



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Jalan MT Haryono 167 Telp & Fax. 0341 554166 Malang 65145

**KODE
PJ-01**

**PENGESAHAN
PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

NAMA : SEPTIAN KEVIN ADIATAMA
NIM : 105060300111008 - 63
PROGRAM STUDI : TEKNIK ENERGI ELEKTRIK
**JUDUL SKRIPSI : ANALISIS PENGARUH PENYAMBUNGAN DISTRIBUTED
GENERATION PADA RUGI – RUGI DAYA SALURAN
DISTRIBUSI**

TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH:

Pembimbing I

Pembimbing II

Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D
NIP.19730520 200801 1 013

Dr. Rini Nur Hasanah, S.T.,M.Sc.
NIP.19680122 199512 2 001

ANALISIS PENGARUH PENYAMBUNGAN *DISTRIBUTED GENERATION* PADA RUGI – RUGI DAYA SALURAN DISTRIBUSI

Septian Kevin Adiatama¹, Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D², Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: septiankevin20@gmail.com

Abstrak—Akhir-akhir ini telah dikembangkan sistem pembangkitan energi mandiri yang dapat dikoneksikan pada jaringan distribusi. Pembangkit tersebut adalah pembangkit tersebar atau *Distributed Generation* (DG). Pembangkit tersebut diantaranya adalah mikrohidro, *wind turbine* dan sel surya. Beberapa pembangkit tersebut akan disambungkan pada saluran sistem distribusi 20 kV penyulang pujan untuk mengurangi rugi-rugi daya pada saluran tersebut. Rugi daya pada saluran distribusi 20 kV pada penyulang pujan sebelumnya adalah 0,3122 MW dan 0,3752 MVar pada saat beban maksimum dan pada saat beban minimum rugi dayanya adalah sebesar 0,0239 MW dan 0,0286 MVar. Setelah penyambungan tiga pembangkit tadi rugi daya pada penyulang pujan berkurang menjadi 0,31 MW dan 0,3725 MVar saat beban maksimum dan ketika beban minimum rugi dayanya berkurang menjadi 0,0232 MW dan 0,0279 MVar. Penyambungan tiga pembangkit tersebut juga menaikkan nilai tegangan di ujung saluran distribusi 20 kV penyulang pujan, dimana sebelum DG disambungkan nilai tegangan di ujung saluran saat beban maksimum adalah 17,8108 kV dan setelah DG disambungkan tegangan di ujung saluran naik menjadi 17,8344 kV.

Kata Kunci—*distributed generation*, rugi daya, saluran distribusi.

I. PENDAHULUAN

Rugi daya merupakan masalah yang belum dapat dipecahkan secara menyeluruh. Rugi-rugi daya hanya bisa diminimalisasi atau direduksi. Perkembangan baru dalam teknologi pembangkit tenaga listrik memungkinkan daya listrik yang akan dihasilkan oleh pembangkit listrik skala kecil relatif dekat dengan pusat-pusat konsumsi, yaitu langsung terhubung ke jaringan distribusi. *Distributed Generation* (DG) mencakup berbagai teknologi pembangkit seperti sistem fotovoltaik, turbin angin, sel bahan bakar, pembakaran internal mesin, turbin gas [1].

Integrasi DG sangat efektif dalam mengurangi kerugian daya di jaringan distribusi. Penelitian juga mengungkapkan bahwa manfaat maksimal dari DG dapat diperoleh jika perencanaan DG dilakukan dengan tepat [2]. Keberadaan pembangkit ini dikembangkan karena potensi yang dimiliki suatu wilayah atau daerah yang berbeda. Karena setiap pembangkit skala kecil menghasilkan energi yang kecil maka untuk dapat digunakan dan memiliki nilai ekonomis harus digabung menjadi satu sistem pembangkit listrik. Pemikiran ini muncul karena tidak memungkinkan membuat pembangkit listrik dengan skala besar, karena sumber energi yang digunakan

adalah energi terbarukan (bersumber dari kekayaan alam yang dapat diperbaharui). Sistem *Distributed Generation* mempunyai beberapa keuntungan diantaranya adalah menggunakan energi terbarukan yang ramah lingkungan seperti energi matahari, energi air dan energi angin [3].

Ketika DG dipasang dekat dengan gardu, kerugian saluran listrik berkurang. Mempertimbangkan kapasitas DG, jika kapasitas DG tidak terlalu besar, angka rugi-rugi saluran listrik akan menurun. Namun, jika kapasitas DG menjadi lebih besar dan jarak antara DG dan beban lebih panjang, kerugian daya cenderung meningkat [4]. Tugas akhir ini dibuat dengan tujuan untuk mengetahui besar dari rugi-rugi daya yang terjadi pada sistem sebelum dipasang DG dan mengetahui pengaruh penambahan *Distributed Generation* (DG) terhadap rugi-rugi daya yang terjadi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Distribusi Listrik

Ada tiga bagian penting dalam proses penyaluran tenaga listrik yaitu Pembangkitan, Penyaluran (transmisi) dan distribusi. Tegangan sistem distribusi dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian besar yaitu distribusi primer (20kV) dan distribusi sekunder (380/220V). Jaringan distribusi 20kV sering disebut sistem distribusi tegangan menengah dan jaringan distribusi 380/220V sering disebut jaringan distribusi sekunder atau disebut jaringan tegangan rendah 380/220V. Jaringan pada sistem distribusi tegangan menengah (primer 20kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model yaitu jaringan radial, jaringan hantaran penghubung (tie line), jaringan lingkaran (loop), jaringan spindle, dan sistem gugus atau kluster. Sistem distribusi sekunder merupakan bagian dalam sistem distribusi yaitu mulai dari gardu trafo sampai pada pemakai akhir atau konsumen [5].

B. Distributed Generation

Pembangkit listrik tersebar (DG) berkaitan dengan penggunaan unit pembangkit kecil pada titik-titik strategis dari suatu sistem tenaga listrik atau yang dekat dengan lokasi pusat beban. DG dapat digunakan dengan cara yang terisolasi untuk daerah-daerah yang tidak terpasok oleh jaringan listrik PLN, bisa juga digunakan untuk memasok permintaan konsumen lokal atau diintegrasikan ke dalam grid untuk memasok energi sistem tenaga listrik. Teknologi DG dapat berjalan pada sumber energi terbarukan, seperti bahan bakar fosil atau limbah panas. Peralatan berkisar dalam ukuran kurang dari satu kilowatt atau megawatt. DG dapat memenuhi semua atau sebagian dari kebutuhan

listrik pelanggan jika terhubung ke saluran distribusi atau saluran transmisi, kemudian daya dapat dijual kepada pihak ketiga [6].

C. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan energi air sebagai penggerakannya, misalnya saluran irigasi, sungai atau air terjun dengan cara memanfaatkan tinggi terjunnya (head) dan jumlah debit airnya. Kondisi energi air yang dimanfaatkan sebagai sumber daya penghasil listrik memiliki kapasitas aliran maupun ketinggian tertentu. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya maka semakin besar energi yang dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit tenaga mikrohidro bekerja dengan cara memanfaatkan semaksimal mungkin energi potensial air. Energi ini secara perlahan diubah menjadi energi mekanik saat melalui nosel yang ditembakkan untuk memutar sudut-sudut turbin. Energi mekanis dari putaran turbin akhirnya diubah menjadi energi listrik melalui putaran generator [5].

Untuk menghitung daya mekanik yang dibangkitkan oleh turbin generator adalah [7]:

$$P = 9,8 \eta H Q \quad (1)$$

Dimana :

- P = daya terbangkit (KW)
- H = tinggi terjun air (m)
- Q = debit air (m³/ detik)
- η = efisiensi turbin generator

D. Wind Turbine

Turbin angin dirancang untuk menangkap energi kinetik yang dihasilkan oleh angin dan mengubahnya menjadi energi listrik. Energi listrik yang diproduksi turbin angin tergantung pada interaksi antara rotor turbin angin dan angin. Berarti output daya ditentukan oleh kecepatan angin rata-rata, sehingga aerodinamis steady-state telah dianggap menjadi penting dalam proyek ini dan turbulensi telah diabaikan. Rasio daya yang dihasilkan untuk daya yang tersedia dinyatakan sebagai CP koefisien daya rotor. Daya yang dapat dihasilkan demikian ditulis sebagai [7]:

$$P_{wind} = 1/2 C_p \rho A v^3_{wind} \quad (2)$$

Dimana :

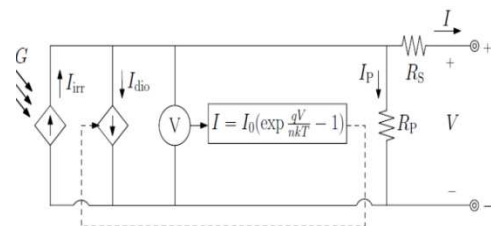
- P_{wind} : daya yang dibangkitkan oleh angin
- C_p : koefisien daya rotor
- ρ : kerapatan udara
- A : luas baling – baling
- v : kecepatan angin

Nilai dari C_p tergantung dari perbandingan kecepatan downstream dan upstream dari angin. Suatu analisis menunjukkan bahwa dalam suatu desain yang praktis nilai maksimum yang dapat dicapai oleh C_p berkisar antara 0,4 – 0,5 untuk turbin moderen

berkecepatan tinggi dengan dua baling – baling, sedangkan untuk turbin berkecepatan rendah dengan baling – baling lebih dari dua nilai C_p berkisar antara 0,2 – 0,4 [8].

E. Panel Surya (solar photovoltaic)

Tenaga sel surya adalah istilah umum yang digunakan untuk tenaga listrik yang dihasilkan dari sinar matahari. Sel surya adalah suatu perangkat mandiri yang memproduksi listrik yang menghasilkan tegangan arus searah (DC). Sistem panel surya mengubah sinar matahari menjadi listrik . Sel yang di susun secara parallel dan seri membentuk suatu modul atau panel. Gabungan modul atau panel yang terhubung secara seri, parallel atau kombinasi keduanya disebut array. Solar sel dapat dimodelkan dengan suatu rangkaian ekivalen yang terdiri dari sumber arus yang diparallelkan dengan suatu diode



Gambar 1. Rangkaian ekivalen solar sel sumber : singh dan georgian, 2013

Pada solar sel terdapat suhu sel saat pemakaian yang dapat diperoleh dari persamaan :

$$T_c = T_{amb} + (0.0256 \times G) \quad (3)$$

Dimana :

- T_{amb} : suhu lingkungan (°C)
- G : radiasi solar sel (W/m²)

Nilai T_c pada persamaan (3) digunakan untuk mencari daya output solar sel yang diperoleh dari persamaan dibawah ini [9]:

$$P_{PV-out} = PR_{PV} \times (G/G_{ref}) \times [1 + KT(T_c - T_{ref})] \quad (4)$$

Dimana :

- PR_{PV} : rating daya solar sel
- G : radiasi solar sel (W/m²)
- G_{ref} : referensi radiasi solar sel ($G_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$)
- KT : koefisiensi suhu solar sel ($KT = - 3.7 \times 10^{-3} (1/^\circ\text{C})$)
- T_c : suhu sel (°C)
- T_{ref} : suhu referensi sel ($T_{ref} = 25^\circ\text{C}$)

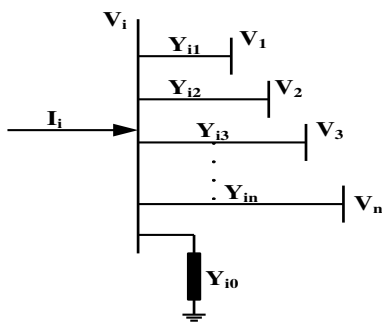
F. Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan bagian yang sangat penting dalam perencanaan sistem tenaga listrik. Beberapa metode telah dikembangkan dalam studi aliran daya ini yaitu metode Gauss Seidel, metode Newton Raphson dan metode Fast Decouple.

Tujuan utama dari studi aliran daya adalah:

1. Untuk mengetahui daya aktif dan reaktif tiap pembangkit.
2. Untuk mengetahui besar tegangan dan sudut phase pada setiap bus.
3. Untuk mengetahui daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada setiap komponen tenaga listrik.

Oleh karena itu dalam studi aliran daya diperlukan suatu proses perhitungan yang sistematis melalui model jaringan dan persamaan aliran daya. Berdasarkan hukum Kirchoff untuk arus, maka besar arus yang masuk dan keluar dari suatu titik simpul sama dengan nol [10].



Gambar 2. Tipikal Bus dari Sistem Tenaga
Sumber: Saadat, 1999

$$I_i = \sum Y_{ij} \cdot V_j \quad (5)$$

Dalam bentuk matriks:

$$[I_{(i)}] = [Y_{(ij)}] \cdot [V_j] \quad (6)$$

Daya aktif dan reaktif pada bus I adalah :

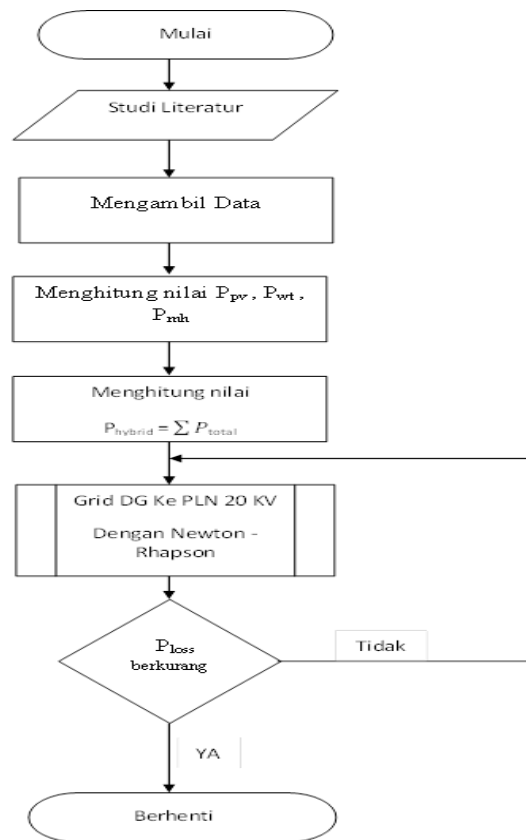
$$P_i + j Q_i = V(i) I(i)^* \quad (7)$$

Atau

$$I_{(i)} = \frac{(P_i - j Q_i)}{V(i)^*} \quad (8)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini memberikan urutan langkah-langkah yang dilaksanakan untuk mencapai tujuan penyusunan penelitian. Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian, langkah-langkah pengerjaan metode penelitian pada skripsi ini dilakukan dengan cara mempelajari buku referensi, jurnal, skripsi, web browsing, serta forum-forum resmi tentang jenis sistem distribusi, pembangkit terbarukan, *distributed generation*, analisis aliran daya, metode newton-rhapson, setelah itu melakukan pengumpulan dan pengolahan data yang diperlukan, kemudian menghitung daya yang dibangkitkan oleh DG dan melakukan penyambungan DG untuk mengetahui pengaruh DG pada sistem. Pada gambar 3 ditunjukkan diagram alir penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian
Sumber : Penulis

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Penyulang Pujon

Gardu induk (GI) Sengkaling disuplai dari GI Kebon Agung. Pada GI Sengkaling terdapat 2 trafo yaitu trafo 3 (30 MVA/866 A) dan trafo 4 (60 MVA/1732 A). Trafo 3 ini terhubung ke penyulang Junrejo, penyulang Pujon, penyulang Karangploso, penyulang Wastra Indah. Penyulang pujon terletak di daerah kecamatan Pujon kabupaten Malang.

B. Sistem Distribusi Daya

Sistem distribusi pada penyulang pujon adalah sistem distribusi tipe radial tegangan 20 kV dengan panjang saluran 59.64 km. Pada bab 2 telah dijelaskan bahwa keuntungan saluran distribusi tipe radial adalah tipe ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain. Namun, keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam. Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran. Besarnya jatuh tegangan di ujung saluran itulah sehingga perlu dilakukan penyambungan DG untuk memperbaiki level tegangan di ujung saluran. Terdapat beberapa data yang diperlukan pada penelitian ini untuk mensimulasikan saluran distribusi diantaranya data generator, data saluran, dan data pembebanan trafo.

C. Simulasi Aliran Daya

Simulasi aliran daya dilakukan untuk mengetahui kondisi awal sistem sebelum dilakukan analisis pengaruh penyambungan *distributed generation* terhadap rugi-rugi daya. Simulasi aliran daya ini berdasarkan data-data yang telah dibahas sebelumnya meliputi data pembangkit, data saluran dan data beban. Simulasi akan dilakukan dalam lima keadaan, yaitu keadaan sebelum penambahan *distributed generation*, keadaan setelah penambahan mikrohidro, keadaan setelah penambahan wind turbine, keadaan setelah penambahan solar photovoltaic, keadaan setelah penambahan wind turbine, solar photovoltaic dan mikrohidro.

Lima kondisi sistem inilah yang akan dianalisis pada penelitian ini, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Pengondisian Sistem

Nama	Kondisi
Kondisi 1	PLN
kondisi 2	PLN + mikrohidro
Kondisi 3	PLN + <i>wind turbine</i>
Kondisi 4	PLN + solar photovoltaic
Kondisi 5	PLN + mikrohidro + wind turbine + solar photovoltaic

1. Simulasi Kondisi 1

Pada simulasi aliran daya penyulang pujan malang kondisi 1 ini ditentukan bahwa bus Generator 1 adalah slack bus dengan tegangan $1 \angle 0^\circ$ p.u. sedangkan bus Generator 2 merupakan PV bus Sedangkan untuk bus yang lain ditentukan sebagai PQ bus. Hasil simulasi aliran daya pada kondisi 1 meliputi nilai tegangan dan besar rugi-rugi daya. Dalam hal ini dilakukan pengaturan meliputi daya dasar 100 MVA, frekuensi 50 Hz, tegangan dasar 20 kV, waktu gangguan dimulai detik ke-2, dan waktu gangguan 0,15 detik, maka diperoleh hasil simulasi aliran beban seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3 berikut:

Tabel 2 Hasil Simulasi Kondisi 1 beban maksimum

Total Pembangkitan	P = 4,5155 MW
	Q = 1,7179 MVar
Total Beban	P = 4,0852 MW
	Q = 1,343 MVar
Total Rugi-rugi	P = 0,3122 MW
	Q = 0,3752 MVar

Tabel 3 Hasil Simulasi Kondisi 1 beban minimum

Total Pembangkitan	P = 1,2268 MW
	Q = 0,4241 MVar
Total Beban	P = 1,2029 MW
	Q = 0,3955 MVar
Total Rugi-rugi	P = 0,0239 MW
	Q = 0,0286 MVar

Pada hasil simulasi kondisi 1 dimana ketika beban maksimum tersebut rugi-rugi daya mencapai 0,00312 p.u. dan 0,00375 p.u. dan ketika beban minimum tersebut rugi-rugi daya mencapai 0,00239 p.u. dan 0,00286 p.u. Tegangan pada saat terjadi gangguan sempat mengalami penurunan hingga mencapai nilai 0,1 P.u., ketika gangguan berakhir nilai tegangan mulai kembali ke kondisi normal, sehingga tegangan sistem masih dalam kondisi stabil. Pada table 2 dan 3 telah ditunjukkan nilai rugi-rugi daya pada sistem sebelum disambungkannya DG ketika beban maksimum dan beban minimum.

2. Simulasi Kondisi 2

Pada simulasi aliran daya penyulang pujan malang kondisi 2 ini terdapat pembangkit mikro hidro yang disambungkan pada bus 60 pada sistem distribusi 20 kV . Hasil simulasi aliran daya pada kondisi 2 meliputi nilai tegangan dan besar rugi-rugi daya. Dalam hal ini dilakukan pengaturan meliputi daya dasar 100 MVA, frekuensi 50 Hz, tegangan dasar 20 kV, waktu gangguan dimulai detik ke-2, dan waktu gangguan 0,15 detik, maka diperoleh hasil simulasi aliran beban seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan 5 berikut:

Tabel 4 Hasil Simulasi Kondisi 2 beban maksimum

Total Pembangkitan	P = 4,3978 MW
	Q = 1,7181 MVar
Total Beban	P = 4,0860 MW
	Q = 1,3430 MVar
Total Rugi-rugi	P = 0,3119 MW
	Q = 0,3748 Mvar

Tabel 5 Hasil Simulasi Kondisi 2 beban minimum

Total Pembangkitan	P = 1,2271 MW
	Q = 0,4283 MVar
Total Beban	P = 1,2029 MW
	Q = 0,3955 MVar
Total Rugi-rugi	P = 0,0238 MW
	Q = 0,0285 Mvar

Pada hasil simulasi kondisi 2 ketika beban maksimum rugi-rugi daya mencapai 0,00311 p.u. dan 0,00374 p.u. dan ketika beban minimum tersebut rugi-rugi daya mencapai 0,00238 p.u. dan 0,00285 p.u. Tegangan pada saat terjadi gangguan sempat mengalami penurunan hingga di bawah 0,1 P.u., ketika gangguan berakhir nilai tegangan mulai kembali ke kondisi normal, sehingga tegangan sistem masih dalam kondisi stabil. Pada tabel 4 dan 5 telah ditunjukkan nilai rugi-rugi daya pada sistem saat DG disambungkan.

3. Simulasi Kondisi 3

Pada simulasi aliran daya penyulang pujan malang kondisi 3 ini terdapat pembangkit listrik tenaga angin yang disambungkan pada bus 17 pada sistem distribusi 20 kV. Hasil simulasi aliran daya pada kondisi 3

meliputi nilai tegangan dan besar rugi-rugi daya. Spesifikasi turbin yang digunakan dapat dilihat pada lampiran 4. Penelitian ini dilakukan pengaturan meliputi daya dasar 100 MVA, frekuensi 50 Hz, tegangan dasar 20 kV, waktu gangguan dimulai detik ke-2, dan waktu gangguan 0,15 detik, maka diperoleh hasil simulasi aliran beban seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 dan 7 berikut:

Tabel 6 Hasil Simulasi Kondisi 3 beban maksimum

Total Pembangkitan	P = 4,4011 MW
	Q = 1,7375 MVar
Total Beban	P = 4,0856 MW
	Q = 1,3428 MVar
Total Rugi-rugi	P = 0,3104 MW
	Q = 0,3730 MVar

Tabel 7 Hasil Simulasi Kondisi 3 beban minimum

Total Pembangkitan	P = 1,2286 MW
	Q = 0,46 MVar
Total Beban	P = 1,2029 MW
	Q = 0,3955 MVar
Total Rugi-rugi	P = 0,0235 MW
	Q = 0,0281 MVar

Pada tabel 6 dan 7 telah ditunjukkan nilai rugi-rugi daya pada sistem saat DG disambungkan. Pada hasil simulasi kondisi 3 beban maksimum dengan penyambungan *wind turbine*, rugi-rugi daya mencapai 0,0031 p.u. dan 0,00373 p.u. dan ketika beban minimum dengan penyambungan *wind turbine*, rugi-rugi daya mencapai 0,00023 p.u. dan 0,00028 p.u. Tegangan pada saat terjadi gangguan sempat mengalami penurunan hingga di bawah 0,1 P.u., ketika gangguan berakhir nilai tegangan mulai kembali ke kondisi normal, sehingga tegangan sistem masih dalam kondisi stabil.

4. Simulasi Kondisi 4

Pada simulasi aliran daya penyulang pujan malang kondisi 4 ini terdapat pembangkit listrik tenaga surya yang disambungkan pada bus 28 pada sistem distribusi 20 kV. Hasil simulasi aliran daya pada kondisi 4 meliputi nilai tegangan dan besar rugi-rugi daya. Penelitian ini dilakukan pengaturan meliputi daya dasar 100 MVA, frekuensi 50 Hz, tegangan dasar 20 kV, waktu gangguan dimulai detik ke-2, dan waktu gangguan 0,15 detik, maka diperoleh hasil simulasi aliran beban seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8 dan 9 berikut:

Tabel 8 Hasil Simulasi Kondisi 4 beban maksimum

Total Pembangkitan	P = 4,3976 MW
	Q = 1,7179 MVar
Total Beban	P = 4,0854 MW
	Q = 1,3428 MVar
Total Rugi-rugi	P = 0,3120 MW

	Q = 0,3750 MVar
--	-----------------

Tabel 9 Hasil Simulasi Kondisi 4 beban minimum

Total Pembangkitan	P = 1,2276 MW
	Q = 0,4241 Mvar
Total Beban	P = 1,2029 MW
	Q = 0,3955 Mvar
Total Rugi-rugi	P = 0,0238 MW
	Q = 0,0286 Mvar

Pada tabel 8 dan 9 telah ditunjukkan nilai rugi-rugi daya pada sistem saat DG disambungkan. Pada hasil simulasi kondisi 4 beban maksimum dengan penyambungan *solar photovoltaic*, rugi-rugi daya mencapai 0,00312 p.u. dan 0,00375 p.u. dan ketika beban minimum dengan penyambungan *solar photovoltaic*, rugi-rugi daya mencapai 0,000238 p.u. dan 0,000286 p.u. Tegangan pada saat terjadi gangguan sempat mengalami penurunan hingga di bawah 0,1 P.u., ketika gangguan berakhir nilai tegangan mulai kembali ke kondisi normal, sehingga tegangan sistem masih dalam kondisi stabil.

5. Simulasi Kondisi 5

Pada simulasi aliran daya penyulang pujan malang kondisi 5 ini terdapat pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang disambungkan pada bus 60, tenaga surya yang disambungkan pada bus 28, dan tenaga angin yang disambungkan pada bus 17 pada sistem distribusi 20 kV. Hasil simulasi aliran daya pada kondisi 5 meliputi nilai tegangan dan besar rugi-rugi daya. Penelitian ini dilakukan pengaturan meliputi daya dasar 100 MVA, frekuensi 50 Hz, tegangan dasar 20 kV, waktu gangguan dimulai detik ke-2, dan waktu gangguan 0,15 detik, maka diperoleh hasil simulasi aliran beban seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10 dan 11 berikut:

Tabel 10 Hasil Simulasi Kondisi 5 beban maksimum

Total Pembangkitan	P = 4,4037 MW
	Q = 1,7421 Mvar
Total Beban	P = 4,917 MW
	Q = 1,3448 Mvar
Total Rugi-rugi	P = 0,31 MW
	Q = 0,3725 Mvar

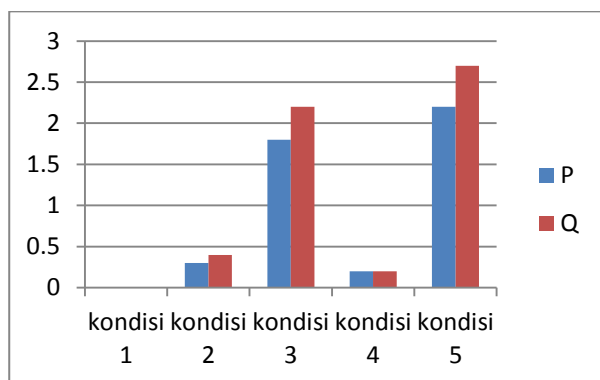
Tabel 11 Hasil Simulasi Kondisi 5 beban minimum

Total Pembangkitan	P = 1,2293 MW
	Q = 0,4439 Mvar
Total Beban	P = 1,2029 MW
	Q = 0,3955 Mvar
Total Rugi-rugi	P = 0,0232 MW
	Q = 0,0279 Mvar

Pada tabel 10 dan 11 telah ditunjukkan nilai rugi-rugi daya pada sistem saat DG disambungkan. Pada hasil simulasi kondisi 5 beban maksimum dengan penyambungan mikrohidro, *wind turbine*, dan *solar photovoltaic*, rugi-rugi daya mencapai 0,0031 p.u. dan 0,003725 p.u. dan ketika beban minimum dengan penyambungan mikrohidro, *wind turbine*, dan *solar photovoltaic*, rugi-rugi daya mencapai 0,000232 p.u. dan 0,000279 p.u. Tegangan pada saat terjadi gangguan sempat mengalami penurunan hingga di bawah 0,1 P.u., ketika gangguan berakhir nilai tegangan mulai kembali ke kondisi normal, sehingga tegangan sistem masih dalam kondisi stabil.

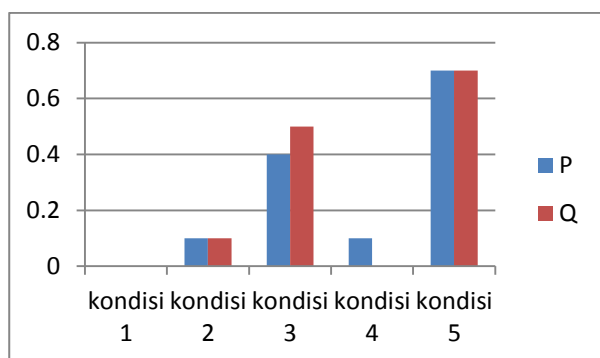
D. Rugi-Rugi Daya

Rugi-rugi daya yang dapat dikurangi dengan penyambungan *distributed generation* pada tiap pengondisian untuk beban maksimum dan minimum ditunjukkan pada gambar 4 dan gambar 5 berikut dengan satuan [kW/KVar]:



Gambar 4. Rugi daya yang dapat dikurangi pada saat beban maksimum

Pada beban maksimum pengurangan rugi-rugi daya paling banyak adalah pada kondisi 3 dan 5 berturut-turut yaitu sebesar 0,0018 MW dan 0,0022 MVar serta 0,0022 MW dan 0,0027 MVar.



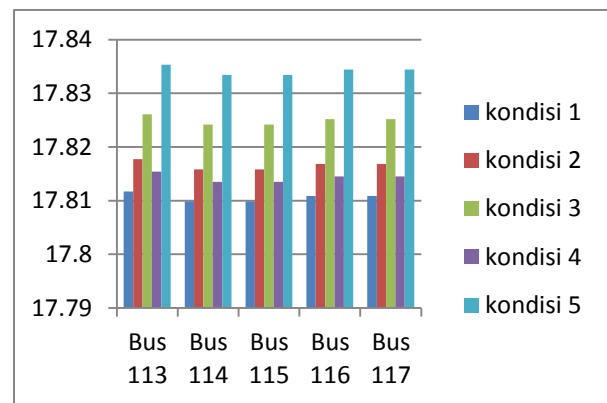
Gambar 5. Rugi daya yang dapat dikurangi pada saat beban minimum

Pada beban minimum pengurangan rugi-rugi daya paling banyak adalah pada kondisi 3 dan 5 berturut-turut yaitu sebesar 0,0004 MW dan 0,0005 MVar serta 0,0007 MW dan 0,0007 MVar.

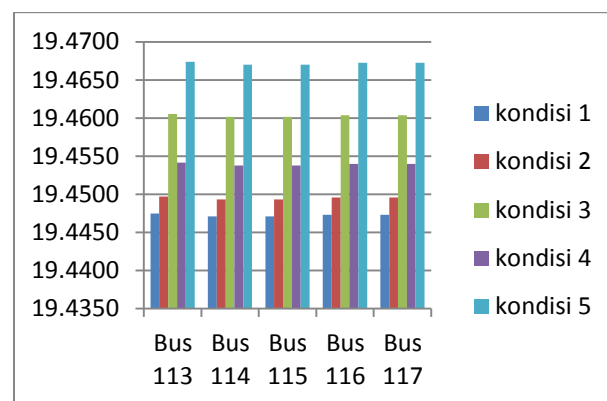
E. Nilai Tegangan

Nilai tegangan sesudah dan sebelum disambungkannya *distributed generation* saat setelah

gangguan pada beban maksimum ditunjukkan pada gambar 6 dan untuk beban minimum ditunjukkan pada gambar 7 dibawah ini:



Gambar 6. Nilai tegangan pada tiap kondisi beban maksimum



Gambar 7. Nilai tegangan pada tiap kondisi beban minimum

Pada gambar 6 dan 7 menunjukkan bahwa dengan penambahan DG pada sistem dapat menaikkan level tegangan dari 17,8108 kV menjadi 17,8344 kV saat beban maksimum dan dari 19,4473 kV menjadi 19,4672 kV saat beban minimum.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis pada pembahasan sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kondisi sistem distribusi penyalang pujan 20 kV sebelum dan sesudah penyambungan *distributed generation* dalam kondisi normal maupun setelah gangguan menunjukkan sistem dalam kondisi stabil. Nilai tegangan setelah penyambungan *distributed generation* mengalami peningkatan, pada bus 117 beban maksimum nilai tegangan sebelum penyambungan DG adalah 17,8108 kV sedangkan tegangan setelah DG disambungkan adalah 17,8344 kV.
2. Rugi-rugi daya sesudah penyambungan *distributed generation* mengalami penurunan, hal itu dapat dilihat dari hasil simulasi yang menunjukkan rugi daya sebelum DG disambungkan adalah 0,3122 MW dan 0,3752 MVar, sedangkan prugi daya saat DG disambungkan adalah 0,31 MW dan 0,3725 MVar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bawan, E.K. 2012. Distributed generation impact on power system case study: Losses and voltage profile. *IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS*.
- [2] MA Kashem, G Ledwich, An DT Le, and M Negnevitsky. 2006. *Distributed generation for minimization of power losses in distribution systems*. *IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS*.
- [3] Wang Bo, Lan Ka. 2011. *Analysis of the Distributed Generation System and the Influence on Power losses* *IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS*.
- [4] Chiradeja, P. , Ngaopitakkul, A. 2013. *The impacts of electrical power losses due to distributed generation integration to distribution system*. *IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS*
- [5] Singh, M., Gevorgian. E. Muljadi, and 2013. PSCAD Modules Representing PV Generator. United State: NREL
- [6] L.L.Lai ,T.F Chan. 2007 . *Permanent-Magnet Machines for Distributed Power Generation*. IEEE Journals & Magazines.
- [7] M. Singh,S Santoso. 2008. Dynamic Models for Wind Turbines and Wind Power Plants. Texas:National Renewable Energy Laboratory The University of Texas at Austin.
- [8] Patel, Mukund R. 2006. Wind and Solar Power Systems. New York : Taylor & Francis Group.
- [9] Saadat, Hadi. 1999. Power System Analysis. New York: McGraw-Hill
- [10] Wikarsa, Tresna. 2010. Studi Analisis Aliran daya . Jakarta : Universitas Indonesia
- [11] Massey,William. 2010 . Essentials of Distributed generation system. United State: World Headquarters
- [12] Gönen, Turan. 1987. Modern Power System Analysis. England: John Wiley & Sons.