

# PENGARUH BEROPERASINYA PLTS KAYUBIHI TERHADAP SUSUT ENERGI DAN KEANDALAN PENYULANG BANGLI

Kadek Agus Nata Riadnyana<sup>1</sup>, Ida Ayu Dwi Giriantari<sup>2</sup>, I Wayan Sukerayasa<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email : [natariadnyana@gmail.com](mailto:natariadnyana@gmail.com)<sup>1</sup>, [dayu.giriantari@unud.ac.id](mailto:dayu.giriantari@unud.ac.id)<sup>2</sup>, [sukerayasa@unud.ac.id](mailto:sukerayasa@unud.ac.id)<sup>3</sup>

## Abstrak

Beroperasinya PLTS pada penyulang Bangli menyebabkan perubahan performa pada penyulang Bangli terutama pada susut energi dan keandalan penyulang tersebut. Analisis dilakukan dengan load flow simulation pada software ETAP dengan dua kondisi, yaitu penyulang Bangli tanpa dan dengan PLTS untuk mendapatkan hasil susut daya yang selanjutnya digunakan untuk menghitung susut energi. Analisis keandalan dilakukan untuk mendapatkan parameter SAIFI dan SAIDI. Dengan beroperasinya PLTS, nilai susut energi turun sebesar 31,4% dan keandalan penyulang Bangli menghasilkan nilai SAIFI sebesar 9 kali/2 tahun tanpa PLTS dan 4 kali/tahun dengan PLTS, serta nilai SAIDI sebesar 13,9225 jam/tahun tanpa PLTS dan 11,7963 jam/tahun dengan PLTS.

**Kata Kunci :** susut energi, load flow simulation, SAIFI, SAIDI

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu energi terbarukan yang saat ini sedang gencar-gencarnya dicanangkan oleh pemerintah yaitu energi sinar matahari (surya). Di Indonesia saat ini sudah banyak pembangkit yang memanfaatkan energi sinar matahari untuk menghasilkan energi listrik untuk menambah pasokan tenaga listrik pada suatu daerah yang kekurangan pasokan tenaga listrik. Baru-baru ini telah dibangun salah satu pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di provinsi Bali tepatnya di Kabupaten Bangli. Pembangkit listrik tenaga surya ini dibangun di Desa Bangklet dan dibangun di atas tanah seluas 1,2 Ha. Pembangkit listrik tenaga surya merupakan sumbangan pemerintah kepada pihak PLN dalam rangka mendukung penggunaan energi terbarukan sebagai energi untuk membangkitkan listrik.

PLTS ini memiliki daya mampu sebesar 1 MW dan terinterkoneksi (terhubung) pada sistem jaringan 20kV. Seluruh daya listrik yang dibangkitkan oleh PLTS ini, disalurkan pada sistem jaringan penyulang Bangli tanpa adanya baterai untuk menyimpan energi listrik.

Kondisi *existing* saat ini, sistem jaringan penyulang Bangli memiliki 3 *Feeder*, yaitu *Feeder Kota*, *Feeder Kayubihi* dan *Feeder Tembuku*. Penyulang ini memiliki 137 trafo dengan total daya 15.255 kVA dan beban puncak penyulang sebesar 5,3 MVA [1]. Suplai daya utama penyulang Bangli didapatkan dari GI Gianyar. Saat ini sudah

terhubung pembangkit listrik tenaga surya yang langsung terinterkoneksi pada penyulang Bangli yang tepatnya diinterkoneksi pada *Feeder Kayubihi*. Dengan adanya PLTS yang terhubung pada *Feeder Kayubihi*, maka akan berakibat pada berubahnya performa penyulang Bangli. Perubahan performa ini menyangkut susut energi dan keandalan sistem penyulang Bangli tersebut.

Pada analisis ini akan dibahas bagaimana susut energi dan keandalan penyulang Bangli setelah beroperasinya PLTS pada jaringan tersebut. Penyelesaian ini menggunakan *software ETAP power station 7.5* serta perhitungan manual yang menunjang analisis ini.

## 2. SUSUT ENERGI

Susut energi merupakan selisih antara jumlah energi yang masuk (*input*) dan jumlah energi yang tersalurkan (*output*) pada suatu sistem tenaga listrik. Dalam perhitungan susut energi dibutuhkan beberapa parameter, yaitu [2]:

### 1. Susut Daya

Susut daya merupakan daya tahanan yang hilang pada penghantar dalam suatu sistem tenaga listrik. Persamaan susut daya dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\text{Susut daya} = I^2 \times R \dots \dots \dots (1)$$

dengan,

$I$  = arus beban (A)

$R$  = tahanan penghantar ( $\Omega$ )

2. Faktor Beban

Faktor beban merupakan perbandingan beban rata-rata dan beban puncak dalam satu periode waktu tertentu. Dalam menentukan faktor beban terlebih dahulu dicari beban rata-rata. Beban rata-rata merupakan energi yang terpakai dalam satu periode waktu (1 hari). Persamaan untuk menghitung beban rata-rata:

$$Br = \frac{kWh \text{ yang terpakai selama 1 hari}}{24} \dots\dots\dots(2)$$

Setelah didapatkan beban rata-rata maka persamaan untuk menghitung faktor beban adalah:

$$F_{LD} = \frac{\text{Beban rata-rata}}{\text{Beban puncak}} \dots\dots\dots(3)$$

3. Loss Factor

Loss factor ( $F_{LS}$ ) dihitung setelah mendapatkan hasil dari faktor beban. Perhitungan loss factor menggunakan persamaan:

$$F_{LS} = 0.15 F_{LD} + (1 - 0.15) F_{LD}^2 \dots\dots\dots(4)$$

Setelah mendapatkan parameter di atas maka susut energi tahunan pada suatu sistem distribusi dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Susut energi} = \text{Rugi Daya pada Beban Puncak} \times \text{Loss Factor} \times 8760 \dots\dots\dots(5)$$

dengan, 8760 merupakan jumlah jam dalam periode satu tahun.

3. KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI

Keandalan sistem distribusi tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem distribusi dalam menghasilkan hasil sistem yang lebih baik. Dalam menentukan keandalan ada indeks keandalan yang harus diperhatikan. Indeks keandalan ini meliputi tingkat kegagalan  $\lambda$  (kegagalan/tahun), waktu kegagalan r (jam/kegagalan) dan rata-rata ketidaktersediaan tahunan (jam/tahun). Indeks keandalan ini dapat dihitung dengan persamaan [3]:

1. Sistem Seri

Perhitungan sistem seri digunakan jika suatu sistem hanya memiliki satu sumber tenaga listrik. Persamaan sistem seri adalah sebagai berikut:

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 \dots\dots\dots(6)$$

$$r_s = \frac{\lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2 + \lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \dots\dots\dots(7)$$

2. Sistem Paralel

Perhitungan sistem paralel digunakan jika suatu sistem memiliki lebih dari satu sumber tenaga listrik. Persamaan sistem seri adalah sebagai berikut:

$$\lambda_p = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)}{1 + \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2} \dots\dots\dots(8)$$

$$r_p = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \dots\dots\dots(9)$$

Indeks keandalan di atas akan digunakan untuk menghitung nilai SAIFI dan SAIDI. Persamaan SAIFI dan SAIDI adalah sebagai berikut [4]:

1. System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)

$$SAIFI = \frac{\text{total number of costumer intteruptions}}{\text{total number of costumers served}} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \dots\dots\dots(10)$$

2. System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

$$SAIDI = \frac{\text{sum of costumer interruption duration}}{\text{total number of costumers}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \dots\dots\dots(11)$$

4. METODOLOGI PENELITIAN

Metode kepustakaan digunakan dalam analisis penelitian dengan menganalisis teori yang ada dari jurnal, buku dan makalah. Alur analisis pada penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data-data untuk analisis aliran daya menggunakan software ETAP. Data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah *single line diagram* penyulang Bangli, data beban penyulang, data transformator, data jenis dan panjang penghantar, serta data pelanggan
2. Melakukan analisis aliran daya dengan menjalankan *load flow simulation* pada software ETAP. Pertama-tama membuat *single line diagram* penyulang Bangli dengan 2 kondisi yaitu, tanpa PLTS dan dengan PLTS, serta menginputkan parameter-parameter yang diperlukan untuk memperoleh hasil susut daya pada 2 kondisi tersebut. Pada analisis susut daya ini digunakan beban trafo pada siang hari dikarenakan PLTS hanya mampu bekerja pada siang hari. Data yang digunakan adalah data pada jam 12.00 karena pada jam ini PLTS menghasilkan daya maksimum. Data trafo pada siang hari didapatkan dengan

mengasumsikan bahwa pola beban penyulang sama dengan pola beban trafo.

3. Setelah mendapatkan nilai susut daya penyulang Bangli tanpa dan dengan PLTS maka dapat dihitung susut energi pada 2 kondisi tersebut dengan. Langkah awal untuk menghitung susut energi dilakukan perhitungan terhadap *load factor* dan *loss factor* setelah itu hasil tersebut digunakan untuk menghitung susut energi pada penyulang Bangli.
4. Perhitungan keandalan penyulang Bangli tanpa dan dengan PLTS menggunakan persamaan sesuai yang ada pada tinjauan pustaka.

## 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

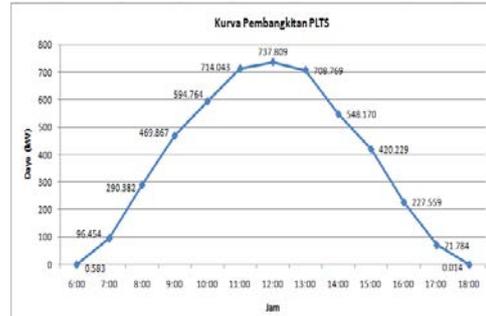
Jaringan penyulang Bangli merupakan jaringan sistem distribusi 20 KV dengan sistem distribusi tipe radial. Kapasitas daya 15.255 kVA dengan beban puncak 5,3 MVA. Penyulang Bangli mendapatkan suplai daya utama dari GI Gianyar trafo 2 dengan kapasitas daya sebesar 30 MVA. Penyulang ini mensuplai energi ke konsumen di kota Bangli dengan pelanggan mencapai 20.700 pelanggan.

### 5.1 Data Pembangkitan PLTS

Data pembangkitan PLTS yang digunakan adalah data pada bulan Juni 2014 karena data pada bulan Juni 2014 merupakan data pembangkitan terlengkap yang tercatat oleh pihak PLN. Berikut ini merupakan data yang dihasilkan PLTS selama sebulan yang telah dirata-ratakan:

Tabel 1. Daya rata-rata pembangkitan PLTS

Jam	Rata-Rata (kW)
6:00	0,583
7:00	96,454
8:00	290,382
9:00	469,867
10:00	594,764
11:00	714,043
12:00	737,809
13:00	708,769
14:00	548,170
15:00	420,229
16:00	227,559
17:00	71,784
18:00	0,014



Gambar 1. Kurva pembangkitan PLTS Bangli Juni 2014

Berdasarkan kurva pembangkitan di atas dapat dilihat bahwa daya tertinggi yang dapat dibangkitkan PLTS adalah 737,809 kW yang jatuh pada jam 12.00. Data inilah yang nantinya akan digunakan dalam melakukan *load flow simulation* pada software ETAP.

### 5.2 Susut Daya Penyulang Bangli Tanpa PLTS dan Dengan PLTS

Simulasi aliran daya penyulang Bangli dilakukan pada software ETAP. Simulasi ini dibuat dalam 2 kondisi, yaitu penyulang Bangli tanpa PLTS dan Penyulang Bangli dengan PLTS. *Load flow simulation* pada software ETAP dijalankan untuk mendapatkan nilai susut daya pada kedua kondisi tersebut.

Dengan *load flow simulation* yang dilakukan didapatkan hasil susut daya penyulang Bangli tanpa PLTS sebesar 58,3 kW dan susut daya penyulang Bangli dengan PLTS sebesar 40 kW. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa dengan beroperasinya PLTS pada penyulang Bangli terjadi penurunan nilai susut daya.

### 5.3 Load Factor Penyulang Bangli

Penyulang Bangli memiliki beban rata-rata 2247,72 kVA dan memiliki beban puncak siang sebesar 2393,17 kVA. Beban puncak siang penyulang digunakan karena PLTS tidak bekerja selama 24 jam. Maka untuk mendapatkan *load factor* digunakan Persamaan 3, yaitu:

$$F_{LD} = \frac{B_r (\text{beban rata rata})}{B_p (\text{beban puncak})}$$

$$F_{LD} = \frac{2247,72}{2393,17} = 0,94$$

### 5.4 Loss Factor Penyulang Bangli

Setelah mendapatkan hasil *load factor* maka selanjutnya dapat dihitung *loss factor* pada penyulang Bangli dengan menggunakan Persamaan 4, yaitu:

$$F_{LS} = 0,15 F_{LD} + (1 - 0,15) F_{LD}^2$$

$$F_{LS} = (0,15 \times 0,94) + (1 - 0,15) (0,94)^2$$

$$= 0,892$$

### 5.5 Susut Energi Penyulang Bangli

Hasil susut daya tanpa dan dengan PLTS Kayubih pada penyulang Bangli digunakan untuk menghitung susut energi pada 2 kondisi tersebut selama setahun dengan menggunakan Persamaan 5, yaitu:

1. Susut energi penyulang Bangli tanpa PLTS

$$\begin{aligned} \text{Susut energi} &= \text{Rugi Daya pada Beban} \\ &\quad \text{Puncak} \times \text{Loss Factor} \times \\ &\quad 8760 \\ &= 58,3 \times 0,892 \times 8760 \\ &= 455.551,536 \text{ kWh} \end{aligned}$$

2. Susut energi penyulang Bangli dengan PLTS

$$\begin{aligned} \text{Susut energi} &= \text{Rugi Daya pada Beban} \\ &\quad \text{Puncak} \times \text{Loss Factor} \times \\ &\quad 8760 \\ &= 40 \times 0,892 \times 8760 \\ &= 312.556,8 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas dapat dilihat bahwa penyulang Bangli tanpa PLTS menghasilkan susut energi sebesar 455.551,536 kW dan penyulang Bangli dengan PLTS menghasilkan susut energi sebesar 312.556,8 kWh. Terjadi penurunan susut energi ini dikarenakan adanya bantuan daya dari PLTS sehingga proses penyaluran daya pada penyulang semakin baik dan menyebabkan susut energi pada jaringan tersebut menurun.

### 5.6 Selisih Susut Energi Penyulang Bangli

Berikut ini merupakan selisih susut energi penyulang bangli tanpa PLTS dan dengan PLTS:

$$\begin{aligned} \text{Selisih susut energi} &= \text{Susut Energi Tanpa} \\ &\quad \text{PLTS} - \text{Susut Energi} \\ &\quad \text{Dengan PLTS} \\ &= 455.551,536 \text{ kWh} - \\ &\quad 312.556,8 \text{ kWh} \\ &= 142.994,736 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase penurunan susut energi} &= (\text{selisih susut energi} : \text{susut energi tanpa} \\ &\quad \text{PLTS}) \times 100\% \\ &= (142.994,736 : 455.551,536) \times 100\% \\ &= 31,4\% \end{aligned}$$

Dengan tarif listrik rata-rata Bali adalah Rp 1.389,29 [1], maka susut energi dalam rupiah adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Susut energi (rupiah)} &= \text{Susut energi} \times \text{rata-} \\ &\quad \text{rata tarif dasar listrik} \\ &= 142.994,736 \text{ kWh} \times \\ &\quad 1.389,29 \text{ rupiah} \\ &= \text{Rp. } 198.661.156,8 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, selisih susut energi yang terjadi sebesar 142.994,736 kWh dengan penurunan susut energi sebesar 31,4% dan selisih susut energi dalam rupiah sebesar Rp. 198.661.156,8. Dilihat dari hasil selisih susut energi di atas dengan adanya PLTS sangat berdampak baik pada penyulang Bangli.

### 5.7 Indeks Keandalan Penyulang Bangli

Dalam menghitung keandalan dibutuhkan data-data seperti, data jumlah pelanggan data panjang saluran yang didapatkan dari pihak PLN, serta untuk data waktu perbaikan dan perkiraan angka keluaran komponen sistem distribusi mengacu pada SPLN.

Dengan menggunakan Persamaan 6, 7,8,9,10,11, maka didapatkan hasil keandalan penyulang Bangli tanpa PLTS 4,4861 kali per tahun untuk SAIFI dan 13,9225 jam per tahun untuk SAIDI, serta keandalan penyulang Bangli dengan PLTS 3,938kali per tahun dan 11,7963 jam per tahun.

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa tingkat keandalan menjadi semakin baik setelah terhubungnya PLTS pada penyulang Bangli dengan asumsi PLTS bekerja selama 24 jam. Hal ini dikarenakan sistem penyulang Bangli yang seri menjadi sistem paralel setelah dipasangnya PLTS pada sistem penyulang Bangli. Sesuai dengan perhitungan sistem paralel terdapat faktor pengali dan pembagi rata-rata waktu perbaikan (r) terhadap laju kegagalan ( $\lambda$ ), sedangkan pada sistem seri laju kegagalan ( $\lambda$ ) hanya dijumlahkan saja. Berdasarkan persamaan 6 dan 8 nilai  $\lambda$  seri akan lebih besar daripada  $\lambda$  paralel, sehingga nilai tingkat keandalan sistem paralel (dengan PLTS) akan lebih baik daripada nilai tingkat keandalan pada sistem seri.

## 6. SIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dari pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan, dengan adanya PLTS pada penyulang Bangli terjadi penurunan susut energi sebesar 31,4% dan juga terjadi perbaikan tegangan pada semua bus penyulang Bangli terutama pada bus 66. Keandalan penyulang Bangli tanpa PLTS menghasilkan nilai SAIFI sebesar 9 kali per 2

tahun dan nilai SAIDI sebesar 13,9225 jam per tahun. Keandalan penyulang Bangli dengan PLTS menjadi 4 kali per tahun dan nilai SAIDI sebesar 11,7963 jam per tahun. Dapat dikatakan dengan adanya PLTS pada penyulang Bangli terjadi penurunan susut energi, perbaikan tegangan pada tiap bus serta membuat tingkat keandalan penyulang Bangli menjadi lebih baik.

## **6.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diasumsikan bahwa PLTS hidup sepanjang hari dan mampu menyuplai beban penyulang jika sumber padam. Perlu dikembangkan suatu metode perhitungan untuk menghitung indeks keandalan tanpa menggunakan asumsi sehingga hasilnya lebih riil.

## **7. DAFTAR PUSTAKA**

- [1] PT. PLN (Persero) Distribusi Area Bali Timur.
- [2] Daniel, Rohi. 2008, Aplikasi Pendekatan Aliran Daya untuk Estimasi Rugi Rugi Energi Sistem Distribusi Radial 20 kV. Jurnal EECCIS Vol.2, No.1.
- [3] Riyanto, Bambang dan Suheta, Titiek. 2009. Studi Perhitungan Nilai Keandalan Tegangan 150 kV dan 70 kV di Gardu Induk Sekar putih. Jurnal Sains dan Teknologi Universitas Hang Tuah, Pebruari 2009, Vol. 7, No. 1, ISSN 1693-0851.
- [4] Billinton, Allan and Ronald. 1996. *Reliability Evaluation of Power Systems*. 2nd ed. New York: Plenum Press.