

JURNAL SAIN DAN TEKNOLOGI

Science and Technology Journal

Pengendalian Inverter Empat Lengan dengan Beban Fluktuatif untuk Aplikasi *Hybrid Power System*
Dedy Kurnia Setiawan

Perbandingan Penjadwalan Unit-unit Pembangkit Thermal pada Sistem Kelistrikan Jawa – Bali
Menggunakan Metode *Modified Unit Decommitment* (MUD) dengan Penjadwalan PLN
Aris Heri Andriawan

Perbandingan antara *Luenberger* dan *Neural Network Observer* untuk Motor Induksi
Iradiratu Diah P.K.

Pendeteksian Kesegaran Daging Menggunakan Sensor Polimer Konduktif
Benrad Edwin Simanjuntak

Analisis Pengoperasian dan Pemeliharaan Trafo Distribusi di PT. PLN (Persero)
APJ Surabaya Selatan
Titiek Suheta

Transmisi Data Perubahan Ketinggian Air Laut Menggunakan Media Handphone
Suryadhi

Studi Pengaruh Sudut Kemiringan Dasar Laut terhadap Berat Pipa yang Disyaratkan Stabilitas
pada Perancangan Pipa Bawah Laut
Hasan Ikhwani

Pengamatan Model Pengendalian Korosi dengan Metodé Perlindungan Katodis Menggunakan
Anoda Terumpun *ZAP Type S-3* pada Media Korosi Air Laut dengan Salinitas 35‰
Dwisetiono

Perancangan Awal Geometri Boiler dan Siklus PLTU Berbahan Bakar Tandan Kosong Kelapa
Sawit (TKKS) dengan Daya 11,5 MW
Melvin Emil Simanjuntak

Kekuatan Tarik Sambungan Las Pelat Baja *HSLA Grade AH 32* untuk Konstruksi Kapal dengan
Pengelasan SMAW dan FCAW
Nur Yanu Nugroho

Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah Surabaya

JURNAL SAIN DAN TEKNOLOGI

Science and Technology Journal

Terbit dua kali setahun pada bulan Pebruari dan Agustus. Berisi tulisan yang diangkat dari hasil penelitian dan kajian analitis-kritis di bidang Ilmu Pengetahuan Alam dan Teknologi. ISSN 1693-0851.

Pemimpin Umum

A. H. Rijanto

Ketua Penyunting

Didik Hardianto

Wakil Ketua Penyunting

Djogi Lubis

Penyunting Pelaksana

Arif Winarno

Iradiratu Diah P. K.

Suryadhi

Toto Soeharmono

Nur Yanu Nugroho

Dwisetiono

Irfan Rasyidi

Tata Usaha

Bambang Sudirman

Distribusi

Suwandi

Irianto

Alamat Penyunting dan Tata Usaha: Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah Surabaya. Gedung F-III Lantai I Jalan Arif Rahman Hakim 150 Surabaya 60111. Telepon (031) 5945864, 5945894 pesawat 501, Fax. (031) 5946261. E-mail: jst@hangtuah.ac.id.

Jurnal Sain dan Teknologi (*Science and Technology Journal*) diterbitkan sejak 18 Pebruari 2003 oleh Fakultas Teknik Universitas Hang Tuah Surabaya.

JURNAL SAIN DAN TEKNOLOGI
Science and Technology Journal

Pengendalian Inverter Empat Lengan dengan Beban Fluktuatif untuk Aplikasi <i>Hybrid Power System</i> Dedy Kurnia Setiawan	101-112
Perbandingan Penjadwalan Unit-unit Pembangkit Thermal pada Sistem Kelistrikan Jawa – Bali Menggunakan Metode <i>Modified Unit Decommitment</i> (MUD) dengan Penjadwalan PLN Aris Heri Andriawan	113-122
Perbandingan antara <i>Luenberger</i> dan <i>Neural Network Observer</i> untuk Motor Induksi Iradiratu Diah P.K.	123-132
Pendeteksian Kesegaran Daging Menggunakan Sensor Polimer Konduktif Benrad Edwin Simanjuntak	133-138
Analisis Pengoperasian dan Pemeliharaan Trafo Distribusi di PT. PLN (Persero) APJ Surabaya Selatan Titiek Suheta	139-144
Transmisi Data Perubahan Ketinggian Air Laut Menggunakan Media Handphone Suryadhi	145-158
Studi Pengaruh Sudut Kemiringan Dasar Laut terhadap Berat Pipa yang Disyaratkan Stabilitas pada Perancangan Pipa Bawah Laut Hasan Ikhwani	159-170
Pengamatan Model Pengendalian Korosi dengan Metode Perlindungan Katodis Menggunakan Anoda Terumpan <i>ZAP Type S-3</i> pada Media Korosi Air Laut dengan Salinitas 35‰ Dwisetiono	171-178
Perancangan Awal Geometri Boiler dan Siklus PLTU Berbahan Bakar Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan Daya 11,5 MW Melvin Emil Simanjuntak	179-190
Kekuatan Tarik Sambungan Las Pelat Baja HSLA <i>Grade AH 32</i> untuk Konstruksi Kapal dengan Pengelasan SMAW dan FCAW Nur Yanu Nugroho	191-200

Perbandingan Penjadwalan Unit-unit Pembangkit Thermal pada Sistem Kelistrikan Jawa - Bali Menggunakan Metode *Modified Unit Decommitment* (MUD) dengan Penjadwalan PLN

Aris Heri Andriawan

Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945

ABSTRACT

Modified Unit Decommitment (MUD) method that was used to solve scheduling problem of thermal generating units in the electrical system of Java-Bali, that applied the Dynamic Programming method. The load demand was served by a combination of generating units based on several constraints. MUD assumed that all units operate at the beginning of the study period. As a result, the system has excess spinning reserves, so the system operation became uneconomical. Thus, some units should be considered for decommit at a certain period during the scheduling. Advantages gained of total reduction operational costs Rp. 452.92 million with a MUD on Sunday, and produces reduction of the total operational cost Rp. 181.2 million with a MUD on Monday compared to Unit Commitment (UC).

Key words: *unit commitment, modified unit decommitment, dynamic programming*

Korespondensi (*Correspondence*): Aris Heri Andriawan, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.

E-mail: aris_po@yahoo.com

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan pertumbuhan penduduk dewasa ini menyebabkan kebutuhan energi listrik meningkat. Karena konsumsi energi listrik tidak sama pada periode waktu tertentu, hal ini mengakibatkan fluktuasi beban pada setiap periodenya. Sesuai dengan tugasnya, kondisi ini harus mampu dilayani oleh pembangkit dengan biaya pembangkitan minimal. Oleh karena itu, pembangkit harus melakukan penjadwalan agar fluktuasi kebutuhan beban tersebut terlayani tetapi dengan biaya operasi yang ekonomis. Oleh sebab itu diperlukan suatu metode untuk melakukan penjadwalan pembangkit tersebut.

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, metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah UC, 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 and Bound Algorithm* (Cohen dkk., 1983) dan metode *Dynamic Programming* (Hobbs dkk., 1988) 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*.

Tahun 1990-an, metode *Unit Commitment* ditemukan metode baru berdasarkan pada prosedur *decommitment* (Choan dkk., 1997). Penjadwalan sistem diawali dengan mengasumsikan bahwa semua unit dalam kondisi beroperasi (On) pada awal operasi. Akibatnya, sistem memiliki cadangan putar yang berlebih sehingga biaya operasi tidak ekonomis. Agar biaya operasi menjadi ekonomis, beberapa unit harus dipertimbangkan untuk *decommit* (Off) pada sebagian/seluruh periode selama penjadwalan.

Tahun 2004 dilakukan modifikasi metode *Unit Decommitmen* dengan memperbaiki dan menambahkan beberapa *constraint*. Metode ini disebut dengan *Modified Unit Decommitment* (MUD) (Feixiong dkk., 2004).

Makalah ini mengaplikasikan metode *Dynamic Programming* pada *Modified Unit Decommitment* pada penjadwalan unit-unit pembangkit thermal sistem kelistrikan Jawa-Bali. Hasil penjadwalannya akan dibandingkan dengan penjadwalan yang telah dilakukan oleh PLN untuk membuktikan keefektifan metode yang diajukan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan *Modified Unit Decommitment* dengan metode *Dyna-mic programming* untuk penjadwalan unit-unit pembangkit thermal pada sistem kelistrikan Jawa-Bali. Untuk membuktikan keefektifan dari metode yang diajukan, maka hasil penjadwalannya dibandingkan dengan penjadwalan yang dilakukan oleh PLN.

Modified Unit Decommitment

Definisi

1. Kelebihan cadangan putar, didefinisikan sebagai nilai positif dari perbedaan (kapasitas cadangan sistem - *demand system*), dan cadangan putar sistem yang diperlukan, biasanya 5-7% dari *demand system*.
2. Kekurangan cadangan putar, didefinisikan sebagai nilai negatif dari perbedaan (kapasitas cadangan sistem - *demand system*) dan cadangan putar sistem yang diperlukan.
3. *Decommitting* sebuah unit didefinisikan sebagai prosedur dimana dalam sebuah unit pada suatu sistem dengan kelebihan cadangan putar di-*decommit* atas sebagian atau seluruh periode waktu penjadwalan sedemikian rupa tidak menyebabkan kekurangan cadangan putar.
4. Unit-unit sisa adalah unit-unit yang sebelumnya tidak termasuk unit-unit yang dimatikan sebagian atau seluruh periode waktu penjadwalan.

Penyelesaian Modified Unit Decommitment

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

1. Melakukan inialisasi semua unit dan membuat kombinasi dari unit-unit tersebut dalam sistem (*state*) kemudian membuat jalur kombinasi dengan tanpa memperhatikan *minimum up time* dan *minimum down time* sebagai *starting point* U_{it}^0 ($i = 1, 2, \dots, I$; $t = 1, 2, \dots, T$).
2. Melakukan proses *economic dispatch* sebagai awal penjadwalan unit dengan prosedur iterasi lamda untuk menghasilkan λ_t^0 dan P_{it}^0 pada semua *state*. Dalam kasus pelanggaran kondisi beban minimum, λ_t^0 diset minimum dan P_{it}^0 untuk batas minimum unit.
3. Menghitung *Excess Spinning Reserve* (EXS_t) dengan persamaan (8).

4. Melakukan perhitungan fungsi objektif (P_i) pada semua unit, kecuali unit yang telah dimatikan pada iterasi sebelumnya (pada iterasi pertama semua unit dimungkinkan beroperasi karena belum mengalami *decommit*). Problem (P_i) diselesaikan dengan *Dynamic Programming* untuk menghasilkan commitment unit U_{it}^0 ($i = 1, 2, \dots, I; t = 1, 2, \dots, T$).
5. Menghitung *Relative Cost Saving* untuk *decommitting unit* menggunakan kriteria persamaan (11) sampai dengan persamaan (15).
6. Membandingkan besarnya *Relative Cost Saving* dari unit-unit yang dioptimasi, dan memilih unit yang *Relative Cost Saving*-nya tinggi untuk dilakukan *decommit* pada proses iterasi berikutnya.
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 biaya yang baru. Maka solusi ini sebagai *starting point* baru.
10. Memperbarui set unit-unit sisa dengan melakukan iterasi lagi mulai langkah 3 sampai dengan langkah 10 pada unit yang lain.
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 *decommit unit* 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 data yang pertama sampai yang terakhir.

Adapun kriteria yang digunakan adalah $UCST0_i$, yaitu biaya total dari persamaan (6) sebelum unit i dimatikan (*decommit*) dan dirumuskan:

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

dengan:

- C_{it} = fungsi biaya pembangkitan
- P_{it} = level pembangkitan dalam periode t
- X_{it}^0 = variabel keadaan menunjukkan kondisi awal
- S_{it} = fungsi biaya *start-up*
- U_{it}^0 = variabel keputusan untuk unit kondisi awal
- λ_t^0 = faktor pengali lagrange kondisi awal
- P_{it}^0 = level awal pembangkitan

$UCST1_i$ adalah biaya total dari persamaan (6) setelah unit i dimatikan (*decommit*) dan dirumuskan:

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

dengan:

- C_{it} = fungsi biaya pembangkitan
- P_{it} = level pembangkitan dalam periode t
- X_{it}^{\wedge} = variabel keadaan setelah unit i *decommit*
- S_{it} = fungsi biaya *start-up*
- U_{it}^{\wedge} = variabel keputusan untuk unit kondisi awal
- λ_t^0 = faktor pengali lagrange kondisi awal
- P_{it}^0 = level awal pembangkitan

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:

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

dengan:

$UCST0_i$ = biaya total unit i sebelum *decommit*

$UCST1_i$ = biaya total setelah unit i *decommit*

Kemudian dihitung kapasitas *spinning total decommitting* ($DUSC_i$) dari unit i yang di-*decommitted* selama periode waktu:

$$DUSC_i = \sum_t \{ \min \{ EXS_t, (P_{i_{max}} * (1 - U_{it}^{\wedge})) \} * U_{it}^0 \} \quad (4)$$

dengan:

EXS_t = biaya total unit i sebelum *decommit*

$P_{i_{max}}$ = biaya total setelah unit i *decommit*

U_{it}^{\wedge} = jadwal unit setelah unit i *decommit*

U_{it}^0 = jadwal unit sebelum unit i *decommit*

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

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

dengan:

$SUCST_i$ = penghematan unit i

$DUSC_i$ = total kapasitas cadangan

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:

$$\begin{aligned} \min \{ & \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I F_i(p_{i,t}) \times U_{i,t} + \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{i=1}^I C_{up,i} ((U_{i,t+1} - U_{i,t}) + |U_{i,t+1} - U_{i,t}|) / 2 + \\ & \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{i=1}^I C_{down,i} (|U_{i,t+1} - U_{i,t}| - (U_{i,t+1} - U_{i,t})) / 2 \} \end{aligned} \quad (6)$$

subyek pada:

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

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

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

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

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

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

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

T adalah jumlah interval *trading* dalam satu siklus *dispatch*, t adalah indeks interval *trading*, ($t = 0, \dots, T$), i adalah jumlah dari unit pembangkit ($i = 1, \dots, I$), 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

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

Selanjutnya ditetapkan

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

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

Setelah itu, subprogram *dynamic programming* digunakan untuk masing-masing kandidat unit untuk menentukan dekomitmen optimal (dekomitmen 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 sebagai berikut:

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' , X' , P'), demikian juga untuk mendapatkan nilai fungsi objektif 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 PEMBAHASAN

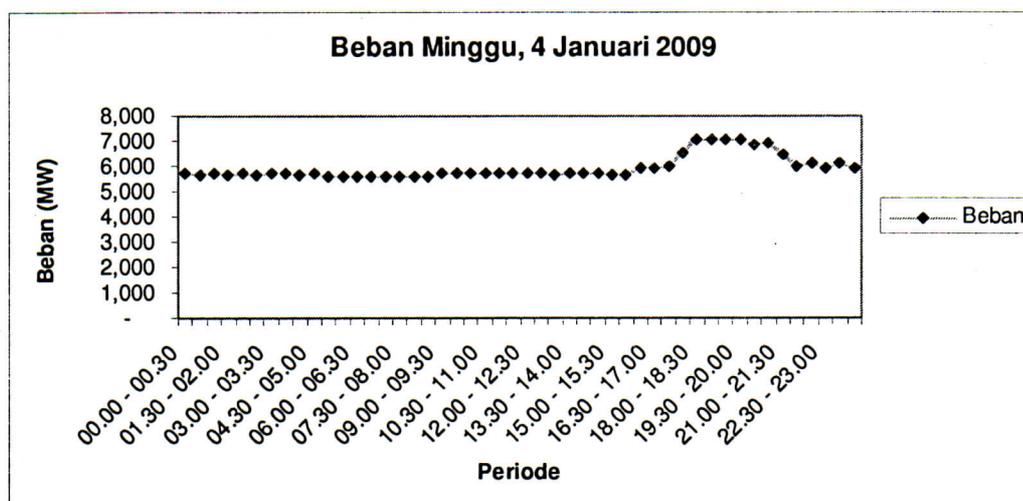
Untuk melakukan simulasi prosedur *modified unit decommitment* algoritmanya adalah:

- 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*).
- 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.

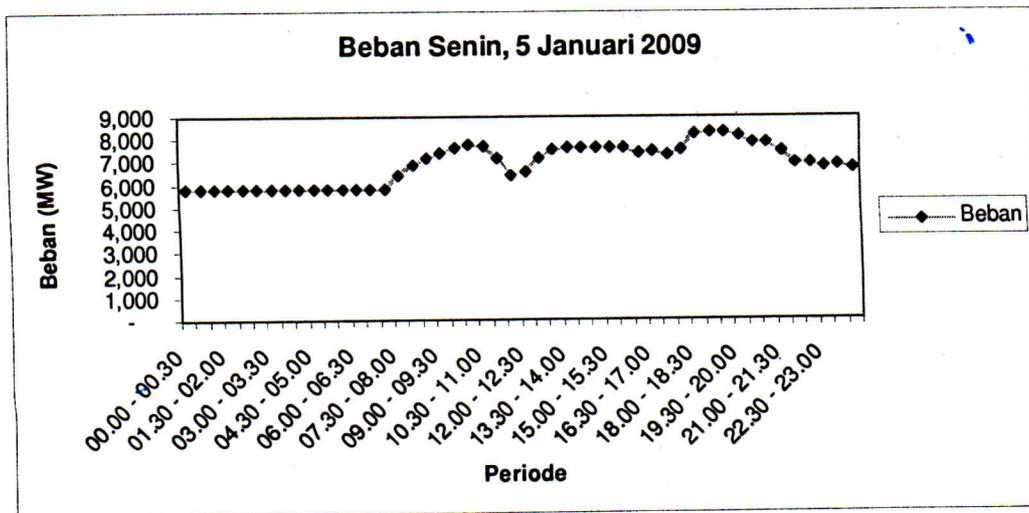
Data yang diperlukan untuk simulasi penjadwalan adalah menggunakan data parameter pembangkit thermal unit pembangkit yang dikelola PT. PLN (Persero) Indonesia Power dan Pembangkitan Jawa Bali. Data beban menggunakan data beban pada hari Minggu, 4 Januari 2009 dan beban Senin, 5 Januari 2009 (Gambar 1 dan Gambar 2).

Setelah dilakukan simulasi dengan metode *modified unit decommitment* diperoleh penjadwalan yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

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 yang mengalami *standby* sebagian periode adalah unit 32, 31, 28, 27, 26, 23, 22, dan 21.



Gambar 1 Kurva Beban Minggu, 4 Januari 2009

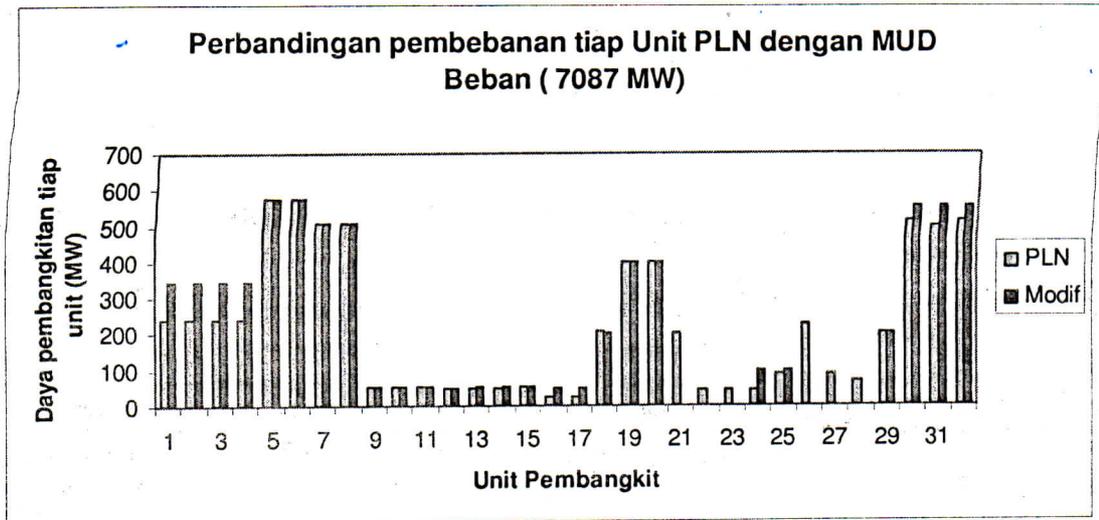


Gambar 2 Kurva Beban Senin, 5 Januari 2009

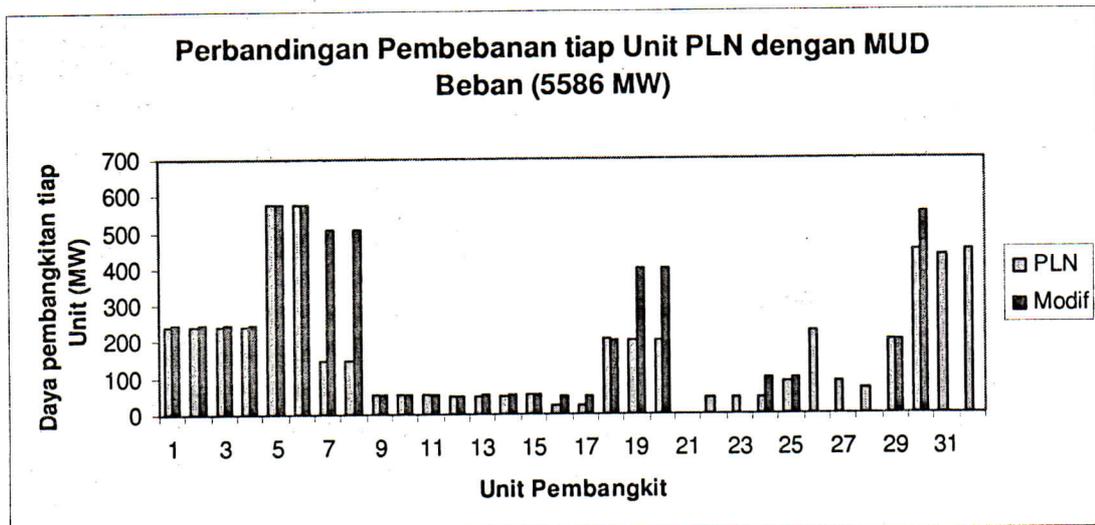
Tabel 1 Unit-unit yang Mengalami Shutdown dan Standby pada Periode Senin, 5 Januari 2009

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	26	PLTU Paiton #2	00.00 - 24.00	24 jam (shutdown)
	27	PLTU Gresik #1	00.00 - 24.00	24 jam (shutdown)
	28	PLTU Gresik #1	00.00 - 07.30	7,5 jam (standby)
			00.00 - 08.00	8 jam (standby)
			11.30 - 12.30	1 jam (standby)
00.00 - 08.00			8 jam (standby)	
27	PLTU Gresik #1	11.00 - 13.00	2 jam (standby)	
		21.30 - 24.00	3,5 jam (standby)	
		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)	

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.



Gambar 3 Grafik Perbandingan Pembebanan Tiap Unit Penjadwalan PLN dengan Penjadwalan Metode *Modified Unit Decommitment* pada Beban Maksimum



Gambar 4 Grafik Perbandingan Pembebanan Tiap Unit Penjadwalan PLN dengan Penjadwalan Metode *Modified Unit Decommitment* pada Beban Minimum

Tabel 2 menunjukkan perbandingan biaya operasional antara *Unit Commitment* dengan *Modified Unit Decommitment*. Dari Tabel 2 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.

Tabel 2 Perbandingan Biaya Operasional antara *Unit Commitment* dengan *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,-

KESIMPULAN

Penjadwalan pembangkit dengan MUD dapat digunakan untuk penyelesaian penjadwalan dengan tujuan memperoleh kombinasi pembangkit dengan biaya yang ekonomis, relatif *feasible*.

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 penjadwalan hari Minggu, 6 PLTU *standby* selama 0,5-8 jam dan dua PLTGU *standby* selama 1-8 jam pada penjadwalan hari Senin.

Bila dibandingkan dengan penjadwalan metode UC, MUD menghasilkan penghematan biaya sebesar Rp. 452,92 juta pada penjadwalan Minggu 4 Januari 2009, dan penghematan sebesar Rp. 181,2 juta pada penjadwalan Senin, 5 Januari 2009.

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

- Cohen, I.A. & Yoshimura, M.A. 1983. Branch and Bound Algorithm for Unit Commitment. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-102 (2): 444-451.
- Hobbs, W.J., Hermon, G., Warner, S. & Sheble, G.B. 1988. An Enhanced Dynamic Programming Approach for Unit Commitment. *IEEE Transactions on Power Systems*, 3 (3): 1201-1205.
- Feixiong H., Zheng Y., Yixin N. 2004. Unit Commitment Based on Modified Unit Decommittment Method. *IEEE Transactions on Power Systems*.
- Johnson, C.A. Li R.B., & Svobada, A.J. 1997. A New Unit Commitment Method. *IEEE Transactions on Power Systems*, 12 (1): 113-119.
- Wood, A.J. & Wollenberg, B.F. 1996. *Power Generation Operation, and Control* (2nd ed.) New York: John Wiley & Sons.