

PROSIDING

**SEMINAR NASIONAL
IPTEK 2
2010**



**PERAN TEKNOLOGI
DALAM ERA PERSAINGAN BEBAS
MENYONGSONG ABAD INFORMASI**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA**

ISBN : 978-979-9459-86-2

Diterbitkan oleh:

Untag Press

Jln. Semolowaru 45 Surabaya 60118

Jilid : 1

Email: media-ft@plasa.com

Hak Cipta 2010 pada penerbit

PROSIDING

**SEMINAR NASIONAL
IPTEK 2**

**PERAN TEKNOLOGI
DALAM ERA PERSAINGAN BEBAS
MENYONGSONG ABAD INFORMASI**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
GEDUNG PASCA SARJANA
SURABAYA, 14 JUNI 2010**

UNTAG PRESS

ISBN : 978-979-9459-86-2

SUSUNAN PANITIA

Pelindung	:Prof. Dr.. Ida Aju Brahmasari Rektor Untag Surabaya
Penanggung Jawab	:Dr.Ir. Muaffaq A. Jani, M.Eng
Pengarah	:Dr. Ir. Muslimin AR, MSIE Ir. Masriel Djamaloes, MM Ir. Bantot Sutriono, MSc
Ketua	:Prof. Dr. Ir. Wateno Oetomo, MM
Sekretaris	:Supangat, S.Kom, MM.Kom
Bendahara	:Ir. Priyoto, MT
Pubikasi dan Dokumentasi	:Ir. Eko Umartopo
Makalah dan Proseding	:Dr. Ir. Retno Hastijanti, MT
Acara/Persidangan dan Protokoler	:Ir. Gatut Budiono, MSc
Transportasi dan Akomodasi	:Partono, ST
Kesekretariatan dan Logistik	:Ida Yuliana,S.Psi
Konsumsi	:Ir. Ratna Hartayu, MT

DAFTAR ISI

Kata Pengantar

Sambutan Ketua Panitia

Sambutan Dekan Fakultas Teknik

Susunan Panitia

Daftar Isi

SISTEM INFORMASI PERENCANAAN PEMELIHARAAN UNIT PEMBANGKIT LISTRIK GATUT BUDIONO	1 – 22
PENGARUH AIR LAUT TERHADAP KUAT BETON DENGAN MENGGUNAKAN CAMPURAN FLY ASH DITINJAU DARI KUAT TEKAN BETON GEDE SARYA	23 – 34
PENENTUAN WAKTU PENGGANTIAN KOMPONEN DAN BIAYA PENGGANTIAN YANG OPTIMAL PADA MESIN CRAW WLER ROCK DRILL I NYOMAN LOKAJAYA	35 – 43
PENGENDALIAN DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR) MENGGUNAKAN DIAGONAL RECURRENT NEURAL NETWORK UNTUK PEMULIHAN KEDIP TEGANGAN DEDY KURNIA SETLAWAN	44 – 47
ANALISA DESAIN SISTEM INFORMASI AKUNTANSI PERSEDIAAN BERBASIS KOMPUTER PADA PERUSAHAAN KONSTRUKSI DENGAN COBIT FRAMEWORK DOMAIN I HERY MURNAWAN	48 – 53
AUDIT SISTEM INFORMASI KOMPUTERISASI AKUNTANSI BERBASIS CONTROL OBJECTIVES FOR INFORMATION AND RELATED TECHNOLOGY DOMAIN 2 BALOK HARIADI	54 – 60

KAJIAN PETA BISNIS SENTRA INDUSTRI DI KABUPATEN SIDOARJO DENGAN PENDEKATAN KLASTERING SEBAGAI BASIS UNTUK MEMBANGUN KEUNGGULAN DAERAH MELALUI PENGEMBANGAN INDUSTRI KECIL DAN MENENGAH YANG EFEKTIF DAN KOMPETITIF <i>ERNI PUSPANANTASARI PUTRI INDAHATI</i>	61 – 70
PENYUSUNAN RENCANA ANGGARAN BIAYA DENGAN APLIKASI ACCESS <i>BUDI WITJAKSANA</i>	71 – 90
PENGGUNAAN FLYBACK CONVERTER PADA SISTEM PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR (PMSM) DRIVE DENGAN KONTROLLER DIAGONAL RECURRENT NEURAL NETWORK (DRNN) <i>DEDY KURNIA SETIAWAN</i>	91 – 100
PENJADWALAN UNIT-UNIT PEMBANGKIT THERMAL PADA SISTEM KELISTRIKAN JAWA-BALI DENGAN MENGUNAKAN METODE UNIT DECOMMITMENT (UD) DAN MODIFIED UNIT DECOMMITMENT (MUD) <i>ARIS HERI ANDRIAWAN</i>	101-107

Penjadwalan Unit-Unit Pembangkit Thermal Pada Sistem Kelistrikan Jawa - Bali dengan Menggunakan Metode Unit Decommitment (UD) dan Modified Unit Decommitment (MUD)

Aris Heri Andriawan

Dosen Program Studi Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
e-mail: aris_po@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini menerapkan metode *Dynamic Programming* pada Penjadwalan Pembangkit thermal dengan *Unit Decommitment (UD)* dan *Modified Unit Decommitment (MUD)* penjadwalan pembangkit. Penggunaan UD dan 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, sehingga kebutuhan beban dapat dilayani secara baik dengan biaya operasi pembangkitan minimum. Pada UD dan MUD keduanya sama-sama mengasumsikan 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. 452,98 juta penjadwalan hari Minggu, Rp. 181,7 Juta penjadwalan hari Senin dengan penjadwalan UD. Penghematan Rp. 452,92 juta penjadwalan hari Minggu, dan Rp. 181,2 juta hari Senin dengan penjadwalan MUD.

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

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin maju 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 and 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 Decommitmen*[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.

2. UNIT DECOMMITMENT

2.1 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.

2.2 Penyelesaian Unit Decommitment

Prosedur *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.

2.3. Rumusan Masalah

Tujuan utama penjadwalan adalah untuk meminimisasi biaya operasi pembangkit untuk memenuhi keseimbangan persediaan-permintaan (*demand-supply*) dan keandalan cadangan dengan biaya operasi minimal. Secara matematis masalah ditulis sebagai berikut:

$$F_{Total} = \min \sum_t \sum_i \left[C_{it}(P_{it}) * U_{it} + S_{it}(X_{i,t-1}, U_{i,t}, U_{i,t-1}) \right] \dots (1)$$

dibatasi oleh:

$$\sum_i P_{it} * U_{it} = D_t, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad \dots (2)$$

$$\sum_i R_{it} * U_{it} - (D_t + R_t \text{ req}) \geq 0, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad \dots (3)$$

dengan :

F_{Total} = total biaya operasi pembangkit

$X_{i,t}$ = variabel keadaan menunjukkan jam apabila unit on/off line

$P_{i,t}$ = level pembangkitan dalam periode t

U_{it} = variabel keputusan untuk unit i pada jam t (1= online, 0 = offline)

S_{it} = fungsi biaya startup

C_{it} = fungsi biaya pembangkitan

Constraint yang ditentukan (2) adalah *constraint* keseimbangan *demand supply*, dengan D_t sebagai permintaan (*demand*) yang diramalkan dalam periode t. *Constraint* yang ditentukan (3) menunjukkan cadangan putar (*spinning reserve*) yang diperlukannya, dengan R_{it} menunjukkan kontribusi unit

i untuk kapasitas putaran dalam periode t , dan R_i^{req} cadangan yang dibutuhkan dalam periode t .

2.4. Fungsi Obyektif

Fungsi obyektif dimaksudkan untuk memperkecil biaya total sistem yang dirumuskan pada persamaan (1), dan bila memperhitungkan *constraint* persamaan beban minimum (3) ke dalam fungsi obyektif dengan mengalikannya dengan λ_i , maka akan memperkecil *augmented* fungsi obyektif sebagai suatu problem optimasi (P):

$$(P) \min \{ \sum_t \sum_i [C_{it}(P_{it}) * U_{it} + S_{it}(X_{i,t-1}, U_{i,t}, U_{i,t-1}) - \lambda_i (\sum_i P_{it} * U_{it} - D_t)] \} \quad \dots(4)$$

dengan :

X_{it} = variabel keadaan menunjukkan jam apabila unit on/off line

P_{it} = level pembangkitan dalam periode t

U_{it} = variabel keputusan untuk unit i pada jam t ($1 = \text{online}, 0 = \text{offline}$)

S_{it} = fungsi biaya startup

C_{it} = fungsi biaya pembangkitan

D_t = beban sistem dari jam t

λ_i = faktor pengali lagrange

dibatasi oleh:

1. Nilai positif dari kelebihan cadangan putar

$$EXS_t = \sum_i R_{it} * U_{it} - D_t - R_t^{req} \geq 0 \quad (5)$$

dengan :

EXS_t = kelebihan cadangan putar sistem

R_{it} = kapasitas berputar unit i pada jam t

R_t^{req} = cadangan putar yang dibutuhkan sistem

U_{it} = variabel keputusan untuk unit i pada jam t

D_t = beban sistem dari jam t

2. *Constraint-constraint* lain unit termasuk batas-batas pembangkitan minimum dan maksimum, *minimum up* dan *down time*, *ramp rate*, *must run status*, keadaan jadwal manual dan sebagainya.

Minimisasi problem (P) diselesaikan dengan suatu pendekatan optimal ordered unit decommitment.

2.5 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 memetakan 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: UCST_{0_i}, adalah biaya total dari obyektif (4) sebelum unit i *decommitting* ialah:

$$UCST_0 = \sum_t [C_{it}(P_{it}^0) * U_{it}^0 + S_{it}(X_{i,t-1}^0, U_{it}^0, U_{i,t-1}^0) - \lambda_i^0 P_{it}^0 * U_{it}^0] \quad \dots(6)$$

UCST_{1_i}, adalah biaya total dari obyektif (4) setelah unit i *decommitting* ialah:

$$UCST_1 = \sum_t [C_{it}(P_{it}^0) * U_{it}^{\wedge} + S_{it}(X_{i,t-1}^{\wedge}, U_{it}^{\wedge}, U_{i,t-1}^{\wedge}) - \lambda_i^0 P_{it}^0 * U_{it}^{\wedge}] \quad \dots(7)$$

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

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (6) dan (7), 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:

$$SUCST_i = UCST_0 - UCST_1 \quad \dots(8)$$

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

$$DUSC_i = \sum_t \{ \min \{ EXS_t \}, (P_{i \max} * (1 - U_{it}^{\wedge})) \} * U_{it}^0 \} \quad \dots(9)$$

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

$$RUCST_i = SUCST_i / DUSC_i \quad \dots(10)$$

dengan :

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

P_{it}^{\wedge} = pembangkitan unit i setelah *decommitting*

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

2.6 Rumusan (formulasi) MODIFIED UNIT DECOMMITMENT

Metode MUD pada prinsipnya sama dengan UD, perbedaan utamanya terletak pada formulasi masalah (fungsi obyektif dan konstrainnya). Dan fungsi obyektif didefinisikan sebagai berikut:

$$\min \left\{ \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I F_i(P_{i,t}) * U_{i,t} + \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{i=1}^I C_{up,i} ((U_{i,t+1} - U_{i,t}) + |U_{i,t+1} - U_{i,t}|) / 2 + \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{i=1}^I C_{down,i} (|U_{i,t+1} - U_{i,t}| - (U_{i,t+1} - U_{i,t})) / 2 \right\} \quad (11)$$

subyek pada:

$$EXS_t = \sum_i R_{it} * U_{it} - D_t - R_t^{req} \geq 0 \quad \dots(12)$$

$$D_t - \sum_{i=1}^I P_{i,t} * U_{i,t} = 0 \quad \dots(13)$$

$$P_i^{\min} \leq P_{i,t} \leq P_i^{\max} \quad \dots(15)$$

$$p_{i,t} - \delta_{i,t} \leq p_{i,t} \leq p_{i,t} + \delta_{i,t} \quad \dots(16)$$

$$|X_{i,t}| \geq t_i^{on}, \text{ jika } U_{i,t} = 0 \text{ dan } U_{i,t} = 1 \quad \dots(17)$$

$$|X_{i,t}| \geq t_i^{off}, \text{ jika } U_{i,t} = 1 \text{ dan } U_{i,t} = 0. \quad \dots(18)$$

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, $X_{i,t}$ 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.

2.7 Algoritma Solusi

Proses algoritma dari MUD hampir sama dengan UD, 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

$$X_{i,t} \text{ atau } |X_{i,t}| > t_i^{off} \quad \dots(19)$$

Selanjutnya ditetapkan

$$U_{i,t}^0 = 1 \quad t \in \{t, \dots, T\} \quad \dots(20)$$

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 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.

2.8 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.

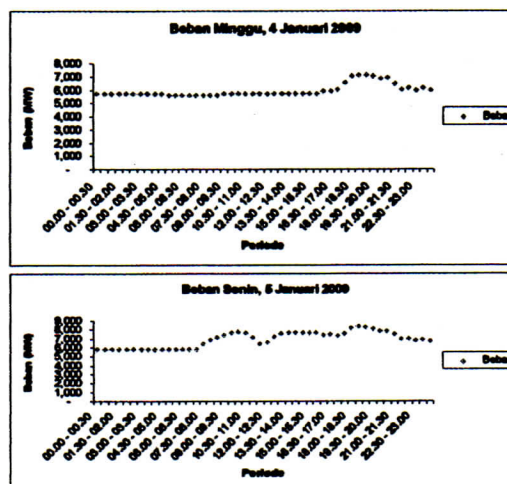
3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 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*).
- 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 4 - 5 Januari 2009

Setelah dilakukan simulasi dengan metode UD dan MUD diperoleh perbandingan schedule penjadwalan antara penjadwalan PLN dan penjadwalan metode UD dan MUD yang terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

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.

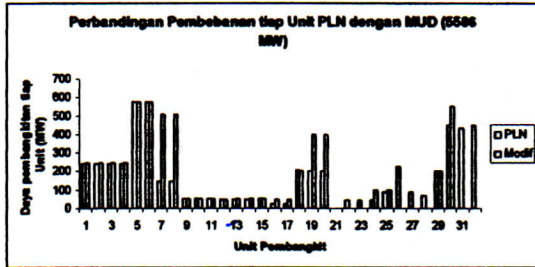
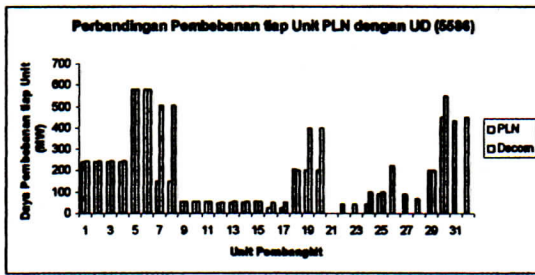
Tabel 1. Unit-unit yang mengalami *shutdown* dan *standby*, dengan UD dan MUD

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)
	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 - 24.00	24 jam (shutdown)	
Senin, 5 Januari 2009	32	PLTGU Gresik # B1	00.00 - 07.30	7,5 jam (standby)
	31	PLTGU Gresik # B1	00.00 - 08.00	8 jam (standby)
			11.30 - 12.30	1 jam (standby)
			00.00 - 08.00	8 jam (standby)
	28	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)
	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)
	26	PLTU Paiton #2	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)
			21.00 - 24.00	3 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)	

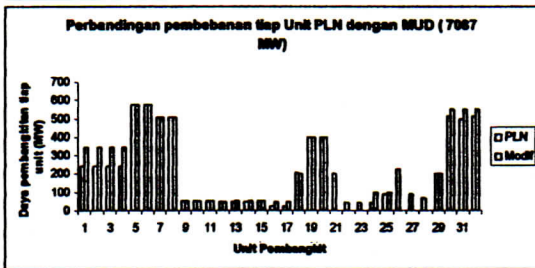
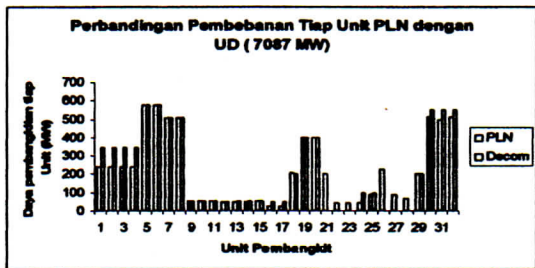
Tabel 2. Perbandingan Biaya Operasional antara *Unit Commitment*, *UD* dan *MUD* Periode 4 – 5 Januari 2009

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,-



Gambar 2. Grafik Perbandingan Pembebanan tiap Unit Penjadwalan PLN dengan Penjadwalan Metode UD dan MUD pada Beban Minimum



Gambar 3. Grafik Perbandingan Pembebanan tiap Unit Penjadwalan PLN dengan Penjadwalan Metode UD dan MUD 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, UD dan MUD cukup banyak unit yang *decommit* pada beban-beban tertentu. Perbandingan pembebanan tiap unit oleh PLN dengan UD dan MUD ditunjukkan pada Gambar 1. Hal ini dapat diambil kesimpulan bahwa penjadwalan dengan UD dan MUD lebih ekonomis total biaya operasinya bila dibanding dengan penjadwalan PLN. Sehingga ke-dua metode ini menjadi metode

alternatif yang dipakai untuk penjadwalan untuk menghasilkan total biaya operasi lebih efisien.

Tabel 2. menunjukkan perbandingan biaya operasional antara UC, UD dan Modified Unit *Decommitment*. Dari tabel tersebut terlihat bahwa dengan UC biaya operasinya paling tinggi, sedangkan UD dan MUD biaya operasinya lebih murah.

Berdasarkan Tabel 2. dihasilkan penghematan biaya terhadap biaya operasi UC, Rp. 452,98 juta penjadwalan Minggu, Rp. 181,7 juta penjadwalan Senin dengan metode UD. Penghematan Rp. 452,92 juta penjadwalan Minggu, dan Rp. 181,2 juta penjadwalan Senin dengan metode MUD. Sehingga, dari analisis simulasi penjadwalan yang dilakukan memberi kontribusi kepada PLN bahwa kedua metode penjadwalan pada penelitian ini dapat dipertimbangkan oleh PLN dipakai untuk penjadwalan dengan tujuan menghemat biaya operasi pembangkit.

5. KESIMPULAN

1. Penjadwalan pembangkit dengan UD dan MUD dapat digunakan untuk penyelesaian dalam rangka memperoleh kombinasi penjadwalan pembangkit yang relatif *feasible*.
2. Dari 32 unit yang beroperasi dan dilakukan penjadwalan dengan UD dan MUD 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. 452,98Rp. juta penjadwalan Minggu, Rp. 181,7 juta penjadwalan Senin dengan metode UD. Penghematan Rp. 452,92 juta penjadwalan Minggu, Rp. 181,2 juta penjadwalan Senin, dengan metode MUD
4. Dari analisis simulasi penjadwalan yang dilakukan memberi kontribusi kepada PLN bahwa metode UD dan MUD dapat dipertimbangkan oleh PLN sebagai metode alternatif yang dipakai untuk penjadwalan dengan tujuan menghemat biaya operasi pembangkit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] F. N. Lee, "Short-Term Thermal Unit Commitment—A New Approach," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, No.2, pp. 421~428, 1988.
- [6] 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 Apparatus and Systems*, PAS-100 (3), pp. 1212~1218, 1981
- [7] 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
- [8] F. N. Lee, "A Fuel Constrained Unit Commitment Method," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 4, No. 3, pp. 1208~1218, 1989.
- [9] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, "Power Generation Operation, and Control", Second edition, New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [10] 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.
- [11] Chung Li Tseng and S Oren, Alva JS and Raymond B Johnson, "A Unit Decommittment Method in Power System Scheduling", *Electrical Power & Energy Systems*, Elsevier Sciece, vol. 19, no. 6, pp. 357-365, 1997.
- [12] Wrahatnolo, Tri, **Optimalisasi Penjadwalan Unit Termal Pada PT. PLN (Persero) Pembangkitan Tenaga Listrik Jawa-Bali Menggunakan Metode Unit Decommittment**, Tesis Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2001.
- [13] Widodo, Gatot, **Penjadwalan Jangka Pendek Pembangkit Thermal pada Beban Minimum Menggunakan Metode Unit Commitment dengan Prosedur Unit Decommittment**, Tesis Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2002.
- [14] Feixiong Hu, Zheng Yan, Yixin Ni, "Unit Commitment Based on Modified Unit Decommittment Method," *IEEE Transactions on Power Systems*, 2004.