

ECONOMIC DISPATCH PADA PEMBANGKIT TERMAL PLN APB IV JAWA TIMUR MENGUNAKAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO)

Abdilla Eka Prasetya

Progam Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : abdillaprasetya@mhs.unesa.ac.id

Tri Wrahatnolo

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : triwrahatnolo@unesa.ac.id.

Abstrak

Perhitungan optimasi *Economic Dispatch* diimplementasikan agar pola keluaran dari unit pembangkitan yang terdapat dalam suatu sistem kelistrikan menjadi lebih optimal dalam melakukan pembagian daya keluaran sesuai dengan batasan-batasan yang berlaku. Dengan adanya optimalisasi pembagian daya, diharapkan dapat menekan biaya bahan bakar dalam operasi unit pembangkitan ketika memproduksi keluaran daya listrik. Optimasi *Economic Dispatch* memiliki batasan *equality* dan *inequality* yang kompleks. Kemudian dalam penelitian ini dilakukan analisis mengenai perbedaan serta pengaruh dari *Static Economic Dispatch* dan *Dynamic Economic Dispatch*. *Particle Swarm Optimization* (PSO) akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi. Pengujian metode PSO untuk menyelesaikan permasalahan *Economic Dispatch* ini diterapkan pada pembangkit termal PLN APB IV Jawa Timur, dengan jumlah unit pembangkitan sebanyak 5 unit pembangkitan serta pengambilan data beban selama 4 hari yang berbeda pada 6 rentang waktu yang sama. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode PSO lebih optimal dalam menyelesaikan permasalahan *Economic Dispatch* dengan *constraint* tetap terjaga pada batasnya bila dibandingkan dengan metode matematis. Kemudian saat dilakukan *running* untuk *Static Economic Dispatch* yang mengabaikan *ramp-rate constraint* menunjukkan hasil biaya operasi pembangkitan yang lebih murah dengan biaya sebesar Rp 25,594,352,894,00/6jam dibandingkan hasil *running* untuk *Dynamic Economic Dispatch* yang mempertimbangkan *ramp-rate constraint* dengan biaya sebesar Rp 25,981,286,422,00/6 jam. Namun, *Dynamic Economic Dispatch* memiliki keandalan sistem yang lebih baik dibandingkan *Static Economic Dispatch*, dikarenakan perubahan nilai pembagian daya untuk rentang waktu berikutnya dibatasi oleh *ramp-rate constraint*, sehingga perubahan daya keluaran tidak terlalu signifikan.

Kata Kunci: *Economic Dispatch, Particle Swarm Optimization, ramp-rate constraint.*

Abstract

Economic Dispatch optimizations are implemented to output pattern of the generation units has contained in electrical systems become more optimal on the power distribution accord applicable constraints. At least from the optimization of power distribution, it is expected to reduce fuel costs in operation of the generation when produces electrical power. Subsequently, in this study be analyzed about the differences and effects of *Static Economic Dispatch* and *Dynamic Economic Dispatch*. *Particle Swarm Optimization* (PSO) be used to solve optimization problems. Testing PSO method to solve *Economic Dispatch* is applied to thermal generations in the PLN APB IV Jawa Timur systems, with the number of generation units is 5 and was took power load for 4 different days in 6 range same time. The results of previous literatures decide that PSO method is more optimal to solve *Economic Dispatch* with constraints is kept if compared to the mathematical methods. When running for a *Static Economic Dispatch* which neglects a *ramp-rate constraint* shows a cheaper operation cost with Rp 25,594,352,894.00 / 6 hours compared to results of running for *Dynamic Economic Dispatch* which considers a *ramp-rate constraint* with Rp 25,981,286,422, 00/6 hours. However, *Dynamic Economic Dispatch* has a better reliability systems than *Static Economic Dispatch*, because changed value of power distribution for next range time is limited by *ramp-rate constraints*, so changed in output power is not too significant.

Keywords: *Economic Dispatch, Particle Swarm Optimization, ramp-rate constrain.*

PENDAHULUAN

Biaya operasi pada sistem pembangkitan menjadi masalah penting akibat meningkatnya permintaan energi listrik dan biaya bahan bakar (Abdullah et. al., 2012). Pada unit pembangkit termal yang berbahan bakar fosil, meningkatnya beban akan mendorong meningkatnya kuantitas (jumlah) bahan bakar per satuan waktu yang akan meningkatkan pertambahan biaya per satuan waktu. Salah satu solusi dari permasalahan ini adalah

mengoperasikan unit pembangkit secara efisien dan ekonomis berdasarkan pada optimisasi *economic dispatch* (ED).

Economic Dispatch adalah pembagian daya yang dibangkitkan pada unit-unit pembangkit yang berada dalam sistem secara optimal ekonomis pada harga beban sistem tertentu (Han et. al., 2001). Dengan penerapan *economic dispatch*, maka akan didapatkan biaya pembangkitan yang minimum terhadap produksi daya

listrik yang dibangkitkan unit-unit pembangkit pada suatu sistem kelistrikan.

Optimisasi *economic dispatch* digolongkan menjadi dua macam, yakni *static economic dispatch* dan *dynamic economic dispatch* (Han, 2001). *Static economic dispatch* hanya dapat digunakan dalam satu level beban saja dan apabila digunakan dalam sistem dengan rentang beban tertentu maka hal ini akan melanggar *ramp-rate constraint* dari generator, sehingga fungsi *static economic dispatch* kurang efektif. *Dynamic economic dispatch* merupakan pengembangan dari *static economic dispatch*. *Dynamic economic dispatch* berguna untuk menentukan pembagian keluaran daya untuk tiap-tiap unit pembangkit secara ekonomis pada rentang waktu tertentu, tanpa melanggar *ramp-rate*. Jadi keluaran pembangkit pada waktu-*n* berpengaruh untuk menentukan keluaran pembangkit pada waktu-*n* berikutnya. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi *Economic Dispatch* adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO). Dalam PSO, setiap individu membuat keputusan menggunakan pengalaman sendiri sekaligus pengalaman individu yang lain. PSO secara luas telah diaplikasikan untuk menyelesaikan masalah *economic dispatch* karena implementasinya sederhana, memerlukan penyimpanan yang sedikit, dan mampu menyelesaikan solusi optimasi secara global.

Metode PSO standar ini telah diuji coba oleh Rao (2014). Penyelesaian masalah *Economic Dispatch* menggunakan PSO standar diimplementasikan pada sebuah sistem pembangkit dengan 6 unit pembangkitan dan metode konvensional Iterasi Lambda digunakan sebagai pembanding hasil dari PSO standar. Hasilnya pada tiap unit pembangkit diperoleh hasil biaya pembangkitan dari metode PSO standar lebih murah daripada hasil dari metode Iterasi Lambda.

Penelitian lain untuk menyelesaikan masalah optimisasi *economic dispatch* yang memperhitungkan efek katup juga diteliti oleh Park (2005) menggunakan metode MPSO. Park menyelesaikan masalah *economic dispatch* ini pada dua sistem pembangkit, yang memiliki 3 dan 40 unit pembangkit.

Kumar (2009) membuat penelitian perihal *dynamic economic dispatch* yang memperhatikan batasan *ramp-rate* dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO). Masalah *dynamic economic dispatch* ini diterapkan pada sebuah sistem pembangkit dengan 5 unit pembangkitan yang beroperasi selama 12 jam.

Sesuai data yang diperoleh dari PT. PLN APB IV Jawa Timur dengan 5 (lima) unit pembangkitan termal dimana setiap unit pembangkitan memiliki beberapa generator akan digunakan sebagai obyek penelitian. Dasar pemilihan pembangkit termal PLN APB IV Jawa Timur adalah mengacu pada cukup banyaknya jumlah total generator pada setiap unit pembangkit termal dalam memenuhi jumlah permintaan beban listrik yang cukup tinggi agar diperoleh gambaran kurva konvergensi secara optimal. Dari beberapa ulasan literatur, diharapkan dapat membantu penulis dalam mencapai tujuan penelitian ini yakni perancangan pada perangkat lunak MatLab untuk

menerapkan metode *Particle Swarm Optimization* pada permasalahan *Economic Dispatch* dengan dipengaruhi batasan *ramp-rate*.

KAJIAN TEORI

Economic Dispatch

Optimasi *Economic Dispatch* adalah suatu usaha untuk meminimalkan total biaya pembangkitan dari suatu generator termal dengan memenuhi batasan *equality* dan *inequality* (Abdullah et al, 2012). *Economic Dispatch* merupakan prosedur untuk pendistribusian dari seluruh total pembangkitan daya listrik (pembangkit termal) dengan sistem yang optimal dan ekonomis dengan mempertimbangkan biaya pembangkitan serta beberapa *constraint* lain dengan tetap memberikan pelayanan kebutuhan listrik yang baik.

Tujuan utama pada *Economic Dispatch* adalah untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar dari pembangkit dengan menentukan daya keluaran setiap unit pembangkit. Namun, permasalahan ED merupakan permasalahan optimisasi yang cukup rumit. Secara umum, masalah *economic dispatch* adalah optimisasi dari segi biaya bahan bakar dengan karakteristik non-linier (Zhu, 2015, p.86).

Bentuk persamaan biaya pembangkit termal.

1) Fungsi obyektif.

Variabel *a*, *b*, dan *c* adalah koefisien biaya operasi produksi dari suatu pembangkit. Koefisien *c* juga menunjukkan biaya operasi pembangkit ketika tidak memproduksi energi listrik. Dari persamaan (1),(2), dan (3) dapat diketahui bahwa hubungan antara daya yang dibangkitkan dari generator non-linear terhadap biaya pembangkitan.

$$C_T = \sum F_i(P_i) = \sum a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (1)$$

Keterangan:

C_T = Biaya total dari unit pembangkitan. (Rp)

F_i = Koefisien biaya pembangkitan pada pembangkit ke- *i*. (Rp/kWh)

P_i = Daya keluaran dari pembangkit ke-*i*. (MW)

2) *Inequality constraint*.

$$\sum P_i = P_d \quad (2)$$

Keterangan:

P_d = Daya permintaan konsumen atau beban. (MW)

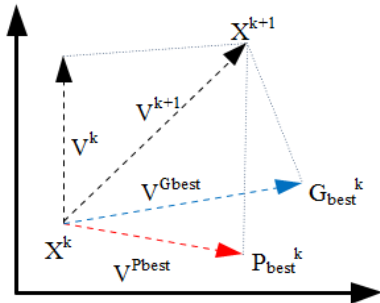
3) *Equality constraint*.

$$\sum P_i > P_d \quad (3)$$

Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization (PSO) merupakan salah satu algoritma dalam bidang *Artificial Intellegent* (AI) atau kecerdasan buatan. *Particle Swarm Optimization* (PSO) adalah suatu metode optimasi berbasis populasi yang ditawarkan oleh Kennedy dan Eberhart terinspirasi oleh perilaku sosial sekumpulan burung dan ikan. Permodelan pencarian yang digunakan dalam algoritma PSO yakni metode pencarian lokal (*local search*) dan metode pencarian global (*global search*). Dalam penerapannya, dapat dikatakan bahwa algoritma PSO menggabungkan metode pencarian lokal (*local search*) dengan metode pencarian global (*global*

search). Ketika burung terbang untuk mencari makanan, setiap burung menentukan posisi terbaiknya berdasarkan pengalamannya sendiri (nilai ini yang disebut P_{best}) dan berdasarkan pengalaman dari partikel lain dalam satu kawanan (nilai G_{best}). Pada proses pencarian makanan, terdapat dua istilah yang ada pada algoritma PSO yaitu kecepatan partikel (v_x, v_y) dan posisi partikel (x, y). Proses pencarian P_{best} dan G_{best} diilustrasikan dalam Gambar 1 dibawah ini :



Gambar 1. Konsep pencarian P_{best} dan G_{best} dari PSO.

Algoritma PSO akan beriterasi memperbarui nilai posisi dan kecepatan partikel hingga kondisi akhir terpenuhi. Modifikasi kecepatan (V_{ir}) dan posisi tiap (X_{ir}) partikel dapat dimodifikasi melalui persamaan (4) dan (5) berikut:

$$V_{ir+1} = V_{ir} + c1.rand * (P_{best} - X_{ir}) + c2.rand * (G_{best} - X_{ir}) \quad (4)$$

$$X_{ir+1} = X_{ir} + V_{ir+1} \quad (5)$$

METODE PENELITIAN

Pada penelitian mengenai optimasi Economic Dispatch digunakan pendekatan kuantitatif dengan menggunakan aplikasi simulasi untuk mengolah data masukan pada sistem. Dalam optimasi Economic Dispatch, baik pada Dynamic Economic Dispatch atau Statite Economic Dispatch berlaku *equality constraint* dan *inequality constraint* yang digunakan sebagai batasan untuk menentukan pembagian daya keluaran listrik sehingga dapat dianalisis secara matematis menggunakan pendekatan kuantitatif.

Teknik pengumpulan data merupakan metode yang digunakan untuk memperoleh data yang diperlukan untuk penelitian. Dalam penelitian ini menggunakan dua metode teknik pengumpulan data seperti berikut. (1) Metode wawancara merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan melalui tatap muka dan tanya jawab dengan narasumber. (2) Metode observasi yaitu pengamatan dan pencatatan langsung secara sistematis terhadap data yang dibutuhkan untuk penelitian. Dari observasi data penulis memperoleh berbagai data yang diperlukan dalam penelitian, diantaranya :

- a. Data beban pada Sistem Kelistrikan APB IV Jawa Timur.
- b. Data kapasitas daya maksimum dan minimum pada unit pembangkit termal PLN APB IV Jawa Timur.

- c. Data fungsi biaya pada unit pembangkit termal PLN APB IV Jawa Timur.
- d. Data *ramp-rate* pada unit pembangkit termal PLN APB IV Jawa Timur.

Langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut.

1. Deskripsi data
Pada penelitian ini data yang disajikan yakni data yang berkaitan dengan unit pembangkitan termal yang berada dalam lingkup Sistem Kelistrikan APB IV Jawa Timur.
2. Mengidentifikasi data
Identifikasi data pembangkit yang berisi kapasitas daya minimum dan kapasitas daya maksimum dari masing-masing unit pembangkitan pada sistem. Data beban yang berisi data beban selama 4 waktu yang akan ditanggung oleh keseluruhan unit pembangkitan pada sistem. Data *ramp-rate* yang berisi batasan laju perubahan daya dari masing-masing unit pembangkit pada sistem. Data fungsi biaya berisi fungsi biaya dari masing-masing unit pembangkit pada sistem.
3. Pembacaan data input

Sebelum memulai sistem, data masukan yang diperoleh dari obyek penelitian perlu dimasukkan terlebih dahulu. Input data tersebut akan diolah menggunakan metode PSO. Data yang akan diolah terdiri data pembangkit, jumlah variabel (jumlah unit pembangkit) yang akan dioptimasi, jumlah partikel, konstanta c_1, c_2, w (fungsi berat dari kecepatan partikel), dan iterasi maksimum.

4. Membuat inisialisasi Awal PSO

Pada proses inisialisasi awal, posisi partikel PSO dibangkitkan secara acak diantara *range* batas atas dan batas bawah yang telah ditentukan. Pada permasalahan *economic dispatch*, posisi partikel mewakili besar daya yang dibangkitkan (P_{Gi}). Jadi batas atas dan batas bawah untuk setiap posisi partikel masih tetap berada pada daya maksimum ($P_{Gi,max}$) dan minimum ($P_{Gi,min}$). Proses inisialisasi pembatasan partikel sesuai dengan *constraint* batas bawah dan batas atas yang ditunjukkan sebagai berikut :

$$P_{Gi,min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi,max} \quad (6)$$

Adanya batasan *ramp-rate* pada penelitian ini untuk menentukan batas atas dan batas bawah pembangkitan dalam t jam yang akan berubah menjadi :

$$\max(P_{min}, P_i^{t-1} - \text{Batas Bawah}) \leq P_i^t \leq \min(P_{max}, P_i^{t-1} + \text{Batas Atas}) \quad (7)$$

5. Perhitungan biaya pembangkitan

Perhitungan biaya pembangkitan diperoleh dari daya pembangkitan yang telah dihasilkan sama dengan daya permintaan. Sebelum dilakukan perhitungan biaya pembangkitan maka terlebih dahulu tandai partikel mana yang tidak memenuhi parameter *ramp-rate* dan gunakan partikel yang memenuhi *constraint*, kemudian bandingkan dengan fitness awal yang telah diperoleh pada saat inisialisasi posisi partikel awal.

Apabila terdapat biaya pembangkitan yang lebih minimum daripada *fitness* awal maka dijadikan sebagai *fitness* sementara terbaik sampai selesai iterasi maksimal. Hasil dari setiap *fitness* ini seharusnya dapat menuju ke arah konvergensi. Perhitungan biaya setiap partikel dapat ditentukan dalam persamaan 8 sebagai berikut :

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (8)$$

Setelah perhitungan dilakukan akan diperoleh total biaya pembangkitan yang paling minimal. Total biaya yang paling minimal tersebut akan dijadikan sebagai G_{best} untuk permasalahan ED dengan metode PSO.

6. *Economic Dispatch dengan Ramp-rate Constraint*
Setelah inialisasi awal diperoleh posisi partikel PSO yang tidak sama dengan beban (belum memenuhi *equality constraint*), sedangkan pada Skripsi ini rugi-rugi transmisi diabaikan sehingga total daya yang dibangkitkan akan sama dengan daya permintaan. Pada awal iterasi ini digunakan pembanding nilai *gencost* dan perhitungan *economic dispatch* seperti pada persamaan 9 dan 10 berikut.

$$C_i^t = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N C_i \cdot P_i^t \quad (9)$$

$$P_i^t = P_{Dt} \quad (10)$$

P_i^t = Daya yang dibangkitkan saat interval waktu t. (MW)

P_{Dt} = Permintaan beban saat interval waktu t. (MW)

Setelah digunakan perhitungn *economic dispatch* maka *equality constraint* dapat terpenuhi dengan nilai daya yang dibangkitkan saat interval waktu t (P_i^t) sama dengan daya permintaan beban saat interval waktu t jam (P_{Dt}).

7. *Update posisi partikel pada Particle Swarm Optimization*

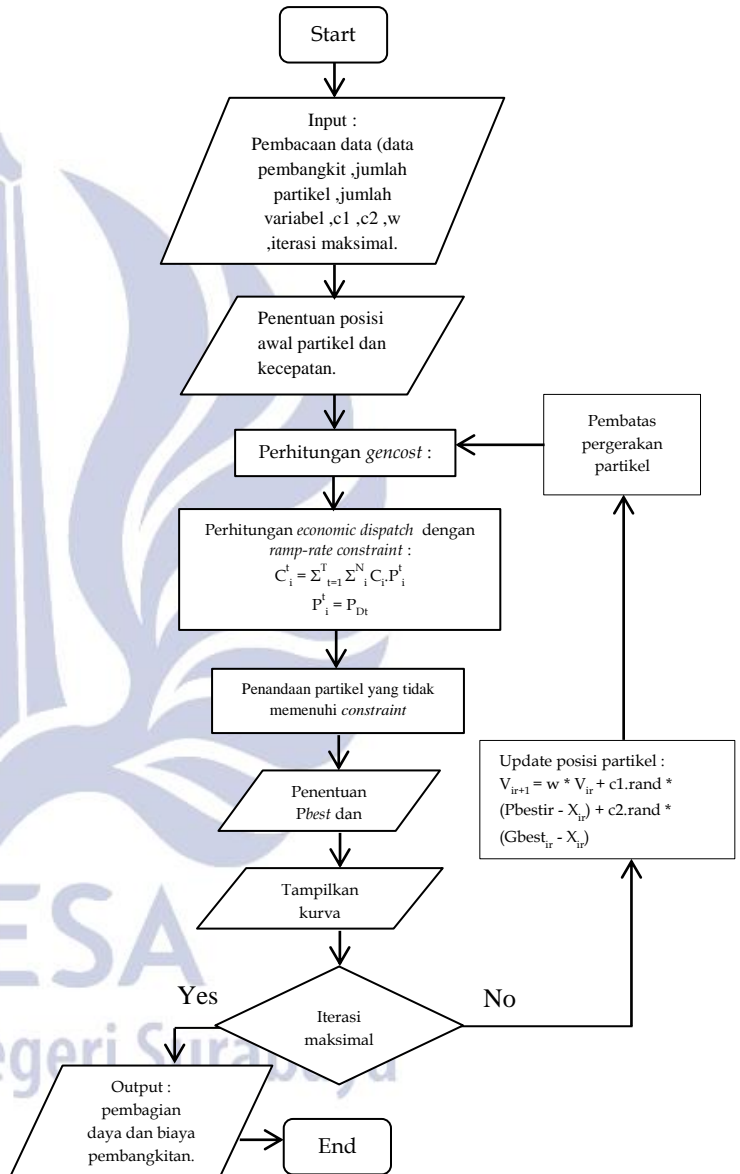
Setelah dilakukan proses *economic dispatch* maka partikel *update* dengan kecepatan partikel yang didapatkan secara acak. Tujuan dari *update* posisi partikel pada PSO berfungsi untuk memberi suatu pengaruh pada partikel yang awalnya tadi tidak mungkin untuk dijadikan sebagai calon solusi menjadi mungkin untuk dijadikan sebagai calon solusi. Begitu pula sebaliknya, bisa jadi calon solusi yang awalnya mungkin untuk dijadikan calon solusi selanjutnya. Namun dengan dilakukan suatu *update* ini maka posisi terbaik yang ingin dicapai akan menjadi terpenuhi dan kondisi konvergensi akan tercapai. Pada PSO, untuk melakukan *update* posisi partikel digunakan persamaan :

$$V_{ir+1} = w * V_{ir} + c1.rand * (Pbest_{ir} - X_{ir}) + c2.rand * (Gbest_{ir} - X_{ir}) \quad (10)$$

8. Hasil Akhir.

Pada bagian akhir ini, ditampilkkan perhitungan biaya total setiap pembangkitan yang sama dengan

beban beserta kurva konvergensi dari algoritma PSO untuk menyelesaikan permasalahan *economic dispatch* yang memperhatikan *ramp-rate constraint*. Seluruh proses yang telah dijelaskan secara rinci akan ditampilkan dalam bentuk *flowchar* pada Gambar 2. Selanjutnya dilakukan teknik analisis data yang digunakan adalah membandingkan pengaruh hasil *Static Economic Dispatch* yang mengabaikan *ramp-rate constraint* dengan *Dynamic Economic Dispatch* dengan mempertimbangkan *ramp-rate constraint* terhadap sistem.



Gambar 2. Flowchart sistem penyelesaian *Economic Dispatch* menggunakan PSO.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Data masukan yang dibutuhkan untuk dilakukan optimasi dengan menggunakan metode PSO tersebut akan ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 1. Profil Beban

Jam	1	2	3	4	5	6
Hari 1 (MW)	5024	5072	5597	5333	5423	5843

Tabel 2. Kapasitas Daya Maksimum dan Minimum

No.	UP	Max (MW)	Min (MW)
1.	Gresik	919	1932
2.	Grati	320	856
3.	Paiton	2710	5270
4.	Pacitan	300	560
5.	Tj. Awar	400	646

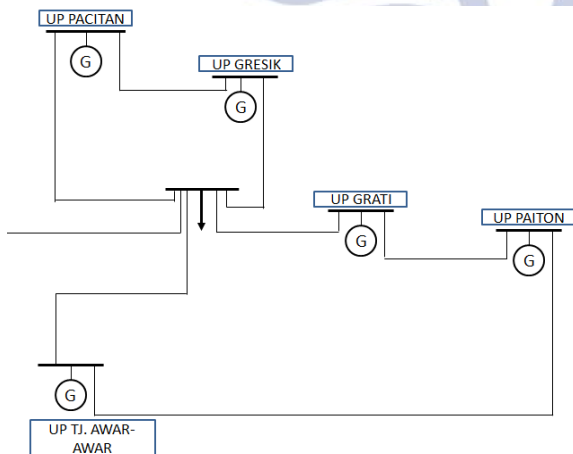
Tabel 3. Nilai Ramp-rate

No.	UP	Ramp-rate (MW/h)
1.	Gresik	308
2.	Grati	220
3.	Paiton	288
4.	Pacitan	56
5.	Tj. Awar	56

Tabel 4. Koefisien Biaya Bahan Bakar Unit Pembangkit

No.	UP	a(Rp/kWh)	b(Rp/kWh)	c(Rp/kWh)
1.	Gresik	278.9	886,659.99	539,420,
2.	Grati	4,948.73	-2,889,082	1,616,037
3.	Paiton	-158.95	1,341,359.11	-1,511,471
4.	Pacitan	-25.37	395,198.9	18,156,992
5.	Tj. Awar	17.63	267,543.83	17,077,285

Dengan ditampilkannya keseluruhan data masukan maka optimasi *Economic Dispatch* dapat dikerjakan dengan metode PSO untuk diperoleh pembagian daya yang paling optimal. Pada Gambar 3 dapat dilihat *single line diagram* dari beberapa unit pembangkitan termal pada Sistem Kelistrikan Jawa Timur yang digunakan sebagai data masukan penelitian ini.



Gambar 3. *Single line diagram* unit pembangkitan yang digunakan pada data masukan.

Pengolahan data pada permasalahan *Economic Dispatch* menggunakan PSO dengan *software* MatLab bertujuan untuk mendapatkan pembagian daya yang optimal serta biaya pada unit pembangkit dan juga pada sistem yang paling minimal. Langkah pertama adalah menentukan inisiasi yang akan digunakan sebagai parameter settingan PSO dalam menyelesaikan masalah *Economic Dispatch* pada sistem PLN APB IV Jawa Timur.

Inisiasi parameter settingan PSO yang digunakan ditampilkan pada tabel 5 di bawah ini :

Tabel 5. Koefisien *Fuel Cost*

No.	Parameter	Nilai Settingan
1.	Jumlah parameter	25
2.	Iterasi maks.	50
3.	Jumlah variabel	n
4.	c1	0,5
5.	c2	0,01
6.	Wmax.	0,9
7.	Wmin.	0,4

Seluruh nilai parameter settingan PSO pada tabel 5 digunakan secara konsisten dan nilainya tidak berubah-ubah, selain nilai untuk jumlah parameter dan iterasi maksimal. Terdapat penentuan beberapa nilai settingan pada jumlah parameter dan iterasi maksimal agar kita dapat melihat bagaimana pengaruh keduanya dalam mempengaruhi nilai hasil konvergensi dari simulasi PSO untuk permasalahan *Economic Dispatch*. Sedangkan untuk parameter lainnya bernilai konstan dan tidak mengalami perubahan apapun karena penentuannya berdasarkan data masukan yang tersedia dan parameter dasar dalam memodelkan PSO untuk permasalahan *Economic Dispatch*. Parameter jumlah variabel adalah jumlah unit pembangkitan yang akan dioptimasi, yaitu 5 unit pembangkit termal berdasarkan pada ketersediaannya dalam Sistem Kelistrikan PLN APB IV Jawa Timur. Kemudian parameter c1 dan c2 merupakan nilai konstanta *cognitive* dan *social acceleration* yang bernilai 0,5 dan 0,01. Parameter wmax dan wmin merupakan koefisien *inertia weight* maksimum dan koefisien *inertia weight* minimum, yang masing-masing bernilai 0,9 dan 0,4. Tambahan parameter bobot inersia w, digunakan untuk menghindari lama waktu pencarian nilai *global optimum* (Gbest), atau terganggunya sistem dalam pencarian nilai *local optimum* (Pbest).

Simulasi *Dynamic Economic Dispatch* menggunakan PSO

Seperti yang telah dituliskan pada deskripsi data, penelitian masalah *Economic Dispatch* ini mengambil data beban sistem PLN APB IV Jawa Timur. Berikutnya akan dilakukan simulasi menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada *software* MatLab. Penggunaan algoritma PSO untuk menyelesaikan masalah optimasi ED akan menghasilkan pembagian daya pada masing-masing unit pembangkit beserta total daya untuk keseluruhan sistem dan biaya pembangkitan untuk masing-masing unit pembangkit beserta total biaya pembangkit pada sistem. Namun pada saat dilakukan beberapa kali *run* simulasi pada *software* MatLab, diperoleh hasil yang berbeda-beda. Maka akan dicari harga total biaya pembangkitan pada sistem setelah dilakukan 5 kali *running*. Berikut pada tabel 6 akan ditampilkan biaya pembangkitan pada sistem setelah dilakukan 5 kali *run* pada MatLab dengan menggunakan data masukan beban hari pertama.

Tabel 6. Hasil lima kali *run* DED

Simulasi Ke-	Biaya	
	Pembangkit (Rp/jam)	Waktu Running (s)
1	25,946,266,318	11.7
2	26,014,358,887	13.5
3	25,981,286,422	13.7
4	26,015,451,720	11.4
5	25,945,305,765	11.8
Mean	25,980,533,822	12.4

Dari hasil lima kali *running*, telah diperoleh harga rata-rata biaya pembangkit pada sistem adalah Rp 25,980,533,822,00/6jam. Maka dari kelima harga hasil simulasi, ditetapkan bahwa biaya pembangkitan simulasi ketiga dengan harga sebesar Rp 25,981,286,422,00/6jam sebagai biaya pembangkit paling optimal karena mendekati harga rata-rata untuk kelima harga hasil simulasi. Untuk selanjutnya hasil simulasi ketiga akan diuraikan mengenai pembagian daya pada setiap unit pembangkit sehingga dapat mencapai total biaya pembangkitan untuk sistem sebesar Rp 25,981,286,422,00/6 jam pada tabel 7.

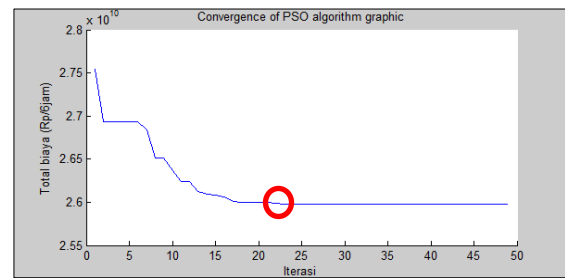
Tabel 7. *Run* DED untuk hari pertama jam pertama-keenam.

Unit	Jam 1		Jam 2	
	Daya (MW)	Biaya (Rp/jam)	Daya (MW)	Biaya (Rp/jam)
1	919	1,589,809,323	919	1,589,809,323
2	2,862	1,025,539,653	2,933	1,055,520,211
3	359	1,216,867,402	320	1,198,281,221
4	495	207,514,723	457	193,298,892
5	388	123,762,108	443	139,080,472
Total	5,024	4,163,493,209	5,072	4,175,990,119
Unit	Jam 3		Jam 4	
	Daya (MW)	Biaya (Rp/jam)	Daya (MW)	Biaya (Rp/jam)
1	1,064	1,797,857,886	919	1,589,809,323
2	3,099	1,118,929,767	3,120	1,148,354,469
3	423	1,270,937,276	320	1,198,281,221
4	512	214,053,197	457	193,298,893
5	499	154,993,093	517	150,221,401
Total	5,597	4,564,871,219	5,333	4,267,915,880
Unit	Jam 5		Jam 6	
	Daya (MW)	Biaya (Rp/jam)	Daya (MW)	Biaya (Rp/jam)
1	919	1,589,809,322	1,004	1,710,377,706
2	3,281	1,178,477,126	3,497	1,235,386,793
3	320	1,198,281,221	329	1,201,082,734
4	412	176,804,022	468	197,683,929
5	491	152,553,424	546	168,559,717
Total	5,423	4,295,925,116	5,844	4,513,090,879

Dari keseluruhan hasil total pembagian daya setiap jam yang telah dihipon, hasilnya sama dengan atau tidak ditemukan hasil kurang dari total permintaan beban. Hal ini bisa dikatakan telah memenuhi batasan *equality constraint* dimana total pembagian daya yang dihasilkan oleh sistem pada waktu tersebut harus sama dengan atau tidak kurang dari total permintaan beban pada waktu tersebut.

Total biaya pembangkitan 6jam = \sum total biaya per jam
Total biaya pembangkitan 6jam =
 Rp 4,163,493,209,00 + Rp 4,175,990,119,00 +
 Rp 4,564,871,219,00 + Rp 4,267,915,880,00 +
 Rp 4,295,925,115,00 + Rp 4,513,090,880,00
Total biaya pembangkitan 6jam = Rp 25,981,286,422,00.

Pada *script* program telah ditambahkan parameter *plot* yang berfungsi untuk mencetak kurva hasil simulasi pada saat konvergensi telah tercapai seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva konvergensi DED pada beban hari pertama.

Nampak pada Gambar 4, konvergensi untuk beban hari pertama terjadi ketika iterasi telah mencapai nilai di atas 20 iterasi, tepat pada lingkaran merah yang menandai mulai terjadi konvergensi, hingga *setting* batas iterasi yakni 50. Harga biaya pembangkit saat tercapainya konvergensi sebesar Rp 25,981,286,422,00/6jam. Pada saat konvergensi diperoleh, maka total biaya pembangkit telah mencapai harga biaya total yang ekonomis.

Simulasi *Static Economic Dispatch* menggunakan PSO

Perlakuan yang sama juga diberikan untuk *running* simulasi *Static Economic Dispatch*, ketika dilakukan beberapa kali *run* simulasi pada *software* MatLab, diperoleh hasil yang berbeda-beda. Maka akan dicari harga total biaya pembangkitan pada sistem setelah dilakukan 5 kali *running*. Berikut pada tabel 8 akan ditampilkan biaya pembangkitan pada sistem setelah dilakukan 5 kali *run* pada MatLab dengan menggunakan data masukan beban hari pertama.

Tabel 8. Hasil lima kali *run* SED.

Simulasi Ke-	Biaya	
	Pembangkit (Rp/jam)	Waktu Running (s)
1	25,594,352,894	11.6
2	25,570,126,258	11.7
3	25,654,578,487	13.5
4	25,541,943,488	15.2
5	25,648,589,473	14.8
Mean	25,601,918,120	13.4

Setelah dilakukan lima kali *run*, harga rata-rata biaya pembangkit pada sistem adalah Rp 25,601,918,120,00/6jam. Maka dari kelima harga hasil simulasi, ditetapkan bahwa biaya pembangkitan simulasi pertama dengan harga sebesar Rp 25,594,352,894,00/6jam sebagai biaya pembangkit paling optimal karena mendekati harga rata-rata untuk kelima harga hasil simulasi. Selanjutnya hasil simulasi pertama akan diuraikan secara terurai mengenai pembagian daya pada setiap unit pembangkit sehingga dapat mencapai total biaya pembangkitan pada sistem sebesar Rp 25,594,352,894,00/6 jam pada tabel 9.

Tabel 9. Run SED untuk hari pertama jam pertama-keenam.

Unit	Jam 1		Jam 2	
	Daya (MW)	Biaya (Rp/jam)	Daya (MW)	Biaya (Rp/jam)
1	919	1,589,809,323	919	1,589,809,323
2	2,899	1,041,132,539	2,873	1,030,259,485
3	333	1,202,786,047	320	1,198,281,221
4	511	213,363,788	400	172,177,352
5	362	116,388,394	560	172,430,598
Total	5,024	4,163,480,091	5,072	4,162,957,979

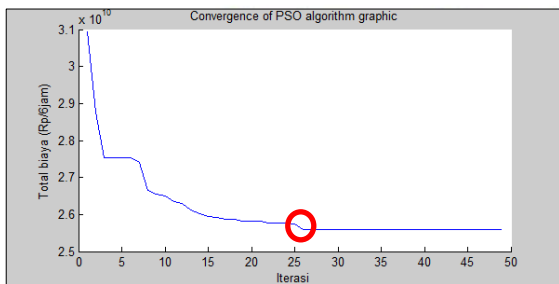
Unit	Jam 3		Jam 4	
	Daya (MW)	Biaya (Rp/jam)	Daya (MW)	Biaya (Rp/jam)
1	919	1,589,809,329	919	1,589,814,844
2	3,398	1,211,148,207	3,384	1,297,409,239
3	320	1,198,285,053	320	1,198,285,935
4	400	172,197,595	400	172,216,157
5	560	172,430,598	310	101,748,466
Total	5,597	4,343,870,782	5,333	4,269,474,641

Unit	Jam 5		Jam 6	
	Daya (MW)	Biaya (Rp/jam)	Daya (MW)	Biaya (Rp/jam)
1	919	1,589,814,780	919	1,589,809,323
2	3,461	1,226,908,173	3,905	1,302,688,264
3	320	1,198,281,344	320	1,198,281,228
4	400	172,275,570	400	172,233,971
5	323	105,349,608	300	98,927,138
Total	5,423	4,292,629,476	5,844	4,361,939,924

. Sama seperti pada kasus DED, pada SED hasilnya sama dengan atau tidak ditemukan hasil kurang dari total permintaan beban. Dapat dikatakan bahwa batasan *equality constraint* telah terpenuhi dimana total pembagian daya yang dihasilkan oleh sistem pada waktu tersebut harus sama dengan atau tidak kurang dari total permintaan beban pada waktu tersebut.

Total biaya pembangkitan 6jam = \sum total biaya per jam
Total biaya pembangkitan 6jam =
 Rp 4,163,480,091,00 + Rp 4,162,957,979 + Rp
 4,343,870,782,00 + Rp 4,269,474,641,00 + Rp
 4,292,629,477,00 + Rp 4,361,939,924,00
Total biaya pembangkitan 6jam = Rp 25,594,352,894,00.

Pada *script* program untuk simulasi SED telah ditambahkan parameter *plot* yang berfungsi untuk mencetak kurva hasil simulasi pada saat konvergensi telah tercapai seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva konvergensi DED pada beban hari pertama.

Konvergensi untuk beban hari pertama terjadi ketika iterasi telah mencapai nilai di atas 25 iterasi, seperti yang ditunjukkan oleh tanda lingkaran berwarna merah, hingga *setting* batas iterasi yakni 50. Harga biaya pembangkit saat tercapainya konvergensi adalah Rp 25,594,352,894,00/6jam. Pada saat konvergensi diperoleh,

maka total biaya pembangkit telah mencapai harga biaya total yang ekonomis.

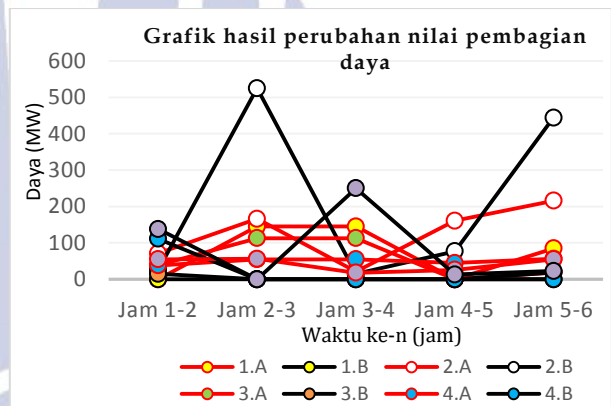
Analisis perbandingan hasil dari DED dan SED berdasarkan karakteristik pembagian daya

Terlebih dulu akan ditampilkan rasio perubahan nilai pembagian daya setiap pergantian jam untuk setiap unit pembangkitan pada tabel 10.

Tabel 10. Rasio perubahan pembagian nilai pembagian daya untuk DED dan SED.

UP	DED					SED				
	Perubahan Daya Hari Pertama (MW)									
	Jam 1-2	Jam 2-3	Jam 3-4	Jam 4-5	Jam 5-6	Jam 1-2	Jam 2-3	Jam 3-4	Jam 4-5	Jam 5-6
1	0	145	-145	0	85	0	0	0	0	0
2	71	166	21	161	216	-26	525	-15	77	444
3	-39	113	-113	0	19	-15	0	0	0	19
4	-38	55	-55	-45	56	-111	0	0	0	0
5	55	56	18	-26	55	138	0	250	13	-23

Hasil perubahan nilai DED dan SED akan disajikan dalam suatu grafik seperti Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Grafik hasil perubahan nilai pembagian daya pada DED dan SED.

Garis merah menunjukkan hasil pembagian daya dengan mempertimbangkan nilai *ramp-rate* dan garis warna hitam menunjukkan hasil pembagian daya dengan mengabaikan nilai *ramp-rate*. Garis warna merah terlihat lebih banyak berada di atas dasar permukaan atau nilai nol, sedangkan garis warna hitam lebih banyak berada pada dasar permukaan dan sesekali garisnya naik secara tajam. Dengan lebih banyak berada di atas dasar permukaan menunjukkan bahwa DED lebih sering melakukan perubahan nilai pembagian daya dan garis warna hitam yang lebih banyak berada pada dasar permukaan menunjukkan bahwa SED lebih sedikit melakukan perubahan nilai pembagian daya dengan beberapa kali terdapat perubahan nilai yang sangat tinggi.

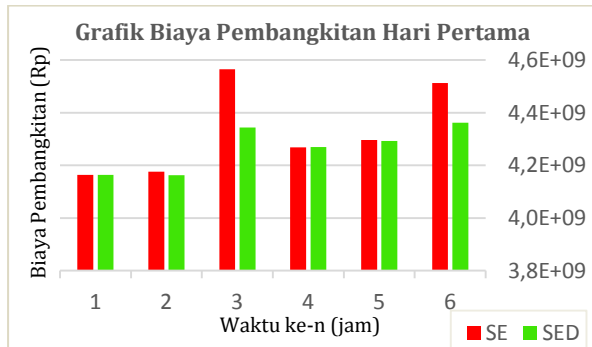
Analisis perbandingan hasil dari DED dan SED berdasarkan karakteristik biaya pembangkitan

Hasil terkait biaya pembangkitan pada DED dan SED pada beban hari pertama ditampilkan seperti pada tabel 11.

Tabel 11. Rasio perubahan pembagian nilai pembagian daya untuk DED dan SED.

Biaya pembangkitan	DED	SED
Jam 1	Rp 4,163,493,209,00	Rp 4,163,480,091,00
Jam 2	Rp 4,175,990,119,00	Rp 4,162,957,979,00
Jam 3	Rp 4,564,871,219,00	Rp 4,343,870,782,00
Jam 4	Rp 4,267,915,880,00	Rp 4,269,474,641,00
Jam 5	Rp 4,295,925,116,00	Rp 4,292,629,477,00
Jam 6	Rp 4,513,090,879,00	Rp 4,361,939,924,00
Total	Rp 25,981,286,422,00	Rp 25,594,352,894,00

Selanjutnya akan disajikan perbandingan antara keduanya dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hasil biaya pembangkitan pada DED dan SED.

Garis berwarna merah merepresentasikan hasil biaya pembangkitan pada DED sedangkan garis berwarna hijau merepresentasikan hasil biaya pembangkitan pada SED. Garis berwarna merah hampir selalu tampak lebih tinggi dari garis berwarna hijau. Dapat kita simpulkan bahwa biaya pembangkitan pada pembagian daya dengan mempertimbangkan nilai *ramp-rate* memiliki harga yang lebih mahal dibandingkan biaya pembangkitan pada pembagian daya dengan mengabaikan nilai *ramp-rate*.

PENUTUP

Simpulan

Perhitungan optimasi Economic Dispatch dilakukan dengan metode Particle Swarm Optimization (PSO) dan dilakukan simulasi sebanyak lima kali menggunakan software Matlab, diperoleh total biaya yang paling mendekati hasil rata-rata dari kelima hasil *running* pada hari pertama adalah Rp 25,981,286,422,00 dengan waktu *running* 13.7 detik untuk *Dynamic Economic Dispatch* dan Rp 25,594,352,894,00/6jam dengan waktu *running* 11.6 detik untuk *Static Economic Dispatch*.

Kemudian setelah dilakukan studi perbandingan antara *Dynamic Economic Dispatch* yang mempertimbangkan *ramp-rate constraint* dengan *Static Economic Dispatch* yang mengabaikan *ramp-rate constraint* diperoleh bahwa *Dynamic Economic Dispatch* mempunyai hasil pembagian daya yang lebih merata dibandingkan hasil pembagian daya dari *Static Economic Dispatch*. Pada *Dynamic Economic Dispatch* seluruh unit pembangkitan hampir memiliki perubahan nilai saat pergantian jam. Namun, pada *Static Economic Dispatch*

terdapat unit pembangkitan yang nilainya konstan saat pergantian jam.

Biaya pembangkitan yang lebih murah dihasilkan *Static Economic Dispatch* karena tidak terdapat batasan nilai *ramp-rate* milik masing-masing unit pembangkitan dalam optimalisasi pembagian daya., sedangkan *Dynamic Economic Dispatch* mempunyai batasan berupa nilai *ramp-rate* milik masing-masing pembangkit saat melakukan optimalisasi pembagian daya. Selain berpengaruh pada biaya pembangkitan, masalah *ramp-rate constraint* ini berpengaruh terhadap keamanan pada sistem. *Dynamic Economic Dispatch* memiliki keamanan sistem saat beroperasi yang lebih baik karena hasil perubahan pembagian daya terjaga dan lebih merata terjadi pada keseluruhan pembangkit saat pergantian jam mengacu pada batas nilai *ramp-rate* milik masing-masing pembangkitan. Keamanan sistem operasi yang kurang baik terjadi pada *Static Economic Dispatch* dikarenakan rawan terjadi hasil perubahan pembagian daya yang besar pada beberapa unit pembangkit yang mempunyai biaya bahan bakar yang lebih murah saat pergantian jam demi memenuhi permintaan kebutuhan beban.

Saran

Penelitian lebih lanjut berkaitan optimasi *Economic Dispatch* dapat dilakukan dengan membuat penambahan berbagai *constraint* yang lebih kompleks beserta penggunaan metode lain, lebih utama menggunakan model *Machine Learning* atau *Deep Learning*.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M.N., A.H.A. Abu Bakar, N.A. Rahim, J.J. Jamin, M.M. Aman. 2012. *Economic Dispatch with Valve Point Effect using Iteration Particle Swarm Optimization*. *IEEE Transaction on Power System*.
 Han, X. S., H. B. Gool, D.S. Kirchen. 2001. *Dynamic Economic Dispatch: Feasible and Optimal Solutions*. *IEEE Transaction on Power System*, Vol.16, No.1.
 Park, J.B., K.S. Lee, J.R. Shin, K.Y. Lee. 2005. *A Particle Swarm Optimization for Economic Dispatch With Nonsmooth Cost Functions*. *IEEE Transaction on Power System*, Vol. 20, No. 1.
 Zhu, Jizhong. 2015. *Optimization of Power System Operation*. New York : John Wiley and Sons Inc.
 Rao, Narasimba. 2014. *PSO technique for Solving the Economic Dispatch Problem Considering the Generator Constraints*. (*IJAREEIE*), Vol. 3, Issue 7.
 Kumar, Awadhesh. 2009. *Dynamic Economic Dispatch Using Particle Swarm Optimization*. Patiala : *Thapar University*.