

Perancangan *Distributed Generation* Menggunakan *Phasor Measurement Unit*

Rangga Eka Saputra¹⁾, Azriyenni Azhari Zakri²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
E-mail : rangga.ekasaputra@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The aim of this research is to design a Distributed Generation (DG) connected system with solar cell source using Matlab/Simulink R2016a, build a Phasor Measurement Unit (PMU) connected to DG using Matlab/Simulink R2016a, operate a DG system connected to solar cell for monitoring voltage and phasor currents through PMU. This research was conducted using simulations found in the Matlab R2016a application where the system consists of 4 buses, 2 loads with a voltage of 20 kV, 2 voltage boosters, 20 kV, and 4 transmission lines. The results showed that the impact of the DG system using this PMU has improved the quality of the power generated from both sources, namely the 150-kV network and the DG supplied at both loads. In addition, the results of this data prove that DG has a role in maintaining power at a stable load and increasing energy efficiency by reducing power losses in this DG connected system. The DG connected to the system has an effect on increasing the current in each bus, so that the load current has increased from before, giving an effect on increasing the voltage in each bus, so that the voltage on both loads has increased from before. This comparison also shows the results of the positive sequence value of phasor currents and phasor voltages before and after DG

Keywords: Distributed Generation, Phasor Measurement Unit, solar cell

I. PENDAHULUAN

Distributed Generation (DG) atau pembangkitan tersebar adalah sistem pembangkitan yang terdiri atas pembangkit daya listrik skala kecil yang dipasang langsung pada sistem dekat dengan pusat beban dengan level tegangan rendah.

Phasor Measurement Unit (PMU) dapat menyediakan fungsionalitas dan ketelitian yang diperlukan untuk mendapatkan fasor sinkronisasi waktu yang dapat digunakan untuk meningkatkan karakterisasi sirkuit distribusi dan mengembangkan alat pemantauan untuk mengevaluasi dan mengurangi dampak dari DG yang berselang.

Haddad menjelaskan tentang teknik klasifikasi peristiwa baru untuk sistem DG cerdas. Teknik klasifikasi peristiwa yang diusulkan mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan peristiwa lokal yang memiliki dampak besar pada keselamatan dan pengoperasian sistem DG. Teknik

ini diimplementasikan menggunakan fitur pengenalan pola ANN (Haddad., 2018).

Kemudian Taufani telah menyelidiki analisis aliran daya dengan mempertimbangkan lokasi dan kapasitas optimal DG menggunakan metode *K-means clustering*. Teknik *clustering* berdasarkan *Loss Sensitivity Factor* (LSF) dan tegangan tiap bus digunakan untuk mendapat kandidat lokasi pemasangan DG untuk kemudian didapatkan kapasitas DG menggunakan persamaan matematis (Kurniawan, 2017).

Selanjutnya Revandy telah menyelidiki bahwa data PMU yang berupa frekuensi, *magnitud* tegangan dan arus, serta sudut fasa tegangan dan arus, diperoleh dari dua titik pengukuran, yaitu GITET Suralaya dan GITET Cilegon pada sistem kelistrikan 500 kV Jawa-Bali. Metode yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi kestabilan

menggunakan dua pendekatan, yaitu kestabilan *Steady State* dengan konsep *Thevenin Equivalent* dan Kestabilan *Dynamic* dengan konsep *Frequency Domain Analysis* (Revandy, 2015).

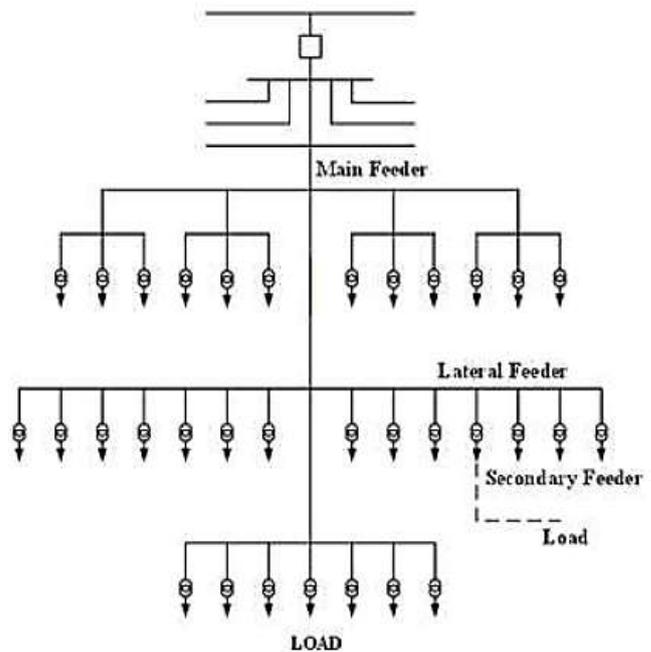
Lalu Iswadi telah melakukan penelitian penggunaan praktis analisis prony untuk mengidentifikasi parameter mode osilasi sinyal kecil dari data ringdown aktual *Phasor Measurement Unit* (PMU). Sistem tenaga empat mesin dua area yang terkenal dianggap sebagai studi kasus sementara data *ringdown* PMU terbaru dikumpulkan dari interkonektor utama 275 kV sirkuit ganda. Analisis nilai *eigen* dan kerapatan spektral daya juga dilakukan untuk tujuan perbandingan. Kesesuaian analisis prony untuk identifikasi parameter mode dari keduanya data ringdown PMU yang disimulasikan dan aktual (Iswadi et al., 2015).

II. LANDASAN TEORI

Bila antara titik sumber dan titik bebannya hanya terdapat satu saluran, maka merupakan bentuk jaringan yang paling sederhana dengan keuntungan pengamanan terhadap arus gangguan lebih mudah, arus gangguan lebih kecil, pengaturan tegangan lebih mudah, peramalan dan pengaturan aliran daya lebih mudah, dan biaya relatif murah. Saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang-cabangkan ke titik-titik beban yang dilayani, maka arus beban yang mengalir sepanjang saluran menjadi tidak sama besar, sehingga disebut radial.

Hal ini mengakibatkan luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak harus sama. Dengan pengertian, saluran utama (dekat sumber) yang menanggung arus besar, ukuran penampangnya relatif besar, dan saluran cabang-cabangnya makin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil, ukurannya lebih kecil pula. Untuk melokalisir gangguan, pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengamanan berupa *fuse*, *sectinalizer*, *recloser*, atau alat pemutus beban lainnya, hanya saja fungsinya membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sebelum/setelah titik gangguan, selama gangguan belum teratasi. Bentuk

sistem distribusi radial disajikan pada gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1. Sistem Distribusi Radial (Mahendra, 2015)

2.1 Distributed Generation (DG)

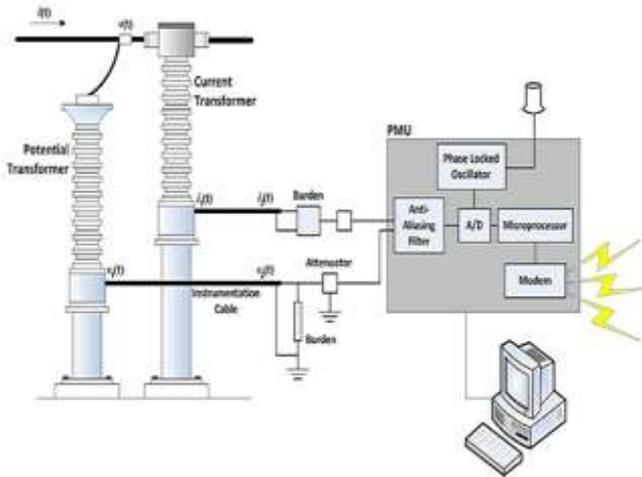
DG adalah sebuah pembangkit energi listrik berskala kecil yang dapat menghasilkan daya antara 1 kW-10 MW, yang dihubungkan pada sistem distribusi dan biasanya dihubungkan pada bus yang langsung menyuplai pusat beban atau pada gardu induk distribusi *International Energy Agency* (IEA) mendefinisikan DG sebagai pembangkit listrik yang melayani pelanggan langsung atau terhubung dengan sistem distribusi pada level tegangan rendah. *Electric Power Research Institute* mendefinisikan DG sebagai pembangkit kecil dengan kapasitas sampai 50 KW. Menurut standar IEEE 1547, DG adalah pembangkit listrik yang terhubung langsung di sisi pelanggan dengan kapasitas maksimal 10 MVA.

2.2 DG yang Menggunakan Solar Sel

Solar sel merupakan pembangkit sumber energi terbarukan yang mampu merubah cahaya sinar matahari menjadi energi listrik. Maka dari itu, solar sel salah satu teknologi yang berdasarkan pada semikonduktor dalam kondisi padat yang mengkonversi energi cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik, tanpa ada bagian yang berputar, tidak mengeluarkan gas buangan.

2.3 PMU

PMU adalah suatu peralatan yang digunakan untuk tujuan monitoring. Pemasangan PMU pada sistem kelistrikan mampu memonitoring secara *real time* dan selaras antara PMU satu dengan lainnya. Dengan pemasangan PMU membuat dua parameter dapat diketahui yaitu tegangan (sudut dan magnitud tegangan pada bus), arus (sudut dan magnitud pada saluran transmisi). PMU menggunakan sinyal satelit *Global Positioning System* (GPS) untuk meyamakan waktu sampling antar PMU sehingga fasor tegangan dan arus dapat diukur secara terus – menerus. PMU juga memiliki keuntungan yang lain seperti mengukur sistem proteksi, frekuensi lokal bisa dikombinasi 16 dengan pengukuran harmonisa, arus urutan nol dan urutan negatif seperti pengukuran tegangan dan arus pada umumnya. Gambar 2 disajikan skema PMU yang terhubung ke sistem listrik.



Gambar 2. Skema PMU yang Terhubung ke Sistem Listrik (Sexauer et al., 2013)

2.4 Persentasi Kesalahan

Persentase kesalahan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Panjaitan, 2017):

$$E(\%) = \frac{|y_i - y'_i|}{y_i} \times 100 \quad (1)$$

Dimana :

y_i = Nilai target aktual

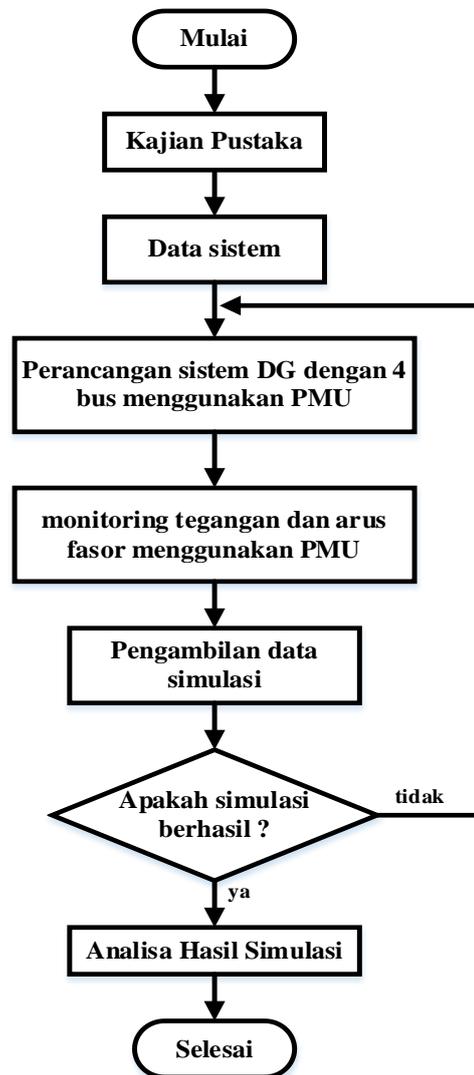
y'_i = Nilai keluaran prediksi

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan simulasi yang terdapat pada aplikasi Matlab R2016a. Ada beberapa tahapan penting dalam melakukan penelitian ini, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Membuat desain menggunakan Matlab/Simulink.
2. Pengambilan Data Simulasi.
3. Analisa Hasil Simulasi

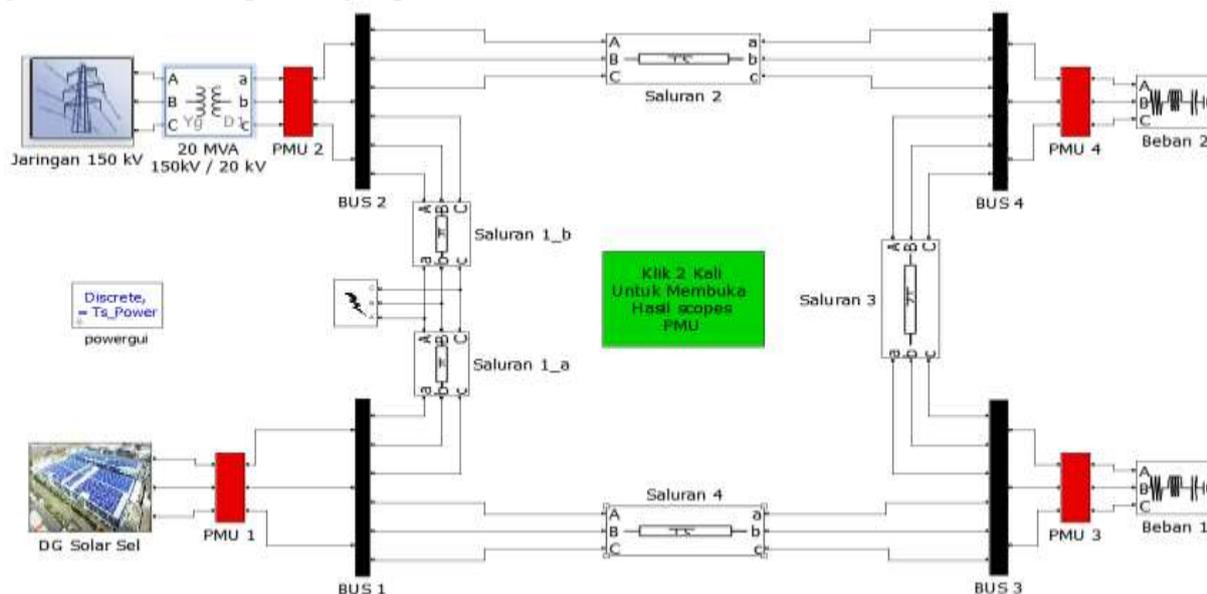
Diagram alir penelitian diberikan pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Simulink Sistem yang terhubung DG 4 Bus

3.1 Permodelan Sistem yang terhubung DG 4 Bus Menggunakan PMU Via Matlab/Simulink

Sistem ini terdiri dari 4 buah bus, 2 buah beban dengan tegangan 20 kV, 2 buah transformator penaik tegangan 20 kV, dan 4 buah saluran transmisi. Gambar 4 adalah pemodelan sistem 4 bus berbasis Matlab/Simulink yang digunakan dalam objek penelitian ini, dan menggunakan PMU untuk monitoring tegangan dan arus fasor pada objek penelitian



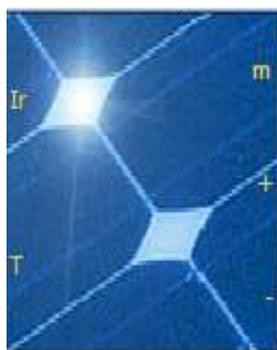
Gambar 4. Simulink Sistem yang terhubung DG 4 Bus

3.2 Permodelan Komponen DG Bersumber Solar Sel via Matlab/Simulink

Pada sub-bab ini menjelaskan perancangan dari komponen-komponen PLTS untuk membangun sistem yang terhubung DG yang digunakan objek pada penelitian dan parameter-parameter yang digunakan via Matlab/Simulink.

3.2.1 Modul PV

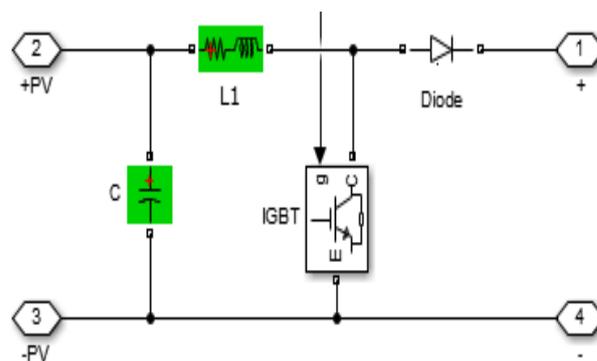
Penelitian ini menggunakan satu buah panel PV array dengan tipe Sun Power SPR-315E-WHT-D 100 kWp dengan keluaran daya maximum 315.072 W. Gambar.5 dapat dilihat bentuk modul solar sel pada Matlab R2016a.



Gambar 5. Modul PV pada Matlab

3.2.2 Boost Konverter

Boost konverter pada penelitian ini hanya digunakan sebagai konverter untuk diintegrasikan dengan algoritma MPPT. Gambar 6 adalah boost konverter untuk topologi yang digunakan.



Gambar 6. Topologi Boost Konverter

3.2.3 Algoritma MPPT P&O

MPPT P&O menggunakan tegangan dan arus yang hasilnya dikali untuk mendapatkan nilai daya. Dimana perubahan tegangan dan arus dideteksi oleh algoritma dan dihitung untuk menentukan menaikkan atau menurunkan *duty cycle* yang akan diberikan ke rangkaian *boost converter*.

3.2.4 Inverter

Penelitian ini menggunakan inverter tiga tingkat tiga fase. Pasokan DC untuk inverter diambil dari kapasitor besar yang terhubung di terminal input untuk menekan umpan balik harmonik ke sumber dan untuk membuat input DC konstan. Inverter adalah *neutral point clamped* (NPC) untuk memiliki tegangan yang lebih tinggi dan untuk mengurangi riak arus dalam bentuk gelombang dengan meningkatkan jumlah langkah. Gambar 7 adalah permodelan inverter VSC yang digunakan.



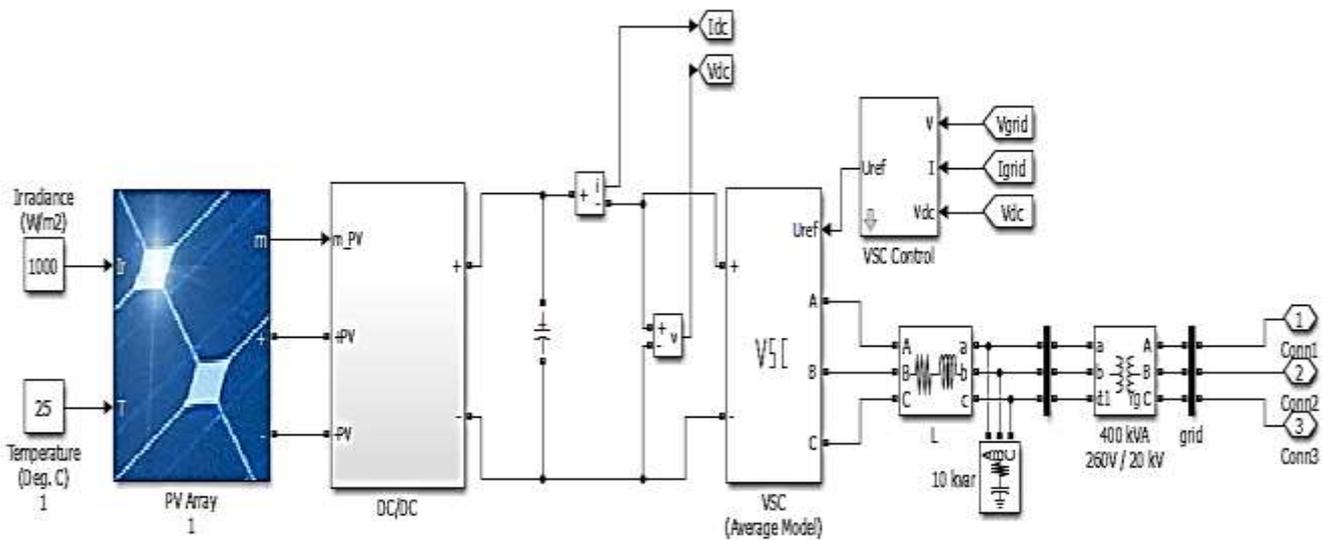
Gambar 7. Permodelan Inverter VSC

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini membahas rancangan DG bersumber solar sel, permodelan PMU terhubung dengan sistem 4 bus, hasil data simulasi dari pengujian tanpa terhubung DG pengujian terhubung DG dan pada bab ini membahas analisis perbandingan saat sebelum dan sesudah terhubung DG.

4.1 Perancangan DG Solar

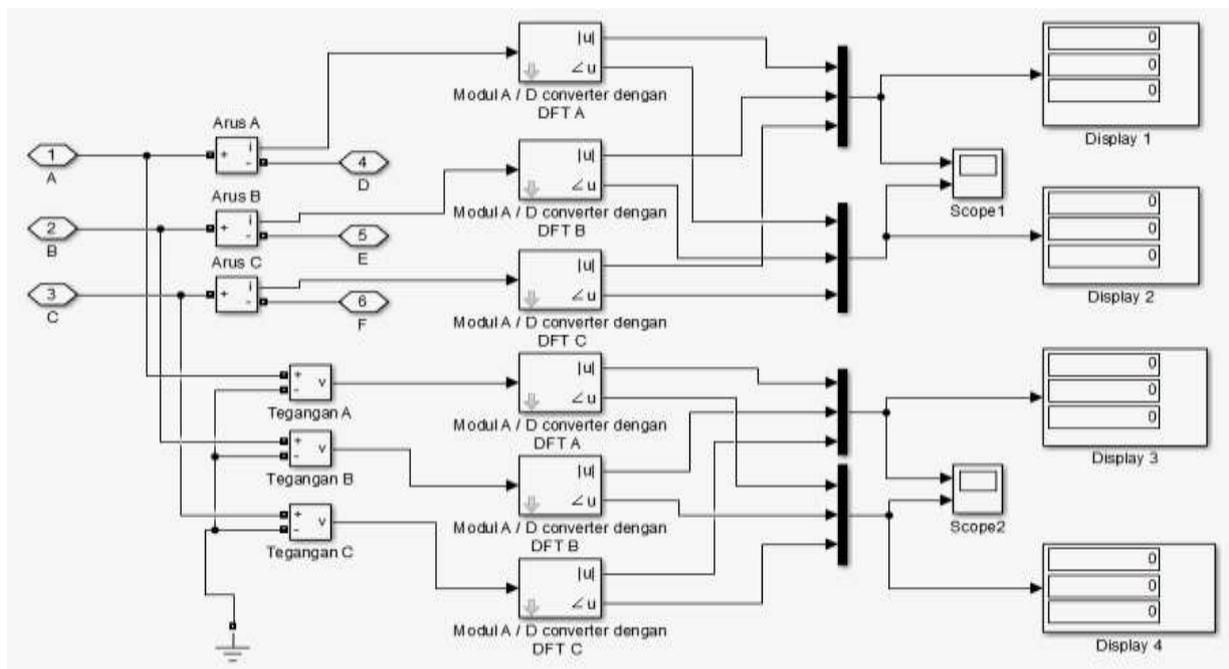
Sistem solar terhubung dengan sistem DG. Modul PV yang digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) menyediakan titik daya maksimum untuk pengoperasian sistem solar, yang dicapai menggunakan algoritma P&O. Selain itu, konverter DC-DC memastikan bahwa tegangan *output* akan selalu lebih besar daripada tegangan puncak grid. Elemen utama yang dapat dimasukkan dalam sistem konversi PV adalah modul PV, konverter, jaringan utilitas, beban DC dan AC, dan Inverter. Sebelum terhubung ke sistem yang terhubung DG, tegangan keluaran dari inverter harus melalui trafo *step up* 20 KV. Gambar 8 berikut ini menunjukkan simulasi dari perancangan:



Gambar 8. Simulink DG Bersumber Solar Sel

4.2 Permodelan PMU Terhubung dengan Sistem DG Via Matlab/Simulink

Gambar 9 adalah permodelan PMU yang digunakan penelitian ini.



Gambar 9. Permodelan PMU Via MATLAB Simulink

4.3 Hasil Simulasi Pengujian Tanpa Terhubung DG

Tabel 1. Hasil Simulasi Pengujian Tanpa Terhubung DG

PMU	Bus	Fasa	Arus Fasor (A)	Tegangan Fasor (V)
PMU-2	2	A	227,9 $\angle 114^\circ$	15.990 $\angle -31,62^\circ$
		B	227,9 $\angle -6,03^\circ$	15.990 $\angle -151,6^\circ$
		C	227,9 $\angle -126^\circ$	15.990 $\angle 88,38^\circ$
PMU-3	3	A	114,2 $\angle 114^\circ$	15.840 $\angle -32,35^\circ$
		B	114,2 $\angle -6,03^\circ$	15.840 $\angle -152,3^\circ$
		C	114,2 $\angle -126^\circ$	15.840 $\angle 87,65^\circ$
PMU-4	4	A	114,2 $\angle 114,1^\circ$	15.860 $\angle -32,23^\circ$
		B	114,2 $\angle -5,91^\circ$	15.860 $\angle -152^\circ$
		C	114,2 $\angle -126^\circ$	15.860 $\angle 87,77^\circ$

Tabel 1 menunjukkan hasil dari pengujian tanpa terhubung DG. Magnitud tegangan pada beban dan arus pada beban masing-masing PMU sudah stabil bisa dilihat pada fasa A, fasa B dan fasa C.

4.4 Hasil Simulasi Pengujian Dengan Terhubung DG

Tabel 2. Hasil Simulasi Pengujian Dengan Terhubung DG

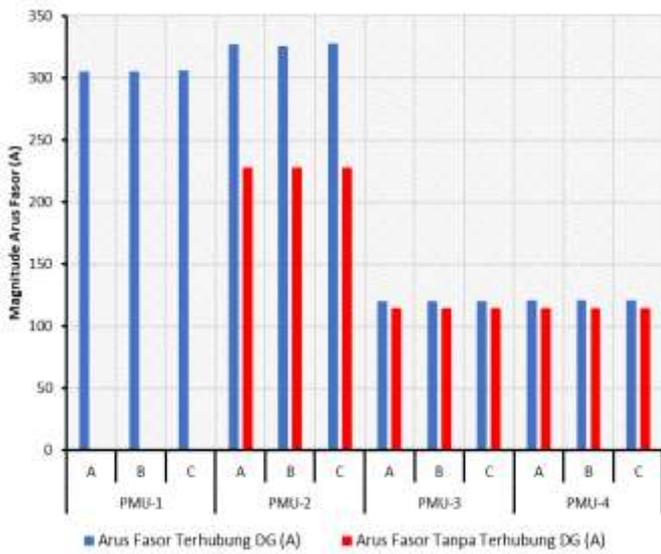
PMU	Bus	Fasa	Arus Fasor (A)	Tegangan Fasor (V)
PMU-1	1	A	305 $\angle 40,45^\circ$	16.920 $\angle -33,33^\circ$
		B	305 $\angle -79,19^\circ$	16.910 $\angle -153,3^\circ$
		C	306 $\angle 160,6^\circ$	16.920 $\angle 86,69^\circ$
PMU-2	2	A	327,2 $\angle 112,8^\circ$	16.680 $\angle -32,59^\circ$
		B	326 $\angle -7,24^\circ$	16.670 $\angle -152,6^\circ$
		C	327,7 $\angle -127,2^\circ$	16.680 $\angle 87,42^\circ$
PMU-3	3	A	120,1 $\angle 112,8^\circ$	16.730 $\angle -33,57^\circ$
		B	120,1 $\angle -7,24^\circ$	16.730 $\angle -153,6^\circ$
		C	120,1 $\angle -127,2^\circ$	16.730 $\angle 86,44^\circ$
PMU-4	4	A	120,6 $\angle 113^\circ$	16.650 $\angle -33,32^\circ$
		B	120,6 $\angle -7,03^\circ$	16.650 $\angle -153,3^\circ$
		C	120,6 $\angle -127^\circ$	16.650 $\angle 86,69^\circ$

Tabel 2 menunjukkan hasil dari pengujian dengan terhubung DG. Dari hasil data simulasi terjadi peningkatan magnitud tegangan dan arus pada kedua beban. Semula magnitud tegangan masing-masing beban 15,84 kV dan 15,86 kV

serta magnitud arus masing-masing beban 114,2 A dan 114,2 A, setelah dihubungkan DG menjadi 16,73 kV magnitud tegangan. Sedangkan magnitud arus beban menjadi 120,1 A dan 120,6 A.

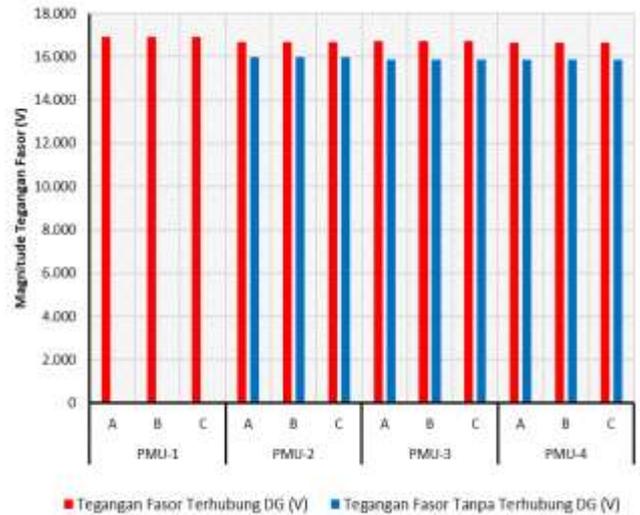
Dampak dari sistem DG menggunakan PMU ini telah meningkatkan kualitas daya yang dihasilkan dari kedua sumber yaitu jaringan 150 kV dan DG yang disuplai pada kedua beban, hasil data ini membuktikan bahwa DG berperan untuk menjaga daya pada beban tetap stabil dan meningkatkan efisiensi energi dengan mengurangi rugi-rugi daya pada sistem yang terhubung DG ini.

4.5 Analisis Perbandingan Sebelum Terhubung DG dan Sesudah Terhubung DG



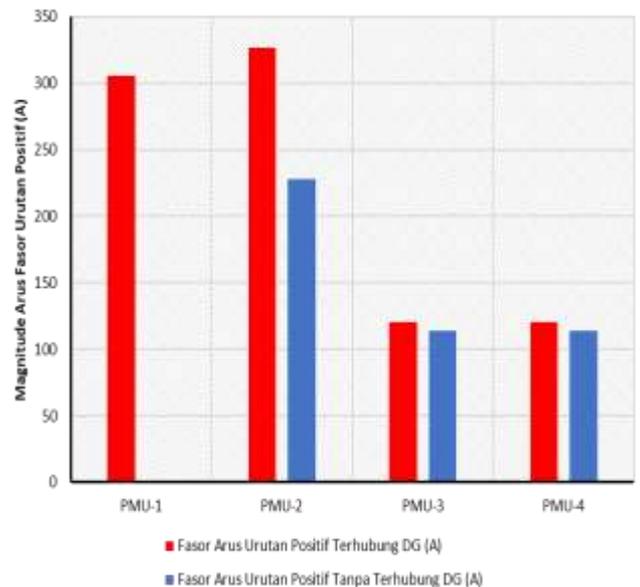
Gambar 10. Grafik Perbandingan Arus Fasor Sebelum dan Sesudah Terhubung DG

Gambar 10 menunjukkan perbandingan arus fasor dan tegangan fasor saat kondisi sesudah dan sebelum terhubung DG. Hasil yang dilihat pada hasil simulasi dari ketiga fasa yaitu A, Fasa B, dan Fasa C untuk masing-masing PMU yang menunjukkan bahwa terhubungnya DG pada sistem memberikan pengaruh pada peningkatan arus disetiap bus, sehingga arus beban mengalami peningkatan dari sebelumnya.



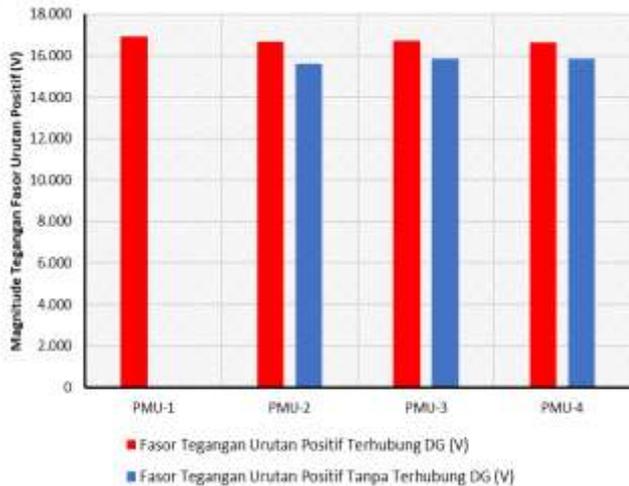
Gambar 11. Grafik Perbandingan Tegangan Fasor Sebelum dan Sesudah Terhubung DG

Gambar 11 menunjukkan perbandingan tegangan fasor dan tegangan fasor saat kondisi sesudah dan sebelum terhubung DG. Hasil menunjukkan bahwa terhubungnya DG pada sistem memberikan pengaruh pada peningkatan tegangan disetiap bus, sehingga tegangan pada kedua beban mengalami peningkatan dari sebelumnya. Perbandingan ini juga menampilkan hasil nilai urutan positif arus fasor dan tegangan fasor saat sebelum dan sesudah terhubung DG.



Gambar 12. Grafik Perbandingan Nilai Urutan Positif Arus Fasor Sebelum dan Sesudah Terhubung DG

Gambar 12 adalah perbandingan nilai urutan positif arus fasor sebelum dan sesudah terhubung DG. Dari data saat terhubung DG, arus yang suplai ke beban dari PMU-1 yaitu 305,5 A, sedangkan pada PMU-2 yaitu 326,9 A. Berbeda dari data saat sebelum terhubung DG, arus yang disuplai yaitu 227,9 A. Ini membuktikan bahwa pemasangan DG meningkatkan arus yang disuplai pada beban.



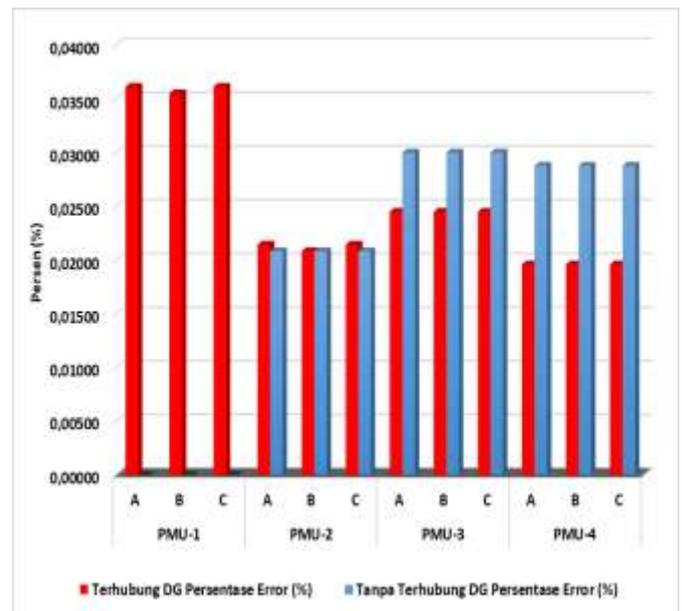
Gambar 13. Grafik Perbandingan Nilai Urutan Positif Tegangan Fasor Sebelum dan Sesudah Terhubung DG

Gambar 12 adalah perbandingan nilai urutan positif tegangan fasor sebelum dan sesudah terhubung DG. Dari data saat terhubung DG, tegangan yang suplai ke beban dari PMU-1 yaitu 16.920 V, sedangkan pada PMU-2 yaitu 16.680 V. Berbeda dari data saat sebelum terhubung DG, tegangan yang disuplai yaitu 15.590 V. Ini membuktikan bahwa pemasangan DG meningkatkan tegangan yang disuplai pada beban.

4.6 Persentase Kesalahan dari Hasil Tegangan PMU Terhadap Target Tegangan Kerja Ideal

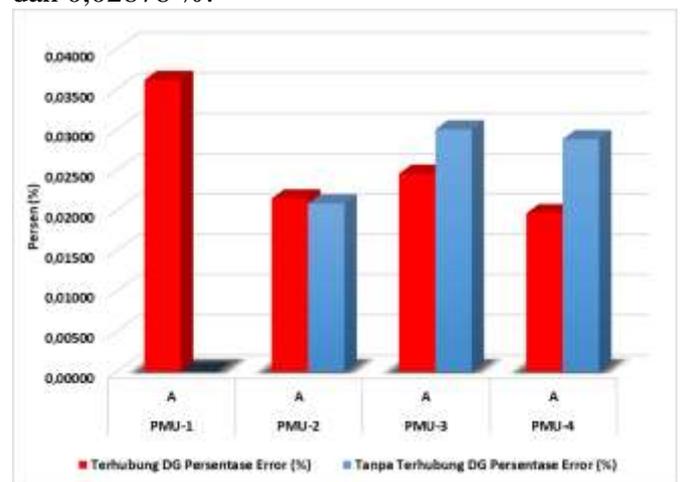
Target tegangan kerja ideal yang dikeluarkan dari PLN dengan persen kesalahan sebesar +5% dan -10% dari nilai tegangan nominal sistem distribusi 20 kV (PLN (Persero), 2009).

Tegangan kerja ideal yang digunakan sistem distribusi 20 kV adalah 16,33 kV yang telah dikonversi menjadi tegangan magnitude yang sama dengan hasil dari tegangan keluaran PMU.



Gambar 14. Grafik Persentase Kesalahan Hasil Tegangan PMU Terhadap Target Tegangan Kerja Ideal

Gambar 14 adalah persen kesalahan pada kondisi pengujian terhubung DG dan pengujian tanpa terhubung DG. Persen kesalahan pengujian terhubung DG pada PMU-3 dan PMU-4 yang masing-masing fasa A, B dan C memiliki nilai lebih kecil yaitu 0,02450 % dan 0,01960 %. Persen kesalahan pengujian tanpa terhubung DG pada PMU-3 dan PMU-4 yang masing-masing fasa A, B dan C memiliki nilai lebih tinggi yaitu 0,03000 % dan 0,02878 %.



Gambar 15. Grafik Persentase Kesalahan Hasil Nilai Urutan Positif Tegangan PMU Terhadap Target Tegangan Kerja Ideal

Gambar 15 adalah persentase kesalahan hasil nilai urutan positif tegangan pmu terhadap target tegangan kerja ideal. Pada pengujian terhubung

DG memiliki nilai persen kesalahan yang lebih kecil pada sisi beban di PMU-3 dan PMU-4 dengan nilai 0,02450 % dan 0,01960 %. Pada pengujian terhubung DG memiliki nilai persen kesalahan yang lebih kecil pada sisi beban di PMU-3 dan PMU-4 dengan nilai 0,03000 % dan 0,02878 %.

V. KESIMPULAN

Pada saat sistem distribusi sebelum terpasang DG, tegangan yang disuplai pada sisi beban adalah 15,84 kV dan 15,86 kV dan arus yang disuplai pada sisi beban adalah 114,2 A dan 114,2 A. Dengan perancangan sistem distribusi yang terhubung DG bersumber solar sel, meningkatkan tegangan yang disuplai pada sisi beban adalah 16,73 kV dan 16,65 kV dan meningkatkan arus yang disuplai pada sisi beban adalah 120,1 A dan 120,6 A.

Data dari kedua pengujian menunjukkan bahwa adanya peningkatan pada saat keadaan sistem 4 bus terhubung dengan DG dan dengan menggunakan PMU sebagai monitoring tegangan dan arus fasor. Dengan menggunakan PMU pada penelitian ini memudahkan pengambilan data yang diinginkan dan juga PMU ini memudahkan dalam memonitoring magnitud dan sudut fasor pada setiap bus. Hasil pengukuran dari PMU tidak hanya berupa nilai fasor arus dan tegangan setiap fasanya tetapi juga berupa nilai fasor arus dan tegangan urutan positif. Fasor arus dan tegangan urutan positif digunakan untuk pemantauan sistem secara menyeluruh yang dapat terpantau di pusat kendali.

Saat sistem distribusi sebelum terpasang DG, nilai urutan positif tegangan yang disuplai pada sisi beban adalah 15,84 kV dan 15,86 kV dan nilai urutan positif arus yang disuplai pada sisi beban adalah 114,2 A dan 114,2 A. Saat sistem distribusi dihubungkan dengan DG bersumber solar sel, nilai urutan positif tegangan yang disuplai pada sisi beban meningkatkan yaitu 16,73 kV dan 16,65 kV dan nilai urutan positif arus yang disuplai pada sisi beban meningkatkan yaitu 120,1 A dan 120,6 A

Nilai tegangan kerja ideal di jaringan dan beban yang digunakan pada sistem distribusi 20 kV adalah 16,33 kV yang telah dikonversi menjadi

tegangan magnitude yang sama dengan hasil dari tegangan keluaran PMU. Pengujian terhubung DG memiliki nilai persen kesalahan yang lebih kecil pada sisi beban di PMU-3 dan PMU-4 dengan nilai 0,02450 % dan 0,01960 % daripada nilai persen kesalahan pada pengujian tanpa terhubung DG dengan nilai 0,03000 % dan 0,02878 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Asep Najmurokhman, Kusnandar, and A. F. (2016). Perancangan Boost Converter Untuk Sistem Pembangkit. *Batara Pilar Teknik*. <http://www.ptbpt.com/blog/manfaat-pembangkit-listrik-tenaga-surya>
- Glover, J. D., Sarma, M. S., & Overbye, T. J. (2012). *Power System Analysis And Design*.
- Haddad, R. J., Guha, B., Kalaani, Y., & El-Shahat, A. (2018). *Smart Distributed Generation Systems Using Artificial Neural Network-Based Event Classification*. *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, 5(2), 18–26. <https://doi.org/10.1109/jpets.2018.2805894>
- Iswadi, H. R., Best, R. J., & Morrow, D. J. (2015). *Identification of small signal oscillation mode parameters from simulated and actual PMU ringdown data*. *2015 IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech 2015, June*. <https://doi.org/10.1109/PTC.2015.7232327>
- Khoa, N. M., & Tung, D. D. (2018). *Locating fault on transmission line with static 9 compensator based on phasor measurement unit*. *Energies*, 11(9), 9–12. <https://doi.org/10.3390/en11092380>
- Kurniawan, T. (2017). Studi Aliran Daya Aktif 3 Fasa Pada Sistem Distribusi Radial Dengan Penentuan Lokasi Dan Kapasitas DG Optimal Menggunakan Metode K-Means Clustering. *INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER*.
- Mahendra, S. (2015). Studi Rekonfigurasi Jaringan Dan Penentuan Lokasi *Distributed Generation* (DG) Pada Sistem Distribusi Radial 3 Fasa Metode Newton Rhapsod Untuk

Meningkatkan Keluaran Daya Aktif DG. 4(2),
159.<https://doi.org/10.1080/13669870802497744>

Panjaitan, M. (2017). Pemahaman Metode Numerik Menggunakan Pemograman Matlab (Studi Kasus: Metode Secant). *Jurnal Teknologi Informasi*, 1(1), 89. <https://doi.org/10.36294/jurti.v1i1.108>

PLN (Persero). (2009). Aturan distribusi tenaga listrik.

Revandy, R. (2015). *Power System Stability Evaluation Using Synchronized Phasor Measurement At Gitet Suralaya And Gitet Cilegon. ITS.*