

## ANALISA ALIRAN DAYA OPTIMAL PADA SISTEM KELISTRIKAN BALI

E D Meilandari<sup>1</sup>, R S Hartati<sup>2</sup>, I W Sukerayasa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Alumni Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2</sup>Staff Pengajar Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361

Email: etizmeilandari@gmail.com, rshartati@gmail.com, sukerayasawayan@yahoo.com

### Abstrak

Bali saat ini merupakan daerah dengan tingkat pertumbuhan yang cukup pesat, Hal ini tentu saja memicu permintaan akan kebutuhan listrik yang semakin meningkat. Agar tetap dapat melayani permintaan akan kebutuhan listrik tersebut ketersediaan pasokan listrik harus berlangsung secara kontinyu. Metode optimasi aliran daya dengan fungsi tujuan untuk meminimalkan biaya pembangkitan dengan tetap memenuhi keseimbangan beban serta tidak melanggar kendala yang ditentukan diantaranya batas atas dan bawah daya aktif, daya reaktif serta tegangan pada suatu sistem kelistrikan telah banyak diciptakan dan dilakukan salah satunya adalah metode optimasi aliran daya dengan menggunakan Interior Point Optimal Power Flow (IP OPF) A Primal Dual Algorithms with Barrier Function. Hasil optimasi aliran daya yang dilakukan pada sistem kelistrikan Bali dengan meminimalkan biaya pembangkitan didapat penurunan Fuel Cost sebesar Rp.119,940,584.11 selama satu jam pada saat beban puncak malam Sehingga dapat disimpulkan hasil dari metode optimasi aliran daya cukup memuaskan dan dapat digunakan untuk analisa optimasi pada sistem kelistrikan Bali.

**Kata kunci:** Optimasi, Aliran Daya, Biaya Pembangkitan

### 1. PENDAHULUAN

Bali saat ini merupakan daerah dengan tingkat pertumbuhan yang cukup pesat. Ini terlihat dari banyaknya pembangunan yang dilakukan di segala bidang, Hal ini tentu saja memicu permintaan akan kebutuhan listrik yang semakin meningkat. Agar tetap dapat melayani permintaan akan kebutuhan listrik tersebut ketersediaan pasokan listrik harus berlangsung secara kontinyu.

Untuk kondisi kelistrikan Bali saat ini, total beban permintaan (*Demand*) beban puncak pada tahun 2011 mencapai 591,60 MW sedangkan Bali sendiri untuk memenuhi permintaan beban tersebut masih mengandalkan tiga pembangkit utamanya yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Gilimanuk yang berkapasitas 130 MW, Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Pemaron dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) swasta Pemaron dengan total kapasitas sebesar 136 MW serta Pembangkit Listrik (PLTD) Pesanggaran dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)-Minyak Pesanggaran yang berkapasitas 229.8 MW serta pasokan listrik interkoneksi Jawa-Bali melalui dua kabel laut yang berkapasitas 180 MW.

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik terdapat beberapa persoalan-persoalan yang sering terjadi diantaranya masalah biaya bahan bakar yang relatif tinggi, pada operasi suatu sistem tenaga listrik, biaya bahan bakar pada umumnya adalah biaya yang terbesar, untuk PLN biaya bahan bakar adalah 60 persen dari biaya operasi secara keseluruhan [7]. Oleh karena itu perlu metode-metode optimasi untuk menekan biaya ini.

Metode-metode optimasi telah banyak dilakukan pada banyak penelitian-penelitian sebelumnya seperti menghitung alokasi daya aktif dan reaktif optimal pada sistem kelistrikan Bali dengan menggunakan metode proyeksi gradient [5]. Alokasi pembebanan ekonomis dengan menggunakan Metode *Extended Quadratic Interior Point* yaitu mengalokasikan pembebanan ekonomis tanpa memperhatikan rugi-rugi transmisi pada sistem kelistrikan Bali dengan menekankan pada penjadwalan unit-unit pembangkit thermal [2], serta Studi Optimasi Aliran Daya Listrik Sistem Kelistrikan Bali dengan hanya menghitung optimasi daya aktif untuk mendapatkan biaya pembangkitan minimal menggunakan metode *DC Optimal Power Flow* [8].

Dengan demikian maka dalam pembahasan kali ini akan dianalisis bagaimana mengoptimalkan aliran daya pada sistem kelistrikan Bali. Optimasi yang dilakukan berupa optimasi daya aktif dengan batasan kendala meliputi batasan kendala daya aktif, reaktif serta tegangan. Optimasi ini dilakukan untuk mengetahui berapa daya optimal yang dapat dibangkitkan oleh masing-masing unit pembangkit agar mendapatkan biaya pembangkitan yang minimum serta mendapatkan rugi-rugi yang optimal dengan tetap memenuhi keseimbangan beban.

### 2. TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Formulasi Aliran Daya Optimal

Permasalahan optimasi daya aktif adalah untuk meminimisasi biaya pembangkitan dan tetap mengoptimalkan daya pembangkitan [4]. Yang perlu

diperhatikan dalam optimasi daya aktif adalah batasan daya aktif seimbang, batasan daya yang dibangkitkan pada generator, sudut tegangan dan batasan daya aktif thermal. Sedangkan untuk optimasi daya reaktif adalah untuk meminimalisasi losses atau rugi-rugi yang terjadi pada jaringan transmisi, sehingga menjadikan profil tegangan pada sistem lebih baik. Masalah aliran daya optimal dengan variabel daya aktif dan reaktif dapat di representasikan pada persamaan berikut [9]:

$$\text{Min } F = \sum_{i=1}^{NG} (a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i) \tag{2.1}$$

Dengan kendala:

$$P_i(V, \theta) = P_{Gi} - P_{Di} \tag{2.2}$$

$$Q_i(V, \theta) = Q_{Gi} - Q_{Di} \tag{2.3}$$

$$P_{Gi \min} \leq P_{Gi}(V, \theta) \leq P_{Gi \max} \tag{2.4}$$

$$Q_{Gi \min} \leq Q_{Gi}(V, \theta) \leq Q_{Gi \max} \tag{2.5}$$

$$V_{i \min} \leq V_i \leq V_{i \max} \tag{2.6}$$

Dengan:

$P_{Gi}$  = Keluaran daya aktif generator yang terhubung pada bus i.

$Q_{Gi}$  = Keluaran daya reaktif generator yang terhubung pada bus i.

$P_{Di}$  = Daya aktif pada beban yang terhubung pada bus i.

$Q_{Di}$  = Daya reaktif pada beban yang terhubung pada bus i.

$P_i$  = Daya aktif yang diinjeksikan pada bus i.

$Q_i$  = Daya reaktif yang diinjeksikan pada bus i.

$V_i$  = Tegangan magnitude pada bus i.

$f_i$  = Persamaan biaya pembangkitan

## 2.2 Interior Point Optimal Power Flow (Ip Opf) A Primal Dual Algorithms With Barrier Function

Untuk memecahkan masalah aliran daya optimal dengan menggunakan metode Interior Point Primal Dual Algorithms dengan Barrier Function, maka masalah aliran daya optimal dapat dinyatakan dengan persamaan umum sebagai berikut:

$$\text{Minimize } f(x) \tag{2.7}$$

Dengan kendala:

$$g_i(x) = 0 \tag{2.8}$$

$$h_j(x) + s_{1j} = 0 \tag{2.9}$$

$$x_y + s_{2y} = x_{\max} \tag{2.10}$$

$$x_y - s_{3y} = x_{\min} \tag{2.11}$$

$$s_{1j}, s_{2y}, s_{3y} > 0 \tag{2.12}$$

Dengan Keterangan:

$f(x)$  = Fungsi objektif yang akan diminimalkan

$g_i(x)$  = Persamaan Aliran Daya

$h_j(x)$  = Fungsi pertidaksamaan aliran daya

$s_{1j}, s_{2y}, s_{3y}$  = Vektor kolom

Metode Interior Point Primal Dual dapat digunakan untuk meminimalkan fungsi dengan menggunakan logarithmic barrier function untuk masalah pada persamaan (2.13) maka:

$$\text{minimize } f(x) - \mu \sum_{j=1}^p \ln(s_{1j}) - \mu \sum_{y=1}^n [\ln(s_{2y}) + \ln(s_{3y})]$$

Dengan

$$g_i(x) = 0 \tag{2.14}$$

$$h_j(x) + s_{1j} = 0 \tag{2.15}$$

$$x_y + s_{2y} = x_{\max} \tag{2.16}$$

$$x_y - s_{3y} = x_{\min} \tag{2.17}$$

$\mu > 0$  merupakan parameter barrier yang nilainya akan terus turun hingga nol selama iterasi dilakukan, yaitu  $\mu > \mu_1 > \dots > \mu_n = 0$ .

## 2.3 Karakteristik Input-Output Unit Pembangkit Thermal

Kurva input output menggambarkan besarnya input yang harus diberikan pada unit pembangkit sebagai fungsi dari outputnya. Untuk unit pembangkit thermal, inputnya adalah bahan bakar yang dinyatakan dalam Rupiah per jam dengan output daya

yang dibangkitkan dinyatakan dalam Mega Watt (MW).

Jika subsistem termis terdiri dari sejumlah n unit pembangkit termis dan biaya bahan bakar unit pembangkit ke-j adalah  $F_j(P_{Tj})$ , maka jumlah biaya bahan bakar pada saat t dari subsistem termis yang terdiri dari n unit adalah:

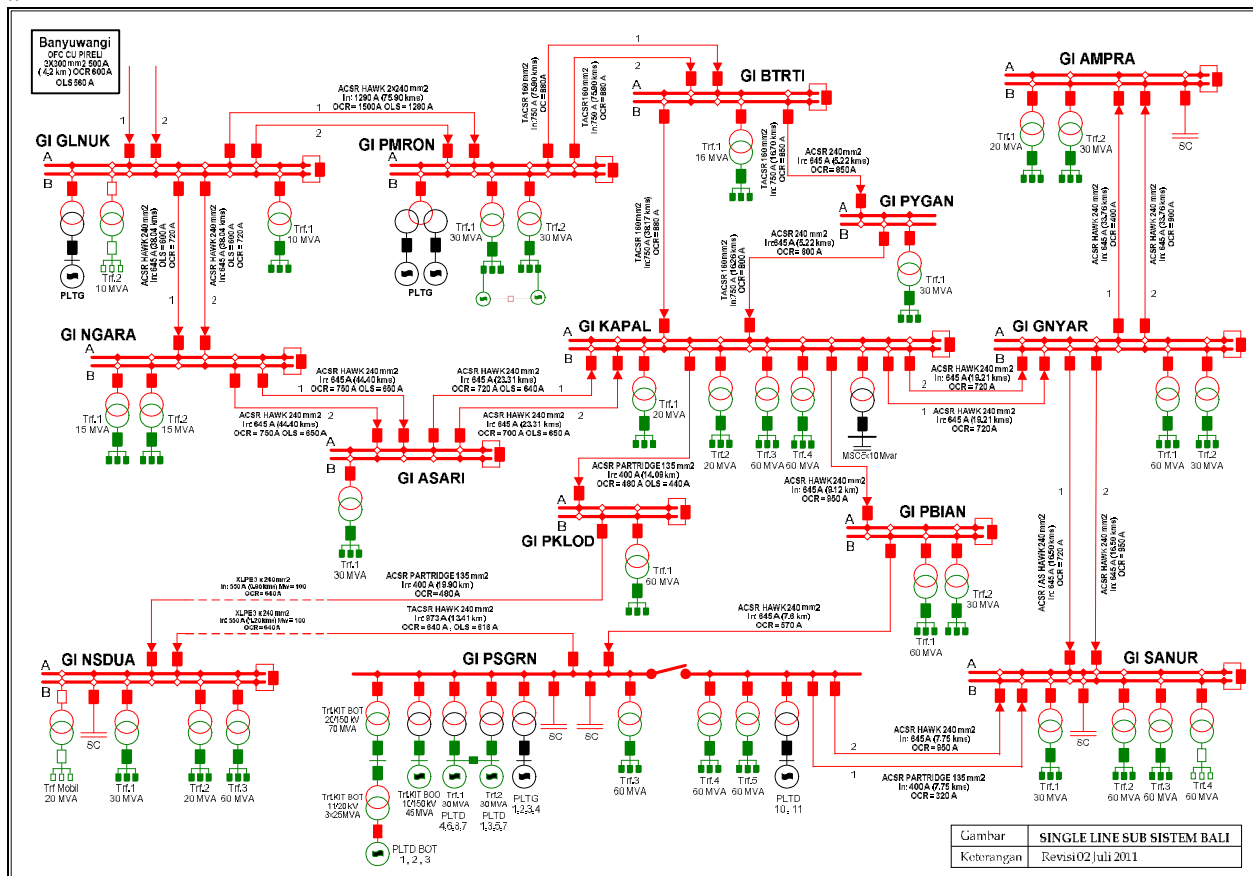
$$\sum_{j=1}^{j=n} F_j(P_{Tj})$$

Dengan j adalah indeks jumlah unit.

### 3. METODELOGI PENELITIAN

Optimasi aliran daya yang dibahas pada penelitian ini merupakan optimasi aliran daya pada saat kondisi existing sistem kelistrikan Bali. Analisa dilakukan dengan menggunakan metode *interior point optimal power flow (IP OPF) with Barrier Function* dengan bantuan simulasi pada program komputer.

Parameter data yang digunakan antara lain data impedansi penghantar sistem kelistrikan Bali, data pembangkitan unit-unit pembangkit di Bali, data masing-masing pembebanan pada 14 gardu induk serta data kapasitor pada sistem kelistrikan Bali. *Single line diagram* Sistem Kelistrikan Bali dapat dilihat pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Single Line Diagram Sistem Kelistrikan Bali

Simulasi dilakukan dengan menggambar *single line diagram* sistem kelistrikan Bali lalu memasukkan semua parameter-parameter data yang diperlukan kemudian merunning simulasi dengan memilih fungsi objektif (*Objective Function*) berupa *Minimize Fuel Cost* untuk mendapatkan biaya pembangkitan terendah.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa Aliran Daya Optimal Kondisi Existing Sistem Kelistrikan Bali

Analisa aliran daya optimal sistem kelistrikan Bali pada saat kondisi existing dilakukan dengan menggunakan data sampel pembebanan dan pembangkitan pada hari Senin, 28 Mei 2012, data impedansi saluran transmisi sistem kelistrikan Bali serta data karakteristik input-output masing-masing unit pembangkit.

Karakteristik input-output pembangkit digunakan untuk mendapatkan persamaan biaya pembangkitan dalam hal ini biaya bahan bakar (*Fuel Cost*). Dalam pembahasan ini untuk pembangkit pada sistem kelistrikan Bali menggunakan pemodelan *Composite Generation Production Cost* yaitu penggabungan beberapa unit pembangkit hingga didapat persamaan karakteristik input-output gabungannya sehingga perhitungan dapat dilakukan dengan lebih sederhana.

Penggabungan beberapa unit pembangkit tersebut diantaranya dilakukan pada Pembangkit Listrik BOO (*Built Operated Owned*) Pamaron, Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Pesanggaran, Pembangkit BOO (*Built Operated Owned*) Pesanggaran serta Pembangkit BOT (*Built Operated Transfer*) Pesanggaran. Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Pamaron pada saat hari

senin, 28 Mei 2012 sedang dalam masa pemeliharaan sehingga tidak beroperasi.

Kabel laut yang merupakan transfer interkoneksi Jawa-Bali juga memiliki pemodelan karakteristik input-output. Kabel laut dimodelkan sebagai unit kontrak yang persamaan karakteristik input-

outputnya dicari dengan menggunakan metode Guan dan Luh [4].

Berikut hasil dari simulasi aliran daya optimal pada sistem kelistrikan Bali pada saat kondisi existing sebelum dan sesudah optimasi.

Untuk meminimalkan biaya pembangkitan, karakteristik input-outputnya adalah sebagai berikut:

**Tabel 1. Persamaan Karakteristik Input-Output Semua Unit Pembangkitan Bali**

| FUEL COST            |  |
|----------------------|--|
| F(x) BOO Pemaron     | $1683.47x^2 + 1311074.63x - 4465723.91$  |
| F(x) BOO Pesanggaran | $885.46x^2 + 1112580.90x + 1765647.06$   |
| F(x) BOT Pesanggaran | $1550.54x^2 + 1087400.17x + 1981042.19$  |
| F(x) Gilimanuk       | $4256.06x^2 + 127681.71x + 113494857.14$ |
| F(X) Pesanggaran     | $6780.26x^2 - 172735.03x + 143659275.53$ |
| F(X) Kabel laut      | $387.11x^2 + 782818.40x$                 |

**Tabel 2. Hasil Optimasi dan Fuel Cost pada Masing-Masing Pembangkit**

| Pembangkitan       | Daya (MW)       |  | Fuel Cost (Rp/h)      |  |
|--------------------|-----------------|--|-----------------------|--|
|                    | Penjadwalan PLN | <i>Interior Point Optimal Power Flow with Barrier Function</i> | Penjadwalan PLN       | <i>Interior Point Optimal Power Flow with Barrier Function</i> |
| BOO Pemaron        | 118.3           | 12   | 174,194,382.29        | 11,509,591.33  |
| BOO Pesanggaran    | 26.5            | 9.3  | 31,870,855.20         | 12,189,232.87  |
| BOT Pesanggaran    | 44.1            | 51   | 52,950,895.38         | 61,471,405.40  |
| Gilimanuk          | 100             | 88.65  | 168,823,628.14        | 158,261,460.82   |
| Pemaron            | 0               | 0  | 0.00                  | 0.00   |
| Pesanggaran        | 103.6           | 148.4  | 198,536,185.79        | 267,344,079.74   |
| Kabel Laut         | 174             | 169.26   | 147,930,543.96        | 143,590,136.49   |
| <b>Total</b>       | <b>566.5</b>    | <b>478.61</b>  | <b>774,306,490.76</b> | <b>654,365,906.65</b>  |
| <b>Demand (MW)</b> | <b>466.07</b>   |  |                       |  |
| <b>Losses (MW)</b> | <b>12.54</b>    |  |                       |  |

Tabel optimasi diatas menunjukkan hasil optimasi, yaitu pada saat keadaan existing dimana optimasi belum dilakukan total daya yang dapat dibangkitkan sebesar 566.5 MW dengan Fuel Cost sebesar Rp. 774,306,490.76 selama satu jam saat beban puncak malam sedangkan setelah dilakukan optimasi dengan menggunakan metode *Interior Point Optimal Power Flow With Barrier Function* didapat total daya optimal yang dibangkitkan sebesar 478.61 MW dengan total Fuel Cost sebesar Rp. 654,365,906.65 selama satu jam saat beban puncak malam maka terjadi penurunan Fuel Cost sebesar Rp. 119,940,584.11 selama satu jam pada saat beban puncak malam dengan rugi-rugi sebesar 12.54 MW.

## 5 SIMPULAN

Optimasi yang dilakukan pada sistem kelistrikan Bali berjalan cukup baik, hal ini terlihat dari dengan tetap memenuhi kebutuhan beban dan tidak melanggar batasan kendala didapat hasil optimasi yaitu penurunan biaya pembangkitan sebesar Rp. 119,940,584.11 selama satu jam pada saat beban puncak malam serta rugi-rugi yang terjadi sebesar 12.54 MW. Dengan demikian metode optimasi ini dapat dan cocok digunakan untuk optimasi pada sistem kelistrikan di Bali..

---

**6 DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Da costa, G.R.M et al. *Comparative Studies of Optimization Methods for The Optimal Power Flow Problem. Elsevier Journal of Electrical Engineering*. 2000; 56:249-254.
- [2] Danny, R. Alokasi Pembebanan Ekonomis dengan Menggunakan Metode *Extended Quadratic Interior Point*. Denpasar. Tugas Akhir Universitas Udayana; 2004.
- [3] El-Hawary, ME. *Power System Stability and Control*. Canada. Taylor and Francis Group LLC ; 2006.
- [4] Guan X, Peter B, Luh, Lan Zhang. *Transaction on Power System. IEEE Journal*. 1995; Vol. 10, No. 2.
- [5] Lenin K, et al. *Ant Colony Search Algorithm for Optimal Reactive Power Optimization. Serbian Journal of Electrical Engineering*. 2006; Vol. 3, No. 1.
- [6] Mahardika. Alokasi Daya Aktif dan Reaktif Optimal pada Sistem Kelistrikan Bali dengan Menggunakan Metode Proyeksi Gradient. Denpasar. Tugas Akhir Universitas Udayana; 2004.
- [7] Marsudi, D. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta. Erlangga ; 2005.
- [8] Marsudi, D. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta. Balai Penerbit & Human ISTN ; 1990.
- [9] Susanti, E. *Studi Optimasi Aliran Daya untuk Sistem Kelistrikan 150 kV Bali*. Denpasar. Tugas Akhir Unniversitas Udayana; 2010.
- [10] Zhu, J. *Optimization Of Power System Operation*. USA. John Wiley and Sons Inc ; 2009.