SinarFe7
Seminar Nasional Fortei Regional 7

ISSN (Print) : 2621-3540
ISSN (Online) : 2621-5551

Perancangan dan Pembuatan *Photovoltaic* 90 Wp dengan Sistem *On-Grid* di Universitas Kristen Petra

[1]Nyoman Bayu Kristiawan, [2]Hanny Hosiana Tumbelaka, [3]Murtiyanto Santoso
[123] Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra
[1]Nyomanbayuk@gmail.com, [2] tumbeh@petra.ac.id, [3] murtis@petra.ac.id

Abstract — The ongrid PV system on the 7th floor of the Petra Christian University P building consists of 2 PV modules each 45Wp. The PV module is connected on the DC side of the inverter. The mesh is connected to the AC side of the inverter. The selected inverter is an on-grid type that has been equipped with Phase Lock Loop algorithm and several safeguards. The load used is 15 Watt lamp.

The results show that the power of the PV module flows to the load and to the mesh of electricity in accordance with the capacity of the sun's rays. The PV system at Petra Christian University can export energy to the grid when the load is 17% of the capacity of the PV module. The PV system is also capable of covering approximately 58.66% to 78.06% of the lamp energy requirement when the lamp is on for 8 hours. When the load is turned on 24 hours, the system is only able to cover about 27.3% to 33.14% of lamp energy needs.

Keywords — Photovoltaic modul, ongrid system, power flow

Abstrak — Sistem PV *ongrid* di lantai 7 gedung P Universitas Kristen Petra terdiri dari 2 modul PV masing-masing 45Wp. Modul PV terhubung pada sisi DC dari inverter. Jala-jala terhubung pada sisi AC dari inverter. Inverter yang dipilih bertipe *on-grid* yang telah dilengkapi dengan algoritma *Phase Lock Loop* dan beberapa pengaman. Beban yang digunakan lampu 15 Watt.

Hasil penelitian menunjukan bahwa daya dari modul PV mengalir ke beban dan ke jala-jala listrik sesuai dengan kapasitas sinar Matahari. Sistem PV di Universitas Kristen Petra dapat mengekspor energi ke jala-jala listrik bila beban yang terpasang bernominal 17% dari kapasitas modul PV. Sistem PV juga mampu menutupi sekitar 58,66% sampai 78,06% kebutuhan energi lampu ketika lampu menyala 8 jam. Saat beban dinyalakan 24 jam, sistem hanya mampu menutupi sekitar 27,3% sampai 33,14% kebutuhan energi lampu.

Kata Kunci — Modul PV, Sistem on-grid, Aliran Daya

I. Pendahuluan

Sistem *photovoltaic* (PV) secara umum dapat diklasifikasikan menjadi sistem *photovoltaic offgrid* dan sistem *photovoltaic on-grid*. Masing-masing sistem *photovoltaic* ini memiliki ketergantungan terhadap sinar matahari. *Photovoltaic* menghasilkan energi saat permukaan modul PV menerima sinar matahari. Manusia menggunakan energi listrik selama 24 jam dalam 1 hari. Karena itu, terjadi kesenjangan antara kebutuhan energi listrik dan produksi energi listrik dari modul PV.

Kesenjangan itu tadi dapat diatasi dengan 2 solusi [5]. Solusi yang pertama yaitu dengan alat penyimpan energi seperti baterai. Energi yang dihasilkan modul PV pada siang hari disimpan pada baterai dan dapat digunakan saat malam hari. Sistem ini biasa diaplikasikan pada sistem PV *offgrid*. Solusi yang kedua yaitu sistem PV tidak dilengkapi dengan alat penyimpan energi. Sistem PV ini biasanya dihubungkan dengan jaringan listrik. Sistem PV tersebut disebut dengan sistem PV *on-grid*.

Penelitian mengenai sistem panel surya *on-grid* jarang dilakukan di Indonesia. Salah satu penelitian yang membahas panel surya dengan sistem tersebut adalah penelitian dengan judul "Pengembangan *Trainer* Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem *On Grid* dengan PLN untuk Menunjang Matakuliah Praktikum Pembangkit Tenaga Listrik". Penelitian ini menghasilkan *trainer* PLTS sistem *on-grid* untuk Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Malang [1]. Namun dalam penelitan ini tidak dibahas bagaimana cara merancang dan menginstalasi *photovoltaics* dengan sistem *on-grid* tersebut. Penelitian lainnya yang membahas panel surya dengan sistem *on-grid* adalah penelitian dengan judul "*Techno-Economic Simulation of a Grid-Connected PV System Design as Specifically Applied to Residential in* Surabaya, Indonesia". Dalam penelitian ini dibahas mengenai simulasi teknik dan secara ekonomis suatu sistem panel surya *on-grid*, yang dirancang khusus untuk suatu tempat permukiman warga di Surabaya dengan menggunakan *software* RETScreen [2]. Namun sekali lagi, dalam penelitan ini tidak dibahas bagaimana cara merancang dan menginstalasi *photovoltaics* dengan sistem *on-grid* tersebut.

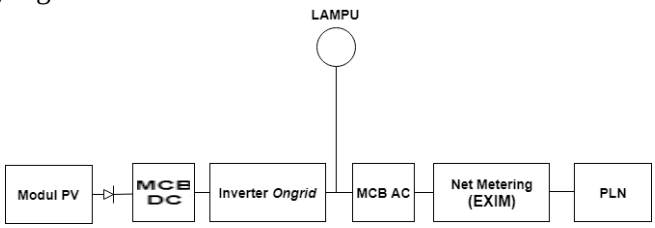
ISSN (Print) : 2621-3540
ISSN (Online) : 2621-5551

Dalam penelitian yang sekaligus adalah proyek Tugas Akhir ini, akan dirancang dan diinstalasikan PV dengan sistem *on-grid* yang dibebani dengan beberapa lampu dan jika ada kelebihan daya listrik maka akan digunakan untuk memasok energi listrik ke gedung P Universitas Kristen Petra.

II. Metode Penelitian

A. *Diagram Sistem*

Sistem PV *on-grid* dirancang dan dipasang di gedung P lantai 7 Universitas Kristen Petra. Sistem PV *on-grid* terdiri dari modul PV, inverter *on-grid*, kwh meter *export import*, dan sistem proteksi terhadap gangguan dari jala-jala listrik maupun dari panel surya itu sendiri. Berikut adalah blok diagram dari sistem PV yang akan dibuat.

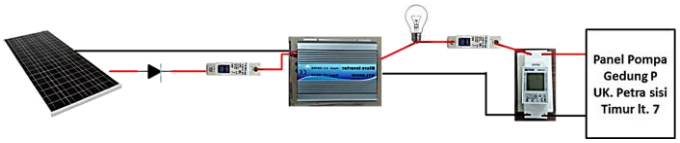


Gambar 1. Blok Diagram Sistem

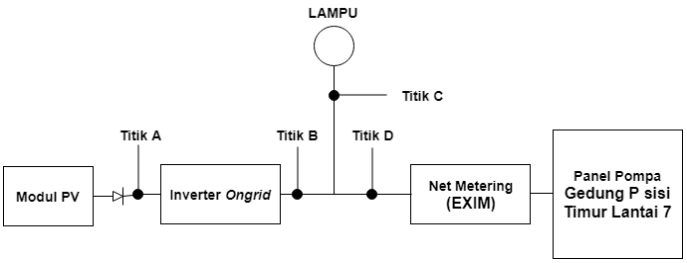
B. *Cara Kerja Sistem*

Pada sistem PV *on-grid*, sebuah lampu pijar 15 Watt disuplai dengan menggunakan 2 buah sumber. Dua sumber tersebut adalah modul PV dan jala-jala listrik (PLN). Modul PV menggunakan 2 modul PV *poly-crystaline* masing-masing berkapasitas 45Wp, sedangkan sumber PLN diambil dari panel pompa yang berada di Gedung P sisi timur lantai 7 Universitas Kristen Petra. Modul PV dipasang secara paralel. Hal itu bertujuan agar *range* tegangan yang dihasilkan sesuai dengan *range* tegangan nominal inverter DC bus. Selain itu, arus yang dihasilkan 2 kali lebih besar dari arus nominal tiap modul PV. Lalu keluaran modul PV tersebut dipasang dioda secara seri. Kemudian dipasang MCB DC untuk mengamankan sistem di sisi DC.

Lampu pijar 15 Watt yang digunakan dalam sistem ini mewakili beban AC. Sehingga output modul PV yang berupa DC, harus diubah menjadi AC dengan menggunakan inverter. Output dari inverter merupakan listrik AC bertegangan 220 Volt dengan frekuensi 50 Hz. Listrik keluaran dari inverter akan mengalir ke beban, dan juga akan menuju ke jala-jala listrik PLN pada kondisi tertentu. Kondisi tertentu yang dimaksud adalah kondisi dimana daya listrik yang dihasilkan oleh modul PV lebih besar dari daya listrik yang dibutuhkan oleh lampu. Maka kelebihan daya listrik tersebut akan diteruskan ke jaringan PLN, dan tercatat di kWh meter "ekspor" [4]. Bila daya listrik dari modul PV lebih kecil dari yang dibutuhkan lampu, maka kekurangan daya lampu tersebut akan disuplai oleh jala-jala listrik PLN. Pada kondisi tersebut, kWh meter akan mencatat "impor". Besarnya energi listrik yang dikirim ke jala-jala listrik dari inverter, atau energi listrik yang diambil dari jala-jala listrik untuk beban lampu direkam dengan menggunakan sebuah kWh Meter khusus yang disebut EXIM kWh Meter. EXIM kWh Meter dapat mengukur energi listrik yang diekspor atau diimpor sistem. Sebelum keluaran inverter terhubung ke jala-jala listrik saluran dipasang MCB AC. MCB AC berfungsi sebagai pengaman. W*iring diagram* sistem ditunjukkan pada Gambar 2, sedangkan titik pengukuran ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. *Wiring Diagram* Sistem



Gambar 3. Titik Pengukuran di sisi AC dan sisi DC

C. *Modul PV*

Pada sistem ini menggunakan 2 buah modul PV milik Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Petra. Modul PV ini bertipe *poly-crystaline*, dan masing-masing berkapasitas 45Wp. Modul PV berdimensi ±900mm x 400mm dan dipasang dengan kemiringan 7˚ menghadap ke utara karena Surabaya berada di belahan selatan 7˚ Lintang Selatan (-7˚).

D. *Inverter On-grid*

Pada sistem ini akan digunakan 2 buah PV yang masing-masing modul memiliki tegangan puncaknya 16 Volt dan total kapasitas daya maksimum yang dapat

ISSN (Print) : 2621-3540
ISSN (Online) : 2621-5551

dihasilkan adalah 90Wp. Setelah melewati inverter, maka sistem ini menghasilkan listrik dengan tegangan 220V dan frekuensi 50Hz. Dalam menentukan inverter yang akan digunakan, kita harus memperhatikan total kapasitas daya maksimum modul PV. Karena energi listrik yang dihasilkan oleh modul PV tidak boleh memiliki nilai output listrik lebih tinggi dari inverter *on-grid*. Sehingga kapasitas inverter harus melebihi nilai nominal listrik yang dapat dihasilkan oleh modul PV. Selain itu, keluaran listrik dari inverter *on-grid* harus diperhatikan, apakah keluaran inverter memiliki tegangan dan frekuensi yang sama dengan listrik yang terdapat di jala-jala.

Berdasarkan spesifikasi sistem yang telah dijabarkan di atas, maka diambil keputusan untuk menggunakan inverter yang memiliki kapasitas 600 Watt. Inverter ini juga memiliki *range* input 11-32V DC dan *range* output 170-220V AC.

E. Beban Sistem

Dalam sistem ini, beban listrik yang akan digunakan berupa sebuah lampu pijar dengan daya 15 Watt untuk merepresentasikan beban AC. Alasan menggunakan lampu ini adalah agar memudahkan proses pengamatan aliran daya sistem PV ini pada siang maupun malam hari. Karena pada malam hari modul PV tidak menghasilkan listrik, dan berlaku juga sebaliknya. Sehingga pada pagi hingga sore, sistem akan mengirim energi listrik ke jala-jala listrik gedung P Universitas Kristen Petra apabila energi listrik yang dihasilkan modul PV lebih dari energi listrik yang dibutuhkan oleh lampu untuk menyala. Dan pada saat malam, modul PV tidak akan menghasilkan modul PV. Maka beban akan disuplai oleh jala-jala listrik.

F. Pengaman Sistem

Dalam sistem yang akan dibuat ini, terdapat 3 jenis pengaman yang akan dipakai. Pengaman tersebut adalah dioda, MCB AC dan MCB DC.

- *Dioda*

  Dioda diletakkan tepat di sisi output modul PV dan sebelum input inverter *on-grid*. Hal ini bertujuan agar memastikan daya yang dihasilkan modul PV terkirim ke inverter *on-grid* dan tidak berbalik arah menuju modul PV. Atau dengan kata lain, dioda di sistem ini berfungsi untuk memproteksi modul PV dari listrik yang berasal dari inverter *on-grid*. Dioda yang digunakan pada sistem ini berkapasitas 5 Ampere.

  Sedangkan tegangan maksimum yang dihasilkan modul PV 16 Volt. Maka berdasarkan kondisi tersebut, dioda yang dipilih adalah dioda bertipe 6A10. Dioda ini memiliki rating *Peak Inverse Voltage* 700 Volt dan rating arus 5 Ampere [3]. Arus balik akan terjadi apabila tegangan di anoda lebih kecil dari tegangan di katoda. *Peak Inverse Voltage* memiliki nominal yang lebih besar dari tegangan katoda. Maka dari itu, arus balik tidak akan berpengaruh terhadap dioda, dan tidak merusak dioda.

- *MCB AC*

  MCB AC berfungsi untuk memproteksi sistem agar gangguan tidak menjalar dan merusak sisi AC sistem. MCB AC yang digunakan adalah MCB yang berkapasitas 1A.

- *MCB DC*

  MCB DC berfungsi untuk memproteksi sistem agar gangguan tidak menjalar dan merusak sisi DC sistem. Dikarenakan arus yang dihasilkan modul PV 3.1 Ampere, maka rating MCB DC yang digunakan pada sistem ini sedikit di atas 3.1 Ampere. Karena ketersediaan MCB DC di pasaran, maka dipilih MCB DC berkapasitas 10 Ampere.

G. EXIM Kwh Meter

Sistem modul PV akan tersambung dengan jala-jala listrik bertegangan 220V dan frekuensi 50Hz. Karena itu, EXIM Kwh Meter yang digunakan pada sistem ini adalah Exim meter merk EASTRON bertipe SDM230-Bi. Exim Meter ini bekerja pada range tegangan AC 220-230 Volt, dan frekuensi 50/60Hz. Alasan menggunakan EXIM Meter jenis ini karena peralatan EASTRON SDM230-Bi merupakan EXIM Meter satu-satunya yang dapat dibeli di pasaran.

III. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Pengukuran pada 28 Mei 2018

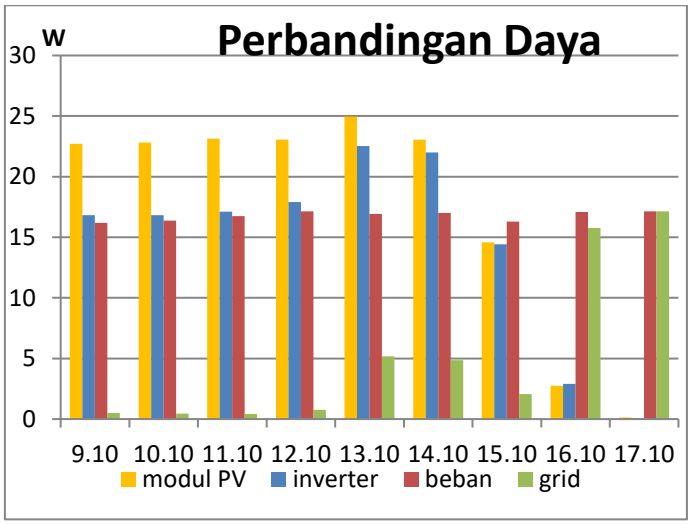
Hasil pengukuran sistem pada 28 Mei 2018 ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 4. Dapat diamati terdapat perbedaan daya listrik antara daya yang dihasilkan oleh modul PV dengan daya keluaran inverter *on-grid*. Hal ini terjadi karena terdapat

ISSN (Print) : 2621-3540
ISSN (Online) : 2621-5551

perbedaan karakteristik alat ukur. Sisi AC sistem diukur dengan menggunakan Fluke 41B, sedangkan sisi DC sistem diukur dengan amperemeter Kyoritsu *Kew Snap Model* 2033 dan multimeter Sanwa CD772.

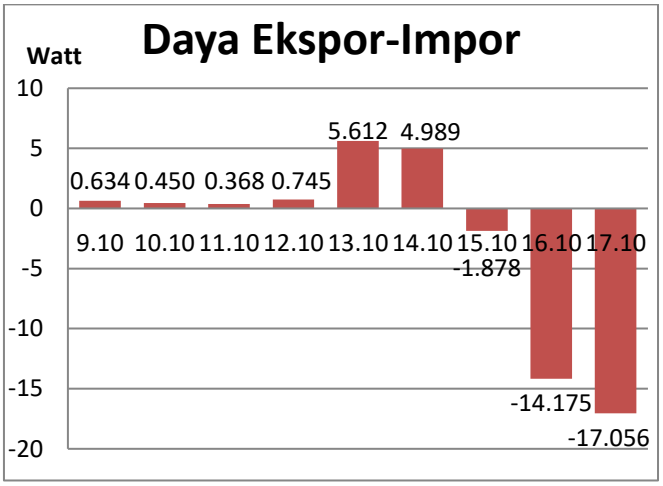
Tabel 1. Hasil Pengukuran Sistem pada 28 Mei 2018

Jam	Daya di Titik A (W)	Daya di Titik B (W)	Daya di Titik C (W)	Daya di Titik D (W)
9.10	22,723	16,826	16,192	0,506
10.10	22,830	16,826	16,376	0,460
11.10	23,126	17,112	16,744	0,414
12.10	23,058	17,894	17,149	0,769
13.10	24,944	22,540	16,928	5,175
14.10	23,058	21,991	17,002	4,851
15.10	14,583	14,427	16,305	2,061
16.10	3,045	2,900	17,075	15,776
17.10	0,146	0,093	17,149	17,149



Gambar 4. Perbandingan Daya di Masing-masing Titik Pengukuran pada 28 Mei 2018

Dari Tabel 2, dapat diamati bahwa hasil pengukuran di jala-jala listrik dan hasil perhitungan memiliki perbedaan yang tidak siknifikan, atau bahkan cenderung sama. Hasil perhitungan berasal dari daya *output* inverter *on-grid* yang dikurangi dengan daya beban lampu dari Tabel 1. Dari perhitungan tersebut sistem telah berjalan sesuai dengan hukum KCL. Argumen tersebut didukung dengan salah satu data, contohnya data pada jam 9.10, dimana ketika daya pada keluaran inverter dikurangi dengan kebutuhan daya beban, maka hasilnya memenuhi hukum KCL. Dan hal tersebut berlaku untuk data-data lainnya. Hasil perhitungan juga memiliki kemiripan nilai bila dibandingkan dengan hasil pengukuran pada kWh Meter EXIM. Selain itu, dari Tabel 2 juga dapat dilihat bahwa sistem *on-grid* yang telah dirancang juga berhasil mengirimkan daya listrik ke jala-jala listrik. Berikut merupakan data daya yang diimpor dan diekspor ke jala-jala listrik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Daya yang Diekspor atau Diimpor ke *Grid pada* 28 Mei 2018

Tabel 2. Perbandingan Hasil Pengukuran dan Perhitungan

Jam	Daya di Titik D (W)	Selisih antara Daya Output Inverter dan Daya Beban (W)	Display EXIM Meter
9.10	0,506	0,634	0
10.10	0,460	0,450	0
11.10	0,414	0,368	0
12.10	0,769	0,745	1
13.10	5,175	5,612	5
14.10	4,851	4,989	4
15.10	2,061	-1,878	-2
16.10	15,776	-14,175	-15
17.10	17,149	-17,056	-17

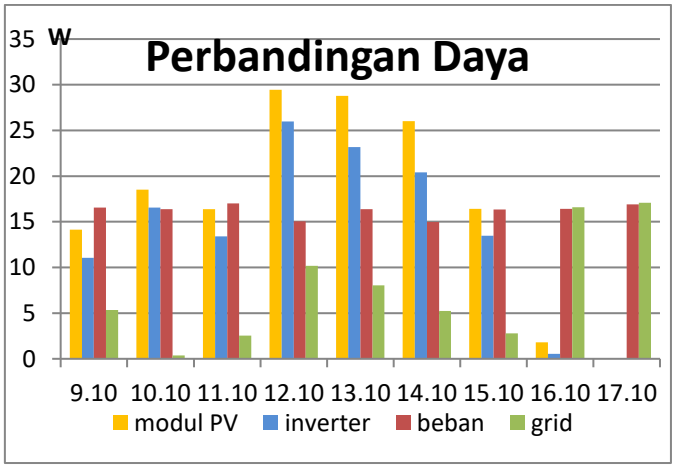
B. Hasil Pengukuran pada 4 Juni 2018

Hasil pengukuran sistem pada 28 Mei 2018 ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 6.

ISSN (Print) : 2621-3540
ISSN (Online) : 2621-5551

Tabel 3. Hasil Pengukuran Sistem pada 4 Juni 2018

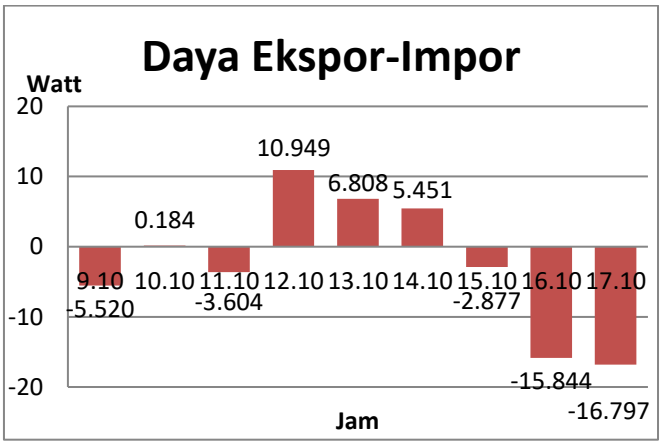
Jam	Daya di Titik A (W)	Daya di Titik B (W)	Daya di Titik C (W)	Daya di Titik D (W)
9.10	14,127	11,040	16,560	5,336
10.10	18,513	16,560	16,376	0,368
11.10	16,371	13,398	17,002	2,541
12.10	29,452	25,988	15,038	10,164
13.10	28,798	23,184	16,376	8,050
14.10	26,027	20,424	14,973	5,244
15.10	16,414	13,456	16,333	2,784
16.10	1,796	0,559	16,403	16,590
17.10	0,000	0,093	16,890	17,075



Gambar 6. Perbandingan Daya di Masing-masing Titik Pengukuran pada 4 Juni 2018

Dari Tabel 3 dan Gambar 6 dapat diamati terdapat perbedaan daya listrik antara daya yang dihasilkan oleh modul PV dengan daya keluaran inverter *on-grid*. Hal ini terjadi karena terdapat perbedaan karakteristik antara alat ukur di sisi AC dan di sisi DC.

Dari Tabel 4, dapat diamati bahwa hasil pengukuran di jala-jala listrik dan hasil perhitungan memiliki perbedaan yang tidak siknifikan, atau bahkan cenderung sama. Hanya saja pada jam 9.10 daya yang dihasilkan lebih kecil jika dibandingkan dengan data pada 28 Mei 2018 pada jam yang sama karena kondisi hujan. Hasil perhitungan berasal dari daya *output* inverter *on-grid* yang dikurangi dengan daya beban lampu dari Tabel 3. Dari perhitungan tersebut sistem telah berjalan sesuai dengan hukum KCL. Argumen tersebut didukung dengan salah satu data, contohnya data pada jam 9.10, dimana ketika daya pada keluaran inverter tidak mampu memenuhi kebutuhan daya beban, maka kekurangan tersebut disuplai oleh jala-jala listrik. Dan hal tersebut berlaku untuk data-data lainnya ketika daya yang dihasilkan modul PV tidak memenuhi kebutuhan daya beban. Maka diambil kesimpulan bahwa sistem telah memenuhi hukum KCL. Hasil perhitungan dengan hasil pengukuran pada kWh Meter EXIM. Selain itu, dari Tabel 4 juga dapat dilihat bahwa sistem *on-grid* yang telah dirancang juga berhasil mengirimkan daya listrik ke jala-jala listrik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Daya yang Diekspor atau Diimpor ke Grid pada 4 Juni 2018

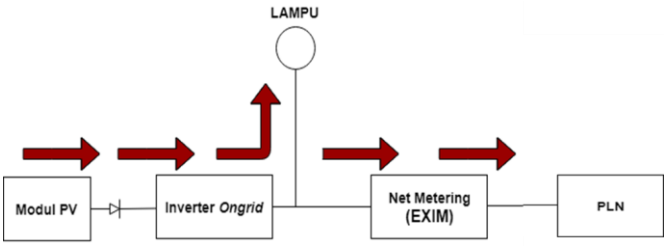
Tabel 4. Perbandingan Hasil Pengukuran dan Perhitungan

Jam	Daya di Titik D (W)	Selisih antara Daya Output Inverter dan Daya Beban (W)	Display EXIM Meter
9.10	5,336	-5,520	-5
10.10	0,368	0,184	0
11.10	2,541	-3,604	-2
12.10	10,164	10,949	9
13.10	8,050	6,808	7
14.10	5,244	5,451	5
15.10	2,784	-2,877	-2
16.10	16,590	-15,844	-15
17.10	17,075	-16,797	-17

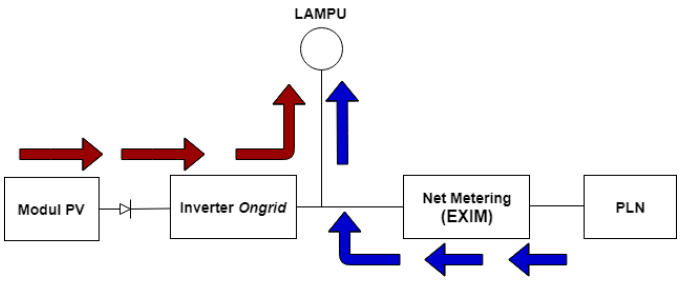
ISSN (Print) : 2621-3540
ISSN (Online) : 2621-5551

C. Analisa Data

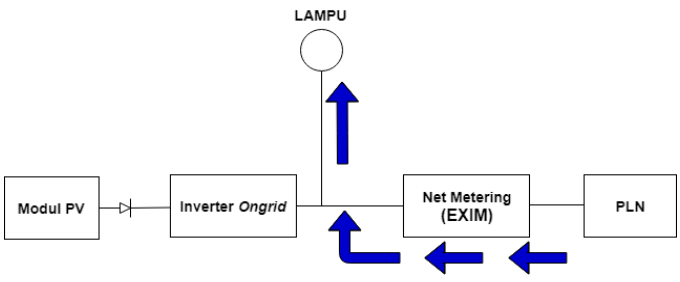
Dari data pada Tabel 1, dan Tabel 3, maka digambarkanlah aliran daya pada sistem PV *On-grid*. Gambar 8 menunjukan aliran daya ketika sistem mampu memenuhi kebutuhan energi beban dan mengekspor energi yang dihasilkan ke jala-jala listrik. Sedangkan aliran daya ketika beban disuplai oleh jala-jala listrik dan sistem PV ditunjukan pada Gambar 9. Aliran daya ketika beban disuplai oleh jala-jala listrik ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 8. Aliran Daya ketika Modul PV menyuplai Beban dan *Grid*



Gambar 9. Aliran Daya ketika Modul PV menyuplai Beban dan *Grid*



Gambar 10. Aliran Daya ketika *Grid* menyuplai Beban

Sistem PV *on-grid* yang dipasang di gedung P lantai 7 sisi timur Universitas Kristen Petra ini mengalami beberapa kondisi yang umumnya juga dialami sistem PV *on-grid* lainnya. Kondisi yang dimaksud diantaranya adalah kondisi dimana kebutuhan daya listrik dipenuhi oleh modul PV saja, kondisi dimana kebutuhan daya listrik dipenuhi oleh jala-jala listrik (PLN) juga modul PV, dan kondisi dimana kebutuhan daya listrik dipenuhi oleh jala-jala listrik (PLN) saja. Kelebihan energi yang didapat saat modul menghasilkan daya listrik melebihi kebutuhan daya listrik beban. Kelebihan energi dapat dihitung dengan mengurangi energi yang dihasilkan oleh modul PV dengan konsumsi energi beban. Setelah mengetahui kelebihan energi yang dihasilkan modul PV, presentase energi yang dihemat dalam sistem PV *on-grid* ini dapat diketahui dengan membandingkan energi yang diproduksi modul PV dengan konsumsi energi beban. Berikut adalah data konsumsi energi beban pada 28 Mei 2018 beserta penghematannya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Konsumsi Energi Listrik oleh Beban Tanggal 28 Mei 2018

Jam	Konsumsi Energi Beban (Wh)	Suplai PLN ke Beban (Wh)	Energi PV yang Tersedia (Wh)	Suplai PV ke Beban (Wh)	Energi Lebih dari PV (Wh)
9.10	16,19	0,00	16,83	16,19	0,63
10.10	16,38	0,00	16,83	16,38	0,45
11.10	16,74	0,00	17,11	16,74	0,37
12.10	17,15	0,00	17,89	17,15	0,74
13.10	16,93	0,00	22,54	16,93	5,61
14.10	17,00	0,00	21,99	17,00	4,99
15.10	16,31	1,88	14,43	14,43	0,00
16.10	17,08	14,18	2,90	2,90	0,00
17.10	17,15	17,06	0,09	0,09	0,00
Total	150,92	33,11	130,61	117,81	12,80

Dari Tabel 5 dapat diketahui bahwa modul PV menghasilkan energi dengan jumlah kelebihan energi 12,798 Wh. Kelebihan energi tersebut dapat digunakan untuk mengurangi jumlah energi yang disuplai dari jala-jala listrik ke beban. Dengan kata lain, kelebihan energi tersebut dapat mengurangi biaya yang harus dibayar ke PLN dengan mengurangi konsumsi energi listrik yang diimpor dari PLN. Sehingga energi yang disuplai dari PLN tanggal 28 Juni 2018 adalah 20,31 Wh.

Dari Tabel 5 juga dapat diketahui bahwa modul PV mememenuhi kebutuhan energi beban sebanyak 117,81 Wh dari kebutuhan energi total beban sebanyak 150,92 Wh. Dengan kata lain, modul PV memenuhi 78,06%

ISSN (Print) : 2621-3540
ISSN (Online) : 2621-5551

energi yang dibutuhkan beban untuk menyala dari jam 9.10 hingga 17.10. Dan dari situ juga, dapat diketahui bahwa sistem mengalami penghematan energi sebanyak 117,81 Wh. Setelah melakukan pembahasan berdasarkan data pada Tabel 5, maka dilakukan simulasi dengan keadaan sistem berjalan 24 jam berdasarkan data pada tanggal 28 Mei 2018. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Simulasi Konsumsi Energi Berdasarkan Data Tanggal 28 Mei 2018

Jam	Konsumsi Energi Beban (Wh)	Suplai PLN ke Beban (Wh)	Energi PV yang Tersedia (Wh)	Suplai PV ke Beban (Wh)	Energi Lebih Dari PV (Wh)
1.10	**17,15**	**17,15**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
2.10	**17,15**	**17,15**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
3.10	**17,15**	**17,15**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
4.10	**17,15**	**17,15**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
5.10	**17,15**	**17,15**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
6.10	**17,15**	**17,15**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
7.10	16,19	11,22	5,61	5,61	0,000
8.10	16,19	5,61	11,22	11,22	0,000
9.10	16,19	0,000	16,83	16,19	0,63
10.10	16,19	0,00	16,83	16,19	0,63
11.10	16,38	0,00	16,83	16,38	0,45
12.10	16,74	0,00	17,11	16,74	0,37
13.10	17,15	0,00	17,89	17,15	0,74
14.10	16,93	0,00	22,54	16,93	5,61
15.10	17,00	0,00	21,99	17,00	4,99
16.10	16,31	1,88	14,43	14,43	0,00
17.10	**17,15**	**17,06**	**0,09**	**0,09**	**0,000**
18.10	**17,15**	**17,15**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
19.10	**17,15**	**17,15**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
20.10	**17,15**	**17,15**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
21.10	**17,15**	**17,15**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
22.10	**17,15**	**17,15**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
23.10	**17,15**	**17,15**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
24.10	**17,15**	**17,15**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
Total	406,24	272,87	134,64	12,80	406,24

Simulasi pada Tabel 6 memiliki kondisi data pada pukul 7.10 dan 8.10 memiliki kebutuhan energi beban yang sama dengan pada pukul 9.10 (data diberi garis bawah). Data lainnya (energi yang tersedia dan suplai energi modul PV ke beban) pukul 7.10 dan 8.10 disimulasikan secara interpolasi menurut data pukul 9.10. Sedangkan konsumsi energi beban pada jam 18.10 hingga jam 6.10 disimulasikan agar sama dengan jam 17.10 (data ditulis dengan *font* yang ditebalkan). Selain itu, disimulasikan modul PV tidak menyuplai energi pada jam 18.10 hingga jam 6.10. Dari simulasi tersebut dapat dilihat bahwa sistem menghasilkan energi dengan jumlah kelebihan energi 12,798 Wh. Bila kelebihan energi tersebut ditujukan untuk dengan mengurangi konsumsi energi listrik dari PLN, maka energi yang disuplai dari PLN adalah 260,07 Wh. Dari Tabel 6 juga dapat diketahui bahwa modul PV mememenuhi kebutuhan energi beban sebanyak 134,64 Wh dari kebutuhan energi total beban sebanyak 272,87 Wh. Dengan kata lain, modul PV memenuhi 33,14% energi yang dibutuhkan beban untuk menyala selama 24 jam. Selain itu dapat diketahui bahwa sistem mengalami penghematan energi sebanyak 134,64 Wh.

Berikut adalah data konsumsi energi beban pada 4 Juni 2018 beserta penghematannya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Konsumsi Energi Listrik oleh Beban Tanggal 4 Juni 2018

Jam	Konsumsi Energi Beban (Wh)	Suplai PLN ke Beban (Wh)	Energi PV yang Tersedia (Wh)	Suplai PV ke Beban (Wh)	Energi Lebih dari PV (Wh)
9.10	16,56	5,52	11,04	11,04	0,00
10.10	16,38	0,00	16,56	16,38	0,18
11.10	17,00	3,60	13,40	13,40	0,00
12.10	15,04	0,00	25,99	15,04	10,95
13.10	16,38	0,00	23,18	16,38	6,81
14.10	14,97	0,00	20,42	14,97	5,45
15.10	16,33	2,88	13,46	13,46	0,00
16.10	16,40	15,84	0,56	0,56	0,00
17.10	16,89	16,80	0,09	0,09	0,00
Total	145,95	44,64	124,70	101,31	23,39

Dari Tabel 7, dapat diketahui bahwa modul PV menghasilkan energi dengan jumlah kelebihan energi 23,39 Wh. Bila kelebihan energi tersebut ditujukan untuk dengan mengurangi konsumsi energi listrik dari PLN, maka energi yang disuplai dari PLN adalah 21,25 Wh. Dari Tabel 7 juga dapat diketahui bahwa modul PV

ISSN (Print) : 2621-3540
ISSN (Online) : 2621-5551

mememenuhi kebutuhan energi beban sebanyak 101,31 Wh dari kebutuhan energi total beban sebanyak 145,95 Wh. Dengan kata lain, modul PV memenuhi 69,41% energi yang dibutuhkan beban untuk menyala selama 8 jam. Selain itu, dapat diketahui bahwa sistem mengalami penghematan energi sebanyak 101,31 Wh.

Setelah melakukan pembahasan berdasarkan data pada Tabel 7, maka dilakukan simulasi dengan keadaan sistem berjalan 24 jam berdasarkan data pada tanggal 4 Juni 2018 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Simulasi Konsumsi Energi Berdasarkan Data Tanggal 4 Juni 2018

Jam	Konsumsi Energi Beban (Wh)	Suplai PLN ke Beban (Wh)	Energi PV yang Tersedia (Wh)	Suplai PV ke Beban (Wh)	Energi Lebih Dari PV (Wh)
1.10	**16,89**	**16,89**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
2.10	**16,89**	**16,89**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
3.10	**16,89**	**16,89**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
4.10	**16,89**	**16,89**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
5.10	**16,89**	**16,89**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
6.10	**16,89**	**16,89**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
7.10	16,56	12,88	3,68	3,68	0,00
8.10	16,56	12,88	3,68	3,68	0,00
9.10	16,56	5,52	11,04	11,04	0,00
10.10	16,38	0,00	16,56	16,38	0,18
11.10	17,00	3,60	13,40	13,40	0,00
12.10	15,04	0,00	25,99	15,04	10,95
13.10	16,38	0,00	23,18	16,38	6,81
14.10	14,97	0,00	20,42	14,97	5,45
15.10	16,33	2,88	13,46	13,46	0,00
16.10	16,40	15,84	0,56	0,56	0,00
17.10	**16,89**	**16,80**	**0,09**	**0,09**	**0,00**
18.10	**16,89**	**16,89**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
19.10	**16,89**	**16,89**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
20.10	**16,89**	**16,89**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
21.10	**16,89**	**16,89**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
22.10	**16,89**	**16,89**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
23.10	**16,89**	**16,89**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
24.10	**16,89**	**16,89**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
Total	398,64	289,97	132,06	108,67	23,39

Dari analisa terhadap Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7, dan Tabel 8 dapat diambil kesimpulan bahwa sistem PV *on-grid* cocok apabila diaplikasikan pada gedung memiliki jam kerja dari jam 8 pagi hingga jam 4 atau jam 5 sore. Karena pada jam-jam tersebut konsumsi energi listrik dari PLN dapat dikurangi dengan menggunakan PV *on-grid. Statement* tersebut didukung dengan kenyataan modul PV mampu menutupi sekitar 69,41% - 78,06% kebutuhan energi beban ketika beban menyala 8 jam jauh lebih tinggi daripada beban dinyalakan 24 jam. Saat beban dinyalakan 24 jam, modul PV hanya mampu menutupi sekitar 27,3% - 33,14% kebutuhan energi beban. Dengan catatan, presentase-presentase tersebut dapat tercapai bila beban yang terpasang di sistem PV *on-grid* sekitar 17% dari kapasitas modul PV. Presentase tersebut juga dipengaruhi oleh cuaca. Ketika cuaca cerah, maka daya yang dihasilkan modul PV akan lebih tinggi bila dibandingkan dengan kondisi cuaca berawan. Hal itu didukung dengan data energi yang disuplai modul PV ke beban pada 28 Mei 2018 (117,81 Wh) yang lebih tinggi daripada 4 Juni 2018 (101,31 Wh).

IV. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan dari penelitian ini.

1. Sistem PV *on-grid* yang menggunakan 2 buah modul PV 45Wp dan dibebani lampu 15 Watt dapat berjalan dengan baik. Hal ini karena sistem PV ditunjang dengan inverter *on-grid* yang dilengkapi dengan algoritma *Phase Locked Loop* (PLL). Sistem dapat terhubung dengan jala-jala listrik dan mengekspor energi ke jala-jala listrik.

2. Sistem PV *on-grid* dapat mengekspor energi ke jala-jala listrik karena beban yang terpasang di sistem PV *on-grid* sekitar 17% dari kapasitas modul PV. Dengan kata lain, apabila ingin menginstalasi sistem PV *ongrid* yang dapat mengekspor energi ke jala-jala listrik, maka harus menggunakan modul PV yang berkapasitas 5 sampai 6 kali lebih besar dari beban yang terpasang.

3. Aliran daya yang terjadi pada sistem PV *on-grid* ketika modul PV menghasilkan daya lebih dari yang dibutuhkan beban, maka kelebihan daya tersebut akan mengalir ke jala-jala listrik. Berbeda ketika modul PV menghasilkan daya lebih kecil dari kebutuhan daya beban, maka

ISSN (Print) : 2621-3540
ISSN (Online) : 2621-5551

kekurangan tersebut akan disuplai oleh jala-jala listrik PLN.

4. Sistem PV *on-grid* mampu menutupi sekitar 69,41% sampai 78,06% kebutuhan energi lampu 15 Watt ketika lampu menyala 8 jam. Penghematan ini jauh lebih tinggi daripada kondisi beban dinyalakan 24 jam. Saat beban dinyalakan 24 jam, modul PV hanya mampu menutupi sekitar 27,3% sampai 33,14% kebutuhan energi lampu.

Daftar Pustaka

[1] M. R. Faiz, and P. N. Wicaksono, "*Pengembangan Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem On Grid dengan PLN untuk Menunjang Matakuliah Praktikum Pembangkit Tenaga Listrik*," *TEKNO*, pp. 64–68, 2014.

[2] E. Tarigan, Djuwari and D. F. Kartikasari, "*Techno-Economic Simulation of a Grid-Connected PV System Design as Specifically Applied to Residential in Surabaya, Indonesia*," *Energy Procedia 65,* pp. 90-99, 2015.

[3] Diodes Incorporated. (t.thn.). *6A05 - 6A10.* Dipetik July 5, 2018, dari www.diodes.com: https://www.diodes.com/assets/Datasheets/ds28009.pdf

[4] Solanki, C. S. (2013). *Solar Photovoltaic Technology and Systems: A Manual for Technicians, Trainers and Engineers.* New Delhi: PHI Learning Private Limited.

[5] Rashid, M. (2015). *Electric Renewable Energy System.* Florida: Elsevier.