

# Simulasi Pusat Tenaga Listrik (PLTS) On Grid pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Simulink Matlab

Abdul Hafid<sup>1</sup>, Adriani<sup>2</sup>, dan Rahmania<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar  
Jl. Sultan Alauddin No. 259 Makassar 90221  
e-mail: abdul.hafid@unismuh.ac.id

**Abstrak**— Pada makalah ini diuraikan sinkronisasi PV array 3 kW dengan jaringan tegangan rendah satu fase 220 V, frekuensi 50 Hz menggunakan *Grid Tie Inverter* (GTI). PV array yang digunakan berupa modul surya Trina Solar TSM-250PA05.08 dengan susunan 12 modul tersusun seri. Inverter yang digunakan dibangun dari IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) menggunakan metode modulasi lebar pulsa dwikutub (*Bipolar PWM*) untuk membangkitkan sinyal penyalan ke komponen IGBT. *Grid Tie Inverter* dilengkapi dengan pengontrol MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) dengan metode PO (*Perturb and Observe*), regulator VDC dengan pengontrol proporsional dan integral, regulator arus dengan pengontrol proporsional dan integral, dan PLL (*Phase Lock Loops*) dan pengukuran. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan Simulink Matlab untuk beban konstan, diperoleh hasil bahwa performa GTI cukup baik, yaitu bahwa daya (aktif) dari PV array dapat dialirkan ke beban dan besarnya bervariasi tergantung pada iradiasi matahari yang jatuh ke permukaan sel surya.

**Kata kunci:** PV array, *Grid Tie Inverter*, PLTS On grid, Simulink Matlab

**Abstract**— In this paper, we describe the synchronization of a 3 kW PV array with a single-phase low voltage network of 220 V, 50 Hz frequency using a *Grid Tie Inverter* (GTI). The PV array used is a Trina Solar TSM-250PA05.08 solar module with 12 modules arranged in series. The inverter used is built from IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) using a bipolar pulse width modulation method (*Bipolar PWM*) to generate an ignition signal to the IGBT component. *Grid Tie Inverter* is equipped with MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) controller with PO (*Perturb and Observe*) method, VDC regulator with proportional and integral controller, current regulator with proportional and integral controller, and PLL (*Phase Lock Loops*) and measurement. Based on the simulation results using Simulink Matlab for constant load, the results show that the GTI performance is quite good, namely that the (active) power from the PV array can be supplied to the load and the amount varies depending on the solar irradiation that falls on the surface of the solar cell.

**Keywords:** PV array, *Grid Tie Inverter*, PLTS On grid, Simulink Matlab

## I. PENDAHULUAN

Pada saat ini untuk pemenuhan kebutuhan energi listrik di Indonesia masih banyak digunakan pembangkit-pembangkit listrik dengan penggerak/turbin berbahan bakar batubara, gas alam dan BBM. Berdasarkan data Indonesia Energi Outlook 2019 [1], persentase turbin generator yang menggunakan bahan bakar batubara sebesar 50%, gas alam 29%, BBM sebesar 7%, sementara itu sumber energi terbarukan hanya berkontribusi sebesar 14%. Persentase ini masih sangat jauh dari target Indonesia yang tercantum dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) bahwa Indonesia akan siap menggunakan 23% dari total produksi energi pada tahun 2025 yang berasal dari sumber energi yang dapat diperbaharui atau disebut juga Energi Baru Terbarukan (EBT). Sumber energi terbarukan seperti: Panas bumi, angin/bayu, surya, air, bioenergi, arus dan gelombang laut sudah banyak dimanfaatkan sebagai sumber energi pada

pembangkit listrik energi terbarukan, dan beberapa diantaranya telah banyak digunakan di Indonesia baik dengan skema penyaluran off grid/ terisolasi maupun yang on grid. Pembangunan PLT Energi Terbarukan di Provinsi Sulawesi Selatan, antara lain [2]:

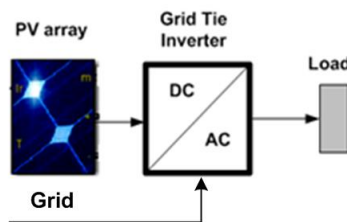
- PLTS Pulau Balang Lompo dan Pulau Kodingareng
- Kabupaten Kepulauan Selayar: 7 Unit PLTS Terpusat dengan total kapasitas 750 Kilowatt
- Kabupaten Sinjai: 4 Unit PLTMH dan 1 Unit PLTS Terpusat dengan total kap. 388 Kilowatt.
- Kabupaten Sidrap: PLTB (Kincir angin) total kapasitas 75 Megawatt
- Kabupaten Jeneponto: PLTB (Kincir angin) total kapasitas 72 Megawatt

Karena kecenderungan penggunaan PLTS sebagai sumber pembangkit listrik alternatif untuk masyarakat baik yang

bermukim di daerah perkotaan maupun yang berdomisili di pedesaan dan pada pulau-pulau di Indonesia, maka teknologi PLTS semakin dikembangkan oleh banyak peneliti. Salah satu topik penelitian yang diteliti berkaitan pemanfaatan energi surya adalah *Grid Tie Inverter* (GTI). GTI adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengubah arus searah yang diproduksi modul surya, atau generator DC turbin angin menjadi arus bolak balik. GTI juga berfungsi sebagai alat sinkronisasi antara tegangan AC inverter dengan tegangan jaringan /Grid yang bersumber dari diesel generator atau sumber PLN. Makalah ini bertujuan melakukan simulasi Pusat Tenaga Listrik (PLTS) On Grid 3 kW pada jaringan tegangan rendah menggunakan Simulink Matlab.

## II. METODE

- Skema PLTS On grid



Gambar 1 Skema PLTS On grid

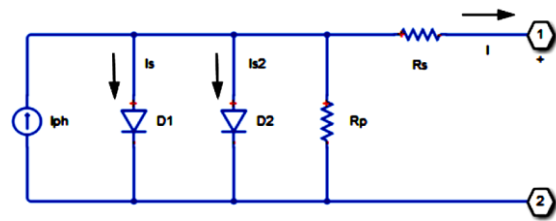
- Rangkaian Fotovoltaik (Photovoltaic Array)

Rangkaian fotovoltaik (photovoltaic array) yang digunakan pada simulasi ini dibangun dari dua belas modul fotovoltaik/ modul surya yang tersusun seri., dimana setiap modul berisi 60 sel surya. Data modul surya yang digunakan dicantumkan pada tabel 1.

Tabel 1 Data modul surya

Modul Trina Solar TSM-250PA05.08	Nilai pada iradiasi 1000 W/m <sup>2</sup>
Daya maksimum (W)	249,86
Tegangan rangkaian terbuka Voc (V)	37,6
Tegangan pada titik daya maksimum, Vmp (V)	31
Arus hubung pendek, Isc (A)	8,55
Arus pada titik daya maksimum, Imp (A)	8,06
Sel permodul (Nsel)	60
Koefisien temperature dari Voc (%/°C)	-0,35
Koefisien temperature dari Isc (%/°C)	0,06
Arus yang dibangkitkan cahaya I <sub>L</sub> (A)	8,5795
Arus saturasi diode (A)	2,038 · 10 <sup>-10</sup>
Faktor keidealn diode	0,99766
Hambatan shunt R <sub>sh</sub> (Ω)	301,849
Hambatan seri R <sub>s</sub> (Ω)	0,247

Model matematis sel surya digambarkan sebagai sebuah rangkaian dengan sumber arus tidak tetap yang paralel dengan dua diode dan berisi hambatan seri dan paralel.



Gambar 2 Diagram rangkaian ekuivalen sel surya

Tegangan keluaran sel surya

$$I = I_{ph} - I_s \left( e^{(V+I R_s)/(N V_t)} - 1 \right) - I_{s2} \left( e^{(V+I R_s)/(N_2 V_t)} - 1 \right) - (V + I R_s)/R_p \quad (1)$$

dimana  $I_{ph}$  adalah arus induksi matahari,  $I_s$  dan  $I_{s2}$  masing-masing adalah arus saturasi diode pertama dan kedua;  $V_t$  adalah tegangan panas/termal;  $N$  dan  $N_2$  masing-masing adalah faktor

kualitas (koefisien emisi diode) diode pertama dan kedua;  $V$  adalah tegangan pada terminal sel surya. Rangkaian fotovoltaik (*photovoltaic array*, PV array) yang digunakan pada simulasi adalah 12 modul yang tersusun seri sehingga berdasarkan data pada tabel 1, daya maksimum, tegangan dan arus PV array pada kondisi penyinaran matahari 1000W/ m<sup>2</sup> masing-masing adalah daya sekitar 3 kW, tegangan 372 V dan arus 8,06 A.

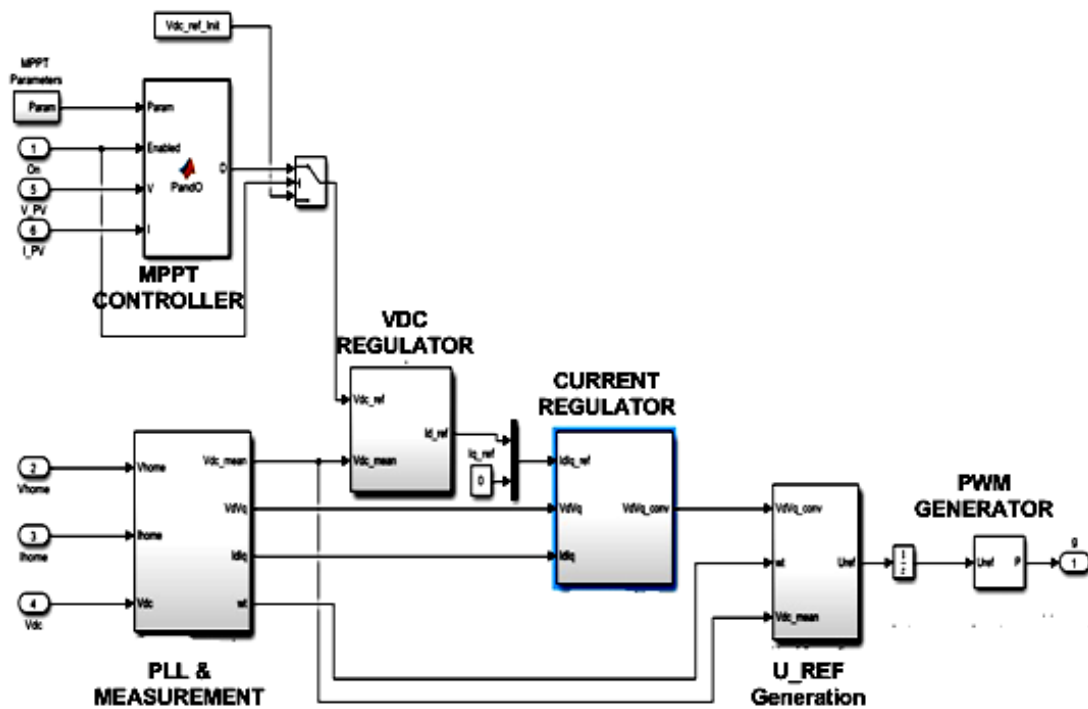
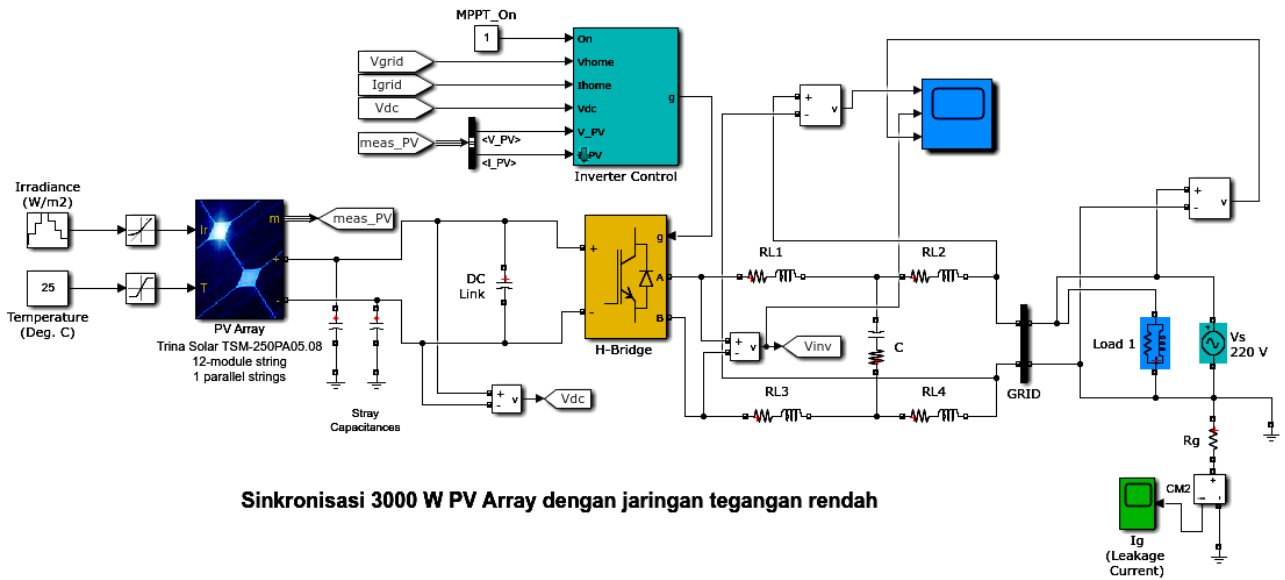
- Konverter DC/AC satu fase

Model inverter yang digunakan adalah berupa IGBT jembatan penuh fase tunggal dengan metode kontrol PWM. Topologi filter pada sisi grid menggunakan konfigurasi LCL (induktor –kapasitor) dengan induktor ditempatkan dibagi antara cabang saluran dan netral.

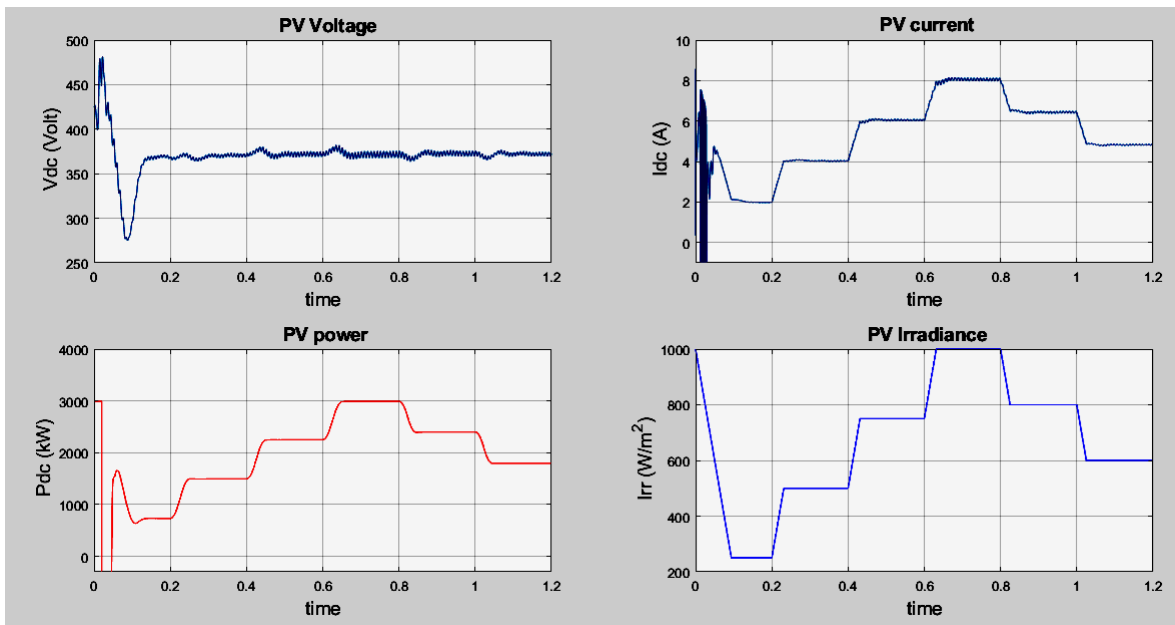
- Kontrol Inverter

Sistem kontrol berisi lima subsistem pada Simulink:

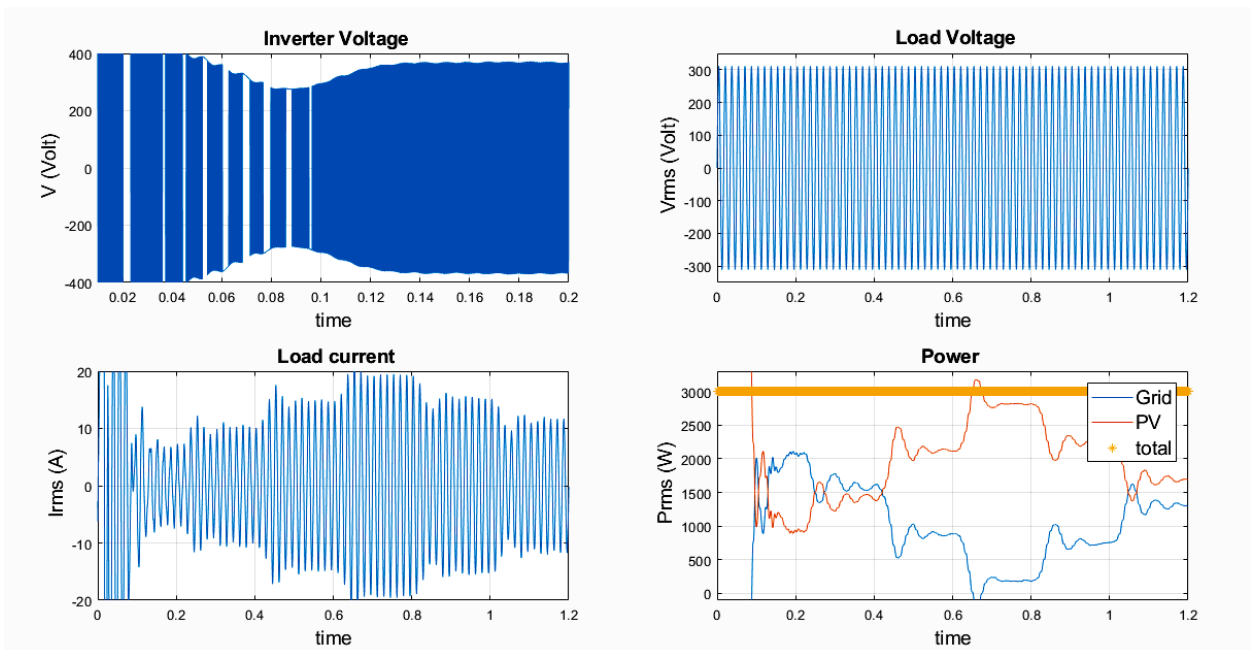
- Pengontrol MPPT: Pengontrol penjejak titik daya maksimum (*maximum power point tracking*), pengontrol ini menggunakan metode PO (*Perturb And Observe*). MPPT ini secara otomatis memvariasikan sinyal referensi pada regulator VDC inverter guna mendapatkan tegangan DC yang mendekati titik daya maksimum modul surya.
- Regulator VDC: menentukan arus aktif referensi Id untuk regulator arus
- Regulator arus: didasarkan pada arus referensi Id dan Iq (arus reaktif), regulator menentukan tegangan referensi yang dibutuhkan untuk inverter. Pada simulasi ini arus referensi Iq di set sama dengan nol
- PLL dan pengukuran: PLL (*Phase lock loops*) dan pengukuran diperlukan untuk sinkronisasi inverter dengan grid dan untuk pengukuran arus dan tegangan.
- Generator PWM: menggunakan metode modulasi lebar pulsa dwikutub (*bipolar PWM*) untuk membangkitkan sinyal penyalan ke komponen IGBT. Pada simulasi ini digunakan frekuensi carrier PWM sebesar 3150 Hz (50 Hz x 63).



Gambar 3 Diagram simulasi dan subsistem



Gambar 4 Variasi tegangan, arus dan daya pada PV array terhadap iradiasi matahari



Gambar 5 Tegangan inverter, tegangan terminal beban, arus dan daya pada beban

- Setting variabel

Inverter : daya 3000 VA, frekuensi 50 Hz, tegangan keluaran 220 V (rms), tegangan DC 372 V

Pengontrol MPPT : nilai tegangan awal 372 V, batas atas dan batas bawah tegangan  $372 V \pm 5 \%$ , interval 0.003 V

DC voltage regulator : pengontrol PI paralel, konstanta proporsional  $K_P = 2$  dan konstanta integral  $K_I = 200$

Current regulator : pengontrol PI paralel, konstanta proporsional  $K_P = 0.15$  dan integral gain  $K_I = 6.6$ . Lintasan umpan maju  $R_f = 0.002$  pu,  $L_f = 0.20$  pu

Gain controller pada PLL,  $K_P = 180$ ,  $K_I = 3200$ ,  $K_D = 1$

PWM modulator : carrier frekuensi (63 x50 Hz), metode bipolar

Filter  $R = 8.23 \cdot 10^{-3}$  Ohm,  $L = 2.183 \cdot 10^{-3}$  H, kapasitor  $Q_c = -525$  Var,  $f = 50$  Hz, tegangan 220 V (rms)

Beban RL,  $S = 3000 + j 1000$  VA

Grid : generator satu fase 220 V (rms),  $f = 50$  Hz, 3000 W

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagaimana yang diperlihatkan pada pada gambar 4, tegangan keluaran PV array bervariasi sebanding dengan perubahan iradiasi matahari yang jatuh pada permukaan sel surya. Pada simulasi, PV array diberi beban tetap sebesar  $S = 3000 + j 1000$  VA. Seperti yang diperlihatkan pada gambar 4, untuk waktu 0.2 detik sampai 1.2 detik, tegangan PV array berada antara 363 Volt sampai 382 Volt. Kontrol tegangan PV array oleh MPPT diatur pada batas nilai 353.4 Volt - 390.6 Volt. Seperti yang disebutkan pada bagian terdahulu, metode kontrol yang digunakan dalam MPPT adalah metode PO (*Perturb And Observe*). Berdasarkan hasil ini maka dapat dikatakan bahwa MPPT sukses beroperasi dalam mengontrol tegangan keluaran PV array untuk beban sebesar yang disebutkan. Variasi arus PV array mempunyai nilai minimum 1.9877 A dan nilai maksimum 8.1584 A. Dalam hal ini, PV array mengeluarkan arus minimum untuk kondisi iradiasi matahari 250 W/m<sup>2</sup> dan PV array mengeluarkan arus maksimum untuk kondisi iradiasi matahari 1000 W/m<sup>2</sup>.

Tegangan keluaran *grid tie inverter* (GTI) diperlihatkan pada gambar 5. Pada awal simulasi, keluaran GTI berada antara  $\pm 296$  V sampai  $\pm 425$  V pada saat  $t = 0$  sampai 0.14 detik. Selanjutnya untuk waktu  $t = 0.14$  detik sampai 1.2 detik, tegangan keluaran GTI berkisar antara  $\pm 368$  V sampai  $\pm 373$  V. seperti diperlihatkan pada diagram simulasi, keluaran dari *H bridge* /inverter dihubungkan ke beban satu fase melalui filter LCL, tegangan pada terminal beban diperlihatkan pada gambar 5. Nilai tegangan pada terminal beban konstan, dengan nilai puncak 311.1270 V atau dalam nilai rmsnya adalah sebesar 220 V. Arus yang mengalir ke beban  $S = 3000 + j 1000$  VA (beban konstan) yang berasal dari PV array bervariasi sebanding dengan iradiasi matahari yang jatuh ke permukaan sel surya. Kontribusi daya (aktif) yang dialirkan ke beban oleh PV array bervariasi tergantung iradiasi matahari. Pembagian daya ke beban dari grid dan PV array dicantumkan pada tabel 2.

Tabel 2. Pembagian daya ke beban dari grid dan PV array untuk beban konstan  $S = 3000 + j 1000$  VA

Aliran daya ke beban (W)		Iradiasi matahari (W/m <sup>2</sup> )
Dari grid	Dari PV array	
2062	938	250
1590	1410	500
880	2120	750
190	2810	1000
759	2241	800
1321	1679	600

Pada tabel 2, apabila iradiasi matahari yang jatuh pada permukaan sel surya maksimum (1000 w/m<sup>2</sup>) maka PV array akan mengalirkan daya ke beban sebesar (2810 + j937) VA, sementara daya dari grid sebesar (190 + j63)VA. Untuk kasus iradiasi minimum (250 W/m<sup>2</sup>) maka pembagaian daya ke beban adalah (938 + j313) VA dari PV array dan (2062 + j687) VA dari grid.

### IV. KESIMPULAN

Pada makalah ini telah dipresentasikan sinkronisasi PV array 3 kW dengan jaringan listrik tegangan rendah 220 V frekuensi 50 Hz menggunakan *Grid Tie Inverter*. Pada simulasi digunakan modul surya Trina Solar TSM-250PA05.08 dengan susunan 12 modul seri. Daya maksimum, tegangan dan arus PV array pada kondisi penyinaran matahari 1000W/ m<sup>2</sup> masing-masing adalah daya sekitar 3 kW, tegangan 372 V dan arus 8,06 A.

Pada simulasi, beban yang harus dilayani grid dan PV array sebesar  $S = 3000 + j 1000$  VA konstan. Berdasarkan hasil simulasi, kontribusi daya (aktif) yang dialirkan ke beban oleh PV array bervariasi tergantung pada iradiasi matahari yang jatuh ke permukaan sel surya. Untuk kasus iradiasi matahari yang jatuh pada permukaan sel surya maksimum (1000 w/m<sup>2</sup>) maka PV array akan mengalirkan daya ke beban sebesar (2810 + j937) VA, sementara daya dari grid sebesar (190 + j63)VA. Untuk kasus iradiasi minimum (250 W/m<sup>2</sup>) maka pembagaian daya ke beban adalah (938 + j313) VA dari PV array dan (2062 + j687) VA dari grid.

### REFERENSI

- [1] Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, "Indonesia Energy Outlook 2019," 2019, [Daring]. Tersedia pada: <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlookenergi-indonesia-2019-bahasa-indonesia.pdf>.
- [2] <http://ebtke.esdm.go.id/post/2018/05/09/1956/hadimnya.pembangkit.energi.terbarukan.di.sulsel.hasil.nyata.utuk.masyarakat> (unduh 02-03-2021)
- [3] Sukmajati, S. Hafidz, M. (2015). Perancangan Dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 Mw On Grid Di Yogyakarta, *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 7(1): 49-63
- [4] Ramadhan, I.A. Diniardi, E. & Mukti, H.S. (2016). Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP. *Jurnal Teknik*, 37(2): 59-63
- [5] Hafid, A. Abidin, Z. et al. (2017). Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pulau Balang Lompo. *Jurnal Litek*, 14(1): 6-12
- [6] Sari, P.D. Kurniasi, N. & Yogiarto, A. (2018). Kajian Perencanaan PLTS Terhubung Ke Grid Untuk Melayani Suplai Daya Listrik Di Menara STT – PLN. *Jurnal Sutet*, 8(1): 13-20

- [7] Omar, Moien A., and Marwan M. Mahmoud. "Grid connected PV-home systems in Palestine: A review on technical performance, effects and economic feasibility." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82 (2018): 2490-2497.
- [8] Hafid, Abdul. "Estimasi Parameter Modul Surya 190 Wp Menggunakan Metode Newton Raphson." *CYCLOTRON* 4.2 (2021).
- [9] Pushpa, K. R., and R. S. Geetha. "Mathematical model and analysis of PV Converter-Inverter System." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 1187. No. 1. IOP Publishing, 2021.
- [10] Haq, Irsyad Nashirul, et al. "Simulasi Energi dan Keekonomian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk Fungsi Peak Load Shaving pada Bangunan di Lingkungan Kampus ITB." *Journal of Science and Applicative Technology* 5.1 (2021): 179-186.
- [11] Cen, Zhaohui. "Modeling and simulation for an 8 kW three-phase grid-connected photo-voltaic power system." *Open Physics* 15.1 (2017): 603-612.
- [12] Omar, Moien A., and Marwan M. Mahmoud. "Improvement Approach for Matching PV-array and Inverter of Grid Connected PV Systems Verified by a Case Study." *International Journal of Renewable Energy Development* 10.4 (2021).
- [13] Chaturvedi, Devendra K. Modeling and simulation of systems using MATLAB® and Simulink®. CRC press, 2017. Pushpa, K. R., and R. S. Geetha. "Mathematical model and analysis of PV Converter-Inverter System." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 1187. No. 1. IOP Publishing, 2021.
- [14] Rahim, Nasrudin Abd, Hew Wooi Ping, and Jeyraj Selvaraj. "Photovoltaic module modeling using Simulink/Matlab." *Procedia Environmental Sciences* 17 (2013): 537-546.