

PENGARUH INJEKSI DAYA AKTIF TERHADAP KEANDALAN PENYULANG

Gesta Winantara, Rukmi Sari Hartati, I Wayan Sukerayasa

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana

Jl. PB Sudirman Denpasar, Bali, Telp/Fax : 0361 239599

Email : rs_hartati@yahoo.com, sukerayasa@unud.ac.id

Abstrak

Peningkatan kesejahteraan masyarakat berimplikasi terhadap peningkatan kebutuhan tenaga listrik. Peningkatan pasokan tenaga listrik harus dibarengi dengan tingkat keandalan yang sesuai standar, sehingga masyarakat pengguna dapat menikmati energi listrik dengan kualitas yang memuaskan. Kualitas layanan dapat dilihat dari lamanya pemadaman dan seberapa sering pemadaman terjadi dalam satu satuan waktu. Indeks keandalan merupakan ukuran keandalan yang dinyatakan dalam besaran probabilitas. Keandalan suatu penyulang dipengaruhi oleh banyak faktor, baik faktor internal maupun faktor eksternal. Trend sistem distribusi menunjukkan semakin banyak penyulang yang mendapat sumber tambahan dari pembangkit-pembangkit kecil, dengan sumber energi primernya energi terbarukan yang disebut pembangkit tersebar (DG). Dalam penelitian ini dilakukan analisis bagaimana pengaruh DG terhadap keandalan penyulang. Penyulang Serangan merupakan salah satu penyulang yang mendapat pasokan sumber dari pusat pembangkit tenaga sampah (DG). Dari hasil analisis pada penyulang ini didapatkan nilai indeks titik beban (*load point*), SAIFI dan SAIDI yang lebih baik dari sebelum masuknya pembangkit tenaga sampah.

Kata Kunci : Keandalan, Sistem Distribusi, SAIFI, SAIDI

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia modern sekarang ini energi listrik merupakan bentuk energi yang paling penting peranannya karena tidak hanya secara langsung dapat meningkatkan kehidupan manusia, tetapi juga merupakan faktor penentu dalam peningkatan kemampuan dalam hal produksi. Makin tinggi tingkat kesejahteraan seseorang maka makin tinggi pula ketergantungannya pada ketersediaan energi listrik. Demikian juga halnya dengan semakin majunya perindustrian makin penting dan makin besar peran energi listrik itu dalam menjamin kelangsungan serta pengembangan industri selanjutnya. Pertumbuhan kebutuhan energi listrik yang sangat pesat pada sisi konsumen tentu saja perlu diimbangi dengan penyediaan energi listrik yang cukup pada sisi produsen listrik.

Pembangunan pembangkit listrik baru untuk memasok listrik kedalam sistem kelistrikan pada sistem jaringan distribusi tentu akan berpengaruh terhadap keandalan dari sistem. Untuk itu perlu dilakukan analisis terhadap keandalan sistem distribusi sehingga dapat diketahui bagaimana keandalan sistem setelah terintegrasi dengan pembangkit.

Pada penelitian ini telah dilakukan evaluasi keandalan sistem distribusi dengan mengambil data dari Penyulang Serangan yang terintegrasi dengan sistem pembangkit pada Instalasi Pengolahan Sampah Terpadu (IPST) di Suwung Denpasar, dengan kapasitas 1 MW dari rencana 9MW.

Distributed Generators adalah sistem pembangkitan tenaga listrik dengan skala kecil (biasanya antara 1kW – 10MW) yang digunakan

untuk memberikan alternatif atau tambahan pasokan daya listrik kedalam sistem kelistrikan. Adapun sumber-sumber energi yang banyak digunakan seperti panel surya, turbin angin kecil, mikrohidro serta penggunaan gas yang dihasilkan dari pengolahan sampah. Daya listrik yang dihasilkan oleh pembangkit ini masuk ke sistem kelistrikan pada jaringan distribusi 20 KV. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk menekan biaya karena jika masuk pada sistem transmisi 150 KV tentu akan memerlukan biaya yang besar untuk menaikkan tegangan agar sesuai dengan tegangan transmisi [1].

2. INDEKS KEANDALAN SISTEM

Indeks keandalan dapat direpresentasikan menggunakan teori probabilitas. Dengan menggunakan pendekatan berupa rumus matematis, yang tergantung pada masalah dan asumsi peralatan. Banyak asumsi yang harus dibuat pada semua aplikasi praktis dari probabilitas dan teori stokastik. Validitas dari analisis keandalan sistem secara langsung dihubungkan kepada validitas dari model yang digunakan untuk merepresentasikan sistem. Keandalan penyulang tergantung dari konfigurasi, jumlah komponen, serta jumlah pelanggan. [2] Evaluasi keandalan sistem distribusi terdiri dari indeks titik beban dan indeks sistem, yang dipakai untuk memperoleh pengertian yang mendalam kedalam keseluruhan capaian. Indeks kegagalan titik beban yang biasanya digunakan meliputi tingkat kegagalan } (Kegagalan/Tahun), rata-rata

waktu keluar (*outage*) r (Jam) dan rata-rata ketidaktersediaan tahunan U (Jam/Tahun) [3,4,5,6].

2.1 Indeks Kegagalan Titik Beban Untuk Sistem Seri

Definisi dari sistem seri yaitu suatu rangkaian komponen, dimana dibutuhkan semua komponen bekerja untuk menjadikan sistem berhasil dalam hal keandalan atau sistem gagal jika satu komponen saja tidak bekerja. Nilai rata-rata indeks kegagalan titik beban yang komponennya terhubung seri dapat dihitung dengan persamaan di bawah[3,4,5]. Untuk n komponen yang terhubung seri, laju kegagalan titik beban (λ) adalah:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

Dimana λ_i (laju kegagalan komponen i) merupakan unit komponen dikalikan dengan perkiraan angka keluar (*outage*). Untuk n komponen yang terhubung seri, rata-rata waktu perbaikan gangguan titik beban (r) adalah:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i r_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

Untuk n komponen yang terhubung seri, rata-rata ketidaktersediaan tahunan titik beban (U) adalah

$$U = \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i$$

2.2 Indeks Kegagalan Titik Beban Untuk Sistem Paralel

Definisi sistem paralel yaitu suatu rangkaian komponen, dimana sistem gagal hanya terjadi jika semua komponen tidak bekerja. Nilai rata-rata dari indeks kegagalan titik beban yang komponennya terhubung paralel dapat dihitung dengan persamaan di bawah[3,4,5]. Laju kegagalan titik beban sistem paralel dua komponen adalah :

$$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 (r_1 r_2)$$

Rata-rata waktu perbaikan gangguan titik beban sistem paralel dua komponen adalah :

$$r = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

Rata-rata ketidaktersediaan tahunan titik beban sistem paralel dua komponen adalah :

$$U = \lambda r$$

2.3 System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)

SAIFI adalah jumlah rata-rata kegagalan per pelanggan yang dilayani selama satu tahun. SAIFI didapatkan dengan membagi jumlah semua kegagalan pelanggan dalam satu tahun dengan

jumlah pelanggan yang dilayani oleh sistem tersebut [3,4,5].

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_j N_j}{\sum N_j}$$

Keterangan:

SAIFI : *System Average Interruption Frequency Index*

λ_j : laju kegagalan komponen pada *load point j*

N_j : jumlah pelanggan pada *load point j*

2.4 System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

SAIDI adalah nilai rata-rata dari lamanya kegagalan per pelanggan yang dilayani dalam satu tahun. SAIDI didapatkan dengan membagi jumlah lamanya kegagalan pelanggan selama periode waktu tertentu dengan jumlah pelanggan yang dilayani selama tahun itu [3,4,5].

$$SAIDI = \frac{\sum U_j N_j}{\sum N_j}$$

Keterangan:

SAIDI : *System Average Interruption Duration Index*

U_j : waktu kegagalan tahunan pada *load point j*

N_j : jumlah pelanggan pada *load point j*

3. PROSEDUR MENGHITUNG INDEKS KEANDALAN

Berdasarkan data-data yang telah diperoleh, maka perhitungan indeks keandalan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Membuat pemodelan penyulang umum/induk.
2. Menghitung indeks titik beban pada penyulang umum.
 - a) Menghitung laju kegagalan
 - b) Menghitung rata-rata waktu ketidaktersediaan tahunan
 - c) Menghitung rata-rata waktu keluar
3. Kembali ke langkah 2a - 2c sampai semua indeks titik beban pada sistem ditemukan.
4. Menghitung *system Average Interruption Frekuensi Index* (SAIFI).
5. Menghitung *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI).

Langkah 1-5 dilakukan secara berulang untuk mendapatkan indeks keandalan Penyulang Serangan dengan suplai :

- Sumber dari GI Pesanggaran
- Sumber utama dari GI Pesanggaran serta adanya injeksi daya aktif hanya untuk 8 *load point* dari PLT Sampah Suwung

4. DATA DAN PEMBAHASAN

Dalam analisis standar angka keluar peralatan dan waktu perbaikan digunakan Standar PLN SPLN No. 59 Tahun 1985.

Berikut ini adalah data teknis Penyulang Serangan, data yang disajikan berupa data gardu distribusi, data jumlah pelanggan serta data beban. Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa pelanggan Penyulang Serangan merupakan campuran dari pelanggan perumahan dan pelanggan bisnis. Jumlah gardu distribusi 27 unit dengan kapasitas yang bervariasi mulai dari 100KVA sampai 400KVA.

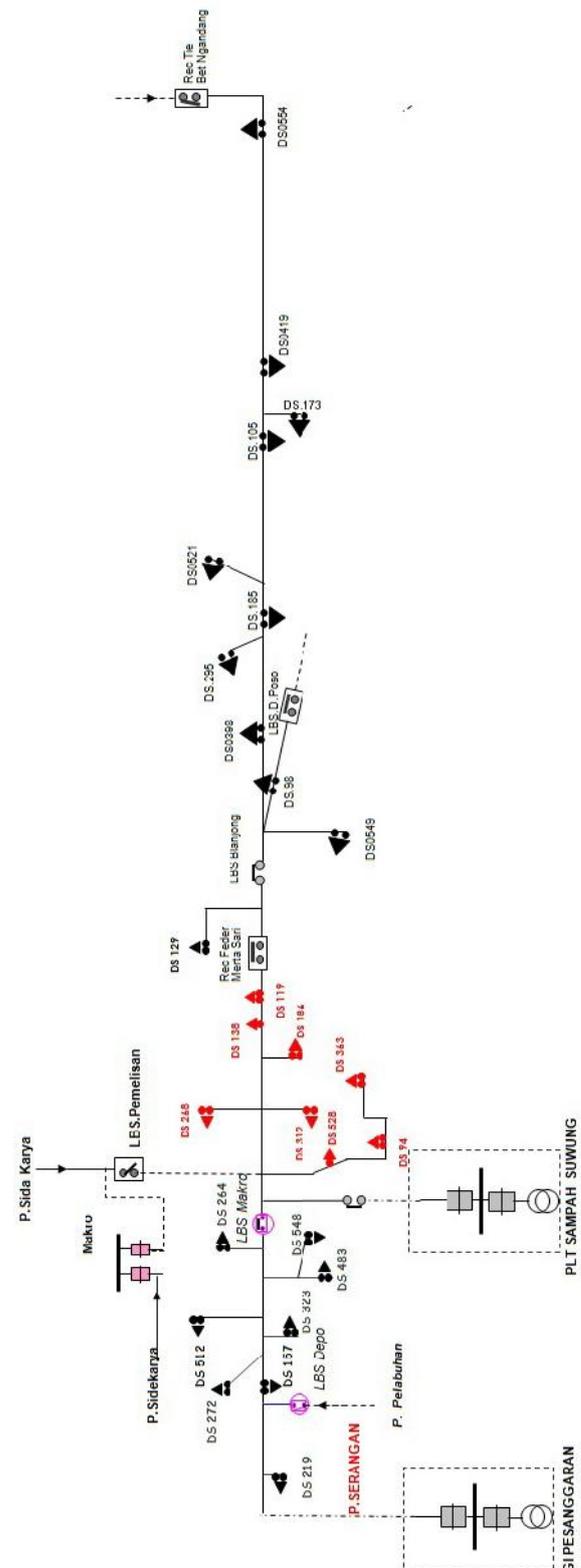
Tabel 2. Data Gardu Distribusi Penyulang Serangan

GARDU DISTRIBUSI	KAPASITAS TRAFO (KVA)	JUMLAH PELANGGAN	BEBAN (KVA)
DS0219	100	1	66.000
DS0157	200	220	154.500
DS0272	160	12	71.100
DS0323	250	1	197.000
DS0512	200	1	105.000
DS0548	250	13	211.900
DS0483	250	11	137.300
DS0264	400	165	355.000
DS0528	100	1	33.000
DS0094	400	387	245.450
DS0363	250	390	224.650
DS0312	100	3	69.000
DS0268	200	1	33.000
DS0186	250	116	101.900
DS0138	160	22	116.200
DS0119	200	23	166.700
DS0129	100	90	85.800
DS0549	250	12	161.200
DS0098	250	135	225.600
DS0398	250	4	63.300
DS0295	250	46	214.300
DS0185	250	68	183.300
DS0521	160	1	105.000
DS0105	250	134	218.700
DS0173	100	103	82.350
DS0419	200	98	150.450
DS0554	100	7	39.850
Total	5630	2994	3.817.550

Dalam diagram garis tunggal nampak PLT Sampah Suwung masuk di pertengahan Penyulang Pesanggaran seperti ditunjukkan dalam gambar 1. Pada pemodelan Penyulang juga terdapat data panjang saluran yang berguna untuk perhitungan *Load Point*.

4.1 Suplai dari satu sumber

Dari perhitungan yang dilakukan didapat nilai indeks keandalan masing-masing *load point* (Gardu Distribusi) dan SAIDI, SAIFI Penyulang Serangan. Tabel 3 menampilkan indeks *load point* untuk Penyulang Serangan dengan sumber dari GI Pesanggaran.



Gambar 1. Diagram segaris Penyulang Serangan
 Hasil perhitungan indeks *load point* untuk Penyulang Serangan dengan sumber dari Gardu Induk Pesanggaran dan PLT Sampah Suwung dianggap tidak beroperasi (sistem radial) diperlihatkan dalam tabel 3 di bawah.

Tabel 3. Indeks Load Point Penyulang Serangan dengan sumber Gardu Induk Pesanggaran(sistem radial)

Load Point	r	u	N	* N	u * N	
DS0219	0,069	7,420	0,515	1	0,06	0,51
DS0157	0,111	5,754	0,641	220	24,50	141,00
DS0272	0,189	4,620	0,875	12	2,27	10,49
DS0323	0,257	4,193	1,078	1	0,25	1,07
DS0512	0,343	3,895	1,335	1	0,34	1,33
DS0548	0,449	3,683	1,654	13	5,83	21,49
DS0483	0,547	3,561	1,948	11	6,01	21,42
DS0264	0,647	3,474	2,249	165	106,82	371,07
DS0528	0,778	3,394	2,641	1	0,77	2,64
DS0094	0,934	3,329	3,108	387	361,30	1202,62
DS0363	1,116	3,275	3,656	390	435,39	1425,82
DS0312	1,263	3,243	4,095	3	3,78	12,28
DS0268	1,412	3,217	4,542	1	1,41	4,54
DS0186	1,572	3,195	5,022	116	182,30	582,50
DS0138	1,731	3,177	5,499	22	38,07	120,98
DS0119	1,899	3,162	6,004	23	43,68	138,10
DS0129	2,125	3,144	6,681	90	191,21	601,25
DS0549	2,379	3,129	7,443	12	28,54	89,31
DS0098	2,614	3,117	8,150	135	352,94	1100,24
DS0398	2,866	3,107	8,905	4	11,46	35,61
DS0295	3,131	3,098	9,700	46	144,02	446,18
DS0185	3,387	3,091	10,468	68	230,31	711,80
DS0521	3,671	3,084	11,319	1	3,67	11,31
DS0105	3,983	3,077	12,256	134	533,72	1642,27
DS0173	4,337	3,071	13,319	103	446,75	1371,85
DS0419	4,697	3,065	14,399	98	460,34	1411,09
DS0554	5,136	3,060	15,715	7	35,95	110,00
N			2065			
* N				3651,81		
u * N					11588,89	
SAIFI				1,77		
SAIDI				5,61		

Dari tabel 3 di atas didapat indeks *load point*, dimana (Kegagalan/Tahun) terbesar dimiliki oleh *load point* DS0554. Hal ini terjadi karena *load point* DS0554 di Penyulang Serangan terletak paling ujung, dimana semakin panjang saluran, semakin banyak jumlah komponen maka kemungkinan kegagalan sistem menjadi semakin besar. Sementara untuk kategori (Kegagalan/Tahun) terkecil dimiliki oleh *load point* DS0219. Hal ini disebabkan karena posisi dari *load point* tersebut berada paling dekat dengan sumber pembangkit. *System Average Interruption Frekuensi Index* (SAIFI) diperoleh 1,77 kali/tahun (mendekati 7 kali kegagalan dalam empat tahun) ini tidak termasuk dalam kegagalan yang direncanakan / perawatan yang menyebabkan sistem tidak berfungsi. Sedangkan *System Average Interruption*

Duration Index (SAIDI) diperoleh 5,21 jam pertahun.

4.2 Suplai dari 2 Sumber (GI Pesanggarn dan PLT Sampah Suwung)

Dengan masuknya daya listrik dari hasil pembangkitan di Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Suwung ke dalam sistem Penyulang Serangan, maka Penyulang Serangan mendapat suplai energi listrik dari 2 sumber yaitu dari GI Pesanggaran dan PLT Sampah Suwung.

Namun pada kenyataannya sampai saat ini kapasitas produksi listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Suwung hanya sebesar 1MW, hal ini terjadi karena adanya kendala yang dialami yaitu kurangnya pasokan gas yang dihasilkan oleh sampah sehingga tidak mampu meningkatkan kapasitas produksi listrik sesuai rencana 10MW. Dengan kapasitas pembangkitan yang hanya sebesar 1MW maka Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Suwung tidak dapat mensuplai semua beban pada Penyulang Serangan, bila sumber dari GI terputus. Dari gambar *one line diagram* Penyulang Serangan (gambar 1) dapat dilihat bahwa daya listrik yang dibangkitkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Suwung masuk ke jaringan di pertengahan Penyulang Serangan, antara LBS Makro dan *recloser feeder* Merta Sari. Pada jaringan ini terdapat 8 buah Gardu Distribusi dengan total beban sebesar 989.900 W sehingga mampu disuplai oleh Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Suwung.

Dengan menggunakan proses perhitungan yang sama diperoleh indeks keandalan masing-masing *load point* (Gardu Distribusi) dan angka SAIFI serta SAIDI Penyulang Serangan, dimana Penyulang Serangan mendapat suplai dari 2 Pembangkit yaitu suplai utama dari GI Pesanggaran serta mendapat suplai tambahan dari Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Suwung yang masuk ke jaringan yang hanya mampu memenuhi kebutuhan 8 *load point* (Gardu Distribusi) yaitu DS0528, DS0094, DS0363, DS0312, DS0268, DS0186, DS0138 dan DS00119. Sehingga perhitungan pada 8 *load point* tersebut dilakukan secara paralel antara suplai dari Gardu Induk Pesanggaran dengan suplai dari Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Suwung. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Indeks Load Point Penyulang Serangan dengan sumber utama GI Pesanggaran Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Suwung (sistem Spindel)

Load Point	r	u	N	* N	u * N	
DS0219	0,069	7,420	0,515	1	0,06	0,51
DS0157	0,111	5,754	0,641	220	24,50	141,00
DS0272	0,189	4,620	0,875	12	2,27	10,49
DS0323	0,257	4,193	1,078	1	0,25	1,07
DS0512	0,343	3,895	1,335	1	0,34	1,33

DS0548	0,449	3,683	1,654	13	5,83	21,49
DS0483	0,547	3,561	1,948	11	6,01	21,42
DS0264	0,647	3,474	2,249	165	106,82	371,07
DS0528	0,039	3,680	0,145	1	0,03	0,14
DS0094	0,095	3,280	0,313	387	36,94	121,17
DS0363	0,179	3,149	0,563	390	69,75	219,68
DS0312	0,226	3,118	0,704	3	0,67	2,11
DS0268	0,275	3,097	0,853	1	0,27	0,85
DS0186	0,336	3,079	1,034	116	38,96	119,97
DS0138	0,396	3,067	1,214	22	8,70	26,70
DS0119	0,465	3,057	1,421	23	10,68	32,67
DS0129	2,125	3,144	6,681	90	191,21	601,25
DS0549	2,379	3,129	7,443	12	28,54	89,31
DS0098	2,614	3,117	8,150	135	352,94	1100,24
DS0398	2,866	3,107	8,905	4	11,46	35,61
DS0295	3,131	3,098	9,700	46	144,02	446,18
DS0185	3,387	3,091	10,468	68	230,31	711,80
DS0521	3,671	3,084	11,319	1	3,67	11,31
DS0105	3,983	3,077	12,256	134	533,72	1642,27
DS0173	4,337	3,071	13,319	103	446,75	1371,85
DS0419	4,697	3,065	14,399	98	460,34	1411,09
DS0554	5,136	3,060	15,715	7	35,95	110,00
m				2065		
* m					2751,12	
u * m						8622,72
SAIFI					1,33	
SAIDI					4,18	

Untuk kondisi saat ini seperti terlihat pada tabel 4 di atas nilai SAIFI adalah sebesar 1,33 (Pemadaman/Pelanggan.Tahun), hal ini mengisyaratkan bahwa rata-rata pemadaman adalah sebanyak 1,33 kali pemadaman perpelanggan pertahunnya (mendekati 4 kali dalam tiga tahun). Sementara angka SAIDI sebesar 4,18 (Jam/Pelanggan.Tahun). Dari nilai SAIFI dan SAIDI tersebut jika dikaitkan dengan target WCS (*World Class Service*) yang dicanangkan PT. PLN, untuk nilai SAIFI Penyulang Serangan sudah tercapai, sebagai catatan SAIFI yang disyaratkan adalah 3 (Pemadaman/ Pelanggan.Tahun). Sementara untuk SAIDI belum tercapai, dimana nilai SAIDI yang disyaratkan adalah 100 (Menit/Pelanggan. Tahun). Perbandingan hasil perhitungan indeks keandalan Penyulang Serangan dengan 2 variasi suplai (konfigurasi radial dan spindel) dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah.

Tabel 5. Perbandingan SAIFI dan SAIDI

PENYULANG SERANGAN	SAIFI	SAIDI
SUMBER DARI GI PESANGGARAN (tabel 3)	1,77	5,61
SUMBER DARI GI+PLT SAMPAH (1 MW) (Tabel 4)	1,33	4,18

Dari Tabel 5. menunjukkan bahwa dengan adanya injeksi daya aktif dari Pembangkit Listrik

Tenaga Sampah Suwung maka angka SAIFI dan SAIDI pada Penyulang Serangan semakin kecil, yang berarti bahwa keandalan pada Penyulang Serangan bertambah baik. Jika kapasitas Pembangkitan PLT Sampah Suwung berjalan sesuai dengan yang direncanakan maka nilai SAIFI Penyulang Serangan akan semakin baik.

Sedangkan untuk kondisi saat ini dimana kapasitas Pembangkitan PLT Sampah Suwung hanya mampu memproduksi 1 MW, maka keandalan meningkat bisa dilihat dari turunnya nilai SAIFI dan SAIDI masing-masing sebesar 24,8% dan 25,5%

5. SIMPULAN

Pada kondisi saat ini dimana kapasitas Pembangkitan PLT Sampah Suwung hanya mampu memproduksi 1 MW, maka keandalan penyulang meningkat dilihat dari nilai SAIFI dan SAIDI menurun masing-masing sebesar 24,8% dan 25,5% dibandingkan dengan nilai SAIFI dan SAIDI Penyulang sebelum adanya injeksi daya aktif. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya injeksi daya aktif pada Penyulang akan menambah keandalan penulang.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Dan Zhu, *Power System Reliability Analysis with Distributed Generators*, (tesis), Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003
- [2]. Sukerayasa W., *Evaluasi Keandalan Penyulang Radial dan Spindel*, Teknologi Elektro, Vol. 6, No, 3, Juli-Desember 2007, Teknik Elektro Universitas Udayana.
- [3]. Billinton.R., Allan Ronald N, *Reliability Evaluation of Power Systems*, 2nd ed. New York : Plenum Press, 1996
- [4]. Billinton.R., Wang.P, *Reliability Network Equivalent Approach to Distribution System Reliability Evaluation*, IEEE Proc-Gener Distrib, Vol 145, No.2, 1998
- [5]. PT.PLN(Persero), 1985, *SPLN 59 : Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV*, Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara.
- [6]. IBG. Manuaba, Sukerayasa, W., *Studi Keandalan Penyulang 20 Kv Di Gardu Induk Padang Sambian Menggunakan Metode Simulasi Monte Carlo*, Teknologi Elektro, Vol 3, No.2, Juli-Desember 2004, Teknik Elektro Universitas Udayana.