APLIKASI METODE EXSTENDED QUADRATIC INTERIOR POINT (EQIP) UNTUK ECONOMIC DISPATCH PEMBANGKIT TERMAL DI BALI

Ngakan Putu Satriya Utama
Staf Pengajar Program Studi Teknik Elektro – Universitas Udayana

ABSTRAK

Makalah ini membahas alokasi pembebanan menggunaan metode optimasi exstended quadratic interior point untuk economic dispatch pembangkit termal di bali. Metode exstended quadratic interior point (EQIP) adalah metode deterministik yang merupakan pengembangan metode Karmakar oleh James A. Momoh dkk. dengan berdasarkan pada perbaikan kondisi awal sehingga bisa digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pemrograman kuadratik (non linier).

Dari hasil ujicoba pada sistem pembangkit termal dibali diperoleh hasil yang baik yaitu memperlihatkan konsistensinya untuk tidak melanggar kendala dan memenuhi beban yang dibutuhkan. Algoritma EQIP dalam simulasi economic dispatch pembangkit termal di bali memberikan nilai konvergen yang cepat

Kata kunsi : Optimasi, exstended quadratic interior point (EQIP)

1. PENDAHULUAN

Tidak dapat dibantah bahwa listrik adalah bentuk energi yang saat ini merupakan penyokong kehidupan masyarakat yang sangat berarti. Begitu besarnya peranan yang dimain kan oleh energi listrik ini maka konsekuensinya dituntut ketersediaan, kesinambungan, dampak lingkungan yang bersih, kuantitas, dan kualitas yang tinggi, serta harga yang wajar.Tuntutan akan kualitas terhadap daya listrik yang disalurkan kepada konsumen merupakan hal yang wajib diupayakan pemenuhannya oleh pihak penyedia daya listrik.

Dalam perencanaan, pengoperasian, dan pengontrolan sistem tenaga listrik muncul berbagai persoalan teknis maupun ekonomis, salah satunya diakibatkan oleh beban sistem yang dinamis. Di sisi lain energi listrik tidak dapat disimpan dalam jumlah banyak sehingga harus disediakan pada saat dibutuhkan oleh konsumen, akibatnya timbul persoalan dalam menghadapi kebutuhan daya listrik yang berubah dari waktu ke waktu. Apabila daya yang dikirim dari bus bus pembangkit lebih besar dari kebutuhan daya pada bus bus beban, maka akan timbul pemborosan daya. Sedangkan apabila daya yang dibangkitkan lebih rendah dari kebutuhan atau tidak memenuhi kebutuhan beban maka akan timbul pemadaman lokal pada bus bus beban, yang akan mengakibatkan kerugian pada konsumen.

Pada sistem pengoperasian tenaga listrik, komponen biaya operasi terbesar adalah biaya bahan bakar. Penghematan biaya bahan bakar dalam prosentase yang kecil akan memberi dampak yang besar dalam jumlah rupiah, mengingat besarnya jumlah biaya bahan bakar tersebut diatas. Oleh karenanya efisien pemakaian bahan bakar sangat besar pengaruhnya terhadap penghematan biaya operasi.

Bali sangat terkenal sabagai salah satu tujuan wisata dunia, sampai saat ini sebagian pasokan tenaga listriknya masih tergantung dari Jawa melalui sistem interkoneksi Jawa-Bali lewat kabel laut yang hanya bisa dipakai dengan kapasitar sebesar 2 x 110 MW. Pembangkit yang beroperasi di Bali saat ini ada 9 unit PLTD dengan daya terpasang sebesar 65,7 MW, dan 4 unit PLTG dengan daya terpasang sebesar 125,5 MW, yang berlokasi di Pesanggaran. Satu unit PLTG berlokasi di Gilimanuk dengan daya terpasang sebesar 145 MW, yang merupakan pembangkit terbesar di Bali. Sehingga daya terpasang total setelah ditambah pasokan dari Jawa sebesar 556,2 MW, namun daya mampu sebesar 450 MW, hal ini disebabkan oleh derating kemampuan unit pembangkit. Beban puncak tertinggi mencapai 352 MW, pada tanggal 2 Oktober 2002. Apabila terjadi pemeliharaan unit pembangkit terbesar di Bali (145 MW), atau terganggunya kabel laut maka sistem kelistrikan di Bali akan mengalami kekurangan pasokan daya, sehingga akan terjadi giliran pemadaman listrik.

Upaya penanggulangan kekurangan daya sistem kelistrikan Bali, yang sudah dilakukan adalah penghematan daya di sisi pemakai (demand side management) yaitu dengan memasyarakatkan lampu hemat energi, sedangkan dari sisi suply yaitu menambah kapasitas pembangkitan. Disamping hal di atas penghematan biaya operasi terutama penghematan biaya bahan bakar sistem di Bali juga tidak kalah pentingnya untuk dilakukan. Salah satu bagian pengoperasian sistem tenaga listrik yang mengarah ke hal ini adalah penjadwalan pembangkitan daya secara ekonomis. Hal ini merupakan suatu sistem untuk meminimumkan biaya operasi pada sistem tenaga listrik dengan cara mengoptimalkan pengalokasian pembang kitan daya antara generator-generator yang beroperasi pada sistem Bali serta menghasilkan suatu rencana operasi yang memenuhi persyaratan pengoperasian sistem tenaga listrik. Persyaratan tersebut terutama adalah daya yang dibangkitkan cukup untuk memasok beban dan rugi-rugi daya, tidak melanggar kendala sistem. Banyak teknik optimasi untuk pengalokasian pembangkitan daya antara generator-generator yang beroperasi agar optimal.

2. ALOKASI PEMBEBANAN EKONOMIS (ECONOMIC DISPATCH)

Dalam sistem tenaga listrik, biasanya ada beberapa macam pembangkit tenaga (power plant), yaitu pembangkit tenaga thermal, pembangkit hidro, pembangkit nuklir dsb. Pembangkit thermal sendiri juga mempunyai beberapa perbedaan, sebagai contoh, perbedaan bahan bakar, harga maksimum dan minimum keluaran pembangkit, dsb. Salah satu karakteristik terpenting adalah biaya operasi. Biaya operasi masing-masing pembangkit berbeda, tidak hanya antar pembangkit, melainkan juga tergantung pada besarnya daya yang dibangkitkan. Dilain pihak, sistem tenaga listrik mempunyai beberapa pembangkit dengan karakteristik berbeda-beda. Jadi, yang menjadi perhatian dalam hal ini adalah bagaimana menentukan jumlah daya yang harus dibangkitkan oleh masing-masing pembangkit dalam suatu sistem tenaga listrik sehingga dapat memenuhi jumlah kebutuhan beban dengan biaya minimum, dinamakan alokasi pembebanan ekonomis (Economic Load Dispatch).

Masalah alokasi pembebanan ekonomis dirumuskan untuk memperoleh kodisi optimal pembangkit dengan meminimalkan total biaya bahan bakar, yang dinyatakan sebagai [4,5,9]:

$$Biaya\_operasi = \sum_{i=1}^{N}\left(a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2\right) \quad \text{Rp/jam} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Kendala termasuk keseimbangan daya antara pembangkit dengan permintaan dan rugi-rugi daya:

$$P_D + P_L = \sum_{i=1}^{N} P_{Gi} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Penjadualan daya aktif disyaratkan untuk memenuhi batas atas dan batas bawah pembangkit.

$$P_{Gi\min} \le P_{Gi} \le P_{Gi\max} \qquad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

dengan

P_D = adalah total permintaan (MW), dan

P_L = adalah total rugi-rugi daya (MW)

P_{Gi} = adalah daya yang dibangkitkan oleh pembangkit ke-i (MW)

a_i, b_i, c_i = Konstanta-konstanta pembangkit

$P_{Gi\min}$ = pembangkitan minimal unit i (MW)

$P_{Gi\max}$ = pembangkitan maksimal unit i (MW)

N = Jumlah unit pembangkit berputar

Beberapa metode yang telah berhasil digunakan untuk memecahkan permasalahan ini, baik metode konvensional dan kecerdasan buatan (artificial intelligent). Metode konvensional yang sudah dikenal antara lain metode Lagrange (Lagrangian Relaxation method), metode proyeksi gradien (gradient projection method), metode interior point, metode Generalize Reduce Gradient (GRG method), dsb.

3. METODA OPTIMASI QUADRATIC INTERIOR POINT

Metode Interior Point pertama diperkenalkan oleh Karmarkar adalah merupakan metode untuk menyelesaikan masalah pemrograman linier. Metode ini banyak digunakan dalam operasi penelitian (operation research) karena efisien, reliabel dan akurat. Metode ini kemudian dikembangkan oleh James A. Momoh dkk dengan berdasarkan pada perbaikan kondisi awal sehingga bisa digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dengan pemrograman linier maupun kuadratik (non linier) yang dikenal dengan metode EQIP (Extended Quadratic Interior Point method). Yang paling penting dalam algoritma ini adalah titik start awal dapat ditentukan dahulu. Kemudian mencari solusi optimal dalam interior polytope yang didefinisikan oleh kendala-kendala sampai dicapai titik optimal. Dalam paper ini metode EQIP digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi alokasi pembebanan pada sistem kelistrikan Bali. Model quadratic interior point didefinisikan sebagai benkut [6, 7].

$$P = \frac{1}{2} X^T Q X + a^T X \qquad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

dengan

$$b^{\min} \le AX \le b^{\max} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

dengan :

X = variabel yang tidak diketahui (unknown) n-vektor

a = konstanta n-vektor

$b^{\min}, b^{\max}$ = konstanta m-vektor

Q = matrik bujursangkar simetris

A = matriks koefisien mxn dengan $m < n$

Programa linier dapat diperoleh dengan kasus khusus $Q = 0$.

Pada umumnya, dua m-vektor baru dibentuk yaitu S_1 dan S_2, dinamakan variabel slack, diperkenalkan untuk merubah kendala ketidaksamaan (5) menjadi bentuk persamaan :

$$AX - S_1 = b^{\min} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

$$AX + S_2 = b^{\max} \quad , \; S_1,S_2 \geq 0 \quad ...... \quad (7)$$

sehingga bisa didefinisikan variabel baru :

$$\widetilde{X} \underline{\underline{\Delta}} \begin{pmatrix} X \\ S_1 \\ S_2 \end{pmatrix}, \quad \widetilde{Q} \underline{\underline{\Delta}} \begin{pmatrix} Q_{n\times n} & 0_{n\times 2m} \\ 0_{2m\times n} & 0_{2m\times 2m} \end{pmatrix} \quad ...... \quad (8)$$

$$\widetilde{a} \underline{\underline{\Delta}} \begin{pmatrix} a_{(nx1)} \\ a_{(2mx1)} \end{pmatrix}, \quad \widetilde{b} \underline{\underline{\Delta}} \begin{pmatrix} b^{\min}_{(mx1)} \\ b^{\max}_{(mx1)} \end{pmatrix} \quad .... \quad (9)$$

dan

$$\widetilde{A} \underline{\underline{\Delta}} \begin{pmatrix} A_{(mxn)} & -I_{(mxm)} & 0_{(mxm)} \\ A_{(mxn)} & 0_{(mxm)} & I_{(mxm)} \end{pmatrix}, \quad .... \quad (10)$$

dengan I adalah matrik identitas mxm. Sehingga permasalahan optimasi quadratic (4) dan (5) mempunyai bentuk minimisasi sebagai :

$$\textbf{min} \quad P = \frac{1}{2} \widetilde{X}^T \widetilde{Q} \widetilde{X} + \widetilde{a}^T \widetilde{X} \quad …….. \quad (11)$$

harus memenuhi kendala

$$\widetilde{A}\widetilde{X} = \widetilde{b} \quad .... \quad (12)$$

$$\widetilde{X}_j \geq 0, \; j = n+1, ... , n+2m \quad .... \quad (13)$$

Masalah optimasasi quadratik yang diperlihatkan pada (11) - (13) di atas dengan mengasumsikan memiliki batas titik awal (bounded interior point) $\widetilde{X}^o$. Jika tidak demikian maka permasalahan tidak mempunyai solusi atau solusinya menjadi tidak terbatas (unbounded).

Iterasi dimulai dengan suatu nilai awal yang memungkinkan $\widetilde{X}^0$, algoritma proses optimasi menghasilkan nilai-nilai interior fisibel yang berurutan $\widetilde{X}^1, \widetilde{X}^2, ...\widetilde{X}^k, \widetilde{X}^{k+1}, ...$ sedemikian sehingga

$$P_{k+1} = \frac{1}{2}(\widetilde{X}^{k+1})^T \widetilde{Q}\widetilde{X}^{k+1} + \widetilde{a}^T \widetilde{X}^{k+1} <$$

$$P_k = \frac{1}{2}(\widetilde{X}^{k})^T \widetilde{Q}\widetilde{X}^{k} + \widetilde{a}^T \widetilde{X}^{k} \quad ...... \quad (14)$$

Proses iterasi berhenti bila kriteria berhenti (stopping criterion) terpenuhi. Isi dari algoritma EQIP diberikan sebagai berikut:

Tentukan $\widetilde{X}^k$ sedemikian sehingga $\widetilde{A}\widetilde{X} = \widetilde{b}$ dengan $\widetilde{X}^k_j \geq 0$ untuk j = n+1,....,n+2m. Ketika kriteria berhenti tidak terpenuhi lakukan

$$D_k := diag[\widetilde{x}^k_1, ..., \widetilde{x}^k_{n+2m}] \quad .... \quad (15)$$

$$B_K := \widetilde{A}D_K \quad G_k := \widetilde{Q}\widetilde{X}^k + \widetilde{a} \quad ………. \quad (16)$$

$$d^k := D_k G_k \quad w_k = \left(B_k B_k^T\right)^{-1} B_k d_k \quad ...... \quad (17)$$

$$dp^k := B_k^T w_k - d_k \quad .... \quad (18)$$

$$\gamma := min\left\lfloor dp^k_{n+1}, ..., dp^k_{n+2m} \right\rfloor \quad ...... \quad (19)$$

$$T := (D_k dp^k)^T \; \widetilde{Q} \; (D_k dp^k) \quad ……….. \quad (20)$$

$$\beta_1 := -\frac{1}{\gamma}, \;\; \gamma < 0, \quad \beta_1 := 10^6, \;\; \gamma \geq 0 \quad ..... \quad (21)$$

$$\beta_2 := \frac{(dp^k)^T dp^k}{T}, \quad T > 0, \quad \beta_2 := 10^6, \quad T \leq 0$$

$$........ \quad (22)$$

$$\beta := \min[\beta_1, \beta_2], \quad d_x := D_k dp^k \quad .... \quad (23)$$

$$\widetilde{X}^{k+1} := \widetilde{X}^k + \beta d_x \quad …… \quad (24)$$

set k : = k+1, dimana k adalah jumlah iterasi.

Kriteria berhenti adalah perubahan relatif fungsi objektif pada setiap iterasi, yaitu

$$|P_{k+1} - P_k| / \max\{1, |P_k|\} < \epsilon$$

atau perubahan relatif pada nilai interior yang memungkinkan pada setiap iterasinya

$$|\widetilde{X}^{k+1} - \widetilde{X}^k| < \epsilon$$

Untuk menjaga solusi dari masalah pada setiap iterasi agar selalu berada dalam daerah interior yang memungkinkan, algoritma EQIP memerlukan perhitungan dari nilai start awal titik interior yang fisibel $\widetilde{X}^0$ yaitu $\widetilde{A}\widetilde{X}^0 = \widetilde{b}$ dengan $\widetilde{x}^0_j \geq 0$

untuk j = n+1,....,n+2m.

Nilai awal yang memungkinkan dapat dihasilkan dengan memperkenalkan variabel buatan x_s. EQIP akan menghasilkan nilai yang memungkinkan dengan meminimalkan x_s [6]:

$$Minimize \; [x_s] \quad .... \quad (25)$$

Harus memenuhi kendala

$$\widetilde{A}\widetilde{X} + (\widetilde{b} - \widetilde{A}e)x_s = \widetilde{b} \quad .... \quad (26)$$

$$\widetilde{x}_j \geq 0 \text{ untuk } j = n+1,....,n+2m. \;\; x_s \geq 0 \quad .... \quad (27)$$

dengan $e=(1,1,....,1)^T$.

Sehingga bisa disimpulkan bahwa aplikasi dari EQIP meliputi :

1. Formulasi matrik $\widetilde{A}, \widetilde{Q}, a$ dan $\widetilde{b}$ dalam fungsi objektif kuadratik dengan kendala linear.
2. Menghitung nilai awal interior yang memungkinkan dari persamaan (25 – 27).
3. Eksekusi algoritma EQIP hingga kriteria berhenti terpenuhi.

4. SIMULASI

Untuk penelitian ini diambil sampel pembebanan pembangkit berdasarkan pemakaian beban yang tercatat pada data PT. INDONESIA POWER UBP BALI pada tanggal 31 Desember 2003 pada pukul 18.00-22.00.

Saat sampel pembebanan diambil PLTG Gilimanuk dalam kondisi pemeliharaan rutin. Penjadwalan dilakukan hanya untuk pembangkit di Bali saja dengan asumsi bahwa beban yang ditanggung dalam penjadwalan ini adalah beban yang sebenarnya dikurangai pasokan dari Jawa. Beban dimaksud adalah beban pada bus pembangkit, sehingga dalam perhitungan tidak mengikutkan rugi rugi transmisi. Beban dimaksud adalah beban pada bus pembangkit, sehingga dalam perhitungan tidak mengikutkan rugi rugi transmisi.

Karakteristik pembangkit diambil dari data *performance test* sesudah inspection sentral PLTD dan PLTG Pesanggaran

Tabel 1. Hasil pembebanan metode EQIP

UNIT	**Pembebanan Jam**				
	18.00	**19.00**	**20.00**	**21.00**	**22.00**
PLTD-2 (MW)	3,96	4,26	4,25	4,22	4,18
PLTD-4 (MW)	3,96	4,19	4,19	4,16	4,13
PLTD-5 (MW)	3,12	3,28	3,28	3,26	3,25
PLTD-6 (MW)	4,48	4,91	4,90	4,86	4,82
PLTD-7 (MW)	4,47	5,09	5,08	5,02	4,96
PLTD-8 (MW)	3,46	4,02	4,01	3,96	3,91
PLTD-9 (MW)	3,56	4,06	4,05	4,00	3,96
PLTD-10 (MW)	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50
PLTD-11 (MW)	10,44	10,48	10,48	10,48	10,47
PLTG-1 (MW)	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40
PLTG-2 (MW)	5,09	9,79	9,73	9,34	9,04
PLTG-3 (MW)	39,50	39,50	39,50	39,50	39,50
PLTG-4 (MW)	34,76	34,84	34,83	34,81	34,79
TOTAL (MW)	**146,70**	**154,30**	**154,20**	**153,50**	**152,90**

Tabel 2. Hasil perhitungan biaya pembangkitan

Jam	**P_i (MW)**	**Biaya (Rp)**
18.00	146,7	83.671.844,982
19.00	154,3	87.514.915,106
20.00	154,2	87.460.676,006
21.00	153,5	87.084.513,461
22.00	152,9	86.766.681,604
Total selama 5 jam		**432.498.631,159**

Implementasi Algoritma EQIP yang dibangun memberikan gambaran hasil iterasi numeris sebagai berikut: Perubahan nilai toleransi menyebabkan perubahan jumlah iterasi dan semakin memperbaiki hasil optimisasi. Semakin diturunkan nilai toleransinya maka jumlah iterasi akan bertambah. Dalam kasus ini tiga iterasi telah membuat nilai menjadi konvergen.

5. KESIMPULAN

Hasil pembebanan pembangkit selama lima jam menunjukkan bahwa metode EQIP memperlihatkan konsistensinya untuk tidak melanggar kendala dan memenuhi beban yang dibutuhkan. Algoritma EQIP dalam simulasi economic dispatch pembangkit termal di bali memberikan nilai konvergen yang cepat

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] Duncan J. Glover and Mulukutla Sarma, *Power System Analysis and Design: With Personal Computer Application,* PWS-KENT Publishing Co., Boston, 1989.

[2] Ommel, H.W. , and Tinney, W.F. , *Optimal Power Flow Solutions,* IEEE Transactions on Power Systems 1968, PAS-87, pp. 1866-1876.

[3] Eiselt, H.A., G. Pederzoli, C.L.Sandblom, *Continuous Optimization Models,* Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1987.

[4] Hadi Saadat, *Power System Analysis,* WCB McGraw-Hill Companies, New York, 1999.

[5] Lee, K.Y., Y.M Park, J.L.Ortiz, *Fuel-cost minimization for both real-and reactive-power dispatches,* IEE Proceedings, Vol. 131, Pt. C, No.3, May 1984.

[6] Momoh, J.A dkk., *The Quadratic Interior Point Method Solving Power System Optimization Problems,* IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 3, August 1994.

[7] Momoh, J.A dkk, *Extension of The Interior Point Method,* EPRI Proceeding1991, Advanced Maths for Power Systems, San Diego CA.

[8] Salgado, R. A. Bramaller, P. Aitchison, *Optimal Power Flow solutions using the gradient projection method, part 1 and 2,* IEE Proceedings, Vol. 137, Pt. C. No. 6, November 1990.

[9] Wood, A.J. and Wollenberg, B.F, *Power generation, operation, and control,* Second edition, John Wiley & Sons New York, 1996.