

ANALISIS PENGARUH INTERKONEKSI DISTRIBUTED GENERATION (PLTSA SUWUNG) TERHADAP RUGI-RUGI DAYA DAN KEANDALAN PADA PENYULANG SERANGAN

I Made Gusmara Nusaman.¹, I Wayan Sukerayasa², Rukmi Sari Hartati³

Abstract — The distributed generation technology or in this case abbreviated DG is a kind of power plants with small scale which prioritizes the utilization of renewable energy resources such as wind, water, solar, geothermal, ocean waves (Wave Energy), ocean currents (Ocean Current Energy), biomass, and biogas to produce the electrical energy with range of power generation between 1 kW-10 MW. One of the DG in Bali and still in operation is the garbage power plant which located in Suwung, South Denpasar. An analysis has been done using load flow analysis and reliability assessment to determine the effect of DG interconnection against the power losses and the level of reliability on the Serangan feeder. Based on the research that has been done, DG interconnection on the Serangan feeder decrease the power losses and increase the reliability and it can visible from the acquisition of SAIFI and SAIDI index which decreased. The best location of DG interconnection to get low of the power losses and the high level of reliability is at 97% from the total length of the feeder. At that location the power losses is decrease as big as 4.5 kW or 11.25% of the total power lossess without the DG interconnection and decrease of the SAIFI and SAIDI index respectively to 0.1 failure/customers/year and 1.4150 hour/ customer/year

Intisari — Teknologi Distributed Generation atau dalam hal ini disingkat DG merupakan jenis pembangkit listrik dengan skala kecil yang mengutamakan pemanfaatan sumber energi terbarukan seperti angin, air, matahari, panas bumi, gelombang laut (Wave Energy), arus laut (Ocean Current Energy), biomassa, dan biogas dengan daya keluaran DG antara 1 kW sampai 10 MW.

¹ Mahasiswa, Teknik Elektro dan Komputer Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung Bali. 80361, Tel. 0361703315 fax: 0361703315; e-mail: igakdiafari@yahoo.com

² Dosen Teknik Elektro dan Komputer Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung Bali. 80361, Tel. 0361703315 fax: 0361703315; e-mail: sukerayasa@unud.ac.id

³ Dosen Teknik Elektro dan Komputer Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung Bali. 80361, Tel. 0361703315 fax: 0361703315; e-mail: rshartati@unud.ac.id

.Salah satu DG yang ada di Bali dan saat ini masih beroperasi adalah Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) yang berada di daerah Suwung, Denpasar selatan. Analisis pengaruh interkoneksi DG terhadap rugi-rugi daya dan tingkat keandalan pada Penyulang Serangan menggunakan simulasi aliran daya (load flow analysis) dan reliability assessment. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil yaitu dengan interkoneksi DG pada Penyulang Serangan terjadi penurunan rugi-rugi daya dan peningkatan keandalan yang terlihat dari perolehan nilai indeks SAIFI dan SAIDI yang menurun. Lokasi interkoneksi terbaik untuk memperoleh rugi-rugi daya yang rendah dan tingkat keandalan yang tinggi adalah pada jarak 97 % dari total panjang saluran. Pada lokasi tersebut diperoleh penurunan rugi-rugi daya sebesar 4,5 kW atau 11,25 % dari total rugi-rugi daya tanpa interkoneksi DG serta penurunan indeks SAIFI dan SAIDI masing-masing menjadi 0,1 gangguan/pelanggan/tahun dan 1,4150 jam/pelanggan/tahun.

Kata Kunci: Rugi-Rugi Daya, Keandalan, Load Flow , Analysis, Reliability Assessment

I. PENDAHULUAN

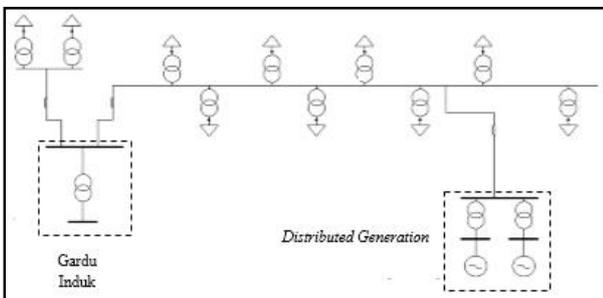
Teknologi *Distributed Generation* atau DG merupakan pengembangan teknologi sistem tenaga listrik dengan skala kecil yang mengutamakan pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan (*Renewable Energy*) yang ramah lingkungan, berkelanjutan (*sustainable*), dan ekonomis seperti angin, air, matahari, panas bumi, gelombang laut (*Wave Energy*), arus laut (*Ocean Current Energy*), biomassa, dan biogas untuk menghasilkan energi listrik dengan kisaran daya yang dihasilkan antara 1 kW-10 MW.

PLTSA Suwung merupakan sebuah pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSA) yang berlokasi di TPA Suwung dan dapat disebut sebagai sebuah DG yang sampai saat ini masih beroperasi dalam sistem distribusi tenaga listrik di Bali. Pembangunan pembangkit listrik tersebut diprakarsai oleh Pemerintah Kota Denpasar, Pemerintah Kabupaten Badung, Gianyar, dan Tabanan yang terintegrasi dalam Badan Pengelola Kebersihan SARBAGITA yang bekerjasama dengan PT. Navigat Organic Energy Indonesia (NOEI) dan PT. PLN Distribusi Bali.

Dalam penelitian ini telah dilakukan analisis pengaruh pengalihan interkoneksi DG sebagai alternatif baru untuk mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan keandalan pada salah satu penyulang. DG yang sebelumnya terinterkoneksi ke busbar 20 kV Transformator V GI Pesanggaran disimulasikan dalam kondisi terinterkoneksi ke Penyulang Serangan yang merupakan penyulang terdekat dari lokasi DG. Untuk memperoleh hasil berupa penurunan rugi-rugi daya dan peningkatan keandalan pada sistem distribusi tenaga listrik yang dianalisis, maka dibuat sebuah simulasi *Load Flow Analysis* dan *Reliability Assessment*.

II. DISTRIBUTED GENERATION (DG)

DG merupakan pembangkit skala kecil dengan kisaran daya yang dihasilkan antara 1 kW sampai dengan 10 MW. Teknologi DG sangat diperlukan di sisi jaringan distribusi karena sistem tersebut dapat mengurangi rugi-rugi daya pada sistem dan memperbaiki kualitas tegangan untuk terciptanya keandalan sistem tenaga listrik [1]. Berikut adalah contoh interkoneksi DG pada jaringan distribusi tenaga listrik.



Gambar 1. Interkoneksi DG pada Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

DG memiliki fungsi utama yaitu sebagai unit yang difungsikan untuk mengantisipasi apabila terjadi pemutusan dari suplai daya grid atau *stand by unit* dan difungsikan sebagai unit yang dipasang pada jam-jam beban puncak atau *peaking unit* [2]. Berikut penggolongan tipe DG berdasarkan range daya yang mampu dihasilkan.

Tabel 1. Tipe DG Berdasarkan Range Daya Yang Dihasilkan

Tipe DG	Range Daya
Micro DG	1 watt < 5 kW
Small DG	5 kW < 5 MW
Medium DG	5 MW < 50 MW
Large DG	< 300 MW

2.1 Analisis Aliran Daya

Load flow analysis atau analisis aliran daya merupakan sebuah analisis yang dilakukan untuk melihat kemampuan atau performa suatu sistem tenaga listrik. Tujuan dari analisis aliran daya adalah untuk mengetahui apakah jaringan atau sistem distribusi tidak mengalami *over load* dan tegangan sistem masih berada pada standar yang ditentukan. Selain itu

studi aliran daya dilakukan untuk mengetahui aliran daya aktif dan reaktif pada jaringan serta untuk mengetahui besarnya rugi-rugi daya yang terjadi selama proses pendistribusian daya [3]. Dengan matriks Y_{bus} , dapat dibuat persamaan untuk sebuah jaringan sistem tenaga listrik sebagai berikut [4]:

$$I = Y_{bus}V \dots\dots\dots (1)$$

Dimana I merupakan vektor ke N dari sumber arus yang di injeksi ke setiap bus dan V adalah vektor ke N dari tegangan bus. Persamaan arus yang mengalir pada bus k :

$$I_k = \sum_{n=1}^N Y_{kn}V_n \dots\dots\dots (2)$$

Daya kompleks pada bus k tersebut adalah:

$$S_k = p_k + jQ_k = V_k I_k^* \dots\dots\dots (3)$$

Dengan memasukkan Persamaan (2) ke Persamaan (3) akan menghasilkan:

$$P_k + jQ_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn}V_n^* \quad k = 1,2,\dots,N \dots\dots\dots (4)$$

Dengan persamaan berikut:

$$V_n = V_n^* e^{j\delta_n} \dots\dots\dots (5)$$

$$Y_{kn} = Y_{kn} e^{j\theta_{kn}} = G_{kn} + jB_{kn} \dots\dots\dots (6)$$

$$k, n = 1, 2, \dots, N$$

Maka persamaan (4) menjadi

$$P_k + jQ_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n^* e^{j(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn})} \dots\dots\dots (7)$$

Jika bagian real dan imajiner pada persamaan (4) di pisahkan dan dinyatakan dalam bentuk rektanguler maka

$$P_k = V_k \sum_{q=1}^n V_n G_{kn} \cos \delta_k - \delta_n + B_{kn} \sin \delta_k - \delta_n \quad (8)$$

$$Q_k = V_k \sum_{q=1}^n V_n G_{kn} \sin \delta_k - \delta_n - B_{kn} \cos \delta_k - \delta_n \quad (9)$$

2.2 Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Keandalan (*reliability*) didefinisikan se-bagai peluang suatu komponen atau sistem memenuhi fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu yang diberikan selama digunakan dalam kondisi beroperasi. Indeks keandalan dapat direpresentasikan menggunakan teori probabilitas dengan menggunakan pendekatan berupa rumus matematis, yang tergantung pada masalah dan asumsi peralatan. Keandalan penyulang tergantung dari konfigurasi, jumlah komponen, serta jumlah pelanggan. Evaluasi keandalan sistem distribusi terdiri dari indeks titik beban dan indeks sistem yang dipakai untuk memperoleh pengertian yang mendalam pada keseluruhan capaian. Indeks kegagalan titik beban yang biasanya digunakan meliputi tingkat kegagalan (Kegagalan/Tahun), rata-rata waktu keluar (*outage*) r (Jam) dan rata-rata ketaktersediaan tahunan U (Jam/Tahun) [5]. Indeks keandalan yang digunakan untuk menggambarkan tingkat keandalan jaringan dapat dinyatakan dalam persamaan-persamaan berikut:

A. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

SAIFI merupakan indeks frekuensi gangguan sistem rata-rata setiap tahun. Menginformasikan tentang frekuensi gangguan rata-rata setiap konsumen dalam suatu area yang dievaluasi. Indeks SAIFI dirumuskan dengan [6]:

$$SAIFI = \frac{\sum N_i}{N_T} \dots\dots\dots (10)$$

Dengan N_i adalah jumlah gangguan pada pelanggan dan N_T adalah jumlah total pelanggan yang dilayani pada area yang mengalami gangguan.

B. SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

SAIDI adalah indeks keandalan yang merupakan jumlah dari perkalian lama padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Indeks SAIDI dirumuskan dengan [6]:

$$SAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{N_T} \dots\dots\dots (11)$$

Dengan r_i merupakan waktu penormalan gangguan untuk setiap gangguan yang terjadi

C. CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)

Indeks ini menggambarkan lama waktu (durasi) rata-rata setiap pemadaman. Indeks ini merupakan perbandingan antara SAIDI dan SAIFI yang dirumuskan dengan [6]:

$$CAIDI = \frac{\sum r_i \times N_i}{\sum N_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \dots\dots\dots (12)$$

Besarnya nilai CAIDI ini dapat digambarkan sebagai besarnya durasi pemadaman sistem distribusi keseluruhan ditinjau dari sisi pelanggan.

D. ASAI (Average Service Availability Index)

Indeks ini menggambarkan tingkat ketersediaan layanan (Suplai daya) yang diterima oleh pelanggan. Indeks ini dirumuskan dengan [6]:

$$ASAI = \frac{N_T \times 8760 - \sum r_i N_i}{N_T \times 8760} \dots\dots\dots (13)$$

Dengan 8760 adalah total jumlah jam dalam satu tahun kalender.

E. ASUI (Average Service Unavailability Index)

Indeks ini menggambarkan tingkat ketersediaan layanan (Suplai daya) yang diterima oleh pelanggan, dengan rumus [6]:

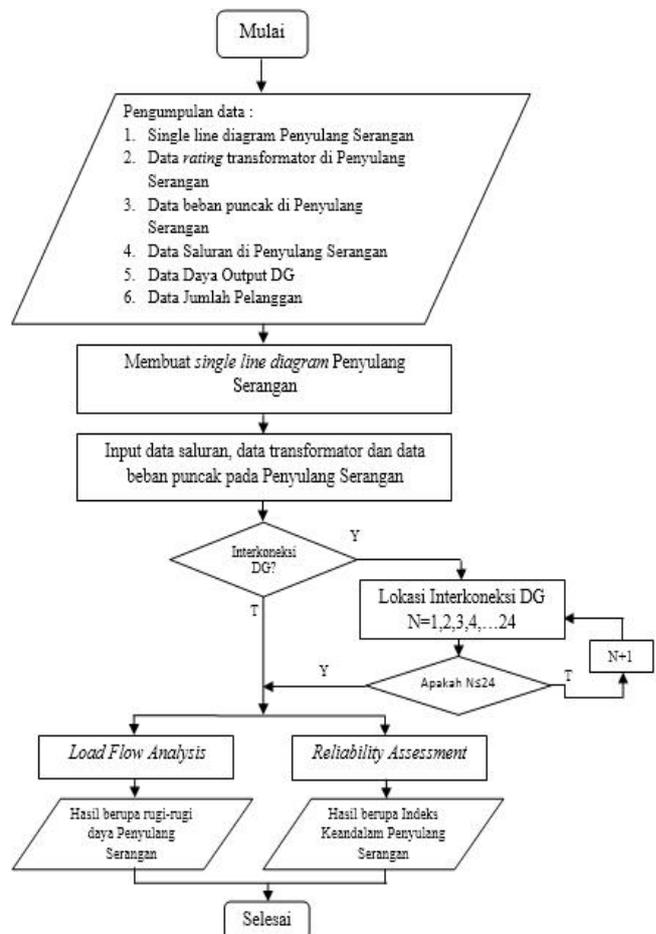
$$ASUI = \frac{\sum r_i N_i}{N_T \times 8760} \dots\dots\dots (14)$$

III. METODE

Penelitian mengenai pengaruh interkoneksi DG terhadap rugi-rugi daya dan keandalan bertempat di PT. PLN (Persero) Distribusi Bali Area Bali Selatan dengan tujuan memperoleh data-data penunjang penelitian dan waktu pelaksanaannya dimulai pada bulan Juni 2015. Analisis pengaruh interkoneksi DG terhadap rugi-rugi daya dan keandalan pada Penyulang Serangan dibuat dalam sebuah simulasi load flow analysis dan reliability assessment. Dalam analisis pengaruh interkoneksi DG terhadap rugi-rugi daya dan keandalan pada Penyulang Serangan diperlukan data-data sebagai berikut:

- a. Single line diagram Penyulang Serangan
- b. Data rating dan beban transformator
- c. Data beban puncak Penyulang Serangan
- d. Data penghantar
- e. Data output daya DG (PLTSA Suwung)
- f. Data jumlah pelanggan penyulang

Analisis diawali dengan menggambar ulang *single line diagram* Penyulang Serangan dan menginputkan data-data yang diperlukan dalam simulasi serta analisis rugi-rugi daya dan keandalan seperti rating transformator, beban puncak dari setiap transformator, jenis penghantar, panjang penghantar, impedansi penghantar, dan rating daya dari DG. Untuk mengetahui aliran daya dan rugi-rugi daya yang terjadi pada Penyulang Serangan menggunakan *Load Flow Analysis*, sedangkan untuk mengetahui tingkat keandalan Penyulang Serangan menggunakan *Reliability Assessment*. Analisis rugi-rugi daya dan keandalan dilakukan dalam 2 kondisi yaitu Penyulang Serangan tanpa interkoneksi DG dan kondisi Penyulang Serangan dengan interkoneksi DG. Pengujian pengaruh DG yang diinterkoneksi pada penyulang dilakukan pada beberapa titik (25%, 50%, 75%, 80% - 90%, dan 90% - 100%) untuk mengetahui titik interkoneksi dengan nilai rugi-rugi yang rendah dan tingkat keandalan yang tinggi. Pengaruh interkoneksi DG terhadap rugi-rugi daya dan keandalan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk melihat pola penurunan rugi-rugi daya dan peningkatan keandalan dari setiap titik lokasi interkoneksi DG. Tahapan analisis tersebut dapat dilihat pada diagram alur analisis pada gambar 2 berikut:



Gambar 2. Alur Analisis Rugi-Rugi Daya dan Keandalan

IV. HASIL DAN ANALISIS

Penyulang Serangan merupakan jaringan distribusi tenaga listrik 20 kV yang bersumber dari Gardu Induk Pesanggaran dengan data sebagai berikut:

- Panjang Jaringan : 16.976 m
- Jenis Penghantar : NA2XSEBY 240 mm², MVTIC 150 mm², AAAC 150 mm².
- Jumlah Trafo : 72 Unit
- Total Daya Trafo : 15.170 kVA
- Jumlah Pelanggan : 4.091 Pelanggan
- Beban Jaringan : 3.873,7 kVA

4.1 Analisis Rugi-Rugi Daya pada Penyulang Serangan

Berdasarkan analisis rugi-rugi daya yang telah dilakukan pada kondisi Penyulang Serangan tanpa interkoneksi DG diperoleh rugi-rugi daya sebesar 40 kW atau 1,21 % dari total suplai daya sebesar 3.307 kW. Dengan interkoneksi DG sebesar 352,75 kW pada Penyulang Serangan maka diperoleh hasil penurunan rugi-rugi daya sebesar 38,1 kW. Perbandingan besarnya rugi-rugi daya pada Penyulang Serangan tanpa interkoneksi DG dan terinterkoneksi DG dapat dilihat pada tabel 3 berikut:

Tabel 2. Perbandingan Nilai Rugi-Rugi Daya Penyulang Serangan

Rugi-Rugi Daya (kW)	
Tanpa DG	Dengan DG
40	38,1

Interkoneksi DG dilakukan ke LBS PLTS yang ada pada Penyulang Serangan dengan jarak antara LBS PLTS dengan lokasi DG adalah 655 m. Lokasi interkoneksi tersebut merupakan lokasi terdekat untuk melakukan interkoneksi DG ke Penyulang Serangan. Penurunan rugi-rugi daya yang mampu dihasilkan dengan interkoneksi DG adalah sebesar 1,9 kW atau 4,75 % dari total rugi-rugi daya yang terjadi pada kondisi Penyulang Serangan tanpa interkoneksi DG.

4.2 Analisis Lokasi Interkoneksi Distributed Generation untuk Memperoleh Rugi-Rugi Daya Terendah

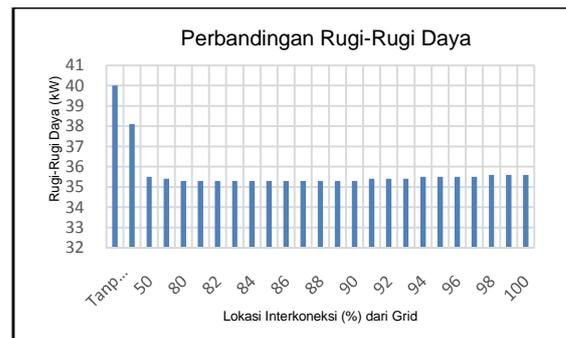
Analisis Lokasi interkoneksi DG dilakukan dengan mempersentasekan panjang saluran mulai dari 25 %, 50 %, 75 %, 80 % - 90 %, dan 90 %, - 100 % dari total panjang saluran Penyulang Serangan. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh penurunan rugi-rugi daya untuk setiap lokasi interkoneksi DG yang ditampilkan pada tabel 4.

Berdasarkan tabel 4 dapat diketahui bahwa lokasi terdekat untuk melakukan interkoneksi DG ke Penyulang Serangan berada pada jarak 25 % dari total panjang saluran dengan rugi-rugi yang dihasilkan adalah sebesar 38,1 kW atau 4,75 % dari total rugi-rugi daya yang terjadi pada Penyulang Serangan tanpa interkoneksi DG. Sedangkan lokasi terbaik dengan rugi-rugi daya terendah berada pada pada titik 80 % dari total panjang saluran yang mampu menghasilkan rugi-rugi daya

terendah yaitu 35,3 kW atau penurunan sebesar 11,75% dari total rugi-rugi daya yang terjadi pada Penyulang Serangan tanpa interkoneksi DG. Gambar 5 menunjukkan penurunan nilai rugi-rugi daya dari setiap lokasi interkoneksi DG.

Tabel 3. Perbandingan Nilai Rugi-Rugi Daya dari Setiap Lokasi Interkoneksi DG

No.	Lokasi Dari Grid (%)	Panjang Penghantar Dari DG (m)	Rugi-Rugi Pada Penghantar DG (kW)	Rugi-Rugi Daya (kW)
1	Tanpa DG	-	-	40
2	25	655	0,1	38,1
3	50	4.899	0,7	35,5
4	75	9.143	1,2	35,4
5	80	9.991,8	1,3	35,3
6	81	10.161,58	1,4	35,3
7	82	10.331,32	1,4	35,3
8	83	10.501,08	1,4	35,3
9	84	10.670,84	1,4	35,3
10	85	10.840,6	1,5	35,3
11	86	11.010,38	1,5	35,3
12	87	11.180,12	1,5	35,3
13	88	11.349,88	1,5	35,3
14	89	11.519,64	1,5	35,3
15	90	11.689,4	1,6	35,3
16	91	11.859,16	1,6	35,4
17	92	12.028,92	1,6	35,4
18	93	12.198,68	1,6	35,4
19	94	12.368,44	1,7	35,5
20	95	12.538,2	1,7	35,5
21	96	12.707,96	1,7	35,5
22	97	12.877,72	1,7	35,5
23	98	13.047,48	1,7	35,6
24	99	13.217,24	1,8	35,6
25	100	13.387	1,8	35,6



Gambar 3. Grafik Perbandingan Rugi-Rugi Daya dari Setiap Lokasi Interkoneksi DG

4.3 Analisis Tingkat Keandalan Penyulang Serangan

Analisis tingkat keandalan pada Penyulang Serangan tanpa interkoneksi DG menggunakan *reliability assessment* ditampilkan dalam suatu indeks keandalan yang

menggambarkan tingkat keandalan dari Penyulang Serangan. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan indeks keandalan pada Penyulang Serangan yang diperoleh yaitu SAIFI = 1,4195 gangguan/pelanggan/tahun; SAIDI = 2,8035 jam/pelanggan/tahun; CAIDI = 1,975 jam/gangguan; ASAI = 0,9997 pu; dan ASUI = 0.00032 pu. Dengan interkoneksi DG sebesar 352,75 kW pada Penyulang Serangan maka diperoleh indeks keandalan baru yang menggambarkan tingkat keandalan dari Penyulang Serangan. Perbandingan indeks keandalan pada Penyulang Serangan tanpa interkoneksi DG dan terinterkoneksi DG dapat dilihat pada tabel 3 berikut:

Tabel 4. Nilai Indeks Keandalan Penyulang Serangan

Indeks Keandalan	Tanpa DG	Dengan DG
SAIFI (Gangguan/Pelanggan/Tahun)	1,4195	0,5959
SAIDI (Jam/Pelanggan/Tahun)	2,8035	1,4388
CAIDI (jam/Gangguan)	1,975	2,414
ASAI (pu)	0,9997	0,9998
ASUI (pu)	0,00032	0,00016

Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada tabel 5 dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan keandalan pada Penyulang Serangan yang terlihat pada perolehan nilai indeks keandalan yang baru. Dengan interkoneksi DG ke Penyulang Serangan diperoleh nilai indeks keandalan SAIFI = 0,5959 gangguan/pelanggan/tahun; SAIDI = 1,4388 jam/pelanggan/tahun; CAIDI = 2,414 jam/gangguan; ASAI = 0,9998 pu; dan ASUI = 0,00016 pu. Perbandingan indeks keandalan Penyulang Serangan tanpa interkoneksi DG dan dengan interkoneksi DG dapat dilihat pada tabel 5. DG dapat dilihat pada tabel 5.

4.4 Analisis Lokasi Interkoneksi Distributed Generation Untuk Memperoleh Tingkat Keandalan Tertinggi

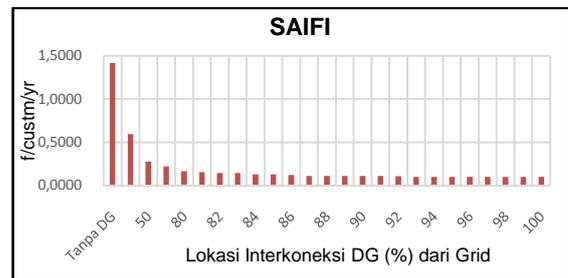
Berdasarkan analisis yang telah dilakukan mengenai pengaruh interkoneksi DG terhadap keandalan, maka dilakukan analisis lokasi interkoneksi yang mampu menghasilkan indeks keandalan baru dan merupakan lokasi dengan tingkat keandalan tertinggi. Dengan simulasi menggunakan *tools reliability assessmen* diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 6.

Berdasarkan tabel 5 dapat diketahui bahwa lokasi dengan tingkat keandalan tertinggi yaitu pada jarak 97 % dari total panjang saluran Penyulang Serangan. Pada lokasi tersebut diperoleh indeks keandalan baru yaitu dengan indeks SAIFI = 0,1 gangguan/pelanggan/tahun; SAIDI = 1,4150 jam/pelanggan/tahun; CAIDI = 14,1520 jam/ gangguan; ASAI = 0,9998 pu; dan ASUI = 0,00016 pu.

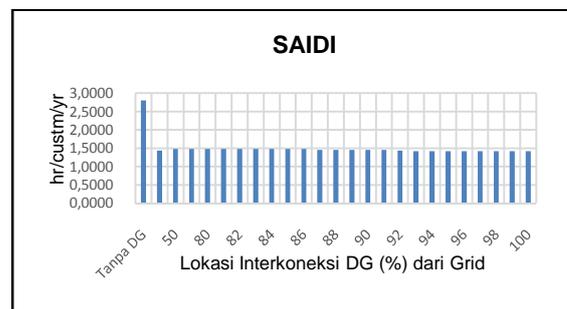
Jika dibandingkan dengan kondisi Penyulang Serangan tanpa interkoneksi DG maka terjadi peningkatan keandalan yang lebih besar yang terlihat dari perubahan masing-masing indeks keandalan yang digambarkan dalam grafik-grafik berikut:

Tabel 5. Perbandingan Nilai Indeks Keandalan dari Setiap Lokasi Interkoneksi DG

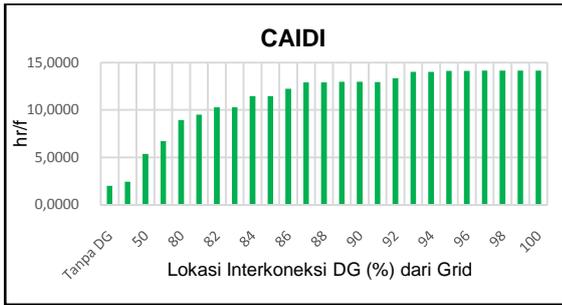
No.	Lokasi Dari Grid (%)	Panjang Pengantar Dari DG (m)	Indeks Keandalan				
			SAIFI (f/cust/yr)	SAIDI (hr/cust/yr)	CAIDI (hr/f)	ASAI (pu)	ASUI (pu)
1	Tanpa DG	-	1.4195	2.8035	1.975	0.9997	0.00032
2	25	655	0.5959	1.4388	2.414	0.9998	0.00016
3	50	4899	0.2758	1.4775	5.3570	0.9998	0.00017
4	75	9143	0.2200	1.4775	3.7160	0.9998	0.00017
5	80	9991.8	0.1656	1.4775	3.9200	0.9998	0.00017
6	81	10161.56	0.1552	1.4775	3.5210	0.9998	0.00017
7	82	10331.32	0.1435	1.4775	10.2940	0.9998	0.00017
8	83	10501.08	0.1435	1.4775	10.2940	0.9998	0.00017
9	84	10670.84	0.1288	1.4775	11.4690	0.9998	0.00017
10	85	10840.6	0.1288	1.4775	11.4690	0.9998	0.00017
11	86	11010.36	0.1208	1.4775	12.2300	0.9998	0.00017
12	87	11180.12	0.1123	1.4520	12.9260	0.9998	0.00017
13	88	11349.88	0.1123	1.4520	12.9260	0.9998	0.00017
14	89	11519.64	0.1116	1.4498	12.9930	0.9998	0.00017
15	90	11689.4	0.1116	1.4498	12.9930	0.9998	0.00017
16	91	11859.16	0.1121	1.4514	12.9470	0.9998	0.00017
17	92	12028.92	0.1077	1.4380	13.3570	0.9998	0.00016
18	93	12198.68	0.1012	1.4185	14.0220	0.9998	0.00016
19	94	12368.44	0.1012	1.4185	14.0220	0.9998	0.00016
20	95	12538.2	0.1001	1.4155	14.1340	0.9998	0.00016
21	96	12707.96	0.1001	1.4155	14.1340	0.9998	0.00016
22	97	12877.72	0.1000	1.4150	14.1520	0.9998	0.00016
23	98	13047.48	0.1000	1.4150	14.1520	0.9998	0.00016
24	99	13217.24	0.1000	1.4150	14.1520	0.9998	0.00016
25	100	13387	0.1000	1.4150	14.1520	0.9998	0.00016



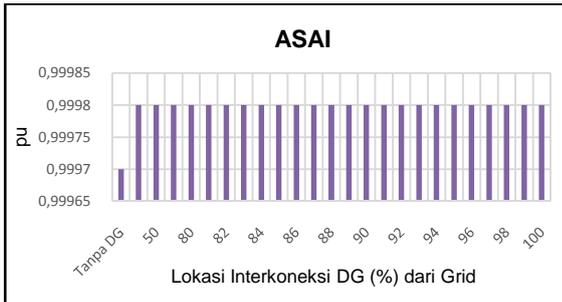
Gambar 4. Grafik Perbandingan Indeks Keandalan SAIFI dari Setiap Titik Lokasi Interkoneksi DG



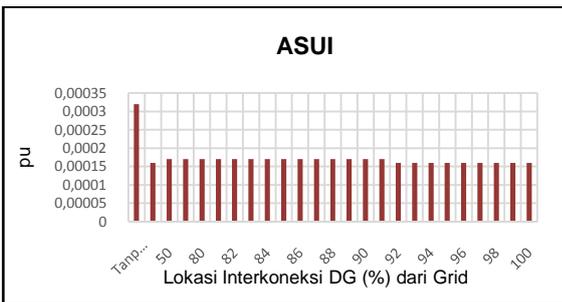
Gambar 5. Grafik Perbandingan Indeks Keandalan SAIDI dari Setiap Titik Lokasi Interkoneksi DG



Gambar 6. Grafik Perbandingan Indeks Keandalan CAIDI dari Setiap Titik Lokasi Interkoneksi DG



Gambar 7. Grafik Perbandingan Indeks Keandalan ASAI dari Setiap Titik Lokasi Interkoneksi DG



Gambar 8. Grafik Perbandingan Indeks Keandalan ASUI dari Setiap Titik Lokasi Interkoneksi DG

4.5 Lokasi Interkoneksi DG Pada Penyulang Serangan dengan Nilai Rugi-Rugi Daya Terendah dan Keandalan Tertinggi

Berdasarkan analisis lokasi interkoneksi DG yang telah dilakukan, rugi-rugi daya terendah diperoleh pada jarak 80 % dan untuk lokasi dengan indeks keandalan terbaik diperoleh pada jarak 97 %. Berikut hasil simulasi ditunjukkan pada tabel 6.

Berdasarkan tabel 6 dapat diketahui titik interkoneksi DG yang mampu menghasilkan nilai rugi-rugi daya yang rendah dan indeks keandalan yang tinggi yaitu pada jarak 97 % dari total panjang saluran Penyulang Serangan. Hal ini dapat dilihat dengan nilai rugi-rugi daya yang dihasilkan pada titik tersebut sebesar 35,5 kW yang memiliki selisih 0,2 kW dengan lokasi interkoneksi DG pada jarak 80 % yang

merupakan lokasi dengan hasil rugi-rugi daya terendah yaitu 35,3 kW. Sedangkan indeks keandalan pada titik interkoneksi DG jarak 97 % merupakan lokasi dengan tingkat keandalan tertinggi. Pada titik interkoneksi dengan jarak 97% dari total panjang saluran diperoleh rugi-rugi daya sebesar 35,5 kW dan indeks keandalan baru dengan indeks SAIFI = 0,1 gangguan/pelanggan/tahun; SAIDI = 1,4150 jam/pelanggan/tahun; CAIDI = 14,1520 jam/gangguan; ASAI = 0,9998 pu; dan ASUI = 0,00016 pu.

Tabel 6. Nilai Rugi-Rugi Daya dan Indeks Keandalan dari Setiap Lokasi Interkoneksi DG

No	Lokasi Dari Grid (%)	Panjang Penghantar Dari DG (m)	Rugi-Rugi Daya (kW)	Indeks Keandalan				
				SAIFI (#/cust/yr)	SAIDI (hr/cust/yr)	CAIDI (hr/f)	ASAI (pu)	ASUI (pu)
1	Tanpa DG	-	40	1.4195	2.803E	1.975	0.9997	0.00032
2	25	855	33.1	0.5959	1.433E	2.414	0.9999	0.00016
3	50	4899	35.6	0.2768	1.477E	3.3570	0.9999	0.00017
4	75	8143	35.4	0.2200	1.477E	8.7150	0.9999	0.00017
5	80	9991.3	33.3	0.1658	1.477E	3.9200	0.9999	0.00017
6	81	10181.3E	33.3	0.1652	1.477E	3.5210	0.9999	0.00017
7	82	10331.32	33.3	0.1435	1.477E	10.2940	0.9999	0.00017
8	83	10601.3E	33.3	0.1435	1.477E	10.2940	0.9999	0.00017
9	84	10670.34	33.3	0.1288	1.477E	11.4890	0.9999	0.00017
10	85	10840.6	33.3	0.1288	1.477E	11.4890	0.9999	0.00017
11	86	11010.3E	33.3	0.1208	1.477E	12.2300	0.9999	0.00017
12	87	11180.12	33.3	0.1123	1.4520	12.9260	0.9999	0.00017
13	88	11349.3E	33.3	0.1123	1.4520	12.9260	0.9999	0.00017
14	89	11619.34	33.3	0.1118	1.449E	12.9930	0.9999	0.00017
15	90	11889.4	33.3	0.1118	1.449E	12.9930	0.9999	0.00017
16	91	11859.1E	35.4	0.1121	1.4514	12.9470	0.9999	0.00017
17	92	12028.32	35.4	0.1077	1.4330	13.3570	0.9999	0.00016
18	93	12198.3E	35.4	0.1012	1.413E	14.0220	0.9999	0.00016
19	94	12368.44	35.6	0.1012	1.413E	14.0220	0.9999	0.00016
20	95	12538.2	35.6	0.1001	1.413E	14.1340	0.9999	0.00016
21	96	12707.3E	33.6	0.1001	1.413E	14.1340	0.9999	0.00016
22	97	12877.72	35.6	0.1000	1.4130	14.1520	0.9999	0.00016
23	98	13047.4E	35.6	0.1000	1.4130	14.1520	0.9999	0.00016
24	99	13217.24	35.6	0.1000	1.4130	14.1520	0.9999	0.00016
25	100	13387	35.6	0.1000	1.4130	14.1520	0.9999	0.00016

V. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pemba-hasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik simpulan bahwa interkoneksi DG pada Penyulang Serangan mampu menghasilkan penurunan rugi-rugi daya dan meningkatkan keandalan pada penyulang dengan lokasi interkoneksi terbaik untuk memperoleh rugi-rugi daya yang rendah dan tingkat keandalan yang tinggi adalah pada jarak 97 % dari total panjang saluran. Pada lokasi tersebut diperoleh penurunan rugi-rugi daya sebesar 4,5 kW atau 11,25 % dari total rugi-rugi daya tanpa inter-koneksi DG dan penurunan indeks SAIFI dan SAIDI masing-masing menjadi 0,1 gangguan/pelanggan/tahun dan 1,4150 jam/pelanggan/tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Putra, I. G. N. Dion Adi., Giriantari I. A. D., Ariastina, W.G. 2015. *Analisis Rugi Daya pada Penyulang Bangli dengan Beroperasinya PLTS Kayubihi*. Jurnal Teknologi Elektro Vol. 14, No. 1, Januari. Universitas Udayana.
- [2] Sunanda, Wahri. 2013. *Perbaikan Keandalan Sistem Melalui Pemasangan Distributed Generation*. Bangka Belitung: Jurnal Ilmiah Foristek Vol.3, No.2, September. Universitas Bangka Belitung.
- [3] Ardrianti, Irani S. 2008. *Studi Aliran Daya Tiga Fasa Untuk Sistem Distribusi Dengan Metode Pendekatan Langsung*. Jurnal Teknik A Vol. 2, No. 29, April. Teknik Elektro Universitas Andalas Padang.
- [4] Glover, J. Duncan., Sarma, Mulukutla S., Overbye, Thomas J. 2010. *Power System Design*. 5th edition. United State: Cengage Learning.
- [5] Winantara, Gesta., Hartati, Rukmi Sari., Sukerayasa, I Wyn. 2013. *Pengaruh Injeksi Daya Aktif Terhadap Keandalan Penyulang*. Jurnal Teknologi Elektro Vol. 12, No. 1, Januari. Universitas Udayana.
- [6] Gonen, Turan. 2008. *Electric Power Distribution System Engineering*. 2nd edition. Sacramento: CRC Press.