

PENGGUNAAN METODE *MODIFIED UNIT DECOMMITMENT* (MUD) UNTUK PENJADWALAN UNIT-UNIT PEMBANGKIT PADA SISTEM KELISTRIKAN JAWA - BALI

Aris Heri Andriawan^{1,2}, Ontoseno Penangsang¹

1)Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya 60111, Indonesia

2)Jurusan Teknik Elektro Untag Surabaya, Indonesia

aris_po@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam makalah ini diterapkan metode *Dynamic Programming* pada *Modified Unit Decommitment* (MUD). Penggunaan MUD dimaksudkan untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan unit pembangkit thermal pada sistem kelistrikan Jawa-Bali. Penjadwalan ini dilakukan guna mendapatkan kombinasi unit pembangkit yang optimal yang didasarkan pada konstrainnya. Dengan demikian kebutuhan beban dapat dilayani secara baik dengan biaya operasi pembangkitan minimum. Pada MUD diasumsikan bahwa semua unit beroperasi pada awal periode studi. Akibatnya, sistem memiliki cadangan perputaran yang berlebih sehingga hasil operasi sistem tidak ekonomis. Sehingga, beberapa unit harus dipertimbangkan untuk *decommit* pada periode tertentu selama penjadwalan. Keuntungannya, bila dibanding dengan metode UC diperoleh pengurangan total biaya operasi RP. 452,92 juta dengan MUD pada hari Minggu, dan menghasilkan pengurangan total biaya operasi RP. 181,2 juta dengan MUD pada hari Senin.

Kata kunci: *Unit commitment, Modified Unit Decommitment, Dynamic Programming.*

PENDAHULUAN

Teknologi yang semakin berkembang saat ini mengakibatkan kebutuhan energi listrik meningkat. Sehingga beban selalu berubah setiap saat. Kondisi ini harus mampu dilayani oleh pembangkit dengan biaya pembangkitan minimal. Oleh karena itu, pembangkit harus melakukan penjadwalan unit yang bekerja dengan tanpa mengurangi syarat pelayanan beban, tetapi dengan biaya yang minimal. Oleh sebab itu diperlukan suatu metode unit commitment untuk melakukan penjadwalan pembangkit.

Unit commitment (UC) didefinisikan sebagai penjadwalan produksi daya listrik yang dihasilkan unit pembangkit pada suatu periode dengan tujuan mendapatkan biaya ekonomis pembangkitan. Telah banyak penelitian yang dilakukan mengenai masalah UC.

Di tahun 1940-an sampai dengan 1970-an, suatu metode digunakan untuk menyelesaikan masalah UC. Metode ini disebut sebagai metode pemrograman integer campuran, dan berdasar atas daftar skala prioritas. Metode ini memiliki kelebihan pada kesederhanaan dalam penyelesaiannya.

Pada tahun 1980-an metode *Branch dan Bound Algorithm* [1] dan metode *Dynamic Programming* [2] diaplikasikan untuk menyelesaikan masalah UC. Kedua metode ini dapat menemukan solusi yang optimal, untuk jumlah unit pembangkit yang kecil. Untuk jumlah unit pembangkit yang besar bisa dilakukan dengan metode pendekatan *Lagrangian Relaxation*.

Sebuah pendekatan baru yang disebut *Sequential Unit Commitment* [3][4] dikembangkan untuk menyempurnakan metode *Lagrangian Relaxation* dan metode *Dynamic Programming* [5][6][7][8][9]. Metode ini membutuhkan daftar prioritas heuristic untuk mendapatkan harga awal. Selain prioritas tradisional, metode ini menyeleksi unit yang paling menguntungkan untuk komit pada basis operasi ekonomis dan permintaan sistem selama proses iterasi.

Tahun 1990an, Chaoan Li menemukan metode *unit commitment* baru berdasarkan pada prosedur *decommitmen* [10]. Komitmen sistem diawali dengan mengasumsikan bahwa semua unit dalam keadaan beroperasi pada periode studi. Oleh sebab itu, sistem memiliki cadangan perputaran yang berlebih sehingga hasil operasi sistem tidak ekonomis. Untuk mencapai operasi ekonomis, beberapa unit harus dipertimbangkan untuk *decommit* pada periode tertentu selama penjadwalan.

Feixiong Hu, pada tahun 2004 melakukan modifikasi metode *Unit Decomitmen*[11][12][13] dengan memperbaiki dan menambahkan beberapa konstrain. Metode ini disebut dengan *Modified Unit Decommitment (MUD)*[14]. Metode ini didasarkan pada *sceduling* dan peramalan beban dari sistem tenaga pada jadwal pembangkitan hari berikutnya. Satu jadwal unit dicapai dalam masing-masing iterasi. Proses iterasi berlanjut sampai semua unit disesuaikan atau nilai dari fungsi obyektif tidak bisa direduksi lagi. Sebuah algoritma optimisasi unit-tunggal baru diajukan untuk menggantikan metode *Dynamic programming*. Metode ini menggunakan batasan *minimum up and down time* unit dan batasan cadangan dari sistem yang diteliti untuk menangani jadwal secara efisien, sehingga ruang penelitian bisa direduksi secara signifikan, dan perhitungan menjadi lebih cepat. Batasan keseimbangan daya, batasan cadangan sistem, batasan minimum up and down time, batasan level minimum dan maksimum pembangkitan dan batasan ramp rate dipertimbangkan.

Makalah ini mengaplikasikan metode *Modified Unit Decommitment* dengan metode *Dynamic Programming* pada penjadwalan unit pembangkit sistem kelistrikan Jawa-Bali. Dengan menganalisis aplikasi ketiga metode tersebut pada penjadwalan unit pembangkit thermal diharapkan dapat diperoleh pendekatan yang paling efisien untuk melakukan penjadwalan.

MODIFIED UNIT DECOMMITMENT

Definisi

1. Kelebihan cadangan berputar: ialah didefinisikan sebagai nilai positif dari perbedaan (kapasitas cadangan sistem – demand sistem) dan cadangan berputar sistem yang diperlukan, biasanya 5 - 7 % dari sistem demand.
2. Kekurangan cadangan berputar: ialah didefinisikan sebagai nilai negatif dari perbedaan (kapasitas cadangan sistem – demand sistem) dan cadangan berputar sistem yang diperlukan.
3. *Decommitting* sebuah unit: ialah suatu prosedur dimana dalam sebuah unit di suatu sistem dengan kelebihan cadangan berputar ialah di *decommitted* atas sebagian atau seluruh periode waktu penjadwalan demikian bahwa ini tidak menyebabkan kekurangan cadangan berputar.
4. Unit-unit sisa subset dari unit-unit dimana mengeluarkannya unit sebelumnya di *decommitted* sebagian atau seluruh periode waktu penjadwalan.

Penyelesaian *Modified Unit Decommitment*

Posedur *decommitting* unit diselesaikan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Sistem diawali dengan semua unit tanpa melanggar minimum up-time dan minimum down-time sebagai starting point U_{it}^0 ($i = 1, 2, \dots, I$, $t = 1, 2, \dots, T$)
2. Mengerjakan *economic dispatch* untuk awal penjadwalan unit dengan prosedur λ_t^0 dan P_{it}^0 . Dalam kasus pelanggaran kondisi beban minimum sistem (pembangkitan lebih), λ_t^0 diset untuk sistem lambda minimum dan P_{it}^0 untuk batas bawah unit.
3. Menghitung kelebihan kapasitas spinning dengan persamaan (7)
4. Untuk setiap kandidat unit dari set unit yang disisakan diluar unit-unit yang telah *decommitted* (dalam iterasi pertama unit-unit yang disisakan sama dengan semua unit-unit yang tersedia dalam sistem) subproblem (P_i) diselesaikan dengan *Dynamic Programming* untuk menghasilkan penjadwalan commitment U_{it}^{\wedge} ($i = 1, 2, \dots, I$, $t = 1, 2, \dots, T$).
5. Memakai kriteria untuk menghitung penghematan biaya relatif untuk *decommitting* unit.
6. Membandingkan penghematan biaya relatif dari unit-unit yang dioptimasi, dan memilih unit dengan penghematan biaya relatif yang tinggi dengan *decommit* untuk proses iterasi.
7. Mencatat penjadwalan dari unit *decommitment*.
8. Mengerjakan *economic dispatch* untuk sistem setelah proses *decommitting*.
9. Melakukan perhitungan problem (P_i) setelah proses *economic dispatch* dilakukan, sehingga diperoleh suatu solusi baru. Maka solusi ini sebagai starting point baru.
10. Memperbarui set unit-unit sisa. Menuju ke step 3 dan ulangi lagi step 3 – step 10
11. Jika dua iterasi yang berurutan memberi solusi yang sama, proses iterasi selesai.

Kriteria *Decommitment*

Setelah penentuan besar beban yang harus ditanggung oleh tiap-tiap unit secara ekonomis dengan *Economic Dispatch* dan proses perhitungan biaya bahan bakar minimum dengan metode *Dynamic Programming* dilakukan, maka metode *unit decommitment* dapat dilakukan. Dan setelah jalur state yang mempunyai nilai minimum diperoleh maka proses *decommitting* dilakukan dengan mematikan setiap unit pada state berdasarkan hasil dari proses *Dynamic programming*. Proses ini dilakukan pada semua unit dimulai dari unit dat yang pertama sampai yang terakhir.

Adapun kriteria yang digunakan adalah:

$UCST0_i$, adalah biaya total dari obyektif (3.9) sebelum unit i *decommitting* ialah:

$$UCST0_i = \sum_t [C_{it}(P_{it}^0) * U_{it}^0 + S_{it}(X_{i,t-1}^0, U_{it}^0, U_{i,t-1}^0) - \lambda_t^0 P_{it}^0 * U_{it}^0] \quad \dots(1)$$

$UCST1_i$, adalah biaya total dari obyektif (3.9) setelah unit i *decommitting* ialah:

$$UCST1_i = \sum_t [C_{it}(P_{it}^{\wedge}) * U_{it}^{\wedge} + S_{it}(X_{i,t-1}^{\wedge}, U_{it}^{\wedge}, U_{i,t-1}^{\wedge}) - \lambda_t^0 P_{it}^0 * U_{it}^{\wedge}] \quad \dots(2)$$

Dengan: U_{it}^{\wedge} ialah jadwal unit setelah unit i *decommitting*.

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (1) dan (2), kemudian dicari selisih antara biaya total dari unit i sebelum dan sesudah melakukan proses *unit decommitment*. Selisih antara biaya total ini juga disebut penghematan biaya

(cost saving) mutlak setelah proses decommitting unit i. Penghematan (saving) biaya absolut decommitting unit i tersebut adalah:

$$SUCST_i = UCST0_i - UCST1_i \quad \dots(3)$$

Kemudian dihitung kapasitas spinning total decommitting (DUCSi) dari unit i yang di decommitted selama periode waktu:

$$DUSC_i = \sum_i \{ \min \{ EXS_i \}, (P_{i,max} * (1 - U_i^{\wedge})) \} * U_i^0 \} \quad \dots(4)$$

Besarnya penghematan biaya relatif unit I (total cost saving relative) terhadap kapasitas berputar untuk decommitted unit i selama periode waktu:

$$RUCST_i = SUCST_i / DUSC_i \quad \dots(5)$$

dengan :

U_i^{\wedge} = jadwal unit i setelah decommitting

P_i^{\wedge} = pembangkitan unit i setelah decommitting

λ_i^{\wedge} = biaya marginal sistem setelah unit i decommitting.

Rumusan (formulasi)

Pada metode ini, diasumsikan bahwa permintaan beban sistem dan permintaan cadangan sistem tersedia dalam seluruh periode penjadwalan.

Selanjutnya bisa didefinisikan fungsi objektif sebagai:

$$\min \left\{ \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I F_i(p_{i,t}) x U_{i,t} + \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{i=1}^I C_{up,i} ((U_{i,t+1} - U_{i,t}) + |U_{i,t+1} - U_{i,t}|) / 2 + \right. \\ \left. \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{i=1}^I C_{down,i} (|U_{i,t+1} - U_{i,t}| - (U_{i,t+1} - U_{i,t})) / 2 \right\} \quad \dots(6)$$

subyek pada:

$$EXS_t = \sum_i R_{it} * U_{it} - D_t - R_t^{req} \geq 0 \quad \dots(7)$$

$$D_t - \sum_{i=1}^I p_{i,t} x U_{i,t} = 0 \quad \dots(8)$$

$$\sum_{i=1}^I p_{i,t}^{max} x U_{i,t} - D_t - R_t^{up} \geq 0 \quad \dots(9)$$

$$p_i^{min} \leq p_{i,t} \leq p_i^{max} \quad \dots(10)$$

$$p_{i,t} - \delta_{i,t} \leq p_{i,t} \leq p_{i,t} + \delta_{i,t} \quad \dots(11)$$

$$|X_{i,t}| \geq t_i^{on}, \text{ jika } U_{i,t} = 0 \text{ dan } U_{i,t} = 1 \quad \dots(12)$$

$$|X_{i,t}| \geq t_i^{off}, \text{ jika } U_{i,t} = 1 \text{ dan } U_{i,t} = 0. \quad \dots(13)$$

T adalah jumlah interval trading dalam satu siklus dispatch, t adalah indeks interval trading, (t=0,...,T), I adalah jumlah unit pembangkit, i adalah jumlah dari unit pembangkit (i=1,...,I), t_i^{on} , t_i^{off} adalah minimum up and down time dari unit i, p_i^{max} , p_i^{min} adalah batas level pembangkitan maksimum dan minimum dari unit i, $\delta_{i,t}^+$, $\delta_{i,t}^-$ adalah batas ramping rate atas dan bawah dalam interval trading t, $C_{up,i}$, $C_{down,i}$ a biaya penyalaan dan pemadaman unit i, D_t adalah permintaan beban sistem dalam interval trading t, R_t^{up} adalah permintaan cadangan sistem dalam interval trading t, $U_{i,t}$ adalah

berharga kondisi 0-1 (0 berarti unit mati dan 1 berarti nyala), $X_{i,t}$ adalah nilai diskrit, yang berarti jumlah interval trading antara perubahan kondisi terakhir unit i dan interval trading sekarang, $p_{i,t}$ adalah level generasi unit i dalam interval trading t .

Algoritma Solusi

Proses utama dari MUD hampir sama dengan metode unit decommitmen, tetapi perbaikan dibuat dengan lebih banyak batasan, seperti *ramp rate*, dan lain-lain, yang dipertimbangkan. Penjadwalan hari berikutnya dikerjakan menurut kondisi awal unit.

Solusi awal dimungkinkan menurut kondisi awal dari unit yang dikerjakan sebagai berikut. Jika

$$X_{i,t} \text{ atau } |X_{i,t}| > t_i^{off} \quad \dots(14)$$

Selanjutnya ditetapkan

$$U_{i,t}^0 = 1 \quad t \in \{t, \dots, T\} \quad \dots(15)$$

Sehingga, solusi awal yang mungkin dan rangkaian awal unit kandidat diperoleh.

Setelah itu, subprogram optimisasi unit-tunggal digunakan untuk masing-masing kandidat unit untuk menentukan decommitmen optimal (decommitmen sebagian) unit dalam periode waktu yang diteliti, sehingga didapatkan biaya produksi minimum. Harus dilakukan juga sebuah sub program *economic dispatch* untuk mendapatkan nilai minimum yang berhubungan dari fungsi obyektif. Jadwal dengan nilai paling rendah dipilih sebagai hasil dari iterasi sekarang. Proses iterasi berlanjut sampai tidak ada perubahan jadwal yang bisa direduksi lagi nilai fungsi obyektifnya.

Pelaksanaan Algoritma

Algoritma bisa dipecah menjadi tahap-tahap berikut ini:

1. Inisialisasi data dan menetapkan solusi awal (U^0, X^0, P^0) dan menetapkan unit kandidat.
2. Untuk setiap unit kandidat i , digunakan program penjadwalan *Dynamic Programming* untuk mendapatkan jadwal optimal unit i , selanjutnya menjalankan subprogram *economic dispatch* untuk mendapatkan solusi (U^i, X^i, P^i), demikian juga untuk mendapatkan nilai fungsi obyektif yang berhubungan.
3. Solusi yang mungkin dari penjadwalan optimal unit individual dan dispatch dengan nilai paling rendah dari fungsi obyektif dipilih sebagai sebuah titik awal untuk iterasi berikutnya.
4. Iterasi sekarang yang tidak memiliki perbaikan pada fungsi obyektif bila dibandingkan dengan iterasi terakhir, perhitungan berakhir. Jika sebaliknya, maka iterasi berlanjut dengan memperbaharui rangkaian unit kandidat dan berlanjut ke tahap 2.

HASIL DAN ANALISIS

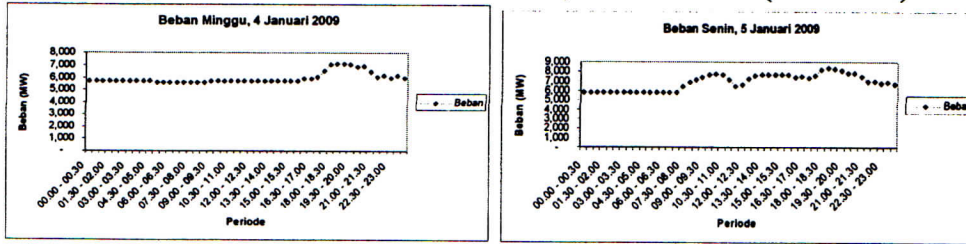
Simulasi dan Analisis dengan MUD

Untuk melakukan simulasi prosedur *modified unit decommitment* algoritmanya adalah:

- a. Memasukan data yang meliputi parameter-parameter unit thermal dan pembebanan.
- b. Melakukan perhitungan daya yang harus dibangkitkan dari tiap-tiap unit menggunakan *Economic Dispatch* dengan iterasi lambda untuk penjadwalan awal dan menghitung kelebihan cadangan putar (EXS_i).

- c. Melakukan *decommitment* dengan *Forward Dynamic Programming* berdasarkan kriteria ekonomis untuk memperoleh kombinasi yang optimal.
- d. Melakukan proses *decommitment* secara kontinyu dan dianggap selesai bila tidak mungkin lagi dilakukan reduksi terhadap biaya total.

Data yang diperlukan untuk simulasi penjadwalan adalah menggunakan data parameter pembangkit thermal unit pembangkit yang dikelola PT. PLN (Persero) Indonesia Power dan Pembangkitan Jawa Bali. dan data beban menggunakan data beban pada hari Minggu, 4 Januari 2009 dan beban Senin, 5 Januari 2009 (Gambar 1.)



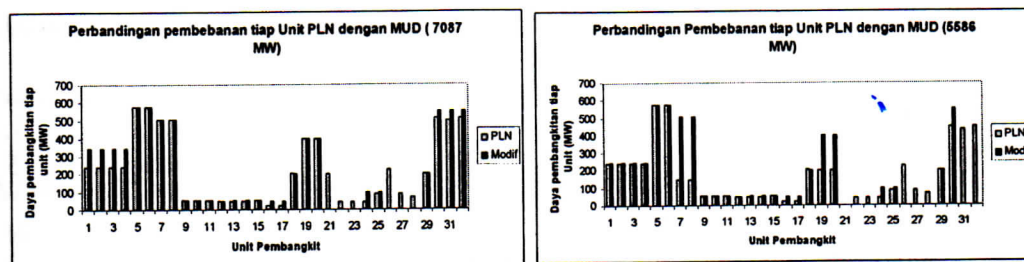
Gambar 1. Kurva Beban Senin 5 Januari 2009

Setelah dilakukan simulasi dengan metode modified unit decommitment diperoleh schedule penjadwalan yang terlihat pada Gambar 2.

Tabel 1. menunjukkan unit-unit yang mengalami *shutdown* dan *Standby* selama periode penjadwalan hari Minggu dan Senin. Unit 26, 27, dan 28 mengalami *shutdown* selama 24 jam, unit 31 *shutdown* 18 jam, dan unit 32 *shutdown* selama 15,5 jam. Dan unit 32 mengalami *standby* 1,5 jam, unit 31 *standby* 3 jam. Sedangkan pada hari Senin unit yang mengalami *standby* sebagian periode adalah: 32, 31, 28, 27, 26, 23, 22, dan 21.

Tabel 1. Unit-unit yang mengalami *shutdown* dan *standby* pada periode Senin, 5 Januari 2009

Hari/tanggal	No. Unit	Nama Unit	Periode waktu	Keterangan
Minggu, 4 Januari 2009	32	PLTGU Gresik # B1	00.00 - 17.30	15,5 jam(shutdown)
			21.30 - 22.00	0,5 jam (standby)
			22.30 - 23.00	0,5 jam (standby)
			23.30 - 24.00	0,5 jam (standby)
	31	PLTGU Gresik # B1	00.00 - 18.00	18 jam (shutdown)
			21.00 - 24.00	3 jam (standby)
Senin, 5 Januari 2009	32	PLTGU Gresik # B1	00.00 - 07.30	7,5 jam (standby)
			11.30 - 12.30	1 jam (standby)
	28	PLTU Gresik #1	00.00 - 08.00	8 jam (standby)
			11.00 - 13.00	2 jam (standby)
			21.30 - 24.00	3,5 jam (standby)
	27	PLTU Gresik #1	00.00 - 08.00	8 jam (standby)
			11.00 - 13.00	2 jam (standby)
			21.30 - 24.00	3,5 jam (standby)
	26	PLTU Paiton #2	00.00 - 08.00	8 jam (standby)
			11.00 - 13.00	2 jam (standby)
			14.30 - 15.00	0,5 jam (standby)
			15.30 - 16.00	0,5 jam (standby)
21.30 - 24.00			3,5 jam (standby)	
23	PLTU M. Karang #2	21.00 - 24.00	3 jam (standby)	
22	PLTU M. Karang #1	20.00 - 24.00	4 jam (standby)	
21	PLTU M. Karang #B1	20.00 - 22.00	2 jam (standby)	



Gambar 1. Grafik Perbandingan Pembebanan tiap Unit Penjadwalan PLN dengan Penjadwalan Metode Modified Unit Decommitment pada Beban Maksimum

Berdasarkan hasil pembebanan pada masing-masing unit oleh PLN, bahwa semua unit dipertahankan tetap *commit* dan hanya beberapa unit saja yang *decommit* pada beban tertentu, MUD cukup banyak unit yang *decommit* pada beban-beban tertentu. Perbandingan pembebanan tiap unit oleh PLN dengan MUD ditunjukkan pada Gambar 1. Hal ini dapat diambil kesimpulan bahwa penjadwalan dengan MUD lebih ekonomis total biaya operasinya bila dibanding dengan penjadwalan PLN. Sehingga ketiga metode ini dapat dipertimbangkan dipakai untuk penjadwalan untuk menghasilkan total biaya operasi yang lebih efisien.

Tabel 2. Perbandingan Biaya operasional antara Unit Commitment, Modified Unit Decommitment Periode 4 Januari 2009

Metode Penjadwalan	Total Biaya Operasi Minggu, 4 Januari 2009		Total Biaya Operasi Senin, 5 Januari 2009	
	(\$)	(Rp)	(\$)	(Rp)
Unit Commitment	485.881,24	4.615.871.780,00	692.179,15	6.575.701.925,00
Unit Decommitment	438.198,97	4.162.890.215,00	673.051,06	6.393.985.070,00
Penghematan	47.682,27	452.981.565,00	19.128,09	181.716.855,00
Modified Unit Decommitment	438.205,53	4.162.952.535,00	673.104,52	6.394.492.940,00
Penghematan	47.675,71	452.919.245,00	19.074,63	181.208.985,00

Keterangan: 1 \$ US = Rp. 9.500,-

Tabel 2. menunjukkan perbandingan biaya operasional antara Unit Commitment, dan Modified Unit Decommitment. Dari tabel tersebut terlihat bahwa dengan unit commitment biaya operasinya paling tinggi, sedangkan Modified Unit Decommitment biaya operasinya lebih murah.

Berdasarkan Tabel 2. dihasilkan penghematan biaya terhadap biaya operasi unit commitment, Rp. 452,92 juta dengan modified unit decommitment pada penjadwalan Minggu 4 Januari 2009. Penghematan sebesar Rp. 181,2 juta dengan modified unit decommitment pada penjadwalan Senin, 5 Januari 2009. Sehingga, dari analisis simulasi penjadwalan yang dilakukan memberi kontribusi kepada PLN bahwa ke-tiga metode penjadwalan pada penelitian ini dapat dipertimbangkan oleh PLN dipakai untuk penjadwalan dengan tujuan menghemat biaya operasi pembangkit.

KESIMPULAN

1. Penjadwalan pembangkit dengan MUD dapat digunakan untuk penyelesaian dalam rangka memperoleh kombinasi penjadwalan pembangkit yang relatif *feasible*.
2. Dari 32 unit yang beroperasi dan dilakukan penjadwalan dengan Modified Unit Decommitment dimungkinkan dilakukan proses decommitting sebanyak 3 unit PLTU shutdown selama 24 jam dan 2 PLTGU shutdown 15,5 - 18 jam dan 0,5 - 3

- jam standby pada hari minggu. 6 PLTU standby selama 0,5 – 8 jam dan 2 PLTGU standby selama 01 – 8 jam pada hari senin.
3. Bila dibandingkan dengan penjadwalan metode UC , dihasilkan penghematan biaya sebesar Rp. 452,92 juta dengan MUD pada penjadwalan Minggu 4 Januari 2009. Penghematan sebesar Rp. 181,2 juta dengan MUD pada penjadwalan Senin, 5 Januari 2009.
 4. Dari analisis simulasi penjadwalan yang dilakukan memberi kontribusi kepada PLN bahwa metode MUD dapat dipertimbangkan oleh PLN dipakai untuk penjadwalan dengan tujuan menghemat biaya operasi pembangkit.

DAFTAR PUSTAKA

- A. I. Cohen, M. A. Yoshimura, "Branch and Bound Algorithm for Unit Commitment," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-102 (2), pp. 444~451, 1983
- W. J. Hobbs, G. Hermon, S. Warner, G. B. Sheble, "An Enhanced Dynamic Programming Approach for Unit Commitment," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.3, No.3, pp. 1201~1205,1988.
- F. L. Zhuang, F. D. Galiana, "Towards a More Rigorous and Practical Unit Commitment by Lagrangian Relaxation," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, No. 2, pp. 763~773,1988.
- C. K. Pang, H. C. Chen, "Optimal Short Term Thermal Unit Commitment," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-95 (4), pp. 1336~1346, 1976.
- F. N. Lee, "Short-Term Thermal Unit Commitment—A New Approach," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, No.2, pp. 421~428, 1988.
- C. K. Pang, G. B. Sheble, F. Albuyeh, "Evaluation of Dynamic Programming Based Methods and Multiple Area Representation for Thermal Unit Commitments," *IEEE Transactions on Power Appartus and Systems*, PAS-100 (3), pp. 1212~1218, 1981
- W. L. Snyder, H. D. Powell, J. C. Payburn, "Dynamic Programming Approach to Unit Commitment," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 2, No.2, pp. 339~350,1987
- F. N. Lee, "A Fuel Constrained Unit Commitment Method," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 4, No. 3, pp. 1208~1218, 1989.
- A. J. Wood, B. F. Wollenberg, "Power Generation Operation, and Control", Second edition, New York: John Wiley & Sons, 1996.
- C. A. Li R. B. Johnson, A. J. Svobada, "A New Unit Commitment Method," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 12, No. 1, pp. 113~119, 1997.
- Chung Li Tseng and S Oren, Alva JS and Raymond B Johnson, "A Unit Decommitment Method in Power System Scheduling", *Electrical Power & Energy Systems*, Elsevier Sciece, vol. 19, no. 6, pp. 357-365, 1997.

Wrahatnolo, Tri, Optimalisasi Penjadwalan Unit Termal Pada PT. PLN (Persero) Pembangkitan Tenaga Listrik Jawa Bali Menggunakan Metode Unit Decommitment, Tesis Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2001.

Widodo, Gatot, Penjadwalan Jangka Pendek Pembangkit Thermal pada Beban Minimum Menggunakan Metode Unit Commitment dengan Prosedur Unit Decommitment, Tesis Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2002.

Feixiong Hu, Zheng Yan, Yixin Ni, "Unit Commitment Based on Modified Unit Decommitment Method," *IEEE Transactions on Power Systems*, 2004.