

SIMULASI DAN ANALISA PEMASANGAN DISTRIBUTED GENERATION (DG) FUEL CELL DAN PENGARUHNYA TERHADAP INTERKONEKSI SISTEM DISTRIBUSI

Asran, Misbahul Jannah , Adi Setiawan

Jurusan Teknik Elektro Universitas Malikussaleh
E-mail : asran@unimal.ac.id

Abstrak— Pertumbuhan penduduk di Indonesia semakin lama semakin meningkat, dengan meningkatnya jumlah penduduk maka kebutuhan akan energi listrik pun juga akan semakin meningkat sehingga pihak penyedia energi listrik semakin lama semakin banyak membutuhkan energi listrik tersebut. Pembangkit listrik konvensional pada umumnya didesain dalam skala besar, terpusat, dan dibangun jauh dari pusat beban sehingga membutuhkan jaringan transmisi dan distribusi untuk menyalurkan tenaga listrik, hal ini menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan. Untuk mengatasi masalah tersebut salah satunya adalah dengan memasang *Distributed Generation* (DG). Untuk kapasitas DG itu sendiri perlu disesuaikan dengan kebutuhan tetapi tidak boleh melebihi kapasitas dari pusat pembangkit. Dalam penelitian ini pemasangan *Distributed Generation* (DG) pada bus 862 mampu memperbaiki jatuh tegangan menjadi 0,19 kV dan rugi-rugi daya menjadi 17,703 kW.

Keywords— *Sistem distribusi, distributed generation, rugi-rugi daya*

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik konvensional pada umumnya didesain dalam skala besar, terpusat, dan dibangun jauh dari pusat beban sehingga membutuhkan jaringan transmisi dan distribusi untuk menyalurkan tenaga listrik. Sistem tenaga listrik konvensional terdiri atas tiga bagian yaitu sistem pembangkitan transmisi dan distribusi yang berhubungan dengan beban. Di jaman ini pertumbuhan penduduk di Indonesia semakin lama semakin meningkat, maka kebutuhan akan energi listrik pun juga ikut meningkat, sehingga pihak penyedia energi listrik semakin lama tidak akan sanggup untuk mencukupi kebutuhan energi listrik tersebut. Untuk itu mulailah dicari-cari cara untuk dapat mengatasi permasalahan tersebut, salah satunya dengan memasang *Distributed Generation*[1].

Pemasangan DG secara tersebar ke dalam sistem tenaga listrik dapat memberikan dampak yang positif. Dampak positif yang akan ditimbulkan adalah meningkatkan keandalan suplai sistem, mengurangi rugi-rugi daya, meningkatkan kualitas daya, memperbaiki profil tegangan. Ray K Jaganathan dan Tapan K Saha (2004) menjelaskan tentang 3 penempatan DG dalam sistem distribusi sehingga mampu mengurangi rugi-rugi daya. Penempatan DG pada lokasi dengan profil tegangannya paling jelek memberikan

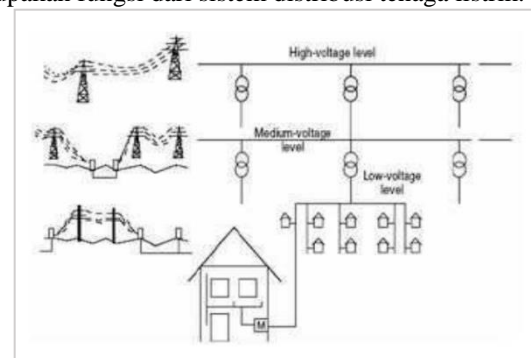
dampak positif pada sistem. *Distributed generation* (DG) adalah pembangkit tenaga listrik skala kecil (kapasitas antara 50 kW sampai 400 MW), tersebar, teknologi ramah lingkungan dan terhubung secara langsung ke jaringan sistem distribusi. *Distributed Generation* (DG) mulai banyak di aplikasikan pada sistem tenaga listrik, karena semakin meningkatnya kebutuhan, dan untuk menghilangkan biaya-biaya transmisi dan distribusi yang tidak perlu.[2] [3][4]

Sasaran dari penelitian ini adalah dengan pemasangan DG, maka akan terjadi perubahan besar arus pada suatu saluran tertentu sehingga akan berpengaruh terhadap profil tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi.

II DASAR TIORI

2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi pada sistem tenaga listrik merupakan salah satu bagian pada penyaluran tenaga listrik dari gardu induk sampai pelanggan/konsumen tenaga listrik. Penyaluran dan pendistribusian tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban dengan mutu yang memenuhi merupakan fungsi dari sistem distribusi tenaga listrik.



Gambar 2.1 Skema Penyaluran tenaga listrik jaringan distribusi

Klasifikasi sistem distribusi tenaga listrik terbagi menjadi dua ini berdasarkan tingkat tegangan distribusinya. Dalam mendistribusikan sistem tenaga listrik ke konsumen, tegangan yang digunakan bervariasi tergantung pada jenis konsumen yang membutuhkan. Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian sistem, yaitu :

- Sistem distribusi primer

- Sistem distribusi sekunder

2.3 Konfigurasi Jaringan Distribusi Primer

Penyulang yang ada di suatu kawasan/daerah biasanya lebih dari satu penyulang. Semakin besar dan kompleks beban yang dilayani di suatu kawasan/ daerah, maka semakin banyak pula jumlah penyulang yang diperlukan. Beberapa penyulang berkumpul di suatu titik yang disebut Gardu Hubung (GH). Gardu hubung adalah suatu instalasi peralatan listrik yang berfungsi sebagai :

1. Titik pengumpul dari satu atau lebih sumber dan penyulang.
2. Tempat pengalihan beban apabila terjadi gangguan pada salah satu jaringan yang dilayani.

Gabungan beberapa penyulang dapat membentuk beberapa tipe sistem jaringan distribusi primer. Berdasarkan bentuk atau polanya, tipe sistem jaringan distribusi primer dapat dibagi menjadi empat, yaitu :

1. Sistem *radial*
2. Sistem lingkaran (*loop/ring*) dan lingkaran terbuka (*open loop/open ring*)
3. Sistem *spindle*
4. Sistem gugus (*cluster*)

Masing-masing tipe sistem jaringan distribusi primer tersebut mempunyai karakteristik serta keuntungan dan kerugian masing-masing.

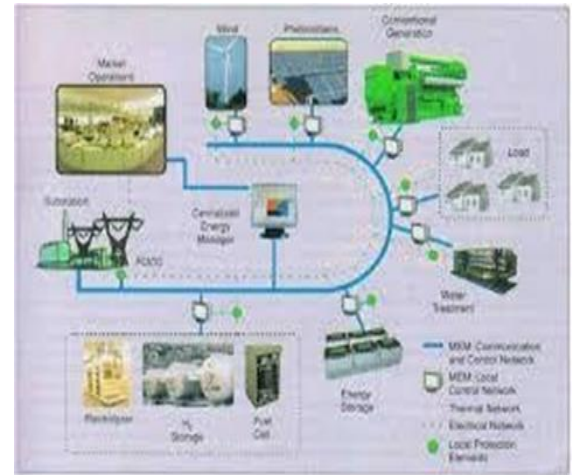
2.5 Pembangkit Listrik Terdistribusi (Distributed Generation)

2.5.1 Pengertian Distributed Generation

Distributed Generation (DG) atau biasa dikenal dengan *Distributed energy, on-site generation* (OSG), *Distributed power, district /decentralized energy* memiliki beberapa pengertian menurut beberapa instansi dan ahli adalah sebagai berikut:

1. *Distributed power generation* adalah teknologi pembangkitan energi listrik berskala kecil yang menghasilkan daya listrik di suatu tempat yang lebih dekat dengan konsumen dibandingkan dengan pembangkit listrik pusat. Pembangkit ini dapat dihubungkan secara langsung ke konsumen atau ke sistem distribusi.
2. *Distributed Generation* adalah pembangkit listrik yang melayani konsumen di tempat (*on-site*), atau untuk mendukung jaringan distribusi, dan terhubung ke jaringan pada level tegangan distribusi.
3. *Distributed Generation* sebagai pembangkitan yang menghasilkan energi dalam kapasitas yang lebih kecil dibandingkan pusat-pusat pembangkit konvensional dan dapat dipasangkan hampir pada setiap titik sistem tenaga listrik.
4. *Distributed Generation* adalah sumber energi listrik yang secara langsung terhubung ke jaringan distribusi atau ke meteran konsumen. Semua definisi di atas menunjukkan bahwa *Distributed Generation* (DG) merupakan pembangkit yang dihubungkan langsung ke jaringan distribusi konsumen, tidak seperti pembangkit listrik

terpusat dimana jarak antara pembangkit dan beban yang jauh, sehingga daya yang dibangkitkan oleh pembangkit listrik harus dikirim melalui saluran transmisi. Konfigurasi sistem pembangkit terdistribusi dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut :



Gambar 2.9 Skema pembangkit listrik terdistribusi

Distributed Generation dapat dikelompokkan berdasarkan besar daya yang dihasilkan sebagai berikut:

1. Micro DG : 1 watt < 5 kW
2. Small DG : 5 kW < 5 MW
3. Medium DG : 5 MW < 50 MW
4. Large DG : 50 MW < 300 MW

Distributed Generation (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 dipasang pada jam-jam beban puncak atau peaking unit. Karakteristik *Distributed Generation* adalah skala kecil, terdistribusi dan dekat dengan pusat beban (*closed to load*), terinterkoneksi dengan sistem distribusi, membatasi pembangunan jaringan transmisi dan memiliki aliran daya satu arah. Pembangkit ini ramah lingkungan, andal dalam merespon perubahan beban, mengurangi penggunaan bahan bakar fosil, doregulasi dalam pasar kelistrikan dan sejumlah keuntungan lainnya.[2][5][6]

II METODOLOGI PENELITIAN

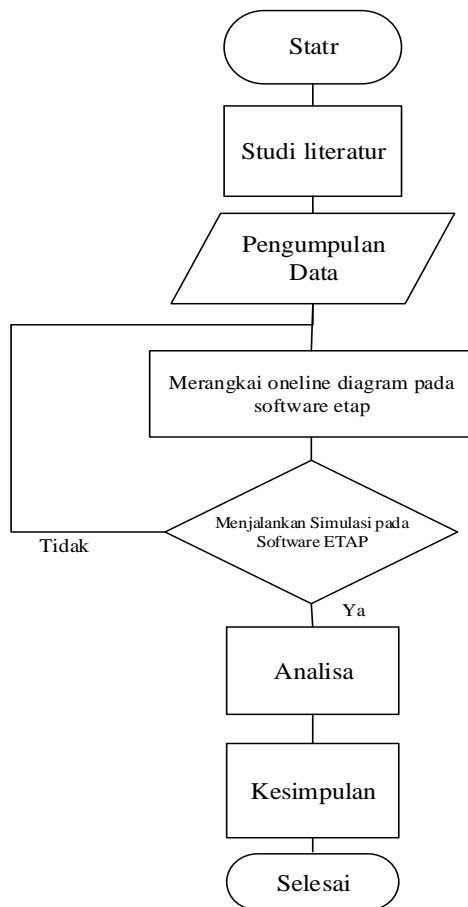
Pembangkitan terdistribusi (*Distributed Generation*) adalah sistem pembangkitan listrik dari banyak sumber-sumber energi kecil. Kelebihannya bila dibandingkan dengan sistem kelistrikan yang terpusat adalah dapat beroperasi secara independen, wilayah pengoperasian tidak perlu yang besar dan rumit, jaringan transmisi pendek dan dapat menggunakan sumber energi pembangkitan yang bersesuaian dengan kawasan yang akan dialiri listrik. Pembangkitan terdistribusi (DG) dapat mengurangi rugi-rugi energi pada transmisi listrik, karena pemasangannya dekat dengan pengguna.

Pada penelitian ini melakukan pengumpulan data dengan mencari sebanyak mungkin referensi yang berkaitan dengan *Distributed Generation* (DG) dengan menggunakan software ETAP 12.6, baik dari buku, jurnal maupun artikel.

Pengumpulan Data dilakukan dengan mencari segala parameter-parameter yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu tentang sistem distribusi IEEE 34 bus. Selanjutnya merangkai oneline diagram IEEE 34 bus pada software ETAP 12.6 dan menjalankannya untuk mendapatkan hasil yang dibutuhkan. Setelah mendapatkan hasil yang diinginkan, selanjutnya dilakukan analisa pada sistem distribusi IEEE 34 bus ini, seperti profil tegangan, jatuh tegangan, dan rugi-rugi daya. Setelah melakukan analisa pada sistem distribusi IEEE 34 bus, maka dapat diambil beberapa kesimpulan dari penelitian ini.

3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian ini adalah sebagai berikut:

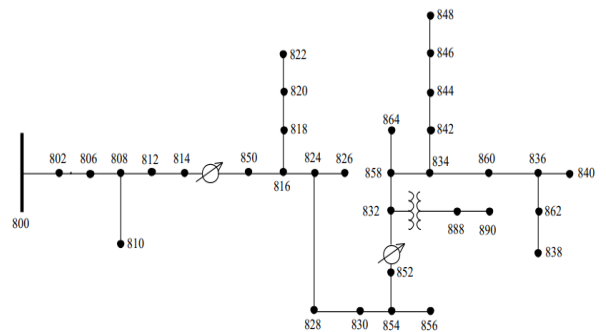


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Jenis-Jenis Data

Adapun jenis-jenis data yang diperoleh data Sekunder yaitu *data IEEE 34 bus* :

3.2.1 Data One-Line Diagram Jaringan Radial IEEE 34 bus



Gambar 3.2 One line diagram sistem distribusi IEEE 34 bus

Data oneline diagram diatas meliputi:

1. Sumber pembangkit
2. Bus beserta kode bus
3. Data trafo
4. Panjang saluran
5. Jenis Kabel
6. Jarak tiang antar fasa
7. Beban

3.2.2 Data Beban

Data beban terdiri dari 2 jenis beban, beban spot dan beban distribusi. Beban spot adalah beban yang terhubung pada bus beban sedangkan beban distribusi di asumsikan sebagai beban yang terhubung sepanjang jaringan distribusi.

Tabel 3. 1 Data beban spot

Bus	Beban						
	Model	Fasa 1		Fasa 2		Fasa 3	
		P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q
860	Y-PQ	20	16	20	16	20	16
840	Y-I	9	7	9	7	9	7
844	Y-Z	135	105	135	105	135	105
848	D-PQ	20	16	20	16	20	16
890	D-I	150	75	150	75	150	75
830	D-Z	10	5	10	5	25	10
Total		344	224	344	224	359	229

*Penelitian ini menggunakan data IEEE 34 bus

Tabel 3.2 Data Beban Distribusi

Dari Bus ke Bus		Model	Beban					
A	B		Fasa 1		Fasa 2		Fasa 3	
			P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)
802	806	Y-PQ	0	0	30	15	25	14
808	810	Y-I	0	0	16	8	0	0
818	820	Y-Z	34	17	0	0	0	0
820	822	Y-PQ	135	70	0	0	0	0
816	824	D-I	0	0	5	2	0	0
824	826	Y-I	0	0	40	20	0	0
824	828	Y-PQ	0	0	0	0	4	2
828	830	Y-PQ	7	3	0	0	0	0
854	856	Y-PQ	0	0	4	2	0	0
832	858	D-Z	7	3	2	1	6	3
858	864	Y-PQ	2	1	0	0	0	0
858	834	D-PQ	4	2	15	8	13	7
834	860	D-Z	16	8	20	10	11	55
860	836	D-PQ	30	15	10	6	42	22
836	840	D-I	18	9	22	11	0	0
862	838	Y-PQ	0	0	28	14	0	0
842	844	Y-PQ	9	5	0	0	0	0
844	846	Y-PQ	0	0	25	12	20	11
846	848	Y-PQ	0	0	23	11	0	0
Total			262	133	240	120	220	114

*Penelitian ini menggunakan data IEEE 34 bus

3.2.3 Data Subsistem dan Data Trafo

Tabel 3.3 Data Subsistem dan Data Trafo

	kVA	kV - High	kV - Low	R - %	X - %
Subsystem	2500	69 - D	24,9 - Gr W	1	8
XFM - 1	500	24,9 - Gr. W	4,16 - Gr W	1,9	4,08

*Penelitian ini menggunakan data IEEE 34 bus

3.2.4 Data Spesifikasi Kabel

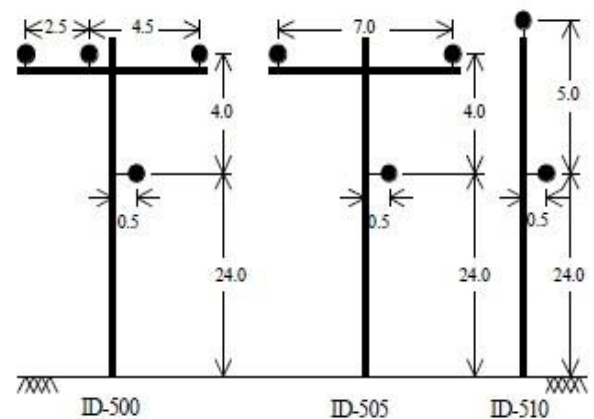
Tabel 3.4 Data Spesifikasi Kabel

Ukuran Konduktor (AWG)	Tipe Konduktor	Tahanan Konduktor Pada 50° (ohm/mil)	Diameter Luar Konduktor (inchi)	Radius Geometri Rata-rata (ft)	Ampacity Pada 50° (amps)
1000	AA	0,105	1,15	0,0368	698
556,5	AC SR	0,1859	0,927	0,0313	730
500	AA	0,206	0,813	0,026	483

336,4	AC SR	0,306	0,721	0,0244	530
250	AA	0,41	0,567	0,0171	329
#4/0	AC SR	0,592	0,563	0,00814	340
#2/0	AA	0,769	0,414	0,0125	230
#1/0	AC SR	1,12	0,398	0,00446	230
#1/0	AA	0,97	0,368	0,0111	310
#2	AA	1,54	0,292	0,00883	156
#2	AC SR	1,69	0,316	0,00418	180
#4	AC SR	2,55	0,257	0,00452	140
#10	CU	5,903	0,102	0,00331	80
#12	CU	9,375	0,081	0,00262	75
#14	CU	14,872	0,064	0,00208	20

*Penelitian ini menggunakan data IEEE 34 bus

3.2.5 Data Spesifikasi Tinggi Tiang dan Jarak Antar Fasa



Gambar 3. 3 Data spesifikasi tinggi tiang

IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Aliran Daya Pada Sistem Distribusi IEEE 34 Bus

Berdasarkan data one diagram IEEE 34 Bus seperti pada gambar 3.1, dilanjutkan dengan melakukan simulasi aliran daya (load flow) jaringan distribusi IEEE 34 Bus menggunakan Electrical Transient and Analysis Simulation (ETAP). Dari pengolahan data tersebut didapat profil tegangan 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	Tegangan			
	Nominal kV	Hasil Simulasi		
		(%)	(kV)	Jatuh Tegangan (kV)
Bus 800	24,9	100	24,9	0
Bus 802	24,9	99,83	24,85767	0,04233
Bus 806	24,9	99,51	24,77799	0,12201
Bus 808	24,9	97,48	24,27252	0,62748
Bus 812	24,9	95,13	23,68737	1,21263
Bus 814	24,9	93,27	23,22423	1,67577
Bus 816	24,9	93,2	23,2068	1,6932
Bus 824	24,9	91,65	22,82085	2,07915
Bus 828	24,9	91,53	22,79097	2,10903
Bus 830	24,9	88,64	22,07136	2,82864
Bus 832	24,9	83,65	20,82885	4,07115
Bus 834	24,9	82,63	20,57487	4,32513
Bus 836	24,9	82,52	20,54748	4,35252
Bus 840	24,9	82,52	20,54748	4,35252
Bus 842	24,9	82,61	20,56989	4,33011
Bus 844	24,9	82,57	20,55993	4,34007
Bus 846	24,9	82,53	20,54997	4,35003
Bus 848	24,9	82,53	20,54997	4,35003
Bus 850	24,9	93,26	23,22174	1,67826
Bus 852	24,9	83,65	20,82885	4,07115
Bus 854	24,9	88,57	22,05393	2,84607
Bus 858	24,9	83,17	20,70933	4,19067
Bus 860	24,9	82,56	20,55744	4,34256

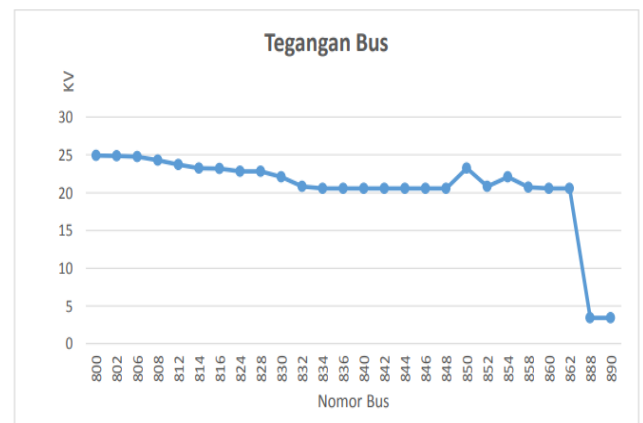
Bus 862	24,9	82,52	20,54748	4,35252
Bus 888	4,16	82,28	3,422848	0,737152
Bus 890	4,16	82,2	3,41952	0,74048

Ket : ■ = Batas kritis (%) ■ = Batas marginal (%)

Dari data hasil simulasi diatas berdasarkan aliran daya pada sistem distribusi pada sistem IEEE 34 Bus yang telah dilakukan, terdapat 5 bus yang memiliki nilai tegangan dalam keadaan normal. Sedangkan 21 bus lainnya mengalami jatuh tegangan diatas 5% dari tegangan normal. Sedangkan 8 bus lagi terdapat pada saluran 1 fasa yang mana pada penelitian ini nilai nya di abaikan.

Nilai jatuh tegangan pertama diatas 5% terdapat pada bus 814 dalam kondisi marginal dengan jatuh tegangan 6,73% yaitu sebesar 1,67 kV. Terdapat 5 bus yang mengalami jatuh tegangan dalam kondisi marginal yaitu pada bus 814, 816, 824, 828, dan bus 850. Sedangkan bus yang mengalami jatuh tegangan pada kondisi critical berjumlah 19 bus, 17 bus terdapat pada jaringan primer yaitu bus 830, 832, 834, 836, 840, 842, 844, 846, 848, 850, 852, 854, 858, 860 dan 862, sedangkan pada jaringan sekunder terdapat 2 bus yaitu bus 888 dan bus 890. Sementara itu jatuh tegangan yang paling tinggi terdapat pada bus 862 dengan jatuh tegangan 17,48% atau sebesar 4,35 kV.

Total bus yang mengalami jatuh tegangan pada sistem distribusi IEEE 34 bus yaitu sebanyak 21 bus dengan rata-rata besar jatuh tegangan 11,95% atau sebesar 2,68 kV. Jatuh tegangan pada sistem ini tergolong besar karena banyak bus yang mengalami jatuh tegangan dalam kondisi critical, kondisi inilah yg perlu di perbaiki agar tegangan yang diterima oleh pelanggan energi listrik mendapatkan tegangan yang optimal. Data jatuh tegangan diatas dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini:



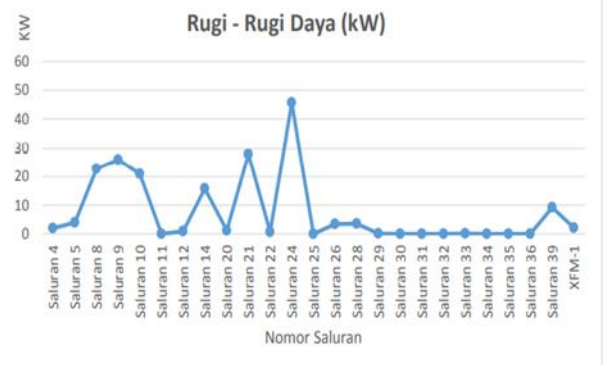
Gambar 4. 1 Tegangan bus pada sistem distribusi IEEE 34 bus

Pada sistem distribusi IEEE 34 Bus selain terjadi jatuh tegangan juga terjadi rugi-rugi daya yang di perlihatkan pada tabel dibawah ini:

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 4	800	802	2580 ft	2,003
Saluran 5	802	806	1730 ft	3,868
Saluran 8	806	808	32230 ft	22,733
Saluran 9	808	812	37500 ft	26,006
Saluran 10	812	814	29730 ft	20,897
Saluran 11	814	850	10 ft	0,027
Saluran 12	850	816	310 ft	0,846
Saluran 14	816	824	10210 ft	15,766
Saluran 20	824	828	840 ft	1,16
Saluran 21	828	830	20440 ft	27,865
Saluran 22	830	854	520 ft	0,646
Saluran 24	852	854	36830 ft	45,674
Saluran 25	832	852	10 ft	0,013
Saluran 26	858	832	4900 ft	3,331
Saluran 28	858	834	5830 ft	3,505
Saluran 29	834	860	2020 ft	0,153
Saluran 30	860	836	2680 ft	0,036
Saluran 31	836	840	860 ft	0
Saluran 32	842	834	280 ft	0,031
Saluran 33	844	842	1350 ft	0,136
Saluran 34	846	844	3640 ft	0,019
Saluran 35	848	846	530 ft	0,001
Saluran 36	862	836	280 ft	0
Saluran 39	888	890	10560	9,149
XFM-1	832	888	24,9 / 4,16 kV	2,078
Total				185,943

Dari data tabel 4.2 diatas, total rugi-rugi daya pada sistem distribusi IEEE 34 bus sebesar 185,943 kW, dimana terdapat 6 saluran yang memiliki rugi-rugi daya yang cukup besar yaitu diatas 10 kW, sedangkan saluran yang memiliki rugirugi daya paling besar yaitu pada saluran 24 yang menghubungkan antara bus 852 dan 854 sebesar 45,674 kW dengan panjang saluran 36830 ft. Data rugi-rugi daya pada setiap saluran dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini:



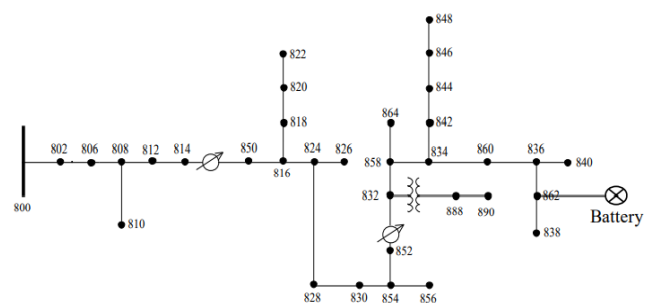
Gambar 4. 2 Rugi-rugi daya pada sistem distribusi IEEE 34 bus

Dari grafik diatas terdapat beberapa saluran tidak terlihat rugi-rugi daya yang berpengaruh, karena memiliki nilai dibawah 1 kW. Rugi-rugi daya yang tinggi yang terjadi pada sistem tersebut dipengaruhi oleh panjang saluran, dimana dapat dilihat pada gambar 4.2 terlihat bahwa saluran yang memiliki jarak yang panjang yang memiliki rugi-rugi daya yang tinggi.

Berdasarkan hasil analisa aliran daya pada sistem distribusi IEEE 34 bus, sistem ini masih memiliki permasalahan. Sehingga dapat dilakukan perbaikan sistem dengan melakukan pemasangan pembangkit tersebar pada sistem ini yang diharapkan mampu memperbaiki jatuh tegangan dan juga rugi-rugi daya pada sistem tersebut.

4.2.2 Pemasangan Pembangkit Tersebar Pada Bus 862

Pemasangan pembangkit tersebar pada bus 862 dihubungkan langsung pada sistem distribusi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3 berikut ini:



Gambar 4. 3 Pemasangan pembangkit tersebar pada bus 862 sistem distribusi IEEE 34 bus

Tabel 4.3 Data operasional pembangkit tersebar pada bus 862 sistem distribusi IEEE 34 bus

Identitas	Terminal Bus	Jenis	Kapasitas	Nilai Tegangan (kV)
Distributed Generation	862	Battery	1350 kVA	24,9 kV
Subsystem	800	Power Grid	2500 kVA	24,9 kV

Dari tabel 4.3 diatas, pemasangan pembangkit tersebar dengan kapasitas 900 kW pada sistem ini beroperasi sebesar 91,7% yang berarti pembangkit listrik dalam keadaan stabil dan bekerja lebih ringan dari pada pemasangan pada bus 814. Untuk nilai jatuh tegangan setelah dipasang pembangkit tersebar dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini:

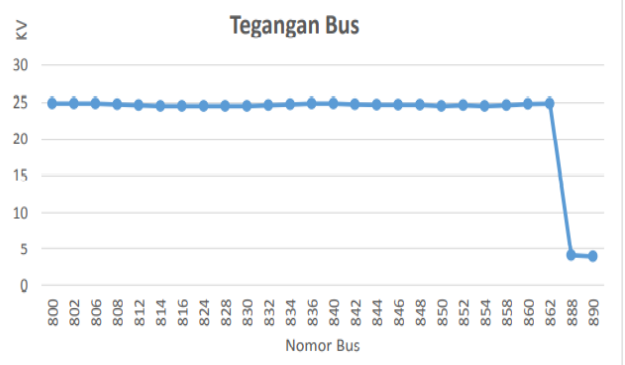
Tabel 4.4 Data jatuh tegangan setelah pemasangan pembangkit tersebar pada bus 862 sistem distribusi IEEE 34 bus

Kode Bus	Tegangan			
	Nominal kV	Hasil Simulasi		
		(%)	kV	Jatuh Tegangan (kV)
800	24,9	100	24,9	0
802	24,9	99,96	24,89004	0,00996
806	24,9	99,89	24,87261	0,02739
808	24,9	99,46	24,76554	0,13446
812	24,9	98,99	24,64851	0,25149
814	24,9	98,6	24,5514	0,3486
816	24,9	98,59	24,54891	0,35109
824	24,9	98,51	24,52899	0,37101
828	24,9	98,51	24,52899	0,37101
830	24,9	98,55	24,53895	0,36105
832	24,9	98,91	24,62859	0,27141
834	24,9	99,38	24,74562	0,15438
836	24,9	99,96	24,89004	0,00996
840	24,9	99,96	24,89004	0,00996
842	24,9	99,37	24,74313	0,15687
844	24,9	99,31	24,72819	0,17181
846	24,9	99,29	24,72321	0,17679
848	24,9	99,28	24,72072	0,17928
850	24,9	98,6	24,5514	0,3486
852	24,9	98,91	24,62859	0,27141
854	24,9	98,55	24,53895	0,36105
858	24,9	99,11	24,67839	0,22161
860	24,9	99,61	24,80289	0,09711
862	24,9	100	24,9	0
888	4,16	97,68	4,063488	0,096512
890	4,16	94,01	3,910816	0,249184

Ket : ■ = Batas kritis (%) ■ = Batas marginal (%)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pemasangan pembangkit tersebar dapat memperbaiki tegangan pada sistem, pemasangan pembangkit tersebar pada bus 862 ini mengalami perbaikan yang sangat tinggi. Jatuh tegangan hanya terjadi pada bus 890 pada sisi jaringan sekunder yaitu sebesar 0,24 kV dari tegangan nominal 4,16 kV.

Dari tabel 4.4 diatas, rata-rata nilai jatuh tegangan hanya 1,03% atau sebesar 0,19 kV dimana jatuh tegangan yang dapat diperbaiki mencapai 10,89% atau sebesar 2,47 kV dari sistem yang tidak di pasang pembangkit tersebar dan lebih baik 5,3% atau sebesar 1,19 kV dari pada sistem yang dipasang pembangkit tersebar pada bus 814. Untuk melihat peningkatan tegangan pada sistem dapat dilihat pada Gambar 4.4 dibawah ini:



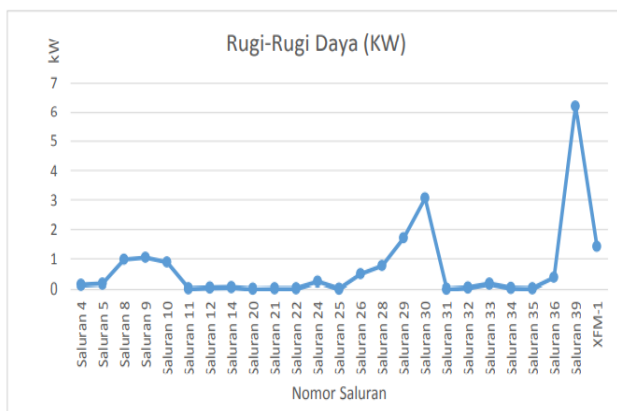
Gambar 4. 4 Tegangan setelah pemasangan pembangkit tersebar pada bus 862 sistem distribusi IEEE 34 bus

Tabel 4.5 Data rugi-rugi daya setelah pemasangan pembangkit tersebar pada bus 862 sistem distribusi IEEE 34 bus

Kode Saluran	Bus		Panjang Saluran	Rugi-Rugi Daya (kW)
	Dari	Ke		
Saluran 4	800	802	2580 ft	0,12
Saluran 5	802	806	1730 ft	0,163
Saluran 8	806	808	32230 ft	0,978
Saluran 9	808	812	37500 ft	1,039
Saluran 10	812	814	29730 ft	0,883
Saluran 11	814	850	10 ft	0,001
Saluran 12	850	816	310 ft	0,037
Saluran 14	816	824	10210 ft	0,042
Saluran 20	824	828	840 ft	0
Saluran 21	828	830	20440 ft	0,012
Saluran 22	830	854	520 ft	0,003
Saluran 24	852	854	36830 ft	0,229

Saluran 25	832	852	10 ft	0
Saluran 26	858	832	4900 ft	0,481
Saluran 28	858	834	5830 ft	0,759
Saluran 29	834	860	2020 ft	1,701
Saluran 30	860	836	2680 ft	3,056
Saluran 31	836	840	860 ft	0
Saluran 32	842	834	280 ft	0,036
Saluran 33	844	842	1350 ft	0,161
Saluran 34	846	844	3640 ft	0,015
Saluran 35	848	846	530 ft	0,001
Saluran 36	862	836	280 ft	0,363
Saluran 39	888	890	10560 ft	6,212
XFM-1	832	888	24,9 / 4,16 kV	1,411
Total				17,703

Dari tabel 4.5 diatas, rugi-rugi daya setelah dipasang pembangkit tersebar pada bus 862 mengalami penurunan yang sangat tinggi yaitu sebesar 17,703 kW, yang mana mengalami penurunan sebesar 168,24 kW dari sistem sebelum dipasang pembangkit tersebar, dan 90,282 kV dari sistem yang dipasang pembangkit tersebar pada bus 814. Untuk rugi-rugi daya tersebar terdapat pada saluran 39 yang menghubungkan antara bus 888 dengan bus 890 yaitu sebesar 6,212 kW. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.5 dibawah ini:



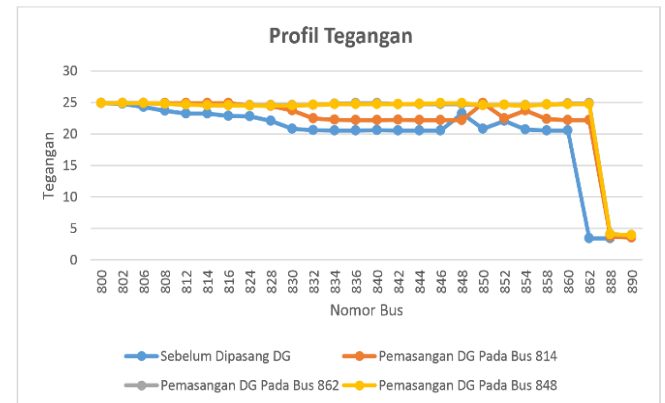
Gambar 4.5 Rugi-rugi daya setelah pemasangan pembangkit tersebar pada bus 862 sistem distribusi IEEE 34 bus

4.3 Analisa Perbandingan Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Pembangkit Tersebar

4.3.1 Perbandingan Profil Tegangan

Dari data profil tegangan yang didapat pada saat sebelum pemasangan pembangkit tersebar dengan setelah

pemasangan pembangkit tersebar, maka dapat dilihat pada gambar 4.6 dibawah ini



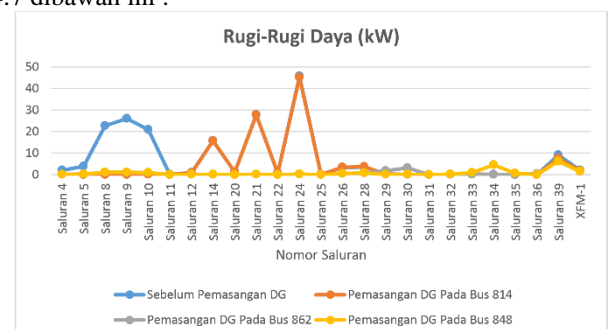
Gambar 4. 6 Perbandingan profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan pembangkit tersebar

Dari gambar 4.6 diatas, menunjukkan bahwa dengan adanya pemasangan pembangkit tersebar dapat memperbaiki profil tegangan. Berdasarkan *trial and error* untuk penempatan pembangkit tersebar pada bus 814 yang merupakan *rule of thumb* mampu memperbaiki profil tegangan 93,60%. Untuk pemasangan pembangkit tersebar pada bus 862 dengan kapasitas yang sama dapat memperbaiki profil tegangan 98,96%, dan untuk pemasangan pembangkit tersebar pada bus 848 dengan menggunakan kapasitas yang sama juga dapat memperbaiki profil tegangan 98,86%.

Dari semua penjelasan diatas, dapat kita simpulkan bahwa dimana pemasangan pembangkit tersebar pada bus 862 lebih baik dan lebih effisien dari pada pemasangan pembangkit tersebar pada bus 814 dan 848 dalam memperbaiki profil tegangan pada sistem distribusi IEEE 34 Bus.

4.3.2 Perbandingan Rugi-Rugi Daya Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Pembangkit Tersebar

Dari data losses (rugi-rugi daya) yang didapat pada saat sebelum pemasangan pembangkit tersebar dan sesudah pemasangan pembangkit tersebar dapat dilihat pada gambar 4.7 dibawah ini :



Gambar 4. 7 Perbandingan rugi-rugi daya sebelum dan setelah pemasangan pembangkit tersebar

Dari gambar 4.7 diatas, terlihat jelas bahwa dengan penambahan pembangkit tersebar dapat memperbaiki losses

(rugi-rugi daya) yang cukup besar, dimana dari grafik diatas hampir seluruh saluran yang memiliki losses dapat diredam.

Dari semua penjelasan diatas, maka dapat kita simpulkan bahwa dengan penambahan pembangkit tersebar dapat meredam losses pada sistem distribusi IEEE 34 Bus.

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

V KESIMPULAN

Adapun dari semua penjelasan diatas, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemasangan pembangkit tersebar pada sistem distribusi IEEE 34 bus mampu memperbaiki profil tegangan hingga mencapai 98,96% atau sebesar 23,11 kV dari tegangan awal 88,08% atau sebesar 20,61 kV
2. Jatuh tegangan pada bus 814 sebesar 35,97 kV, jatuh tegangan pada bus 848 sebesar 5,57 kV, dan jatuh tegangan pada bus 862 sebesar 5,00 kV, yang berarti jatuh tegangan semakin lama semakin menurun.
3. Rugi-rugi daya pada sistem distribusi IEEE 34 bus sebesar 185,943 kW, namun setelah dilakukan pemasangan DG nilai rugi-rugi daya menurun hingga 17,703 kW, yang berarti pemasangan DG pada sistem distribusi IEEE 34 bus mampu meredam atau mengurangi rugi-rugi daya.
4. Pada hasil simulasi sistem distribusi IEEE 34 bus, pemasangan pembangkit tersebar yang sesuai atau yang lebih efisien adalah pada bus 862, karena memiliki nilai rugi-rugi daya yang paling kecil.

V REFFERENSI

- [1] L. I. Dulău, M. Abrudean, and D. Bică, "Effects of Distributed Generation on Electric Power Systems," *Procedia Technol.*, vol. 12, pp. 681–686, 2014, doi: 10.1016/j.protcy.2013.12.549.
- [2] M. Nizam, "Pembangkit Listrik Terdistribusi (Distributed Generation) Sebagai Upaya Pemenuhan Kebutuhan Energi Listrik di Indonesia," *J. Kanika*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2008.
- [3] M. Musaruddin, A. Munawir, and S. Hay, "Pengaruh Pemasangan Pembangkit Terdistribusi (Distributed Generation) Terhadap Magnitude Arus Gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik," *Semin. Nas. Teknoka*, vol. 2, no. 2502, p. E-61-E-67, 2017.
- [4] E. K. Bawan, "Dampak Pemasangan Distributed Generation Terhadap Rugi-Rugi Daya," *J. Ilm. Foritek*, vol. 2, no. 21, pp. 216–223, 2012.
- [5] M. A. Uqaili, A. A. Sahito, I. A. Halepoto, Z. A. Memon, and S. B. Dars, "Short Circuit Level," no. May, pp. 1–5, 2011, doi: 10.13140/2.1.1710.0800.
- [6] T. K. S. Raj Kumar Jaganathan, "Voltage Stability Analysis of Grid Connected Embedded," *Australas.*