

ANALISA TEKNOLOGI FOTOVOLTAIK SEBAGAI DISTRIBUTED GENERATION (DG) PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN SOFTWARE ELECTRIC TRANSIENT AND ANALYSIS PROGRAM (*ETAP*)

Ariyono

*Teknik Eektro, Universita Malikussaleh
Padang Sakti, Muara Satu, Kota Lhokseumawe, Aceh
E-mail : ariyono0827@gmail.com*

Abstrak - Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok masyarakat dalam beraktifitas, baik digunakan untuk keperluan rumah tangga maupun keperluan industri. Untuk memenuhi kebutuhan listrik di era ekonomi yang tumbuh sangat pesat ini membutuhkan banyak energi listrik. Oleh karena itu kualitas energi listrik perlu ditingkatkan. Letak pembangkit yang jauh dari beban juga menyebabkan tingginya nilai drop tegangan pada beberapa bus, selain itu juga menyebabkan rugi-rugi daya sistem yang cukup besar. Metode yang bisa digunakan pada penelitian ini dengan memasang teknologi fotovoltaik sebagai *distributed generation* (DG) atau pembangkit terdistribusi yang memiliki kapasitas daya yang lebih kecil dari pembangkit utama. Pemasangan pembangkit ini harus diikuti dengan penentuan lokasi dan kapasitas yang sesuai. Uji coba penentuan lokasi, besar kapasitas dan berapa jatuh tegangan setelah di pasang *fotovoltaik* pada sistem distribusi IEEE 34 bus sistem radial menggunakan simulasi di beberapa titik. Hasil yang paling baik dari beberapa titik simulasi yaitu pada bus 848 yang mengurangi nilai rata-rata tegangan menjadi 2,06 % dari tegangan yang sebenarnya dan mengurangi rugi-rugi daya total menjadi 129.18 kW.

Kata kunci: *sistem distribusi, rugi-rugi daya, jatuh tegangan, pembangkit tersebar, fotovoltaik, software ETAP 12.6.0.*

I. PENDAHULUAN

Konsumsi listrik Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Peningkatan kebutuhan listrik diperkirakan dapat tumbuh rata-rata 6,5% per tahun hingga tahun 2020 (Muchlis, 2003).

Matahari merupakan sumber energi utama bagi sebagian besar proses-proses yang terjadi di permukaan bumi. Radiasi matahari yang diterima permukaan bumi merupakan masukan fundamental untuk banyak aspek terutama merupakan parameter penting dalam aplikasi solar sel sebagai pembangkit listrik.

Fotovoltaik (sel matahari) merupakan piranti yang dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Energi matahari dapat menghasilkan daya hingga 156.486 MW, jumlah yang lebih besar jika dibandingkan dengan sumber energi terbarukan yang lainnya. Indonesia

merupakan negara yang terletak dalam jalur khatulistiwa yang sepanjang tahun mendapatkan cahaya matahari yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia. Pemanfaatan energi matahari sebagai PLTS sangat diminati dan mulai dikembangkan diseluruh pelosok negeri dengan melakukan banyak sekali penelitian serta pengujian.

Sebagian wilayah Indonesia yang belum terlistriki karena tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN, sehingga Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan sistemnya yang modular dan mudah dipindahkan merupakan salah satu solusi yang dapat dipertimbangkan sebagai salah satu pembangkit listrik alternatif. Sayangnya biaya pembangkitan PLTS masih lebih mahal apabila dibandingkan dengan biaya pembangkitan pembangkit listrik tenaga konvensional, karena sampai saat ini piranti utama untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik (modul fotovoltaik) masih merupakan piranti yang didatangkan dari luar negeri.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak dan biaya investasi PLTS yang bervariasi. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan pembangkit listrik alternatif terutama di daerah terpencil. Photovoltaic (selsurya) merupakan piranti yang dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemanfaatan energi surya sebagai PLTS. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengoptimalan energi surya menjadi energi listrik yaitu: pengaruh cuaca, kelembaban, temperatur, posisi sel surya serta arah angin yang terdapat pada permukaan sel surya. Apabila ada yang menutupi lapisan luar sel surya, maka cahaya yang akan diterima oleh semi konduktor akan berkurang dan akan berimbas secara langsung terhadap proses konversi energi.

II. DASAR TEORI

2.1 Sel surya

Sel surya atau yang disebut juga (*Fotovoltaik*) adalah piranti semiconductor yang dapat mengubah energi matahari secara langsung menjadi energi listrik DC (arus searah) dengan menggunakan kristal Si (*silicon*) yang tipis. Sebuah Kristal silindris Si diperoleh dengan cara

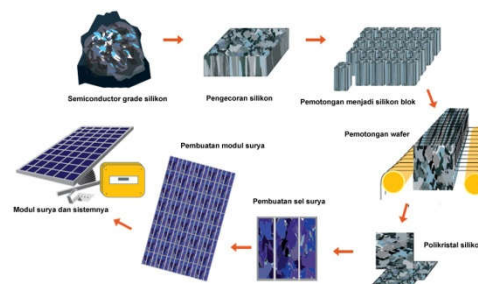
memanaskan Si itu dengan tekanan yang diatur sehingga Si itu berubah menjadi penghantar. Bila kristal silindris itu dipotong setebal 0,3 mm, akan terbentuklah sel-sel silikon yang tipis atau yang disebut juga dengan sel surya (*fotovoltaik*). Sel-sel silikon itu dipasang dengan posisi sejajar/seri dalam sebuah panel yang terbuat dari aluminium atau baja anti karat dan dilindungi oleh kaca atau plastik. Kemudian pada tiap-tiap sambungan sel itu diberi sambungan yang berbeda potensial yang menyatu disebut dengan daerah deplesi (*depletion region*). Bila sel-sel itu terkena sinar matahari maka pada sambungan itu akan mengalir arus listrik. Besarnya arus/tenaga listrik itu tergantung pada jumlah energi cahaya yang mencapai silikon itu dan luas permukaan sel itu

Ketika seberkas cahaya dikenakan pada logam, ada elektron yang keluar dari permukaan logam. Gejala ini disebut efek fotolistrik. Efek fotolistrik diamati melalui prosedur sebagai berikut. Dua buah pelat logam (lempengan logam tipis) yang terpisah ditempatkan di dalam tabung hampa udara. Di luar tabung kedua pelat ini dihubungkan satu sama lain dengan kawat. Mula-mula tidak ada arus yang mengalir karena kedua plat terpisah. Ketika cahaya yang sesuai dikenakan kepada salah satu pelat, arus listrik terdeteksi pada kawat. Ini terjadi akibat adanya elektron-elektron yang lepas dari satu pelat dan menuju ke pelat lain secara bersama-sama membentuk arus listrik. Hasil pengamatan terhadap gejala efek fotolistrik memunculkan sejumlah fakta yang merupakan karakteristik dari efek fotolistrik.

Listrik tenaga surya diperoleh dengan melalui sistem photo-voltaic. Photo-voltaic terdiri dari photo dan voltaic. Photo berasal dari kata Yunani phos yang berarti cahaya. Sedangkan voltaic diambil dari nama Alessandro Volta (1745 - 1827), seorang pelopor dalam pengkajian mengenai listrik. Sehingga photo-voltaic dapat berarti listrik-cahaya. Belakangan ini, photo-voltaic lebih sering disebut solar cell atau sel surya, karena cahaya yang dijadikan energi listrik adalah sinar matahari. Sel surya merupakan suatu pn junction dari silikon kristal tunggal. Dengan menggunakan photo-electric effect dari bahan semikonduktor, sel surya dapat langsung mengkonversi sinar matahari menjadi listrik searah (dc). Bila sel surya itu dikenakan pada sinar matahari, maka timbul yang dinamakan elektron dan hole. Elektron-elektron dan hole-hole yang timbul di sekitar pn junction bergerak berturut-turut ke arah lapisan n dan ke arah lapisan p. Sehingga pada saat elektron-elektron dan hole-hole itu melintasi pn junction, timbul beda potensial pada kedua ujung sel surya. Jika pada kedua ujung sel surya diberi beban maka timbul arus listrik yang mengalir melalui beban. Sebuah sel surya tunggal dapat menghasilkan listrik searah 3 volt dan 3 ampere. Sel-sel ini dapat dibuat dalam berbagai ukuran yang diinginkan dengan jalan menghubungkan seri sel-sel yang sama untuk membentuk modul sel surya dengan keluaran yang diperlukan.

2.2 Prinsip kerja fotovoltaik

Cahaya yang jatuh pada sel surya menghasilkan elektron yang bermuatan positif dan "hole" yang bermuatan negatif. Elektron dan "hole" mengalir membentuk arus listrik



Gambar. 2.1. Prinsip kerja sel surya

2.3 Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi merupakan bagian sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan, dan bertugas menyalurkan tenaga listrik dari stasiun-stasiun suplay tenaga listrik kepada pelanggan. Dalam pengoperasian sistem distribusi, masalah yang utama adalah mengatasi gangguan karena jumlah gangguan pada sistem distribusi relatif lebih banyak bila dibandingkan dengan jumlah gangguan pada sisi pembangkit maupun transmisi. Dengan memperhatikan masalah ini, maka dalam perencanaan pengembangan sistem tenaga listrik senantiasa disertai upaya-upaya guna penyempurnaan operasi sistem distribusi

Sistem tenaga listrik merupakan sistem sarana penyaluran tenaga listrik dari titik sumber ke titik pusat beban. Penyaluran tenaga listrik ini mempunyai peranan penting dalam menyuplai tenaga listrik ke konsumen, Hal ini dikarenakan apabila terjadi gangguan pada penyaluran tenaga listrik maka dapat mengakibatkan kerugian baik pada konsumen maupun pada PLN sendiri.

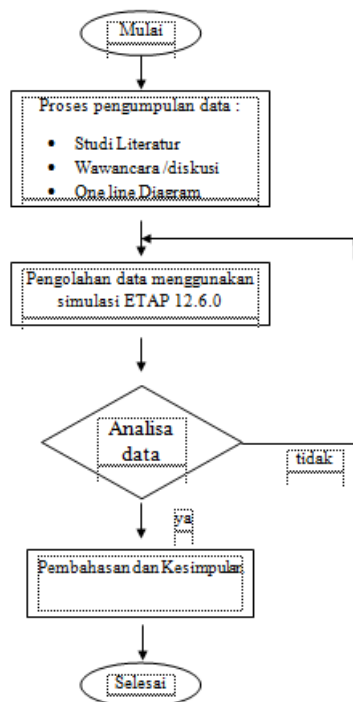
2.4 Pembangkit Tersebar (*Distributed Generation*)

Pembangkit tersebar (*Distributed Generation*) merupakan pembangkit energi listrik berkapasitas kecil dari sumber energi yang ada disekitarnya dan dihubungkan langsung pada jaringan distribusi. Distributed generation bukanlah pembangkit energi terbarukan, dikarenakan sumber energi yang dapat dimanfaatkan dalam pembangunan pembangkit tersebar ini bukan hanya sumber energi terbarukan saja, energi tidak terbarukan juga bisa dimanfaatkan.

Jaringan distribusi dari gardu induk sampai ke kWh meter ditempat konsumen, terdiri dari dua bagian yaitu jaringan distribusi primer atau yang dikenal dengan jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan tegangan sekunder atau yang dikenal dengan jaringan tegangan rendah (JTR). Jaringan tegangan menengah umumnya bekerja pada tegangan 20 kV, sedangkan jaringan tegangan rendah umumnya bekerja pada tegangan 380/220 Volt.

III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alur Penelitian



IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Aliran Daya pada Sistem Distribusi IEEE 34 bus

Berdasarkan data one line diagram IEEE 34 Bus dilanjutkan dengan mensimulasikan aliran daya (*load flow*) jaringan distribusi IEEE 34 Bus menggunakan *Electrical Transient and Analysis Simulation* (ETAP). Dari pengolahan data tersebut didapatkan profil tegangan dan rugi-rugi daya (*losses*), dimana hasil simulasi yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 data jatuh tegangan pada sistem distribusi IEEE 34 bus

Kode bus	Nominal (kv)	Tegangan		Keterangan
		Hasil simulasi (%)	(kV)	
Bus 800	24.9	100	24.9	jaringan primer
Bus 802	24.9	99.76	24.84024	jaringan primer
Bus 806	24.9	99.6	24.8004	jaringan primer
Bus 808	24.9	96.68	24.07332	jaringan primer
Bus 812	24.9	93.3	23.2317	jaringan primer
Bus 814	24.9	90.6	22.5594	jaringan primer
Bus 816	24.9	90.56	22.54944	jaringan primer
Bus 824	24.9	89.54	22.29546	jaringan primer
Bus 828	24.9	89.45	22.27305	jaringan primer
Bus 830	24.9	87.46	21.77754	jaringan primer
Bus 832	24.9	83.92	20.89608	jaringan primer
Bus 834	24.9	83.23	20.72427	jaringan primer
Bus 836	24.9	83.15	20.70435	jaringan primer
Bus 840	24.9	83.15	20.70435	jaringan primer
Bus 842	24.9	83.22	20.72178	jaringan primer
Bus 844	24.9	83.17	20.70933	jaringan primer
Bus 846	24.9	83.13	20.69937	jaringan primer
Bus 848	24.9	83.13	20.69937	jaringan primer
Bus 850	24.9	90.6	22.5594	jaringan primer

Bus 852	24.9	83.92	20.89608	jaringan primer
Bus 854	24.9	87.41	21.76509	jaringan primer
Bus 858	24.9	83.6	20.8164	jaringan primer
Bus 860	24.9	83.18	20.71182	jaringan primer
Bus 862	24.9	83.15	20.70435	jaringan primer
Bus 888	4.16	80.35	3.34256	jaringan sekunder
Bus 890	4.16	71.07	2.956512	jaringan sekunder

Dari data tabel 4.1 di atas berdasarkan simulasi aliran daya pada sistem distribusi IEEE 34 bus yang telah dilakukan, dapat dilihat 4 bus yang memiliki nilai tegangan dalam keadaan normal pada sistem ini dan 24 bus lainnya mengalami jatuh tegangan diatas 5% dari tegangan nominal. Sedangkan 8 bus lagi terdapat pada saluran 1 fasa yang mana pada penelitian ini diabaikan.

Nilai jatuh tegangan pertama di atas 5% terdapat pada bus 812 dalam kondisi *marginal* dengan besar jatuh tegangan 6,7% yaitu sebesar 1.66 kV. Jatuh tegangan yang paling tinggi terdapat pada bus 858 dengan besar jatuh tegangan 16% dari tegangan seharusnya atau sebesar 4,2 kV. Jatuh tegangan dalam kondisi *marginal* berjumlah 4 bus yaitu terdapat pada bus 812, 814, 816, dan 850, sedangkan jatuh tegangan dalam kondisi *critical* berjumlah 18 diantaranya 16 bus di jaringan primer yaitu terdapat pada bus 824, 828, 830, 832, 834, 836, 840, 842, 844, 846, 848, 852, 854, 858, 860, 862, dan 2 bus di jaringan sekunder yaitu terdapat pada bus 888 dan 890.

Total bus yang mengalami jatuh tegangan pada sistem distribusi IEEE 34 bus ini yaitu sebanyak 22 bus dengan rata-rata jatuh tegangan 12,95% atau 3,22 kV. Rata-rata jatuh tegangan pada sistem ini tergolong sangat besar karena banyak jatuh tegangan dalam kondisi *critical*, kondisi inilah yang perlu kita atasi agar tegangan yang diterima oleh pengguna energi listrik mendapatkan tegangan yang optimal.

Tabel 4.2 data rugi-rugi daya pada sistem distribusi IEEE 34 bus

kode saluran	Bus		Panjang Saluran	Rugi-Rugi Daya (kW)
	Dari	Ke		
Saluran 1	Bus 800	Bus 802	2580 ft	3.948
Saluran 2	Bus 802	Bus 806	1730 ft	2.649
Saluran 3	Bus 806	Bus 808	32230 ft	46.493
Saluran 4	Bus 808	Bus 812	37500 ft	53.726
Saluran 6	Bus 812	Bus 814	29730 ft	43.094
Saluran 7	Bus 814	Bus 850	10 ft	0.019
Saluran 8	Bus 850	Bus 816	310 ft	0.596
Saluran 12	Bus 816	Bus 824	10210 ft	15.651
Saluran 14	Bus 824	Bus 828	840 ft	1.214
Saluran 15	Bus 828	Bus 830	20440 ft	29.483
Saluran 16	Bus 830	Bus 854	520 ft	0.707
Saluran 18	Bus 854	Bus 852	36830 ft	50.09
Saluran 19	Bus 852	Bus 832	10 ft	0.014
Saluran 20	Bus 888	Bus 890	10560 ft	40.234
Saluran 21	Bus 832	Bus 858	4900 ft	3.114
Saluran 22	Bus 858	Bus 834	5830 ft	3.605
Saluran 23	Bus 834	Bus 860	2020 ft	0.193
Saluran 24	Bus 860	Bus 836	2680 ft	0.054
Saluran 25	Bus 836	Bus 862	280 ft	0
Saluran 27	Bus 836	Bus 840	860 ft	0.003
Saluran 29	Bus 834	Bus 842	280 ft	0.059
Saluran 30	Bus 842	Bus 844	1350 ft	0.282
Saluran 31	Bus 844	Bus 846	3640 ft	0.066
Saluran 32	Bus 846	Bus 848	530 ft	0.004
XF1-1	Bus 832	Bus 888	24,9 / 4,16 kV	11.425
Total				306.723 kW

Dari tabel 4.2 diatas, total rugi-rugi daya pada sistem IEEE 34 bus berjumlah 306,723 kW. Dimana terdapat tujuh

saluran yang memiliki rugi-rugi daya tinggi yaitu di atas 10 kW. Saluran yang memilikirugi-rugi daya sangatbesar yaitu pada saluran 4 yang menghubungkan bus 808 dengan bus 812 sebesar 53,726 kW, dengan panjang saluran 37500 ft yang mana saluran ini merupakan saluran dengan jarak terpanjang.

3.2 Analisa Pemasangan pembangkit tersebar pada sistem distribusi IEEE 34 bus

Berdasarkan pengolahan data aliran daya pada sistem distribusi IEEE 34 bus terjadi jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang sangat tinggi, dalam hal ini perlu diperbaiki dengan menggunakan pembangkit tersebar salah satunya menggunakan sistem fotovoltaik, pemasangannya dilakukan pada bus-bus berikut ini:

- Bus 812, merupakan bus yang memiliki jatuh tegangan pertama kali di atas 5%
- Bus 858, merupakan bus yang mengalami jatuh tegangan paling besar yaitu 16%
- Bus 848, merupakan bus yang paling jauh dari bus utama atau sumber energy listrik yaitu dengan jarak 191.730 ft.

4.2.1 Pemasangan pembangkit tersebar fotovoltaik pada Bus 812

Tabel 4.3 Data spesifikasi pembangkit tersebar pada bus 812 sistem distribusi IEEE 34 bus

Terminal bus	Jenis Fotovoltaik	Tipe	Panel		Inverter	
			Watt/panel	Total panel	DC	AC
Bus 812	SUNTECH	Poly-crystalline	282,5/1	7.08	2000 kW	1800 Kva

Dari tabel 4.3 di atas pemasangan pembangkit tersebar memiliki 282,5 watt per panel dengan total panel 7.080, maka akan menghasilkan tegangan DC 2000 kW pada inverter dan diubah ke tegangan AC menjadi 1800 kva. Untuk nilai jatuh tegangan setelah adanya pemasangan pembangkit tersebar dapat dilihat pada tabel 4.4 di bawah ini:

Tabel 4.4 data jatuh tegangan setelah pemasangan pembangkit tersebar pada bus 812 sistem distribusi IEEE 34 bus

Kode Bus	Nominal (KV)	Tegangan			
		Setelah Simulasi		Sebelum Simulasi	
		(%)	(kV)	(%)	(kV)
Bus 800	24.9	100	24.9	100	24.9
Bus 802	24.9	99.95	24.88755	99.76	24.84024
Bus 806	24.9	99.91	24.87759	99.6	24.8004
Bus 808	24.9	99.34	24.73566	96.68	24.07332
Bus 812	24.9	98.7	24.5763	93.3	23.2317
Bus 814	24.9	95.98	23.89902	90.6	22.5594
Bus 816	24.9	95.95	23.89155	90.56	22.54944
Bus 824	24.9	94.91	23.63259	89.54	22.29546
Bus 828	24.9	94.82	23.61018	89.45	22.27305
Bus 830	24.9	92.8	23.1072	87.46	21.77754
Bus 832	24.9	89.21	22.21329	83.92	20.89608
Bus 834	24.9	88.51	22.03899	83.23	20.72427
Bus 836	24.9	88.43	22.01907	83.15	20.70435
Bus 840	24.9	88.43	22.01907	83.15	20.70435
Bus 842	24.9	88.5	22.0365	83.22	20.72178
Bus 844	24.9	88.45	22.02405	83.17	20.70933
Bus 846	24.9	88.41	22.01409	83.13	20.69937
Bus 848	24.9	88.41	22.01409	83.13	20.69937
Bus 850	24.9	95.98	23.89902	90.6	22.5594
Bus 852	24.9	89.21	22.21329	83.92	20.89608
Bus 854	24.9	92.75	23.09475	87.41	21.76509
Bus 858	24.9	88.89	22.13361	83.6	20.8164

Bus 860	24.9	88.46	22.02654	83.18	20.71182
Bus 862	24.9	88.43	22.01907	83.15	20.70435
Bus 888	4.16	85.66	3.563456	80.35	3.34256
Bus 890	4.16	76.41	3.178656	71.07	2.956512

Nilai rata-rata jatuh tegangan setelah pemasangan fotovoltaik pada bus 812 ini memiliki nilai rata-rata jatuh tegangan 7,31% atau 1,8 kV kemudian menjadi turun sebesar 5,64 atau 1,4 kV dari rata-rata jatuh tegangan sebelum pemasangan pembangkit tersebar sebesar 12,95% dari tegangan nominal atau sebesar 3,2 kV.

Tabel 4.5 data rugi-rugi daya setelah pemasangan pembangkit tersebar pada bus 812 sistem distribusi IEEE 34 bus

Kode Saluran	Bus		Panjang Saluran	Rugi-Rugi Daya kW	
	Dari	Ke		Sesudah pemasangan Fotovoltaik	Sebelum pemasangan Fotovoltaik
Saluran 1	Bus 800	Bus 802	2580 ft	10.374	3.948
Saluran 2	Bus 802	Bus 806	1730 ft	0.85	2.649
Saluran 3	Bus 806	Bus 808	32230 ft	0.572	46.493
Saluran 4	Bus 808	Bus 812	37500 ft	12.598	53.726
Saluran 6	Bus 812	Bus 814	29730 ft	43.744	43.094
Saluran 7	Bus 814	Bus 850	10 ft	0.02	0.019
Saluran 8	Bus 850	Bus 816	310 ft	0.605	0.596
Saluran 12	Bus 816	Bus 824	10210 ft	16.061	15.651
Saluran 14	Bus 824	Bus 828	840 ft	1.247	1.214
Saluran 15	Bus 828	Bus 830	20440 ft	30.308	29.483
Saluran 16	Bus 830	Bus 854	520 ft	0.725	0.707
Saluran 18	Bus 854	Bus 852	36830 ft	51.439	50.09
Saluran 19	Bus 852	Bus 832	10 ft	0.014	0.014
Saluran 20	Bus 888	Bus 890	10560 ft	39.982	40.234
Saluran 21	Bus 832	Bus 858	4900 ft	3.249	3.114
Saluran 22	Bus 858	Bus 834	5830 ft	3.759	3.605
Saluran 23	Bus 834	Bus 860	2020 ft	0.198	0.193
Saluran 24	Bus 860	Bus 836	2680 ft	0.056	0.054
Saluran 25	Bus 836	Bus 862	280 ft	0	0
Saluran 27	Bus 836	Bus 840	860 ft	0.003	0.003
Saluran 29	Bus 834	Bus 842	280 ft	0.061	0.059
Saluran 30	Bus 842	Bus 844	1350 ft	0.297	0.282
Saluran 31	Bus 844	Bus 846	3640 ft	0.058	0.066
Saluran 32	Bus 846	Bus 848	530 ft	0.004	0.004
XFM-1	Bus 832	Bus 888	24,9/4,16 kV	11.353	11.425
Total				227.577 kW	306.723 kW

Dari tabel 4.5 setelah pemasangan pembangkit tersebar fotovoltaik pada bus 812 rugi-rugi daya yang ada pada sistem IEEE 34 bus ini berkurang 79,146 kW yang awalnya sebelum pemasangan fotovoltaik sebesar 306,723 kW, sehingga menjadi 227,557 kW. Rugi-rugi daya terbesar terdapat pada saluran yang memiliki jarak paling jauh pada saluran 4 yang sebelumnya memiliki rugi-rugi daya terbesar pada sebelum pemasangan fotovoltaik dan kini menjadi sebesar 0,003 kW.

4.2.2 Pemasangan Pembangkit Tersebar Fotovoltaik Pada Bus 858

Tabel 4.6 Data spesifikasi pembangkit tersebar pada bus 858 sistem distribusi IEEE 34 bus

Terminal bus	Jenis Fotovoltaik	Tipe	Panel		Inverter	
			Watt/panel	Total panel	DC	AC
Bus 858	SUNTECH	Poly-crystalline	282,5/1	7.08	2000 kW	1800 Kva

Dari tabel 4.6 diatas pemasangan pembangkit tersebar memiliki 282,5 watt per panel dengan total panel 7.080,

maka akan menghasilkan tegangan DC 2000 kW pada inverter dan diubah ke tegangan AC menjadi 1800 kva untuk bus 858.

Tabel 4.7 data jatuh tegangan setelah pemasangan pembangkit tersebar pada bus 858 sistem distribusi IEEE 34 bus

Kode Bus	Tegangan				
	Nominal (KV)	Setelah Simulasi (%) (kV)		Sebelum Simulasi (%) (kV)	
Bus 800	24.9	100	24.9	100	24.9
Bus 802	24.9	99.94	24.88506	99.76	24.84024
Bus 806	24.9	99.9	24.8751	99.6	24.8004
Bus 808	24.9	99.21	24.70329	96.68	24.07332
Bus 812	24.9	98.43	24.50907	93.3	23.2317
Bus 814	24.9	97.82	24.35718	90.6	22.5594
Bus 816	24.9	97.81	24.35469	90.56	22.54944
Bus 824	24.9	97.73	24.33477	89.54	22.29546
Bus 828	24.9	97.73	24.33477	89.45	22.27305
Bus 830	24.9	97.64	24.31236	87.46	21.77754
Bus 832	24.9	97.63	24.30987	83.92	20.89608
Bus 834	24.9	97.38	24.24762	83.23	20.72427
Bus 836	24.9	97.3	24.2277	83.15	20.70435
Bus 840	24.9	97.29	24.22521	83.15	20.70435
Bus 842	24.9	97.37	24.24513	83.22	20.72178
Bus 844	24.9	97.32	24.23268	83.17	20.70933
Bus 846	24.9	97.28	24.22272	83.13	20.69937
Bus 848	24.9	97.28	24.22272	83.13	20.69937
Bus 850	24.9	97.82	24.35718	90.6	22.5594
Bus 852	24.9	97.63	24.30987	83.92	20.89608
Bus 854	24.9	97.64	24.31236	87.41	21.76509
Bus 858	24.9	97.78	24.34722	83.6	20.8164
Bus 860	24.9	97.33	24.23517	83.18	20.71182
Bus 862	24.9	97.3	24.2277	83.15	20.70435
Bus 888	4.16	94.09	3.914144	80.35	3.34256
Bus 890	4.16	84.89	3.531424	71.07	2.956512

Nilai rata-rata jatuh tegangan hanya 2,06 % atau sebesar 0,56 kV dengan demikian jatuh tegangan sudah diperbaiki dari yang belum di pasang pembangkit tersebar fotovoltaik sebesar 12,06% atau 3,06 kV dan lebih baik sistem dari pembangkit tersebar fotovoltaik yang dipasang pada bus 812 sebesar 5,25 % atau 1,24 Kv

Tabel 4.8 Data rugi-rugi daya setelah pemasangan pembangkit tersebar fotovoltaik 858 sistem distribusi IEEE 34 bus

Kode Saluran	Bus			Rugi-Rugi Daya kW	
	Dari	Ke	Panjang Saluran	Setelah pemasangan Fotovoltaik	Sebelum pemasangan Fotovoltaik
Saluran 1	Bus 800	Bus 802	2580 ft	11.246	3.948
Saluran 2	Bus 802	Bus 806	1730 ft	0.929	2.649
Saluran 3	Bus 806	Bus 808	32230 ft	0.625	46.493
Saluran 4	Bus 808	Bus 812	37500 ft	13.603	53.726
Saluran 6	Bus 812	Bus 814	29730 ft	11.339	43.094
Saluran 7	Bus 814	Bus 850	10 ft	0.005	0.019
Saluran 8	Bus 850	Bus 816	310 ft	0.159	0.596
Saluran 12	Bus 816	Bus 824	10210 ft	4.726	15.651
Saluran 14	Bus 824	Bus 828	840 ft	0.386	1.214
Saluran 15	Bus 828	Bus 830	20440 ft	9.532	29.483
Saluran 16	Bus 830	Bus 854	520 ft	0.245	0.707
Saluran 18	Bus 854	Bus 852	36830 ft	17.802	50.09
Saluran 19	Bus 852	Bus 832	10 ft	0.005	0.014
Saluran 20	Bus 888	Bus 890	10560 ft	39.59	40.234
Saluran 21	Bus 832	Bus 858	4900 ft	2.974	3.114
Saluran 22	Bus 858	Bus 834	5830 ft	4.06	3.605
Saluran 23	Bus 834	Bus 860	2020 ft	0.209	0.193
Saluran 24	Bus 860	Bus 836	2680 ft	0.058	0.054
Saluran 25	Bus 836	Bus 862	280 ft	0	0
Saluran 27	Bus 836	Bus 840	860 ft	0.003	0.003
Saluran 29	Bus 834	Bus 842	280 ft	0.067	0.059
Saluran 30	Bus 842	Bus 844	1350 ft	0.324	0.282
Saluran 31	Bus 844	Bus 846	3640 ft	0.048	0.066
Saluran 32	Bus 846	Bus 848	530 ft	0.003	0.004
XFM-1	Bus 832	Bus 888	24,9 / 4,16 kV	11.242	11.425

Total		129.18 kW	306.723 kW
-------	--	-----------	------------

Dari tabel 4.8 setelah pemasangan pembangkit tersebar fotovoltaik pada bus 858 rugi-rugi daya yang ada pada sistem IEEE 34 bus ini berkurang 177,543 kW yang awalnya sebelum pemasangan fotovoltaik sebesar 306,723 kW, sehingga menjadi 129,18 kW. Rugi-rugi daya hanya terdapat pada saluran 20 yang berada pada jaringan sekunder dan pada saluran XFM-1.

4.2.3 pemasangan Pembangkit tersebar Fotovoltaik pada Bus 848

Tabel 4.9 Data spesifikasi pembangkit tersebar pada bus 848 sistem distribusi IEEE 34 bus

Terminal bus	Jenis Fotovoltaik	Tipe	Panel		Inverter	
			Watt/panel	Total panel	DC	AC
Bus 848	SUNTECH	Poly-crystalline	282,5/1	7.08	2000 kW	1800 Kva

Dari tabel 4.9 diatas pemasangan pembangkit tersebar memiliki 282,5 watt per panel dengan total panel 7.080, maka akan menghasilkan tegangan DC 2000 kW pada inverter dan diubah ke tegangan AC menjadi 1800 kva untuk bus 848.

Tabel 4.10 data jatuh tegangan setelah pemasangan pembangkit tersebar fotovoltaik pada bus 848 sistem distribusi IEEE 34 bus

Kode Bus	Tegangan				
	Nominal (KV)	Setelah Simulasi (%) (kV)		Sebelum Simulasi (%) (kV)	
Bus 800	24.9	100	24.9	100	24.9
Bus 802	24.9	99.94	24.88506	99.76	24.84024
Bus 806	24.9	99.89	24.87261	99.6	24.8004
Bus 808	24.9	99.18	24.69582	96.68	24.07332
Bus 812	24.9	98.38	24.49662	93.3	23.2317
Bus 814	24.9	97.74	24.33726	90.6	22.5594
Bus 816	24.9	97.73	24.33477	90.56	22.54944
Bus 824	24.9	97.64	24.31236	89.54	22.29546
Bus 828	24.9	97.64	24.31236	89.45	22.27305
Bus 830	24.9	97.53	24.28497	87.46	21.77754
Bus 832	24.9	97.48	24.27252	83.92	20.89608
Bus 834	24.9	97.8	24.3522	83.23	20.72427
Bus 836	24.9	97.72	24.33228	83.15	20.70435
Bus 840	24.9	97.71	24.32979	83.15	20.70435
Bus 842	24.9	97.82	24.35718	83.22	20.72178
Bus 844	24.9	97.9	24.3771	83.17	20.70933
Bus 846	24.9	98.22	24.45678	83.13	20.69937
Bus 848	24.9	98.27	24.46923	83.13	20.69937
Bus 850	24.9	97.74	24.33726	90.6	22.5594
Bus 852	24.9	97.48	24.27252	83.92	20.89608
Bus 854	24.9	97.53	24.28497	87.41	21.76509
Bus 858	24.9	97.62	24.30738	83.6	20.8164
Bus 860	24.9	97.75	24.33975	83.18	20.71182
Bus 862	24.9	97.72	24.33228	83.15	20.70435
Bus 888	4.16	93.95	3.90832	80.35	3.34256
Bus 890	4.16	84.74	3.525184	71.07	2.956512

Nilai rata-rata jatuh tegangan hanya 1,89 % atau sebesar 0,52 kV dengan demikian jatuh tegangan sudah diperbaiki dari yang belum di pasang pembangkit tersebar fotovoltaik sebesar 12,16% atau 3.09 kV dan lebih baik sistem dari pembangkit tersebar fotovoltaik yang dipasang pada bus 858 sebesar 0,17% atau 0,04 kV,

Tabel 4.11 Data rugi-rugi daya setelah pemasangan pembangkit tersebar fotovoltaik pada bus 848 sistem distribusi IEEE 34 bus

Kode Saluran	Bus		Panjang Saluran	Rugi-Rugi Daya kW	
	Dari	Ke		Sesudah pemasangan Fotovoltaik	Sebelum pemasangan Fotovoltaik
Saluran 1	Bus 800	Bus 802	2580 ft	11.436	3.948
Saluran 2	Bus 802	Bus 806	1730 ft	0.946	2.649
Saluran 3	Bus 806	Bus 808	32230 ft	0.636	46.493
Saluran 4	Bus 808	Bus 812	37500 ft	13.821	53.726
Saluran 6	Bus 812	Bus 814	29730 ft	11.517	43.094
Saluran 7	Bus 814	Bus 850	10 ft	0.005	0.019
Saluran 8	Bus 850	Bus 816	310 ft	0.162	0.596
Saluran 12	Bus 816	Bus 824	10210 ft	4.773	15.651
Saluran 14	Bus 824	Bus 828	840 ft	0.39	1.214
Saluran 15	Bus 828	Bus 830	20440 ft	9.609	29.483
Saluran 16	Bus 830	Bus 854	520 ft	0.247	0.707
Saluran 18	Bus 854	Bus 852	36830 ft	17.909	50.09
Saluran 19	Bus 852	Bus 832	10 ft	0.005	0.014
Saluran 20	Bus 888	Bus 890	10560 ft	39.585	40.234
Saluran 21	Bus 832	Bus 858	4900 ft	2.946	3.114
Saluran 22	Bus 858	Bus 834	5830 ft	3.578	3.605
Saluran 23	Bus 834	Bus 860	2020 ft	0.209	0.193
Saluran 24	Bus 860	Bus 836	2680 ft	0.058	0.054
Saluran 25	Bus 836	Bus 862	280 ft	0	0
Saluran 27	Bus 836	Bus 840	860 ft	0.003	0.003
Saluran 29	Bus 834	Bus 842	280 ft	0.269	0.059
Saluran 30	Bus 842	Bus 844	1350 ft	1.3	0.282
Saluran 31	Bus 844	Bus 846	3640 ft	5.573	0.066
Saluran 32	Bus 846	Bus 848	530 ft	0.855	0.004
XFM-1	Bus 832	Bus 888	24,9 / 4,16 kV	11.24	11.425
Total				137.072 kW	306.723 kW

Dari tabel 4.11 setelah pemasangan pembangkit tersebar fotovoltaik pada bus 848 rugi-rugi daya yang ada pada sistem IEEE 34 bus ini berkurang 169,651 kW yang awalnya sebelum pemasangan fotovoltaik sebesar 306,723 kW, sehingga menjadi 137,072 kW.

4.4 Rekapitulasi data perbaikan profil tegangan dan rugi-rugi daya

No	Pengujian	Jenis Jaringan	profil Tegangan			Rugi-rugi Daya (kW)
			Kondisi Baik (bus)	Kondisi Marginal (bus)	Bus Jatuh Tegangan Critical	
1	Aliran daya sistem distribusi IEEE 34 bus	Primer	4	4	16	255,064
		Sekunder	0	0	2	51,659
		Total	4	4	18	306,723
2	Pemasangan fotovoltaik pada bus 812 sistem distribusi IEEE 34 bus	Primer	8	4	12	176,242
		Sekunder	0	0	2	51,335
		Total	8	4	12	227,557
3	Pemasangan fotovoltaik pada bus 858 sistem distribusi IEEE 34 bus	Primer	24	0	0	78,348
		Sekunder	0	1	1	50,832
		Total	24	1	1	129,18
4	Pemasangan fotovoltaik pada bus 848 sistem distribusi IEEE 34 bus	Primer	24	0	0	86,247
		Sekunder	0	1	1	50,824
		Total	24	1	1	137,072

Dari hasil pembahasan di atas penentuan pemasangan fotovoltaik dan kapasitas pembangkit tersebar pada sistem IEEE 34 menggunakan 3 lokasi yang berbeda, pemasangan pembangkit tersebar lebih baik pada bus 858 dengan nilai rata-rata jatuh tegangan pada sistem ini sebesar 2,06% dari tegangan sebenarnya yang mana telah berada pada batas seharusnya di bawah 5 % dan rugi-rugi daya total sebesar 129.18 kW.

Secara keseluruhan pemasangan pembangkit tersebar fotovoltaik pada sistem distribusi mampu memperbaiki jatuh tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya, walau pada jaringan sisi sekunder masih memiliki jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang besar. Hal ini merupakan adanya faktor-faktor lain diantaranya yaitu kelebihan beban pada trafo dan panjang saluran pada jaringan sekunder ini.

V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh penentuan fotovoltaik dan kapasitas pembangkit tersebar pada sistem distribusi IEEE 34 bus, adapun kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. sistem distribusi ini nilai rugi-rugi daya total sebesar 306,723 kW dan rugi-rugi daya terbesar pada saluran 4 sebesar 53,726 kW yang menghubungkan bus 808 dengan bus 812.
2. Pada sistem distribusi IEEE 34 bus memiliki nilai rata-rata jatuh tegangan 12,95% dari tegangan nominal dan jatuh tegangan yang paling tinggi terdapat pada bus 858 dan 848 dengan besar jatuh tegangan 16% dari tegangan seharusnya atau sebesar 4,2 kV.
3. Dengan menggunakan 3 lokasi yang berbeda, pemasangan pembangkit tersebar lebih baik pada bus 858 dengan nilai rata-rata jatuh tegangan pada sistem ini sebesar 2,06% dengan jatuh tegangan awal sebesar 12,95 %
4. Pembangkit tersebar fotovoltaik yang dipasang pada sistem distribusi IEEE 34 bus ini berkapasitas 1800 kVa

VI REFERENSI

- [1] Arismunandar W, (1995). Teknologi Rekayasa Surya, Cetakan Pertama PT. Pradya Paramita, Jakarta.
- [2] Bujongjit, S. (2007). Analysis Of Grid-Connected Photovoltaik System Using PSIM. *Bujongjit2017*, 112-115.
- [3] Dalam, H. D. (2013). Analisis Susut Energi Pada Sistem Jaringan Distribusi Di PT. PLN APJ Yogyakarta UPJ Wonosari Unit Semanu. Seminar Nasional *Informatika 2013*, 22-31.
- [4] Gonen, T. (1996). *Electrical Power Distribution System Engineering*. Turki
- [5] Maulana, S. (2012). Program Aliran Daya Untuk Analisis Sistem Distribusi Dengan Penambahan Photovoltaik Model. *65-88-1-SM,1*, 1-10.
- [6] Sudirman, S. (2012). *Analisis Sistem Tenaga*. Bandung: Kanayakan.
- [7] Robert S, Simon. (1996). *Solar Electricity, A Practical Guide to Designing and installing small Photovoltaic System*, New York: Prentice Hill.
- [8] Windiarso, (2000). *PLTS 150 W*, Jakarta: Proyek Pendidikan Kejuruan dan Teknologi Jakarta.

- [9] Yahyaoui, I. (2016). Control Strategy For Small-Scale Photovoltaic system. *Dept. Electric Engineering*, 1-6
- [10] Zuhail. (1991). Dasar Tenaga Listrik. ITB Bandung, Bandung.
- [11] Wibo, A. (n.d.). *energi surya*. Retrieved Oktober 2018, from <http://energisurya.wordpress.com>
- [12] Wikipedia.org. *Solar Cell*. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell. Disunting tanggal 22 November 2018