

Analisis Rugi Daya Pada Penyulang Bangli Dengan Beroperasinya PLTS Kayubih

I. G. N. Dion Adi Putra, I. A. D. Giriantari, W. G. Ariastina

Abstrak— Analisis rugi daya pada Penyulang Bangli dilakukan untuk mengetahui perbandingan rugi daya pada jaringan distribusi setelah penempatan pembangkit tersebar jenis PLTS berkapasitas 1 MWp. Lokasi penempatan PLTS ditentukan berdasarkan analisis sensitivitas bus. Nilai sensitivitas bus()didapat dengan cara membandingkan nilai rugi daya pada sistem dengan total beban yang terhubung pada bus. Penelitian ini menggunakan simulasi aliran daya dengan metode aliran daya Newton-Raphson. Hasil penelitian menunjukkan bus TK 0041 memiliki sensitivitas terbesar dengan nilai = 0,178. Dari hasil simulasi aliran daya, penempatan PLTS 1MWp pada lokasi alternatif 1 menghasilkan rugi daya minimum pada Penyulang Bangli yaitu 103,1 kW atau 3,3% dari total suplai daya 3071 kW. Pemasangan PLTS dapat menurunkan rugi daya pada Penyulang Bangli sebesar 57 kW dari total rugi daya pada kondisi tanpa PLTS yaitu 160,1 kW. Bila dibandingkan dengan kondisi eksisting, penempatan PLTS pada lokasi alternatif 1 memiliki selisih rugi daya 7,3 kW lebih kecil dari total rugi daya yang dihasilkan kondisi eksisting sebesar 110,4kW.

Kata kunci— Pembangkit tersebar, rugi daya, sensitivitas bus

I. PENDAHULUAN

SALAH satu masalah utama dalam sistem pembangkit tenaga listrik di Indonesia adalah penggunaan sumber energi primer. Pada umumnya kebanyakan pembangkit listrik di Indonesia masih menggunakan sumber energi primer berupa energi tak terbarukan. Untuk itu diperlukan suatu pengembangan teknologi sistem tenaga listrik yang mengutamakan penggunaan energi terbarukan. Distributed Generation atau pembangkitan tersebar merupakan salah satu jenis pembangkit listrik skala kecil yang mengutamakan penggunaan bahan bakar berupa energi terbarukan, seperti tenaga surya.

Penyulang Bangli adalah salah satu penyulang yang bersumber dari Gardu Induk Gianyar dan memiliki fungsi untuk menyalurkan suplai tenaga listrik menuju konsumen di Kabupaten Bangli. Penyulang Bangli memiliki panjang jaringan mencapai 161,82 kms. Sistem topologi jaringan yang digunakan adalah tipe jaringan radial. Beban puncak rata-rata Penyulang Bangli pada kondisi malam hari mencapai 4,05

MW [1]. Untuk memanfaatkan potensi energi matahari di Kabupaten Bangli, Pemerintah membangun satu unit PLTS berkapasitas 1 Mwp di Desa Banglet Kecamatan KayubihBangli. PLTS ini diharapkan mampu membantu pasokan energi listrik untuk melayani konsumen di Kabupaten Bangli khususnya pada saat siang hari, karena dalam pengoprasianya PLTS hanya menghasilkan suplai tenaga listrik pada saat siang hari, hal ini dikarenakan dalam pengoprasianya unit PLTS Kayubih belum terinstal baterai untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan.

Paper ini mengusulkan opsi lain penempatan PLTS berdasarkan analisis sensitivitas bus pada penyulang Bangli. Melalui analisis sensitivitas dapat diketahui posisi bus dengan nilai sensitivitas terbesar. Penempatan PLTS pada bus yang memiliki sensitivitas terbesar akan menghasilkan rugi daya minimum. Hasil perhitungan rugi daya ini akan dibandingkan dengan rugi daya pada kondisi eksisting maupun kondisi tanpa PLTS.

II. DISTRIBUTED GENERATION VIDEO

Definisi Distributed Generation berdasarkan Keputusan Menteri ESDM nomor 1122K/30/MEM/ 2002 adalah pembangkit tenaga listrik skala kecil tersebar adalah pembangkit tenaga listrik milik usaha kecil yang menggunakan energi terbarukan dengan jumlah daya terpasang pada pusat pembangkit maksimal 1 MW. Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari energi angin, matahari, mikrohydro, sampah atau buangan hasil pertanian, biodiesel, biogas dan sebagainya[2]. Di sisi lain Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), mendefinisikan Distributed Generation sebagai pembangkitan energi listrik yang dilakukan oleh peralatan yang lebih kecil dari pembangkit listrik pusat sehingga memungkinkan terjadi interkoneksi di semua titik pada sistem tenaga listrik dengan kapasitas dibawah 10 MW [3]

Distributed Generation (DG) atau yang dikenal dengan pembangkitan skala kecil tersebar merupakan pemasangan unit pembangkit pada jaringan distribusi. Pembangkitan skala kecil tersebar dapat mereduksi kebutuhan jaringan dalam skala besar walaupun terjadi perubahan pada jaringan sistem tenaga listrik. Teknologi DG sangat diperlukan di sisi jaringan distribusi karena sistem tersebut dapat mengurangi rugi daya pada sistem dan memperbaiki kualitas tegangan untuk terciptanya kehandalan sistem tenaga listrik. Penggunaan DG dapat juga memperbaiki efisiensi, sehingga dapat

I. G. N. Dion Adi Putra adalah dengan Program Pasca Teknik Elektro Universitas Udayana, Denpasar, Bali (e-mail: dion_adiputra17@yahoo.co.id).

I. A. D. Giriantari adalah dengan Program Pasca Teknik Elektro Universitas Udayana, Denpasar, Bali (e-mail: dayu.giriantari@unud.ac.id).

W. G. Ariastina adalah dengan Program Pasca Teknik Elektro Universitas Udayana, Denpasar, Bali (e-mail: w.ariastina@unud.ac.id).

mempengaruhi performa dari pusat tenaga listrik [4].

A. Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya pada saluran sistem tenaga listrik dapat ditentukan dengan persamaan aliran daya kompleks untuk mengetahui besar rugi daya pada saluran seperti berikut.

$$P_{pq} + jQ_{pq} = V_p I_{pq}^* \tag{1}$$

Arus yang mengalir pada bus kirim (p) dari suatu saluran p ke q adalah :

$$I_{pq} = (V_p - V_q)Y_{pq} + V_p \frac{y'_{pq}}{2} \tag{2}$$

Jadi daya yang mengalir dari bus q ke bus p adalah

$$S_{qp} = P_{qp} + j Q_{qp} = V_q I_{qp} \tag{3}$$

Dari persamaan-persamaan tersebut dapat diketahui untuk rugi daya pada saluran p - q (SL_{pq}) menjadi :

$$SL_{pq} = S_{pq} + S_{qp} \tag{4}$$

B. Sensitivitas Bus

Sensitivitas adalah perbandingan antara perubahan nilai pada variabel bebas terhadap perubahan pada variabel tak bebas. Analisis sensitivitas pada sistem tenaga listrik meliputi penentuan variabel tegangan dan variabel rugi daya. Untuk mengetahui sensitivitas suatu bus dalam variabel rugi daya, dapat dihitung dengan cara membandingkan nilai rugi daya pada sistem dengan total beban yang terhubung pada bus. Penempatan DG pada bus dengan sensitivitas tinggi dapat secara signifikan menurunkan rugi daya pada sistem tenaga listrik [5]. Pada penelitian ini nilai sensitivitas bus didapat dengan menggunakan persamaan :

$$bus\ p = \frac{\Delta L}{\Delta P_p} \tag{5}$$

dimana :

= sensitivitas

L = peningkatan rugi daya penyulang (kW)

P_p = peningkatan beban bus p (kW)

Nilai L adalah nilai rugi daya aktif pada sistem yang didapat melalui persamaan :

$$PL_{pq} = (P_{pq} + P_{qp}) \tag{6}$$

dimana :

m = jumlah saluran

Nilai P_p adalah nilai peningkatan total beban pada setiap bus. P_p ditentukan dengan memvariasikan pembebanan pada bus p dari beban minimum sampai dengan beban maksimum.

III. METODELOGI PENELITIAN

Adapun tahapan analisis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

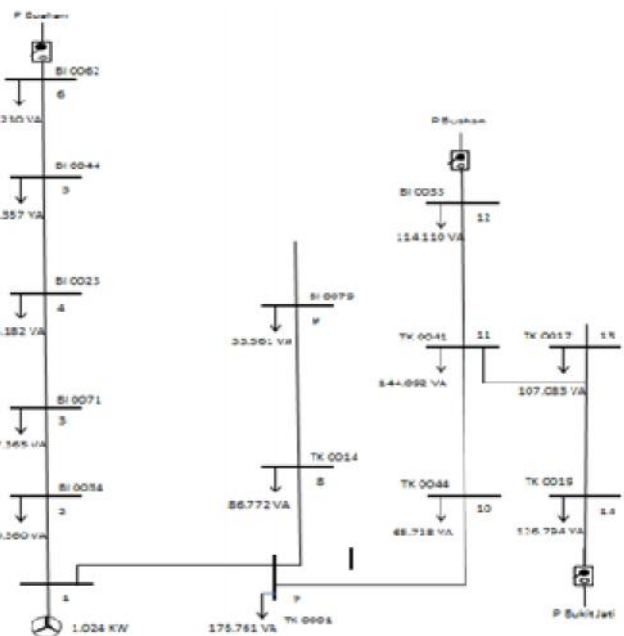
1. Pengumpulan data : single line diagram, data hasil survei alternatif lokasi, data beban puncak siang, dan data beban setiap trafo distribusi pada Penyulang Bangli.

2. Melakukan simulasi jaringan distribusi Penyulang Bangli pada program simulasi aliran daya dan melakukan studi aliran daya untuk mengetahui nilai rugi daya penyulang bangli tanpa PLTS dan kondisi eksisting.
3. Clustering pengelompokan beban pada jaringan distribusi Penyulang Bangli. Clustering bertujuan untuk memperkecil daerah kerja pada saat melakukan penelitian. Jaringan hanya mencakup wilayah Feeder Kayubihi dan Feeder Tembuku.
4. Menghitung nilai sensitivitas pada setiap bus pada jaringan distribusi baru Penyulang Bangli dan menentukan lima 5 bus dengan nilai sensitivitas terbesar.
5. Studi aliran daya apabila PLTS 1 MWp di tempatkan pada 5 alternatif lokasi yang didapat dari hasil analisis sensitivitas bus. Langkah ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan rugi daya dan tegangan bus minimum yang dihasilkan dari masing-masing penempatan PLTS pada 5 alternatif lokasi.
6. Membandingkan parameterrugi daya dan tegangan bus pada kelima alternatif lokasi, kondisi eksisting, maupun kondisi jaringan tanpa PLTS.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Clustering Jaringan Distribusi Penyulang Bangli

Setelah memperoleh data lokasi lahan yang memenuhi syarat, maka akan dilakukan proses clustering jaringan distribusi Penyulang Bangli. Pada proses pengelompokan beban hanya terdapat 13 bus pada jaringan induk penyulang (main feeder). Posisi bus diletakan sesuai dengan lokasi dari 13 lahan yang memenuhi syarat. Jaringan ini hanya mencakup wilayah feeder Kayubihi dan feeder Tembuku. Proses clustering jaringan distribusi Penyulang Bangli ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Clustering Jaringan Distribusi Penyulang Bangli

Dalam proses clustering jaringan, total beban dikelompokkan pada 13 bus. Data beban yang digunakan adalah data beban puncak siang hari Penyulang Bangli. Berikut data pembebanan pada 13 bus pada jaringan Penyulang Bangli

TABEL I
DATA PEMBEBANAN BUS

Karakteristik Bus			
No	Kode Bus	S (kVA)	P (kW)
1	TK 0041	144	129
2	TK0019	128	114
3	TK0017	107	96
4	BI 0033	114	102
5	BI 0079	33	30
6	TK 0044	66	59
7	TK 0014	87	78
8	BI 0062	29	26
9	BI 0044	66	57
10	TK 0001	176	159
11	BI 0023	35	31
12	BI 0071	77	69
13	BI 0034	150	135

B. Perhitungan Nilai Sensitivitas Bus

Berdasarkan Persamaan (5,6,7) maka nilai sensitivitas pada setiap bus dapat dihitung dengan menggunakan grafik perbandingan L (rugi daya pada Penyulang Bangli) dan P_p (peningkatan beban pada bus p). Hasil perhitungan nilai sensitivitas (ρ) pada setiap bus dapat dilihat pada Tabel II.

TABEL II
NILAI SENSITIVITAS PADA 13 BUS

No	Kode Bus	Sensitivitas (ρ)	Lokasi PLTS
1	TK 0041	0,1780	Lokasi Alternatif 1
2	TK0019	0,1733	Lokasi Alternatif 2
3	TK0017	0,1684	Lokasi Alternatif 3
4	BI 0033	0,1671	Lokasi Alternatif 4
5	BI 0079	0,1359	Lokasi Alternatif 5
6	TK 0044	0,1017	-
7	TK 0014	0,0917	-
8	BI 0062	0,0889	-
9	BI 0044	0,0835	-
10	TK 0001	0,0667	-
11	BI 0023	0,0572	-
12	BI 0071	0,0444	-
13	BI 0034	0,0127	-

Pada Tabel II dapat dilihat nilai dari 13 bus hasil clustering, yang telah diurut dari nilai terbesar sampai terkecil. Lima bus dengan nilai sensitivitas terbesar akan dijadikan lima lokasi alternatif penempatan PLTS 1 MWp pada Penyulang Bangli.

C. Kriteria Penunjang Penempatan PLTS Bangli

Setelah mendapatkan lima lokasi alternatif penempatan PLTS Bangli melalui perhitungan sensitivitas bus, maka akan

dilakukan kajian atau penilaian kelayakan pada setiap lokasi alternatif. Terdapat empat kriteria penunjang penempatan PLTS beserta pembobotannya seperti: rugi daya 40%, jenis dan peruntukan lahan 30%, tegangan bus minimum 20%, dan akses jaringan pada lokasi alternatif penempatan PLTS 10%.

Rugi daya

Dari hasil simulasi aliran daya, dapat diketahui nilai rugi daya pada setiap lokasi alternatif setelah penempatan PLTS 1 MWp. Semakin kecil rugi daya yang dihasilkan, maka semakin besar nilai yang diberikan pada lokasi tersebut. Berikut adalah tabel skor rugi daya beserta penilaian yang diberikan.

TABEL III
BUS PENILAIAN ALTERNATIF LOKASI PLTS DARI SISI RUGI DAYA

Kategori	Rugi Daya P_L (kW)	Skor
1	$P_L < 103,5$	100
2	$103,5 \leq P_L < 105$	75
3	$105 \leq P_L < 106,5$	50
4	$106,5 \leq P_L < 108$	25
5	$P_L \geq 108$	5

Reting rugi daya pada Tabel III berada pada nilai 103,5 kW sampai 108 kW, hal ini dikarenakan penempatan PLTS 1 MWp di masing-masing alternatif lokasi menghasilkan besar rugi daya pada sistem diantara nilai 103 kW sampai 109 kW. Jadi semakin kecil rugi daya yang dihasilkan pada lokasi alternatif, maka semakin besar skor yang diberikan untuk lokasi tersebut.

Jenis dan Peruntukan Lahan

Dari hasil survei lokasi didapat data jenis lahan yang akan dijadikan alternatif lokasi penempatan PLTS, yaitu jenis lahan persawahan, perkebunan dan ladang. Penilaian lahan akan mempertimbangkan aspek peruntukan lahan, dalam hal ini lahan persawahan dianggap memiliki produktivitas dan yang lebih besar dibandingkan lahan jenis ladang. Lahan persawahan menjadi sumber lahan utama untuk menghasilkan padi, sedangkan tegalan menjadi lahan sampingan yang menghasilkan buah-buahan dan bahan pangan penunjang. Berikut adalah tabel jenis lahan alternatif lokasi penempatan PLTS.

TABEL IV
PENILAIAN ALTERNATIF LOKASI PLTS DARI SISI JENIS DAN PERUNTUKAN LAHAN

Kategori	Jenis Lahan	Skor
1	Lahan Kosong	100
2	Ladang / tegalan	80
3	Perkebunan	70
4	Persawahan	60

Pada Tabel IV dapat dilihat perbandingan skor pada setiap jenis lahan lokasi alternatif. Semakin besar peruntukan suatu lahan maka semakin kecil skor yang diberikan. Dari survei lokasi pada lima alternatif lokasi, hanya terdapat jenis lahan

persawahan dan ladang. Mengingat jumlah sawah yang terbatas di Kabupaten Bangli, maka sawah dianggap memiliki produktifitas yang lebih besar dibanding ladang, sehingga lahan jenis sawah memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan ladang.

Tegangan Bus Minimum

Selain dapat menurunkan rugi daya pada sistem, pemasangan PLTS juga dapat meningkatkan profil tegangan disisi jaringan distribusi primer. Tegangan bus minimum biasanya berada pada bus yang paling jauh dari pembangkitan / di ujung akhir jaringan. Dari 5 alternatif lokasi penempatan PLTS akan diberikan penilaian sesuai dengan tegangan bus minimum yang dihasilkan. Semakin kecil tegangan pada bus, maka semakin kecil pula penilaian yang diberikan pada setiap lokasi alternatif. Berikut adalah tabel pemberian nilai lokasi alternatif berdasarkan tegangan bus minimum yang dihasilkan.

TABEL V
PENILAIAN ALTERNATIF LOKASI PLTS DARI SISI TEGANGAN BUS MINIMUM

Kategori	Tegangan Bus minimum $V_{Min}(kV)$	Skor
1	$V_{Min} < 19.240$	5
2	$19.240 < V_{min} < 19.290$	25
3	$19.290 < V_{min} < 19.340$	50
4	$19.340 < V_{min} < 19.390$	75
5	$19.390 < V_{Min}$	100

Pada Tabel V dapat dilihat perbandingan rating tegangan bus dan skor yang diberikan. Dari proses simulasi penempatan PLTS pada 5 alternatif lokasi, dapat diketahui nilai tegangan bus minimum. Sesuai dengan SPLN tegangan bus pada jaringan distribusi harus berkisaran +/- 5% dari tegangan kerja (20kV). Berdasarkan data tersebut maka rating penilaian dibuat berkisar antara 19.240 sampai 19.390 Jadi semakin kecil tegangan bus maka skor akan semakin kecil.

Akses Jaringan Distribusi

Akses masuk jaringan distribusi juga menjadi pertimbangan dalam penentuan lokasi penempatan PLTS. Hal ini mempertimbangkan aspek ekonomi agar tidak adanya penambahan jaringan distribusi baru menuju lokasi alternatif penempatan PLTS. Penilaian lokasi berdasarkan jarak lokasi alternatif dengan jaringan distribusi. Reting Penilaian lokasi alternatif berdasarkan jarak lokasi dengan jaringan distribusi akan ditampilkan pada Tabel VI.

TABEL VI
PENILAIAN LOKASI ALTERNATIF LOKASI PLTS DARI SISI AKSES JARINGAN DISTRIBUSI

Kategori	Jarak (m)	Skor
1	Jarak < 5	100
2	5 Jarak < 10	75
3	10 Jarak < 15	50
4	20 jarak	25

Pada Tabel VI dapat dilihat perbandingan antara jarak

jaringan distribusi terhadap lahan penempatan PLTS. Dari hasil survei, pada kelima lokasi alternatif penempatan PLTS memiliki akses jaringan distribusi yang cukup strategis, maka dari itu rating penilaian akses jaringan distribusi diplot berada pada jarak 5 sampai 20 meter. Jadi semakin dekat jarak antara alternatif lokasi dengan jaringan distribusi maka semakin besar nilai yang diberikan pada lokasi tersebut.

1) Penempatan PLTS pada Lokasi Alternatif 1

Simulasi aliran daya penempatan PLTS 1MWp pada lokasi alternatif 1, memberikan hasil aliran daya seperti yang ditampilkan pada Tabel VII.

TABEL VII
HASIL SIMULASI ALIRAN DAYA PENEMPATAN PLTS PADA LOKASI ALTERNATIF 1

Uraian	Nilai	Keterangan
Rugi Daya	103,1 kW	3,3% dari suplai
Jenis Lahan	Ladang	Kurang produktif
Tegangan min	19.343 kV	96,7%
Akses Jardis	2 meter	Kategori 1

Penempatan PLTS 1 MWp pada lokasi alternatif 1 menghasilkan rugi daya pada sistem sebesar 103,1 kW dengan tegangan bus minimum 19.343kV. Lokasi ini terletak di lingkungan Dusun / Banjar Metra Kecamatan Tembuku Bangli.

2) Penempatan PLTS pada Lokasi Alternatif 2

Simulasi aliran daya penempatan PLTS 1MWp pada lokasi alternatif 2, memberikan hasil aliran daya seperti yang ditampilkan pada Tabel VIII.

Penempatan PLTS 1 MWp pada lokasi alternatif 2 menghasilkan rugi daya pada sistem sebesar 104,5 kW dengan tegangan bus minimum 19.393kV. Lokasi ini terletak di lingkungan Dusun / Banjar Kaler Desa Bangbang Kecamatan Tembuku Bangli.

Tabel VIII
HASIL SIMULASI ALIRAN DAYA PENEMPATAN PLTS PADA LOKASI ALTERNATIF 2

Uraian	Nilai	Keterangan
Rugi Daya	104,5 kW	3,4 % dari suplai
Jenis Lahan	Persawahan	Produktif
Tegangan min	19.393 kV	96,9 %
Akses Jardis	2 meter	Kategori 1

3) Penempatan PLTS pada Lokasi Alternatif 3

Simulasi aliran daya penempatan PLTS 1MWp pada lokasi alternatif 3, memberikan hasil aliran daya seperti yang ditampilkan pada Tabel IX

Penempatan PLTS 1 MWp pada lokasi alternatif 3 menghasilkan rugi daya pada sistem sebesar 105,1kW dengan tegangan bus minimum 19.393kV. Lokasi ini terletak di lingkungan Dusun/Banjar Bangkiang Sidem Kecamatan Tembuku Bangli.

Tabel IX
HASIL SIMULASI ALIRAN DAYA PENEMPATAN PLTS PADA LOKASI ALTERNATIF 3

Uraian	Nilai	Keterangan
Rugi Daya	105,1 kW	3,8 % dari suplai
Jenis Lahan	Persawahan	Produktif
Tegangan min	19.393 kV	96,9%
Akses Jardis	2 meter	Kategori 1

4) *Penempatan PLTS pada Lokasi Alternatif 4*

Simulasi aliran daya penempatan PLTS 1MWp pada lokasi alternatif 4, memberikan hasil aliran daya seperti yang ditampilkan pada Tabel X.

Penempatan PLTS 1 MWp pada lokasi alternatif 4 menghasilkan rugi daya pada sistem sebesar 106,4kW dengan tegangan bus minimum 19.383kV. Lokasi ini terletak di lingkungan Dusun/Banjar Penaga Kecamatan Tembuku Bangli.

Tabel X
HASIL SIMULASI ALIRAN DAYA PENEMPATAN PLTS PADA LOKASI ALTERNATIF 4

Uraian	Nilai	Keterangan
Rugi Daya	106,4 kW	3,48 % dari suplai
Jenis Lahan	Ladang	Kurang Produktif
Tegangan min	19.383 kV	96,8%
Akses Jardis	8 meter	Kategori 2

5) *Penempatan PLTS pada Lokasi Alternatif 5*

Simulasi aliran daya penempatan PLTS 1MWp pada lokasi alternatif 5, memberikan hasil aliran daya seperti yang ditampilkan pada Tabel XI

Penempatan PLTS 1 MWp pada lokasi alternatif 5 menghasilkan rugi daya pada sistem sebesar 109 kW dengan tegangan bus minimum 19.305 kV. Lokasi ini terletak di lingkungan Dusun / Banjar Landih Selatan Kecamatan Tembuku Bangli.

TABEL XI
HASIL SIMULASI ALIRAN DAYA PENEMPATAN PLTS PADA LOKASI ALTERNATIF 5

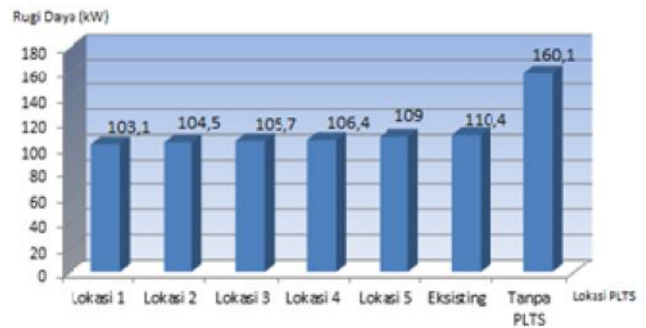
Uraian	Nilai	Keterangan
Rugi Daya	109 kW	3,55% dari suplai
Jenis Lahan	Ladang	Produktif
Tegangan min	19.305 kV	96,52%
Akses Jardis	2 meter	Kategori 1

D. *Perbandingan Rugi Daya pada Setiap Alternatif Lokasi*

Untuk melihat perbandingan rugi daya yang dihasilkan dari penempatan PLTS pada setiap lokasi alternatif, kondisi eksisting maupun kondisi tanpa PLTS, maka perbandingan nilai rugi daya dapat dilihat dalam bentuk grafik pada Gambar 3.

Berdasarkan data grafik pada gambar 3 dapat dilihat perbandingan rugi daya pada setiap alternatif lokasi. Lokasi alternatif 1 menghasilkan rugi daya 103,1 kW. Lokasi alternatif 2 menghasilkan rugi daya 104,5kW Penempatan PLTS pada Lokasi alternatif 3 menghasilkan rugi daya

105,7kW dan Lokasi alternatif 4 menghasilkan rugi daya 106,4kW. Sedangkan pada Lokasi alternatif 5 menghasilkan rugi daya 109kW. lokasi terbaik penempatan PLTS berada pada Lokasi alternatif 1 dengan nilai rugi daya pada Penyulang Bangli sebesar 103,1 kW.

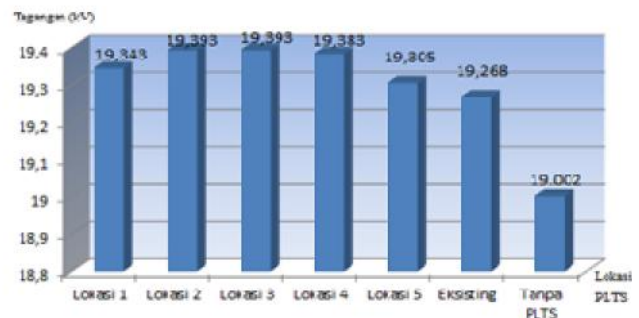


Gambar 3. Grafik Perbandingan Rugi daya

E. *Perbandingan Tegangan Bus Minimum pada Setiap Alternatif Lokasi*

Untuk melihat perbandingan tegangan bus minimum yang dihasilkan dari penempatan PLTS pada setiap lokasi alternatif, kondisi eksisting maupun kondisi tanpa PLTS, maka perbandingan nilai tegangan bus minimum ditampilkan pada Gambar 4.

Berdasarkan data grafik pada gambar 4 dapat dilihat penempatan PLTS pada lokasi alternatif 1 menghasilkan tegangan bus minimum sebesar 19,343 kV. Kemudian penempatan PLTS pada bus lokasi alternatif 2 dan 3 akan menghasilkan tegangan bus minimum yang sama yaitu 19,393 kV. Bila PLTS ditempatkan pada lokasi alternatif 4 akan menghasilkan tegangan bus minimum sebesar 19,383kV. Sedangkan penempatan PLTS pada lokasi alternatif 5 menghasilkan tegangan bus minimum sebesar 19,305 kV. Pada kondisi eksisting tegangan bus minimum sebesar 19,268 kV, sedangkan kondisi tanpa PLTS memiliki tegangan bus minimum 19,002 kV. Jadi penempatan PLTS pada lokasi alternatif 2 dan 3 akan menghasilkan tegangan bus minimum dengan nilai 19,322 kV. Pemasangan PLTS selain untuk menurunkan rugi daya juga dapat meningkatkan profil tegangan pada jaringan distribusi primer.



Gambar 4. Grafik Tegangan Bus Minimum

F. *Perbandingan Penilaian Kriteria Penunjang Penempatan PLTS*

Dari keempat kriteria penunjang penempatan PLTS Bangli

seperti : rugi daya, tegangan bus minimum, jenis dan peruntukan lahan, maupun akses jaringan distribusi pada alternatif lokasi. Berdasarkan kriteria tersebut, Masing-masing lokasi alternatif memiliki nilai lebih dan nilai kurang. Tabel XII menampilkan rangkuman hasil penilaian kelima lokasi alternatif penempatan PLTS pada jaringan distribusi Penyulang Bangli beserta penilaian akhir yang diperoleh. Tabel XII mencakup penilaian kelima lokasi alternatif penempatan PLTS pada jaringan distribusi Penyulang Bangli. Empat kriteria penilaian lokasi alternatif dengan pembobotan yang berbeda, yaitu : rugi daya 40%, jenis dan peruntukan lahan 30%, tegangan bus minimum 20% dan akses jaringan distribusi pada lokasi alternatif 10%. Berdasarkan keempat faktor penunjang penempatan PLTS maka dapat diketahui lokasi alternatif terbaik penempatan PLTS 1 MWp pada jaringan distribusi Penyulang Bangli. Lokasi alternatif terbaik adalah lokasi dengan perolehan skor terbesar yang didapat dari penilaian keempat kriteria penunjang disetiap alternatif lokasi. Gambar 5 menampilkan grafik perbandingan total skor dari lima lokasi alternatif penempatan PLTS pada Penyulang Bangli.

Pada Gambar 5 dapat dilihat lokasi alternatif 1 memiliki total skor sebesar 89, untuk lokasi alternatif 2 memiliki total skor 84. Lokasi alternatif 3 memperoleh total skor 68, untuk lokasi alternatif 4 memperoleh total skor 66,5. Lokasi alternatif 5 memperoleh total skor terkecil yaitu 46. Berdasarkan penjumlahan skor, maka lokasi alternatif 1 mempunyai total skor terbesar yaitu 89. Lokasi ini terletak di Dusun / Banjar Metre Kecamatan Tembuku Bangli, dengan luas lahan sekitar +/- 1,3 Hektar yang berjenis ladang/tegalan. Penempatan PLTS pada lokasi ini menghasilkan rugi daya minimum pada sistem yaitu 103,1 kW / 3,4% dari total suplai daya, dengan tegangan bus minimum 19.343 kV.



Gambar 5. Perolehan Nilai pada 5 Lokasi Alternatif Penempatan PLTS

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pada sub bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Rugi daya pada jaringan distribusi Penyulang Bangli sebelum terpasang PLTS 1 MWp adalah 160,1 kW, sedangkan rugi daya pada kondisi eksisting penempatan PLTS di jaringan distribusi penyulang Bangli (dekat Trafo BI 0023) adalah 110,4 kW.
2. Hasil perbandingan penilaian akhir dari lima alternatif lokasi penempatan PLTS pada Penyulang Bangli memiliki perolehan skor yang bervariasi. Lokasi alternatif 1 memiliki total skor sebesar 89 untuk lokasi alternatif 2 memiliki total skor 84. Lokasi alternatif 3 memperoleh total skor 68. Lokasi alternatif 4 memperoleh total skor 66,5. Sedangkan lokasi alternatif 5 memperoleh total skor terkecil yaitu 46. Dari hasil penilaian kelayakan lokasi PLTS, berdasarkan beberapa faktor penunjang seperti : (rugi daya, jenis dan peruntukan lahan, tegangan bus minimum, dan akses jaringan distribusi pada lokasi alternatif), maka lokasi alternatif 1 mempunyai total skor terbesar yaitu 89, dimana lokasi ini terletak di Dusun / Banjar Metre Kecamatan Tembuku Bangli.

REFERENCES

- [1] PT. PLN (Persero) Distribusi Bali – Area Bali Timur, Area Jaringan Bangli.
- [2] Keputusan Menteri ESDM Nomor 1122K/30/MEM/2002 Tentang Pedoman Pengusahaan Pembangkit Tenaga Listrik Skala Kecil Tersebar. [3] IEEE P1547-D11. 2003. Draft Standard for Distributed Resources Interconnected with Electric Power Systems.
- [4] B. Tjahjono, “Analisis Tegangan dan Losses pada Jaringan Distribusi Terhadap Pemasangan Pembangkitan Distribusi”, Jurnal Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang, Vol. 7, No.1, 2010, hal. 62-69.
- [5] N. M. Acharya, N. P. Mithulananthan, “An Analytical Approach for DG Allocation in Primary Distribution Network”, Journal Electric Power & Energy Systems, Vol.28, No.10, 2006, hal. 669-678.
- [6] E.K. Bawan, “Dampak Pemasangan Distributed Generation Terhadap Rugi – Rugi Daya”, Jurnal Ilmiah Foristek, 2 (21), 2012, hal.216-221.
- [7] S. Kansal, “Optimal Placement of Distributed Generation in Distribution Networks”, International Journal of Engineering, Science and Technology, 3(3), 2011, hal. 47-55
- [8] K. Mohmoud, “Sizing and Locating Distributed Generations for Losses Minimization and Voltage Stability Improvement”, Jurnal IEEE (PECon2010), 2010, Kuala Lumpur Malaysia.
- [9] R.P. Putra, “Analisa Penempatan Distributed Generation pada Jaringan Distribusi 20 kV”, Jurnal Teknik ITS, 1 (1), 2012, B109-B113.
- [10] W. D. Stevenson, Idris, K (Ed.), “Analisa Sistem Tenaga Listrik”, Jakarta : Penerbit Erlangga, 1996

TABEL XII
PERBANDINGAN SKOR LOKASI ALTERNATIF BERDASARKAN EMPAT KRITERIA PENUNJANG PENEMPATAN PLT

No	Lokasi PLTS	Kriteria Penilaian								Total skor
		40%		30%		20%		10%		
		Rugi Daya (kW)	skor	Jenis Lahan	skor	Tegangan Bus min (kV)	skor	Akses Jaringan distribusi (m)	skor	
1	Lokasi Alternatif 1	103,1	100	Ladang	80	19.343	75	2 meter	100	89
2	Lokasi Alternatif 2	104,5	75	Sawah	60	19.393	100	2 meter	100	84
3	Lokasi Alternatif 3	105,7	50	Sawah	60	19.393	100	2 meter	100	68
4	Lokasi Alternatif 4	106,4	50	Ladang	80	19.383	75	8 meter	75	66,5
5	Lokasi Alternatif 5	109	5	Ladang	80	19.305	50	2 meter	100	46