

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA OFF-GRID DENGAN PROTEKSI BATERAI

Mina Merry Wanimbo¹, Albert Gunadhi¹, Rasional Sitepu², Peter R. Angka¹, Lanny Agustine¹, Natavijoy Alim¹, Andrew Joewono^{2*}

¹ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Jl. Kalijudan No. 37, Surabaya

² Program Studi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Jl. Kalijudan No. 37, Surabaya

*e-mail : andrew_sby@ukwms.ac.id

ABSTRACT

Electricity has become a primary need for households however, many areas in Indonesia still do not have access to the State Electricity Company (PLN). Generating electricity can be done in various methods, one of them by solar radiation. The Solar Power Generation System (PLTS) has an advantage compared to other power plants, in which it does not cause environmental pollution so the PLTS is an adequate solution for generating electricity in the residential area. One of the popular systems used in PLTS is the off-grid system, where the power generation system is not connected to the PLN network, thus battery is mandatory to collect the electrical energy produced by solar panels. The use of batteries has rules so that their use can last for a long time, namely the Depth of Discharge (DoD) cannot be high, so an additional module is needed to provide automatic protection. The module is Low Voltage Disconnect (LVD). The solar panel used has a polycrystalline type of 2 x 100 wp. The battery used has a Valve Regulated Lead Acid (VRLA) type with 12V 100 Ah specifications, 1 unit, using LVD protection. The LVD module used is the XH-M609 type to limit the voltage from the lowest specified battery voltage, power from the battery will be channeled to a power inverter with a maximum power of 1500 watts. In general, the performance of the designed PLTS system is going well and can be used to activate the planned load of 6 LED 9 watts for 4 hours, as needed.

ABSTRAK

Listrik sudah menjadi kebutuhan pokok bagi keperluan rumah tangga, namun banyak daerah di Indonesia yang masih belum terakses listrik PLN. Untuk menghasilkan listrik dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya memanfaatkan radiasi cahaya matahari. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya memiliki keunggulan dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya, yaitu tidak menimbulkan pencemaran lingkungan, sehingga Pembangkit Listrik Tenaga Surya menjadi solusi yang cocok untuk membuat energi listrik di sektor rumah tinggal. Salah satu sistem yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang cukup populer adalah sistem *off-grid*, dimana sistem pembangkit listrik tersebut tidak terkoneksi dengan jaringan PLN, sehingga dibutuhkan baterai (aki) untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Penggunaan aki memiliki aturan agar penggunaannya dapat berlangsung dalam waktu yang lama yaitu *Depth of Discharge (DoD)* nya tidak boleh tinggi, sehingga dibutuhkan modul tambahan agar melakukan proteksi otomatis. Modul tersebut adalah *Low Voltage Disconnect (LVD)*. Panel Surya yang digunakan memiliki tipe *polycrystalline* sebanyak 2 x 100 wp. Aki yang digunakan memiliki tipe *Valve Regulated Lead Acid (VRLA)* dengan spesifikasi 12V 100 Ah, sebanyak 1 buah, dengan menggunakan proteksi LVD. Modul LVD yang digunakan adalah tipe XH-M609 untuk membatasi tegangan dari tegangan terendah aki yang ditentukan, daya dari aki akan dsalurkan ke power inverter dengan daya maksimum 1500 watt. Secara umum, kinerja sistem PLTS yang dirancang berjalan dengan baik serta dapat digunakan untuk mengaktifkan beban yang direncanakan lampu LED 9 watt sebanyak 6 buah selama 4 jam, sesuai dengan kebutuhan.

Keywords: *off-grid, aki, low voltage disconnect, depth of discharge*

I. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi topik pengembangan dalam mendapatkan energi baru dalam kehidupan. Hal

ini dikarenakan PLTS tidak menimbulkan polusi bagi lingkungan sekitar baik air, udara, suara, karena secara langsung mengkonversikan radiasi cahaya matahari menjadi listrik, panel

surya dipasang di ruang terbuka akan menghasilkan listrik walaupun dengan variasi nilai energi yang berbeda. Indonesia juga merupakan wilayah disekitar garis khatulistiwa dan mempunyai iklim tropis dengan radiasi cahaya matahari yang tegas, sehingga berpotensi menggunakan PLTS dalam memenuhi kebutuhan energi listriknya, terutama daerah-daerah yang belum terjangkau jaringan listrik PLN.

Salah satu sistem yang sering digunakan dalam instalasi PLTS adalah sistem *off-grid*. Dalam sistem *off-grid* memerlukan sebuah komponen tambahan, yaitu baterai atau aki sebagai media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan. Peralatan yang cukup penting dalam sistem *off-grid*, adalah baterai atau aki. Penggunaan baterai atau aki memiliki aturan agar baterai dapat digunakan dalam waktu jangka Panjang. Secara umum, penggunaan baterai harus berada pada tegangan kerjanya, yaitu kisaran 12 Volt, apabila ketentuan tersebut dilanggar, maka akan berpotensi untuk merusak aki.

Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan sebuah modul pemantau tegangan dan memproteksi jalur keluaran dari baterai, modul *Low Voltage Disconnect* (LVD). LVD dapat menghentikan penggunaan aki pada saat nilai tegangan tertentu, keunggulan LVD dapat memproteksi jalur output baterai sesuai tegangan yang diinginkan sebagai batas pengoperasian tegangan aki (tegangan *cutoff*). Tegangan *reconnect* dapat ditentukan agar sistem dapat aktif kembali, yaitu energi dari aki disalurkan ke inverter dan digunakan untuk mensuplai beban.

Pada pembahasan ini dirancang Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Proteksi Otomatis. Proteksi otomatis menggunakan LVD pada sistem PLTS yang digunakan.

Batasan pembahasan sebagai berikut: Panel surya yang digunakan sebesar 100 Wp dan bertipe *polycrystalline*, baterai 12 Volt dengan kapasitas 100 Ah, Beban yang akan digunakan untuk melakukan pengujian PLTS adalah 6 buah lampu dengan masing-masing memiliki spesifikasi daya terbaca sebesar 9 Watt., dengan variabel yang akan diamati waktu suplai beban dengan menguji rangkaian proteksi baterainya

II. Teori Dasar

Peralatan yang digunakan, sebagai berikut: Panel surya merupakan kumpulan sel-sel surya (*solar cell*) yang merupakan sel *photovoltaic* dapat mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Energi listrik yang dikeluarkan dari panel surya adalah arus searah atau *direct current* (DC). Panel surya terbuat dari bahan silikon yang *didoping* tipe P dan tipe N hingga membentuk daerah P-N (P-N junction). Pada

saat terkena cahaya matahari (*photon energy*) akan terjadi perpindahan elektron. Elektron di sisi daerah N akan berpindah ke sisi holes di sisi daerah P dan akan membentuk daerah deplesi (*depletion region*). Apabila energi dari radiasi matahari cukup saat terkena panel maka daerah deplesi akan menghasilkan elektron dan holes sehingga akan membentuk beda potensial (tegangan) sehingga akan terjadi aliran arus searah (DC).

Bahan pembuatan sel surya diklasifikasi menjadi dua jenis, yaitu *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Panel surya berbahan *polycrystalline* terbuat dari campuran beberapa jenis leburan silikon dan memiliki daya efisiensi lebih rendah dibandingkan dengan *monocrystalline* pada kondisi cahaya matahari dengan ketegasan yang sama. Namun, biaya pembuatan dari panel surya berbahan *polycrystalline* lebih rendah dibanding dengan *monocrystalline*. Gambar 1 menunjukkan panel surya *polycrystalline*.



Gambar 1. Panel Surya *Polycrystalline*

Pengatur distribusi daya lebih dikenal dengan *Solar Charge Controller* (SCC) berfungsi sebagai pengatur energi pengisian baterai agar tidak berlebihan dari arus yang dihasilkan dari panel surya.

Berdasar cara kerjanya, *solar charge controller* digolongkan menjadi 2 jenis yaitu: *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) *Charge Controller*, dan *Pulse Width Modulation* (PWM) *Charge Controller*. Untuk SCC tipe PWM memiliki cara kerja sebagai berikut. SCC akan meneruskan energi listrik dari matahari mengisi baterai, untuk mencapai target tegangan. Saat tegangan baterai mencapai targetnya, pengendali akan beralih, sambungan pengisian baterai akan terputus, sehingga akan membuat tegangannya menjadi konstan.

Solar Charge Controller (SCC) dengan tipe SC-20 dapat mengatur dan membatasi aliran arus pengisian ke baterai dengan arus maksimum sebesar 20 Ampere, dan dapat bekerja pada panel surya dengan tegangan 12 atau 24 Volt (Gambar 2).



Gambar 2. Solar Charge Controller (SCC) SC-20

Miniature Circuit Breaker atau biasa dikenal dengan MCB, merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam instalasi kelistrikan. MCB berfungsi sebagai perangkat proteksi otomatis akan memutuskan aliran arus listrik sesuai dengan spesifikasinya saat terjadi beberapa kondisi seperti beban yang berlebih.

Berdasarkan toleransi batas maksimum MCB dibedakan menjadi beberapa tipe yaitu:

1. Tipe B
MCB dengan tipe B memiliki ketahanan toleransi arus maksimum sebesar 3 hingga 5 kali dari arus yang dituliskan dalam spesifikasinya.
2. Tipe C
MCB dengan tipe C memiliki ketahanan toleransi arus maksimum sebesar 5 hingga 10 kali dari arus yang dituliskan dalam spesifikasinya.
3. Tipe D
MCB dengan tipe D memiliki ketahanan toleransi arus maksimum sebesar 10 hingga 25 kali dari arus yang dituliskan dalam spesifikasinya.

Berdasarkan jenis arus yang dapat dikendalikan, MCB dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:

1. MCB AC
MCB AC berfungsi untuk memutuskan arus yang berlebih dari spesifikasi yang ditentukan pada MCB, dan arus tersebut memiliki tipe *alternating current* atau arus bolak-balik, tampak MCB AC (*single pole*), seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. MCB AC

2. MCB DC
MCB DC berfungsi memutuskan arus berlebih dibandingkan dengan spesifikasinya yang ditentukan pada peralatannya, dengan tipe *direct current* atau arus searah. MCB DC memiliki 2 pole, karena arus yang

kendalikan mempunyai 2 polaritas, tampak peralatan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. MCB DC

Baterai merupakan peralatan penyimpanan energi listrik dengan kapasitas tertentu yang dihitung dengan satuan Ampere hour (Ah).

Baterai terbentuk dari proses kimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia oksidasi dan reaksi redoks. Reaksi tersebut terjadi karena adanya perpindahan partikel kimia dari kutub negatif ke kutub positif, sehingga menimbulkan arus listrik.

Berdasarkan jenisnya baterai dibedakan menjadi 2, yaitu: baterai primer (*nonrechargeable*) dan baterai sekunder (*rechargeable*). Baterai primer adalah baterai yang tidak dapat dilakukan pengisian muatan lagi. Sedangkan baterai sekunder adalah baterai yang dapat dilakukan pengisian muatan lagi, secara umum baterai sekunder berbahan dari asam dan timbal disebut juga baterai *lead acid*.

Baterai *lead acid* atau baterai asam timbal adalah baterai yang terbuat dari asam dan timbal. Baterai *lead acid* menggunakan asam sulfat sebagai elektrolit baterai. Ketika dilarutkan molekul-molekul didalamnya terdispersi sebagai sulfat (SO_4^-) sebagai ion negatif dan asam (H^+) sebagai ion positif, akan bergerak bebas. Ketika elektroda ini dicelupkan kedalam larutan dan memberikan suplai DC, ion positif (H^+) akan bergerak ke tepi negatif baterai, dan ion negative (SO_4^-) akan bergerak ke tepi positif baterai.

Baterai *lead acid* juga memiliki 2 jenis, yaitu: *flooded lead acid battery* atau baterai *lead acid* basah (dikenal dengan aki basah) dan *sealed lead acid* (SLA) battery atau yang dikenal dengan baterai *valve regulated lead acid* (VRLA). Baterai VRLA memiliki sejumlah kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari baterai VRLA adalah bebas dari perawatan, dan mampu menghasilkan arus yang tinggi, apabila dibandingkan dengan massanya. Sedangkan kekurangan dari baterai VRLA adalah densitas energi relatif kecil.

Terdapat beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan spesifikasi dan jumlah baterai yang akan digunakan:

- a. *Autonomy days*
Autonomy days adalah hari sewaktu tidak ada penyinaran matahari, misalnya saat kondisi sangat mendung, sehingga radiasi

matahari tidak cukup untuk dikonversikan menjadi energi listrik, bahkan hingga hari hujan, ataupun kondisi dimana sel surya tidak dapat menyerap energi matahari yang cukup.

- b. *Depth of Discharge (DoD)*
Depth of Discharge (DoD) adalah persentase baterai yang telah dihabiskan relatif terhadap kapasitas baterai. Ketentuan penggunaan baterai hanya sampai batas tertentu, dan tidak dapat digunakan sampai habis. Hal ini bertujuan untuk menjaga usia baterai agar dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama. Apabila baterai digunakan hingga mencapai nilai discharge 100% maka kemungkinan besar pemakaian baterai tidak dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama. Sehingga pemakaian baterai sebaiknya tidak mencapai DoD 100%, semakin pemakaian baterai kurang dari 100% maka *life cycle* dari baterai tersebut akan semakin tinggi.
- c. *State of Charge (SoC)*
State of Charge (SoC) merupakan kebalikan dari *Depth of Discharge (DoD)*. SoC merupakan persentase dari isi yang masih tersimpan dalam baterai relatif terhadap kapasitas dari suatu baterai. Sehingga diperoleh rumus SoC adalah 100% dikurangi dengan DoD.
- d. *Battery Temperature Derate*
Baterai pada umumnya berada pada kondisi tertentu dari pabriknya untuk menjaga terjadinya penurunan kapasitas. Suhu 25 derajat celsius adalah suhu normal untuk melihat kinerja baterai saat proses pengisian (*charging*). Apabila kinerja baterai tidak sesuai, maka lebih baik pada perhitungan kebutuhan baterai dikenakan koreksi faktor.

State of Charge (SoC) dari suatu baterai atau aki dapat dihubungkan dengan tegangan dari aki tersebut. Hal ini merupakan uji coba yang dilakukan oleh Rod "RC" Collins, di tabelkan pada Tabel 1.

Inverter adalah suatu perangkat elektronik yang berfungsi sebagai pengubah tegangan *direct current (DC)* menjadi tegangan *alternating current (AC)*.

Tabel 1. Hubungan SoC dengan Tegangan pada baterai VRLA tipe AGM dan WET

BATTERY STATE OF CHARGE			
AGM		WET	
Level	Voltage	Level	Voltage
100%	13.00	100%	12.60
90%	12.75	90%	12.50
80%	12.50	80%	12.42
70%	12.30	70%	12.32
60%	12.15	60%	12.20
50%	12.05	50%	12.06
40%	11.95	40%	11.90
30%	11.81	30%	11.75
20%	11.66	20%	11.58
10%	11.51	10%	11.31
0%	10.50	0%	10.50

Inverter dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu: *inverter squarewave*, *inverter modified sine wave*, dan *inverter pure sine wave*.

- a. Inverter *square wave* memiliki bentuk output seperti sinyal pulsa. Efisiensi inverter square wave adalah yang paling tinggi.
- b. Inverter *modified sine wave* memiliki bentuk output yang hampir sama dengan sinyal pulsa, yang termodifikasi menjadi bentuk tiga pulsa yang menyesuaikan bentuk sinuoida murni.
- c. Inverter *pure sine wave* memiliki bentuk output sinyal sinusoida murni atau berbentuk seperti sinyal sinus. Karena output dari inverter *pure sine wave* adalah seperti sinyal *alternating current (AC)* yang berbentuk sinusioda, maka kebutuhannya di industri juga banyak karena dapat mengubah sinyal DC menjadi sinyal AC lalu digunakan untuk menyalakan perangkat-perangkat (beban) di sektor perumahan.

Kabel merupakan bahan yang terbuat dari konduktor dan dilapisi dengan bahan isolator, sehingga kabel dijadikan sebagai salah satu sarana instalasi listrik karena kabel menghantarkan arus ke beban terpasang. Terdapat banyak macam jenis kabel, pada umumnya yang digunakan untuk instalasi listrik di sektor perumahan yaitu:

- 1. Kabel NYA
Kabel NYA adalah kabel yang paling umum untuk digunakan di sektor perumahan wilayah Indonesia. Kabel NYA memiliki bahan insulator pada bagian luar yang terbuat dari PVC dan memiliki diameter 1,5 mm hingga 2,5 mm pada umumnya. Sedangkan insulator pada bagian kabel penghantar isolator yang digunakan terbuat dari bahan *thermoplastic*. Bagian isolator pada bagian kabel penghantar memiliki 4 warna indikator yaitu hitam, biru, merah, dan kuning. Kabel tipe NYA memiliki ketahanan yang tergolong kurang baik, karena pada bagian insulator hanya terdiri dari satu lapis saja.
- 2. Kabel NYM
Kabel tipe NYM memiliki inti lebih dari 1 inti. Setiap kabel penghantar pada tipe NYM dibungkus dengan bahan PVC dengan insulator pembungkus berwarna putih atau abu-abu, sehingga penggunaan kabel akan lebih kuat, tahan, dan tidak mudah mengalami hubung singkat, apabila dibandingkan dengan NYA. Untuk bagian luar kabel bahannya terbuat dari *thermoplastic*.
- 3. Kabel NYY
Kabel NYY konstruksinya secara sepintas hampir sama dengan tipe NYM. Yang membedakan antara kabel NYY dengan NYM adalah konstruksi kabel NYY jauh lebih kuat dibandingkan dengan kabel NYM sehingga kabel tidak mudah terluka.

4. Kabel NYYHY

Kabel NYYHY juga cocok untuk dipakai di sektor kelistrikan rumah karena kefleksibilitasnya, sehingga mudah dilakukan pemasangan di bagian rumah.

Parameter yang penting dalam penentuan ukuran kabel adalah kemampuan hantar arus (KHA). Kemampuan hantar arus adalah dalam satuan Ampere. Perhitungan KHA sesuai persamaan-1 berikut ini:

$$KHA = \frac{\text{Daya listrik yang digunakan}}{\text{Tegangan listrik yang digunakan}} \quad (1)$$

Setelah diperoleh KHA dalam satuan Ampere, lalu disesuaikan dengan Tabel 2.

Tabel 2. Tabel kemampuan hantar arus

TABEL KEMAMPUAN HANTAR ARUS		
NO	PENAMPANG KABEL (mm ²)	KEMAMPUAN HANTAR ARUS (AMPERE)
1	0.75	12
2	1	15
3	1.5	18
4	2.5	26
5	4	34
6	6	44
7	10	61
8	16	82
9	25	108
10	35	135
11	50	168
12	70	207
13	95	250
14	120	292

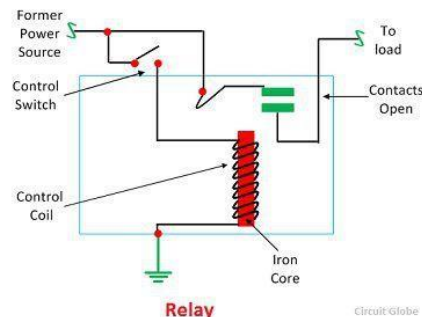
Modul *Low Voltage Disconnect* (LVD) adalah modul perangkat elektronika yang berfungsi untuk memutuskan aliran arus dari baterai ke inverter sebagai beban dalam kondisi yang ditentukan. Kondisi tersebut nilai tegangan pada aki. Apabila tegangan aki digunakan secara terus menerus dan nilai tegangannya rendah, hal ini berpotensi untuk merusak aki. Sehingga modul LVD dapat digunakan sebagai pelindung atau proteksi aki agar usia aki dapat bertahan jangka lama, bentuk modul LVD terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Modul LVD XH-M609

Relay merupakan sebuah komponen elektronik yang berfungsi sebagai saklar yang beroperasi secara elektronik. Cara kerja dari relay menggunakan prinsip elektromagnetik. Relay memiliki 2 bagian utama, yaitu

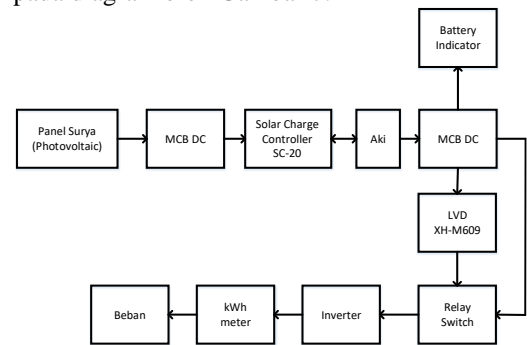
electromagnet atau yang dikenal dengan *coil*, dan bagian mekanikal sebagai kontak. Berdasarkan titik kontak, relay dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu *Normally Open* (NO), dan *Normally Closed* (NC). Perbedaannya adalah untuk *normally open* pada saat bagian coil tidak terdapat listrik yang mengalir, maka sambungan kontak dalam keadaan terbuka, tetapi pada saat sambungan coil mendapat aliran listrik, maka sambungan kontak akan menjadi keadaan tertutup. Berbeda dengan *normally closed* pada saat bagian coil tidak mendapat aliran listrik, maka kontak dalam keadaan tertutup, tetapi pada saat bagian coil mendapat aliran listrik, maka sambungan kontak akan dalam keadaan terbuka, konstruksi relay terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Konstruksi relay.

III. Metode Penelitian

Pembahasan pada bagian ini meliputi, perancangan rangkaian elektronika dari keseluruhan sistem PLTS yang terdiri dari Panel Surya (*Photovoltaic*), MCB DC, *Solar Charge Controller* (SCC), Baterai (Aki), *Battery Indicator*, *Low Voltage Disconnect* (LVD), *Relay Switch*, *Inverter*. Beban yang dijelaskan pada diagram blok Gambar 7.



Gambar 7. Diagram blok Sistem PLTS off-grid

Perancangan Profil Beban

Perancangan PLTS *off-grid* menetapkan beban lampu LED dengan spesifikasi sebesar 9 Watt sebanyak 6 buah yang akan dinyalakan dalam selama 4 jam.

Perancangan Panel Surya

Panel surya yang digunakan adalah berjenis *polycrystalline* dan memiliki spesifikasi 100 Wp dan digunakan sebanyak 2 buah yang dirangkai secara paralel, sehingga menghasilkan

daya sebesar $2 \times 100 \text{ Wp}$ atau 200 Wp dengan tegangan kerja dari panel surya adalah 12 Volt . Diasumsikan jam efektif dari penghasilan listrik panel surya adalah selama 4 jam , sehingga diperoleh daya sebesar $4 \times 200 \text{ Wp}$ atau sama dengan 800 Wp . Adapun spesifikasi dari panel surya yang digunakan adalah *Rated Voltage* (V_{mp}) sebesar $18,3 \text{ Vp}$, dan *Rated Current* (I_{mp}) sebesar $5,49 \text{ A}$ sehingga diperoleh Daya maksimumnya

$$P_m = 18,3 \times 5,49 = 100,467 \text{ Wp} \approx 100 \text{ Wp}$$

Perhitungan diatas sesuai dengan spesifikasi daya maksimum pada panel surya.

MCB DC

Pada rangkaian sistem PLTS *offgrid* ini digunakan 2 MCB DC yang difungsikan untuk pengaman panel surya memiliki batas tegangan sebesar 600 Volt DC dan batas arus sebesar 6 Ampere DC dan pengaman dari aki memiliki batas tegangan sebesar 440 Volt DC dan batas arusnya adalah 6 Ampere DC .

Kedua MCB DC ini dipasang dengan tujuan yang berbeda. Penggunaan MCB DC yang pertama bertujuan untuk memutus arus yang berlebih dari panel surya. Sedangkan penggunaan MCB DC yang kedua bertujuan untuk memutus arus yang berlebih dari aki.

Solar Charge Controller

Dalam *array* panel surya yang digunakan dalam sistem, tegangan kerjanya adalah 12 Volt , maka dipilih sebuah *Solar Charge Controller* (SCC) yang dapat beroperasi pada tegangan sesuai dengan tegangan kerja dari *array* panel surya, dipilih SCC merk Sseries tipe SC-20. SCC Sseries tipe SC-20 mampu mengatur arus pada beban hingga 20 Ampere dan dapat bekerja pada tegangan 12 Volt . SCC Sseries tipe SC-20.

Baterai atau Aki

Untuk baterai yang digunakan dalam sistem PLTS *off-grid* yang dirancang adalah baterai *lead acid* dengan tipe *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA) yang memiliki spesifikasi tegangan sebesar 12 Volt , dan penyimpanan 100 Ah .

Kabel

Kabel yang digunakan sebagai interkoneksi antar komponen yang digunakan dalam sistem PLTS memiliki tipe NYAF dan memiliki ukuran diameter sebesar $2,5 \text{ mm}$, kabel dengan ukuran diameter sebesar $2,5 \text{ mm}$, karena kemampuan hantar arus (KHA) yang dibutuhkan sebesar 20 Ampere melalui *Solar Charge Controller* (SCC).

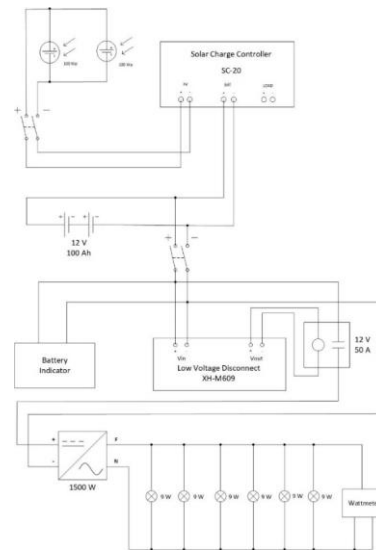
Low Voltage Disconnect (LVD)

Modul yang digunakan sebagai proteksi bagian baterai (aki) pada sistem PLTS *off-grid*, dengan tipe XH-M609.

LVD XH-M609 dapat menerima besar tegangan input mulai dari 5 Volt hingga 70 Volt . Untuk pengaturan tegangan pengaman atau tegangan *cutoff* ditetapkan pada nilai 12 Volt untuk mencegah nilai DoD pada aki agar tidak melebihi 50% berdasarkan pada Tabel 1. yaitu hubungan SoC baterai VRLA dengan tegangannya. Untuk tegangan *reconnect* atau *auto-on* pada LVD ditetapkan pada nilai $12,7 \text{ Volt}$ dengan melakukan setting pada LVD bagian selisih tegangan *auto-on* dengan tegangan *cutoff* sebesar $0,7 \text{ Volt}$.

Diagram Perkabelan Sistem (Wiring Diagram)

Diagram perkabelan dari sistem PLTS *offgrid* secara keseluruhan, terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram perkabelan PLTS *off-grid*

IV. Hasil Penelitian dan diskusi

Pengukuran profil beban, untuk mengetahui tegangan pada beban, arus pada beban, daya pada beban, dan energi pada beban. Dalam pengukuran beban digunakan *energy meter* pada sistem PLTS untuk menampilkan setiap parameter pada beban.

Berdasarkan hasil pengukuran pada *energy meter*, diperoleh hasil pengukurannya sebagai berikut (Gambar 9):

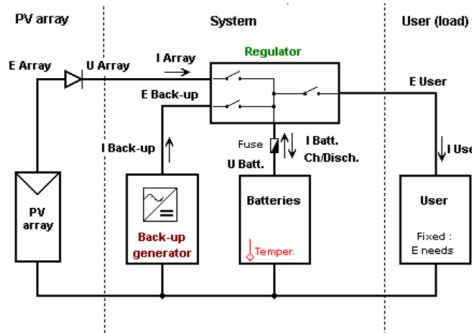
- Tegangan beban (V_b) = 221 V
- Arus beban (I_b) = $0,21 \text{ A}$
- Daya beban (P_b) = $43,88 \text{ W}$
- Energi beban (W_b) = $0,25 \text{ kWh}$



Gambar 9. Hasil pengukuran parameter pada beban dengan menggunakan *energy meter*

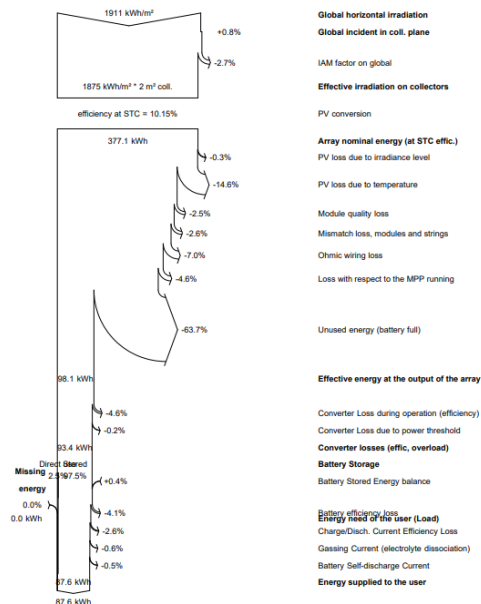
Perancangan Sistem dengan Menggunakan Software Simulasi PVSyst 7.2

Simulasi dilakukan dengan software PV Syst 7.2 untuk mengetahui kinerja dari sistem yang dirancang, hasil simulasi terlihat pada Gambar 10-19.

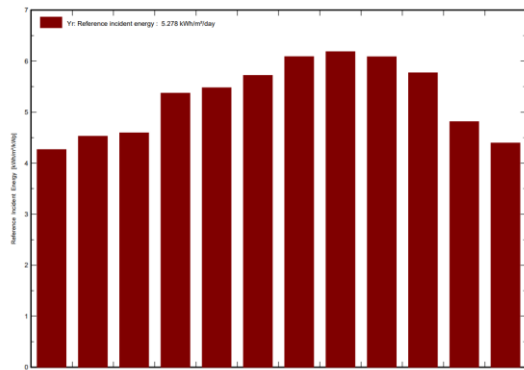


Gambar 10. Layout rangkaian PLTS *off-grid* dengan software PVSyst 7.2

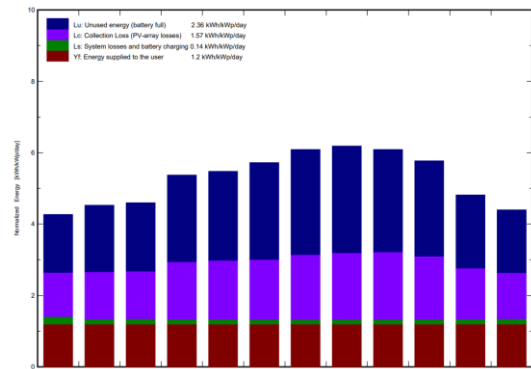
Hasil Loss sistem PLTS terlihat di hasil simulasi pada Gambar 11.



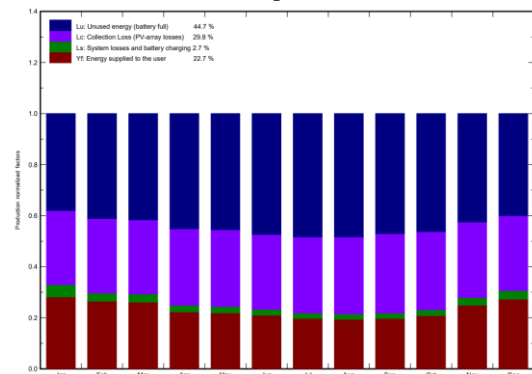
Gambar 11. Grafik Loss Diagram Sistem PLTS *off-grid* yang dirancang



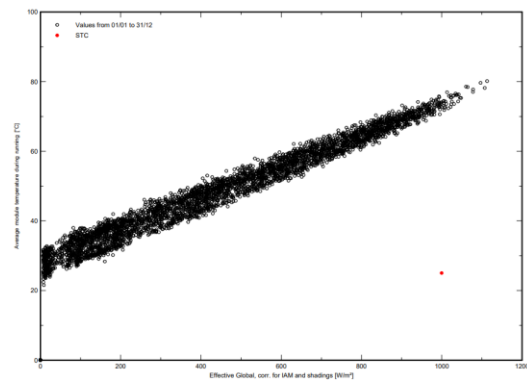
Gambar 12. Grafik Energi Insiden Referensi dari sistem PLTS *off-grid*



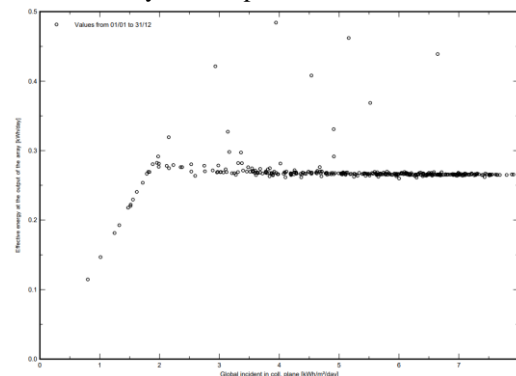
Gambar 13. Grafik Produksi Ternormalisasi (per kWp terpasang) dengan daya nominal 200 Wp



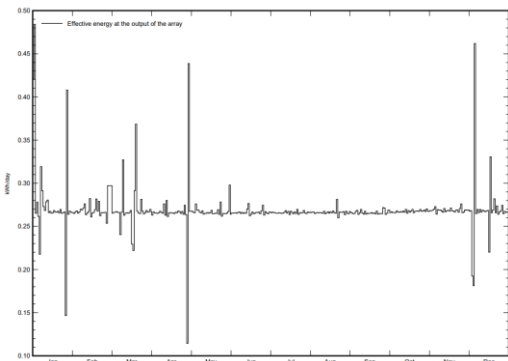
Gambar 14. Grafik Produksi Ternormalisasi dan Faktor *Loss* dengan nominal daya sebesar 200 Wp



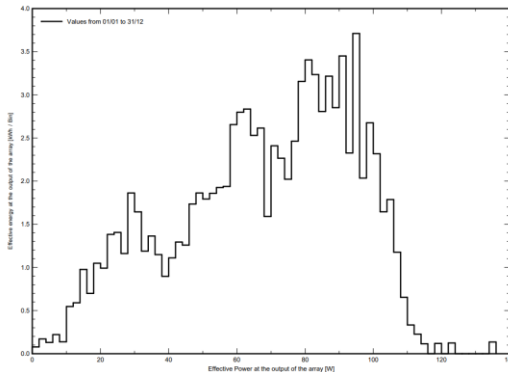
Gambar 15. Grafik Perbandingan Temperatur Array terhadap Radiansi Efektif



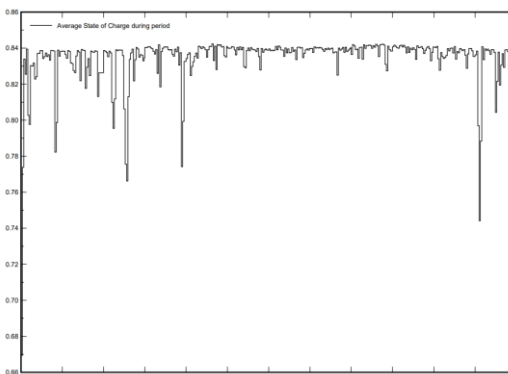
Gambar 16. Grafik Input Output Sistem PLTS



Gambar 17. Grafik Output Array



Gambar 18. Grafik Distribusi Daya Array



Gambar 19. Grafik Distribusi SoC per hari

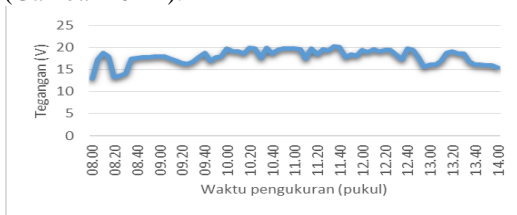
Pengukuran Komponen Bagian Coupling DC secara Keseluruhan

Pengukuran pada bagian ini dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter yang berada pada bagian (*coupling*) DC, yaitu: pengukuran tegangan photovoltaic (PV), arus yang dihasilkan PV, tegangan pada baterai, dan arus baterai. Pengukuran ini dilakukan dalam keadaan tanpa beban dan inverter dalam kondisi off dalam waktu 6 jam (mulai pukul 08.00 hingga pukul 14.00). Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh PV dan energy listrik yang terisi ke baterai (aki). Tabel 3. merupakan data hasil pengukuran tegangan PV, arus PV, *solar power* per area, tegangan aki, arus aki.

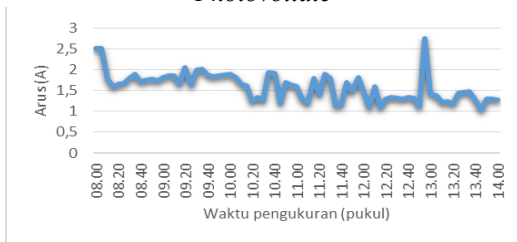
Tabel 3. Data hasil pengukuran tegangan PV, arus PV, *solar power* per area, tegangan aki, arus aki.

No	Waktu (pukul)	Photovoltaic (PV)			Battery (Aki)	
		Tegangan (V)	Arus (A)	Solar Power (W/m ²)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	08.00	12,95	2,51	239	13,2	-1,85
2	08.05	17,24	2,51	272	13,9	-2,19
3	08.10	18,79	1,77	554	13,9	-1,58
4	08.15	17,95	1,6	569	13,9	-1,42
5	08.20	13,3	1,65	651	13,2	-1,57
6	08.25	13,64	1,67	508	13,5	-1,41
7	08.30	14,16	1,8	676	14	-1,71
8	08.35	17,48	1,9	916	14	-1,72
9	08.40	17,56	1,72	840	13,9	-1,6
10	08.45	17,7	1,76	788	13,9	-1,77
11	08.50	17,78	1,77	942	13,9	-1,6
12	08.55	17,87	1,74	882	13,9	-1,6
13	09.00	17,91	1,82	989	13,9	-1,68
14	09.05	17,89	1,86	837	13,9	-1,61
15	09.10	17,46	1,86	978	13,9	-1,62
16	09.15	16,98	1,65	904	13,9	-1,88
17	09.20	16,4	2,05	906	13,9	-1,89
18	09.25	16,31	1,63	601	13,9	-1,86
19	09.30	16,7	2	757	13,9	-1,48
20	09.35	17,7	2,01	876	13,9	-1,58
21	09.40	18,73	1,88	1185	13,9	-1,76
22	09.45	16,98	1,84	550	13,8	-1,73
23	09.50	17,69	1,85	790	13,8	-1,7
24	09.55	18	1,88	754	13,8	-1,73
25	10.00	19,67	1,9	1467	13,8	-1,74
26	10.05	19,11	1,82	718	13,9	-1,66
27	10.10	19,01	1,65	743	13,9	-1,62
28	10.15	18,63	1,61	647	13,3	-1,61
29	10.20	19,87	1,24	330	13,3	-1,84
30	10.25	19,78	1,34	652	13,3	-1,82
31	10.30	17,54	1,26	288	13,3	-1,9
32	10.35	19,94	1,94	943	13,3	-1,36
33	10.40	18,61	1,92	1042	13,3	-1,83
34	10.45	19,34	1,19	759	13,3	-1,42
35	10.50	19,83	1,7	1188	13,3	-1,93
36	10.55	19,8	1,63	1173	13,2	-1,92
37	11.00	19,75	1,6	1146	13,2	-1,91
38	11.05	19,65	1,3	1381	13,2	-1,92
39	11.10	17,39	1,2	1243	13,2	-1,89
40	11.15	19,82	1,8	1289	13,2	-1,87
41	11.20	18,49	1,4	1215	13,2	-1,85
42	11.25	19,54	1,9	682	13,8	-1,93
43	11.30	19,32	1,8	737	13,8	-1,94
44	11.35	20,22	1,13	1229	13,8	-1,37
45	11.40	20,12	1,15	1242	13,8	-1,28
46	11.45	17,84	1,7	339	13,7	-1,27
47	11.50	18,42	1,48	559	13,8	-1,4
48	11.55	18,12	1,82	649	13,8	-1,1
49	12.00	19,34	1,46	978	13,8	-1,2
50	12.05	18,91	1,1	698	13,8	-1,89
51	12.10	19,53	1,6	836	13,8	-1,86
52	12.15	19,13	1,1	732	13,8	-1,91
53	12.20	19,39	1,29	778	13,8	-1,16
54	12.25	19,34	1,34	769	13,8	-1,17
55	12.30	18,43	1,32	347	13,8	-1,16
56	12.35	17,24	1,29	268	13,8	-1,14
57	12.40	19,79	1,33	855	13,8	-1,12
58	12.45	19,45	1,31	852	13,8	-1,17
59	12.50	17,74	1,11	342	13,8	-1,95
60	12.55	15,63	2,74	420	13,9	-2,64
61	13.00	16,16	1,41	1037	13,8	-1,37
62	13.05	16,08	1,37	312	13,8	-1,07
63	13.10	16,91	1,22	261	13,8	-1,09
64	13.15	18,77	1,24	515	13,8	-1,08
65	13.20	19,15	1,18	699	13,8	-1,1
66	13.25	18,53	1,43	567	13,8	-0,84
67	13.30	18,54	1,45	544	13,9	-0,9
68	13.35	16,82	1,47	353	13,9	-0,88
69	13.40	16,11	1,3	268	13,9	-1,08
70	13.45	16,04	1,03	267	13,9	-1,07
71	13.50	15,91	1,3	245	13,9	-1,12
72	13.55	15,92	1,3	256	13,9	-1,17
73	14.00	15,38	1,27	220	13,9	-1,15

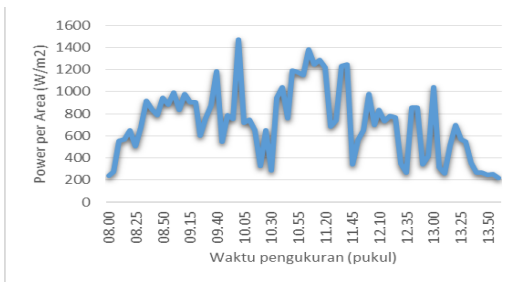
Berdasarkan Tabel 3, diperoleh beberapa grafik dari setiap parameter yaitu grafik parameter tegangan PV, grafik parameter arus PV, grafik parameter *solar power* per *area*, grafik parameter tegangan aki, dan grafik parameter arus aki dengan grafik berikut (Gambar 20-24).



Gambar 20. Grafik Pengukuran Tegangan Photovoltaic



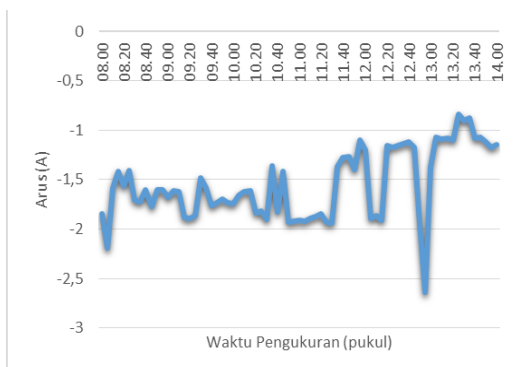
Gambar 21. Grafik Pengukuran Arus Photovoltaic



Gambar 22. Grafik Pengukuran Solar Power per Area Photovoltaic



Gambar 23. Grafik Pengukuran Tegangan Aki



Gambar 24. Grafik Pengukuran Arus Aki

Berdasarkan grafik yang telah diperoleh dari setiap parameter dapat diperoleh terjadi kenaikan tegangan pada PV saat waktu semakin mendekati pukul 12.00 (semakin siang), dan terjadi penurunan tegangan PV saat waktu semakin mendekati senja. Pada grafik pengukuran arus PV hal sebaliknya karena pada saat pengukuran dilakukan pada pukul 8 pagi diperoleh nilai arus yang cukup besar tetapi nilainya akan semakin turun. Hal ini disebabkan karena pengaruh cuaca. Pada saat pengukuran arus sering kali terhalang oleh awan dan mendung tetapi tidak berlangsung lama sehingga terlihat nilai tegangan PV sedikit berbanding terbalik dengan arus PV. Hal ini juga berlaku pada saat pengukuran *solar power* per *area*. Pada grafik pengukurannya terlihat bahwa nilainya tidak stabil, karena pada saat pengukuran terdapat kendala yang sama seperti pengukuran arus PV yaitu pengukuran dilakukan pada saat cuacanya mendung (berawan).

Untuk pengukuran parameter pada aki, tegangannya mencapai 13,9 V pada saat pengisian dilakukan dari panel surya. Hal ini menandakan bahwa keadaan SoC dari aki tersebut mencapai 100%. Sedangkan pada pengukuran arus PV nilainya adalah negatif yang menandakan bahwa dilakukan aki dalam keadaan *charging* (pengisian).

Dalam pengujian fungsi peralatan beban berupa 6 buah lampu yang masing-masing memiliki spesifikasi sebesar 9 W dapat menyala selama 5 jam 30 menit, data pengukuran terlihat pada Tabel 4, hingga tegangan aki berada pada nilai 12 Volt sehingga LVD akan melakukan *cutoff* tegangan sehingga aki berhenti mengalirkan arus ke inverter dan beban tidak menyala. Untuk mencapai tegangan *reconnect* yaitu 12,7 Volt akan menyala kembali saat tegangan dari PV mencapai 12,7 Volt keatas.

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Tegangan LVD

No	Jam	Tegangan LVD (V)
1	08.00	12,7
2	08.05	12,7
3	08.10	12,7
4	08.15	12,7
5	08.20	12,7
6	08.25	12,7
7	08.30	12,7
8	08.35	12,7
9	08.40	12,7
10	08.45	12,7
11	08.50	12,7
12	08.55	12,7
13	09.00	12,7
14	09.05	12,7
15	09.10	12,7

16	09.15	12,7
17	09.20	12,7
18	09.25	12,7
19	09.30	12,7
20	09.35	12,7
21	09.40	12,7
22	09.45	12,7
23	09.50	12,7
24	09.55	12,7
25	10.00	12,7
26	10.05	12,7
27	10.10	12,7
28	10.15	12,7
29	10.20	12,7
30	10.25	12,7
31	10.30	12,7
32	10.35	12,7
33	10.40	12,7
34	10.45	12,7
35	10.50	12,7
36	10.55	12,7
37	11.00	12,7
38	11.05	12,7
39	11.10	12,7
40	11.15	12,7
41	11.20	12,7
42	11.25	12,7
43	11.30	12,7
44	11.35	12,7
45	11.40	12,7
46	11.45	12,7
47	11.50	12,7
48	11.55	12,7
49	12.00	12,7
50	12.05	12,7
51	12.10	12,4
52	12.15	12,4
53	12.20	12,4
54	12.25	12,4
55	12.30	12,4
56	12.35	12,4
57	12.40	12,4
58	12.45	12,4
59	12.50	12,4

V. Kesimpulan

Berdasarkan analisa perancangan, serta hasil pengukuran dan pengujian, dari simulasi yang dilakukan dengan software kinerja dari PLTS *off-grid* yang dirancang memiliki kinerja yang cukup baik, dengan catatan yaitu penggunaan array *photovoltaic* dalam sistem PLTS terlalu besar apabila dibandingkan dengan bebannya. Hasil pengukuran peralatan pada bagian *coupling* DC, diperoleh daya listrik yang tersuplai ke dalam baterai memiliki nilai yang bervariasi karena disebabkan oleh pengaruh cuaca. Pengujian peralatan secara keseluruhan dengan beban 6 buah lampu LED yang masing-masing memiliki spesifikasi sebesar 9 W dapat menyala selama 5 jam, dengan gangan aki

mencapai tegangan *cutoff* (11,7V) yang menjadi pengaturan LVD. Tetapi setelah tegangan dari aki telah mencapai tegangan *reconnect* atau

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih pada Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik UKWMS yang telah memberikan fasilitas dalam pelaksanaan penelitian, serta civitas UKWMS dalam memberikan dukungan pada kegiatan ini.

References

- [1] Away, Y., Syahrizal, Adria, A., & Rizal, M. S. (2019). Penentuan Kapasitas Baterai pada Sistem Mikro On-Grid dan Photovoltaic dengan Tetrahedron Based Sun Tracker. *Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro*, 18-22.
- [2] Harahap, P. (2020). Pengaruh Temperatur Permukaan Sel Surya Terhadap Daya yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya. *Rekayasa Elektrikal dan Energi : Jurnal Teknik Elektro*, 73-80.
- [3] Hayusman, L. M., & Saputera, N. (2022). Studi Perencanaan Panel Kendali PLTS-PLN Berdasarkan Kapasitas Baterai Untuk PLTS Off-Grid. *Jurnal Sains Terapan*, 35-44.
- [4] Luqman, M., Mandayatma, E., & Nurcahyo, S. (2019). Studi Komparasi Unjuk Kerja Inverter 12 V-DC ke 220 V-AC yang Ada Di Pasaran . *Jurnal ELTEK*, 95-115.
- [5] Mirdiansyah, Taqwa, A., & Bow, Y. (2020). Monitoring Depth of Discharge of A Valve Regulated Lead Acid Battery in A Standalone PV System. *Atlantis Highligh inEngineering*, 233-237.
- [6] Muhammad Syahwil, N. K. (2021). Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off-grid Sebagai Alat Penunjang Praktikum di Laboratorium. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan* , 26-35.
- [7] Rahayuningtyas, A., Kuala, S. I., & Apriyanto, I. F. (2014). Studi Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Sederhana di Daerah Pedesaan Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Untuk Mendukung Program Ramah Lingkungan dan Energi Terbarukan. *Prosiding SNaPP: Sains, Teknologi, dan Kesehatan*, 223-230.
- [8] Saleh, M., & Haryanti, M. (2017). Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah dengan Menggunakan Relay. *Jurnal Teknologi Elektro*, 181-186.
- [9] Solfiani, U., Gendroyono, P., & Rahardjo, I. A. (2019). Pengaruh Distorsi Harmonisa Terhadap Kinerja Trip Miniature Circuit Breaker Tipe C 2A, 4A, dan 6A dengan Sumber Tegangan PLN dan Genset. *Journal of Electrical and*

Vocational Education and Technology,
28-34.

- [10] Tamam, I. B., Makkulau, A., & Roesdynasari, D. (2015). Analisa Kemampuan Hantar Arus Pada Kabel NYY dengan Menggunakan Rak Kabel Tertutup. *Jurnal Sutet*, 100-106.
- [11] Taufik, A., Saputra, R. H., & Huda, A. M. (2019). Estimasi State of Charge Baterai Regulated Lead Acid Deep Cycle 12 V dengan Metode Column Counting. *Jurnal Jeiom*, 6-9.