

ANALISIS PENGARUH *DISTRIBUTED GENERATION* TERHADAP KETIDAKSEIMBANGAN DAN KESTABILAN TEGANGAN PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV

Ridho Al Shodikina Romadona, Awan Uji Krismanto
Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia
Email : ridhoalshodikina405@gmail.com

Abstract— Dengan adanya DG, system saluran distribusi itu bukan lagi system tunggal. Sehingga mempengaruhi arah aliran daya (*Power Flow*) yang semula 1 arah menjadi 2 arah. Oleh karena itu penelitian ini membandingkan aliran daya pada kondisi yang tidak seimbang dan kestabilan tegangan sebelum dan sesudah diintegrasikan *Distributed Generation* (DG) jaringan distribusi 20 kV. Studi kasus yang di bahas berada dilokasi desa Paupanda kabupaten Ende yang terletak pada penyulang Arubara. Dalam analisis ini menggunakan *Software DigSilent PowerFactory* dan *MATLAB* untuk mensimulasikan aliran daya pada system distribusi. Dari kedua *Software* yang dipakai, menunjukkan hasil dari integrasi DG berbasis *PhotoVoltaic* PV membuat factor ketidakseimbangan tegangan mengurang dengan menggunakan perhitungan rumus VUF% dan LVUR%, menaikkan kestabilan tegangan, meningkatkan profil tegangan di atas batas yang sudah ditentukan (0.95 pu), serta mengurangi rugi-rugi daya.

Kata Kunci — *Unbalanced Load Flow, Distribution Generation, PhotoVoltaic, Distribution Network.*

I. PENDAHULUAN

Dalam penyaluran energy listrik, pengaruh ketidakseimbangan pada aliran daya (*Power Flow*) terjadi akibat tidak meratanya pembagian beban antara tiap-tiap fasa. Hal ini menyebabkan turunnya profil tegangan serta tingginya rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi. Sehingga kualitas daya yang dihasilkan menurun dan berpotensi menimbulkan gangguan operasi[1]. Hal itu diakibatkan ketika fasa satu dengan fasa lain tidak simetris[2]. Permasalahan pada system menjadi semakin kompleks dengan adanya *Distributed Generation* (DG) berbasis energi terbarukan (*Renewable Energy*) dan sangat memberikan kontribusi yang cukup besar bagi system pembangkit listrik.

Penelitian ini, bertujuan untuk menganalisa bagaimana dampak dari pemasangan (DG) berbasis (PV) yang berpengaruh terhadap ketidakseimbangan dan kestabilan tegangan yang terjadi akibat tiap-tiap fasa takseimbang, Studi ini dilakukan penelitian pada saluran distribusi yang berlokasi di Kabupaten Ende, Flores, NTT. Karena pada saat ini kondisi jaringan

listrik disana masih belum stabil. Dengan penelitian diatas diharapkan dapat mengurangi terjadinya ketidakseimbangan tiap fasa dan membantu penyedia jasa listrik, memberikan pelayanan energy yang handal dan memberikan kualitas energy listrik yang bagus.

II. TINJAUAN PUSTAKA

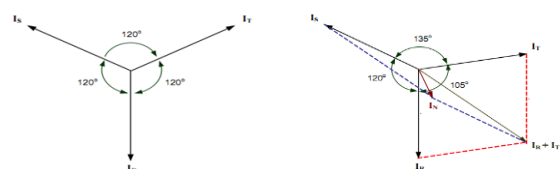
2.1 Ketidakseimbangan pada Aliran Daya

Dampak dari Ketidakseimbangan pada aliran daya merupakan hal yang sering terjadi pada distribusi tenaga listrik. Hal itu diakibatkan ketika fasa satu dengan fasa lain tidak simetris. Pada fasa seimbang, dimana arus yang mengalir pada beban-beban harus simetris dan beban tersebut dihubungkan pada tegangan simetris pula. Dengan demikian analisa dapat dilakukan secara perfasa saja, jadi dalam hal ini beban selalu diasumsikan seimbang pada setiap fasa, sedangkan pada kenyataannya beban tersebut tidak seimbang[3]. Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

1. Ketiga vector arus / tegangan sama besar.
2. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud keadaan takseimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi yaitu:

1. Ketiga vektor sama besarnya tetapi tidak membentuk sudut 120° .
2. Ketiga vektor tidak sama besarnya akan tetapi membentuk sudut 120° .
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° .



Gambar 2.1. Vector Diagram Arus [4].

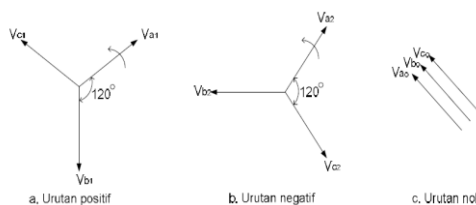
Dari diagram vector diatas bagian kiri menunjukkan vector diagram arus dalam keadaan seimbang. Terlihat bahwa penjumlahan vector arusnya (I_R, I_S, I_T) yaitu sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Dari vector diagram pada bagian kanan terlihat vektor diagram arus yang takseimbang. Di sini dapat dilihat bahwa penjumlahan setiap masing-masing vektor arusnya (I_R, I_S, I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya tergantung dari seberapa besar factor ketidakseimbangannya.

2.2 Komponen Simetris

Menurut Fortescue yang menyatakan tiga fasor tegangan tak seimbang dari system tiga fasa bisa diuraikan menjadi tiga fasa yang seimbang dengan menggunakan komponen simetris (Stevenson, 1993). Komponen simetris tersebut urutan positif, urutan negative dan urutan nol. Himpunan komponen seimbang tersebut antara lain :

- Komponen urutan positif yang terdiri dari tiga fasor sama besar, setiap bagian satu dengan yang lain tiap fasa sebesar 120° , yaitu mempunyai urutan tiap-tiap fasa yang sama seperti fasor yang ditentukan.
- Komponen urutan negative yang terdiri antar tiga fasor yang sama besar, setiap bagian satu dengan yang lain tiap fasa sebesar 120° , dan mempunyai tiap-tiap fasa yang berlawanan dengan fasor yang ditentukan.
- Komponen urutan nol yang terdiri antar tiga fasor sama besar dan dengan pergeseran nol antara fasor yang satu dengan yang lain.

Pemecahan masalah yang dibahas pada analisa ini dengan menggunakan komponen simetris bahwa ketiga fasa dari system dinyatakan sebagai a,b, dan c dengan cara yang demikian sehingga urutan fasa tegangan dan arus dalam system adalah abc, sehingga fasa komponen urutan positif dari fasor tak seimbang itu adalah abc, sedangkan urutan fasa dari komponen adalah urutan negative abc[5]. Ketika fasor aslinya adalah tegangan, maka setiap tegangan tersebut dapat dikatakan $V_a, V_b,$ dan V_c komponen urutan positif dan V_a, V_b dan V_c adalah $V_{a1}, V_{b1},$ dan V_{c1} . Demikian pula komponen pada urutan negatif adalah $V_{a2}, V_{b2},$ dan V_{c2} , sedangkan komponen urutan nol adalah $V_{a0}, V_{b0},$ dan V_{c0} .



Gambar 2.2. Representasi komponen simetris.

Ketidakseimbangan tegangan didefinisikan sebagai perbedaan amplitudo tegangan tiga fasa, ada banyak metode interpretasi dan kuantifikasi ketidakseimbangan tegangan. Metode yang paling banyak digunakan seperti yang direkomendasikan IEC Standart adalah *Voltage Unbalanced Factor* (VUF) yang merupakan rasio tegangan urutan negative terhadap tegangan urutan positif seperti yang dijelaskan pada rumus dibawah ini[6][7] :

$$VUF\% = \left| \frac{V_-}{V_+} \right| \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan : $VUF\%$ = Factor Tegangan
 V_- = Tegangan urutan negative
 V_+ = Tegangan urutan positif

Metode lain yang direkomendasikan yaitu *Line Voltage Unbalance Rate* (LVUR).

$$LVUR\% = \frac{\text{Maximum deviation } (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca})}{\text{Average } (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca})} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

$$\text{Average } (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}) = \frac{(V_{ab}, V_{ba}, V_{ca})}{3} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :
Average = Tegangan rata-rata
 V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} = Tegangan tiap fasa dalam system 3 fasa

2.3 Efek Unbalance pada Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan berkaitan dengan kemampuan tegangan tenaga listrik untuk mempertahankan tegangan disetiap bus pada kondisi Unnormal maupun karena adanya gangguan. System akan memasuki keadaan ketidakstabilan aliran daya pada saat terjadi gangguan, peningkatan permintaan setiap beban dan adanya perubahan-perubahan kondisi system. Keadaan yang terjadi itu akan menyebabkan penurunan performa system, sehingga aliran daya menjadi tidak seimbang, akibatnya berdampak pada profil tegangan menurun dan kerugian daya (Losses) pada system distribusi semakin besar[8].

Penyebab terjadinya ketidakstabilan tegangan adalah tidak mengatasinya system tenaga untuk memenuhi permintaan daya reaktif. Inti dari masalah yang terjadi ini biasanya berhubungan dengan terjadinya susut tegangan yang terjadi pada saat daya aktif dan daya reaktif mengalir melalui reaktansi induktif pada jaringan transmisi[9].

Stability system energy diartikan sebagai kemampuan dari suatu system untuk menjaga kondisi awal operasi yang seimbang dan kemampuan system itu sendiri untuk kembali ke kondisi normal (SteadyState) ketika terjadi gangguan. Sedangkan ketidakstabilan system bisa terjadi dalam berbagai bentuk, terlihat dari konfigurasi system dan model operasinya. System akan masuk pada kondisi ketidakstabilan tegangan ketika terjadi gangguan,

peningkatan beban atau pada saat terjadi perubahan kondisi system yang disebabkan oleh drop tegangan yang tidak terkontrol.

2.4 Pengaruh DG pada System Distribusi

Pengaruh pemasangan Renewable Energy pada system distribusi sangatlah signifikan. Salah satunya dapat memperbaiki profil tegangan serta meminimalisir Rugi-rugi daya (Losses) yang disebabkan oleh panjangnya saluran distribusi. Dampak pemasangan Distributed Generation (DG) ini sendiri juga dapat meningkatkan stabilitas tegangan. Hal ini juga dapat menjadi alternative saat pembangkit utama mengalami gangguan. Karena pemasangan Distributed Generation (DG) dapat langsung aktif ketika sedang dibutuhkannya daya tambahan.

Interkoneksi (DG) kedalam jaringan distribusi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kualitas jaringan distribusi tenaga listrik yang meliputi Aliran Daya, perbaikan profil tegangan, peningkatan keandalan, dan penurunan rugi-rugi daya. Sebagian besar jaringan distribusi tenaga listrik dirancang sedemikian rupa sehingga aliran daya mengalir dalam satu arah. Penerapan (DG) memberikan sumber energy tambahan pada suatu jaringan distribusi tenaga listrik.

Teknologi (DG) sangat diperlukan di sisi jaringan distribusi karena system tersebut dapat mengurangi rugi daya pada system dan memperbaiki kualitas tegangan dan juga memperbaiki efisiensi, sehingga dapat mempengaruhi performa dari pusat tenaga listrik[10].

III. METODE PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

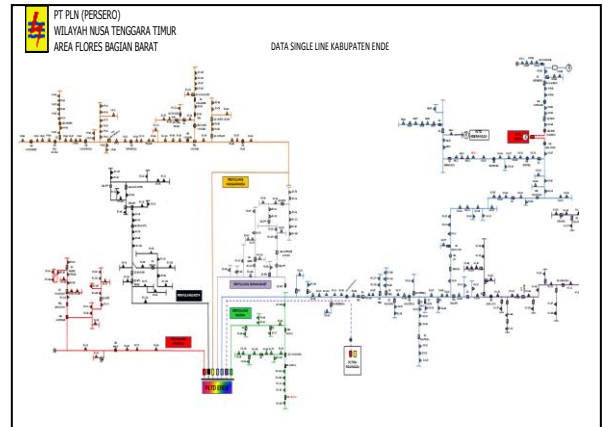
Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menganalisa pengaruh *Distributed Generation* (DG) berbasis *PhotoVoltaic* terhadap ketidakseimbangan dan kestabilan tegangan. Sehingga masuknya *PhotoVoltaic* (PV) ini apakah bisa mengurangi Ketidakseimbangan tiap fasa dan memperbaiki profil tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya di jaringan distribusi 20 kv pada PT. PLN Kabupaten Ende, Flores, NTT.

Pengambilan data yang dilakukan pada Skripsi ini terdapat pada jurnal yang telah ada. Data yang diperoleh akan dijadikan sebagai acuan untuk memodelkan dan menganalisa pengaruh DG berbasis PV terhadap ketidakseimbangan dan kestabilan tegangan pada jaringan distribusi Kabupaten Ende.

Software yang digunakan untuk penelitian ini yaitu *DigSILENT PowerFactory 15.1.0* dan *MATLAB* dan menjalankan program dan melakukan *Load Flow* supaya mengetahui Aliran Daya untuk pemasangan PV serta menyimpulkan hasil dari analisis data.

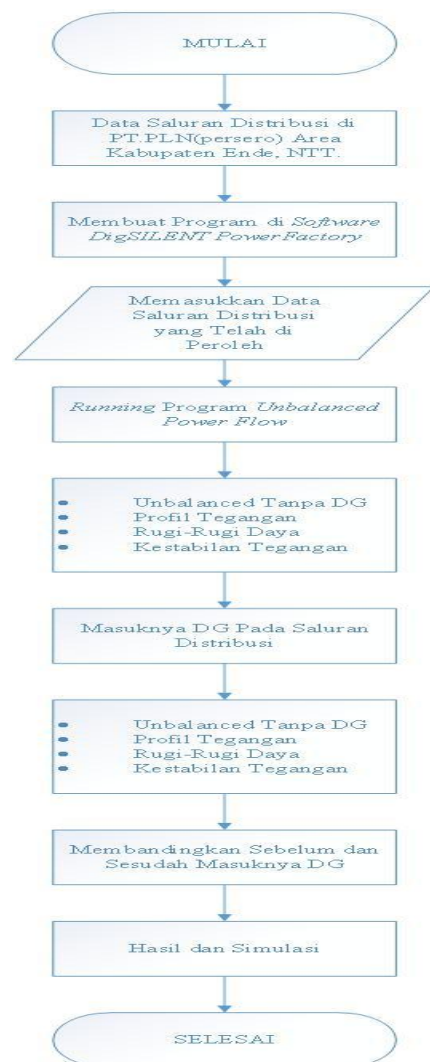
3.2 Studi Kasus

System kelistrikan untuk penelitian ini yaitu terletak pada penyulang Arubara karena data dari PV tersebut terletak didaerah Paupanda, Ende, NTT.



Gambar 3.1 Single Line Kabupaten Ende

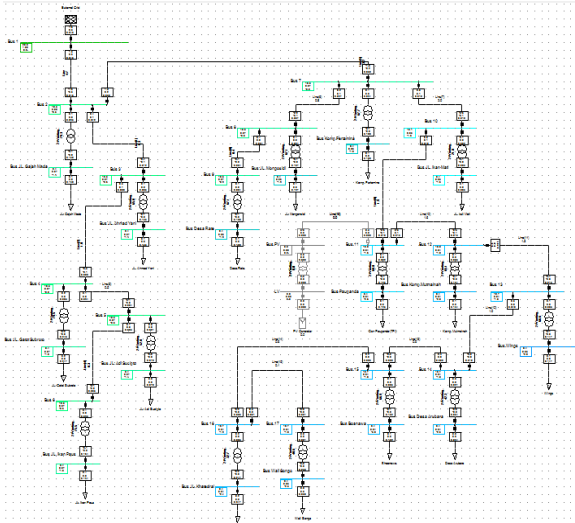
3.3 Flowchart Analisa Aliran Daya



Gambar 3.2 Flowchart

IV. ANALISIS DATA DAN HASIL

4.1 Single Line Diagram Jaringan Distribusi Penyulang Arubara

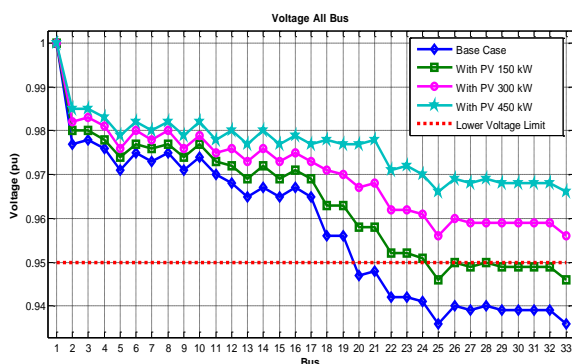


Gambar 4.1 Single line Diagram Penyulang Arubara

4.2 Profil Tegangan

Berikut adalah hasil simulasi Load Flow dengan metode Analisis *Unbalance Load Flow* pada penyulang Arubara menggunakan *Software DigSilent PowerFactory 15.1.0*.

Dari hasil *load flow* didapat beberapa parameter salah satunya adalah kondisi profil tegangan. Terdapat penurunan tegangan di lokasi jauh dari *grid* (sumber). Hal ini dikarenakan beban antar fasa panjangnya saluran dan beban tiap fasa berbeda.



Gambar 4.2 Grafik Profil Tegangan Sebelum dan sesudah diinject PV

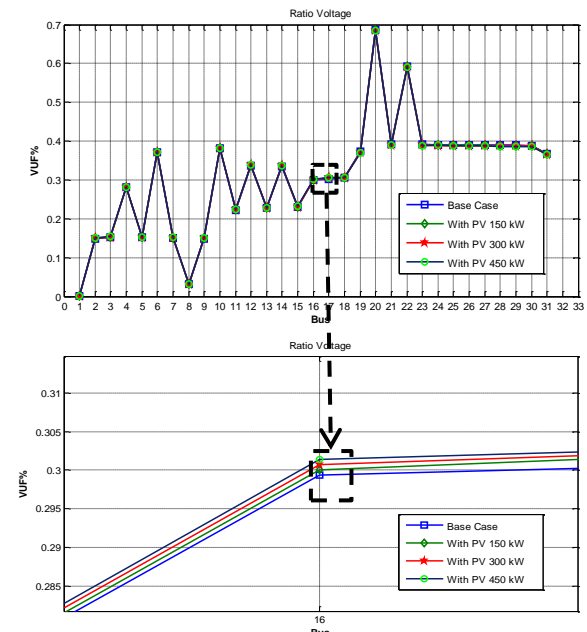
Pada gambar grafik diatas terdapat beberapa bus yang mengalami *under voltage* yaitu terdapat pada bus 20 dan sekitarnya dengan nilai tegangan di bawah 0.95 sesuai batas yang ditentukan. Pada kondisi normal sebelum diinject PV bus yang mengalami kritis terjadi di bus Paupanda ke atas. Setelah diinject PV dengan nilai kapasitas yang berbeda dapat menaikkan profil tegangan di beberapa bus tertentu.

Semakin diinject PV dengan kapasitas daya yang besar maka semakin sedikit tiap Bus yang mengalami kondisi kritis atau *under voltage*.

4.3 Unbalance Voltage

A. Voltage Unbalanced Factor

Pada saat pengambilan data menggunakan metode VUF% pada gambar dibawah ini terlihat bahwa :

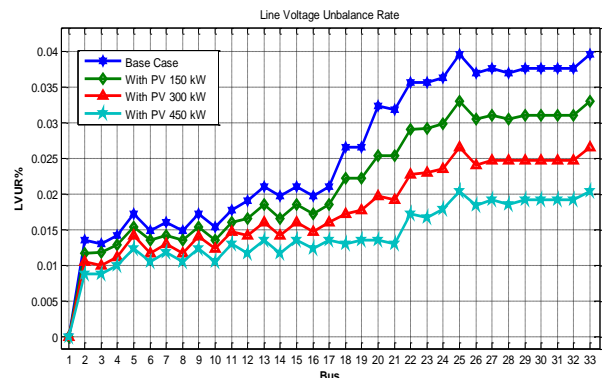


Gambar 4.3 Grafik Hasil Perhitungan VUF%

Hasil perhitungan antara urutan tegangan negative dan urutan tegangan positif terlihat pada grafik diatas bahwa mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan, terlihat dimana sebelum diinject PV efek dari tak seimbang antar tiap fasa mengakibatkan factor tegangan mengalami penurunan, dan sesudah diinject PV dengan tiga kapasitas yang berbeda factor tegangan mengalami kenaikan sesuai kapasitas PV yang diinject ke jaringan distribusi .

B. Line Voltage Unbalance Rate

Saat pengambilan data pada hasil load flow menggunakan metode LVUR% terlihat hasil pada gambar dibawah ini :

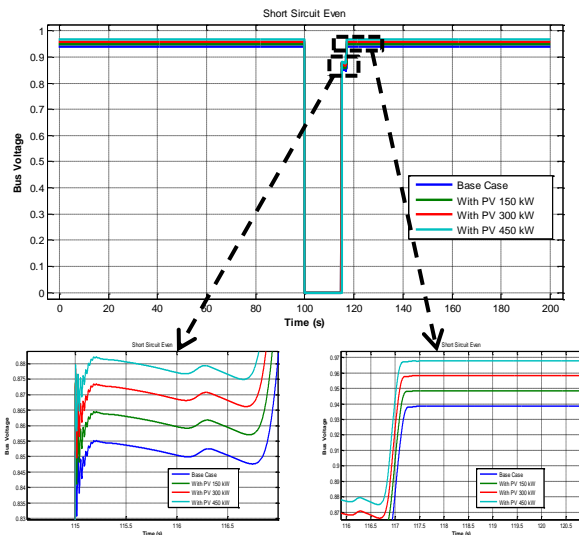


Gambar 4.4 Grafik Hasil Perhitungan LVUR%

Pada gambar 4.4 diatas menunjukkan terjadinya penurunan saat diinjectnya PV pada saluran distribusi, terdapat tiga percobaan inject PV tiap kapasitas yang berbeda yaitu 150 kW, 300 kW, dan 450 kW dimana terlihat terjadinya penurunan ketidakseimbangan beban tiap Bus.

4.4 Tegangan Dinamis

Untuk analisa tegangan dinamis dilakukan metode dengan kondisi *short circuit*. Ini dilakukan untuk melihat respon sistem ketika terjadi gangguan hubung singkat dengan tiap fasa tidakseimbang. Bagaimana system untuk kembali ke kondisi semula dengan kestabilan yang handal. Berikut hasil percobaan ketika sistem sebelum di inject PV dan sesudah di inject PV dengan tiga percobaan kapasitas yang berbeda.



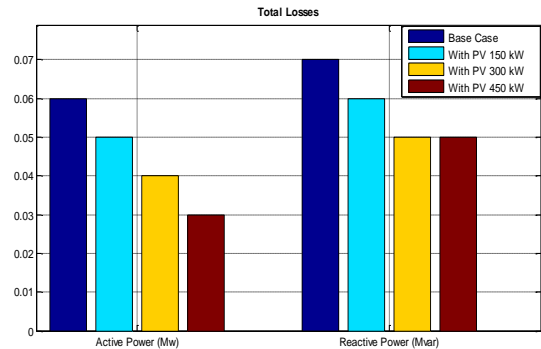
Gambar 4.5 Grafik Tegangan Short Circuit

Pada gambar grafik 4.5 dapat diketahui tegangan dinamis saat terjadi gangguan *Short Circuit* pada salah satu bus. Dalam percobaan ini Bus yang di ganggu ialah tegangan menengah Bus Paupanda. Jenis gangguan 3 fasa pada detik ke 100 dan gangguan terjadi selama 15 detik. Dapat dilihat perbedaan ketiga percobaan inject PV dengan kapasitas yang berbeda dan beban tidak seimbang. Semakin besar kapasitas PV semakin cepat system ke kondisi *stady state*.

4.5 Total Power Losses

Rugi-rugi daya sering terjadi pada system jaringan industry, hal ini dikarenakan panjangnya saluran dan ketidakseimbangan beban tiap fasa serta besarnya impedansi saluran. Pada kondisi normal sebelum diinject PV rugi daya yang dihasilkan sebesar 0.06 MW, 0.07 MVar. Hal ini berdampak pada saluran tegangan ke beban menjadi tidak efektif. Dan setelah diinject PV dengan tiga percobaan berkapasitas berbeda yaitu pertama berkapasitas 150

kW sesuai data yang diberitakan setelah itu diinject dengan penambahan kapasitas sebesar 300 kW dan 450 kW, tingkat *losses* yang terjadi pada system yang ditampilkan pada grafik menurun.



Gambar 4.6 Total Diagram Losses Power

Pada saat diinject PV tingkat losses pada system menjadi berkurang sebesar 0,01 MW dan 0,01 MVar sesuai dengan kapasitas PV 150 kW begitu juga dengan kapasitas 300 kW dan 450 kW yang diinject pada jaringan distribusi.

V. KESIMPULAN

Pada hasil analisis terdapat pengaruh pemasangan DG berbasis PV ke system tenaga listrik dapat memberikan dampak yang positif, antara lain mengurangi efek terjadinya ketidakseimbangan tiap fasa, Analisis terhadap ketidakseimbangan dengan menggunakan metode perhitungan VUF% dan LVUR% terdapat perubahan penurunan factor terjadinya *Unbalanced*. Begitu pula dengan analisis profil tegangan pada saat sebelum diinject PV terdapat sebagian Bus mengalami *Under Voltage* dengan nilai tegangan dibawah (0.95), setelah diinject PV dengan tiga kapasitas yang berbeda terdapat hasil yang signifikan yaitu naiknya profil tegangan diatas 0.95 pu sesuai batas yang ditentukan. Pada analisis tegangan dinamis dengan metode *Short Circuit* dengan fasa tiap beban takseimbang, lebih besar kapasitas PV yang diinject semakin cepat pula respon kembali ke *Steady State*. Analisis total rugi-rugi daya sebelum diinject PV sebesar 0.06 MW, 0.07 MVar dan sesudah diinject PV sebesar tiga kapasitas yang berbeda mengalami penurunan rugi-rugi daya sebesar 0.01 MW daya aktif dan 0.01 MVar daya reaktif.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Julius Sentosa, Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses PadaTrafo Distribusi, 2008.
- [2] Electromagnetic compatibility (EMC) - limits - assessment of emission limits for the connection of unbalanced installations to MV, HV and EHV power systems”, Technical report IEC/TR 61000-3-13, Ed. 1, International Electrotechnical Commission, 2008.
- [3] Saadat,H.,1999, *Power System Analysis*, WCB McGraw-Hill Series In Electrical and Computer

Engineering, Milwaukee School of Engineering, New York.

[4] J.B.V. Subrahmanyam, *Load Flow Solution of Unbalanced Radial Distribution Systems*, Department of Electrical & Electronics Engg, BRECW, Hyderabad, AP, India-500 059.

[5] Diego Bellan. "Statistical Properties of Voltage Unbalance Factor in Three-Phase Power System". *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 15 (2016).

[6] Jozef A. L. Ghijselen, Member, *IEEE*, Alex P. M. Van den Bossche, Senior Member, *IEEE*, "Exact Voltage Unbalance Assessment Without Phase Measurements". Vol. 20, No. 1, February 2005.

[7] Ali Kharrazi, Victor Sreeram, Yateendra Mishra, "Assessment of Voltage Unbalance Due to single phase Rooftop Photovoltaic Panels in Residential Low Voltage Distribution Network" Conference: Australian Universities Power Engineering Conference (AUPEC) 2017.

[8] U. Jayatunga, S. Perera and P. Ciufu, "VU management in power systems based on IEC 61000-3-13:2008: implications on the use of 'kuE factor'", 2012 IEEE 15th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), pp.936,942, 17-20 June 2012.

[9] P. Paranavithana and S. Perera "Location of Sources of VU in an Interconnected Network", Proc. IEEE Power Engineering Society General Meeting, Calgary, Canada, July 2009.

[10] Priatna, N. Abisatya. "Analisa Pengaruh Lokasi Distributed Generation Terhadap Susut Daya dan Keandalan Pada Penyulang Abang di Karangasem". Denpasar, Universitas Udayana Jurusan Teknik Elektro. 2014.



BIOGRAFI PENULIS

Ridho Al Shodikina Romadona Lahir di Lumajang pada Tanggal 31 Januari 1997. Putra dari pasangan Mian Senaji dan Siti Romlah. Penulis

merupakan anak Pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan pertama di SDN Negeri 02 Sukosari pada tahun 2003 dan tamat pada tahun 2009. Kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 01 Kunir dari tahun 2009 hingga tahun 2012. Pada tahun yang sama, penulis diterima di SMK Negeri 01 Tekung dan tamat pada tahun 2015. Di tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Institut Teknologi Nasional Malang, Program Studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Energi Listrik. Selama duduk di bangku perkuliahan, penulis aktif sebagai Asisten Laboratorium Transmisi dan Distribusi Daya Elektrik.