

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Dengan Grid Tie Inverter (GTI) Sebagai Penyuplai Daya Beban Pemanas 1 kW

I Made Wiwit Kastawan¹⁾, Rizki Ahmad Ghifari²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Bandung Barat, Jawa Barat, Indonesia
E-mail: ¹⁾wiwit.kastawan@polban.ac.id, ²⁾rizkiyahmadghifari@gmail.com

Abstrak - Sistem PLTS yang dibangun dan dikaji terdiri dari panel surya dan GTI yang terhubung paralel dengan jaringan listrik satu-fasa. Panel surya memiliki kapasitas 130 WP dan tersusun secara 2-seri 3-paralel dimana terdapat 3 lengan paralel yang masing-masing terdiri dari 2 panel surya terhubung seri. Susunan ini dapat menghasilkan tegangan dan arus masukan sesuai perangkat GTI yang digunakan yaitu 24-48 V_{dc} dan 50 A. Beban sistem adalah elemen pemanas berupa 10 buah lampu pijar, masing-masing berdaya 100 W. Pengujian terhadap sistem PLTS ini dibagi dalam 3 interval waktu yaitu pagi (08.00-10.30 wib), siang (10.35-13.05 wib) dan sore (13.30-16.00 wib). Pengujian pada pagi hari dengan cuaca cerah berawan dan intensitas cahaya matahari rata-rata 787,13 W/m² menunjukkan bahwa panel surya dan GTI mampu menyuplai 39,4% daya beban dengan 60,6% sisanya diperoleh dari jala-jala listrik. Pengujian pada siang hari dengan cuaca cerah dan intensitas cahaya matahari rata-rata 900,98 W/m² menunjukkan bahwa panel surya dan GTI mampu menyuplai 45,9% daya beban dengan 54,1% sisanya ditarik dari jala-jala listrik. Pengujian pada sore hari dengan cuaca redup dan hujan serta intensitas cahaya matahari rata-rata 315,48 W/m² menunjukkan bahwa panel surya dan GTI hanya dapat menyuplai 19,9% daya beban dengan 80,1% sisanya ditarik dari jala-jala listrik.

Kata kunci: aliran daya, elemen pemanas, GTI, jala-jala satu-fasa, panel surya

1 PENDAHULUAN

Sumber energi primer untuk pembangkit daya listrik secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu sumber energi primer tidak terbarukan (*non-renewable*) dan sumber energi primer terbarukan (*renewable*). Seiring berjalannya waktu, ketersediaan sumber energi primer tidak terbarukan akan semakin berkurang. Ditambah dengan banyaknya dampak negatif yang diakibatkan oleh penggunaannya, khususnya dampak polusi udara, maka penghematan dan pengurangan pemanfaatan sumber energi primer terbarukan akan terjadi. Di lain pihak, pemanfaatan sumber energi terbarukan sebagai alternatif pengganti akan semakin tumbuh berkembang. Energi surya merupakan salah satu sumber energi primer terbarukan yang dalam beberapa tahun belakangan ini semakin populer dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif pembangkit daya listrik. Namun sejauh ini pemanfaatannya masih relatif kecil jika dibandingkan dengan sumber energi primer terbarukan lainnya yaitu panas bumi. Dengan potensi sebesar 207,9 GW, pada tahun 2016 pemanfaatan sumber energi primer surya baru mencapai 78,5 MW atau 0,038% saja [5].

Untuk mengkonversi energi primer surya menjadi energi listrik diperlukan perangkat yang dikenal sebagai panel surya (*solar photovoltaic*, *solar PV*). Besarnya energi listrik yang dapat dihasilkan oleh panel surya adalah bergantung pada intensitas energi surya yang diterima serta efisiensi panel surya tersebut. Secara umum penggunaan

panel surya untuk menghasilkan energi listrik dapat dibedakan menjadi tiga sistem berbeda yaitu sistem *off-grid* atau *stand-alone*, *on-grid* dan *hybrid* [2],[8]. Sistem *off-grid* merupakan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang hanya mengandalkan energi surya sebagai sumber energi utama. Komponen utama sistem *off-grid* adalah panel surya, baterai, *solar charge controller* serta inverter. Sistem *off-grid* ini banyak digunakan pada rumah-rumah di daerah yang belum terjangkau jaringan listrik (daerah terpencil). Selain itu, PLTS *off-grid* juga banyak digunakan untuk keperluan penerangan jalan umum *stand-alone solar street lighting system* [6], [7]. Sistem *on-grid* merupakan sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik yang telah ada, misalnya jaringan distribusi listrik PLN dengan tetap mengoptimalkan pemanfaatan energi dari panel surya. Komponen utama sistem *on-grid* adalah panel surya dan inverter. Sistem PLTS ini tidak menggunakan baterai. Kelebihan atau kekurangan daya dari panel surya akan dikirim atau ditarik dari jaringan distribusi listrik PLN. Sistem *hybrid* merupakan sistem pembangkit daya listrik yang menggabungkan dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi primer berbeda. Umumnya sistem *hybrid* banyak menggunakan genset, panel surya, mikrohidro dan tenaga angin.

Sistem PLTS *on-grid* saat ini mulai banyak digunakan untuk mensuplai kebutuhan energi listrik rumah tangga atau gedung-gedung perkantoran dan komersial yang telah terhubung ke jaringan distribusi listrik yang ada. Selain itu, sistem PLTS *on-grid* dapat juga dimanfaatkan untuk

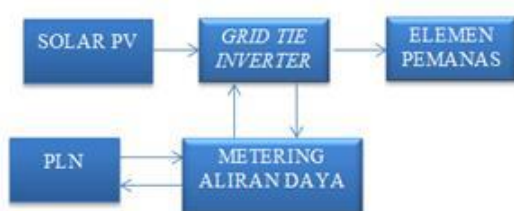
membantu pemenuhan kebutuhan energi listrik di usaha pengeringan hasil pertanian atau perkebunan. Proses pengeringan hasil pertanian atau perkebunan umumnya dilakukan dengan cara konvensional yaitu memanfaatkan sinar matahari secara langsung. Masalahnya adalah proses pengeringan akan terganggu jika cuaca mendung atau hujan. Untuk mengatasi masalah ini, proses pengeringan tersebut dapat diganti dengan pemanas listrik. Kebutuhan energi untuk pemanas listrik ini dapat diperoleh seluruhnya dari jaringan distribusi listrik yang telah ada atau menggabungkannya dengan energi surya dan membentuk sistem PLTS *on-grid*. Dengan cara ini, proses pengeringan tidak akan terganggu oleh cuaca mendung atau hujan dan sekaligus dapat mengurangi konsumsi energi listrik dari jaringan distribusi listrik yang ada.

Telah disebutkan diatas bahwa sistem PLTS *on-grid* hanya terdiri dari dua komponen utama yaitu panel surya dan inverter. Berbeda dengan inverter yang digunakan pada sistem PLTS *off-grid*, inverter pada sistem PLTS *on-grid* terhubung dengan jaringan distribusi listrik yang ada sehingga harus memiliki kemampuan sinkronisasi (*phase matching*) dan mengirim atau menarik daya dari jaringan distribusi listrik yang ada tersebut. Inverter tipe ini dikenal sebagai *grid tie inverter* (GTI). Selain itu, GTI juga harus memiliki kemampuan proteksi terhadap gangguan pada yang terjadi pada jaringan distribusi listrik yang ada yang dikenal dengan istilah *reaction to power outage* [1],[3],[4].

Tulisan ini pada dasarnya memberikan uraian mengenai perancangan dan pengujian sistem PLTS *on-grid* yang dapat digunakan untuk mensuplai kebutuhan daya beban berupa elemen pemanas dengan kapasitas 1 kW. Energi yang dihasilkan oleh elemen pemanas ini selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti misalnya pengeringan hasil pertanian atau perkebunan. Secara umum uraiannya akan mencakup langkah-langkah penentuan komponen utama sistem PLTS *on-grid* seperti jumlah dan kapasitas panel surya yang diperlukan, GTI serta kabel-kabel penghubungnya. Sistem PLTS *on-grid* yang sudah dirancang dan dibangun selanjutnya akan diuji kemampuan pembangkitan dayanya dengan menghitung aliran daya dari panel surya dan GTI serta jaringan distribusi daya listrik /jaringan PLN yang terhubung dengannya.

2 LANDASAN TEORI

Diagram blok dari sistem PLTS dengan GTI atau sistem PLTS *on-grid* yang akan dibangun ditunjukkan oleh Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Diagram blok sistem PLTS dengan GTI/sistem PLTS *on-grid*.

Panel surya (solar PV) akan mengubah energi surya menjadi energi listrik dengan besaran arus searah (*direct current*, dc) sesuai intensitas yang diterimanya. Energi listrik dc ini selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik arus bolak-balik (*alternating current*, ac) agar dapat dihubungkan dengan beban (dalam hal ini berupa elemen pemanas) dan jaringan distribusi daya listrik /jaringan PLN yang umumnya memang menggunakan besaran listrik ac. Pada saat solar PV menghasilkan daya listrik yang lebih besar dari kebutuhan elemen pemanas maka kelebihan daya yang dibangkitkan akan disuplai ke jaringan PLN. Pada saat solar PV menghasilkan daya listrik yang sama dengan kebutuhan elemen pemanas maka seluruh kebutuhan beban elemen pemanas ini akan dipenuhi oleh solar PV. Sebaliknya, pada saat solar PV menghasilkan daya listrik yang lebih kecil dari kebutuhan elemen pemanas maka jaringan PLN akan mensuplai kekurangan daya listrik tersebut. Untuk mengetahui aliran daya listrik dari solar PV dan GTI serta jaringan PLN ini maka diperlukan pemasangan alat ukur kWh meter ekspor-impor.

Untuk membangun sistem PLTS dengan GTI tersebut diatas maka langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan kapasitas dan jumlah panel surya yang diperlukan sesuai kebutuhan energi listrik bebannya. Kapasitas daya panel surya ini dapat ditentukan berdasarkan formulasi berikut:

$$P_{PV} = \frac{E_{beban}}{t_{eff}} \quad (1)$$

dimana P_{PV} , E_{beban} dan t_{eff} masing-masing menyatakan kapasitas daya panel surya, energi listrik beban dan jam efektif operasi panel surya dalam sehari. Selanjutnya, jumlah panel surya yang digunakan dapat ditentukan berdasarkan formulasi berikut ini:

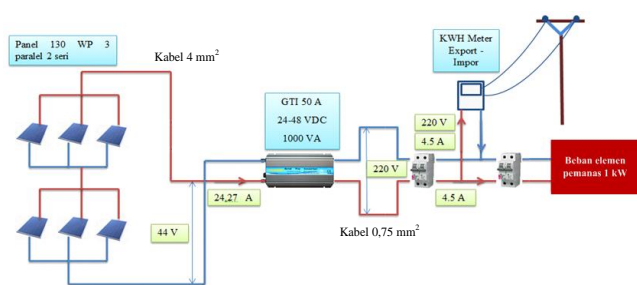
$$N_{PV} = \frac{P_{PV}}{P_{WP}} \quad (2)$$

dimana N_{PV} dan P_{WP} masing-masing menyatakan jumlah panel surya dan kapasitas daya untuk sebuah panel surya. Setelah menentukan jumlah panel surya yang dibutuhkan maka langkah selanjutnya adalah menentukan susunan atau konfigurasi dari sejumlah N panel surya tersebut. Konfigurasi ini akan ditentukan oleh spesifikasi tegangan hubung terbuka (V_{OC}) dan arus hubung singkat (I_{SC}) panel surya dan tegangan dan arus masukan GTI yang digunakan. Sebagai langkah terakhir dari perancangan sistem PLTS ini adalah menentukan ukuran kabel yang akan digunakan untuk menghubungkan komponen-komponen tersebut di atas. Ukuran kabel ini ditentukan berdasarkan besarnya arus yang akan mengalir dengan ketentuan bahwa arus yang mengalir adalah sebesar 60% dari kemampuan hantar arus kabel.

3 RANCANGAN SISTEM PLTS DENGAN GTI

Dengan beban elemen pemanas berkapasitas 1 kW yang diasumsikan beroperasi selama 2,5 jam untuk dapat menjalankan proses pengeringan suatu hasil pertanian serta asumsi jam efektif panel surya 3,5 jam maka dengan persamaan (1) dapat dihitung kapasitas daya panel surya yang diperlukan adalah sebesar 714,3 WP (*watt peak*). Kemudian dengan memilih panel surya yang memiliki kapasitas daya puncak 130 WP maka dengan menggunakan persamaan (2) dapat dihitung jumlah panel surya yang diperlukan adalah sebanyak 6 buah. Selanjutnya, dari data spesifikasi tegangan hubung terbuka (V_{OC}) dan arus hubung singkat (I_{SC}) panel surya sebesar 22 V dan 8,09 A serta spesifikasi GTI yang digunakan yaitu kapasitas daya maksimum 1300 W, tegangan masukan dc 24 – 48 V, arus masukan dc 50 A, tegangan keluaran ac 120 V/230 V dengan frekuensi 50/60 Hz maka ke-6 buah panel surya tersebut dapat disusun secara 2-seri 3-paralel. Konfigurasi panel surya ini akan menghasilkan tegangan dan arus maksimum sebesar 44 V dan 24,27 A yang sesuai dengan spesifikasi kisaran tegangan dan arus masukan GTI. Terakhir, dengan beban elemen pemanas sebesar 1 kW dan tegangan kerja 220 V_{ac} (sesuai dengan tegangan kerja jaringan distribusi listrik PLN satu-fasa yang ada) maka dapat ditentukan bahwa arus maksimum yang mengalir pada kabel yang akan digunakan untuk menghubungkan GTI ke beban dan jaringan distribusi listrik PLN ke beban adalah sebesar 4,5 A. Oleh karenanya ukuran kabel yang digunakan adalah 0,75 mm². Sementara itu, dengan arus maksimum yang mengalir pada kabel yang akan digunakan untuk menghubungkan panel surya ke GTI sebesar 24,27 A maka ukuran kabel yang sesuai adalah 4 mm².

Dengan nilai-nilai rancangan tersebut di atas maka sistem PLTS dengan GTI yang dibangun akan tampak seperti Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Sistem PLTS dengan GTI yang dibangun.

4 PENGUJIAN SISTEM PLTS DENGAN GTI

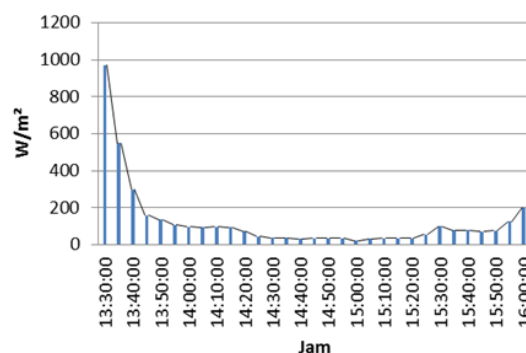
Sistem PLTS dengan GTI yang telah dibangun selanjutnya diuji untuk mengetahui kemampuan pembangkitan dayanya. Data uji yang diperlukan diantaranya adalah intensitas daya yang diterima panel surya (P_{IPV}), arus GTI (I_{GTI}), arus jaringan distribusi listrik PLN (I_{PLN}), tegangan jaringan distribusi listrik PLN (V_{PLN}) dan arus beban (I_L). Dari data uji ini maka aliran daya dari masing-masing komponen sistem PLTS dengan GTI yang telah dibangun

dapat dihitung/ditentukan. Daya beban dihitung sebagai perkalian antara tegangan jaringan distribusi listrik PLN dan arus beban ($P_L = V_{PLN} \times I_L$). Sementara itu, daya yang dibangkitkan unit GTI dihitung sebagai perkalian antara tegangan jaringan distribusi listrik PLN dan arus GTI ($P_{GTI} = V_{PLN} \times I_{GTI}$). Daya dari jaringan distribusi listrik PLN dapat dihitung sebagai perkalian antara tegangan dan arus jaringan distribusi listrik PLN ($P_{PLN} = V_{PLN} \times I_{PLN}$). Daya yang disuplai sistem PLTS ke beban merupakan penjumlahan antara daya yang dibangkitkan unit GTI dan daya dari jaringan distribusi listrik PLN ($P_L = P_{GTI} + P_{PLN}$). Nilai dari daya GTI dan daya jaringan distribusi listrik PLN ini akan berubah-ubah bergantung pada intensitas daya yang diterima panel surya.

Pengujian terhadap sistem PLTS dengan GTI yang telah dibangun dilaksanakan sebanyak tujuh kali pada hari dan rentang waktu berbeda. Namun, rentang waktu dari tujuh kali pelaksanaan pengujian tersebut secara umum dapat dikelompokkan menjadi tiga rentang waktu berbeda yaitu pagi dengan rentang waktu 08.00-10.30 wib, siang dengan rentang waktu 10.35-13.05 wib dan sore dengan rentang waktu 13.30-16.00 wib. Pada masing-masing rentang waktu tersebut data uji yang diperlukan diukur setiap lima menit sekali.

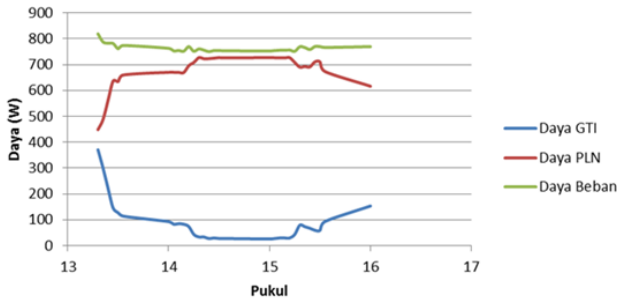
4.1 Pengujian hari pertama

Pengujian pada hari pertama dilakukan pada sore hari dengan kondisi cuaca sedang hujan. Intensitas daya rata-rata yang diterima panel surya relatif rendah yaitu sekitar 125,23 W/m² dengan variasi sangat lebar yakni 21 W/m² – 970 W/m² sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Intensitas daya yang diterima panel surya pada pengujian hari pertama.

Selanjutnya berdasarkan hasil pengukuran arus GTI (I_{GTI}), arus jaringan distribusi listrik PLN (I_{PLN}), tegangan jaringan distribusi listrik PLN (V_{PLN}) dan arus beban (I_L) maka dapat diperoleh aliran daya GTI, jaringan distribusi listrik PLN serta beban yang ditunjukkan oleh Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Intensitas daya yang diterima panel surya pada pengujian hari pertama.

Secara rata-rata aliran daya GTI, jaringan distribusi listrik PLN dan beban di rentang waktu sore hari ini (13.30-16.00 wib) ditunjukkan oleh Tabel 1 berikut.

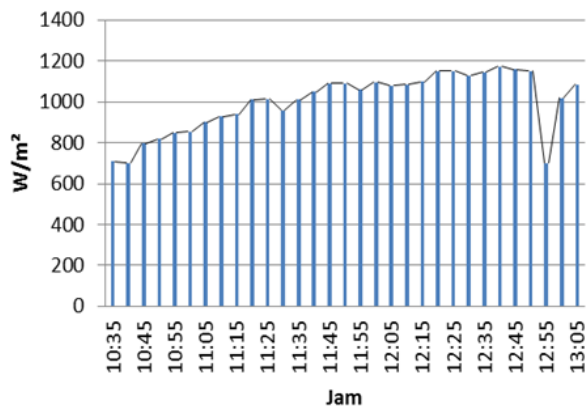
Tabel 1 Rata-rata nilai intensitas daya surya, panel surya GTI, jaringan distribusi listrik PLN dan beban pada pengujian hari pertama

Intensitas daya surya	(W/m ²)	125,23
Daya GTI	W	86,59
Daya jaringan distribusi listrik PLN	W	676,98
Daya beban	W	782,68

Dapat dilihat bahwa karena intensitas daya rata-rata yang diterima oleh panel surya cukup rendah maka daya yang mampu dibangkitkan juga relatif rendah dan kebutuhan daya beban lebih banyak dipenuhi oleh jaringan distribusi listrik PLN. Secara rata-rata panel surya hanya mampu memasok sebesar 86,59 W atau sekitar 11,2% dari kebutuhan daya beban sebesar 782,68 W. Sementara itu rata-rata daya yang ditarik dari jaringan distribusi listrik PLN mencapai kisaran 676,98 W atau sekitar 88,8% dari kebutuhan daya beban sebesar 782,68 W. Oleh karenanya penggunaan panel surya pada kondisi ini menjadi kurang efektif.

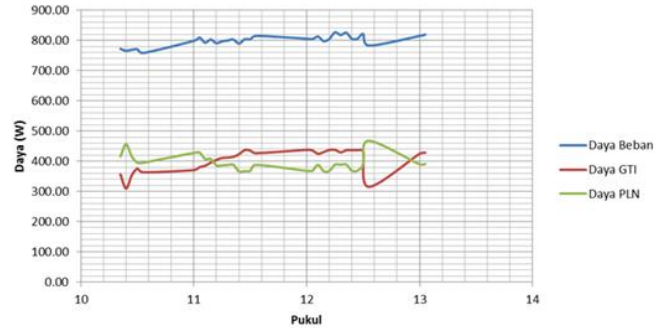
4.2 Pengujian hari kedua

Pengujian di hari kedua dilakukan pada siang hari dengan kondisi cuaca cerah sehingga intensitas daya rata-rata yang diterima panel surya relatif tinggi berkisar 1000,5 W/m² dimana intensitas daya terendah dan tertinggi masing-masing adalah 700 W/m² – 1173 W/m² sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Intensitas daya yang diterima panel surya pada pengujian hari kedua.

Lebih lanjut, dari data pengukuran arus GTI (I_{GTI}), arus jaringan distribusi listrik PLN (I_{PLN}), tegangan jaringan distribusi listrik PLN (V_{PLN}) dan arus beban (I_L) dapat diperoleh aliran daya GTI, jaringan distribusi listrik PLN serta beban yang ditunjukkan oleh Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Intensitas daya yang diterima panel surya pada pengujian hari pertama.

Adapun rata-rata aliran daya GTI, jaringan distribusi listrik PLN dan beban pada pengukuran siang hari ini (10.35-13.05 wib) ditunjukkan oleh Tabel 2.

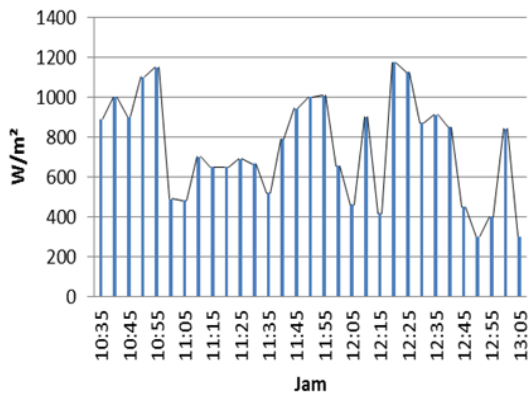
Tabel 2 Rata-rata nilai intensitas daya surya, panel surya GTI, jaringan distribusi listrik PLN dan beban pada pengujian hari kedua

Intensitas daya surya	(W/m ²)	1000,50
Daya GTI	W	406,31
Daya jaringan distribusi listrik PLN	W	393,21
Daya beban	W	819,55

Dapat dilihat bahwa karena intensitas daya rata-rata yang diterima oleh panel surya cukup tinggi maka daya yang mampu dibangkitkan juga relatif tinggi. Sekitar setengah dari kebutuhan daya dapat dipenuhi oleh panel surya. Panel surya mampu membangkitkan daya rata-rata sebesar 406,31 W atau sekitar 50,8% dari kebutuhan daya beban sebesar 819,55 W. Sementara itu rata-rata daya yang ditarik dari jaringan distribusi listrik PLN mencapai kisaran 393,21 W atau sekitar 49,2% dari kebutuhan daya beban sebesar 819,55 W. Penggunaan panel surya pada kondisi ini dipandang cukup efektif.

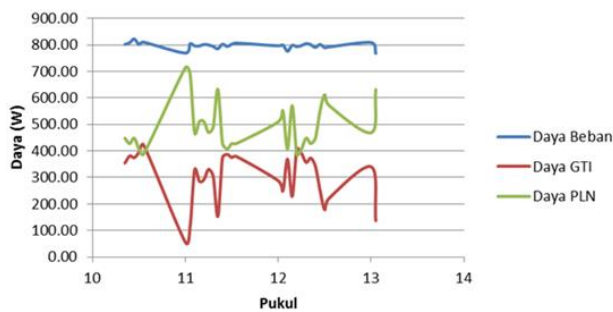
4.3 Pengujian hari ketiga

Cuaca pada pengujian hari ketiga yang dilakukan siang hari adalah cerah berawan. Intensitas daya rata-rata yang diterima panel surya adalah sekitar 750,98 W/m² dengan rentang 299 W/m² – 1173 W/m² seperti ditunjukkan oleh Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Intensitas daya yang diterima panel surya pada pengujian hari ketiga.

Selanjutnya berdasarkan hasil pengukuran arus GTI (I_{GTI}), arus jaringan distribusi listrik PLN (I_{PLN}), tegangan jaringan distribusi listrik PLN (V_{PLN}) dan arus beban (I_L) maka dapat diperoleh aliran daya GTI, jaringan distribusi listrik PLN serta beban yang ditunjukkan oleh Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Intensitas daya yang diterima panel surya pada pengujian hari ketiga.

Secara rata-rata aliran daya GTI, jaringan distribusi listrik PLN dan beban di rentang waktu siang hari ini (10.35-13.05 wib) ditunjukkan oleh Tabel 3 berikut.

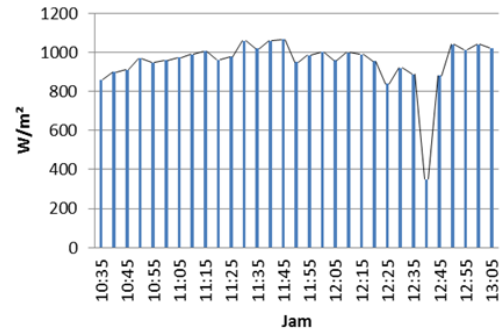
Tabel 3 Rata-rata nilai intensitas daya surya, panel surya GTI, jaringan distribusi listrik PLN dan beban pada pengujian hari ketiga

Intensitas daya surya	(W/m^2)	750,98
Daya GTI	W	304,13
Daya jaringan distribusi listrik PLN	W	493,00
Daya beban	W	823,22

Dapat dilihat bahwa daya rata-rata yang dibangkitkan oleh panel surya adalah sebesar 304,13 atau sekitar 38,1% dari kebutuhan daya beban sebesar 823,22 W. Sementara itu rata-rata daya yang ditarik dari jaringan distribusi listrik PLN mencapai kisaran 493,00 W atau sekitar 61,9% dari kebutuhan daya beban sebesar 823,22 W. Kebutuhan daya beban lebih banyak dipasok oleh jaringan distribusi listrik PLN dibandingkan panel surya meskipun perbedaannya tidak sangat jauh/besar.

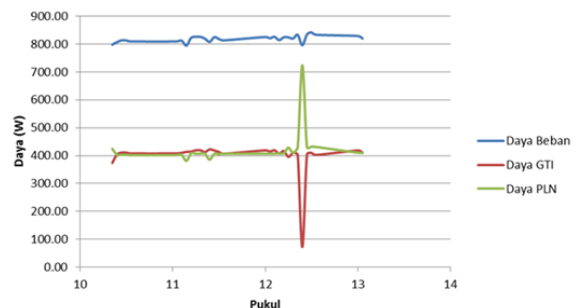
4.4 Pengujian hari keempat

Pengujian pada hari keempat dilakukan pada siang hari dengan kondisi cuaca cerah. Akibatnya intensitas daya rata-rata yang diterima panel surya cukup tinggi yaitu sekitar 951,52 W/m^2 dengan variasi antara 350 W/m^2 – 1060 W/m^2 sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Intensitas daya yang diterima panel surya pada pengujian hari keempat.

Selanjutnya berdasarkan hasil pengukuran arus GTI (I_{GTI}), arus jaringan distribusi listrik PLN (I_{PLN}), tegangan jaringan distribusi listrik PLN (V_{PLN}) dan arus beban (I_L) maka dapat diperoleh aliran daya GTI, jaringan distribusi listrik PLN serta beban yang ditunjukkan oleh Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Intensitas daya yang diterima panel surya pada pengujian hari keempat.

Secara rata-rata aliran daya GTI, jaringan distribusi listrik PLN dan beban di rentang waktu pengukuran siang hari ini (10.35-13.05 wib) ditunjukkan oleh Tabel 4 berikut.

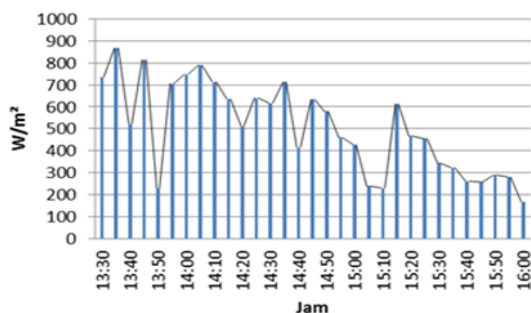
Tabel 4 Rata-rata nilai intensitas daya surya, panel surya GTI, jaringan distribusi listrik PLN dan beban pada pengujian hari keempat

Intensitas daya surya	(W/m^2)	951,52
Daya GTI	W	399,12
Daya jaringan distribusi listrik PLN	W	419,26
Daya beban	W	823,49

Dapat dilihat bahwa rata-rata panel surya mampu memasok daya sebesar 399,12 W atau sekitar 48,7% dari kebutuhan daya beban sebesar 823,49 W. Sementara itu rata-rata daya yang ditarik dari jaringan distribusi listrik PLN adalah sebesar 419,26 W atau sekitar 51,3% dari kebutuhan daya beban sebesar 823,49 W. Daya beban dipasok secara relatif berimbang oleh panel surya dan Oleh karenanya penggunaan panel surya jaringan distribusi listrik PLN sehingga penggunaan panel surya dipandang cukup efektif.

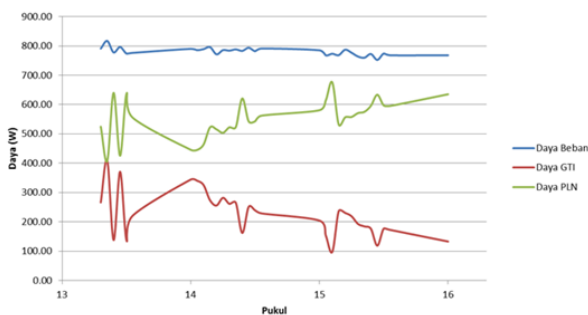
4.5 Pengujian hari kelima

Pengujian hari kelima dilakukan pada sore hari dengan kondisi cuaca mendung. Intensitas daya rata-rata yang diterima panel surya cukup rendah yaitu sekitar 505,75 W/m² dengan variasi sangat lebar yakni 168 W/m² – 867 W/m² sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 11 di bawah ini.



Gambar 11. Intensitas daya yang diterima panel surya pada pengujian hari kelima.

Lalu berdasarkan hasil pengukuran arus GTI (I_{GTI}), arus jaringan distribusi listrik PLN (I_{PLN}), tegangan jaringan distribusi listrik PLN (V_{PLN}) dan arus beban (I_L) maka dapat diperoleh aliran daya GTI, jaringan distribusi listrik PLN serta beban yang ditunjukkan oleh Gambar 12 di bawah ini.



Gambar 12. Intensitas daya yang diterima panel surya pada pengujian hari kelima.

Secara rata-rata aliran daya GTI, jaringan distribusi listrik PLN dan beban di rentang waktu sore hari ini (13.30-16.00 wib) ditunjukkan oleh Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Rata-rata nilai intensitas daya surya, panel surya GTI, jaringan distribusi listrik PLN dan beban pada pengujian hari kelima

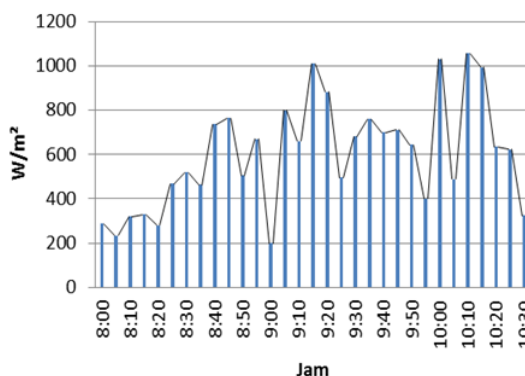
Intensitas daya surya	(W/m ²)	500,75
Daya GTI	W	228,07
Daya jaringan distribusi listrik PLN	W	552,36
Daya beban	W	796,74

Karena intensitas daya rata-rata yang diterima oleh panel surya cukup rendah maka rata-rata daya yang mampu dibangkitkan panel surya hanya sekitar 228,07 W atau sekitar 29,1% kebutuhan daya beban yang mencapai kisaran 796,74 W. Sementara itu rata-rata daya yang ditarik dari jaringan distribusi listrik PLN mencapai kisaran 552,36 W atau sekitar 70,9% dari kebutuhan daya beban sebesar

796,74 W. Dapat dikatakan bahwa penggunaan panel surya pada kondisi ini kurang efektif.

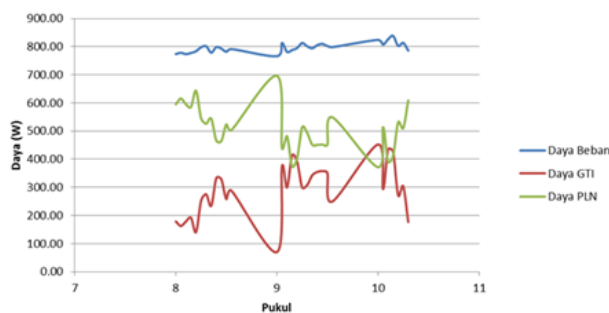
4.6 Pengujian hari keenam

Pengujian hari pertama dilakukan pada pagi hari dengan kondisi cuaca cerah tapi berawan. Intensitas daya rata-rata yang diterima panel surya berkisar 602,78 W/m² dengan rentang antara 200 W/m² – 1057 W/m² sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 13 di bawah ini.



Gambar 13. Intensitas daya yang diterima panel surya pada pengujian hari keenam.

Selanjutnya berdasarkan hasil pengukuran arus GTI (I_{GTI}), arus jaringan distribusi listrik PLN (I_{PLN}), tegangan jaringan distribusi listrik PLN (V_{PLN}) dan arus beban (I_L) maka dapat diperoleh aliran daya GTI, jaringan distribusi listrik PLN serta beban yang ditunjukkan oleh Gambar 14 di bawah ini.



Gambar 14. Intensitas daya yang diterima panel surya pada pengujian hari keenam.

Secara rata-rata aliran daya GTI, jaringan distribusi listrik PLN dan beban di rentang waktu pagi hari ini (08.00-10.30 wib) ditunjukkan oleh Tabel 6 berikut.

Tabel 6 Rata-rata nilai intensitas daya surya, panel surya GTI, jaringan distribusi listrik PLN dan beban pada pengujian hari keenam

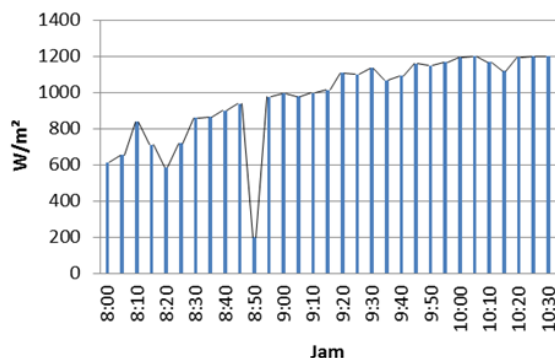
Intensitas daya surya	(W/m ²)	602,78
Daya GTI	W	290,03
Daya jaringan distribusi listrik PLN	W	506,63
Daya beban	W	821,53

Terlihat bahwa panel surya hanya mampu membangkitkan rata-rata daya yang relatif yaitu 290,03 W atau 36,2% dari kebutuhan daya beban sebesar 821,53 W. Sementara itu rata-rata daya yang ditarik dari jaringan distribusi listrik

PLN mencapai kisaran 506,63 W atau sekitar 63,8% dari kebutuhan daya beban sebesar 821,53 W. Penggunaan panel surya pada kondisi ini dinilai kurang efektif.

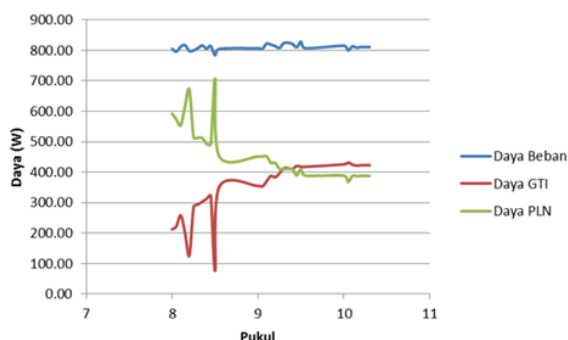
4.7 Pengujian hari ketujuh

Pengujian pada hari ketujuh dilakukan pada pagi hari dengan kondisi cuaca cerah. Intensitas daya rata-rata yang diterima panel surya cukup tinggi yaitu sekitar 971,48 W/m² dengan variasi sangat lebar yakni 200 W/m² – 1202 W/m² sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 15 di bawah ini.



Gambar 15. Intensitas daya yang diterima panel surya pada pengujian hari ketujuh.

Selanjutnya berdasarkan hasil pengukuran arus GTI (I_{GTI}), arus jaringan distribusi listrik PLN (I_{PLN}), tegangan jaringan distribusi listrik PLN (V_{PLN}) dan arus beban (I_L) maka dapat diperoleh aliran daya GTI, jaringan distribusi listrik PLN serta beban yang ditunjukkan oleh Gambar 16 di bawah ini.



Gambar 16. Intensitas daya yang diterima panel surya pada pengujian hari ketujuh.

Secara rata-rata aliran daya GTI, jaringan distribusi listrik PLN dan beban di rentang waktu pagi hari ini (08.00-10.30 wib) ditunjukkan oleh Tabel 7 berikut.

Tabel 7 Rata-rata nilai intensitas daya surya, panel surya GTI, jaringan distribusi listrik PLN dan beban pada pengujian hari ketujuh

Intensitas daya surya	(W/m ²)	971,50
Daya GTI	W	344,35
Daya jaringan distribusi listrik PLN	W	465,61
Daya beban	W	831,72

Dapat dilihat bahwa rata-rata daya yang dibangkitkan panel surya berkisar 344,35 W atau sekitar 42,5% dari kebutuhan daya beban sebesar 831,72 W. Sementara itu rata-rata daya yang ditarik dari jaringan distribusi listrik PLN mencapai kisaran 465,61 W atau sekitar 57,5% dari kebutuhan daya beban sebesar 465,61 W. Penggunaan panel surya pada kondisi ini cukup efektif.

5 SIMPULAN

Sistem PLTS dengan GTI yang dapat digunakan untuk mensuplai kebutuhan daya beban sebesar 1 kW telah berhasil direalisasikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa secara umum sistem PLTS dengan GTI yang dibangun ini telah dapat bekerja dengan baik. Besarnya daya yang dapat dibangkitkan oleh panel surya adalah sangat bergantung pada intensitas daya yang diterima panel surya yang sangat ditentukan oleh kondisi cuaca dan waktu penggunaannya. Lebih lanjut, panel surya akan membangkitkan daya yang cukup besar pada pengoperasian pagi hari (08.00-10.30 wib) dan siang hari (10.35-13.05 wib) dengan besaran rata-rata masing-masing mencapai kisaran 317,19 W dan 369,85 W atau sekitar 39,4% dan 45,9% dari kebutuhan daya beban. Pengoperasian sistem PLTS dengan GTI yang telah dibangun pada kedua waktu ini, khususnya di siang hari, dipandang cukup efektif untuk mengurangi konsumsi daya dari jaringan distribusi listrik PLN.

KEPUSTAKAAN

- [1] Eda, Jessica, Mulyadi, M., Kartadinata, B., dan Tanudjaja, H., *Analisis Dampak Pemasangan Grid Tie Inverter Pada Interkoneksi Antara Jaringan PLN Dan Solar Cell Terhadap Faktor Daya Dan Harmonisa Sistem*, Jurnal Elektro Universitas Katolik Indonesia Atmajaya - Jakarta, (2017)
- [2] Solar Surya Indonesia, *Mengenal Teknologi Solar Photovoltaic (PV)*, August 21, 2012. <http://solarsuryaindonesia.com/info/mengenal-teknologi-solar-pv>
- [3] Greeshma, Paul, J., *Grid Connected Self-Synchronized Inverter*, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), (2017).
- [4] Sulun, S., *Analisis Pengaruh Penyambungan Grid Tie Inverter Terhadap Harmonisa Sistem Saat Terhubung Beban Pada Jaringan Rendah*, Universitas Indonesia, (2012).
- [5] Boedoyo, M. S., *Potensi dan Peranan PLTS Sebagai Energi Alternatif Masa Depan di Indonesia*, Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia, (2012).
- [6] Mardikaningsih, I. S., Sutopo, W., Hisjam, M., & Zakaria, R., *Techno-economic Feasibility Analysis of a Public Street Light with Solar Cell Power*, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2016, March 16 - 18.
- [7] Sampson, N. D. A., Bachman, N. C., Chaudhry, D., Mahajan, K., & McMorran, B. J., *Investigating Solar Street Lights in Mandi and Kamand*, Worcester Polytechnic Institute, (2016).
- [8] Azhar Kamal, AIQSC (Australia Indonesia Quality Solar Collaboration), *Green Energy: Pemilihan, Instalasi dan Sistem Kontrol Rooftop Solar Panel*, Workshop Seminar Nasional Gabungan Bidang Rekayasa, Politeknik Negeri Malang, (2017).