

## PERBANDINGAN PENGGUNAAN METODE OPTIMASI EXTENDED QUADRATIC INTERIOR POINT DENGAN NEURAL NETWORK UNTUK ECONOMIC DISPATCH PEMBANGKIT THERMAL DI BALI

Rukmi Sari Hartati, I Wayan Sukerayasa

Staf Pengajar Program Studi Teknik Elektro – Universitas Udayana

### INTISARI

Makalah ini membahas alokasi pembebanan perbandingan penggunaan metode optimasi extended quadratic interior point dengan neural network untuk economic dispatch pembangkit termal di Bali. Metode extended 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 kuadrat (non linier). Metode jaringan Syaraf Tiruan model Hofield (HNN) adalah suatu metode kecerdasan buatan yang berdasarkan pada prinsip kerja jaringan saraf manusia, yang telah banyak digunakan sebagai metode alternatif untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan optimasi yang sulit dimana cara konvensional gagal untuk mencapai kecepatan, keakuratan atau efficiency. Dari hasil ujicoba pada sistem pembangkit termal di Bali diperoleh hasil yang mendekati sama.

Kata kunci : Optimasi, extended quadratic interior point (EQIP), Jaringan saraf tiruan .

### 1. Pendahuluan

Pemakaian Listrik secara komersial sudah lebih dari seratus tahun yang lalu ( bulan Januari di London dan bulan September 1882 di New York ). Sejak itu pemakaiannya terus meningkat. Tidak dapat dibantah bahwa listrik adalah bentuk energi yang saat ini merupakan penyokong kehidupan masyarakat yang sangat berarti; baik dari segi menunjang produktifitasnya, maupun unsur-unsur lain yang menyangkut kualitas hidupnya. Begitu besarnya peranan yang dimainkan oleh energi listrik ini maka konsekuensinya dituntut ketersediaan, kesinambungan, dampak lingkungan yang bersih, kuantitas, dan kualitas yang tinggi, serta harga yang wajar

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 sebagai 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 kapasitas 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 supply 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 pembangkit 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, ada beberapa macam pembangkit tenaga (power plant), yaitu pembangkit tenaga thermal, pembangkit tenaga hidro, pembangkit tenaga 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. Di lain pihak, sistem tenaga listrik mempunyai beberapa pembangkit dengan karakteristik berbeda-beda. Dan pembangkit-pembangkit tersebut lokasinya jauh dari titik pusat beban, sehingga menyebabkan rugi-rugi transmisi yang besar, yang merupakan pengeluaran ekstra dari pembangkitan. 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 kondisi optimal pembangkit dengan meminimumkan total biaya bahan bakar, yang dinyatakan sebagai [17,7,3]:

$$\text{Biaya}_{\text{operasi}} = \sum_{i=1}^N (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) \quad (1)$$

Rp/jam

Kendala termasuk keseimbangan daya antara pembangkit dengan permintaan dan rugi-rugi daya [8]:

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

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

$$P_{Gi \min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi \max} \quad (3)$$

dengan

$P_D$  adalah total permintaan (MW)

$P_L$  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. Metode optimasi dengan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan termasuk dalam metode kecerdasan buatan, dalam decade terakhir ini menjadi sangat penting dalam menyelesaikan permasalahan-permasalahan dalam sistem tenaga listrik, antara lain penjadwalan unit-unit pembangkit (unit commitment), alokasi pembebanan ekonomis (economic load dispatch), peramalan beban (load forecasting), 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 kuadrat (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 berikut [6, 10].

$$P = \frac{1}{2} X^T Q X + a^T X \tag{4}$$

dengan

$$b^{\min} \leq AX \leq b^{\max} \tag{5}$$

dimana :

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

a = konstanta n-vektor

b<sup>min</sup>, b<sup>max</sup> = 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<sub>1</sub> dan S<sub>2</sub>, dinamakan variabel slack, diperkenalkan untuk merubah kendala ketidaksamaan (5) menjadi bentuk persamaan :

$$AX - S_1 = b^{\min} \tag{6}$$

$$AX + S_2 = b^{\max} \quad S_1, S_2 \geq 0 \tag{7}$$

sehingga bisa didefinisikan variabel baru :

$$\tilde{X} \triangleq \begin{pmatrix} X \\ S_1 \\ S_2 \end{pmatrix}, \quad \tilde{Q} \triangleq \begin{pmatrix} Q_{n \times n} & 0_{n \times 2m} \\ 0_{2m \times n} & 0_{2m \times 2m} \end{pmatrix} \tag{8}$$

$$\tilde{a} \triangleq \begin{pmatrix} a_{(n \times 1)} \\ a_{(2m \times 1)} \end{pmatrix}, \quad \tilde{b} \triangleq \begin{pmatrix} b_{(m \times 1)}^{\min} \\ b_{(m \times 1)}^{\max} \end{pmatrix} \tag{9}$$

dan

$$\tilde{A} \triangleq \begin{pmatrix} A_{(m \times n)} & -I_{(m \times m)} & 0_{(m \times m)} \\ A_{(m \times n)} & 0_{(m \times m)} & I_{(m \times m)} \end{pmatrix}, \tag{10}$$

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

$$\min \quad P = \frac{1}{2} \tilde{X}^T \tilde{Q} \tilde{X} + \tilde{a}^T \tilde{X} \tag{11}$$

harus memenuhi kendala

$$\tilde{A} \tilde{X} = \tilde{b} \tag{12}$$

$$\tilde{X}_j \geq 0, \quad j = n+1, \dots, n+2m \tag{13}$$

Masalah optimisasi quadratik yang diperlihatkan pada (11) - (13) di atas dengan mengasumsikan memiliki batas titik awal (bounded interior point)  $\tilde{X}^0$ . Jika tidak demikian maka

permasalahan tidak mempunyai solusi atau solusinya menjadi tidak terbatas (unbounded).

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

$$P_{k+1} = \frac{1}{2} (\tilde{X}^{k+1})^T \tilde{Q} \tilde{X}^{k+1} + \tilde{a}^T \tilde{X}^{k+1} < P_k = \frac{1}{2} (\tilde{X}^k)^T \tilde{Q} \tilde{X}^k + \tilde{a}^T \tilde{X}^k \tag{14}$$

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

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

$$D_k := \text{diag}[\tilde{x}_1^k, \dots, \tilde{x}_{n+2m}^k] \tag{15}$$

$$B_k := \tilde{A} D_k \quad G_k := \tilde{Q} \tilde{X}^k + \tilde{a} \tag{16}$$

$$d^k := D_k G_k \quad w_k = \begin{pmatrix} B_k & B_k^T \end{pmatrix}^{-1} B_k d_k \tag{17}$$

$$dp^k := B_k^T w_k - d_k \tag{18}$$

$$\gamma := \min [dp_{n+1}^k, \dots, dp_{n+2m}^k] \tag{19}$$

$$T := (D_k dp^k)^T \tilde{Q} (D_k dp^k) \tag{20}$$

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

$$\beta_2 := \frac{(dp^k)^T dp^k}{T}, \quad T > 0, \dots \tag{22}$$

$$\beta_2 := 10^6, \quad T \leq 0$$

$$\beta := \min [\beta_1, \beta_2], \quad d_x := D_k dp^k \tag{23}$$

$$\tilde{X}^{k+1} := \tilde{X}^k + \beta d_x \tag{24}$$

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

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

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  $\tilde{X}^0$  yaitu  $\tilde{A}\tilde{X}^0 = \tilde{b}$  dengan  $\tilde{x}_j^0 \geq 0$  untuk  $j = n+1, \dots, n+2m$ .

Nilai awal yang memungkinkan dapat dihasilkan dengan memperkenalkan variabel buatan  $x_s$ . EQIP akan menghasilkan nilai yang memungkinkan dengan meminimalkan  $x_s$  [11]:

$$\text{Minimize}[x_s] \quad (25)$$

Harus memenuhi kendala

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

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

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

Sehingga bisa disimpulkan bahwa aplikasi dari EQIP meliputi :

1. Formulasi matrik  $\tilde{A}, \tilde{Q}, a$  dan  $\tilde{b}$  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. Metode Optimasi Jaringan Syaraf Tiruan Model Hopfield (HNN)

Jaringan Syaraf Tiruan (Artificial neural networks) telah dipromosikan sebagai metode alternatif untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan sistem tenaga yang sulit dimana cara konvensional gagal untuk mencapai kecepatan, keakuratan atau efficiency [9]. Metode optimisasi dengan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan model

Hopfield (Hopfield Neural Network / HNN ) banyak digunakan dalam penelitian tentang alokasi pembebanan ekonomis. Metode ini akan diaplikasikan untuk menyelesaikan alokasi pembebanan untuk sistem kelistrikan Bali.

Dengan mengaplikasikan Hopfield Neural Network berdasarkan pada persamaan syaraf tiruan dinamis berikut:

$$\frac{dU_i}{dt} = \sum_j T_{ij}V_j + I_i \quad (28)$$

$U_i$  adalah total input dari syaraf (neuron)  $i$ , dapat dinyatakan sebagai:

$$U_i = \sum_{i \neq j} T_{ij}V_j + I_i \quad (29)$$

dengan

$T_{ij}$  = bobot hubungan antara syaraf  $j$  dan syaraf  $i$

$I_i$  = ambang batas (threshold) neuron  $i$

$V_i$  adalah output dari syaraf  $i$ , dapat dinyatakan sebagai fungsi  $U_i$  sebagai  $V_i = g(U_i)$  dengan  $g(U_i)$  adalah fungsi tak linier pada syaraf yang merupakan fungsi sigmoid yang dinyatakan sebagai [2]:

$$g(U_i) = (1 + \tanh(\lambda U_i)) / 2 \quad (30)$$

dengan  $\lambda$  adalah suatu konstanta

Fungsi sigmoid tersebut sebagai fungsi masukan keluaran dengan harga 0 atau 1 sebagai keluaran. Fungsi sigmoid ini merupakan fungsi monoton naik dalam batasan  $V$ .

Energi  $E$  dari didefinisikan sebagai [8]:

$$E(V) = -.5 \sum_i \sum_j T_{ij}V_iV_j - \sum_i I_iV_i \quad (31)$$

Energi menunjukkan suatu status seberapa baik jaringan (network) tersebut memenuhi kendala pada permasalahan dimana jaringan didesain. Hal terpenting dalam menyelesaikan masalah optimasi adalah memformulasikan perhitungan yang sesuai untuk fungsi energi  $E(V)$  sehingga menghasilkan energi terendah yang akan menghasilkan nilai  $V$  yang optimal. Aplikasi metode ini untuk menyelesaikan masalah optimasi dapat dijelaskan sebagai berikut.

Secara umum disini dijelaskan tentang permasalahan non-linear programming [5]:

$$\text{Meminimumkan } f(x) = \frac{1}{2}x^t P x + q^t x \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \text{Kendala } \quad & g_i^t x = s_i \quad i = 1, \dots, n \\ & w_i^t x \leq d_i \\ & \text{or} \\ & w_i^t x \geq d_i \quad i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

Pertama, abaikan dulu kendala ketidaksamaan, kemudian dilakukan mapping ke Hopfield Neural Network. Hubungkan variable  $x$  ke neuron output  $v$  dan fungsi energi berikut konvergen ke harga minimum [9]:

$$E = \alpha F(v) + \sum_i \beta_i [G_i(v)]^2 \quad (33)$$

Disini fungsi  $F(v)$  dan  $G(v)$  menyatakan fungsi tujuan dan kendala kesamaan dan harus memenuhi beberapa kondisi yang disyaratkan oleh fungsi energi. Kendala kesamaan dihitung dengan menambahkan  $[G(v)]^2$  ke  $E$  agar supaya minimisasi mismatch ke nol, kalau tidak solusi yang dihasilkan bisa terjadi kekurangan daya pembangkitan. Koefisien positif  $\alpha$  dan  $\beta$  digunakan untuk menghitung derajat kepentingan relatif (bobot) dari fungsi kendala dan tujuan. Fungsi energi terdiri dari  $m$  kendala kesamaan yang ditambahkan ke fungsi tujuan, dan solusi konvergen bisa tidak merupakan global optimum.

Pemodelan alokasi pembebanan ekonomis dinyatakan dalam bentuk fungsi energi dalam Jaringan Syaraf Tiruan (Neural Network) sebagai:

$$E = (A/2) \left( P_D + P_L - \sum_i P_i \right)^2 + (B/2) \sum_i \left( a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \right) \quad (34)$$

Dengan  $A$ , dan  $B$  adalah faktor bobot (weight). Daya keluaran  $P_i$  dapat dinyatakan sebagai

$$P_i = g_i(U_i)$$

Sehingga diperoleh hasil pemetaan dari alokasi pembebanan ekonomis ke jaringan syaraf tiruan dengan membandingkan koefisien-koefisien dari persamaan (1) dan (2) dengan persamaan (31), dan dengan menyatakan  $V_i$  sebagai  $P_i$ , diperoleh

$$\begin{aligned} T_{ii} &= -A - Bc_i \\ T_{ij} &= -A \\ I_i &= A(P_D + P_L) - .5Bb_i \end{aligned} \quad (35)$$

Untuk menyelesaikan kendala ketidaksamaan, ada beberapa cara, diantaranya dengan menggunakan variable tambahan (slack variable). Disini kendala ketidaksamaan diselesaikan dengan memodifikasi fungsi sigmoid sebagai berikut :

$$g_i(U_i) = (P_{i \max} - P_{i \min}) \frac{1 + \tanh(\lambda U_i)}{2} + P_{i \min} \quad (36)$$

Sehingga proses perhitungan menjadi :

$$\begin{aligned} \Delta U_i &= \{ \sum_j T_{ij} + I_i \} \Delta t \\ &= \{ -A(\sum_j P_j - P_D - P_L) - B(a_i P_i + b_i / 2) \} \Delta t \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} P_i &= g_i(U_i) \\ &= (P_{i \max} - P_{i \min}) \frac{1 + \tanh(\lambda U_i)}{2} + P_{i \min} \end{aligned} \quad (38)$$

## 5. 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 dikurangi pasokan dari Jawa. Beban dimaksud adalah beban pada bus pembangkit, sehingga dalam perhitungan tidak mengikutkan rugi rugi transmisi.

Berdasarkan data *performance test* sesudah inspection sentral PLTD dan PLTG Pesanggaran, kemudian dicari karakteristik input-output hanya pada unit-unit PLTD dan PLTG yang beroperasi dengan menggunakan metode regresi least square. Karakteristik Input-Output PLTD dan PLTG seperti dalam tabel 1.

Pembebanan pembangkit hasil simulasi dengan kedua metode terlihat pada tabel 2.

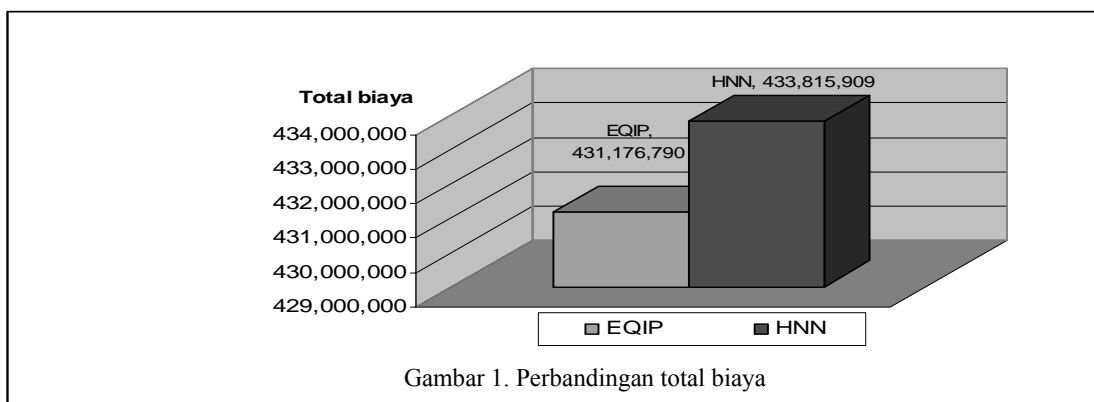
**Tabel 1: Karakteristik input-output pembangkit**

No	Unit	Pi <sub>min</sub> (MW)	Pi <sub>maks</sub> (MW)	Konstanta pembangkit		
				ai (Rp/MW <sup>2</sup> h)	bi (Rp/MWh)	ci (Rp/h)
1	PLTD-2	1,27	4,6	24874	332018	151525
2	PLTD-4	1,27	4,5	40150	263435	168869
3	PLTD-5	1,05	3,5	15056	365241	150111
4	PLTD-6	1,70	5,3	2248,4	430632	50789
5	PLTD-7	1,70	5,6	2344,9	444215	69563
6	PLTD-8	1,60	4,5	665,64	486647	85280
7	PLTD-9	1,60	4,5	3396	465586	125127
8	PLTD-10	3,00	10,5	835,46	281901	998167
9	PLTD-11	3,80	10,5	21889	10387	1761574
10	PLTG-1	5,00	19,4	6332	41009	9916321
11	PLTG-2	5,00	19,8	12672	324837	3318182
12	PLTG-3	10,00	39,5	1046	326584	7520323
13	PLTG-4	10,50	35	5779	177322	8907942
14	PLTG-Gilimanuk	40	129	1869	21993	34862722

$F_i(P_i) = aiP_i^2 + biP_i + ci$

**Tabel 2 Perbandingan hasil pembebanan metode EQIP dengan HNN**

UNIT	Pukul									
	18.00		19.00		20.00		21.00		22.00	
	EQIP	HNN	EQIP	HNN	EQIP	HNN	EQIP	HNN	EQIP	HNN
PLTD-2 (MW)	4,438	3,662	4,600	4,600	4,600	4,600	4,600	4,600	4,600	4,600
PLTD-4 (MW)	4,459	3,123	4,500	3,722	4,500	3,713	4,500	3,650	4,500	3,596
PLTD-5 (MW)	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500
PLTD-6 (MW)	5,225	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300
PLTD-7 (MW)	1,700	5,600	5,600	5,600	5,600	5,600	5,600	5,600	5,600	5,600
PLTD-8 (MW)	1,600	4,500	1,600	4,500	1,600	4,500	1,600	4,500	1,600	4,500
PLTD-9 (MW)	1,600	4,500	2,518	4,500	2,440	4,500	1,887	4,500	1,600	4,500
PLTD-10 (MW)	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500
PLTD-11 (MW)	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500
PLTG-1 (MW)	19,400	19,400	19,400	19,400	19,400	19,400	19,400	19,400	19,400	19,400
PLTG-2 (MW)	19,279	7,471	11,782	9,370	11,761	9,341	11,613	9,142	11,300	8,971
PLTG-3 (MW)	39,500	39,500	39,500	39,500	39,500	39,500	39,500	39,500	39,500	39,500
PLTG-4 (MW)	35,000	29,144	35,000	33,308	35,000	33,246	35,000	32,808	35,000	32,433
<b>TOTAL (MW)</b>	<b>146,700</b>	<b>146,700</b>	<b>154,300</b>	<b>154,300</b>	<b>154,200</b>	<b>154,200</b>	<b>153,500</b>	<b>153,500</b>	<b>152,900</b>	<b>152,900</b>
<b>Beban (MW)</b>	<b>146,700</b>	<b>146,700</b>	<b>154,300</b>	<b>154,300</b>	<b>154,200</b>	<b>154,200</b>	<b>153,500</b>	<b>153,500</b>	<b>152,900</b>	<b>152,900</b>



Gambar 1. Perbandingan total biaya

## 6. Kesimpulan

Hasil pembebanan pembangkit selama lima jam menunjukkan bahwa kedua metode memperlihatkan konsistensinya untuk tidak melanggar kendala dan memenuhi beban yang dibutuhkan.

Total biaya pembebanan selama lima jam, untuk metode EQIP lebih murah 0,6 % dari metode HNN.

## 7. Daftar Pustaka

- [1] Abe, Shigeo dkk., *Solving Inequality Constrained Combinatorial Optimization Problems by the Hopfield Neural Networks*, Neural Networks, Vol.5, pp. 663-670, 1992.
- [2] Burchett, R.C., dkk., *Developments in Optimal Power Flow*, IEEE Transactions on Power Systems 1982, PAS-101, pp. 406-414.
- [3] Duncan J. Glover and Mulukutla Sarma, *Power System Analysis and Design: With Personal Computer Application*, PWS-KENT Publishing Co., Boston, 1989.
- [4] ommel, H.W. , and Tinney, W.F. , *Optimal Power Flow Solutions*, IEEE Transactions on Power Systems 1968, PAS-87, pp. 1866-1876.
- [5] El-Hawary, M.E., *Applications of artificial neural networks in electric power systems operational planning*, Engineering Intelligent Systems, Vol. 7, no. 1, March 1999.
- [6] Eiselt, H.A., G. Pederzoli, C.L.Sandblom, *Continuous Optimization Models*, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1987.
- [7] Hadi Saadat, *Power System Analysis*, WCB McGraw-Hill Companies, New York, 1999.
- [8] Park, J.H., dkk., *Economic Load Dispatch for Piecewise Quadratic Cost Function Using Hopfield neural Networks*, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, No. 3, August 1993.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Momoh, J.A dkk, *Extension of The Interior Point Method*, EPRI Proceeding1991, Advanced Maths for Power Systems, San Diego CA.
- [12] Rosen, J.B., *The Gradient Projection method for non-linear programming-Part I 'Linear constraints*, J. Soc. Indust. Appl. Math., 1960,3,pp. 181-217.
- [13] Rukmi Sari Hartati & El-Hawary, M.E., *Summary of Application of Hopfield Neural Network to Economic Load Dispatch*, Proceeding of Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering, Halifax, May 2000.
- [14] Rukmi Sari Hartati, El-Hawary, M.E., *New Approach for solving Optimization Problems in Economic Load Dispatch using Hopfield Neural Networks*, Proceedings of CCECE 2000, May 7-10, 2000.
- [15] 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.
- [16] Simon Haykin, *Neural Networks, a comprehensive foundation*, Second edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1999.
- [17] Sukerayasa, Rukmi Sari Hartati, *Aplikasi Metode Optimasi Exstended Quadratic Interior dan Gradient Projection untuk Ekonomik Dispatch Pembangkit Termal di Bali*, Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 2 No. 2 Juli-Desember 2003, ISSN: 1693-2951.
- [18] Wood, A.J. and Wollenberg, B.F, *Power generation, operation, and control*, Second edition, John Wiley & Sons New York, 1996.