

Implementasi Algoritma Genetik dalam *Economic Dispatch dengan Valve Point Loading*

Dante Rumana¹Dr. Ir. Hermawan, DEA²Mochammad Facta, ST, MT³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang

Telepon: 024 – 7460052, 7460053, 7460056, Faks.: 024 – 7460055

1) Mahasiswa Teknik Elektro

2) Dosen Pembimbing 1

3) Dosen Pembimbing 2

Abstrak

Makalah ini membahas suatu metode yang menggunakan algoritma genetik untuk penyelesaian masalah *economic dispatch*. Model permasalahannya adalah unit-unit pembangkit dengan banyak katup (*multivalve generating units*) yang memiliki fungsi biaya *non-convex*. Fungsi biaya *non-convex* tersebut menyebabkan metode terdahulu yang menggunakan teknik LaGrange tidak dapat menyelesaikannya. Sebaliknya, penggunaan algoritma genetik berhasil menyelesaikan permasalahan *economic dispatch* dengan fungsi biaya *non-convex* tersebut. Ketepatan dan keefektifan metode algoritma genetik ini dapat dibuktikan melalui contoh permasalahan dan penyelesaian yang disajikan dalam makalah ini.

Keywords: *economic dispatch*, *valve point loading*, algoritma genetik

I. Pendahuluan

Efisiensi dan pengoperasian ekonomis suatu pembangkit tenaga listrik selalu memegang peranan yang penting di dalam industri tenaga listrik. Salah satu permasalahan dalam pengoperasian ekonomis pembangkit tenaga listrik adalah *economic dispatch*, yaitu bagaimana mendapatkan biaya operasi yang minimum dengan tetap memenuhi batasan yang ada. *Economic dispatch* memerlukan optimasi dengan mengkombinasikan kondisi linear maupun non-linear, batasan-batasan yang ada, algoritma perhitungan, dan penggunaan komputer.

Linearisasi dan pendekatan untuk menyelesaikan permasalahan *economic dispatch* umum dilakukan seperti pada penyelesaian *economic dispatch* dengan metode LaGrange. Metode LaGrange membutuhkan pendekatan kurva masukan-keluaran kuadratik yang cembung (*convex input-output curve*) agar dihasilkan kurva kenaikan biaya operasi yang linear dan naik secara monoton. Karakteristik masukan-keluaran yang dihasilkan oleh pengoperasian pembangkit memang dapat dibuat pendekatannya untuk memenuhi persyaratan tersebut, akan tetapi ketidakakuratan akibat pendekatan tersebut tetap tidak diinginkan.

Algoritma genetik memiliki kemampuan untuk memperhitungkan kondisi non-linear. Algoritma genetik dapat menyelesaikan *economic dispatch* dengan pendekatan yang lebih akurat daripada metode LaGrange. Algoritma genetik mampu memperhitungkan pengaruh pengoperasian katup (*valve point loading*) pada kurva masukan-keluaran pembangkit. Jadi optimasi yang dilakukan algoritma genetik lebih mendekati kondisi sesungguhnya.

Algoritma *genetik* mengadaptasi teknik optimasi yang terdapat di alam. Di alam bebas yang kuat akan bertahan hidup, sedangkan yang lemah harus berevolusi atau punah.

II. Algoritma Genetik

Algoritma genetik adalah algoritma pencarian yang berdasarkan mekanisme seleksi alam dan prinsip genetik. Algoritma ini menggunakan teknik

acak (*random*) dan pertukaran struktur informasi untuk memperoleh hasil optimasinya. Kelebihan algoritma ini adalah kemampuan untuk meninjau struktur informasi suatu hasil yang telah dicapai untuk memperoleh hasil yang lebih baik lagi.

Algoritma genetik mengevaluasi kode yang berasal dari pengkodean parameter. Kumpulan parameter dijadikan suatu deret biner terlebih dahulu sehingga membentuk struktur informasi, kemudian evaluasi dilakukan berdasarkan struktur informasi tersebut. Algoritma genetik menganalisa tidak hanya satu struktur informasi selama prosesnya, tetapi sekumpulan populasi struktur informasi, sehingga algoritma ini mampu memperhitungkan banyak kemungkinan penyelesaian dan menentukan mana yang paling optimal. Algoritma genetik bekerja sama dengan teknik probabilitas. Untuk memanfaatkan algoritma genetik dibutuhkan penentuan fungsi obyektif dan teknik pengkodean.

2.1. Metode penyelesaian.

Algoritma genetik menganalogikan prinsip biologi pada setiap langkahnya. Algoritma ini menganalisa sejumlah himpunan penyelesaian dan mengiterasi keseluruhan anggota himpunan tersebut. Setiap iterasi disebut dengan generasi.

Parameter-parameter yang ada diubah (dikodekan) menjadi sederetan struktur informasi dengan panjang tertentu. Pengkodean diperlukan sebagai syarat untuk pertukaran struktur informasi atau gen di antara individu secara efektif dan efisien. Struktur informasi yang biasa dipakai adalah sistem biner {0,1}.

Satu deret struktur informasi itu disebut kromosom atau satu individu. Setiap individu mewakili sebuah penyelesaian. Bit-bit yang menyusun kromosom disebut gen. Bit-bit tersebut memiliki nilai tertentu yang disebut allele dan posisi tertentu yang disebut lokus. Kumpulan individu dalam satu himpunan penyelesaian disebut dengan populasi. Dengan generasi maka akan dihasilkan populasi baru dengan individu baru.

Evaluasi individu dilakukan dengan memecahkan kode struktur informasi atau kromosom dan dimasukkan ke fungsi obyektif yang telah ditentukan. Hasil perhitungan itu diolah untuk menjadi nilai

fitness yang dapat dirumuskan dengan berbagai cara tergantung pada tujuan optimasi. Untuk tujuan maksimalisasi, nilai *fitness* dapat diasumsikan sama dengan nilai fungsi obyektif agar semakin tinggi nilai fungsi obyektif maka semakin tinggi pula *fitness*-nya. Untuk tujuan minimalisasi, nilai *fitness* dapat diasumsikan berbanding terbalik dengan nilai fungsi obyektif agar semakin kecil nilai fungsi obyektif maka semakin tinggi *fitness*-nya. Kemudian individu yang telah memiliki nilai *fitness*-nya masing-masing saling dibandingkan dalam satu populasi.

Individu yang memiliki *fitness* lebih tinggi memiliki kemungkinan lebih besar untuk bertahan (terpilih kembali) pada generasi berikutnya daripada individu dengan *fitness* lebih rendah. Algoritma genetik menghentikan proses pencariannya setelah mencapai generasi maksimum (akhir) yang telah ditentukan.

2.2. Operator genetik.

Populasi awal dibentuk secara acak atau dengan teknik *random*, kemudian generasi seterusnya dibentuk berdasarkan populasi awal tersebut. Proses dalam algoritma genetik menggunakan tiga operator utama, yaitu:

1. Reproduksi.

Reproduksi secara sederhana merupakan proses seleksi kromosom individu sesuai dengan nilai *fitness*-nya. Probabilitas terpilihnya satu individu untuk bereproduksi adalah sebesar nilai *fitness* individu tersebut dibandingkan dengan nilai *fitness* seluruh individu dalam populasi. Jadi, individu dengan nilai *fitness* lebih besar akan memiliki kemungkinan lebih besar untuk direproduksi lebih banyak.

2. Pindah silang.

Proses pindah silang bertujuan untuk menambah keanekaragaman individu dalam populasi dengan ‘mengawinkan’ individu-individu pada populasi P(t) sehingga menghasilkan keturunan berupa individu-individu baru untuk ditempatkan pada populasi berikutnya P(t + 1). Individu baru akan memiliki bagian struktur kedua orang tuanya.

3. Mutasi

Melalui mutasi, individu baru dapat diciptakan dengan melakukan modifikasi terhadap satu atau lebih nilai gen.

III. Economic Dispatch

Tujuan utama *economic dispatch* adalah menjadwalkan keluaran unit pembangkit agar dapat memenuhi permintaan beban pada suatu sistem dengan biaya operasi seminimal mungkin.

Permasalahan *economic dispatch* dapat dijelaskan dengan menyelesaikan persamaan matematika berikut:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_D + P_L \dots\dots\dots (1)$$

di mana:

- P_i = daya keluaran unit pembangkit i (MW),
- n = jumlah pembangkit pada sistem,
- P_D = jumlah beban sistem (MW), dan
- P_L = jumlah rugi-rugi transmisi sistem (MW).

Juga dengan meminimalkan fungsi biaya operasi berikut:

$$C = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) \dots\dots\dots (2)$$

di mana:

- C = biaya total operasi sistem (\$/h)
- F_i(P_i) = biaya operasi unit pembangkit i (\$/h)
- P_i = daya keluaran unit pembangkit i (MW)
- i = 1, 2, 3, ..., n (untuk n pembangkit)

Economic dispatch kemudian dibatasi oleh:

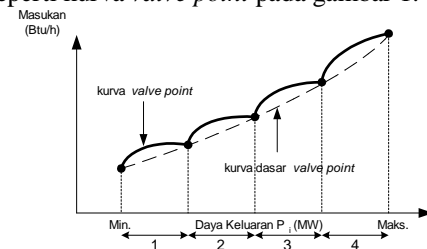
$$\underline{P}_i \leq P_i \leq \bar{P}_i \dots\dots\dots (3)$$

di mana:

- \underline{P}_i = batas minimum daya keluaran unit pembangkit i (MW), dan
- \bar{P}_i = batas maksimum daya keluaran unit pembangkit i (MW).

3.1. Kurva masukan-keluaran.

Kurva masukan-keluaran pembangkit diperoleh berdasarkan titik-titik data *heat rate test*. Efek *valve point loading* timbul ketika setiap katup pada sebuah turbin mulai membuka, menghasilkan riak (*ripple*) pada kurva masukan-keluaran unit pembangkit, seperti kurva *valve point* pada gambar 1.



Gambar 1. Kurva masukan-keluaran pembangkit.

Pendekatan fungsi kuadratik untuk karakteristik masukan-keluaran unit pembangkit umum digunakan untuk menyelesaikan *economic dispatch*. Pendekatan fungsi kuadratik menghasilkan kurva yang cembung dan halus seperti kurva dasar *valve point* pada gambar 1 dengan garis putus-putus. Pendekatan fungsi kuadratik mengabaikan pengaruh *valve point loading* dan akan mengakibatkan ketidakakuratan pada hasil akhirnya. Oleh karena itu, metode yang memperhitungkan pengaruh *valve point loading* pada kurva masukan-keluaran unit pembangkit akan terbukti sangat berguna.

Konversi masukan bahan bakar (Btu/h) ke biaya operasi (\$/h) akan menghasilkan kurva biaya operasi. Kurva dasar *valve point* dalam implementasinya akan berupa fungsi polinomial berderajat dua (kuadratik). Untuk memodelkan kurva *valve point*, sebuah persamaan sinusoidal ditambahkan pada kurva dasar *valve point*, sehingga akan diperoleh fungsi biaya operasi sebagai berikut [13]:

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i + \left| e_i \sin \left[\frac{\pi}{f_i} (P_i - \underline{P}_i) \right] \right| \dots\dots\dots (4)$$

di mana:

- F_i(P_i) = biaya operasi unit pembangkit i (\$/hour)
- P_i = daya keluaran unit pembangkit i (MW)
- \underline{P}_i = batas minimum daya keluaran unit pembangkit i (MW)
- a_i, b_i, c_i, e_i, f_i = koefisien biaya operasi pembangkit
- i = 1, 2, 3, ..., n (untuk n pembangkit)

3.2. Rugi-rugi transmisi.

Salah satu langkah dalam menyelesaikan *economic dispatch* adalah menentukan rugi-rugi daya transmisi dalam sistem. Untuk menyertakan rugi-rugi daya transmisi dalam menyelesaikan *economic dispatch*, kehilangan daya transmisi total dalam suatu sistem perlu dinyatakan sebagai fungsi dari daya keluaran masing-masing pembangkit. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan langkah tersebut adalah metode koefisien B atau koefisien rugi-rugi. Metode tersebut dikembangkan oleh Kron dan diadaptasi oleh Kirchmayer.

Metode koefisien B memasukkan pengaruh rugi-rugi transmisi dalam *economic dispatch* dengan menyatakan total rugi-rugi transmisi sebagai fungsi kuadrat daya keluaran pembangkit. Bentuk umum kuadrat fungsi tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$P_L = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_i B_{ij} P_j \dots\dots\dots (5)$$

di mana:

- P_L = total rugi-rugi transmisi (MW)
- P_i = daya keluaran unit pembangkit i (MW)
- P_j = daya keluaran unit pembangkit j (MW)
- B_{ij} = matriks koefisien B (pu)

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n = \text{penjumlahan yang mencakup seluruh sumber}$$

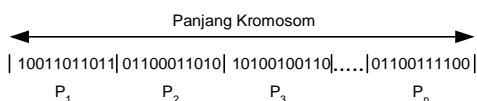
IV. Implementasi Algoritma Genetik Dalam *Economic Dispatch*

4.1. Teknik pengkodean parameter optimasi.

Dalam optimasi *economic dispatch*, parameter yang dikodekan adalah daya keluaran masing-masing pembangkit (MW). Daya keluaran masing-masing pembangkit merupakan parameter yang menentukan apakah batasan operasi sistem terpenuhi dan juga menentukan besarnya biaya operasi suatu pembangkit. Banyaknya parameter yang dikodekan adalah sama dengan jumlah pembangkit yang dinyatakan aktif (*commit*) dalam sistem.

Dalam pengoperasian suatu pembangkit, daya keluaran pembangkit memiliki batas minimum dan maksimum. Daya keluaran pembangkit [P_i (MW)] harus memenuhi batasan seperti yang dinyatakan pada persamaan (3). Algoritma genetik dalam proses pencarian solusi optimalnya juga harus memenuhi batas tersebut sehingga harus dibuat suatu ruang pencarian (*search space*).

Dalam optimasi ini setiap parameter dikodekan dalam 11 bit biner. Jika terdapat 3 pembangkit maka panjang kromosom tiap individu adalah 3 x 11 bit, yaitu 33 bit. Semakin banyak pembangkit dalam suatu sistem yang akan dioptimasi semakin panjang kromosom tiap individu.



Gambar 2. Representasi kromosom beserta gen penyusunnya

Gambar 2 menunjukkan satu individu yang terdiri atas n parameter yang berarti dalam suatu sistem terdapat n pembangkit yang akan dioptimasi. Panjang kromosom individu tersebut adalah n x 11 bit. Nilai biner {0,1} diperoleh secara acak (*random*) pada pembentukan populasi awal.

Untuk mendapatkan nilai aktual daya keluaran masing-masing pembangkit dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_{aktual} = P_{min} + decode(P_i) x \frac{P_{max} - P_{min}}{2^{11} - 1} \dots\dots\dots (6)$$

di mana:

- P_{aktual} = nilai aktual daya keluaran unit pembangkit (MW)
- P_{min} = batas minimum daya keluaran unit pembangkit (MW)
- P_{max} = batas maksimum daya keluaran unit pembangkit (MW)
- $decode(P_i)$ = fungsi yang mengubah biner ke desimal

4.2. Fungsi obyektif.

Dalam kaitan optimasi biaya operasi secara keseluruhan, maka fungsi obyektif yang harus diminimumkan adalah persamaan berikut:

$$\text{minimize } C = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) \dots\dots\dots (7)$$

di mana:

- C = biaya total operasi sistem (\$/h)
- $F_i(P_i)$ = biaya operasi unit pembangkit i (\$/h)
- P_i = daya keluaran unit pembangkit i (MW)
- i = 1, 2, 3, ..., n (untuk n pembangkit)

Economic dispatch kemudian dibatasi oleh kesetimbangan daya, yaitu jumlah total daya yang dibangkitkan oleh seluruh pembangkit dalam suatu sistem sama dengan jumlah total daya beban ditambah dengan rugi-rugi. Kesetimbangan daya secara matematis seperti dinyatakan dalam persamaan (1) atau

$$\phi(P_i) = \sum_{i=1}^n P_i - P_D - P_L = 0 \dots\dots\dots (8)$$

di mana:

- $\phi(P_i)$ = fungsi kesetimbangan daya (MW)
- P_i = daya keluaran unit pembangkit i (MW),
- n = jumlah pembangkit pada sistem,
- P_D = jumlah beban sistem (MW), dan
- P_L = jumlah rugi-rugi transmisi sistem (MW).

Fungsi $\phi(P_i)$ menyatakan penyimpangan parameter P_i terhadap kesetimbangan daya. Oleh karena itu dalam implementasinya ke algoritma genetik, fungsi tersebut dijadikan fungsi obyektif yang harus diminimumkan agar persamaan (1) atau (8) terpenuhi. Secara matematis fungsi obyektif untuk kesetimbangan daya adalah sebagai berikut:

$$\text{minimize } \varepsilon = \phi(P_i) \dots\dots\dots (9)$$

di mana:

- $\phi(P_i)$ = fungsi kesetimbangan daya (MW)
- ε = simpangan kesetimbangan daya (MW)

Fungsi obyektif selanjutnya akan diturunkan menjadi fungsi *fitness*, yaitu fungsi yang akan mengevaluasi setiap individu dalam suatu populasi.

4.3. Fungsi fitness.

Dalam algoritma genetik diperlukan fungsi *fitness*, yaitu suatu fungsi matematis yang dapat mengevaluasi setiap individu yang terbentuk dalam satu generasi. Fungsi matematis tersebut dapat menentukan *fitness* atau kualitas setiap individu yang dihasilkan. Fungsi *fitness* diturunkan dari obyektif permasalahan yang akan dioptimasi.

Dalam implementasi algoritma genetik untuk kasus *economic dispatch*, obyektif permasalahannya adalah meminimalkan total biaya operasi sistem (persamaan 7) dan meminimalkan simpangan kesetimbangan daya (persamaan 9). Dalam analisa solusi yang dihasilkan, terpenuhinya salah satu obyektif permasalahan belum tentu memberikan solusi yang optimal. Solusi yang optimal adalah solusi yang dapat memenuhi kedua obyektif tersebut.

Dalam optimasi ini digunakan dua model *fitness*, yaitu:

1. Model Sheble [14]:

$$fitness = a(1 - C_n)^c + b(1 - \epsilon_n)^d \dots\dots\dots(10)$$

$$C_n = \frac{C - C_{min}}{C_{maks} - C_{min}} \dots\dots\dots(11)$$

$$\epsilon_n = \frac{|\epsilon| - |\epsilon|_{min}}{|\epsilon|_{maks} - |\epsilon|_{min}} \dots\dots\dots(12)$$

di mana:

- a, b, c, d = parameter evaluator
- C_n = normalisasi biaya total operasi sistem
- C = biaya total operasi sistem (\$/h)
- C_{maks} = biaya total operasi sistem maksimum (\$/h)
- C_{min} = biaya total operasi sistem minimum (\$/h)
- ε_n = normalisasi simpangan kesetimbangan daya
- ε = simpangan kesetimbangan daya (MW)
- |ε|_{maks} = simpangan kesetimbangan daya maksimum (MW)
- |ε|_{min} = simpangan kesetimbangan daya minimum (MW)

2. Model Raul [13]:

$$fitness = \begin{cases} \frac{k}{1 + C_n + a|\epsilon_n|} & ; \epsilon \geq 0 \\ \frac{k}{1 + C_n + b|\epsilon_n|} & ; \epsilon < 0 \end{cases} \dots\dots\dots(13)$$

$$C_n = \frac{C - C_{min}}{C_{maks} - C_{min}} \dots\dots\dots(14)$$

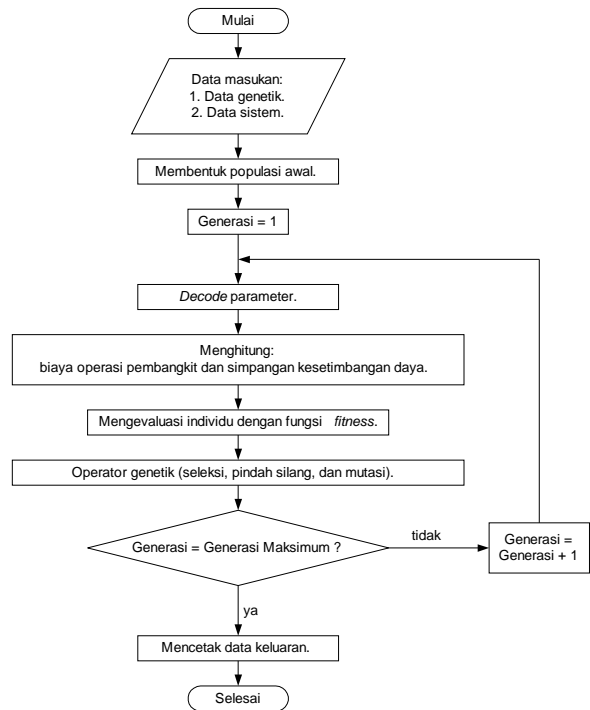
$$\epsilon_n = \frac{\epsilon}{2|\epsilon|_{maks}} \dots\dots\dots(15)$$

di mana:

- k, a, b = parameter evaluator
- C_n = normalisasi biaya total operasi sistem
- C = biaya total operasi sistem (\$/h)
- C_{maks} = biaya total operasi sistem maksimum (\$/h)
- C_{min} = biaya total operasi sistem minimum (\$/h)
- ε_n = normalisasi simpangan kesetimbangan daya
- ε = simpangan kesetimbangan daya (MW)
- |ε|_{maks} = simpangan kesetimbangan daya maksimum (MW)

4. 4. Diagram alir implementasi algoritma genetik dalam economic dispatch.

Langkah demi langkah optimasi *economic dispatch* dengan algoritma genetik dapat dilihat berdasarkan diagram alir pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir proses optimasi *economic dispatch* dengan algoritma genetik

V. Hasil Optimasi dan Analisis

Sebelum proses optimasi dilakukan, terlebih dahulu dipersiapkan data masukan yang berupa data genetik dan data sistem.

Proses optimasi dilakukan dengan menggunakan data genetik sebagai berikut:

- ◆ Maksimum generasi = 500
- ◆ Ukuran populasi = 300
- ◆ Probabilitas pindah silang = 0,95
- ◆ Probabilitas mutasi = 0,01
- ◆ Parameter evaluator = berbeda untuk tiap kasus

Data genetik merupakan variabel yang dimasukkan oleh pemakai (*user*) program. Data genetik yang optimal diperoleh berdasarkan *trial and error*. Data genetik di atas digunakan untuk mengoptimasi data sistem [13] yang dapat dilihat pada lampiran A.

5.1. Economic dispatch dengan valve point loading, dengan memperhitungkan rugi-rugi, dan dengan model fitness Raul.

Berdasarkan beberapa kali percobaan, untuk kasus ini diperoleh parameter evaluator optimal sebagai berikut: k = 1, a = 1, dan b = 5. Hasil optimasi untuk kasus ini dapat dilihat pada lampiran B. Yang tercantum pada tabel B.1 adalah individu terbaik tiap generasi. Generasi yang ditampilkan per-50 generasi sampai dengan generasi maksimum yaitu 500.

Pada tabel B.1 terlihat bahwa pada generasi pertama dihasilkan solusi dengan biaya operasi dan simpangan yang besar. Oleh karena itu individu terbaik pada generasi pertama tersebut bukanlah solusi yang optimal. Simpangan yang dimaksud di sini adalah simpangan terhadap kesetimbangan daya

yaitu total daya yang dibangkitkan dikurangi dengan beban dan rugi-rugi. Solusi optimal yang diinginkan adalah biaya operasi dan simpangan yang seminimum mungkin.

Pengaruh naik turunnya simpangan dan biaya operasi dalam menentukan solusi yang lebih baik ditentukan oleh parameter evaluator dalam fungsi *fitness*. Pada kasus ini digunakan $a = 1$ dan $b = 5$. Hal ini berarti untuk simpangan bernilai positif, naik turunnya simpangan sama pengaruhnya dengan naik turunnya biaya operasi dalam menentukan solusi yang lebih baik. Akan tetapi untuk simpangan yang bernilai negatif, naik turunnya simpangan lebih besar pengaruhnya daripada naik turunnya biaya operasi dalam menentukan solusi yang lebih baik. Selain itu solusi dengan simpangan bernilai positif akan lebih optimal daripada solusi dengan simpangan bernilai sama tetapi negatif dengan biaya operasi yang sama.

Pada tabel B.1 dapat dilihat bahwa semakin banyak generasi semakin optimal solusi yang dihasilkan. Proses pencarian solusi dalam algoritma genetik berhenti apabila sudah mencapai generasi maksimum yang telah ditentukan. Tetapi bila hasil yang diperoleh sampai generasi akhir masih fluktuatif atau tidak terlihat adanya saturasi, berarti algoritma genetik masih mungkin memperoleh solusi yang lebih optimal. Yang dimaksud dengan saturasi di sini adalah tidak terjadinya perubahan solusi sampai generasi maksimum tercapai.

Gambar B.1 memperlihatkan proses pencarian solusi akhir terhadap total daya keluaran dalam bentuk kurva. Total daya keluaran yang diinginkan adalah sebesar bebannya yaitu 1263 MW ditambah dengan rugi-rugi transmisi. Berdasarkan kurva tersebut terlihat bahwa solusi yang diperoleh algoritma genetik mendukung terpenuhinya total daya keluaran yang diinginkan.

Gambar B.2 memperlihatkan proses pencarian solusi akhir terhadap biaya operasi dalam bentuk kurva. Biaya operasi yang diinginkan adalah seminimum mungkin. Berdasarkan kurva tersebut terlihat bahwa solusi yang diperoleh algoritma genetik meminimumkan biaya operasi.

5.2. Komparasi hasil optimasi.

Untuk dapat mengetahui pengaruh *valve point loading*, rugi-rugi, dan model *fitness* terhadap optimasi *economic dispatch*, perlu dilakukan perbandingan antara hasil optimasi yang telah diperoleh.

5.2.1. Komparasi hasil optimasi *economic dispatch* tanpa *valve point loading* dengan *economic dispatch* dengan *valve point loading*.

Perbandingan hasil optimasi *economic dispatch* tanpa *valve point loading* dengan *economic dispatch* dengan *valve point loading* dapat dilihat pada tabel C.1. Hasil optimasi yang dicantumkan pada tabel tersebut adalah hasil biaya operasi optimal yang diperoleh masing-masing model.

Berdasarkan tabel C.1 dapat dilihat bahwa optimasi *economic dispatch* tanpa *valve point loading* menghasilkan biaya operasi yang lebih kecil daripada optimasi *economic dispatch* dengan *valve point loading*. Hal tersebut karena biaya operasi *economic dispatch* tanpa *valve point loading* diperoleh dengan

memasukkan daya keluaran masing-masing pembangkit ke dalam fungsi biaya operasi kuadratik yang mengabaikan *valve point loading*. Karena fungsi biaya operasi yang memperhitungkan *valve point loading* lebih mendekati kondisi sebenarnya, maka daya keluaran masing-masing pembangkit hasil optimasi *economic dispatch* tanpa *valve point loading* perlu dimasukkan ke dalam persamaan 4 untuk mengetahui hasil (*performance*) yang sesungguhnya.

Hasil perhitungan biaya operasi *economic dispatch* tanpa *valve point loading* menggunakan persamaan 4 kemudian dibandingkan dengan hasil optimasi *economic dispatch* dengan *valve point loading*, seperti yang diperlihatkan pada tabel C.2. Berdasarkan tabel C.2 terlihat bahwa optimasi *economic dispatch* dengan *valve point loading* menghasilkan biaya operasi yang lebih kecil, sehingga dapat dikatakan lebih optimal, daripada hasil optimasi *economic dispatch* tanpa *valve point loading*. Jadi fungsi biaya operasi yang menggunakan pendekatan fungsi kuadratik dan mengabaikan pengaruh *valve point loading* menyebabkan kekurangakuratan dalam optimasi *economic dispatch*. Metode yang memperhitungkan pengaruh *valve point loading* terbukti lebih menguntungkan.

5.2.2. Komparasi hasil optimasi *economic dispatch* tanpa rugi-rugi dengan *economic dispatch* dengan rugi-rugi.

Perbandingan hasil optimasi *economic dispatch* tanpa rugi-rugi dengan *economic dispatch* dengan rugi-rugi dapat dilihat pada tabel C.3. Hasil optimasi yang dicantumkan pada tabel tersebut adalah besarnya rugi-rugi, total daya pembangkitan, dan biaya operasi optimal yang diperoleh masing-masing model.

Berdasarkan tabel C.3 dapat dilihat bahwa dengan adanya rugi-rugi, maka daya total yang dibangkitkan lebih besar daripada tanpa rugi-rugi. Hal tersebut karena pembangkit harus menyediakan daya yang mampu menyuplai beban setelah dikurangi rugi-rugi transmisi. Bila tidak ada rugi-rugi transmisi, maka pembangkit harus menyediakan daya hanya sebesar bebannya.

Dengan semakin besarnya daya yang dibangkitkan, maka biaya operasi juga semakin besar, seperti terlihat pada tabel C.3 di mana biaya operasi dengan adanya rugi-rugi lebih besar daripada biaya operasi tanpa rugi-rugi. Hal tersebut karena biaya operasi merupakan fungsi dari daya keluaran pembangkit dan berbanding lurus.

5.2.3. Komparasi hasil optimasi model *fitness* Sheble dengan *fitness* Raul.

Komparasi hasil optimasi *economic dispatch* model *fitness* Sheble dengan *fitness* Raul untuk simpangan, biaya operasi, dan generasi saturasi dapat dilihat pada tabel C.4. Generasi saturasi yang dimaksud di sini adalah generasi pada saat terjadinya saturasi.

Berdasarkan tabel C.4 dapat dilihat bahwa simpangan dan biaya operasi yang dihasilkan kedua model *fitness* tidak berbeda jauh. Perbedaan dapat terjadi karena pengaruh model *fitness* yang digunakan. Bila dilihat dari bentuknya, model *fitness* Sheble tidak dapat memberikan hukuman (*penalty*)

terhadap solusi dengan simpangan bernilai negatif, tidak seperti model *fitness* Raul.

Tetapi pada kasus “tanpa *valve point loading* tanpa rugi-rugi ($b=2$)” dan “tanpa *valve point loading* dengan rugi-rugi ($b=3$)” dengan *fitness* Raul pada tabel C.4, solusi terbaik yang dihasilkan algoritma genetik memiliki simpangan bernilai negatif. Hal ini karena *penalty* yang dikenakan pada simpangan bernilai negatif (parameter evaluator b) tidak terlalu besar. Semakin besar nilai b maka algoritma genetik akan semakin menghindari solusi dengan simpangan bernilai negatif. Simpangan negatif terjadi bila daya total yang dibangkitkan lebih kecil daripada beban ditambah rugi-rugi.

VI. Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil optimasi *economic dispatch* unit pembangkit termis sistem tenaga listrik dengan menggunakan algoritma genetik, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Algoritma genetik dapat memberikan sekumpulan solusi untuk permasalahan *economic dispatch*, sehingga solusi optimal yang bersifat global (*global solution*) dapat ditentukan dari sekumpulan solusi tersebut.
2. Metode optimasi dengan algoritma genetik sangat baik diimplementasikan dalam suatu permasalahan optimasi yang bersifat *non linear* dan *non convex* seperti *economic dispatch* dengan *valve point loading* karena proses pencariannya menggunakan pengkodean parameter.
3. Optimasi *economic dispatch* tanpa *valve point loading* menghasilkan biaya operasi yang lebih kecil daripada optimasi *economic dispatch* dengan *valve point loading* karena biaya operasinya dihitung dengan persamaan yang mengabaikan efek *valve point loading*.
4. Untuk mengetahui hasil (*performance*) yang sesungguhnya, maka daya keluaran masing-masing pembangkit hasil optimasi *economic dispatch* tanpa *valve point loading* perlu dimasukkan ke dalam fungsi biaya operasi yang memperhitungkan *valve point loading*. Hasilnya adalah optimasi *economic dispatch* tanpa *valve point loading* menghasilkan biaya operasi yang lebih besar daripada optimasi *economic dispatch* dengan *valve point loading*. Jadi optimasi *economic dispatch* dengan *valve point loading* dapat dikatakan lebih optimal daripada optimasi *economic dispatch* tanpa *valve point loading*.
5. *Economic dispatch* dengan memperhitungkan rugi-rugi transmisi menghasilkan daya keluaran total pembangkit dan biaya operasi yang lebih besar daripada *economic dispatch* tanpa memperhitungkan rugi-rugi.
6. Walaupun algoritma genetik menggunakan model *fitness* yang berbeda, tetapi tujuan ataupun batasan yang diinginkan tetap terpenuhi selama model *fitness* yang digunakan mencerminkan tujuan (*objective*) yang hendak dicapai.

VII. Daftar Pustaka

- [1] Bakirtzis, A., Petridis, V., Kazarlis, S., *A Genetic Algorithm Solution to The Economic Dispatch Problem*, Department of Engineering Aristotle University of Thessaloniki, Greece.

- [2] Chen, Po-Hung, Chang, Hong-Chan, *Large-Scale Economic Dispatch by Genetic Algorithm*, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 10, no. 4, 1995.
- [3] Davis, Lawrence E.D., *Hand Book of Genetic Algorithm*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- [4] Fink, L. H., Kwatny, Harry G., McDonald, John P., *Economic Dispatch of Generation Via Valve Point Loading*, IEEE Trans., vol. PAS-88, no. 6, 1969.
- [5] Goldberg, David E., *Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
- [6] Happ, H. H., Ille, W. B., Reisinger, R. H., *Economic System Operation Considering Valve Throttling Losses, Part I – Method of Computing Valve-Loop Heat Rate on Multi-Valve Turbines*, A.I.E.E. Trans., vol. 81, Part III, 1962.
- [7] Jha, R.S., *Power System Analysis and Stability*, Dhampat Rai and Sons, New Delhi, 1980.
- [8] Kirchmayer, Leon K., *Economic Operation of Power Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1958.
- [9] Mahalanabis, A.K., Kothari, D.P., Ahson, S.I., *Computer Aided Power System Analysis and Control*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1988.
- [10] Ringlee, R. J., Williams, D. D., *Economic System Operation Considering Valve Throttling Losses, Part III – Distribution of System Loads by the Method of Dynamic Programming*, A.I.E.E. Trans., vol. 81, Part III, 1962.
- [11] Saadat, Hadi, *Power System Analysis*, McGraw-Hill, 1999.
- [12] Stevenson, William D., Jr., *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, edisi keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.
- [13] V., Ildefonso Harnisch, H., Raul Sanhueza, R., Horacio Diaz, *Despacho Economico Con Unidades De Caracteristicas No Convexas Empleando Algoritmos Geneticos*, Universitas de Tarapaca, 2000.
- [14] Walters, David C., Sheble, Gerald B., *Genetic Algorithm Solution of Economic Dispatch with Valve Point Loading*, IEEE Transactions on Power System, vol. 8, no. 3, 1993.
- [15] Wood, Allen J., Wollenberg, Bruce F., *Power Generation, Operation, and Control*, John Wiley & Sons, Inc., Singapore, 1984.

Dante Rumana (L2F096573) lahir di Jakarta. Saat ini sedang menyelesaikan pendidikan S-1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang dengan konsentrasi Ketenagaan.

Menyetujui/Mengesahkan
Dosen Pembimbing

Mochammad Facta, ST, MT
NIP: 132 231 134