

Analisis *Optimal Power Flow* Mempertimbangkan Emisi Menggunakan Metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization*

Azis, M. F., Soeprijanto, A., dan Fahmi, D.

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: muhammadfadliazis@gmail.com

Abstrak— Energi listrik dihasilkan oleh pembangkit-pembangkit yang tidak terbarukan dan terbarukan. Kenyataannya, kebanyakan pembangkit-pembangkit yang digunakan saat ini masih didominasi oleh pembangkit-pembangkit yang tak terbarukan. Pembangkit - pembangkit tak terbarukan tersebut menggunakan bahan bakar fosil sehingga menghasilkan emisi ketika beroperasi. Saat ini, minimalisasi biaya pembangkitan tidak hanya menjadi satu kriteria dalam operasi sistem tenaga listrik, tetapi juga memperhatikan kriteria lain yaitu kesehatan dan lingkungan. Tugas akhir ini membahas tentang analisis *Optimal Power Flow* (OPF) dengan mempertimbangkan emisi menggunakan *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO). Teknik *Multi-objective* digunakan pada metode ini untuk menyelesaikan permasalahan optimasi yang terdiri dari lebih dari satu fungsi tujuan secara bersamaan. Fungsi tujuan yang akan dioptimasi pada OPF ini adalah biaya operasi dan emisi. Adapun teknik optimasi yang digunakan yaitu algoritma PSO. Sistem IEEE 30 bus digunakan sebagai *plant* untuk menerapkan metode ini. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode MOPSO mampu melakukan perhitungan OPF mempertimbangkan emisi.

Kata Kunci—Tuliskan 4 atau 5 buah kata kunci atau frasa menurut urutan alfabet dipisahkan dengan tanda koma.

I. PENDAHULUAN

Optimal Power Flow (OPF) atau aliran daya optimal merupakan persoalan optimasi yang penting dalam operasi sistem tenaga listrik. Salah satu tujuan utama dari OPF adalah untuk minimalisasi biaya pembangkitan dengan mengatur daya keluaran setiap pembangkit. Dalam mengatur daya keluaran pembangkit tersebut tetap harus memenuhi batasan-batasan yang ada pada perhitungan OPF [1]. Batasan-batasan tersebut antara lain, *equality constraint*, *inequality constraint*, *voltage constraint* dan *line capacity constraint*.

Saat ini, minimalisasi biaya operasi tidak hanya menjadi satu kriteria dalam operasi sistem tenaga listrik, tetapi juga memperhatikan kriteria lain yaitu kesehatan dan lingkungan [2]. Energi listrik dihasilkan oleh pembangkit-pembangkit tidak terbarukan dan terbarukan. Kenyataannya, kebanyakan pembangkit saat ini masih didominasi oleh pembangkit-pembangkit tak terbarukan yang menggunakan bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit-pembangkit yang menggunakan bahan bakar fosil ini akan menghasilkan gas buang atau emisi ketika beroperasi. Emisi

tersebut dapat berupa Sulfur Dioksida (SO₂), Karbon Dioksida (CO₂), dan Nitrogen Oksida (NO_x).

Beberapa metode digunakan untuk menyelesaikan permasalahan OPF, baik secara *deterministic* maupun *undeterministic*. Pendekatan *deterministic* merupakan pendekatan berdasarkan ilmu matematika teknik sedangkan pendekatan *undeterministic* merupakan pendekatan berdasarkan teknik probabilitas (*heuristic*). Penelitian sebelumnya terkait permasalahan OPF menggunakan metode *heuristic*, dalam hal ini adalah algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO), telah dilakukan [3]. Permasalahan OPF pada penelitian tersebut diselesaikan dengan satu fungsi tujuan yaitu biaya pembangkitan.

Pada tugas akhir ini, permasalahan OPF diselesaikan dengan dua fungsi tujuan yaitu biaya pembangkitan dan emisi. Metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization* (MOPSO) digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi yang terdiri dari lebih dari satu fungsi tujuan tersebut secara bersamaan.

II. OPTIMAL POWER FLOW DAN EMISSION

A. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah komponen-komponen tenaga listrik yang terbagi menjadi tiga sistem yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi [4]. Sistem tenaga listrik secara umum digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Sistem pembangkitan terdiri dari kumpulan pembangkit tenaga listrik yang terhubung dengan sistem transmisi dan sistem distribusi. Sistem transmisi digunakan dalam penyaluran daya listrik dari sistem pembangkitan menuju sistem distribusi dengan menggunakan tegangan tinggi untuk mengurangi rugi-rugi saluran. Sedangkan untuk sistem distribusi terdiri dari gardu induk dan beban.

B. Studi Aliran Daya

Studi aliran daya atau *power flow* (PF) merupakan salah satu dari perencanaan sistem tenaga listrik yaitu perhitungan magnitude dan sudut fasa dari tegangan setiap bus serta aliran daya aktif dan reaktif pada setiap saluran di sistem tenaga listrik. Pada perhitungan aliran daya akan diperhitungkan rugi - rugi atau losses jaringan sehingga nilai daya yang dibangkitkan akan bernilai rugi - rugi daya ditambah dengan beban sistem tenaga listrik [5].

C. Optimal Power Flow dan Emisi

Aliran daya optimal atau *Optimal Power Flow* (OPF) merupakan perhitungan aliran daya yang memperhitungkan biaya pembangkitan sehingga didapatkan nilai

pembangkitan yang murah dengan memperhitungkan rugi – rugi atau losses jaringan. OPF merupakan pengembangan dari metode *Economic Dispatch* (ED) atau pengaturan daya keluaran setiap pembangkit [4].

Beberapa pembangkit saat ini masih didominasi oleh pembangkit-pembangkit thermal yang menggunakan bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi listrik [2]. Pembangkit-pembangkit tersebut dalam beroperasi akan menghasilkan gas buang yang disebut emisi. Emisi tersebut dapat berupa Sulfur Dioksida (SO₂), Karbon Dioksida (CO₂), dan Nitrogen Oksida (NO_x).

Aliran daya optimal dengan mempertimbangkan emisi diformulasikan sebagai kasus optimasi lebih dari satu fungsi tujuan atau *multi-objective* untuk semua pembangkit. Fungsi-fungsi tujuan tersebut direpresentasikan secara matematis sebagai berikut :

$$F = \sum_{i=1}^{Ng} (a_i P_{gi}^2 + b_i P_{gi} + c_i) \text{ \$/h} \tag{1}$$

$$E = \sum_{i=1}^{Ng} (d_i P_{gi}^2 + e_i P_{gi} + f_i) \text{ kg/h} \tag{2}$$

dimana,

- F : Fungsi biaya bahan bakar
- E : Fungsi emisi
- P_{gi} : Daya yang dibangkitkan setiap unit pembangkit
- a_i, b_i, c_i : Koefisien biaya bahan bakar setiap unit pembangkit
- d_i, e_i, f_i : Koefisien emisi setiap unit pembangkit
- N_g : Total Pembangkit

D. Batasan-Batasan

Perhitungan aliran daya optimal memiliki batasan-batasan yang harus dipenuhi. Batasan-batasan tersebut antara lain sebagai berikut [1].

1. Equality Constraint

$$\sum_{i=1}^{Ng} P_{gi} = P_D + P_L \tag{3}$$

Equality constraint adalah batasan dimana total daya yang dibangkitkan sama dengan total beban ditambah dengan rugi-rugi sistem.

2. Inequality Constraint

$$P_{gi}^{min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{max} \tag{4}$$

$$Q_{gi}^{min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi}^{max} \tag{5}$$

Inequality constraint adalah batasan dimana total daya yang dibangkitkan oleh setiap pembangkit tidak lebih dari batas maksimum pembangkitan dan tidak kurang dari batas minimum pembangkitan.

3. Voltage Constraint

$$V_{bi}^{min} \leq V_{bi} \leq V_{bi}^{max} \tag{6}$$

Voltage constraint adalah batasan dimana nilai tegangan di setiap bus tidak mengalami undervoltage maupun overvoltage.

4. Line Capacity Constraint

$$S_{li} \leq S_{li}^{max} \tag{7}$$

Line capacity constraint adalah batasan dimana nilai aliran daya di setiap cabang tidak melebihi batas maksimum saluran.

III. PENERAPAN MULTI-OBJECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION PADA OPTIMAL POWER FLOW MEMPERTIMBANGKAN EMISI

A. Sistem IEEE 30 Bus

Pengujian perhitungan OPF mempertimbangkan emisi pada tugas akhir ini menggunakan sistem IEEE 30 bus sebagai plant [6]. Sistem IEEE 33 bus terdiri dari 6 generator. Total pembangkitan pada plant ini adalah 283.4 MW. Data fungsi biaya bahan bakar dan fungsi emisi pada sistem IEEE 30 bus dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

B. Multi-Objective Optimization

Multi-Objective Optimization merupakan pemecahan masalah optimasi dengan beberapa fungsi tujuan [7]. Dalam pemecahannya, seringkali terjadi konflik diantara tujuan dan solusinya bukanlah solusi tunggal tetapi berupa himpunan solusi. Terdapat tiga kategori metode dalam multiobjective optimization yaitu aggregating function, pendekatan non-Pareto, dan pendekatan Pareto. Secara umum, bentuk matematis dari multiobjective optimization adalah :

$$\min\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)\} \tag{8}$$

dimana k adalah jumlah dari fungsi tujuan. Simbol $\min \{ \dots \}$ menandakan bahwa semua tujuan diminimalkan bersamaan. Metode yang paling sederhana dan mudah dipahami dalam menyelesaikan *multiobjective optimization* adalah metode *Weighted Sum*. Metode ini mengkombinasikan beberapa tujuan ke dalam fungsi gabungan sehingga penyelesaiannya berupa satu fungsi tujuan saja. Metode ini seringkali digunakan oleh karena efisiensi dalam komputasi dan kesederhanaannya. Metode *Weighted Sum* menggabungkan beberapa fungsi tujuan dengan weights. Persamaan metode *Weighted Sum* adalah sebagai berikut :

$$fitness = w_1 f_1(P) + w_2 f_2(P) + \dots + w_k f_k(P) \tag{9}$$

Tabel 1. Fungsi Biaya Bahan Bakar

Unit	Fungsi Biaya Bahan Bakar (\\$/Jam)		
	a	b	c
P1	0.00375	2.00	0
P2	0.01750	1.75	0
P3	0.06250	1.00	0
P4	0.00830	3.25	0
P5	0.02500	3.00	0
P6	-0.02500	3.00	0

Tabel 2. Fungsi Emisi

Unit	Fungsi Emisi (Kg/Jam)		
	d	e	f
P1	0.006323	-0.381280	80.901900
P2	0.006480	-0.790270	28.824900
P3	0.003174	-1.360610	324.177500
P4	0.006732	-2.399280	610.253500
P5	0.003174	-1.360610	324.177500
P6	0.006181	-0.390770	50.380800

dimana f_k adalah fungsi tujuan ke- k . Sedangkan w_k adalah weights dari fungsi tujuan ke- k . Fungsi objektif dalam perhitungan OPF pada tugas akhir ini adalah biaya pembangkitan dan emisi. Untuk menggabungkan 2 fungsi objektif ini menjadi satu tujuan, maka digunakan *penalty factor* (h) untuk menyamakan derajat antara biaya pembangkitan dan emisi. Persamaan *multi-objective* yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\min M = w_1 f_1(F) + h w_2 f_2(E) \quad (10)$$

Adapun penentuan nilai *penalty factor* yang digunakan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menghitung nilai F_{max} dan E_{max} setiap unit pembangkit.
2. Membagi nilai F_{max} dan E_{max} setiap unit pembangkit dengan nilai P_{max} setiap unit.
3. Membagi nilai F_{max} setiap unit pembangkit dengan E_{max} setiap unit pembangkit sehingga didapatkan nilai h setiap unit pembangkit.
4. Urutkan nilai h tiap unit dari nilai terkecil ke terbesar.
5. Jumlahkan nilai P_{max} tiap unit mulai dari h terkecil hingga $\sum P_{max} \geq P_d$

C. Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO diperkenalkan pertama kali oleh J. Kennedy dan R. Eberhart pada tahun 1995. PSO merupakan algoritma berbasis kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan optimasi. Algoritma ini terinspirasi dari perilaku sosial kolektif dari kecerdasan koloni binatang, seperti burung dan ikan [8]. Perilaku sosial ini berupa tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok.

Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan cara menggunakan kecerdasannya sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompok kolektifnya. Jika satu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat atau pendek menuju ke sumber makanan, maka sisa kelompok yang lain juga akan dapat segera mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka jauh di kelompok tersebut. Selama proses penerbangan, setiap partikel menentukan posisinya sendiri berdasarkan pengalamannya sendiri dan berdasarkan pengalaman dari partikel tetangganya. Berikut adalah persamaan matematis algoritma *Particle Swarm Optimization* [9] :

$$V_{ir+1} = w * V_{ir} + c1.rand * (P_{best_{ir}} - X_{ir}) + c2.rand * (G_{best_{ir}} - X_{ir}) \quad (11)$$

$$X_{ir+1} = X_{ir} + V_{ir+1} \quad (12)$$

$$W_{It} = W_{max} - \frac{(W_{max} - W_{min}) * It}{It_{maks}} \quad (13)$$

Keterangan :

- X_{ir} : Posisi kecepatan partikel saat ini
- V_{ir} : Kecepatan partikel saat ini
- X_{ir+1} : Posisi partikel iterasi selanjutnya
- V_{ir+1} : Posisi dan kecepatan partikel iterasi selanjutnya
- $c1$: Konstanta *cognitive*
- $c2$: Konstanta *social acceleration*
- $rand$: Nilai random yang terdistribusi antara 0 dan 1
- $P_{best_{ir}}$: Posisi terbaik dari partikel itu sendiri
- $G_{best_{ir}}$: Posisi terbaik dari seluruh populasi yang ada
- W_{max} : Koefisien *inersia weight* maksimal
- W_{min} : Koefisien *inersia weight* minimal
- It : Iterasi yang selalu berubah dari 1,2, ... It_{max}
- It_{max} : Nilai maksimal dari iterasi yang digunakan

D. Penerapan MOPSO pada OPF Mempertimbangkan Emisi

Parameter PSO yang digunakan pada tugas akhir ini merupakan inialisasi awal operasi algoritma yang digunakan dalam OPF mempertimbangkan emisi. Parameter tersebut adalah sebagai berikut.

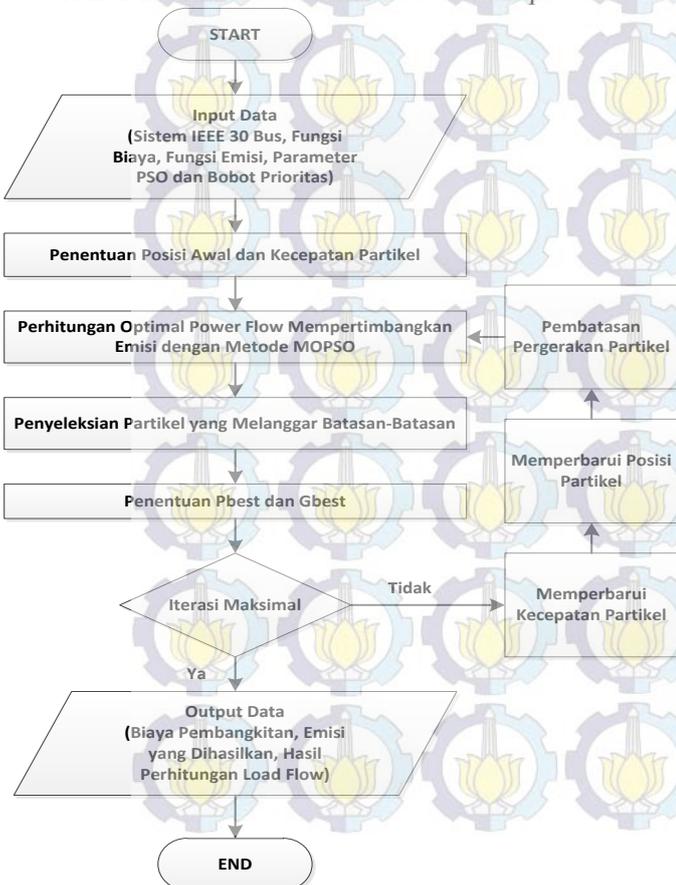
- Jumlah *swarm* : 30
- Jumlah variabel : 6
- Iterasi maksimal : 500
- Social constant* : 0.5
- Cognitive constant* : 0.01

Perhitungan OPF mempertimbangkan emisi menggunakan metode MOPSO mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1.

IV. HASIL DAN SIMULASI

A. Pengujian OPF Menggunakan Metode PSO

Pada pengujian ini dilakukan perhitungan OPF menggunakan metode PSO kemudian dibandingkan dengan metode *Economic Dispatch (ED) - Load Flow*. ED pada metode pembanding ini menggunakan metode *lambda iteration*. Perbandingan hasil dari kedua metode ini ditunjukkan pada Tabel 3. Dari table tersebut diketahui bahwa total biaya pembangkitan dari metode OPF-PSO mendekati hasil dan lebih optimal dibandingkan dengan metode ED - *Load Flow*.



Gambar 1. Diagram Alir Metode MOPSO

Tabel 3. Perbandingan Metode OPF-PSO dan ED-Load Flow

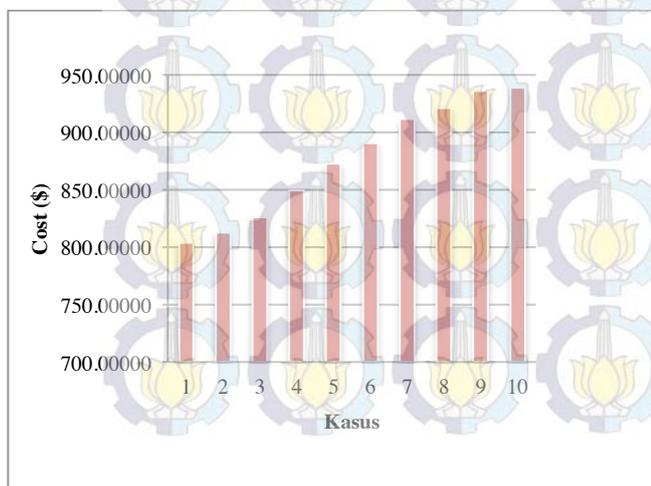
	OPF-PSO	ED-Load Flow
Harga (\$)	803.60000	807.55000
Emisi (kg)	1428.57000	1500.99929
Rugi-Rugi (MW)	9.85000	11.76930
P1 (MW)	176.96439	197.03700
P2 (MW)	48.17876	46.87200
P3 (MW)	21.52579	19.12400
P4 (MW)	21.94086	10.00000
P5 (MW)	12.58447	10.00000
P6 (MW)	12.05552	12.00000
Ptotal (MW)	293.24978	295.03300

B. Pengujian OPF Mempertimbangkan Emisi Menggunakan Metode MOPSO

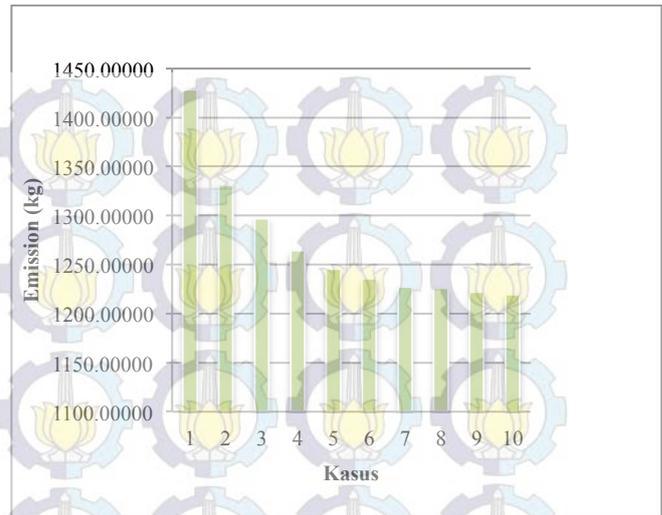
Pada pengujian ini dilakukan perhitungan OPF mempertimbangkan emisi menggunakan metode MOPSO. Hasil simulasi dari metode ini ditunjukkan pada Tabel 4 yang dibagi menjadi 10 kasus dengan variasi bobot antara biaya pembangkitan dan emisi. Dari hasil tabel tersebut dibuat kurva untuk menunjukkan besarnya biaya pembangkitan dan emisi yang dihasilkan dengan variasi bobot yang berbeda yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3. Berdasarkan hasil simulasi tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai bobot yang diberikan untuk biaya pembangkitan atau emisi yang dihasilkan, maka biaya pembangkitannya semakin murah atau emisi yang dihasilkan semakin kecil. Sebaliknya, semakin kecil nilai bobot yang diberikan untuk biaya pembangkitan atau emisi yang dihasilkan, maka biaya pembangkitannya semakin mahal atau emisi yang dihasilkan semakin besar.

Tabel 4. Hasil Perhitungan OPF Mempertimbangkan Emisi Menggunakan Metode MOPSO

Kasus	Weight 1 (Harga)	Weight 2 (Emisi)	Harga (\$)	Emisi (Kg)
1	1	0	803.60000	1428.57000
2	0.9	0.1	812.75000	1331.36000
3	0.8	0.2	826.15000	1297.10000
4	0.7	0.3	849.29000	1264.06000
5	0.6	0.4	872.79000	1245.77000
6	0.5	0.5	890.59000	1235.67000
7	0.4	0.6	911.33000	1227.48000
8	0.3	0.7	921.07000	1226.15000
9	0.2	0.8	936.13000	1221.94000
10	0.1	0.9	938.41000	1219.24000



Gambar 2. Kurva Biaya Pembangkitan dari 10 Kasus



Gambar 3. Kurva Emisi yang Dihasilkan dari 10 Kasus

C. Hasil Analisis dan Simulasi Kasus 6

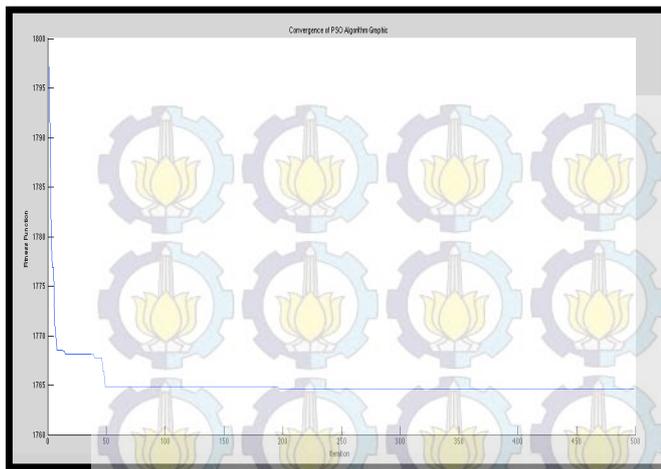
Pada studi kasus ini, dilakukan perhitungan analisis OPF mempertimbangkan emisi dengan biaya pembangkitan memiliki prioritas yang sama. Bobot yang digunakan pada kasus ini adalah $w1 = 0.5$ untuk biaya pembangkitan dan $w2 = 0.5$ untuk emisi yang dihasilkan. Kurva konvergensi hasil simulasi kasus 6 ditunjukkan pada Gambar 4.

Hasil simulasi seperti biaya pembangkitan, emisi yang dihasilkan, rugi-rugi, daya keluaran setiap pembangkit, serta total daya yang dibangkitkan ditunjukkan pada Tabel 5. Dari tabel tersebut diketahui bahwa daya yang dibangkitkan sama dengan jumlah total beban ditambah dengan rugi-rugi daya sehingga memenuhi batasan *equality*. Dari tabel tersebut juga dapat diketahui bahwa daya keluaran setiap pembangkit berada dalam rentang batasan kemampuan pembangkit sehingga memenuhi batasan *inequality*.

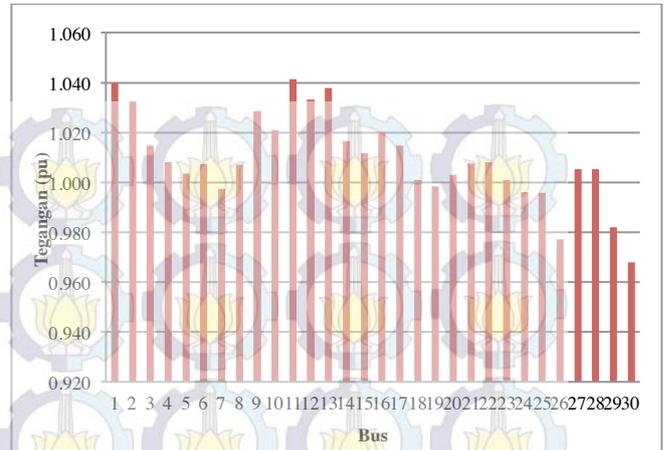
Adapun hasil simulasi seperti nilai tegangan di setiap bus dan daya yang mengalir di saluran dapat dilihat di lampiran. Dari data hasil simulasi tersebut dibuat nilai aliran daya di setiap cabang dan kurva tegangan di setiap bus yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan 4.8. Berdasarkan kurva tersebut diketahui bahwa nilai tegangan di setiap bus berada pada rentang 0.95 sampai 1.05 pu, sehingga memenuhi batasan tegangan. Dari kurva tersebut juga diketahui bahwa nilai aliran daya pada setiap cabang tidak melebihi dari batas maksimum saluran.

Tabel 5. Hasil Simulasi Studi Kasus 6

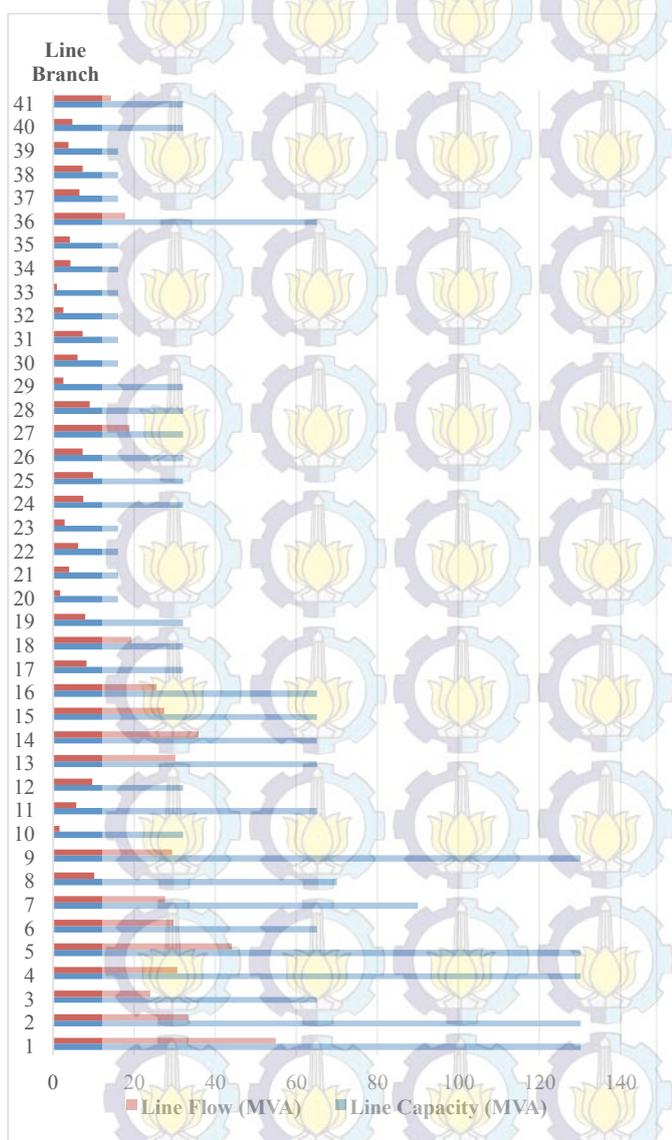
	Kasus 6 ($w1 = 0.5, w2 = 0.5$)
Harga (\$)	890.59000
Emisi (kg)	1235.67000
Rugi-Rugi (MW)	4.36000
P1 (MW)	87.43544
P2 (MW)	65.17022
P3 (MW)	44.75072
P4 (MW)	34.98398
P5 (MW)	29.94141
P6 (MW)	25.48058
Ptotal (MW)	287.76236



Gambar 4. Kurva Konvergensi Kasus 6



Gambar 6. Profil Tegangan Di Setiap Bus Studi Kasus 6



Gambar 5. Perbandingan Line Flow dan Line Capacity Kasus 6

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini, dapat disimpulkan bahwa metode *Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO)* mampu melakukan perhitungan *Optimal Power Flow (OPF)* dengan mempertimbangkan emisi dengan menjaga batasan-batasan, seperti batasan *inequality constraint*, *equality constraint*, tegangan dan kapasitas saluran. Semakin besar nilai bobot yang diberikan untuk biaya pembangkitan atau emisi yang dihasilkan, maka biaya pembangkitannya semakin murah atau emisi yang dihasilkan semakin kecil. Sebaliknya, semakin kecil nilai bobot yang diberikan untuk biaya pembangkitan atau emisi yang dihasilkan, maka biaya pembangkitannya semakin mahal atau emisi yang dihasilkan semakin besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan kepada penulis. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto dan Bapak Daniar Fahmi, ST., MT. selaku dosen pembimbing tugas, serta semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Swarnkar, K.K.; Wadhvani, S.; Wadhvani, A.K., "Optimal Power Flow of large distribution system solution for Combined Economic Emission Dispatch Problem using Partical Swarm Optimization", International Conference on Power Systems, 2009. ICPS '09., vol., no., pp.1,5, 27-29 Dec, 2009.
- [2] J.H. Talaq, F. El-Hawary and M.E. El-Hawary, "A summary of environmental/economic dispatch algorithms", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 9; 9, pp. 1508-1516, 1994.
- [3] Anwar, Ibrahim, 2013. "Optimal Power Flow untuk Non-Smooth Cost Function Menggunakan Particle Swarm Optimization", Tugas Akhir Sarjana S1 Teknik Elektro ITS.
- [4] Wood, A. J.; Wollenberg, B. F., "Power Generation Operation and Control", John Willey & Sons Inc, America, 1996.
- [5] Hadi S., "Power System Analysis 2nd Edition", McGrawHill, Ch.1, 1999.
- [6] Alsac, O.; Stott, B., "Optimal Load Flow with Steady-State Security," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol.PAS-93, no.3, pp.745,751, May 1974.
- [7] Farhat, I.A.; El-Hawary, M.E., "Bacterial foraging algorithm for optimum economic-emission dispatch," Electrical Power and Energy Conference (EPEC), vol., no., pp.182,186, 3-5 Oct. 2011.
- [8] Xin-She Yang, "Nature-Inspired Optimization Algorithms", Elsevier, March 2014.

- [9] Ben Attous, D.; Labbi, Y., "Particle swarm optimization based optimal power flow for units with non-smooth fuel cost functions," International Conference on Electrical and Electronics Engineering, 2009., vol., no., pp.I-377, I-381, 5-8 Nov. 2009.



RIWAYAT HIDUP PENULIS

Penulis bernama lengkap Muhammad Fadli Azis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Lahir di Lampa pada 2 Juni 1992. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN 46 Lampa, Madrasah Tsanawiyah di Pondok Pesantren Manahilil Ulum DDI Kaballangan Pinrang, dan menyelesaikan pendidikan dasar di Madrasah Aliyah di Pondok Pesantren Al-Badar DDI Bilalang Parepare. Lulus dari pendidikan dasar, penulis menempuh pendidikan tinggi di Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Penulis merupakan penerima Program Beasiswa Santri Berprestasi (PBSB) Kementerian Agama. Di Jurusan Teknik Elektro, penulis mengambil program studi Teknik Sistem Tenaga dan sekarang menjasi asisten di Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Listrik. Selain kegiatan akademik, penulis pernah menjadi Staff Departemen Riset dan Teknologi di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATEKTRO) ITS dan *Community of Santri Scholars of Ministry of Religious Affairs* (CSSMoRA) ITS pada tahun 2012-2013 dan menjadi Kepala Biro Teknologi Departemen Riset dan Teknologi di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATEKTRO) ITS tahun 2013-2014. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan keilmiah dan telah menjuarai berbagai kompetisi seperti Juara 1 *Science Project* PERTAMINA 2013, Emas Presentasi dan Poster PIMNAS 27, Merit Award INAICTA 2015 dan Nominator dalam APICTA 2015. Penulis juga telah melakukan publikasi paper di berbagai konferensi ilmiah seperti ICONIC PPI Jerman 2014 (Technische Hochschule Nürnberg), HISAS PPI Hokkaido 2015 (Hokkaido University), dan AASIC PPI Thailand 2015 (Chulalongkorn University).