

PEMBANGUNAN PLTGU PEMARON MENURUNKAN RUGI DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN DI BALI

I Made Mataram
Staf Pengajar Program Studi Teknik Elektro, Universitas Udayana

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan energi listrik di Bali, menyebabkan perluasan sistem pembangkitan, diantaranya pembangunan PLTGU di Pemaron. Pengoperasian pembangkit listrik ini diharapkan dapat mengubah profilnya. Penelitian ini membahas tentang rugi daya sistem kelistrikan Bali setelah beroperasinya pembangkit listrik itu. Analisis yang dilakukan diambil dari perbandingan perhitungan aliran daya antara adanya pembangkit baru ini dengan system sebelumnya.

Hasil dari simulasi ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan rugi daya pada system dari 7,8659 MW menjadi 5,4013 MW atau 31,33 %.

Kata Kunci : PLTGU, Rugi daya

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan primer yang terus berkembang seiring dengan perkembangan teknologi. Peningkatan ini perlu diimbangi dengan pemenuhan kebutuhan akan energi listrik dengan cara pembangunan pembangkit yang baru dari pihak produsen. Kebutuhan listrik di Bali juga mengalami peningkatan yang cukup tajam diperkirakan sekitar 8-12 % pertahun.

Jika PLTGU Pemaron beroperasi maka akan terjadi perubahan di dalam sistem kelistrikan di Bali, baik itu perubahan tegangan maupun rugi daya. Diharapkan perubahan yang lebih baik yaitu tegangan dapat lebih stabil dan rugi-rugi dapat menurun. Bertitik tolak dari permasalahan di atas maka dalam penelitian ini dibahas sejauh mana pengaruh pembangunan PLTGU Pemaron terhadap rugi daya pada sistem di Bali.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Saluran Transmisi

Klasifikasi saluran transmisi ada 3 (tiga) yaitu saluran transmisi pendek, menengah dan panjang. Yang tergolong dalam saluran transmisi pendek adalah saluran transmisi yang panjangnya tidak lebih dari 80 km. Admitansi paralel yang sering disebut juga line charging yang biasanya merupakan kapasitansi murni, pada saluran ini nilainya kecil sekali, sehingga dalam perhitungan dapat diabaikan. Sehingga rangkaian ekuivalen dari saluran jenis ini merupakan impedansi seri sederhana.

Saluran transmisi menengah memiliki panjang antara 80 sampai 240 km. Nilai kapasitansi pada saluran jenis ini cukup besar, sehingga tidak dapat diabaikan dalam perhitungan. Rangkaian ekuivalen yang menggambarkan admitansi paralel

yang terpusat di tengah-tengah saluran dinamakan Rangkaian Ekuivalen T-Nominal.

Saluran transmisi tergolong panjang memiliki panjang lebih dari 240 km. Rangkaian T-Nominal dan Π -Nominal tidak dapat merepresen tasikan saluran transmisi panjang dengan tepat, karena rangkaian tersebut tidak memperhitungkan kenyataan bahwa parameter saluran tersebut merata. Perbedaan kedua rangkaian tersebut dengan saluran transmisi yang sebenarnya menjadi besar. Akan tetapi masih mungkin untuk mendapatkan rangkaian ekuivalen transmisi panjang dan merepresentasikan secara tepat dengan jaringan parameter terpusat, asal pengukuran-pengukuran hasilnya dilakukan pada ujung-ujung saluran.

B. Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik

Analisis aliran daya adalah penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya dan faktor daya atau daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jaringan listrik pada keadaan normal. Dalam analisis sistem tenaga listrik, variabel-variabel yang perlu diperhatikan adalah tegangan (V), sudut fasa (δ), daya nyata (P), daya semu (Q). Variabel P dan Q bergantung pada V dan δ , dimana perubahan P bergantung pada δ dan Q bergantung pada V , demikian pula sebaliknya. Adapun jenis-jenis variabel dalam sistem adalah ;

1. Variabel-variabel bebas (variabel-variabel yang diatur). Contoh : magnitudo dan sudut tegangan pada bus beban, sudut fasa tegangan dan daya reaktif pada simpul / bus generator.
2. Variabel-variabel tidak bebas (variabel-variabel yang mengatur). Contoh : daya nyata dan magnitudo tegangan pada bus generator.

3. Variabel yang tidak dapat diatur (parameter tetap).
Contoh : kebutuhan konsumen (consumer demand).

Didalam perencanaan perluasan sistem dengan melakukan analisis aliran daya ini akan dapat diketahui prosedur atau pengoperasian terbaik setelah mempelajari efek-efek tambahan dari sistem dalam perencanaan nantinya. Dengan analisis ini juga dapat ditentukan prosedur terbaik untuk operasi sistem dalam hal hilangnya satu atau lebih sentral pembangkit atau saluran transmisi.

Tujuan dari analisa aliran daya adalah (Hutaaruk, 1983) :

1. Untuk mengetahui tegangan-tegangan pada setiap bus yang ada dalam sistem. Biasanya variasi tegangan yang diperbolehkan adalah $\pm 5\%$.
2. Untuk mengetahui semua peralatan apakah memenuhi batas-batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya yang diinginkan.
3. Untuk memperoleh kondisi awal untuk studi selanjutnya seperti studi analisa hubung singkat, stabilitas dan pembebanan ekonomis.

Pada setiap bus terdapat 4 besaran penting yang digunakan di dalam analisa aliran daya, yaitu :

1. Injeksi netto daya nyata (net real power injected), mempunyai simbol " P " dengan satuan Megawatt (MW).
2. Injeksi netto daya semu (net reactive power injected) mempunyai simbol " Q " dengan satuan Megavolt ampere reactive (MVAR).
3. Besaran (magnitude) tegangan, mempunyai simbol " V " dengan satuan Kilovolt (KV).
4. Sudut fasa tegangan, mempunyai simbol δ dengan satuan radian.

Nomor 1 dan 2 adalah daya yang dibangkitkan oleh generator yang mengalir ke bus, bila bus sendiri mempunyai beban, daya ini adalah selisih daya yang dibangkitkan generator dengan daya pada beban. Bila busnya tidak punya generator, beban pada bus tersebut dianggap sebagai generator yang membangkitkan daya negatif yang mengalir ke bus tersebut.

Dari 4 parameter tersebut diatas, untuk memperoleh penyelesaian aliran daya, pada setiap bus perlu diketahui 2 buah parameter, sehingga tergantung pada parameter yang diketahui. Pada bus-bus yang demikian daya kompleks diberikan oleh :

$$S_i = P_i + jQ_i = (P_{Gi} - P_{Di}) + j(Q_{Gi} - Q_{Di})$$

dengan :

P_{Gi} = Daya aktif yang disuplai oleh generator pada bus i

Q_{Gi} = Daya reaktif yang disuplai oleh generator pada bus i

P_{Di} = Daya aktif beban pada bus i

Q_{Di} = Daya reaktif beban pada bus i

Untuk analisa aliran daya, bus-bus yang digunakan dapat diklasifikasikan dalam 3 kategori :

1. Load Bus atau Bus Beban

Biasanya disebut bus P,Q, parameter-parameter yang diketahui adalah P dan Q, parameter-parameter yang tidak diketahui adalah V dan δ .

2. Bus Kontrol (Generator Bus)

Pada bus ini, parameter-parameter yang diketahui adalah P dan V, parameter-parameter yang dihitung adalah Q dan δ .

3. Bus Referensi (Slack Bus)

Pada bus ini parameter-parameter yang diketahui adalah V dan δ dan (δ biasanya = 0). Sedangkan besaran P dan Q ditentukan setelah iterasi selesai. Biasanya slack bus yang digunakan dalam analisa ini jumlahnya hanya satu dan dipilih bus pertama atau terakhir, yang terhubung dengan generator yang berkapasitas paling besar. Konsep slack bus ini diperlukan, karena aliran daya ke dalam sistem pada setiap bus tidak dapat ditentukan sampai seluruh iterasi terselesaikan. Karena bus ini berfungsi sebagai bus reference, maka sudut fasa tegangan adalah sama dengan 0.

Titik-titik sambungan yang terhubung jika dua buah elemen murni (R, L, C atau suatu sumber tegangan atau arus ideal) dihubungkan satu sama lain pada ujung – ujungnya dinamakan simpul – simpul (*nodes*).

C. Metoda Newton Rhapson

Persamaan umum dari arus yang menuju bus adalah :

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j$$

atau dalam bentuk polar dapat dituliskan :

$$I_i = \sum_{j=1}^n (Y_{ij} V_j) \angle \theta_{ij} + \delta_j$$

Daya kompleks pada bus tersebut adalah

$$P_i - Q_i = V_i^* I_i$$

sehingga dengan mensubstitusikan persamaan di atas didapatkan :

$$P_i - Q_i = V_i \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n (Y_{ij} V_j) \angle \theta_{ij} + \delta_j$$

Dengan memisahkan bagian real dan imajiner didapatkan :

$$P_i = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \cos \angle \theta_{ij} + \delta_j - \delta_i$$

dan

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \sin \angle \theta_{ij} + \delta_j - \delta_i$$

Nilai-nilai P dan Q dapat ditetapkan untuk semua bus kecuali slack bus dan memperkirakan besar dan sudut tegangan pada setiap bus kecuali slack bus yang mana besar dan sudut tegangan telah ditentukan. Nilai perkiraan ini akan digunakan untuk menghitung nilai P dan Q dengan menggunakan persamaan di atas, sehingga didapatkan

$$\Delta P_i = P_i^{spec} - P_i^{calc}$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{spec} - Q_i^{calc}$$

dimana superskrip "spec" berarti yang ditetapkan sedangkan "calc" berarti yang dihitung.

Jika jumlah seluruh bus diberi notasi n, jumlah bus beban diberi notasi n_l, jumlah generator bus di beri notasi n_g, dan 1 slack bus diberi notasi n_s, maka :

$$n = n_l + n_g + n_s$$

Pada slack bus nilai magnitude tegangan (V) dan sudut tegangan (δ) adalah tetap, sehingga tidak dilakukan perhitungan pada setiap iterasinya. Sedangkan pada generator bus, daya aktif (P) dan magnitude tegangan (V) bernilai tetap. Sehingga hanya daya reaktif yang dihitung pada setiap iterasinya. Jadi jumlah persamaan yang harus dipecahkan pada setiap iterasinya adalah :

$$2n_l + n_g$$

Matrik Jacobian terdiri dari turunan parsial P dan Q terhadap masing-masing variabel dalam persamaan di atas. Dapat dituliskan sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix}$$

Submatrik J₁, J₂, J₃, J₄ menunjukkan turunan parsial dari persamaan di atas terhadap δ dan V yang bersesuaian, dan secara matetatis dapat dituliskan sebagai berikut :

Nilai untuk elemen J₁ adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{i \neq j} V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i \neq j$$

Nilai untuk elemen J₂ adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_i} = 2V_i Y_{ii} \cos \theta_{ii} + \sum_{i \neq j} V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_j} = V_i Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i \neq j$$

Nilai untuk elemen J₃ adalah

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{i \neq j} V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i \neq j$$

Nilai untuk elemen J₄ adalah

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = -2V_i Y_{ii} \sin \theta_{ii} - \sum_{i \neq j} V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_j} = -V_i Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i \neq j$$

Setelah seluruh persamaan diselesaikan, maka nilai koreksi magnitude dan sudut tegangan ditambahkan ke nilai sebelumnya.

$$V_i^{(k+1)} = V_i^k + \Delta V_i^k$$

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^k + \Delta \delta_i^k$$

Dengan demikian diperoleh nilai magnitude dan sudut tegangan yang baru untuk digunakan pada iterasi berikutnya. Proses berulang terus sampai diperoleh nilai konvergen yang telah ditentukan (Saadat,1994).

D. Persamaan Aliran pada Saluran

Setelah tegangan-tegangan bus diketahui maka aliran arus dapat dicari.

Arus yang mengalir pada bus kirim (i) dari saluran i ke j (Hutaaruk, 1983) :

$$I_{ij} = (V_i - V_j)Y_{ij} + V_i \frac{Y'_{ij}}{2}$$

dengan :

Y_{ij} = admitansi kawat i ke j

Y'_{ij} = admitansi shunt kawat i ke j

$V_i \frac{Y'_{ij}}{2}$ = kontribusi arus pada bus i oleh arus shunt

Sebaliknya arus yang mengalir dari bus j :

$$I_{ji} = (V_j - V_i)Y_{ji} + V_j \frac{Y'_{ij}}{2}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data yang dipakai dalam bahasan ini bersumber dari PT. PLN (Persero) UBS P3B Sub Region Bali. Semua menggunakan MVA_{base} = 100 MVA dan KV_{base} = 150 KV pada sisi saluran transmisi.

A. Gambaran Umum Sistem Tenaga Listrik 150 KV di Bali

Sistem tenaga listrik 150 KV di Bali mempunyai jaringan transmisi yang terbentang sepanjang 574.04 Km yang terdiri dari 17 saluran dan

12 gardu induk. Bentuk saluran yang digunakan pada jaringan transmisi 150 KV di Bali terdiri dari dua jenis yaitu berupa saluran ganda (*double circuit*) dan berupa saluran tunggal (*single circuit*) seperti gambar di bawah. Untuk menanggung beban yang ada pada masing-masing gardu induk, sistem tenaga listrik di Bali mempunyai empat buah sumber yaitu berupa pembangkitan yang berada di gardu induk Pesanggaran yang mempunyai kapasitas sebesar 201,27 MW dengan daya mampu sebesar 159,56 MW di gardu induk Gilimanuk dengan kapasitas pembangkitan sebesar 133,8 MW dengan daya mampu sebesar 107,04 MW dan pembangkitan yang berada di gardu induk Pemaron dengan kapasitas sebesar 147,6 MW dengan daya mampu sebesar 118,08 MW yang belum beroperasi. Sedangkan sumber lainnya adalah berupa kabel laut yang berasal dari pembangkitan yang ada di Jawa dengan kapasitas sebesar 220 MW dan dengan daya mampu sebesar 218 MW.

B. Aliran Daya Sistem Bali sebelum PLTGU Pemaron Beroperasi

Perhitungan aliran daya disini menggunakan metode Newton Raphson. Dalam perhitungan,

menggunakan data daya mampu pembangkitan pada bus generator (bus Pesanggaran) sebesar 1,5956 pu dan data beban puncak (pukul 19.00 Wita) masing-masing bus pada sistem tenaga listrik 150 KV di Bali dalam besaran pu.

C. Aliran Daya Sistem Bali setelah PLTGU Pemaron Beroperasi

Daya pembangkitan daya yang direncanakan di PLTG Pemaron adalah sebesar 2 x 48,8 MW ditambah daya dari combine cycle PLTG Pemaron sebesar 50 MW sehingga total daya pembangkitan yang direncanakan di Pemaron sebesar 147,6 MW dengan daya mampu sebesar 118,08 MW

Di bawah ini adalah hasil perhitungan tegangan, sudut fasa tegangan dan daya tiap bus Pasca PLTGU Pemaron beroperasi.

Tabel 1. Hasil perhitungan magnitude tegangan, sudut fasa tegangan dan daya tiap bus sebelum PLTGU Pemaron beroperasi.

No	Nama Bus	Tegangan (KV)	Sudut (Derajat)	Daya Tiap Bus	
				(MW)	(MVAR)
1.	Gilimanuk	150.000	0.0000	202.1059	-44.6519
2.	Pesanggaran	150.000	-6.6860	81.4600	120.5113
3.	Negara	149.040	-2.6137	-11.9000	-4.3000
4.	Antosari	148.425	-5.0362	-5.2000	-2.4000
5.	Pemaron	148.980	-3.8614	-24.1000	-8.8000
6.	Baturiti	148.695	-4.7288	-3.7000	-0.5000
7.	Kapal	148.305	-6.1795	-66.0000	-22.6000
8.	Gianyar	148.350	-6.6969	-34.9000	-24.7000
9.	Amlapura	148.080	-6.9513	-14.9000	-3.2000
10.	Sanur	149.250	-6.8045	-50.7000	-14.9000
11.	Nusa Dua	148.515	-6.9264	-47.1000	-14.3000
12.	Padangsambian	149.115	-6.5304	-17.2000	-7.0000

Tabel 2. Daya masing-masing pembangkit dan total rugi-rugi saluran sebelum PLTGU Pemaron beroperasi.

No	Pembangkit	Daya	
		MW	MVAR
1.	Gilimanuk	202.1059	-44.6519
2.	Pesanggaran	159.5600	150.9113
Rugi-Rugi		7.8659	-26.8407

Tabel 3. Hasil perhitungan magnitudo tegangan, sudut fasa tegangan dan daya tiap bus setelah PLTGU Pemaron beroperasi.

No	Nama Bus	Tegangan (pu)	Sudut (Derajat)	Daya Tiap Bus	
				(MW)	(MVAR)
1.	Gilimanuk	150.000	0.0000	81.5613	-18.4052
2.	Pesanggaran	150.000	-4.3652	81.4600	115.4505
3.	Pemaron	150.000	-0.3472	93.9800	-39.2313
4.	Antosari	148.605	-3.2192	-5.2000	-2.4000
5.	Negara	149.220	-1.7161	-11.9000	-4.3000
6.	Baturiti	149.370	-1.6321	-3.7000	-0.5000
7.	Kapal	148.425	-3.8828	-66.0000	-22.6000
8.	Gianyar	148.410	-4.3914	-34.9000	-24.7000
9.	Amlapura	148.140	-4.6466	-14.9000	-3.2000
10.	Sanur	149.265	-2.4923	-50.7000	-14.9000
11.	Nusa Dua	148.560	-4.6162	-47.1000	-14.3000
12.	Padangsambian	149.175	-4.2229	-17.2000	-7.0000

Tabel 4. Daya masing-masing pembangkit dan total rugi-rugi saluran Setelah PLTGU Pemaron beroperasi.

No	Pembangkit	Daya	
		MW	MVAR
1.	Gilimanuk	81.5613	-21.8591
2.	Pesanggaran	159.5600	145.2248
3.	Pemaron	118.0800	-26.3554
Rugi-Rugi		5.4013	-36.0897

D. Perbandingan rugi daya sebelum dan setelah PLTGU Pemaron beroperasi

Di bawah ini adalah data daya pembangkitan hasil perhitungan rugi daya sebelum dan setelah PLTGU Pemaron beroperasi :

Tabel 5. Perbandingan rugi-rugi sebelum dan setelah PLTGU Pemaron beroperasi

No	Sistem Bali	Rugi-Rugi	
		MW	MVAR
1.	Sebelum beroperasi	7.8659	- 26.8407
2.	Setelah beroperasi	5.4013	- 36.0897

Dari tabel-5 di atas terlihat bahwa rugi-rugi daya pada system Bali mengalami penurunan dari 7,8659 MW menjadi 5,4013 MW (2,4646 MW) atau dalam prosentase mengalami penurunan sebesar 31,33 %.

4. PENUTUP

A. Simpulan

Dari pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa setelah PLTGU Pemaron beroperasi rugi-rugi saluran mengalami penurunan sebesar 2,4646 MW

atau 31,33 % yaitu dari 7,8659 MW turun menjadi 5,4013 MW.

B. Saran

Dalam penelitian ini analisis aliran daya yang dilakukan tidaklah memperhatikan tap transformator, oleh karena itu untuk penelitian mendatang perlu dilakukan analisis yang memperhatikan tap transformator karena mempengaruhi penyelesaian akhir yang dilakukan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Arismunandar, A & Kuwahara, S. 1993. *Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [2]. Ariastina, W.G. 1994. *Pemrograman Analisa Aliran Daya Dengan Metode Newton-Raphson Dan Penggunaannya Pada Sistem Kelistrikan Di Jawa Timur dan Bali*. Denpasar. Teknik Elektro Universitas Udayana.
- [3]. Grainger, John J. and Stevenson, William D, Jr .1994. *Power System Analysis*. Singapore : McGraw-Hill.inc.
- [5]. Hutaeruk, T.S. 1990. *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta : PT Erlangga.
- [6]. Hutaeruk, T.S.1983. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Jurusan Elektroteknik Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung.

- [7]. Juliarta, I Made, 2002. *Studi Perhitungan Koefisien Matrik B untuk Menentukan Rugi-Rugi Daya Sebagai Fungsi Pembangkitan pada Saluran Transmisi 150KV di Bali*. Jimbaran. Teknik Elektro Universitas Udayana.
- [8]. Rijono, Y. 1997. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta : ANDI.
- [9]. Saadat, Hadi, 1999. *Power System Analysis*. Singapore : McGraw-Hill.inc.
- [10]. Stevenson, William D, Jr.1994. *Analisa Sistem Tenaga*. Jakarta : PT Erlangga.
- [11]. _____, 2001. *Diktat Praktikum Analisa Sistem Tenaga*. Jimbaran. Teknik Elektro Universitas Udayana.