

# Penjadwalan Pembangkit Termal dengan *Improved Lagrange Relaxation* pada Sistem Jamali - 500 kV

Ina Sunaryantiningsih<sup>#1</sup>, Hadi Suyono<sup>#2</sup>, Wijono<sup>#3</sup>

**Abstract**— Unit Commitment (UC) is a problem to schedule generating units in a power system economically meeting the requirements of load demand and spinning reserve. Up to now several methods have been applied to solve this problem. Among those methods Lagrange Relaxation (LR) seems to be the most suitable one. However, this method may suffer from numerical convergence problem. This paper proposes a new method for solving UC problem. The proposed method uses Evolutionary Programming (EP) to update Lagrange multipliers and improves the performance of LR method. Simulation results show that the proposed method can provide a better solution compared with another methods.

**Index Terms**— Unit commitment, Lagrange Relaxation Method, Lagrange Multiplier, Evolutionary Programming

**Abstrak**— Unit Commitment adalah penjadwalan unit pembangkit pada sistem tenaga secara ekonomis, yang memenuhi beban permintaan dan beban cadangan berputar. Hingga kini beberapa metode telah di terapkan untuk memecahkan masalah ini. *Lagrange Relaxation Method* merupakan salah satu yang paling sesuai. Namun metode ini memiliki masalah konvergensi numerik. Makalah ini mengusulkan metode hybrid yaitu metode Evolutionary Programming (EP) untuk memperbaiki *Lagrange* untuk meningkatkan performa kinerja metode LR.

**Kata Kunci**— Unit commitment, Lagrange Relaxation Method, Lagrange Multiplier, Evolutionary Programming

## I. PENDAHULUAN

**P**ENJADWALAN unit pembangkit menentukan unit yang hidup dan mati (*on and off*) hal ini disebut dengan *unit commitment* didefinisikan sebagai penjadwalan produksi daya listrik dengan

Ina Sunaryantiningsih, Mahasiswa Program Magister Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (e-mail: [inasmerdeka@gmail.com](mailto:inasmerdeka@gmail.com)).

Hadi Suyono, Dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (e-mail: [hadis@ub.ac.id](mailto:hadis@ub.ac.id)).

Wijono, Dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (e-mail: [wijono@ub.ac.id](mailto:wijono@ub.ac.id))

memperhatikan kondisi optimal serta batasan-batasan (*constrain*) unit pembangkit pada periode harian, mingguan dan bulanan dengan tujuan mendapatkan biaya ekonomis pembangkitan.

Dimana efisiensi *thermal* merupakan indikator penilaian atas konversi energi primer menjadi energi listrik pada mesin-mesin pembangkit *thermal*. Sedangkan pembangkitan *thermal* adalah suatu sistem pembangkitan yang beroperasi dengan mengubah Energi Kimia menjadi Energi Panas. Energi Kimia berupa bahan bakar yang diubah menjadi Energi Panas melalui proses pembakaran, kemudian dikonversikan menjadi Energi Mekanik menggerakkan generator yang kemudian menghasilkan listrik. Sehingga di perlukanya optimasi biaya operasional pembangkitan energi listrik.

Dalam sistem tenaga listrik terdiri dari sejumlah unit pembangkit yang saling terhubung interkoneksi. Penentuan penjadwalan adalah faktor penting dalam pembiayaan dan perencanaan operasional pembangkit, sehingga didapat operasi pembangkit yang optimum dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Perencanaan operasional pembangkit sistem tenaga listrik sangat erat kaitannya dengan masalah *unit commitment*, yaitu masalah pemilihan unit-unit pembangkit yang akan dioperasikan untuk memenuhi kebutuhan beban listrik. *Unit Commitmen*, ini nantinya akan berpengaruh pada biaya bahan bakar. Oleh karena itu, perlu diupayakan optimasi operasi unit pembangkit agar dicapai biaya operasional pembangkitan yang minimum.

Ada banyak metode yang ditawarkan untuk memecahkan masalah *unit commitment*, di mana metode-metode tersebut menawarkan optimasi biaya operasional pembangkitan, dan secara klasifikasi metode yang digunakan dibagi menjadi dua, yaitu metode *Deterministik* atau pendekatan secara perhitungan matematika teknis, sedangkan metode *Undeterministik* meliputi *heuristic* dan teknik probabilitas. Metode *Deterministik* diantaranya: metode *Dynamic programming*, *Lagrange Relaxation*, yang biasanya memiliki waktu yang cepat dalam menyelesaikan masalah akan tapi tidak memiliki kemampuan untuk mengupdate *Lagrange Multipliers* atau solusi yang terbaik, sedangkan metode *Undeterministik* diantaranya: *Genetic Algorithm*, *Hybrid Genetik Algorithm*, *Evolutionary Programming*, merupakan metode yang



biaya *start up* pada minimalisasi yang berhubungan dengan  $(P_{it})$  fungsi untuk meminimalkan adalah:

$$\min [ F_i(P_{it}) - \lambda_i P_{it} ] \quad (12)$$

Fungsi minimum dari persamaan diatas dapat diperoleh dengan mencari turunan pertama sebagai berikut:

$$\frac{d}{dP_{it}} [ F_i(P_{it}) - \lambda_i P_{it} ] = \frac{d}{dP_{it}} F_i(P_{it}) - \lambda_i = 0 \quad (13)$$

Persamaan (13) di atas dapat diselesaikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{d}{dP_{it}} F_i(P_i^{opt}) = \lambda_i \quad (14)$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui nilai  $P_i^{opt}$  yang merupakan daya keluaran optimal setiap unit ke- $i$ . Dari persamaan (14) di atas terdapat tiga ketentuan yang dapat diambil berkaitan hubungan antara  $P_i^{opt}$  dengan batas pembangkitan unit sebagai berikut:

Jika  $P_i^{opt} \leq P_i^{\min}$ , maka :

$$\min [ F_i(P_{it}) - \lambda_i P_{it} ] = F_i(P_i^{\min}) - \lambda_i P_i^{\min} \quad (15)$$

Jika  $P_i^{\min} \leq P_i^{opt} \leq P_i^{\max}$ , maka :

$$\min [ F_i(P_{it}) - \lambda_i P_{it} ] = F_i(P_i^{opt}) - \lambda_i P_i^{opt} \quad (16)$$

Jika  $P_i^{opt} \geq P_i^{\max}$ , maka :

$$\min [ F_i(P_{it}) - \lambda_i P_{it} ] = F_i(P_i^{\max}) - \lambda_i P_i^{\max} \quad (17)$$

Penyelesaian masalah program dinamis dua keadaan untuk tiap unit dilakukan dalam langkah yang biasa seperti cara penyelesaian untuk *Dynamic Programming* dalam menyelesaikan masalah komitmen unit dengan penambahan biaya *start up* ( $ST_i$ ) yang sebelumnya diabaikan sementara. Apabila dilakukan pencarian untuk meminimalkan  $[(F_i(P_{it}) + ST_i) - \lambda_i P_{it}]$  pada tiap stage dan ketika  $U_{it} = 0$  nilai yang didapat akan selalu menjadi nol, oleh karena itu dilakukan suatu cara untuk mendapatkan nilai yang lebih kecil dengan cara sebagai berikut :

$$[(F_i(P_{it}) + ST_i) - \lambda_i P_{it}] < 0 \quad (18)$$

#### A. Pengaturan Pengali Lagrange

Untuk cara konvensional biasanya pengaturan pengali *Lagrange* ( $\lambda$ ) untuk tiap-tiap periode waktu jam digunakan optimasi subgradien ( $\xi$ ), dengan persamaan sebagai berikut :

$$\lambda_i^{k+1} = \lambda_i^k + \alpha \xi_i \quad (19)$$

dengan subyek pada  $\lambda_i \geq 0$

dimana  $k$  adalah nomer iterasi,  $\alpha$  merupakan pengali untuk perubahan  $\lambda_i$  yang diperoleh dari hasil pengujian, dan  $\xi_i$  adalah turunan dari fungsi *Lagrange* terhadap  $\lambda_i$  yang dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut :

$$\xi_i = \nabla \mathcal{L}(\lambda_i) = D_i - \sum_{i=1}^N P_{it} U_{it} \quad (20)$$

Pada *dynamic programming* dilakukan perhitungan semua biaya *start up*, *minimum up* dan *down time* untuk semua unit.

#### B. Updating Lagrange Multipliers Part

Prosedur penguraian LR tergantung pada perhitungan/pencarian nilai inisial/awal dari LM dan juga pada metode yang digunakan untuk mengupdate pengalinya (*multipliers*). Pemakaian EP untuk memilih dan mengup-date nilai LM, sehingga dapat meningkatkan performa/keandalan dari metode LR. EP adalah metode pencarian paralel didasar pada mekanisme dari seleksi evolusi alam dan genetika alami. Flowchart Metode LR dengan update menggunakan EP diberikan pada Gambar 2.

##### 1. Representasi atau Pengkodean

Langkah pertama kali yang dilakukan dalam penggunaan EP adalah melakukan pengkodean atau representasi terhadap *permasalahan* yang akan dilakukan. Disini nilai yang di kodekan adalah nilai dari  $\lambda$ ,  $\mu$  untuk interval penjadwalan 24 jam. Dengan matrik yang dapat kita tuliskan sebagai berikut:

$$\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_{24}]$$

$$\mu = [\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_{24}]$$

Secara umum EP dibentuk serangkaian kromosom yang ditandai dengan  $x_i$  ( $i=1,2,\dots,N$ ). setiap elemen dalam kromosom ini adalah variable string yang disebut gen, berisi nilai-nilai atau allele. Variable-variabel ini dapat dinyatakan dalam bentuk bilangan interger, dari matrik diatas akan diterjemahkan atau dikodekan dalam bentuk EP dengan cara acak sebagai berikut:

$$\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_{24}] [1.3, 1.2, 0.2, \dots, N]$$

$$\mu = [\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_{24}]$$

Selanjutnya beberapa kromosom dibentuk dan berkumpul membentuk populasi. Populasi inilah populasi awal bagi EP untuk awal melakukan pencarian.

##### 2. Fungsi Fitness (Fungsi Evaluasi)

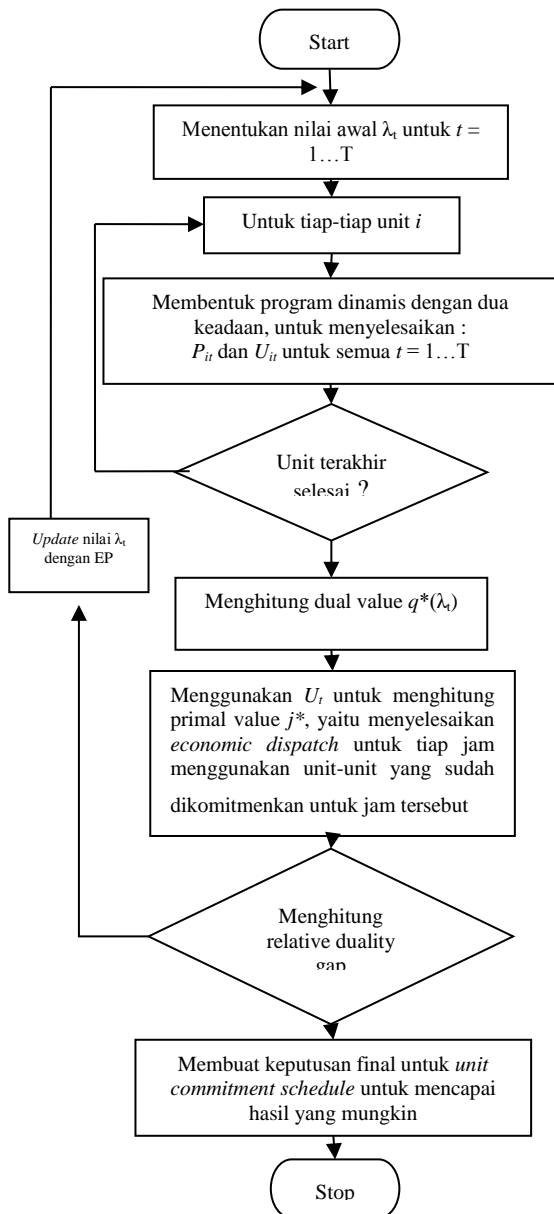
Dalam EP, sebuah fungsi fitness (*FIT*) harus dirancang untuk masing-masing permasalahan yang akan diselesaikan. Dengan menggunakan kromosom tertentu, fungsi objektif atau fungsi evaluasi akan mengevaluasi status masing-masing kromosom. Setiap gen  $x_i$  ( $i=1,2,\dots,N$ ) dipergunakan untuk mengitung  $f_k(x)$  ( $k=1,2,\dots,POPSIZE$ ).

Pada permulaan optimasi, biasanya nilai fitness masing-masing individu masih mempunyai rentang yang lebar. Seiring dengan bertambah besar generasi, beberapa kromosom mendominasi populasi dan mengakibatkan rentang nilai fitness semakin kecil.

##### 3. Mutation (mutasi)

Operator mutasi digunakan untuk memodifikasi satu atau lebih nilai gen dalam satu individu. Cara kerjanya dengan membangkitkan sebuah nilai random  $r_k$  dimana  $k=1,2,\dots$  (panjang kromosom). Probabilitas mutasi (*Pm*) ditentukan dan digantikan untuk mengendalikan frekuensi operator mutasi. Apabila nilai random  $r_k$ , *Pm* maka gen ke- $k$  kromosom tersebut terpilih untuk mengalami mutasi. Proses mutasi dalam *Evolutionary Programming* menggunakan operator *Gaussian mutation*, dimana setiap individu akan terpilih secara acak untuk

mengalami mutasi berdasarkan nomor acak Gaussian untuk menciptakan individu baru (*offspring*). Fungsi dari operator mutasi adalah untuk menghindari agar solusi masalah yang diperoleh bukan merupakan solusi local optimum. Tipe dan implementasi dari operator mutasi bergantung pada jenis pengkodean dan permasalahan yang dihadapi. Seberapa sering mutasi dilakukan dinyatakan dalam suatu probabilitas mutasi,  $P_m$ . Posisi elemen pada kromosom yang akan mutasi ditentukan secara random. Mutasi dikerjakan dengan cara melakukan perubahan pada elemen tersebut.



Gambar 2. Flowchart Metode LR Update EP

#### 4. Seleksi

Masalah yang paling mendasar pada proses ini adalah bagaimana proses penyeleksiannya. Menurut teori Darwin proses seleksi individu adalah: “*individu terbaik akan tetap hidup dan menghasilkan keturunan*”. Pada proses seleksi ini dapat

menggunakan banyak metode seperti *roulette wheel selection*, *rank selection*, *elitesm* dan lain sebagainya.

#### 5. Terminating criteria

Dalam menentukan hasil pemecahan yang mungkin pada solusi minimalisasi biaya pembangkitan  $j^*$ , dimana jika status  $U_{it} = 0$ , maka dapat menentukan nilai awal  $j^*$  pada nilai yang besar, sedangkan nilai awal  $q^*$  sama dengan 0. Nilai  $j^*$ -  $q^*$  dinamakan *duality gap* dan dapat disebut *relative duality gap* pada persamaan sebagai berikut :

$$\frac{j^* - q^*}{q^*} \quad (21)$$

dimana :

- a.  $j^*$  (*primal value*) adalah nilai optimal fungsi obyektif  $F(P_{it}, U_{it})$ , yang merupakan total biaya pembangkitan dari semua periode jam terhadap daya keluaran ( $P_{it}^*$ ) yang diperoleh dari hasil perhitungan *economic dispatch*. Dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut:

$$j^* = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N [F_i(P_{it}^*) + ST_i(1 - U_{i,t-1})] U_{it} \quad (22)$$

- b.  $q^*$  (*dual value*) adalah nilai dari fungsi *Lagrange* (£) dengan memperhatikan pengali *Lagrange* ( $\lambda_t$ ) dan variabel  $P_{it}$  dan  $U_{it}$ .

Nilai yang didapat dari *relative duality gap* akan menentukan berhentinya proses dari prosedur *Lagrange relaxation*, dimana apabila nilai dari *relative duality gap* sudah cukup kecil maka prosedur *Lagrange relaxation* sudah cukup menghasilkan solusi yang optimal.

#### IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Untuk pemecahan masalah *unit commitment* digunakan bantuan program komputer. Program komputer ini sangat berguna untuk mempercepat proses perhitungan yang membutuhkan ketelitian tinggi dan sering melibatkan *iterasi* yang memerlukan waktu yang lama bila dikerjakan secara manual.

Penelitian ini dilakukan simulasi pada perhitungan pada pembangkit listrik *thermal* dan untuk menentukan total biaya pembangkitan yang ekonomis dari penjadwalan yang dilakukan dengan batasan *inequality dan equality*.

Metode yang digunakan adalah *deterministik* dan *undeterministik* dimana metode *deterministik* adalah metode (konvensional) atau sering disebut metode *Lagrange* yang perhitungannya melalui pendekatan matematis. Sedangkan metode *undeterministik* atau disebut (*heuristic*) adalah metode dengan pendekatan stokastik probabilistic seperti optimasi dengan metode *Evolutionary Programming (EP)*. Dari kedua metode tersebut mana yang baik untuk dijadikan referensi penjadwalan (*scheduling*) pembangkit *thermal* pada sistem 500kV dengan pembebanan 24 jam (satu hari).

Setelah mendapatkan hasil optimal seperti yang sudah dijelaskan diatas, selanjutnya dilakukann perhitungan total biaya operasi pembangkitan dalam tiap jam, dan juga perhitungan biaya operasi dalam sistem UBS P3B Jawa Bali sebagai perbandingan, yang diperoleh dari hasil perhitungan fungsi obyektif dengan

memperhatikan data pembebanan harian UBS P3B Jawa Bali. Total biaya pada setiap jamnya dengan menggunakan metode LR dan ELPR diberikan pada Tabel 1 dan 2. Tabel 1 menunjukkan perhitungan pada setiap jamnya sedangkan Tabel 2 menunjukkan hasil perbandingan antara metode LR dan RPLR.

TABLE I  
TOTAL BIAYA PADA SETIAP JAMNYA DENGAN METODE LR DAN EPLR

Jam	Metode LR	Kombinasi Metode EP dan LR
00.00-01.00	766.761.138	659.178.245
01.00-02.00	705.621.586	659.178.245
02.00-03.00	705.621.586	659.178.245
03.00-04.00	719.391.999	659.178.245
04.00-05.00	801.061.977	678.562.632
05.00-06.00	685.123.630	586.939.077
06.00-07.00	648.335.634	567.580.782
07.00-08.00	778.544.533	662.570.029
08.00-09.00	792.479.469	675.116.263
09.00-10.00	792.479.469	675.116.263
10.00-11.00	792.479.469	675.116.263
11.00-12.00	779.497.649	656.924.361
12.00-13.00	780.598.672	660.307.379
13.00-14.00	794.364.084	681.871.709
14.00-15.00	847.649.083	703.595.835
15.00-16.00	863.101.025	701.351.410
16.00-17.00	849.444.762	741.825.331
17.00-18.00	873.033.012	775.210.522
18.00-19.00	920.727.099	819.209.151
19.00-20.00	905.112.311	807.452.927
20.00-21.00	848.997.762	754.978.245
21.00-22.00	802.277.589	714.727.688
22.00-23.00	798.842.450	709.508.176
23.00-24.00	767.137.625	668.062.612

Dari tabel perbandingan biaya operasional untuk tiap jam selama 24 jam, dapat dibuat perbandingan biaya total operasional untuk periode 24 jam (satu hari) antara biaya total operasional selama 24 jam *Lagrange Relaxation* dengan biaya total operasional selama 24 jam hasil optimasi dengan metode *EPLR*.

TABLE II  
PERBANDINGAN TOTAL BIAYA DENGAN METODE LR DAN EPLR

Biaya LR (Rp)	Biaya EPLR (Rp)	Persentase selisih
19.668.568.812	15.680.803.610	24%

Bila diperhatikan tabel perbandingan di atas, tampak bahwa apabila dihitung dengan kedua cara, yaitu antara biaya yang dikeluarkan oleh UBS P3B Jawa Bali dengan biaya hasil optimasi dengan menggunakan metode *EPLR* terdapat perbedaan, ini berarti hasil yang diperoleh optimasi dengan menggunakan metode *EPLR* menghasilkan penghematan yang relatif besar, sehingga tujuan utama dari optimasi bisa dikatakan sudah terpenuhi.

## V. KESIMPULAN

Dari hasil analisa program dan hasil perhitungan terhadap penggunaan Kombinasi Metode *Evolutionary Programming (EP) dan Lagrange Relaxation (LR)* pada

komitmen unit atau penjadwalan unit pembangkit tenaga terhadap beban yang ditanggung PT. Pembangkitan Jawa Bali (PJB) pada tanggal 4 Desember 2011, maka dapat diambil kesimpulan:

Proses Kombinasi Metode EP dan LR memberikan sebuah analisis penyelesaian yang cukup efektif dalam mengoptimalkan pembebanan dan sekaligus menghasilkan penghematan biaya total operasional PT PJB. Adapun hasil perhitungan biaya total pembangkitan. Total biaya operasional adalah sebesar Rp 19.668.568.812 sedangkan pada metode *EPLR* sebesar 15.680.803.610, dengan selisih Rp 3.987.765.201 atau penghematan sebesar 24%.

Hasil analisis ini masih perlu penelitian lebih lanjut untuk pengembangan dengan metode lainnya seperti *Evolutionary Programming (EP) dan Lagrange Relaxation (LR)* agar nantinya didapat suatu perbandingan hasil yang diperoleh pada metode tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Allan J. Wood and Wollenberg B.F. "Power Generation, Operation, and Control", John Wiley & Sons, Inc, 1986.
- [2] Abdul Kadir, "Energi" UI Press, Jakarta, 1995
- [3] Djiteng Marsudi, Ir, "Operasi Sistem Tenaga Listrik", Balai Penerbit dan Humas ISTN, 1990.
- [4] David B. Fogel, "Evolutionary Optimazion", Orincon Corporation 9363 Town Centre Drive, San Diego, CA 92121, IEEE, 1992.
- [5] Don Johnson, "The Gaussian Random Variable", By The Connexions Project
- [6] Garg Rahul "Economic Generation And Scheduling Of Power By Genetic Algorithm, 2008
- [7] K.A. Juste, "An Evolutionary Programming Solution to the Commitment Problem", IEEE Trans On Power Syst, Vol. 14, No. 4, Nov 1999.
- [8] P. Attaviriyunapap, H.Kita, E. Tanaka, J. Hasegawa, "Unit Commitment Using Evolutionary Programming Combine With Lagrange Relaxation Method", 12<sup>th</sup> Annual Conference of Power & Energy Society, IEE of Japan.
- [9] P. Attaviriyunapap, H.Kita, E. Tanaka, J. Hasegawa, "A Hybrid Evolutionary Programming for Solving Thermal Unit Commitment", 12<sup>th</sup> Annual Conference of Power & Energy Society, IEE of Japan.
- [10] P. Attaviriyunapap, H.Kita, E. Tanaka, J. Hasegawa, "A Hybrid EP and SQP for Dynamic Economic Dispatch With Fuel Cost Function", IEEE Trans On Power Syst, Vol. 17, No. 2, May 2002.
- [11] Talib S. Hussain, "An Introduction to Evolutionary Computation", Departement of Computing and Information Science Queen's University, Kingston.
- [12] William M. Spears, Kenneth A. De jomg, Thomas Back, David B. Fogel, Hugo de garis, "An Overview of Evolutionary Computation", Europe Conference on Machine Learning.
- [13] Y.J. Cao - Q.H.Wu - D.W. Shimming, "Study of Initial Population In Evolutionary Programming" Departement of EEE