

# Performansi *Grid Tie Inverter* dengan Variasi Pembebanan pada *PV-on Grid Module Trainer*

YULI ASMI RAHMAN<sup>1</sup>, MARLIN PAMUSO<sup>2</sup>, RIZANA FAUZI<sup>3</sup>, AGUS SISWANTO<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Universitas Tadulako, Indonesia

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus Cirebon, Indonesia

Email: [yuliasmi.rahman81@gmail.com](mailto:yuliasmi.rahman81@gmail.com)

*Received* 22 September 2021 | *Revised* 18 Oktober 2021 | *Accepted* 24 Oktober 2021

## ABSTRAK

*Grid-tie inverter (GTI) merupakan komponen penting sebagai antar muka antara sistem terintegrasi PLN dan PV. Penelitian ini bertujuan untuk melihat performansi GTI pada sistem beban yang bervariasi. Variasi beban menggunakan beban RLC dalam tiga skenario masing-masing beban 450 Watt, 300 Watt dan 270 Watt. Pengambilan data dilakukan pada rentang waktu satu bulan dengan temperatur dan lama penyinaran rata-rata masing-masing sebesar 27,56°C dan 5,14 jam. Hasil pengukuran menunjukkan terjadi perbedaan efisiensi GTI pada setiap nilai beban. Efisiensi maksimum terjadi pada beban 300 Watt. Hal ini mengindikasikan selain pengaruh eksternal pada PV yang mempengaruhi tegangan keluaran, faktor beban juga mempengaruhi efisiensi GTI. Efisiensi GTI yang rendah mengimplikasikan bahwa keterpakaian daya dari catu daya utama masih lebih dominan.*

**Kata kunci:** *efisiensi, grid tie inverter, variasi beban, PV terintegrasi sistem*

## ABSTRACT

*Grid-tie inverter (GTI) is an essential component as an interface between PLN and PV integrated systems. This study aims to see the performance of GTI on various load systems. The load variation uses RLC load in three scenarios, each of 450 Watt, 300 Watt, and 270 Watt, divided into five branch points on the PV on-grid module trainer. Data were collected at one month with an average temperature and duration of irradiation of 27.56°C and 5.14 hours, respectively. The measurement results show that there is a difference in GTI efficiency at each load value. Maximum efficiency occurs at a 300 Watt load. The value indicates the external influence on the PV that affects the output voltage; the load factor also affects the efficiency of the GTI. The low GTI efficiency implies that the power consumption of the main power supply is still more dominant.*

**Keywords:** *efficiency, grid tie inverter, load variation, PV-on grid*

## 1. PENDAHULUAN

Kebijakan global gencar untuk mengembangkan dan menerapkan teknologi energi terbarukan sebagai bentuk aksi pengurangan dan ketergantungan terhadap sumber daya bahan bakar fosil. Target penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT) sebesar 23% dalam bauran energi nasional pada 2025 menjadi kebijakan **(Indonesia, 2014)** yang dipadukan dengan komitmen Indonesia untuk mengurangi emisi hingga 29% pada 2030. Hal ini merupakan upaya jelas menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan. Berbagai program akselerasi pengembangan EBT, salah satunya berfokus pada pemanfaatan energi surya atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Secara global, pemanfaatan PLTS meningkat dalam dua tahun terakhir dibandingkan EBT lainnya **(Raturi, 2019)** karena faktor keandalan dan kebersihannya **(Hansen, dkk, 2018) (Kabir, dkk, 2018)**. Kajian *International Energy Agency* (IEA) menunjukkan total kapasitas panel surya yang terpasang mencapai 500 GW di seluruh dunia pada tahun 2018 dengan 98 GW yang dipasang hanya pada tahun 2018 **(Jäger, 2020)**.

Untuk skala Indonesia, mengacu data Kementerian ESDM, potensi pengembangan PLTS mencapai 207,8 GWp dengan realisasi mencapai 0,15 GWp dimana kapasitas terpasang mencapai 152,44 MW dan 10,9% adalah PLTS atap dan sisanya PLTS *on the ground*. Kebermanfaatan PLTS atau lazim disebut *photovoltaic* (PV) mempertimbangkan penyebaran geografis. Walaupun dilapangan, terjadi sebaliknya, lokasi penyerapan pembangkit PV terdistribusi sebagian besar tidak direncanakan karena ditentukan oleh konsumen. Berbagai faktor harus dipertimbangkan ketika merancang dan memasang sistem PV ke jaringan distribusi. Panduan mengenai operasi dan peralatan yang diperlukan untuk memastikan operasi yang kompatibel dari sistem fotovoltaik dan jaringan distribusi dapat ditemukan dalam standar IEEE 929-2000. Standar IEEE khusus ini berisi informasi dan batasan untuk keselamatan personel, pengoperasian sistem utilitas, perlindungan peralatan, dan kualitas daya. Pada standar IEEE 519-1992 menetapkan batas tegangan dan arus harmonik pada titik sambungan umum antara pengguna akhir dan utilitas distribusi. Batas yang ditetapkan oleh standar ini sama dengan 5% untuk tegangan dan arus distorsi harmonik total yang dapat diberikan oleh produsen kepada pelanggan. Batas maksimum komponen harmonik individu juga ditentukan dan harus 3% untuk tegangan lebih rendah dari 69 kV.

Pemanfaatan PLTS dapat menjadi tiga sistem berbeda yaitu sistem *off-grid* atau *stand-alone*, *on-grid* dan *hybrid* **(Vigneshwari, dkk, 2016)**. Sistem *on-grid* merupakan sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik yang telah ada, misalnya jaringan distribusi PLN dengan tetap memanfaatkan energi dari panel surya. Komponen utama sistem *on-grid* adalah panel surya dan inverter. Kelebihan sistem *on-grid* adalah biaya yang lebih murah karena tidak memerlukan baterai dan *charger controller* dan pemasangan yang relatif mudah. Pada sistem PLTS-*on grid*, fungsi sinkronisasi tegangan searah yang berasal dari PLTS dan tegangan bolak-balik dari PLN dijalankan oleh *Grid Tie Inverter* (GTI) atau kadang disebut juga dengan *synchronous inverter*. Untuk menghubungkan secara paralel antara tegangan PV dan tegangan grid maka karakteristik kedua tegangan memiliki frekuensi, tegangan dan sudut fasa yang sama. Sistem *on-grid* juga membawa dampak positif berupa penurunan rugi daya dan jatuh tegangan **(Rahman, dkk, 2018)**.

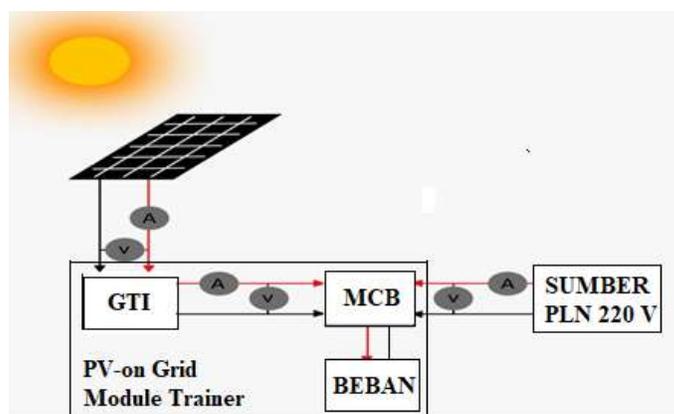
Tantangan utama dari sistem PV-*on grid* adalah faktor ketidakpastian dari sistem PV akibat radiasi matahari maupun suhu eksternal **(Fallah, dkk, 2012) (Premkumar, dkk, 2018)**. Pola output daya PV berubah mengikuti iradiasi dan suhu seperti yang disimulasikan pada pemodelan modul sel surya tipe SHARP ND T060M1 tersambung sistem satu fasa menggunakan simulink Matlab **(Kananda & Nazir, 2013)**. Peran MPPT pada GTI untuk

menstabilkan output output PV dengan mengekstraksi daya maksimum dalam kondisi cuaca yang berbeda dengan radiasi matahari bervariasi antara  $250 \text{ W/m}^2$  dan  $1000 \text{ W/m}^2$  telah diuji menggunakan MATLAB/Simulink (**Adebiyi, dkk, 2021**). Hasil simulasi menunjukkan tegangan dan arus keluaran PV bervariasi seiring radiasi matahari terkontrol dengan metode MPPT. Faktor radiasi matahari dan temperatur PV ikut berpengaruh terhadap daya keluaran dari GTI. Pengukuran secara simultan menunjukkan terjadi penurunan nilai tegangan PV akibat suhu PV yang meningkat di atas  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  walaupun nilai radiasi sama. Penurunan daya dari GTI juga terindikasi ketika tegangan jala-jala menurun (**Nahela, dkk, 2019**). Penelitian terkait PLTS *on-grid* (**Sugirianta, dkk, 2019**) menggunakan modul *micro inverter* 300 watt dengan beban listrik resistif. Hasil yang diperoleh menunjukkan efisiensi GTI maksimum mencapai 81,06% dengan kondisi PV yang digunakan 300 Wp.

Input GTI merupakan output PV yang tersinkronisasi dengan sistem. Selain kondisi tersebut, jika dengan radiasi dan temperatur yang sama tetapi tegangan sumber dari jaringan lebih besar, daya keluaran GTI juga akan meningkat. Kondisi tegangan saat beban terhubung ke jaringan yang kadang mengalami fluktuatif juga dapat mempengaruhi nilai efisiensi dari GTI. Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk melihat kinerja GTI sebagai antar muka PV dan utilitas beban yang bervariasi dari sisi total daya beban dan jenisnya dengan kondisi tersambung dengan sumber PLN. Nilai efisiensi GTI menunjukkan seberapa besar partisipasi daya yang dihasilkan PV untuk memenuhi kebutuhan beban.

## 2. METODE

Untuk menjawab tujuan dari penelitian, *PV-on grid module trainer* yang dibuat menyerupai sistem distribusi sederhana lima bus dengan beban resistif, induktif, dan kapasitif. Hasil perakitan yang telah dilakukan menempatkan alat ukur amperemeter dan voltmeter di setiap bus, agar dapat mengamati perbedaan yang terjadi terhadap variabel tegangan dan arus, secara langsung ketika disinkronkan antara listrik dari PLN dan PV terhadap beban seperti tersaji pada Gambar 1.



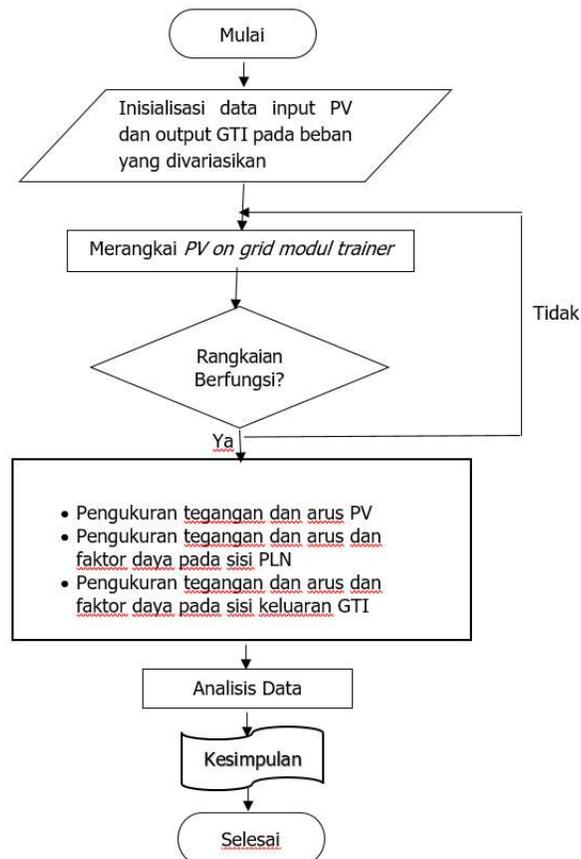
**Gambar 1. Diagram Skematik Pengambilan Data**

Panel surya dengan tipe *monocrystalline* sebanyak dua unit masing-masing 80 Wp sebagai input GTI pada sistem *on Grid*. *PV-on grid module trainer* yang digunakan terdiri dari lima titik percabangan yang dibebani beban resistif (R), induktif (L) dan kapasitif (C) dengan total beban dalam tiga skenario yaitu 270 Watt, 300 Watt, dan 450 Watt. Tahapan awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah inialisasi dari parameter tegangan, arus, dan faktor daya.



**Gambar 2. Modul dengan Catu Daya PLN**

Proses pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur voltmeter, amperemeter, dan power meter yang terpasang pada setiap titik percabangan.



**Gambar 3. Tahapan Penelitian**

Pengukuran tegangan dan arus keluaran dari PV dilakukan untuk mendapatkan nilai daya output PV yang juga sebagai daya input dari GTI. Output dari GTI terukur pada titik percabangan terpasangnya GTI. Dalam penelitian ini, GTI tersambung pada cabang ke empat yang dibebani dengan beban campuran RLC. Pemilihan titik penyambungan ini didasarkan pada nilai tegangan terendah yang terukur sebelum penyambungan PV. Kondisi pengukuran ini ditunjukkan pada Gambar 2 dimana catu daya utama pada modul berasal dari jala-jala PLN 220 Volt. Untuk menghitung efisiensi GTI, maka dilakukan pengukuran tegangan, arus serta faktor daya pada titik penyambungan GTI. Tahapan penelitian ini selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 3.

### 2.1 *Grid tie inverter (GTI)*

Komponen utama dari sistem catu daya terintegrasi surya adalah GTI , yang mengubah tegangan searah yang dihasilkan oleh panel surya langsung ke tegangan bolak-balik. Pada pengujian ini modul surya dimiringkan pada sudut 24° ke Utara dengan menggunakan GTI dengan spesifikasi Tabel 1.

**Tabel 1. Spesifikasi GTI**

Parameter	Ukuran (Volt)
Inputan DC	10,5-28
Output AC	230 (190-260)
MPPT Tracking	15-23
Vmp	18-21
Voc	20-24

Tegangan yang dihasilkan dari modul diatur dengan bantuan pengontrol muatan titik daya maksimum, untuk mempertahankan tegangan tetap pada input inverter. Tegangan keluaran inverter diukur dan diuji dengan menerapkan berbagai beban.

### 2.2 Efisiensi GTI

Efisiensi merupakan perbandingan antara output dengan input. Nilai efisiensi dapat diformulasikan pada Persamaan (1).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{1}$$

dimana :

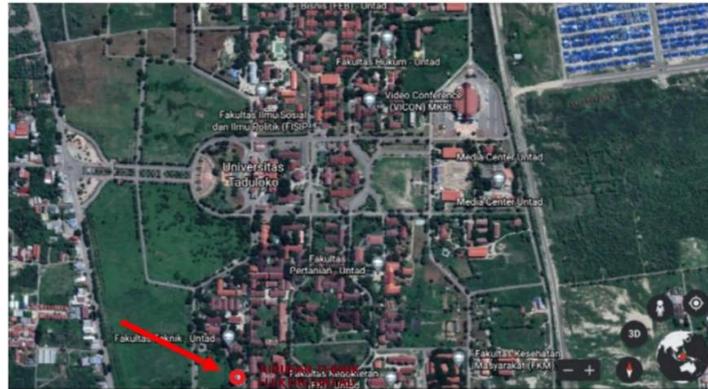
- $\eta$  = Efisiensi inverter (%)
- $P_{out}$  = Daya yang dibangkitkan (Watt)
- $P_{in}$  = Daya yang diterima (Watt)

Pada rancang bangun jaringan distribusi terintegrasi *Photovoltaic (PV) on Grid* dengan beban Resistansi, Induktansi, Kapasitif, (R, L, C,) pengujian dilakukan dengan sumber PLN dan PV *on-Grid*. Berdasarkan pengambilan data sistem PV *on-Grid* berbasis GTI menunjukkan bahwa GTI dapat disuplai listrik tergantung dari spesifikasi dari inverter, yang dimana input GTI tegangan maksimum mencapai 30 Volt, arus 10 Ampere dan output GTI menunjukkan bahwa arus yang dihasilkan GTI tergantung tingkat pancaran radiasi matahari yang menuju ke PV, Semakin besar radiasi sinar matahari yang mengenai PV maka semakin besar energi yang dibangkitkan oleh panel surya. Dimana mensinkronisasikan PLTS dengan Grid berbasis GTI agar dapat menghasilkan output dari PV tidak melebihi dari spesifikasi input GTI.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

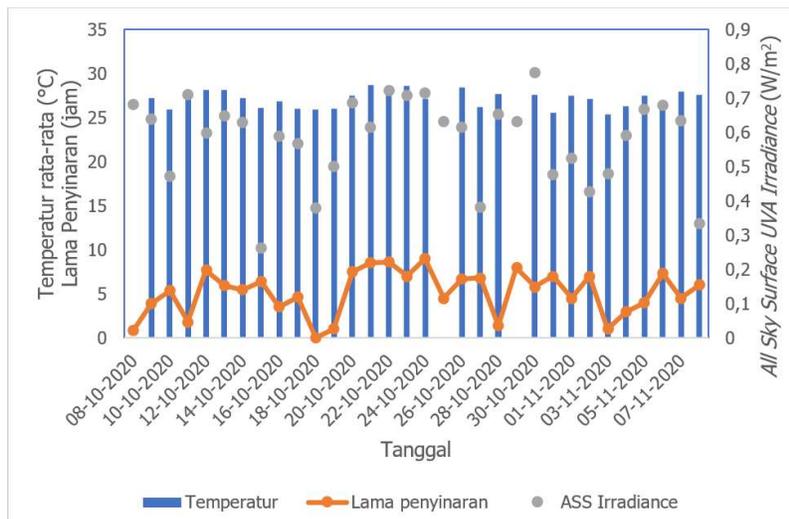
#### 3.1 Kondisi Suhu, Lama Penyinaran Matahari, dan Iradiasi Matahari

Penelitian ini dilakukan pada rentang waktu satu bulan dimulai dari Oktober hingga November 2020. Pengambilan data di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako (ditunjukkan pada layout Gambar 4). Pengambilan data ini dilakukan dari pagi hingga sore hari dimana dimulai pukul 09.00 sampai pukul 14.00 dengan interval waktu setiap satu satu jam.



**Gambar 4. Lokasi Pengambilan Data pada Jurusan Teknik Elektro (Lokasi Tepat pada Bulatan Merah)**

Parameter kualitas daya yang terukur pada output PV berkorelasi dengan data radiasi matahari, temperatur dan lama penyinaran matahari. Berdasarkan data harian tahun 2020 yang diperoleh dari situs *National Aeronautics and Space Administration* (<https://www.nasa.gov/index.html>) yang diekstraksi menjadi data harian. Temperatur juga memainkan peran kunci dalam proses konversi fotovoltaik. Baik efisiensi listrik dan output daya dari modul PV bergantung secara linier pada temperatur operasional yang dipengaruhi dari jam lama penyinaran. Nilai temperatur rerata sebulan sebesar  $27,56^{\circ}\text{C}$  dengan lama penyinaran 5,14 jam. Pemetaan ketiga faktor ini disajikan pada Gambar 5.

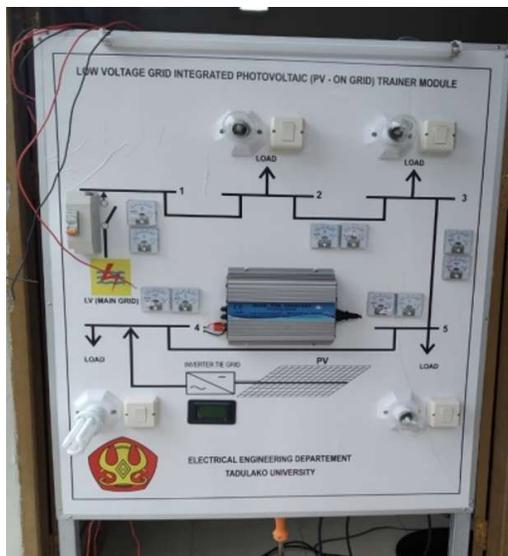


**Gambar 5. Parameter Eksternal Oktober-November 2020**

Dari pengukuran radiasi matahari untuk hari rata-rata di bulan Oktober-November di Palu dan mengindikasikan bahwa radiasi matahari yang rendah tentunya akan memiliki dampak yang signifikan terhadap kualitas daya keluaran sistem PV (**Patsalides, dkk, 2007**).

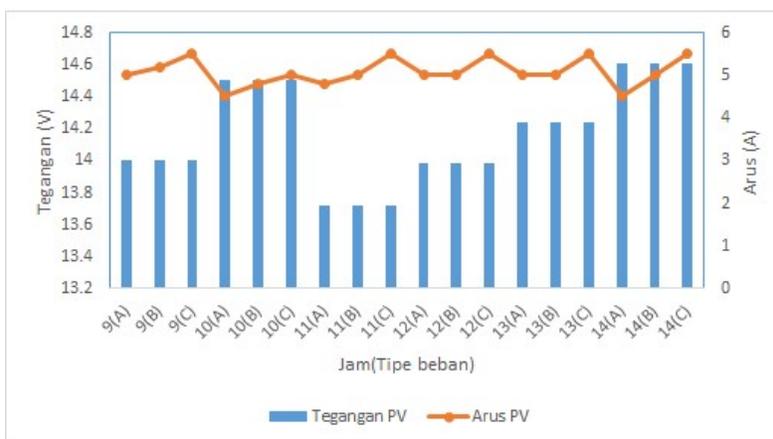
### 3.2 Pengujian Alat

Untuk memenuhi tujuan penelitian, pengambilan data menggunakan *PV-on grid module trainer* dengan system catu daya yang berasal dari PLN 220 Volt dan PV sesuai Gambar 6. Sesuai dengan skenario pembebanan bervariasi pada nilai 450 Watt, 300 Watt dan 270 Watt.



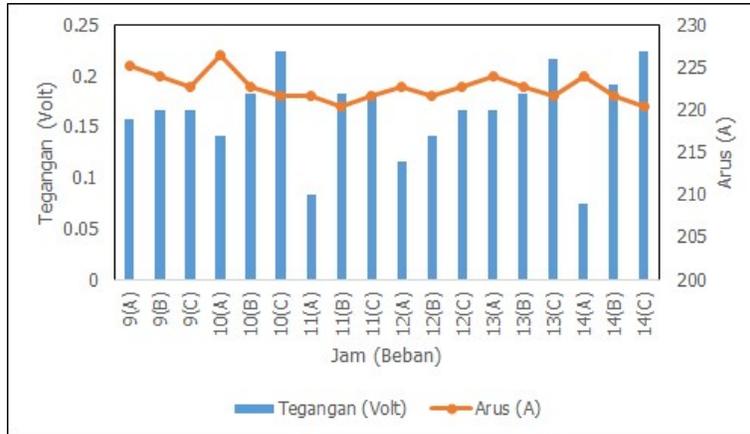
**Gambar 6. PV-on Grid Module Trainer**

Pada penelitian ini menggunakan dua unit PV masing-masing 80 *Wp* dengan penempatan sejajar dengan sudut kemiringan yang sama. Selanjutnya PV terhubung dengan modul beban melalui GTI hingga menunjukkan posisi sinkron. Hasil pengujian alat menghasilkan data keluaran dari PV sebagai input dari ke GTI seperti yang tersaji pada Gambar 7.



**Gambar 7. Hasil Pengukuran Output PV**

Dari pengukuran ini diperoleh nilai daya keluaran PV yang bervariasi dengan daya tertinggi pada pukul 13.00 masing-masing pada skenario beban A, B, C yaitu 71,2 Watt; 71,2 Watt; 78;32 Watt.

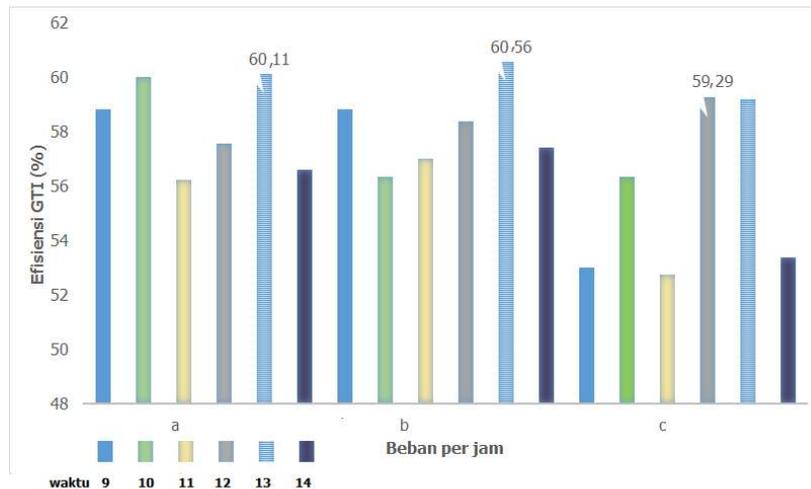


**Gambar 8. Hasil Pengukuran Output GTI**

Dari pengukuran disisi keluaran GTI sebagai kondisi sinkron diperoleh nilai yang bervariasi dengan daya tertinggi pada pukul 13.00 masing-masing pada skenario beban A, B, C yaitu 42,68 Watt; 43,07 Watt; dan 43,84 Watt. GTI selanjutnya menyinkronisasi dengan input dari tegangan jala-jala PLN. Parameter yang terukur adalah tegangan, arus beserta faktor daya yang terukur pada titik sambung PV dan PLN seperti yang tersaji di Gambar 8.

### 3.3 Pengaruh Variasi Pembebanan pada Efisiensi GTI

Pada penelitian ini waktu sinkron pada pagi hari dan siang hari itu berbeda-beda, pada saat pengambilan data di setiap jam nya waktu sinkronnya pun berbeda-beda dalam range 3 hingga 5 detik tergantung pada kondisi sinar matahari dan tegangan sumber (**Satria & Syafii, 2018**).



**Gambar 9. Perbandingan Efisiensi**

Perhitungan daya input GTI mengacu pada data tegangan dan arus dari PV pada setiap skenario beban divariasikan beban A (450 Watt), beban B (300 Watt) dan beban C (270 Watt). Dari hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8 diperoleh perhitungan efisiensi yang menggunakan Persamaan 1 dan tersaji pada Gambar 9. Pada Gambar 9 dapat dilihat efisiensi yang dihasilkan, pada beban A dengan daya 450 Watt efisiensi yang tertinggi disekitaran 60,11% pada pukul 13.00 dimana daya input 71,2 Watt dan daya outputnya 41,19 Watt.

Untuk efisiensi terendah berada di sekitaran 56,23% pada pukul 11.00, dimana daya inputnya 65,8 Watt dan daya outputnya 37 Watt. Pada beban 300 Watt dapat dilihat efisiensi tertinggi berada pada 60,56% pada pukul 13.00 dimana daya input 71,2 Watt dan daya outputnya 43 Watt, untuk efisiensi terendah berada di sekitaran 56,83% pada pukul 10.00, dimana daya input 69,6 Watt dan daya outputnya 39,54 Watt.

Pada beban 270 Watt dapat dilihat efisiensi tertinggi berada pada 59,29% pada pukul 12.00 dimana daya input 69,9 Watt dan daya outputnya 42,7 Watt, untuk efisiensi terendah berada pada 52,74% pada pukul 11.00 dimana daya input 75,46 Watt dan daya outputnya 42,7 Watt.

Dari penelitian ini menunjukkan efisiensi yang masih rendah dari GTI disebabkan input GTI yang berasal dari PV belum maksimal. Hal ini dapat diakibatkan dari faktor temperatur dan iradiasi yang mempengaruhi tegangan PV. Variasi beban juga menunjukkan pengaruh efisiensi GTI dimana kondisi beban ringan menghasilkan nilai efisiensi dibawah kondisi beban sesuai nilai rating GTI.

#### **4. KESIMPULAN**

Penelitian ini menggunakan tiga kondisi beban yang di pakai ada tiga model beban dimana skenario pertama dengan beban dengan daya 450 Watt mencapai efisiensi tertinggi 60,11%. Pada skenario kedua dengan beban dengan daya 300 Watt memperoleh efisiensi tertinggi 60,56%, dan beban 270 Watt mencapai efisiensi tertinggi sebesar 59,29%. Hal ini menunjukkan selain temperatur dan intensitas radiasi matahari yang mempengaruhi PV, level pembebanan juga mempengaruhi efisiensi GTI. Untuk penelitian selanjutnya, diperlukan peramalan data penyinaran matahari untuk melihat indeks variabilitas dan identifikasi statistik integrasi PV pada sistem.

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Fakultas Teknik Universitas Tadulako atas hibah penelitian DIPA dengan nomor kontrak penelitian 646.r/UN28.2/PL.2020, dan dinas ESDM Provinsi Sulawesi Tengah atas kesempatan untuk melakukan survey secara fisik pada sistem PLTS *on-grid* yang telah terpasang.

#### **DAFTAR RUJUKAN**

Adebiyi, A. A., Lazarus, I. J, Saha, A. K, & Ojo, E. E.. (2021). Performance analysis of grid-tied photovoltaic system under varying weather condition and load. *International Journal of Electrical & Computer Engineering*, 11(1).

- Fallah-Mehdipour, E., Haddad, O. B., Tabari, M. M. R., & Mariño, M. A. (2012). Extraction of decision alternatives in construction management projects: Application and adaptation of NSGA-II and MOPSO. *Expert Systems with Applications*, *39*(3), 2794-2803.
- Hansen, K., & Mathiesen, B. V. (2018). Comprehensive assessment of the role and potential for solar thermal in future energy systems. *Solar Energy*, *169*, 144-152.
- Indonesia, Peraturan Pemerintah Republik. (2014). Kebijakan Energi Nasional. *PP Nomor*, *79*.
- Jäger-Waldau, A.. (2020). Snapshot of photovoltaics—February 2020. *Energies*, *13*(4), 930.
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K.. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *82*, 894-900.
- Kananda, K., & Nazir, R.. (2013). Konsep pengaturan aliran daya untuk PLTS tersambung ke sistem grid pada rumah tinggal. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, *2*(2), 65-71.
- Nahela, S., Faridyan, I. F., Rachman, N. A., Risdiyanto, A., & Susanto, B. (2019). Analisa Unjuk Kerja Grid Tied Inverter Terhadap Pengaruh Radiasi Matahari dan Suhu PV pada PLTS On-Grid. *ELKHA: Jurnal Teknik Elektro*, *11*(2), 60-65.
- Patsalides, M., Evagorou, D., Makrides, G., Achillides, Z., Georghiou, G. E, Stavrou, A., Werner, J. H. (2007). The effect of solar irradiance on the power quality behaviour of grid connected photovoltaic systems. *International Conference on Renewable Energy and Power Quality*.
- Premkumar, M., Karthick, K., & Sowmya, R.. (2018). A Review on Solar PV Based Grid Connected Microinverter Control Schemes and Topologies. *International Journal of Renewable Energy Development*, *7*(2).
- Rahman, Y. A., Manjang, S., Yusran, A., & Ilham, A. (2018). Distributed generation's integration planning involving growth load models by means of genetic algorithm. *Archives of Electrical Engineering*, *67*(3), 667—682.
- Raturi, A. K. (2019). Renewables 2019 global status report.
- Satria, H., & Syafii, S.. (2018). Sistem Monitoring Online dan Analisa Performansi PLTS Rooftop Terhubung ke Grid PLN. *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, *14*(2), 267513.
- Sugirianta, I. B. K., Saputra, I G. N. A. D., & Sunaya, I G. A. M. (2019). Modul praktek PLTS on-grid berbasis micro inverter. *Matrix: Jurnal Manajemen Teknologi dan Informatika*, *9*(1), 19-26.
- Vigneshwari, C. A., Velan, S S. S., Venkateshwaran, M, M., M Adam, & Kirubakaran, V. (2016). Performance and Economic Study of on-grid and off-grid Solar Photovoltaic System. *2016 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS)*.