

Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off-grid Sebagai Alat Penunjang Praktikum Di Laboratorium

Muhammad Syahwil^a, Nasrun Kadir^b

^a Laboratorium Sistem Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Corresponding Author : syahwil.alwi@gmail.com

^b Bengkel Mekanik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang
Email nkrudikumis@gmail.com

Received: 16th October 2020; Revised: 18th December 2020; Accepted: 15th January 2021;

Available online: 24th January 2021; Published regularly: January 2021

Abstract

This study aims to design and manufacture a practical module for a small-scale off-grid solar power system with a power capacity of 320Wp. This module consists of the main components of an off-grid type solar power system such as solar panels, Solar Charger Controller (SCC), batteries, inverters, ac/dc loads and power meter measuring instruments integrated in one module. The method used is laboratory research methods and literature study. The literature study method is to look for literature related to solar power plant as a support in making modules and laboratory methods, namely testing modules/ systems with certain conditions. Stages This research method includes identification of problems in the laboratory, literature study, design/layout of the PLTS module, determining the type and analysis of the capacity of solar panels, SCC, inverters and batteries, supplying materials/components, manufacturing modules, and testing modules in the laboratory. The output and benefits of this research are getting a practical module for the solar power plant system which makes it easier for students to understand the working principles of the PLTS system; also to optimize practicum activities in the laboratory. From the results of testing, measurement, and data analysis that have been carried out by the off-grid solar power plant (PLTS) module that has been made to function properly and works in accordance with the principle of the off-grid PLTS system, generating electricity according to the capacity of the solar panel, The solar charge controller works in accordance with its function to regulate charge and discharge of battery storage and the inverter is able to serve the load according to its capacity so that this module is ready to be used as a practical module in learning activities in the laboratory.

Keywords: PLTS Module; off-grid system; Small Scale

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendesain dan membuat modul praktek Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem off-grid skala kecil kapasitas daya 320Wp. Modul ini terdiri dari komponen-komponen utama dari suatu sistem pembangkit tenaga surya tipe off-grid mulai dari panel surya, Solar Charger Controller (SCC), baterai, inverter, beban ac/dc serta alat ukur power meter yang terintegrasi dalam satu modul. Metode yang digunakan adalah metode penelitian laboratorium dan studi kepustakaan. Metode studi kepustakaan yaitu mencari literatur terkait PLTS sebagai penunjang dalam pembuatan modul dan metode laboratorium, yaitu pengujian modul/sistem dengan beberapa kondisi tertentu. Tahapan Metode penelitian ini meliputi identifikasi masalah di laboratorium, studi literature, desain/layout modul PLTS, penentuan jenis, tipe dan analisis kapasitas panel surya,

SCC, inverter dan baterai, penyediaan bahan/komponen, pembuatan/perakitan modul, serta pengujian modul di laboratorium. Luaran dan manfaat dari penelitian ini yaitu mendapatkan modul praktek Sistem PLTS tipe off-grid yang memudahkan mahasiswa dalam memahami prinsip kerja dari sistem PLTS; juga untuk mengoptimalkan kegiatan praktikum di laboratorium. Dari hasil pengujian, pengukuran, dan analisa data yang telah dilakukan modul Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sistem off-grid yang dibuat telah berfungsi dengan baik dan bekerja sesuai dengan prinsip sistem PLTS off-grid, panel surya membangkitkan daya listrik sesuai dengan kapasitasnya, solar charge controller bekerja sesuai dengan fungsinya untuk pengaturan charge dan discharge penyimpanan baterai serta inverter mampu melayani beban sesuai dengan kapasitasnya sehingga modul ini siap untuk dipakai sebagai modul praktek pada kegiatan pembelajaran di laboratorium.

Kata kunci : Modul PLTS, sistem off-grid , dan skala kecil

PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga surya juga disingkat PLTS merupakan salah satu aplikasi penggunaan energi matahari sebagai sumber energi listrik, dengan memanfaatkan teknologi sel surya (fotovoltaik) untuk menghasilkan energi listrik. Dalam instalasi pembangkit listrik tenaga surya, ada 4 komponen penting yang harus terpasang agar PLTS dapat berfungsi secara optimal (Michael Boxwell, 2017) yaitu: (1) **Panel** surya, merupakan komponen utama yang harus ada dalam sebuah sistem PLTS yang berfungsi untuk mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik; (2) Controller atau sering disebut *Solar Charge Controller (SCC)* merupakan komponen/peralatan pendukung yang berfungsi untuk mengatur *charging* dan *discharging* baterai dengan mengatur energi yang dapat diisi ke baterai setelah diproduksi oleh panel surya dan berapa besar pelepasan energi tersebut ke beban. (3) Baterai, merupakan komponen pendukung yang difungsikan untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya; (4) Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak balik (AC). Sistem PLTS terdiri dari modul fotovoltaik, solar charge controller atau inverter jaringan, baterai, inverter baterai, dan beberapa komponen pendukung lainnya. Ada beberapa jenis sistem PLTS, baik untuk sistem yang tersambung ke jaringan listrik PLN (on-grid) maupun sistem PLTS yang berdiri sendiri atau tidak terhubung ke jaringan listrik PLN (off-grid). (Ramadani, 2018).

Pada laboratorium Sistem Tenaga Listrik, jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang belum ada modul praktek sistem PLTS yang terintegrasi antara komponen-komponen utama dari suatu sistem PLTS tersebut, yang ada komponen-komponennya terpisah satu sama lain sehingga menyulitkan mahasiswa dalam merangkai peralatan satu dengan peralatan lainnya dan apa adanya saja, seperti yang ada hanya panel surya kapasitas 50Wp, menggunakan *solar charger controller* dan inverter copotan dari lampu jalan tenaga surya, komponen baterai menggunakan aki mobil (bukan baterai khusus tenaga surya) sehingga dengan kondisi peralatan tersebut kegiatan praktikum mahasiswa menjadi tidak optimal dalam mempelajari dan memahami prinsip kerja dari sistem PLTS. Berangkat dari kondisi dan permasalahan tersebut, untuk mengoptimalkan kegiatan praktikum di laboratorium dan untuk pengembangan kinerja peralatan dan bahan yang ada di laboratorium, kami tertarik untuk melakukan Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Off-Grid Sebagai Alat Penunjang Paraktikum di laboratorium.

Oleh karenanya, tujuan utama penelitian ini adalah mendesain dan membuat modul praktek Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem *off-grid* skala kecil dengan kapasitas daya 320Wp. Luaran dan manfaat yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah : (1) Mendapatkan modul praktek Sistem PLTS tipe off-grid yang dapat memudahkan mahasiswa dalam memahami prinsip kerja sistem PLTS. (2) Kegiatan praktikum di laboratorium menjadi lebih optimal dan efisien karena komponen utama sistem PLTS terintegrasi dalam satu modul. (3) Mahasiswa dapat melakukan pengujian komponen dari suatu PLTS seperti pengujian karakteristik dari suatu panel surya, pengujian Solar charge Control, pengujian discharger dan overcharger baterai serta pengujian inverter dengan mudah dan efisien.

BAHAN DAN METODE

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah semua komponen/peralatan utama dari sistem pembangkit listrik tenaga surya tipe off-grid yaitu panel surya, solar charge controller, baterai, inverter dan beban listrik berupa lampu ac dan lampu dc, alat ukur power meter serta peralatan proteksi seperti MCB, dan sekering. Bahan yang digunakan adalah besi holo sebagai rangka modul dan akrilik sebagai tempat peralatan modul. (lihat Gambar 3, implementasi hasil rancangan modul).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian laboratorium dan studi kepustakaan. Metode studi kepustakaan yaitu mencari literatur terkait PLTS sebagai penunjang dalam pembuatan modul dan metode laboratorium, yaitu pengujian sistem/modul dengan beberapa kondisi tertentu. Tahapan metode penelitian ini meliputi identifikasi masalah, studi literature, desain layout modul PLTS, penentuan jenis, tipe dan analisis kapasitas (panel surya, SCC, inverter dan baterai), penyediaan bahan/komponen, pembuatan modul serta pengujian modul di laboraorium. Setelah tata layout/rancangan modul telah didesain, maka dilakukan analisa penentuan kapasitas/rating dari setiap komponen utama dari sistem PLTS seperti kapasitas panel surya yang digunakan, rating solar charge controller yang sesuai, kapasitas Ah baterai, kapasitas daya inverter serta perhitungan besar beban listrik ac dan dc. Setelah analisa tersebut dilakukan, selanjutnya membeli komponen sesuai dengan kapasitas yang diinginkan kemudian dilanjutkan dengan pembuatan rangka modul dan instalasi komponen modul. Setelah modul telah jadi, maka dilakukan pengujian fungsional atau unjuk kerja modul di laboratorium.

Beberapa pengujian (tahap pengujian modul) yang dilakukan di laboratorium untuk mengetahui unjuk kerja perlatan modul yang telah dibuat yaitu :

Pengujian karakteristik panel surya seperti pengukuran daya output, tegangan dan arus panel surya, tegangan open circuit (Voc), serta arus hubung singkat (Isc) yang dihasilkan oleh panel surya pada kondisi intensitas cahaya tertentu, apakah sesuai atau mendekati sama dengan karakteristik/spesifikasi panel surya yang ada pada nameplate, Pengujian Solar Charger Controller (SCC) untuk memastikan kontroler benar-benar berfungsi sebagai pengatur pengecasan dan pengurusan baterai. Beberapa Parameter yang diamatai yaitu tegangan Cut off, tegangan *Overcharger*, tegangan *Underdischarger*, dll, Pengujian baterai (lama pengisian dan lama pengurusan), Pengujian pembebanan inverter (pengujian beban AC, proteksi dll) danPengujian beban listrik ac dan dc.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Hasil Rancangan Modul

Berikut ini adalah dokumentasi tahapan proses pembuatan modul mulai dari penyediaan bahan/komponen sampai dengan implementasi modul yang siap dilakukan pengujian laboratorium.



Gambar 1. Bahan/komponen electrical modul dan panel surya 320Wp



Gambar 2. Pengelasan rangka, pengecatan dan instalasi komponen elektrikal modul



Gambar 3. Implmentasi modul hasil rancangan siap diuji laboratorium

B. Hasil Pengujian Modul PLTS

Pengujian Karakteristik Panel Surya

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik tegangan-arus (karakteristik V-I) dari panel surya. Sifat-sifat listrik dari panel surya biasanya diwakili oleh karakteristik arus dan tegangannya. Jika terminal sebuah panel surya dihubungkan singkat ($V_{mp} = 0$), maka arus hubung singkat (I_{sc}) mengalir. Pada keadaan rangkaian terbuka ($I_{mp}=0$), maka tegangan panel surya disebut tegangan terbuka (V_{oc}). Daya yang dihasilkan oleh panel surya sama dengan hasil kali arus dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya.

Tegangan kerja dan arus panel surya yang terjadi pada saat daya maksimum (P_{max}) tercapai berturut-turut dinyatakan sebagai V_{mp} dan I_{mp} . Apabila pengukuran dilakukan pada radiasi $1000W/m^2$ dan suhu $25^{\circ}C$ (pengujian STC, Standar test condition, hasil pengujian ini merupakan data pada nameplate panel surya), maka daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya disebut pula sebagai daya puncak (peak power). Daya puncak suatu panel surya merupakan hasil kali antara tegangan maksimum peak dan arus maksimum peak. Sedangkan daya maksimum ideal dari suatu panel surya adalah hasil kali arus hubung singkat (I_{sc}) dengan tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}). P_{peak} dinyatakan sebagai,

$$P_{peak} = V_{mp} \times I_{mp}$$

Dengan :

P_{peak} = Daya Puncak maksimum keluaran panel (W_p)

V_{mp} = Tegangan maksimum peak (V)

I_{mp} = arus maksimum peak (A)



Gambar 4. Pengujian karakteristik V-I Panel Surya

Prosedur pengujian dilakukan dengan menghubungkan terminal panel surya dengan alat ukur multimeter digital, untuk pengukuran tegangan rangkaian terbuka langsung membaca hasil pengukuran tegangan yang ditampilkan pada multimeter, sedangkan untuk pengukuran arus hubung singkat dengan cara menghubungkan langsung probe multimeter (posisi selektor pada amperemeter) pada terminal panel surya. Pengukuran daya output panel surya menggunakan power meter dc.

Tabel 1. Hasil pengukuran daya output yang dibangkitkan panel surya, tegangan, arus, tegangan rangkaian terbuka dan arus hubung singkat

Waktu Pengukuran Tanggal 9 Oktober 2020	Suhu panel surya [°C]	Intensitas cahaya matahari [lux]	Daya Output [Watt]	Tegangan [V]	Arus [A]	Tegangan rangkaian terbuka, V_{oc} [V]	Arus hubung Singkat, I_{sc} [A]
Jam 9.00	30,9	40.340	35	13,8	3,9	43,55	3,22
Jam 9.30	31,4	57.110	54,7	15,22	4,35	43,80	4,30
Jam 10.00	33,5	168.700	155,4	22,4	4,57	42,5	8,56
Jam 10.30	34	86.450	81,6	23,27	6,75	41,02	4,21
Jam 11.00	34,1	152.100	139,9	14,56	5,54	41,05	4,8
Jam 11.30	34,8	103.000	84,1	14,60	9,06	41,49	5,32
Jam 12.00	35,1	158.800	145,8	14,58	6,6	41,05	4,75

Berdasarkan hasil pengujian tabel 1 diatas, daya output yang dibangkitkan oleh panel surya bervariasi, ketika intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaan panel surya lebih besar, maka daya yang dibangkitkan oleh panel surya, tegangan output dan arus hubung singkat yang dikeluarkan oleh panel surya semakin besar. Hal ini sesuai dengan karakteristik panel surya, dimana daya output yang dihasilkan oleh panel surya salah satunya bergantung dari intensitas cahaya atau tingkat radiasi matahari yang mengenai permukaan panel surya. Daya terbesar 155,4 Watt yang terukur pada tabel 1, bukanlah daya maksimum peak yang dihasilkan oleh panel surya, karena pengukurannya bukan pada pengukuran *Standar Test Condition*. Daya maksimum peak diperoleh dari pengukuran *Standar Test Condition* (hasil ini biasanya tercantum pada nameplate panel surya) yakni pada tingkat radiasi matahari 1000 W/m^2 , AM 1,5 dan suhu 25°C . Namun demikian, dari hasil pengujian ini dapat diamati bahwa panel surya bekerja dengan baik dan membangkitkan daya listrik yang sesuai dengan intensitas matahari yang diterima.

Pengujian Solar Charge Controller

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah solar charge controller dapat bekerja sebagaimana mestinya, yaitu sebagai pengendali agar baterai tidak *overcharge* ataupun *undercharge*. Beberapa pengujian kerja charge controller yang dilakukan yaitu :

- Pengujian tegangan pengisian berlebih (*overcharge voltage*).
Overcharge adalah suatu pengisian arus listrik ke dalam baterai secara berlebihan. Apabila pengisian dilakukan dengan alat charger yang biasa dikenal dipasaran, maka pengisian akan berhenti sendiri jika arus dari charging baterai sudah mencapai angka nol (tidak ada arus pengisian lagi), dimana ini berarti baterai sudah penuh. Pemutusan pengisian baterai dilakukan pada saat baterai telah terisi penuh. Hal ini dapat dipantau melalui pengukuran tegangan baterai, yaitu baterai dikatakan penuh jika tegangan baterai (untuk sistem 12V) telah mencapai sekitar antara 13,8 s/d 14,5 V (biasanya, manufakture baterai juga mencantumkan tegangan pengisian baterai). Baterai akan mengeluarkan gelembung-gelembung gas jika baterai telah mencapai sekitar antara 14,5 s/d 15V. Oleh karena itu apabila tegangan baterai telah mencapai sekitar 13,8–14,5 V, maka pengisian arus listrik pada baterai harus segera diputuskan. Pemutusan arus pengisian ini dilakukan secara elektronik oleh alat sistem kontrol charge controller, inilah salah fungsi dari alat solar charger controller. Pemutusan arus ini adalah untuk mencegah agar tidak terlalu sering terjadi gas pada baterai yang akan menyebabkan penguapan air baterai dan menyebabkan korosi pada grid baterai.
- Pengujian tegangan pengosongan berlebih (*underdischarge voltage*)
Underdischarge adalah pengurangan (pengeluaran/pelepasan) arus listrik dari baterai secara berlebihan sehingga baterai menjadi kosong. Untuk mencegah terjadinya *underdischarge*, maka disinilah fungsi solar charge control (SCC) yang secara otomatis akan memutuskan atau menghentikan pengeluaran arus listrik dari baterai tersebut. Hal ini dapat diketahui dari tegangan baterai, jika tegangan baterai telah mencapai sekitar 11,4 s/d 11,7 V. Oleh karena itu apabila tegangan baterai telah mencapai 11,4 s/d 11,7 V, maka penggunaan arus listrik dari baterai harus dihentikan atau hubungan beban ke baterai harus segera diputuskan. Tegangan ini juga dikenal sebagai *load disconnect voltage*, yaitu tegangan dimana beban akan diputus dari sistem. Hal ini adalah untuk mencegah apabila baterai terlalu sering mencapai kondisi kosong akan menyebabkan sulfasi baterai sehingga baterai akan cepat menjadi rusak.
- Pengujian tegangan penyambungan beban (*load reconnect voltage*)
Daerah tegangan kerja baterai adalah daerah tegangan dimana sistem PLTS masih mampu menyalakan beban. Untuk sistem tegangan 12V, maka daerah tegangan kerja baterai adalah antara 11,4 s/d 14,5 V. Biasanya dalam pemakaian sehari-hari harus diusahakan agar pemakaian beban jangan sampai menyebabkan tegangan baterai mencapai 11,4 V, karena apabila mencapai titik tegangan tersebut, beban akan segera dimatikan secara otomatis. Tegangan saat beban terhubung kembali dikenal sebagai tegangan penyambungan beban (*Load Reconnect Voltage*).

- Pengujian Proteksi Hubung Singkat.
 Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah fungsi proteksi overload ataupun hubung singkat SCC berfungsi dengan baik apabila terjadi beban melebihi dari rating arus SCC. Hubung singkat terjadi akibat adanya hubungan langsung antara polaritas positif(+) dengan polaritas negatif (-) dari suatu sumber tegangan. Dalam hal ini terminal positif dan terminal negatif beban pada charge controller juga merupakan suatu sumber tegangan yang akan mensuplai daya listrik ke beban. Kemungkinan hubung singkat tersebut dapat saja terjadi akibat hubungan terminal positif dan negatif beban pada charge controller melalui suatu benda logam yang bersifat konduktor atau mungkin juga terjadi hubungan langsung antara kabel positif dengan kabel negatif pada kabel yang menuju beban. Pada kondisi hubung singkat ini terjadi arus yang sangat besar, maka apabila charge controller tidak dilindungi dengan proteksi hubung singkat, tentunya akan terjadi kerusakan pada komponen elektronik yang ada didalam charge controller tersebut.
- Pengujian Kesalahan polaritas.
 Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah SCC tetap berfungsi dengan baik apabila polaritas baterai dan terminal SCC terbalik (memastikan proteksi polaritas terbalik bekerja dengan baik). Polaritas terbalik dapat terjadi pada kondisi: (1)Terbaliknya hubungan antara panel surya dengan charge controller; (2) Terbaliknya hubungan antara baterai dengan charge controller; (3)Terbaliknya hubungan antara charge controller dengan beban.



Gambar 5. Pengujian Solar Charge Controller

Prosedur pengujian dilakukan dengan menghubungkan terminal solar charge controller dengan baterai, alat ukur power meter dc, beban dc dan juga inverter dengan beban ac, untuk melihat kerja SCC saat terjadi pengosongan baterai maka baterai dikuras sampai SCC secara otomatis memutus beban, demikian juga saat melihat fungsi SCC saat pengisian baterai dengan memasang panel surya untuk pengecasan baterai sampai penuh dan mengamati sampai panel surya cut off dalam mengecan baterai.

Tabel 2. Hasil Pengujian SCC

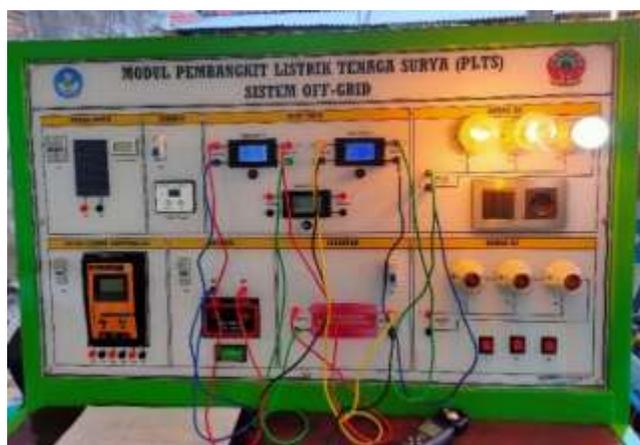
Parameter	Nilai Setting SCC	Hasil pengujian
<i>Underdischarge Voltage</i>	11V	Beban lampu off saat tegangan baterai mencapai 11V/saat baterai kosong 30% dan panel surya kembali mengecan baterai (SCC bekerja sesuai setting)
<i>Overcharge Voltage</i>	13,8V	Panel Surya Cut out saat tegangan baterai

		mencapai 13,8V (SCC bekerja sesuai setting)
<i>Load Reconnect Voltage</i>	12,6V	Beban lampu kembali ON saat tegangan baterai mencapai 12,6 V (SCC bekerja sesuai setting)
<i>Uji Polaritas terbalik</i>	OK	Fungsi proteksi polaritas terbalik pada SCC berfungsi dengan baik
<i>Proteksi Overload</i>	OK	Fungsi proteksi overload pada SCC berfungsi dengan baik, ditandai dengan terputusnya aliran arus beban saat terjadi overload.

Berdasarkan hasil pengujian tabel 2, solar charge controller berfungsi dengan baik sesuai dengan parameter setting yang diinginkan sebagai pengatur, juga sebagai protektor pada PLTS dan beban. Caharge controller mengatur siklus pengecasan baterai, pemutusan beban dan pemutusan panel surya sesuai dengan kondisi tegangan atau status baterai.

Pengujian Baterai

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui lama pengisian baterai sampai penuh (lama pengecasan baterai dari panel surya) ataupun lama pengosongan baterai (pengurusan dengan memberikan beban ac melalui inverter pada baterai).



Gambar 6. Pengujian baterai

Tabel 3. Hasil pengujian pengisian dan pengosongan baterai

Proses	Kapasitas awal baterai	Kapasitas akhir baterai	Lama pengisian/pengosongan
Pengosongan	100%	30%	1 jam
Pengisian	30%	100%	2,4 jam

Berdasarkan tabel 3 diatas, dapat dilihat bahwa pada kondisi awal baterai 100% (penuh) saat beban diberikan pada baterai melalui inverter dan dikontrol oleh SCC dimana setting tegangan pengosongan pada SCC sebesar 11V, maka waktu yang dibutuhkan untuk pengosongan baterai atau saat tegangan

baterai mencapai 11V, atau SCC mengcutoff beban dengan total beban lampu yang diberikan 195Watt atau DOD baterai 70% adalah 1 jam. Sedangkan waktu pengisian baterai dengan arus pengecasan sebesar 5,8 A (arus dari panel surya) dibutuhkan waktu sekitar 2,4 jam.

Pengujian Inverter

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah inveter berfungsi dengan baik sebagai alat konversi tegangan arus searah (dc) menjadi tegangan arus bolak-balik sesuai dengan kapasitas daya inverter. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban lampu ac pada inverter dengan daya beban bervariasi. Melakukan pengukuran sisi input dc dari inverter yaitu tegangan dc baterai, arus dc baterai, dan dayanya. Demikian pula pada sisi output ac inverter melakukan pengukuran tegangan ac output inverter, arus beban ac, dan juga dayanya.



Gambar 7. Pengujian Inverter

Tabel 4. Hasil pengujian pembebanan inverter

Pengujian Beban Inverter	INPUT DC			OUTPUT AC		
	V (Volt)	I (A)	P (watt)	V (Volt)	I (A)	P (watt)
Tanpa beban	12,34	0,38	4,6	222	0	0
60 Watt	11,62	5,29	61,3	206	0,249	51,2
120 Watt	11,03	9,52	105	178	0,46	82,3
180 Watt	10,58	13,82	146,2	158,34	0,66	104,5

Berdasarkan tabel 4 diatas, dapat dilihat bahwa tanpa beban lampu, inverter mengkonsumsi daya sendiri sebesar 4,6 Watt, hal ini wajar karena pada inverter terdapat komponen elektronik dan kipas pendingin yang membutuhkan daya listrik untuk operasionalnya. Saat inverter diberi beban lampu dengan daya 60Watt, tegangan pada baterai mulai turun dari 12,34 V menjadi 11,62V demikian pula tegangan output ac inverter turun dari 222V menjadi 206V, sehingga daya yang terbaca pada power meter ac untuk beban lampu 60 Watt adalah 51,5 Watt. Hal ini karena lampu tidak bekerja pada tegangan nominalnya atau bekerja dibawah tegangan nominalnya yakni 206V. Kondisi ini juga sama untuk penambahan beban inverter dari 60 Watt menjadi 120 Watt maupun 180 Watt. Namun demikian, inverter berfungsi dengan baik sebagai konverter arus dc menjadi arus bolak-balik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian, pengukuran, dan analisa data yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa modul Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sistem off-grid yang dibuat telah berfungsi dengan baik dan bekerja sesuai dengan prinsip sistem PLTS off-grid, panel surya membangkitkan daya listrik sesuai dengan kapasitasnya, solar charge controller bekerja sesuai dengan

fungsinya untuk pengaturan *charge* dan *discharge* baterai, demikian juga inverter mampu melayani beban sesuai dengan kapasitasnya sehingga modul ini siap untuk dipakai sebagai modul praktek atau modul trainer pada kegiatan pembelajaran di laboratorium. Adapun saran untuk penyempurnaan modul ini, perlu dikembangkan data akuisisi atau sistem monitoring untuk melihat hasil pengukuran secara realtime dari modul ini, sehingga modul ini menjadi lebih moderen dan updateable.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terimakasih kepada Direktorat Sumber Daya Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah mendanai sepenuhnya penelitian ini melalui Program Hibah Pengembangan Profesi Pranata Laboratorium Pendidikan tahun 2020, nomor kontrak 33/E4.3/KU/2020 tanggal 20 Juli 2020. Ucapan terima kasih pula kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan moril dan materil selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ramadani, Bagus, 2018. *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Dos & Don'ts*. Dicetak dan didistribusikan oleh GIZ Jakarta.
- Boxwell Michael, 2017. *Solar Electricity Handbook*. Greenstream Publishing, Ltd.
- Ida Bagus, Ketut, dkk, 2019. *Modul Praktek PLTS on-grid berbasis Microinverter*. JURNAL MATRIX, VOL. 9, NO. 1, MARET 2019.
- Majaw, Tulika, dkk, 2018. *Solar Charge Controller Using MPPT and PWM: A Review*. ADBU Journal of Electrical and Electronics Engineering (AJEEE) | Volume 2, Issue 1.
- M. S. Islam. *Thin Film Solar Charge controller: A research paper for commercialization of Thin film Solar Cell*. Advances in Energy and Power, Vol. 3, Issue No. 2, 2015, pp. 29-60.
- Sumathi S, dkk. 2015. *Solar PV and Wind Energy Conversion System*, Springer International Publishing.
- Aksan, dkk. 2016. *Jobsheet Praktikum Pembangkit dan Penyaluran Sistem Tenaga Listrik*, program studi D4 teknik listrik Politeknik Negeri Ujung Pandang.