

ALGORITMA PEMROGRAMAN KOMPUTER BERDASARKAN METODE PENYELESAIAN ANALITIS TERHADAP PERSOALAN *DISPATCH* EKONOMI

Abdul Rajab

Laboratorium Sistem Transmisi Dan Distribusi Elektrik
Jurusan Teknik Elektro Unand

ABSTRAK

Pada tahun 2000, Marcelino Madrigal dan Victor H. Quintana memperkenalkan metode Penyelesaian Analitis Terhadap Problem Dispatch Ekonomi tanpa pendekatan numerik iteratif sebagaimana yang berkembang sebelumnya. Fungsi biaya pembangkitan diasumsikan sebagai fungsi kuadratis convex, penyelesaian kemudian dilakukan dengan menggunakan teori dualitas. Hasilnya adalah selesaian yang "unik" dan eksak. Untuk sistem besar yang terdiri dari puluhan unit pembangkit termal, maka penggunaan komputer sebagai alat bantu komputasi adalah suatu keniscayaan, sehingga diperlukan suatu algoritma pemrograman berbasis pada metode penyelesaian analitis ini.

Program komputer yang dibuat berdasarkan algoritma ini dicobakan terhadap sebuah sistem yang terdiri dari 20 unit pembangkit termal. Kemampuan untuk memilah unit-unit mana yang akan dioperasikan pada berbagai level pembebanan menunjukkan bahwa program ini berhasil sesuai dengan yang diharapkan. Semua unit bekerja dalam rentang kemampuan operasinya. Program bahkan bisa menampilkan fenomena unit 13 yang biaya operasinya murah pada level pembebanan rendah sekaligus mahal pada level pembebanan tinggi.

A. PENDAHULUAN

Kenaikan harga bahan bakar minyak (BBM) dunia memaksa pemerintah untuk menaikkan harga BBM di dalam negeri. Perbedaan yang besar antara harga pasar dunia dengan harga dalam negeri ditengarai sebagai pemicu terjadinya penyelundupan yang pada gilirannya akan merugikan keuangan negara maupun masyarakat dalam bentuk kelangkaan.

Usaha penghematan konsumsi energi berkaitan erat dengan usaha untuk mengoptimalkan penggunaan sumber energi primer yang tersedia, terutama pemanfaatan sumber energi fosil pada pusat-pusat pembangkit unit termal. Untuk itu diperlukan suatu upaya untuk melakukan pembagian beban secara ekonomis diantara unit-unit pembangkit termal yang ada, atau yang dikenal sebagai "Persoalan Dispatch Ekonomi". Persoalan dispatch ekonomi adalah persoalan tentang bagaimana menentukan daya yang harus dibangkitkan oleh setiap unit pembangkit termal agar biaya total pembangkitan sekecil mungkin dengan tetap memperhatikan kendala-kendala teknis pembangkit.

Persoalan dispatch ekonomi dan metode penyelesaiannya telah berlangsung lebih dari 40 tahun. Mulai dari yang klasik seperti metode kesamaan biaya inkremental hingga metode-metode iterasi- λ berbasis komputer, seperti metode Newton dan metode Gradien (A.J. Wood dan B.T. Wollenberg, 1996). Semua metode ini menggunakan pendekatan numerik iteratif dalam mencari selesaian.

Salah satu metode yang agak berbeda adalah metode Penyelesaian Analitis (Marcelino Madrigal dan Victor H. Quintana, 2000). Berbeda dengan metode-metode yang berkembang sebelumnya - yang menggunakan pendekatan numerik iteratif dan memanfaatkan algoritma pemrograman komputer dalam rangka mencari penyelesaian - metode ini justru menggunakan penyelesaian langsung dengan memperlakukan fungsi biaya pembangkitan sebagai fungsi kuadratis convex. penyelesaian kemudian dilakukan dengan menggunakan teori dualitas (D.P. Bertsekas, 1992) dan optimasi terhadap fungsi yang tak terdiferensialkan (M.M. Makale dan P. Neittaanmaki, 1992). Hasilnya adalah selesaian yang "unik" dan eksak.

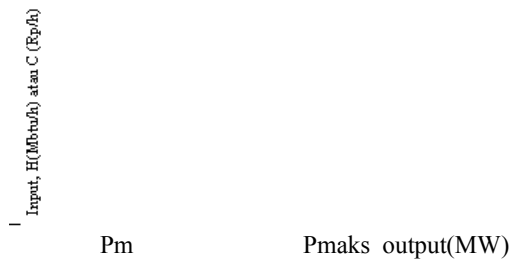
Untuk sistem besar yang terdiri dari puluhan atau lebih pembangkit unit termal, maka penggunaan komputer sebagai alat bantu komputasi adalah suatu keniscayaan, sehingga diperlukan suatu algoritma pemrograman berbasis pada metode Penyelesaian Analitis ini.

B. KARAKTERISTIK PEMBANGKIT UNIT THERMAL

Hal mendasar dalam pengoperasian ekonomis sistem adalah karakteristik input-output unit pembangkit termal. Dalam mendefinisikan karakteristik unit, yang dimaksudkan adalah kurva yang menghubungkan antara masukan kotor terhadap output bersih. Input bersih bisa dinyatakan dalam Rp per jam atau ton batubara per jam atau ribuan meter

kubik gas per jam atau satuan-satuan yang lain. Output bersih adalah output daya listrik yang tersedia bagi sistem tenaga. simbol-simbol karakteristik pembangkit unit termal digunakan, adalah :

- H = Input panas ke unit (Btu/h)
- C = Biaya bahan bakar per Btu dikalikan dengan H (Rp/h)



Gambar 1 Karakteristik input-output unit termal.

Gambar 1 menunjukkan karakteristik input-output sebuah unit termal dalam bentuk yang telah diidealkan. Masukan ke unit pembangkit bisa dinyatakan dalam keperluan energi panas (MBtu/jam) atau dalam bentuk biaya total perjam (Rupiah/jam). Karakteristik yang diidealkan ini dinyatakan sebagai sebuah kurva yang smooth dan cembung.

C. MODEL MATEMATIS PERSOALAN DISPATCH EKONOMI

Problem dispatch ekononomi klasik dari N unit pembangkitan termal, adalah menentukan keluaran daya masing-masing pembangkit P_i , yang mensuplai permintaan daya P_d , pada biaya minimum, sambil memperhatikan batas-batas produksi generator, yaitu :

$$F = \min \sum_{i=1}^N C_i(p_i) \tag{1}$$

terhadap $P_d - \sum_{i=1}^N P_i = 0$

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad i = 1, \dots, N$$

Dimana :

- P_i = Keluaran generator ke-i (MW)
- $C_i(p_i) = \alpha + \beta P_i + \gamma P_i^2$ (R)
= fungsi biaya yang akan diminimumkan
- P_d = Permintaan daya (MW)
- $P_{i,min}$ = kapasitas minimum generator ke-i
- $P_{i,max}$ = kapasitas maksimum generator ke-i
- N = jumlah generator

D. PENYELESAIAN SECARA ANALITIS

Problem dual (disebut juga Lagrangian-dual) dari problem ED persamaan (1) diberikan oleh persamaan (2) berikut :

$$\phi^* = \max \phi(\lambda) \tag{2}$$

Oleh karena persamaan (1) merupakan problem pemrograman cembung kuadratis, maka syarat penggunaan teorema dualitas terpenuhi, sehingga nilai optimal primal F^* dan nilai optimal dual ϕ^* mempunyai nilai fungsi obyektif yang sama. Dalam hal ini tidak ada duality gap (gap dualitas), $F^* - \phi^* = 0$, dan terdapat pengali lagrange λ^* yang menyelesaikan persamaan (1). Selesaiannya adalah unik baik untuk problem primal maupun problem dual.

Dalam rangka membangun syarat-syarat nilai ekstrim dari fungsi obyektif F , fungsi kendala perlu ditambahkan terhadap fungsi obyektif setelah terlebih dahulu dikalikan dengan sebuah pengali Lagrange λ , atau dalam bentuk matematik dinyatakan oleh persamaan (3) berikut ini :

$$\phi(\lambda) = F + \lambda \psi \tag{3}$$

dimana ψ merupakan persamaan kendala dalam persamaan (1) yaitu :

$$\psi = P_d - \sum_{i=1}^N P_i$$

dengan memasukkan nilai F pada persamaan (3), kemudian diatur ulang, maka akan diperoleh persamaan (4) berikut ini :

$$\phi(\lambda) = \lambda P_d + \sum \phi_i(\lambda) \tag{4}$$

yang komponen-komponen fungsi dualnya diberikan oleh persamaan (5) berikut :

$$\phi_i(\lambda) = \min_{P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max}} [\alpha_i + (\beta_i - \lambda)P_i + \gamma_i P_i^2] \tag{5}$$

$$-\partial \phi_i(\lambda) = P_i^*(\lambda)$$

$P_{i,max}$

$$(\lambda - \beta_i) / (2\gamma_i)$$

$P_{i,min}$

$$\beta_i + 2\gamma_i P_{i,min} \quad \beta_i + 2\gamma_i P_{i,max} \quad \lambda$$

Gambar 2. Daya keluaran generator yang menyelesaikan (5)

Syarat perlu dan cukup supaya titik nilai λ^* optimal terhadap persamaan (3) adalah :

$$0 \in D\phi(\lambda^*) \tag{6}$$

$D\phi(\lambda)$ didefinisikan sebagai kumpulan semua

subgradien fungsi dual pada λ . $\frac{\partial \phi(\lambda)}{\partial \lambda}$ adalah subgradien ϕ pada λ jika dia memenuhi syarat :

$$\varphi(\lambda') \leq \varphi(\lambda) + \frac{\partial \varphi(\lambda)}{\partial \lambda} (\lambda' - \lambda) \quad \forall \lambda' > 0 \quad (7)$$

Syarat optimalitas dalam persamaan (6) memberikan spesifikasi bahwa fungsi dual mencapai maksimumnya pada titik dimana $D\varphi(\lambda^*)$, bernilai nol untuk satu dari subgradiennya, $\frac{\partial \varphi(\lambda)}{\partial \lambda}$, oleh karenanya, untuk memaksimalkan persamaan (4), cukup mencari nilai λ yang memenuhi persamaan (8) berikut :

$$P_d = - \sum_{i=1}^n \frac{\partial \varphi_i(\lambda)}{\partial \lambda} \quad (8)$$

dimana $\frac{\partial \varphi_i(\lambda)}{\partial \lambda}$ merupakan subgradien dari $\varphi_i(\lambda)$.

Bila persamaan (5) diturunkan terhadap P_i maka selesaian terhadap persamaan (5) dalam setiap komponen diberikan oleh persamaan (9) berikut :

$$P_i^* = \begin{cases} P_{i,\min} & 0 \leq \lambda \leq Z_{i,\min} \\ \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i} & Z_{i,\min} \leq \lambda \leq Z_{i,\max} \\ P_{i,\max} & \lambda \geq Z_{i,\max} \end{cases} \quad (9)$$

Dimana :

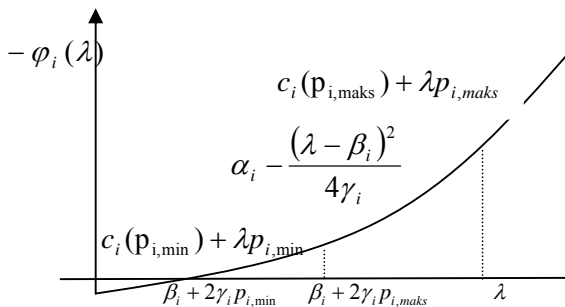
$$Z_{i,\min} = \beta_i + 2\gamma_i P_{i,\min}$$

$$Z_{i,\max} = \beta_i + 2\gamma_i P_{i,\max}$$

Apabila setiap komponen persamaan (9) disubstitusikan kedalam persamaan (5), maka akan diperoleh komponen-komponen fungsi dual sebagai berikut :

$$\varphi_i(\lambda) = \begin{cases} c_i(P_{i,\min}) - \lambda P_{i,\min} & 0 \leq \lambda \leq Z_{i,\min} \\ \alpha_i - \frac{(\lambda - \beta_i)^2}{4\gamma_i} & Z_{i,\min} \leq \lambda \leq Z_{i,\max} \\ c_i(P_{i,\max}) - \lambda P_{i,\max} & \lambda \geq Z_{i,\max} \end{cases} \quad (10)$$

Secara grafis, P_i^* dan $\varphi_i(\lambda)$ diperlihatkan dalam gambar 2 dan 3



Gambar 3 Komponen-komponen fungsi dual

Dengan memperhatikan gambar 2 dan 3, serta dengan menurunkan persamaan (10) terhadap λ , akan kita peroleh bahwa :

$$-\frac{\partial \varphi_i(\lambda)}{\partial \lambda} = P_i^*(\lambda) \quad (11)$$

Sehingga :

$$-\sum_{i=1}^n \frac{\partial \varphi_i(\lambda)}{\partial \lambda} = \sum_{i=1}^n P_i(\lambda) \quad (12)$$

Fungsi yang berada di sebelah kanan (12) terdiri dari n fungsi tak-menurun yang masing-masing memiliki dua titik tak-terdiferensialkan (gambar 3) dan oleh karenanya fungsi tersebut juga tak-menurun dengan titik-titik tak-terdiferensialkan yang jumlahnya paling banyak $2n$.

$$z = \left\{ \begin{matrix} \beta_1 + 2\gamma_1 P_{1,\min}, \beta_1 + 2\gamma_1 P_{1,\max}, \dots, \dots, \\ \dots, \beta_n + 2\gamma_n P_{n,\min}, \beta_n + 2\gamma_n P_{n,\max} \end{matrix} \right\} \quad (13)$$

Mari kita urut ulang titik-titik yang tak-menurun ini dalam bentuk $z_1 \leq z_2 \leq \dots \leq z_{2n}$.. kemudian mencari titik sepanjang sumbu λ dimana :

$$-\sum \frac{\partial \varphi_i(\lambda^*)}{\partial \lambda} = P_d$$

Kita defenisikan fungsi :

$$\phi(z_k) = -\sum \frac{\partial \varphi_i(z_k)}{\partial \lambda} \quad (14)$$

Sekarang kita menghitung titik dimana

$$\phi(\lambda^*) = -\sum \frac{\partial \varphi_i(\lambda^*)}{\partial \lambda} = P_d$$

Biarkan k merupakan indeks terkecil sehingga $\phi(z_k) \geq P_d$; maka λ^* diberikan oleh persamaan (15) berikut :

$$\lambda^* = z_k + [P_d - \phi(z_k)] \frac{z_k - z_{k-1}}{\phi(z_k) - \phi(z_{k-1})} \quad (15)$$

Perlu diingat bahwa $\phi(\lambda)$ adalah sebuah fungsi tak-menurun, sehingga persamaan (15) merupakan sebuah interpolasi sederhana. Dari persamaan-persamaan (15), (4) dan (5), dan dengan mengingat kembali bahwa:

$$\phi(\lambda^*) = \sum P_i^*(\lambda^*) = P_d$$

maka nilai optimal fungsi dual obyektif adalah :

$$\varphi^* = \lambda^* P_d + \sum_{i=1}^n \varphi_i(\lambda^*) \quad (16)$$

$$= \lambda^* P_d + \sum_{i=1}^n [C_i(P_i^*(\lambda)) - \lambda^* P_i^*(\lambda^*)]$$

$$= \sum C_i(P_i^*(\lambda))$$

Oleh karena tidak adanya gap dualitas, maka nilai optimal fungsi obyektif dual juga merupakan hasil dispatch (dispatches) terhadap problem primal yaitu :

$$P_i^* = P_i(\lambda^*) \quad i = 1, \dots, n \quad (17)$$

Karena persamaan (17) memenuhi semua kendala dalam persamaan (1), maka hasil-hasil *dispatch* (*dispatches*) adalah *feasible*. Agar dia optimal, maka cukup dengan membuktikan bahwa fungsi obyektif primal dengan *dispatch* ini adalah sama dengan fungsi obyektif dual yang optimal. Dari persamaan (1) dan persamaan (17), kita dapatkan bahwa :

$$F^* = \sum_{i=1}^n C_i(P_i^*) = \sum_{i=1}^n C_i(P_i^*(\lambda^*)) = \varphi^* \quad (18)$$

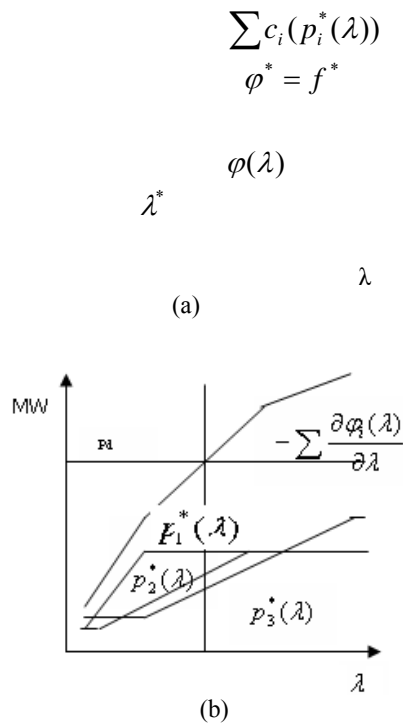
Oleh karena itu, P_i^* dalam persamaan (17) merupakan nilai optimal fungsi primal yang eksak (*dispatches*) dan λ^* dalam persamaan (15)

merupakan selesaian persamaan fungsi dual (*marginal price*) terhadap problem ED.

Dalam gambar 4 grafik pertama (a) diperlihatkan fungsi obyektif dual dan harga primal pada $P_i^*(\lambda)$; harga-harga ini sama pada λ^* ; pada titik yang sama

kita peroleh $\sum \frac{\partial \phi_i(\lambda^*)}{\partial \lambda} = \sum P_i^*(\lambda^*) = P_d$, sebagaimana terlihat pada grafik kedua (b). Oleh karenanya λ^* merupakan selesaian optimal problem dual dan $P_i^*(\lambda)$ untuk problem primal.

R



Gambar 4 Ilustrasi grafis titik selesaian

E. ALGORITMA PEMROGRAMAN

Untuk mendapatkan selesaian ini secara praktis, maka yang diperlukan adalah cara coba-coba untuk menelusuri setiap titik kurva turunan pertama fungsi dual persamaan (14), yaitu titik-titik Z yang jumlahnya paling banyak 2n dari persamaan (13). Jika fungsi dualnya adalah kuadratis, maka turunannya, $\phi(\lambda)$ pastilah sebuah garis lurus. Penelusuran dihentikan jika jumlah turunan pertama fungsi dual lebih besar atau sama dengan beban sistem. Jika Z_k yang menghasilkan $\phi(Z_k) \geq P_d$ maka titik penyelesaian optimal diperoleh melalui interpolasi persamaan (15).

Perlu diperhatikan pula bahwa jika $P_d < \phi(z_0)$ atau $P_d > \phi(z_{2n})$, maka problem adalah tidak feasible; yaitu, kapasitas daya minimum lebih besar dari permintaan daya P_d atau permintaan daya lebih besar dari kapasitas daya maksimum.

Singkatnya penyelesaian secara analitis bisa diringkas dalam sebuah algoritma pemrograman berikut ini :

- Langkah perhitungan diawali dengan mengoleksi data generator berupa kurva pembangkitan (Alfa, Beta dan Gamma), kapasitas pembebanan minimum dan maksimum generator, serta permintaan daya sistem P_d .
- Hitung $Z_{i,min}$ dan $Z_{i,maks}$ berdasarkan persamaan :
 $Z_{i,min} = \beta_i + 2\gamma_i P_{i,min}$
 $Z_{i,maks} = \beta_i + 2\gamma_i P_{i,maks}$
- Mengurut $Z_{i,min}$ dan $Z_{i,maks}$ ini secara menaik dalam bentuk :
 $Z_1 \leq Z_2 \leq \dots \leq Z_{2n}$.
- Mencari nilai turunan fungsi dual pada setiap titik Z_k , yang berdasarkan persamaan (11) bisa dicari melalui persamaan :

$$-\frac{\partial \phi}{\partial \lambda}(Z_k) = P_i = \begin{cases} P_{i,min} & 0 \leq Z_k \leq Z_{i,min} \\ \frac{Z_k - \beta_i}{2\gamma_i} & Z_{i,min} \leq Z_k \leq Z_{i,maks} \\ P_{i,maks} & Z_k \geq Z_{i,maks} \end{cases}$$

$$\phi(Z_k) = \sum_{i=1}^k -\frac{\partial \phi}{\partial \lambda}(Z_i)$$

- Melakukan penelusuran terhadap Z_k ini hingga diperoleh $\phi(Z_k) \geq P_d$, lalu menghitung λ^* melalui persamaan :

$$\lambda^* = Z_k + ((P_d - \phi(Z_k)) \frac{Z_k - Z_{k-1}}{\phi(Z_k) - \phi(Z_{k-1})})$$

- Menghitung keluaran tiap generator melalui persamaan :

$$P_i^* = \begin{cases} P_{i,min} & 0 \leq \lambda \leq Z_{i,min} \\ \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i} & Z_{i,min} \leq \lambda \leq Z_{i,maks} \\ P_{i,maks} & \lambda \geq Z_{i,maks} \end{cases}$$

- Menghitung harga total pembangkitan melalui persamaan :

$$\phi_i(\lambda) = \begin{cases} c_i(P_{i,min}) - \lambda P_{i,min} & 0 \leq \lambda \leq Z_{i,min} \\ \alpha_i - \frac{(\lambda - \beta_i)^2}{4\gamma_i} & Z_{i,min} \leq \lambda \leq Z_{i,maks} \\ c_i(P_{i,maks}) - \lambda P_{i,maks} & \lambda \geq Z_{i,maks} \end{cases}$$

atau melalui persamaan :

$$F = \sum_{i=1}^N C_i(p_i)$$

- Selesai.

F. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dibuat sebuah program komputer berdasarkan pada Algoritma yang telah

dikembangkan. Pengujian dilakukan terhadap sebuah contoh sistem yang terdiri dari 20 unit pembangkit termal [4]. Data kurva input-output untuk 20 unit pembangkit termal tersebut ditampilkan dalam tabel 1 berikut :

Tabel 1 Data kurva input-output kasus 20 pembangkit

α	β	γ	Pmin	Pmax
1000	18.19	0.00068	150	600
970	19.26	0.00071	50	200
600	19.80	0.00650	50	200
700	19.10	0.00500	50	200
420	18.10	0.00738	50	160
360	19.26	0.00612	50	100
490	17.14	0.00790	50	125
660	18.92	0.00813	50	150
765	18.27	0.00522	50	200
770	18.92	0.00573	30	150
800	16.69	0.00480	100	300
970	16.76	0.00310	150	500
900	17.36	0.00850	40	600
700	18.70	0.00511	20	130
450	18.70	0.00398	25	185
370	14.26	0.07120	20	80
480	19.14	0.00890	30	85
680	18.92	0.00713	30	120
700	18.47	0.00622	40	120
850	19.79	0.00773	30	100

Sistem dengan kelompok unit termal sebanyak 20 ini diberi pembebanan (PB) bervariasi, masing-masing 1000 MW, 1200 MW, 2600 MW dan 4000 MW. Pembebanan 1000 MW dimaksudkan untuk menunjukkan bahwa penyelesaian tidak feasible sehingga program komputer harus fleksibel dan tidak perlu error pada situasi seperti ini. Sedangkan pembebanan lainnya dimaksudkan untuk melihat pengaruh kurva output-input yang kuadratis terhadap pola pembebanan masing-masing unit termal.

F.1 Pembebanan 1000 MW

Pemberian beban terhadap kelompok unit termal yang lebih kecil dari 1065 MW tidak akan menghasilkan selesaian atau tidak feasible. Program komputer menampilkan pesan :

“BEBAN YANG ANDA INPUT LEBIH KECIL DARI KAPASITAS MINIMUM SISTEM GANTI DENGAN YANG LEBIH BESAR !!!”

Pembebanan kelompok unit termal yang lebih kecil dari 1065 MW mengharuskan salah satu atau beberapa unit termal untuk off, sedangkan dari defenisi disebutkan bahwa penyelesaian terhadap persoalan dispatch ekonomi dilakukan atas asumsi bahwa semua unit telah dinyatakan komit.

Dari data yang tersedia pada tabel 1 di atas tampak bahwa kapasitas pembangkitan minimum

sistem 1065 MW, sedangkan kapasitas pembangkitan maksimum sistem adalah 4305 MW. Pembebanan terhadap sistem haruslah sedemikian sehingga pembebanan kelompok unit termal haruslah lebih besar atau sama dengan 1065 MW dan lebih kecil atau sama dengan 4305 MW.

Demikian pula, pembebanan terhadap kelompok unit termal yang lebih besar dari 4305 MW tidak akan menghasilkan selesaian. Permintaan daya sistem lebih besar dari kapasitas pembangkitan maksimum yang tersedia.

F.2. Pembebanan 1200 MW

Pembebanan 1200 MW ini dimaksudkan untuk melihat distribusi kuota masing-masing unit termal pada beban yang mendekati kapasitas minimum semua unit pembangkit. (Kapasitas pembangkit minimum = 1065 MW). Program komputer memberikan hasil sebagai berikut :

P(1) = 150.00	P(11) = 147.07
P(2) = 50.00	P(12) = 216.43
P(3) = 50.00	P(13) = 43.64
P(4) = 50.00	P(14) = 20.00
P(5) = 50.00	P(15) = 25.00
P(6) = 50.00	P(16) = 26.98
P(7) = 60.88	P(17) = 30.00
P(8) = 50.00	P(18) = 30.00
P(9) = 50.00	P(19) = 40.00
P(10) = 30.00	P(20) = 30.00

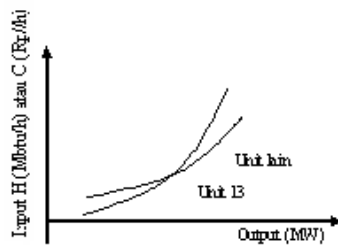
Penelusuran terhadap hasil program di atas menunjukkan bahwa unit-unit 7, 11, 12 13 dan 16 yang tidak beroperasi pada kapasitas minimum mereka, hal ini berarti bahwa pada level pembebanan rendah ke 5 unit ini bisa beroperasi dengan biaya yang relatif murah dibandingkan dengan unit-unit lain.

F.3 Pembebanan 4200 MW

Pembebanan 4200 MW ini dimaksudkan untuk melihat distribusi kuota masing-masing unit termal pada beban yang mendekati kapasitas maksimum total pembangkit. (kapasitas rata-rata total pembangkit = 4305 MW). Program komputer (terlampir dalam CD) memberikan hasil sebagai berikut :

P(1) = 600.00	P(11) = 300.00
P(2) = 200.00	P(12) = 500.00
P(3) = 200.00	P(13) = 495.00
P(4) = 200.00	P(14) = 130.00
P(5) = 160.00	P(15) = 185.00
P(6) = 100.00	P(16) = 80.00
P(7) = 125.00	P(17) = 85.00
P(8) = 150.00	P(18) = 120.00
P(9) = 200.00	P(19) = 120.00
P(10) = 150.00	P(20) = 100.00

Pada pembebanan ini hanya ada satu unit pembangkit yang tidak diset beroperasi pada kapasitas maksimumnya, unit tersebut adalah unit 13. Hal ini berarti bahwa pada level pembebanan tinggi unit 13 merupakan unit dengan biaya operasi mahal. Unit 13 ini termasuk unik, karena pada pembebanan 1200 MW diapun tidak termasuk kedalam kelompok unit yang diset untuk beroperasi pada kapasitas minimumnya, artinya pada level rendah dia tergolong unit yang relatif murah. Pada pembebanan pertengahan pun (pembebanan 2600 MW) dia tidak termasuk kedalam kelompok unit yang beroperasi pada kapasitas minimum juga tidak pada kelompok yang beroperasi pada kapasitas maksimum. Penomena unit 13 bisa digambarkan sebagai berikut :



Gambar 6 Ilustrasi penomena pembebanan unit 13

G. KESIMPULAN

Kemampuan untuk memilih unit-unit mana yang akan dioperasikan pada berbagai level pembebanan menunjukkan bahwa program yang dibuat berdasarkan algoritma dalam penelitian ini berhasil sesuai dengan yang diharapkan. Semua unit bekerja dalam rentang kemampuan operasinya. Program bahkan bisa menampilkan penomena unit 13 yang biaya operasinya murah pada level pembebanan rendah sekaligus mahal pada level pembebanan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Marcelino Madrigal and Victor H. Quintana, "An Analytical Solution to the Economic Dispatch Problem," IEEE power engineering review, pp 52-55, September 2000.
- 2) Adrianti, Abdul Rajab, dkk., "Algoritma Baru Penggunaan Metode Pemrograman Dinamis dalam Menyelesaikan Persoalan Dispatch Ekonomi", Dana Rutin Unand, 2003.
- 3) Ching-Tzong Su, "New Approach with Assurance Hopfield Modeling Framework to Economic Dispatch," IEEE Transaction on Power System, Vol. 15, No. 2, pp 541-545, May 2000.
- 4) Allen J. wood and Bruce T. Wollenbberg, *Power Generation Operation and Control, Second Edition*, John Wiley & Sons, New York, 1996.
- 5) M.E. El-Hawary and G.S. Christensen, *Optimal Economic Operation of Electric Power Systems*, New York, Academic, 1979.
- 6) D.P. Bertsekas, *Nonlinier Programming*, Attena, Scientific, 1998.
- 7) M.M. Makela and P. Neittanmaki, *Nonsmooth Optimization : Analysis and Algorithms with Applications to Optimal Control*, Singapore, World Scientific, 1992
- 8) Mokhtar S. Bazaraa, Hanif D. Sherali, C.M. Shetty, *Nonlinier Programming : Theory and Algorithms*, New York, John Wiley & Sons, Inc. 1979.
- 9) Harian Republika, "TDL Batal Naik, Tingkatkan Efisiensi PLN", Penerbit PT. Republika Media Mandiri, Jakarta, 22 Maret 2006