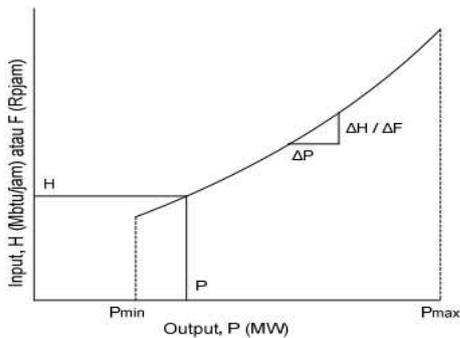
- **Sistem Distribusi**

Sistem distribusi ini merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan

pelanggan/konsumen dan berfungsi dalam hal pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat. Sub sistem ini terdiri dari : pusat pengatur / gardu induk, gardu hubung, saluran tegangan menengah/jaringan primer (6 kV dan 20 kV) yang berupa saluran udara atau kabel bawah tanah, saluran tegangan rendah / jaringan sekunder (380 V dan 220 V), gardu distribusi tegangan yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan baik tegangan menengah ataupun tegangan rendah, dan trafo. (Joko et al, 2010:1-3)

B. Karakteristik Input Output Pembangkit Termal

Karakteristik ini memperlihatkan hubungan antara input pembangkit sebagai fungsi dari output pembangkit. Persamaan karakteristik input-output pembangkit menyatakan hubungan antara jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya tertentu pada pembangkit listrik.

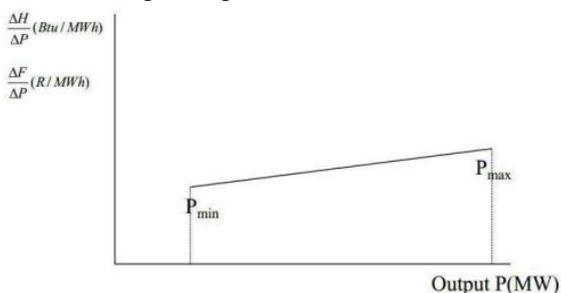


Gambar 1. Kurva Karakteristik Input-Output Unit Termal

Gambar diatas menunjukkan karakteristik input-output unit *thermal* dalam bentuk yang ideal, digambarkan sebagai kurva non-linier yang kontinu. Input dari pembangkit ditunjukkan pada sumbu tegak yaitu energi panas yang dibutuhkan dalam bentuk Mbtu/h karena digunakan satuan British Temperatur Unit (apabila menggunakan SI menjadi MJ/h atau Kcal/H) yang dapat dinyatakan juga sebagai biaya total per jam (Rp/jam). Output dari pembangkit ditunjukkan pada sumbu mendatar yaitu daya listrik yang memiliki batas-batas berupa daya maksimum dan daya minimum pembangkit. (Saadat, 1999:267)

C. Karakteristik Kenaikan Biaya/Panas Pembangkit Termal

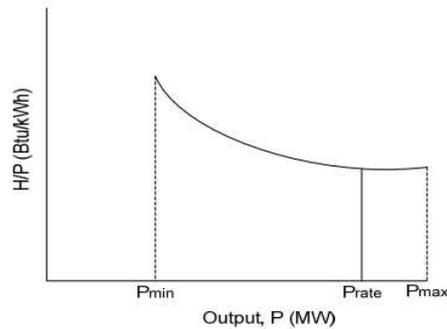
Karakteristik lain yang perlu untuk diketahui pada suatu pembangkit *thermal* adalah karakteristik laju panas atau *incremental heat* yang dapat juga dikatakan sebagai karakteristik kenaikan biaya. Karakteristik ini merupakan suatu kemiringan (*slope*) dari karakteristik input-output ($\frac{\Delta H}{\Delta P}$ atau $\frac{\Delta F}{\Delta P}$) atau turunan pertama dari karakteristik input-output.



Gambar 2. Kurva Karakteristik Kenaikan Biaya/Panas Unit Termal

Pada karakteristik ini ditunjukkan nilai Btu per kWh atau Rp/kWh terhadap daya keluaran dalam satuan MW. Lebih lanjutnya, karakteristik ini digunakan untuk perhitungan pembebanan ekonomis dari unit pembangkit. Jika persamaan input-ouput unit pembangkit dinyatakan dalam pendekatan dengan menggunakan persamaan kuadrat, maka karakteristik kenaikan biaya akan mempunyai bentuk garis lurus. (Saadat, 1999:267)

Karakteristik Efisiensi Terhadap Output Karakteristik laju panas juga salah satu karakteristik yang perlu diketahui. Pada karakteristik ini, input merupakan jumlah panas per kilowattjam (Btu/kWh) dan output merupakan daya listrik dalam satuan MW.



Gambar 3. Kurva Karakteristik Efisiensi Terhadap Output

Karakteristik laju panas ini menunjukkan kerja sistem dari sistem pembangkit *thermal* seperti kondisi uap, temperatur panas, tekanan kondensor, dan siklus aliran air secara keseluruhan. Pada kurva terlihat bahwa efisiensi yang baik terletak pada limit maksimalnya. (Adrianti, 2010)

D. Permasalahan Economic Dispatch

Economic dispatch adalah pembagian pembebanan pada setiap unit pembangkit sehingga diperoleh kombinasi unit pembangkit yang dapat memenuhi kebutuhan beban dengan biaya yang optimum atau dengan kata lain untuk mencari nilai optimum dari output daya dari kombinasi unit pembangkit yang bertujuan untuk meminimalkan total biaya pembangkitan dan dapat memenuhi batasan *equality* dan *inequality*. Secara umum fungsi biaya dari tiap pembangkit dapat diformulasikan secara matematis sebagai suatu fungsi obyektif seperti yang diberikan pada persamaan berikut :

$$F_T = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \tag{1}$$

$$FC_i(P_i) = a_i P^2 + b_i P + c_i \tag{2}$$

- F_T : Total biaya pembangkitan (Rupiah)
- $FC_i(P_i)$: Fungsi biaya input-output dari pembangkit I (Rp/jam)
- a_i, b_i, c_i : Koefisien biaya dari pembangkit i
- P_i : Output pembangkit I (MW)
- N : Jumlah unit pembangkit
- I : Indeks dari *dispatchable* unit

Jadi, seperti persamaan di atas, terlihat bahwa total biaya pembangkitan merupakan jumlah dari fungsi biaya tiap pembangkit. Masing-masing pembangkit memiliki batasan yang dirumuskan sebagai berikut :

$$P_{min} \leq P_G \leq P_{max} \tag{3}$$

Batas atas suatu pembangkit berhubungan dengan rating *thermal* stator generator. Sedangkan batas minimal suatu generator berhubungan dengan operasi *boiler* yang menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin. (Wood & Wollenberg, 1996:29-32)

E. Permasalahan Emission Dispatch

Permasalahan *emission dispatch* sama dengan permasalahan *economic dispatch*, namun tujuannya berbeda. Ketika *economic dispatch* lebih menekankan kepada faktor ekonomis, maka *emission dispatch* akan lebih menekankan pada reduksi kuantitas dari emisi yang dihasilkan tiap unit pembangkit. Berikut ini adalah persamaannya :

$$FE_i(P_i) = d_i P^2 + e_i P + f_i \quad (4)$$

$FE_i(P_i)$: Fungsi emisi dari pembangkit I (gram/jam)

d_i, e_i, f_i : Koefisien emisi dari pembangkit i

F. Economic and Emission Dispatch

Economic and Emission Dispatch adalah permasalahan optimasi dengan dua objektif, yaitu meminimalkan total biaya pembangkitan dan juga kuantitas dari emisi. Cara untuk menyelesaikan *Economic and Emission Dispatch* adalah dengan merubah permasalahan optimasinya dengan menjadikan single objective dengan menggunakan *price penalty factor* (Venkatesh et al.,2003). Berikut ini adalah persamaannya :

$$F = W_1 \cdot \sum_{i=1}^N (FC_i) + W_2 \cdot \sum_{i=1}^N (h_i \cdot FE_i) \quad (5)$$

$$h_i = \frac{FC_i}{FE_i} \quad (6)$$

$$W_1 + W_2 = 1 \quad (7)$$

F : Fungsi Tujuan

FC_i : Biaya Pembangkitan Generator i

FE_i : Banyak emisi yang dihasilkan generator i

h_i : *Price Penalty Factor*

W_1 : Bobot Untuk Biaya Pembangkitan

W_2 : Bobot Untuk Emisi Pembangkit

G. Artificial Bee Colony Algorithm

Koloni lebah buatan adalah algoritma yang ditemukan dan dikembangkan oleh Karaboga pada 2005 yang termotivasi oleh sifat dari lebah [11], [12]. Pada sistem ABC, lebah akan terbang menuju daerah pencarian dan beberapa (*employed and onlooker bees*) memilih sumber makanan berdasarkan pengalaman dan juga informasi dari lebah lainnya dan juga mengatur posisi makanan. Beberapa (*scouts*) terbang dan memilih sumber makanan secara acak tanpa memiliki informasi sedikitpun. Jika jumlah nektar dari sumber makanan yang baru lebih banyak daripada sebelumnya, mereka akan mengingat posisi sumber makanan baru tersebut dan melupakan yang sebelumnya [12]. Maka dari itu, sistem ABC mengkombinasikan metode *local search* yang dibawa oleh *employed and onlooker bees* dan metode *global search* yang dibawa oleh *onlookers and scouts bees* yang berfungsi untuk menyeimbangkan antara eksplorasi dan eksploitasi.

Pada algoritma ABC, koloni dari lebah terdiri dari 3 kelompok lebah, yaitu *employed bees*, *onlooker bees* and *scout bees*. Tahapan dari algoritma ABC adalah sebagai berikut :

- Inisialisasi
- REPEAT
 - Penempatan *employed bees* di sumber makanan pada memori
 - Penempatan *onlooker bees* di sumber makanan pada memori
 - Mengirim *scout bees* ke daerah pencarian untuk menemukan sumber makanan baru

- Mengingat sumber makanan terbaik yang ditemukan sejauh ini

- UNTIL (sampai iterasi menyentuh maksimal)

Pada algoritma ABC, setiap siklus terdiri dari 3 tahap, yaitu memindahkan *employed and onlooker bees* menuju sumber makanan, menghitung jumlah nektar sumber makanan dan menetapkan *scout bees* dan memindahkan mereka secara acak menuju kandidat sumber makanan. Pada kasus ini, sumber makanan merepresentasikan calon-calon solusi yang dioptimasi.

Pada algoritma *artificial bee colony*, penentuan lokasi sumber makanan mula-mula akan ditentukan dengan perumusan sebagai berikut :

$$X_{ij} = X_{j \min} + \text{rand}(0,1) (X_{j \max} - X_{j \min}) \quad (8)$$

Dimana $X_{j \min}$ adalah batas bawah dari komponen ke j dan $X_{j \max}$ adalah batas atas dari komponen ke j, sedangkan X_{ij} adalah kemungkinan solusi ke i dari komponen ke j.

Ketika *employed bees* mendatangi sumber makanan X_{ij} , maka dia akan mengubah posisi dari sumber makanan berdasarkan informasi local yang ada disekitarnya saat itu. Sehingga lokasi sumber makanan yang baru pun dapat diperoleh dengan perumusan sebagai berikut :

$$V_{ij} = X_{ij} + \theta_{ij} (X_{ij} - X_{kj}) \quad (9)$$

Dimana V_{ij} adalah posisi baru dari sumber makanan ke-I untuk komponen ke-J, sedangkan X_{ij} adalah posisi lama dari sumber makanan ke-I untuk komponen ke-J. $I = 1,2, \dots, SN$; $J = 1,2, \dots, n$; $k = 1,2, \dots, SN$. Dimana SN adalah jumlah dari lebah pekerja.

H. Modified Artificial Bee Colony Algorithm

Pada struktur proses, algoritma modified artificial bee colony tidak berbeda dengan metode sebelumnya, namun terdapat modifikasi pada proses penentuan sumber makanan yang baru.

Akay dan Karaboga [13] memodifikasi sistem ABC dengan mengontrol frekuensi pengacakan dalam mencari lokasi sumber makanan baru. Untuk melakukan hal ini, maka akan digunakan *modification rate* (MR). Dengan tujuan untuk menghasilkan kandidat posisi sumber makanan, persamaan (9) akan dimodifikasi menjadi berikut :

$$V_{ij} = \begin{cases} X_{ij} + \theta_{ij} (X_{ij} - X_{kj}), & \text{if } R_{ij} \leq MR, \\ X_{ij} & \text{Else} \end{cases} \quad (10)$$

Dimana R_{ij} adalah angka yang terdistribusi secara acak Antara range [0,1]. MR adalah *modification rate* yang mempunyai nilai antara 0 sampai dengan 1.

Untuk mengatur keberagaman dari solusi yang didapat, nilai θ_{ij} dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. θ_{ij} memiliki nilai antara -1 sampai dengan 1. Namun pada *modified artificial bee colony* nilai ini dapat diatur sesuai dengan keinginan antara -SF sampai dengan SF. Nilai SF ini ditentukan sebelum program dijalankan. Nilai SF yang kecil akan menyebabkan pencarian solusi terbaik berjalan dengan *step* yang kecil, tentunya hal ini akan membuat konvergensi menjadi lama. Sedangkan nilai SF yang besar akan mempercepat pencarian solusi terbaik tetapi akan mereduksi tingkat eksploitasi dari proses pengacakan.

Pada tugas akhir ini, X_{ij} dapat dianggap sebagai kemungkinan solusi ke i dari generator ke j. $X_{j \min}$ adalah batas bawah dari generator ke j dan $X_{j \max}$ adalah batas

TABEL 1. DATA BEBAN SISTEM 500 kV JAWA BALI 2021

Pukul	Beban (MW)
13.00	39587
19.00	39983

Data pembangkit sistem 500 kV Jawa Bali 2021 adalah sebagai berikut :

TABEL 2. DATA PEMBANGKIT PADA SISTEM 500 kV JAWA BALI 2021

Pembangkit	P Min (MW)	P Max (MW)
Suralaya	1610	4200
Banten	690	1725
Bojanegara	800	2000
Balaraja	800	2000
Muarakarang	848	2119
Priok	1149	2872
Muaratawar	1080	2700
Matenggeng	360	900
Paiton	1886	4714
Jawa 1	640	1600
Cirata	403	1008
Saguling	696	1740
Cirebon	824	2060
Jateng	760	1900
Indramayu	1060	2650
Tanjung Jati	1856	4640
Gresik	1216	3040
Tanjung Pucut	1200	3000
Grati	546	1365
Cilacap	1436	3589

B. Simulasi Modified Artificial Bee Colony Algorithm Pada Economic and Emission Dispatch

Parameter yang digunakan dalam mengaplikasikan MABCA dalam menyelesaikan CEED pada sistem 500 kV Jawa Bali ditunjukkan pada tabel 3.

TABEL 3. PARAMETER MODIFIED ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

Population	Foods	Limit	Iterasi	MR	SF
50	25	100	1000	0.8	3

Pada simulasi, nilai W1 dan W2 ditetapkan sebagaimana dapat dilihat pada tabel 4.

TABEL 4. NILAI PEMBODOTAN UNTUK SIMULASI

Kasus	W1	W2
1	1	0
2	0.75	0.25
3	0.5	0.5
4	0.25	0.75
5	0	1

Pada saat kasus 1, nilai pembobotan lebih ditekankan pada faktor ekonomis daripada memprioritaskan pereduksian kuantitas emisi. Pada saat kasus 3, nilai pembobotan bernilai seimbang, artinya biaya pembangkitan dan juga pengurangan kuantitas emisi sama-sama diprioritaskan. Sedangkan Pada saat kasus 5, nilai pembobotan lebih ditekankan pada pengurangan emisi daripada mementingkan faktor ekonomis. Hasil simulasi untuk berbagai jenis kasus dan beban, dapat dilihat pada tabel 5 dan tabel 6.

TABEL 5. TOTAL BIAYA DAN EMISI PADA PUKUL 13.00

Kasus	Cost (Rp/jam)	Emisi (ton/jam)
1	83.470.609.760	39.782961956
2	83.685.997.247	39.319061850

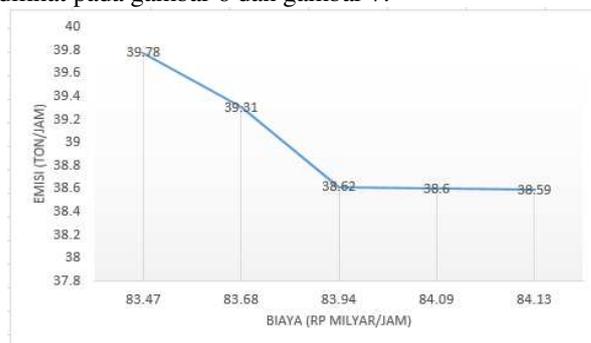
3	83.948.331.253	38.623552520
4	84.090.517.873	38.601881113
5	84.139.156.532	38.593241220

TABEL 6. TOTAL BIAYA DAN EMISI PADA PUKUL 19.00

Kasus	Cost (Rp/jam)	Emisi (ton/jam)
1	84.400.668.764	39.881.620.201
2	84.479.839.469	39.615512115
3	84.560.768.028	39.482.508.016
4	84.719.373.881	39.260819740
5	84.836.319.104	39.012.719.831

C. Hubungan Biaya Pembangkitan dan Emisi

Pada tabel 5 dan tabel 6 dapat dilihat jika nilai pembobotan W1 dan W2 akan berpengaruh pada biaya pembangkitan dan besarnya emisi yang dihasilkan. Jika nilai W1 semakin kecil dan nilai W2 semakin besar, maka biaya pembangkitan akan semakin besar, namun emisi yang dihasilkan akan semakin kecil, sebaliknya jika nilai W1 semakin besar dan nilai W2 semakin kecil, maka biaya pembangkitan akan semakin kecil namun emisi yang dihasilkan akan semakin besar. Grafik hubungan antara biaya pembangkitan dan emisi dapat dilihat pada gambar 6 dan gambar 7.



Gambar 6. Grafik Hubungan Biaya Pembangkitan dan Emisi Pukul 13.00



Gambar 7. Grafik Hubungan Biaya Pembangkitan dan Emisi Pukul 19.00

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada penelitian ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Besar biaya pembangkitan tergantung pada *cost function* dan *emission function*.
2. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa faktor pembobotan berpengaruh kepada biaya pembangkitan. Jika faktor pembobotan lebih diprioritaskan pada faktor ekonomis, maka biaya pembangkitan akan murah, namun memiliki nilai emisi yang tinggi, begitu pula sebaliknya.

3. Faktor pembobotan memiliki nilai mulai dari 0 sampai dengan 1. Jika nilai pembobotan ditentukan 1 dan 0, maka dapat dikatakan bahwa faktor ekonomis lebih diutamakan. Jika pembobotan ditentukan 0 dan 1, maka dapat dikatakan bahwa faktor emisi lebih diutamakan. Pada Hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat terlihat bahwa nilai pembobotan yang paling efektif untuk faktor ekonomis dan faktor emisi adalah ditentukan dengan nilai 0.5 dan 0.5, hal ini menandakan bahwa faktor ekonomis dan emisi sama-sama diprioritaskan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hadi Saadat, "Power System Analysis," WCB McGraw-Hil, New York, 1999.
- [2] Allen J. Wood and Bruce F, Wollenberg. "Power Generation, Operation and Kontrol". John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [3] Danaraj, R.M.S. dan Gajendran, F., "Quadratic Programming Solution to Emission and Economic Dispatch Problems," Journal of the Indian Institute of Engineers (India), vol.86, pp.129-132, September 2005.
- [4] Devi, A.L. dan Krishna, O.V., "Combined Economic and Emission Dispatch Using Evolutionary Algorithms – A Case Study," ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences," vol.3 no.6, pp.28-35, Desember 2008.
- [5] Noman N, Iba H. Differential evolution for economic load dispatch problems. *Electr Power Syst Res* 2008;78(3):1322-31.
- [6] Karaboga D, Akay B. A comparative study of artificial bee colony algorithm. *Appl Math Comput* 2009;214(1):108-32.
- [7] Karaboga D, Basturk B. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. *J Global Optim* 2007;39(3):459-71.
- [8] Karaboga D, Akay B. A modified Artificial Bee Colony (ABC) algorithm for constrained optimization problems. *Appl Soft Comput* 2011;11(3): 3021-31.

- [9] B Akay, D Karaboga. A Modified Artificial Bee Colony Algorithm for Real-Parameter Optimization. *Information Sciences*. 2012; 192; 120-142.
- [10] Gao WF, Liu SY, Huang LL. A global best artificial bee colony algorithm for global optimization. *J Comput Appl Math* 2012;236(11):2741-53.
- [11] D Karaboga, B Basturk. On the Performance of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm. *Applied Soft Computing*.2008; 8(1): 687-697.
- [12] D Karaboga, B Akay. *Artificial Bee Colony (ABC), Harmony Search and Bees Algorithms on Numerical Optimization*. Proceedings of IPROMS 2009 Conference. 2009: 1-6.

BIOGRAFI PENULIS



Dio Adya Pratama lahir di Surabaya, Jawa Timur pada tanggal 8 Juli 1993. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Kranggan IV Mojokerto tahun 1999 - 2005, SMPN 1 Mojokerto tahun 2005 - 2008, SMAN 1 Puri Mojokerto pada tahun 2008 - 2011. Kuliah diploma di ITS dan lulus pada tahun 2014, kemudian dilanjutkan dengan kuliah sarjana setelah lulus dari pendidikan diploma. Penulis adalah orang yang ramah dan suka bercanda. Selama menjadi mahasiswa, tidak sedikit kegiatan yang diikuti, mulai dari mengikuti pelatihan pengembangan diri sampai dengan kegiatan *open recruitment*..