



# KARAKTERISTIK BESARAN LISTRIK PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ROOFTOP 3300 WP

Suprianto<sup>a\*</sup>, Adryan Laksana<sup>b</sup>, Rodo Ulitua M.J Silaban<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Instalasi Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 2015, Indonesia

<sup>b</sup>Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 2015, Indonesia

\*Corresponding authors at: e-mail: [suprianto@polmed.ac.id](mailto:suprianto@polmed.ac.id) (Suprianto) Tel: +6218-590-34110

## INFO ARTIKEL

### Riwayat artikel:

Diajukan pada 08 September 2023

Direvisi pada 09 November 2023

Disetujui pada 28 November 2023

Tersedia daring pada 02 Maret 2024

### Kata kunci:

Kebutuhan energi, teknologi, modul surya, inverter hybrid, baterai

### Keywords:

Energy needs, technology, solar module, hybrid inverter, battery

## ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik di Indonesia makin berkembang dan menjadi kebutuhan utama dalam hidup masyarakat sehari-hari. Seiring dengan meningkatnya pembangunan dibidang teknologi, industri. Masih ada di daerah petani terpencil di Indonesia yang saat ini belum terjangkau oleh listrik. PLTS adalah sumber energi listrik yang berguna sebagai alternatif yang layak untuk energi yang dihasilkan secara konvensional. Pembangkit listrik tenaga surya dapat membantu masyarakat memenuhi kebutuhan listriknya tanpa bergantung pada layanan listrik pemerintah, yang terkadang terjadi beberapa kali saat terjadi pemadaman listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik besaran listrik dan non listrik pada PLTS rooftop 3300 Wp yang telah dirancang. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen yaitu melakukan pengukuran terhadap besaran listrik dan non listrik untuk merepresentasikan karakteristik pada besaran listrik tersebut. Intensitas matahari yang paling besar, terukur pada hari kedua jam 11:00 dengan nilai 911,9 W/m<sup>2</sup> dan yang terkecil terukur juga pada hari kedua pada jam 18:00 dengan nilai 35,6 W/m<sup>2</sup>. Arus Solar Cell yang paling besar, terukur pada hari ketiga jam 14:00, terukur dengan nilai 3,7 I, dan yang paling kecil terukur pada hari pertama dari jam 13:00-15:00 dengan nilai 0,1 I.

## ABSTRACT

The requirement for electrical energy in Indonesia is increasing, and it has become a significant requirement in the lives of people on a daily basis. Additionally, despite the progress that has been made in the fields of technology, industry, and information, there are still farming regions in Indonesia that are located in remote areas and do not have access to power at the present time. Electric power from PLTS is a form of electrical energy that can be utilised as a viable alternative to energy that is created through conventional means. Solar power plants have the potential to assist individuals in meeting their electricity requirements without having to rely on the electricity services provided by the government, which can in some cases occur many times during a power outage. In order to ascertain the features of the electrical and non-electrical quantities on the 3300 Wp rooftop PLTS that has been designed, the purpose of this study is to determine those qualities. The approach that was taken in this investigation was an experimental one, specifically the measurement of electrical and non-electrical quantities in order to establish a representation of the properties of these electrical qualities. Both the highest and lowest solar intensities were measured on the second day, with the highest being at 11:00 with a value of 911.9 W/m<sup>2</sup> and the lowest being at 18:00 with a value of 35.6 W/m<sup>2</sup>. Both of these measurements were taken on the second day. On the third day, at fourteen o'clock, the Solar Cell current was measured with a value of 3.7 I, and on the first day, between thirteen o'clock and fifteen o'clock, the value of 0.1 I was measured. The biggest Solar Cell current was obtained on the third day.

## 1. PENGANTAR

Pembangkit listrik tenaga surya memiliki dua keunggulan utama yaitu dapat digunakan untuk melindungi atap dari sinar matahari sehingga atap lebih tahan terhadap cuaca dan dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Keunggulan PLTS rooftop yang memanfaatkan lebar atap umumnya dapat memenuhi energi listrik di setiap bangunan. Bangunan dengan atap Photovoltaik (PV) yang dipasang secara horizontal memiliki efisiensi tertinggi di musim panas, sedangkan bangunan dengan atap PV miring memiliki efisiensi tertinggi di musim dingin (Wang dkk, 2020). Sistem PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) atap atau sistem PLTS rooftop adalah

jenis instalasi PLTS yang terpasang di atap bangunan, seperti rumah, gedung komersial, atau pabrik, untuk menghasilkan energi listrik dari energi matahari.

Pembangkit listrik tenaga surya adalah sumber energi listrik yang berguna sebagai alternatif yang layak untuk energi yang dihasilkan secara konvensional. Pembangkit listrik tenaga surya dapat membantu masyarakat memenuhi kebutuhan listriknya tanpa bergantung pada layanan listrik pemerintah. Biaya investasi pembuatan pembangkit listrik tenaga surya mungkin sudah dirasa cukup mahal saat ini, sehingga masih belum banyak masyarakat yang mau memasang pembangkit listrik tenaga surya untuk kebutuhan listrik rumah tangganya (Lan dkk, 2021).

Pembangkit listrik tenaga surya *on-grid* untuk kebutuhan konsumsi listrik harian dibangun untuk kelangsungan layanan listrik. Dari hasil pengukuran modul surya memiliki nilai efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai efisiensi yang terdapat pada papan nama panel surya. Temperatur permukaan modul surya lebih tinggi dari temperatur operasi optimal.

### 1.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

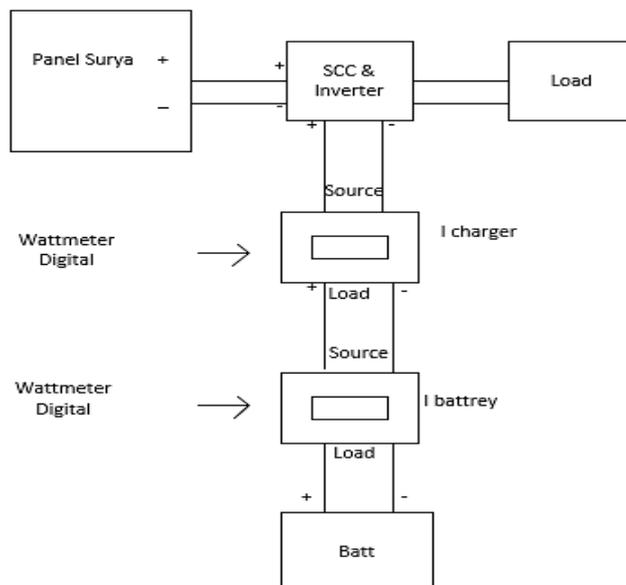
PLTS adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari melalui sel surya (*photovoltaik*) untuk mengkonversikan radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis terbuat dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni, atau bahan semikonduktor lainnya, yang kemudian tersusun menjadi modul surya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC, yang dapat diubah menjadi listrik AC apabila diperlukan.

Pembangkit tenaga listrik tenaga surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang merubah energi surya/energi panas matahari menjadi energi listrik. Panas matahari ini merupakan salah satu bentuk sumber daya alam yang tidak ada habisnya. Sumber daya alam matahari ini banyak digunakan untuk menyuplai daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. Sel surya bisa menghasilkan energi listrik yang didapat dari matahari, tanpa ada bagian yang berputar dan tidak memerlukan bahan bakar, sehingga disebut sistem surya sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan (Syahrizal, J., Yandri, & Hiendro, A., 2019). Adapun keuntungan dari pemasangan PLTS adalah sebagai berikut, diantaranya sumber energi terbarukan. Sinar matahari tidak akan habis dan dapat dimanfaatkan selama berabad-abad. Ramah lingkungan. PLTS tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polutan udara, sehingga membantu mengurangi dampak negatif pada lingkungan dan iklim. Kemandirian energi. PLTS dapat digunakan di lokasi terpencil atau terpencil yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik umum, memberikan akses listrik bagi daerah-daerah tersebut. Penghematan biaya. Meskipun biaya awal untuk menginstal PLTS mungkin tinggi, PLTS dapat menghemat biaya energi dalam jangka panjang karena tidak memerlukan bahan bakar dan perawatan yang intensif.

Namun, ada juga beberapa tantangan dalam mengadopsi PLTS, termasuk biaya awal yang tinggi, efisiensi panel surya yang masih dapat ditingkatkan, dan keterbatasan penyimpanan energi. Meskipun begitu, perkembangan teknologi dan dukungan dari pemerintah serta masyarakat yang semakin meningkat terhadap energi terbarukan telah membantu mendorong penggunaan PLTS sebagai bagian dari portofolio energi yang lebih berkelanjutan.

### 1.2. Prinsip Kerja PLTS

Rangkaian modul surya (*photovoltaic*) akan menghasilkan listrik arus searah (*direct current/DC*), apabila terdapat radiasi matahari (baik cerah maupun mendung). Besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan tergantung pada jumlah radiasi matahari, temperatur udara disekitar modul surya dan lain-lain.



Gambar 1: Prinsip kerja PLTS

Listrik yang dihasilkan oleh modul surya disalurkan ke inverter, lalu *output* dari inverter diubah menjadi arus bolak-balik (*alternating current/AC*). Listrik AC ini dapat langsung disalurkan ke jaringan. Apabila terdapat beban di siang hari, maka sebagian listrik yang keluar akan langsung dipakai dan sisanya akan digunakan untuk mengisi baterai. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 berikut ini. Berdasarkan gambar di atas panel surya 3300 WP dapat beroperasi dimulai dari adanya energi matahari diserap oleh panel surya (*input*) dimana energi yang utama alam mensuplai energi yang akan digunakan, kemudian energi yang dihasilkan akan menuju ke inverter *hybrid* yang dimana inverter *hybrid* ini adalah perangkat yang memiliki kemampuan seperti inverter *ON grid* dan inverter

baterai. Secara sederhana bisa juga dikatakan bahwa pada dasarnya inverter *hybrid* adalah inverter tenaga surya yang dikombinasikan dengan *solar charge controller* dalam satu unit komponen dan juga sebagai pengontrol pengisian atau sebagai proteksi bagi baterai yang bertujuan untuk melindungi baterai atau menghindari baterai dari kerusakan. Setelah itu energi menuju ke baterai, dimana baterai akan menyimpan energi yang dihasilkan pada siang hari dan dari baterai menuju kembali ke inverter *hybrid* dimana inverter disini mengubah arus DC menjadi arus AC agar dapat mensuplai ke beban yang digunakan. Pada perancangan sistem dimulai dengan merangkai sistem kerja PLTS dan menambahkan alat ukur pada rangkaian tersebut untuk mengukur baterai yang sedang di *charge* dan baterai yang sedang mensuplai beban. Adapun jenis PLTS yang digunakan adalah *Monocrystalline* berjumlah 22 solar panel dengan daya per panel 150 Wp sehingga menghasilkan daya 3300 Wp. Serta baterai yang dipakai berkapasitas 12 V/100 Ah. Inverter membutuhkan tegangan *input* sebesar 48 VDC dan mengeluarkan *output* sebesar 230 VAC dan juga mempunyai rentang frekuensi masukan 50Hz/60Hz. Selanjutnya dalam proses pengujian rancangan sistem dilakukan perancangan pembebanan.

### 1.3. Komponen- Komponen PLTS

#### 1. Panel Surya

Sel surya adalah panel yang terdiri dari sel-sel surya atau *Photovoltaic* yang menyerap energi dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik (Ardhi, F. Z., 2020). Panel surya adalah suatu komponen yang mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Modul surya merupakan gabungan dari beberapa sel surya. Sel surya adalah elemen semikonduktor yang dapat merubah energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek *Photovoltaic*. *Photovoltaic* merupakan perangkat yang berfungsi untuk merubah energi cahaya matahari daya listrik (efek *Photovoltaic*) sebagai pengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. *Solar cell* umumnya merupakan sebuah semikonduktor yang memiliki konsep yang sederhana yang menyerap *photon* dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Kerja *solar cell* ini sangat bergantung pada sinar matahari. Perubahan iklim mempengaruhi energi matahari yang diterima oleh sel sehingga sangat berpengaruh terhadap kerjanya. Dalam penggunaan sel surya, sel – sel itu dihubungkan sejajar atau seri tergantung pemakaiannya. Pada sel surya ini terdapat sambungan antara dua lapisan yang tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang diketahui semikonduktor itu adalah Semikonduktor jenis P (positif) dan semikonduktor jenis N (negatif). Semikonduktor jenis P ini merupakan lapisan yang sangat tipis sehingga mudah ditembus oleh cahaya matahari langsung mencapai *junction*. Bagian P ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif, dan di bawah bagian P ini juga terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal negatif. Dalam pemeliharaan *solar* modul cukup dilakukan pembersihan secara berkala untuk tidak mengurangi penyerapan intensitas matahari.

Bahan sel surya yang umum adalah *crystalline silicon*. Bahan *crystalline* dapat terdiri dari *polycrystalline* dan *monocrystalline*. Perbedaan antara *polycrystalline* dan *monocrystalline* adalah panel surya *monocrystalline* mempunyai sel surya yang terbuat dari kristal tunggal *silicon*, sedangkan panel surya *polycrystalline* mempunyai sel surya yang terbuat dari banyak fragmen *silicon* yang dilebur bersama. *Monocrystalline* memiliki efisiensi lebih baik daripada *polycrystalline* sehingga harganya pun lebih mahal. (Jun Syahrizal, Yandri, Ayong Hiendro. 2019). Cara kerja panel surya dimulai ketika pancaran sinar matahari yang terbentuk dari foton kemudian menabrak atom semikonduktor silikon dari *solar panel*. Sehingga tercipta energi besar yang bisa untuk memisahkan *electron* dari struktur atomnya. Elektron yang telah berpisah dan memiliki muatan *negative* akan bergerak menuju konduktor dari *material* semikonduktor. Dan atom yang sudah hilang elektronnya, maka strukturnya akan kosong dan disebut dengan *hole* yang bermuatan positif. Jika ada elektron yang bersifat negatif, maka akan menjadi pemberi elektron yang disebut semikonduktor tipe “n” dan untuk semikonduktor yang *hole* nya bermuatan positif akan menjadi penerima elektron atau semikonduktor tipe “p”, diantara negatif dan positif inilah yang akan menghasilkan energi yang akan mendorong *electron* dari *hole* menjadi berlawanan, kemudian elektron akan jauh dari negatif dan *hole* akan jauh dari positif. (Bagaskara, M., 2020).

#### 2. Inverter

Inverter merupakan suatu rangkaian yang digunakan untuk mengubah sumber tegangan DC tetap menjadi sumber tegangan AC dengan frekuensi tertentu. Komponen semikonduktor daya yang digunakan dapat berupa *silicon controlled rectifier* (SCR), transistor dan *metal-oxide-semiconductor-field-effect transistor* (MOSFET) yang bekerja sebagai saklar dan pengubah (Malik, A., 2018). Fungsi utama inverter adalah mengubah maupun mengkonversi tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Inverter bisaanya digunakan pada bidang otomatisasi dan industri, inverter bisaanya diaplikasikan pada proses linear adalah parameter yang dapat diubah-ubah, pada UPS, sistem inverter serta digunakan guna merubah energi dari baterai sebagai arus *output* ke perangkat pemakai. (Ferando Saputra. 2018).

Seiring perkembangan waktu, inverter berkembang menjadi tipologi mulai dari inverter dengan tegangan bolak-balik (AC) saja. Hingga inverter yang dapat menghasilkan tegangan sinus murni tanpa di sertai harmonisasi. Inverter juga di klarifikasi berdasarkan bagian fasanya, diantaranya satu fasa, tiga fasa dan dengan multi fasa. Fungsi utama inverter adalah mengubah maupun mengkonversi tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Inverter bisaanya digunakan pada bidang otomatisasi dan industri, inverter bisaanya diaplikasikan pada proses linear adalah parameter yang dapat diubah-ubah, pada UPS, sistem inverter serta digunakan guna merubah energi dari baterai sebagai arus *output* ke perangkat pemakai. (Saputra, F. 2018). Berdasarkan jumlah fasa *outputnya* inverter dibedakan menjadi dua yaitu:

- Inverter output 1 fasa, mempunyai output 1 fasa dengan tegangan listriknya antara 220V-240V dan pada umumnya inverter output 1 fasa ini digunakan pada rumah.
- Inverter output 3 fasa, mempunyai output 3 fasa dengan yang menghasilkan tegangan listrik sampai 380V dan bisa digunakan untuk kegiatan dibidang industri.

Ditinjau dari pengendalian tegangannya inverter dapat dibedakan menjadi tiga yaitu :

- Inverter *Voltege Fed Inverter* (VFI), mempunyai suatu tegangan *input* yang bisa diatur dengan cara yang konstan.
- Inverter *Variable DC Linked Inverter*, merupakan inverter yang mempunyai suatu arus *input* yang bisa diatur dengan cara yang konstan.

- c) Inverter *Current Fed Inverter* (CFI), memiliki tegangan *input* yang dapat diatur secara bebas dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan penggunaan listrik.

Prinsip kerja inverter adalah mengubah daya listrik DC menjadi daya listrik AC pada frekuensi tertentu. Panel surya akan menangkap cahaya matahari kemudian dikirimkan ke baterai untuk tempat penyimpanan daya listrik dengan bantuan SCC dan didalam baterai masih pada tahap konversi yaitu dari energi kimia menjadi daya listrik DC yang kemudian dialirkan pada inverter kemudian inverter mengubah daya listrik DC tersebut menjadi daya listrik AC untuk dialirkan pada beban yang ada. Dengan adanya inverter penyaluran listrik dapat bekerja dengan optimal.

### 3. *Solar Charge Controller*

*Solar charge controller* adalah alat elektronik yang digunakan untuk mengatur aliran listrik dari modul surya ke baterai dan beban. *Solar charge controller* mengatur baterai terisi penuh tanpa berlebihan (*overcharge*). Ketika beban sedang menarik daya, Saat pengontrol menyensor bahwa baterai telah terisi penuh maka *solar charge controller* akan menghentikan aliran arus dari modul. *Solar charge controller* juga menyensor bagaimana terlalu banyak energi listrik ditarik beban sehingga baterai hampir kosong. Ketika hal itu terjadi, *solar charge controller* akan menghentikan aliran listrik sampai muatan di dalam baterai terisi kembali. *Solar charge controller* bisaanya terdiri dari : 1 *input* (2 terminal) yang terhubung dengan panel surya, 1 *output* (2 terminal) yang terhubung dengan baterai, dan 1 *output* (2 terminal) yang terhubung dengan beban (*load*) (Syahrizal, J., Yandri, & Hiendro,A., 2019). *Solar charge controller* berfungsi mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian ketika baterai sudah penuh), dan kelebihan pengisian tersebut akan mengakibatkan pendeknya usia baterai. Beberapa fungsi *solar charge controller* adalah sebagai berikut :

- Mengatur arus saat pengisian ke baterai menghindari *overcharging* dan *overvoltage*.
- Mengatur arus yang dibebaskan atau diambil dari baterai supaya baterai tidak *full discharge* dan *overloading*.
- Memastikan *temperature* baterai aman. (Muhammad Junaldy, Sherwin R.U.A. Sompie, lily S. Patras. 2019).

Ketika *charging mode*, bisaanya baterai diisi dengan 3 metode (*three stage charging*):

- Fase *Bulk*. Pada tahap *bulk*, baterai pada kondisi tegangan dan arus listrik tertinggi yang bisa digunakan. *Charger* akan mengisi baterai dengan daya besar hingga aki mencapai tegangan yang lebih tinggi atau mendekati penuh. *Bulk* dapat juga dimaknai sebagai tahap pengisian daya tanpa mengakibatkan baterai kelebihan panas. Pada tahap ini baterai hanya diisi sekitar 80% dari kapasitas daya nya dengan mempertahankan arus dan daya secara konstan sehingga tegangan baterai meningkat. Akan lebih baik lagi jika pengisian daya menggunakan alat dengan pengukuran yang sesuai dengan baterai agar *temperature* tetap terjaga dan kondisi baterai tetap terjaga.
- Fase *Absorption*. Pada fase ini, baterai dalam kondisi hampir penuh sekitar 75% sampai 80%. Setelah daya mencapai 80% maka pengisi daya akan memasuki tahap penyerapan dengan mempertahankan tegangan tetap dan menurunkan arusnya. Baterai akan diisi dengan arus lebih kecil hingga mendekati penuh, dengan begitu arus yang rendah akan masuk kedalam muatan baterai tanpa menyebabkan panas. Bisaanya tahap ini akan berlangsung selama 2 jam dikarenakan baterai pada kondisi tegangan yang tinggi dan bisa menyebabkan timbulnya gas maka pengisian tidak dilakukan terlalu lama (Albahar, A K. & Haqi, F M., 2020).
- Fase *Float*. Pada tahap ini, baterai pada kondisi terisi penuh (100%) dan charger berhenti mengisi sehingga tidak mengeluarkan dan menerima arus listrik walaupun baterai tetap tersambung ke beban. Pada fase ini, tegangan dijaga tidak terlalu tinggi dan arus juga dipertahankan pada nilai yang rendah. Muatan tetap bisa masuk ke baterai, tetapi hanya pada tingkat yang aman agar kondisi pengisian tetap penuh dan tidak berlebih. Walaupun ada beberapa alat pada tahap ini yang berhenti pada kisaran 85%-95% kapasitas baterai.

### 4. Baterai

Baterai merupakan komponen yang sangat dibutuhkan dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai penyimpanan energi listrik dalam bentuk arus searah yang dihasilkan oleh panel surya. Baterai adalah elemen yang merupakan sumber arus listrik searah yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Energi yang disimpan didalam baterai bisaanya digunakan pada saat panel surya tidak dapat menangkap panas matahari dan bisaanya dipakai pada saat malam hari dan saat cuaca mendung. Dalam proses pengisian maupun pengosongan baterai tidak boleh berlebihn, saat pengosongan baterai tidak boleh dikosongkan habis karena akan mengakibatkan baterai tidak tahan lama. Begitu juga pada saat pengisian baterai tidak boleh dicas ketika baterai penuh karena akan mengakibatkan *overdischarge* sehingga baterai tidak tahan lama. Besarnya kapasitas baterai, tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negatif yang bereaksi, dipengaruhi oleh jumlah plat tiap-tiap sel, ukuran, dan tebal plat, kualitas elektrolit serta ketahanan baterai. kapasitas energi baterai dinyatakan dalam *ampere hour* (Ah).

Prinsip kerja baterai, yaitu proses pengosongan (*discharge*) pada sel berlangsung menurut gambar. Jika sel dihubungkan dengan beban maka, elektron mengalir dari anoda melalui beban katoda, kemudian ion-ion negatif mengalir ke anoda dan ion-ion positif mengalir ke katoda. untuk proses pengisian menurut gambar adalah bila sel dihubungkan pada dengan *power suplay* maka elektroda positif akan jadi anoda serta elektroda negatif menjadi katoda. Aliran elektron menjadi terbalik dan mengalir di anoda melalui *power supply* ke katoda, ion-ion negatif mengalir dari katoda ke anoda, dan ion positif mengalir dari anoda ke katoda menjadi reaksi kimia pada saat pengisian adalah kebalikan dari saat pengosongan.

Terdapat tiga jenis baterai yang sering ditemui dipasaran diantaranya sebagai berikut :

- Lead Acid* adalah baterai yang sudah digunakan pada PLTS dengan sistem *off-grid* untuk waktu yang lama, sehingga keandalan sistemnya tidak perlu diragukan lagi. Walaupun baterai jenis memiliki masa penggunaan cukup pendek dan memiliki *Deep of Discharge* (DoD) yang lebih tinggi dari baterai lainnya, Baterai ini juga merupakan opsi paling murah dari baterai jenis lainnya. Kestabilan arus listrik dari baterai jenisini dapat bertahan dalam waktu yang lama.

- b) *Lithium*. Baterai berjenis *lithium ion* menggunakan teknologi *storage system* yang lebih baru dibandingkan dengan baterai *lead acid*, baterai ini mempunyai ukuran yang lebih ringkas dan ringan. Baterai *lithium ion* memiliki DoD yang lebih rendah juga memiliki umur yang lebih tahan lama dibandingkan dengan *lead acid*, namun kekurangannya adalah harganya yang lebih mahal dibandingkan baterai *lead acid*.
- c) *Saltwater* adalah jenis baterai yang relatif baru di *industry energy storage*, tidak seperti baterai *lead acid* dan *lithium ion* yang mengandung logam berat, baterai *saltwater* menggunakan elektrolit dari air asin. Baterai yang menggunakan logam berat butuh juga proses khusus ketika membuangnya, sedangkan baterai *saltwater* lebih ramah lingkungan.

#### 5. Watt Meter Digital

Watt meter digital adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur daya listrik yang dikonsumsi oleh suatu perangkat atau sistem. Ini membantu dalam memantau dan mengukur penggunaan energi secara akurat. Watt meter digital dirancang khusus untuk mengukur daya listrik yang dihasilkan atau dikonsumsi oleh perangkat atau sistem tertentu. Daya listrik diukur dalam satuan watt (W) dan memberikan informasi tentang jumlah energi listrik yang dikonsumsi. Watt meter digital memiliki tampilan digital yang menunjukkan pembacaan secara numerik. Ini memudahkan dalam membaca dan memahami hasil pengukuran dengan jelas. Watt meter digital umumnya memiliki tingkat akurasi yang tinggi untuk memberikan pengukuran yang akurat. Hal ini penting dalam memantau dan mengelola penggunaan energi dengan tepat. Beberapa watt meter digital dapat dilengkapi dengan fitur tambahan seperti pengukuran tegangan (volt), arus (*ampere*), faktor daya (*power factor*), frekuensi, dan pengukuran energi yang terkumpul (kWh). Fitur tambahan ini dapat membantu dalam analisis dan pemantauan yang lebih mendetail. Watt meter digital digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk di rumah tangga, industri, peralatan elektronik, dan instalasi listrik. Mereka membantu pengguna untuk mengukur konsumsi daya dan mengidentifikasi perangkat atau sistem yang mungkin memerlukan peningkatan efisiensi energi.

#### 6. Solar Power Meter

*Solar power meter* atau meteran tenaga surya adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur dan memantau produksi energi listrik dari panel surya atau sistem tenaga surya. Perangkat ini biasanya terdiri dari sensor atau pengukur energi surya, layar LCD atau tampilan digital, dan beberapa tombol pengendali. Fungsi utama *solar power meter* adalah mengukur dan menampilkan berbagai parameter penting yang berkaitan dengan tenaga surya, seperti daya yang dihasilkan, tegangan, arus, energi yang dihasilkan sepanjang waktu, dan temperatur panel surya. Dengan menggunakan informasi ini, pengguna dapat melacak performa sistem tenaga surya mereka, memantau produksi energi sehari-hari atau bulanan, dan menilai efisiensi sistem. *Solar power meter* menggunakan sensor yang sensitif terhadap radiasi surya. Sensor ini dapat mengukur intensitas matahari yang diterima oleh panel surya dan mengubahnya menjadi data yang dapat diinterpretasikan untuk menghitung daya yang dihasilkan.

Keakuratan pengukuran *solar power meter* penting agar pengguna dapat mengandalkan data yang diberikan oleh perangkat. Biasanya, *solar power meter* yang baik memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan dapat mengukur dalam rentang daya yang luas. Dalam keseluruhan, *solar power meter* adalah perangkat penting dalam sistem tenaga surya yang memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengukur produksi energi surya secara akurat, mengoptimalkan kinerja sistem, dan mengelola penggunaan energi secara efisien.

#### 7. Digital Thermometer

*Digital thermometer* adalah alat pengukur temperatur yang menggunakan teknologi digital untuk memberikan pembacaan temperatur yang akurat dan mudah dibaca. Perbedaan utama antara *digital thermometer* dan *thermometer* konvensional adalah metode tampilan dan pengukuran temperatur. *Digital thermometer* menggunakan sensor temperatur elektronik, seperti termistor, termokopel, atau sensor inframerah, untuk mendeteksi temperatur. Sensor ini mengubah perubahan temperatur menjadi sinyal listrik yang kemudian diubah menjadi pembacaan temperatur digital. *Digital thermometer* dilengkapi dengan tampilan *Liquid Crystal Display* (LCD) atau *Light-Emitting Diode* (LED) yang menampilkan pembacaan temperatur dalam bentuk angka digital. Tampilan ini membuatnya lebih mudah dibaca daripada *thermometer* konvensional dengan jarum dan skala. *Digital thermometer* biasanya memiliki tingkat presisi dan akurasi yang tinggi.

#### 1.4. Instalasi Teknologi Photovoltaic

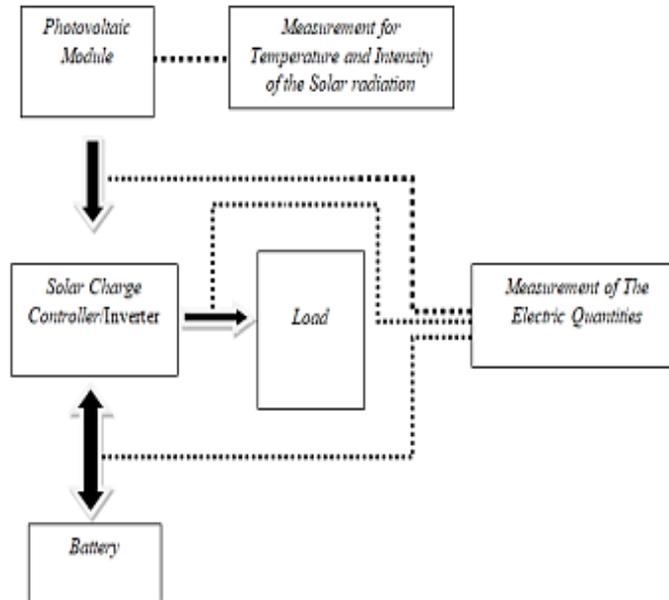
Teknologi *photovoltaic* dirancang untuk memudahkan dalam instalasi dan *maintenance*, sehingga instalasi teknologi ini tidak membutuhkan waktu lama atau hanya sehari. Hal yang perlu diperhatikan dalam instalasi adalah lokasi pemasangan harus terletak di lapangan terbuka yang tidak terhalangi oleh pohon raksasa atau bangunan tinggi. Posisi instalasi diarahkan tegak lurus dengan sinar matahari, supaya intensitas cahaya matahari yang masuk bisa maksimal. Adapun tabel 2 mengenai posisi kemiringan instalasi panel surya sebagai berikut.

**Tabel 1:** Posisi Kemiringan Instalasi Panel Surya

Garis Lintang	Sudut Kemiringan
0-15°	15°
15-25°	25°
25-30°	30°
30-35°	40°
35-90°	45°
40-90°	65°

## 2. METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen yaitu dengan cara melakukan pengukuran terhadap besaran listrik dan besaran non listrik untuk mendapatkan kelayakan sebuah *solar cell* dalam pelayanan daya listrik. Pengukuran besaran listrik dan non listrik dapat dilihat pada gambar 2. Diagram blok pengukuran berikut ini.



Gambar 2: Diagram blok pengukuran PLTS

Pengukuran besaran listrik dan non listrik dilaksanakan setiap 10 menit sekali dan dimulai pada pukul 08:00 sampai dengan pukul 18:00 untuk setiap besaran yang akan diukur. Besaran yang diukur meliputi tegangan dan arus baterai. Melalui sejumlah 8 besaran listrik yang akan diukur dan dicatat sebagai data pokok dan 2 besaran non listrik dalam hal ini intensitas matahari dan *temperature*.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran dilakukan mulai dari pukul 08.00 WIB sampai dengan pukul 18.00 WIB. Tabel yang ditampilkan ini hanya rata-rata per 1 jam dari tiap-tiap besaran listrik dan non listrik dengan memperoleh hasil intensitas penerangan semakin naik maka tegangan yang dihasilkan oleh panel surya juga semakin naik, begitu juga dengan baterai semakin besar tegangan yang dihasilkan oleh panel surya, tegangan yang masuk pada baterai juga semakin naik dan baterai dapat terisi dengan cepat. Berikutnya pengujian baterai dengan panel surya tanpa beban didapatkan hasil bahwa pengisian berlangsung dengan baik dan *solar cell* mampu mengisi baterai dengan maksimal, dimana saat pengujian tegangan yang dihasilkan oleh panel surya dan mengisi ke baterai dipengaruhi dengan cuaca pada hari pengujian, dimana saat pengujian dilakukan kondisi cuaca dalam keadaan cerah. Selanjutnya pengujian baterai dengan beban menggunakan panel surya didapatkan hasil bahwa saat panel surya menghasilkan tegangan maka baterai juga dapat terisi untuk menyimpan energi yang akan digunakan dan penggunaan inverter yang mengubah arus DC menjadi AC hingga tegangan yang terukur pada beban sudah baik dan dapat dipergunakan pada beban AC. Berikutnya pengujian pengosongan baterai dengan beban yaitu diuji dengan menyalakan semua lampu secara bersamaan dengan daya beban 1070 watt dimana dari hasil pengujian, baterai mampu melayani semua beban selama 3 jam tetapi dikarenakan inverter yang digunakan adalah inverter hybrid maka pengosongan baterai tidak dapat diuji secara maksimal karena sistem inverter *hybrid* langsung mengambil atau menerima daya yang keluar dari panel surya sehingga daya *battery supply* tidak terkuras dan dibantu oleh panel surya. Adapun tabel data hasil pengukuran besaran listrik maupun non listrik pada PLTS selama 3 hari yang ditunjukkan pada tabel 2, tabel 3 dan tabel 4 berikut ini.

Tabel 2: Data Hasil Pengukuran Besaran Listrik Dan Non Listrik Pada Sistem PLTS Pada Hari Pertama

Waktu	Tegangan Solar Cell (V)	Arus Solar Cell (I)	Daya Solar Cell (W)	Arus Batt Charger (I)	Tegangan Batt Charger (V)	Arus Batt Supply (I)	Daya Batt Supply (W)	Intensitas Matahari (W/m <sup>2</sup> )	Temperatur (°C)	Beban (Watt)
08.00	118,7	0,2	45,4	0,00	46,9	19,6	807,1	134,3	27,3	860
09.00	265,6	1,0	296,3	0,00	52,1	20,6	713,7	733	31,3	1070
10.00	404,6	1,2	706	7,32	54,4	12,2	295,4	894,9	39,4	1070
11.00	428	1,3	1050	31,15	54,1	0,00	0,0	654,8	40,6	1070
12.00	425	1,7	964	15,17	54,2	3,6	90,2	597,4	43,3	1070
13.00	424	0,1	914	0,00	54,2	7,1	149,6	238,8	40,1	1070
14.00	435	0,1	954	0,00	54,2	6,6	129,8	299,3	40,3	1070
15.00	424	0,1	429	3,45	54,2	2,7	51,9	265,2	40,5	1070
16.00	375	1,0	405	3,89	51,9	5,1	253,1	148,1	39,1	1070

Waktu	Tegangan Solar Cell (V)	Arus Solar Cell (I)	Daya Solar Cell (W)	Arus Batt Charger (I)	Tegangan Batt Charger (V)	Arus Batt Supply (I)	Daya Batt Supply (W)	Intensitas Matahari (W/m <sup>2</sup> )	Temperatur (°C)	Beban (Watt)
17.00	337	1,5	521	0,00	49,1	11,7	566,6	96,7	39,3	1070
18.00	307	0,7	244	0,00	48,4	15,2	763,1	84,1	34,6	1070

Pada Tabel 2 di atas menunjukkan hasil pengukuran besaran listrik yang dilaksanakan selama 10 jam. pengukuran menunjukkan bahwa intensitas matahari pada setiap harinya berfluktuasi sesuai dengan kondisi cuaca dan terik matahari. Secara umum, arus solar cell yang terbesar, terukur pada pukul 12:00 dengan nilai 1.7 A. Namun hal ini sangat bergantung cuaca dan terik matahari. Nilai intensitas matahari berfluktuasi setiap menit bahkan setiap detik namun demikian perubahan tersebut tidak terlalu signifikan dalam hitungan detik. Fluktuasi dari intensitas matahari selain dari kondisi cuaca dan terik matahari juga bergantung pada posisi rotasi bumi, sehingga dapat diprediksi secara kasar nilai intensitas matahari dari waktu ke waktu. Intensitas matahari yang tertinggi terjadi pukul 10.00 wib yaitu 894,9 Watt/m<sup>2</sup>.

**Tabel 3:** Data Hasil Pengukuran Besaran Listrik Dan Non Listrik Pada Sistem PLTS Pada Hari Kedua

Waktu	Tegangan Solar Cell (V)	Arus Solar Cell (I)	Daya Solar Cell (W)	Arus Batt Charger (I)	Tegangan Batt Charger (V)	Arus Batt Supply (I)	Daya Batt Supply (W)	Intensitas Matahari (W/m <sup>2</sup> )	Temperatur (°C)	Beban (Watt)
08.00	138,1	0,3	122	0,00	46,6	24,3	902,4	67,1	25,6	1040
09.00	291,6	0,8	282	0,00	45,5	19,6	822,2	109,0	27,4	1040
10.00	276,6	1,1	680	0,00	46,4	8,6	367	600,1	31,3	1040
11.00	320,1	3,3	1307	5,43	49,9	0,8	29,3	911,9	37,0	1040
12.00	323	2,6	838	0,00	47,0	5,5	275,5	329,4	34,6	1040
13.00	335	3,4	1161	4,56	47,3	3,2	160,1	421,3	36,2	1040
14.00	350	3,9	1416	7,35	49,4	0,00	0,0	387,7	38,7	1040
15.00	332	2,5	868	0,44	47,5	5,1	233,1	251,6	36,3	1040
16.00	326	2,1	624	3,98	46,8	6,5	295,4	211,0	35,1	1040
17.00	296	1,4	359	10,86	47,9	10,2	415,6	129,1	33,9	1040
18.00	164	0,2	53,2	19,97	49,2	15,2	709,2	35,6	30,5	1040

Pada Tabel 3 di atas menunjukkan hasil pengukuran besaran listrik yang dilaksanakan selama 10 jam. pengukuran menunjukkan bahwa intensitas matahari pada setiap harinya berfluktuasi sesuai dengan kondisi cuaca dan terik matahari. Pada pukul 11:00, terjadi peningkatan secara signifikan pada arus solar cell dengan nilai 3.3 dibandingkan data yang terukur pada pukul 10:00, dengan nilai hanya 1.1 A Nilai intensitas matahari selalu berubah dengan nilai tertinggi, terukur pada pukul 11:00 dengan nilai 911,9 Watt/m<sup>2</sup>. Fluktuasi dari intensitas matahari selain dari kondisi cuaca dan terik matahari juga bergantung pada posisi rotasi bumi, sehingga dapat diprediksi secara kasar nilai intensitas matahari dari waktu ke waktu.

**Tabel 4:** Data Hasil Pengukuran Besaran Listrik Dan Non Listrik Pada Sistem PLTS Pada Hari Ketiga

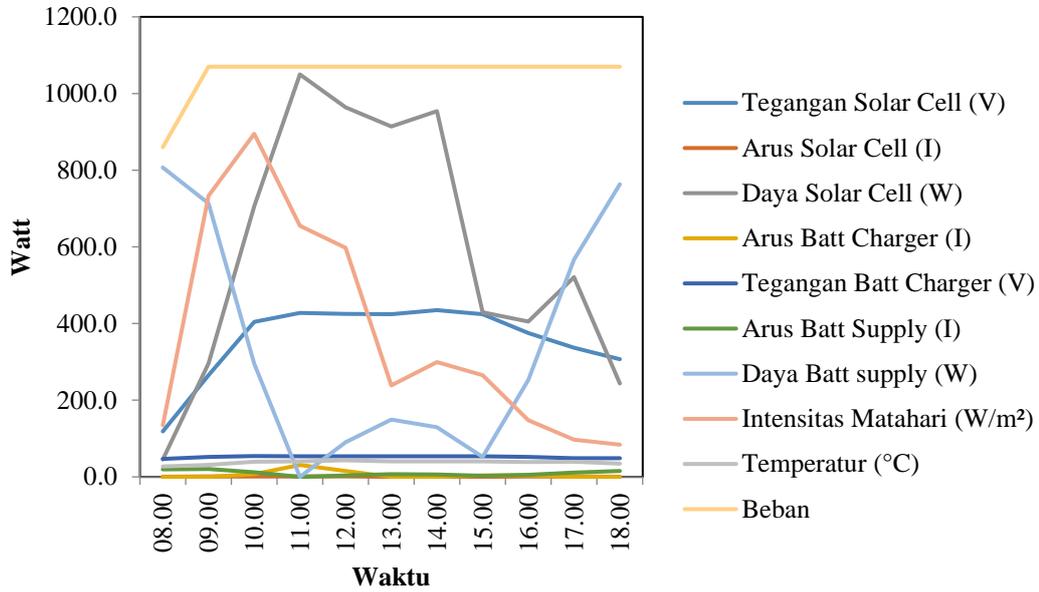
Waktu	Tegangan Solar Cell (V)	Arus Solar Cell (I)	Daya Solar Cell (W)	Arus Batt Charger (I)	Tegangan Batt Charger (V)	Arus Batt Supply (I)	Daya Batt supply (W)	Intensitas Matahari (W/m <sup>2</sup> )	Temperatur (°C)	Beban
08.00	120	0,5	169	0,00	49,9	16,8	762,0	101,4	27,9	940
09.00	274	1,3	430	0,00	50,1	14,8	588,3	195,6	29,2	1033
10.00	257	2,0	882	5,19	47,6	5,0	215,9	303,9	31,7	1070
11.00	311	2,3	749	2,80	46,3	8,3	405,4	450,8	35,5	1070
12.00	331	1,8	614	5,30	46,3	8,9	403,9	260,5	35,3	1070
13.00	317	2,7	900	0,74	45,9	6,9	227,8	336,4	39,3	1070
14.00	337	3,7	1283	5,49	47,4	1,7	47,1	260,1	43,1	1070
15.00	353	3,5	1084	4,79	47,9	3,8	152,7	287,4	43,7	1070
16.00	334	1,7	609	17,47	48,0	5,1	230,8	175,7	40,1	1070
17.00	338	0,9	341	6,67	46,2	16,1	729,2	139,9	35,7	1070
18.00	287	0,9	295	11,15	46,5	12,1	562,6	120,3	34,4	1070

Pada tabel 4 di atas menunjukkan hasil pengukuran besaran listrik yang dilaksanakan selama 10 jam pengukuran menunjukkan bahwa intensitas matahari pada setiap harinya berfluktuasi sesuai dengan kondisi cuaca dan terik matahari. Pada hari ketiga, intensitas matahari yang terukur lebih rendah dibandingkan pada hari pertama dan kedua. Hal tersebut sangat wajar karena terdapat perbedaan cuaca yang mempengaruhi intensitas matahari. Intensitas matahari yang terbesar, hanya 450.8 W/m<sup>2</sup>. Nilai ini sangat jauh apabila dibandingkan dengan pengukuran hari pertama dan kedua. Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 di atas menunjukkan hasil pengukuran besaran

listrik yang dilaksanakan selama 3 hari dengan data yang ditampilkan merupakan data rata-rata dari sejumlah besaran yang diukur. Hal ini dilakukan untuk menghindari terlalu banyaknya data yang ditampilkan pada bagian ini.

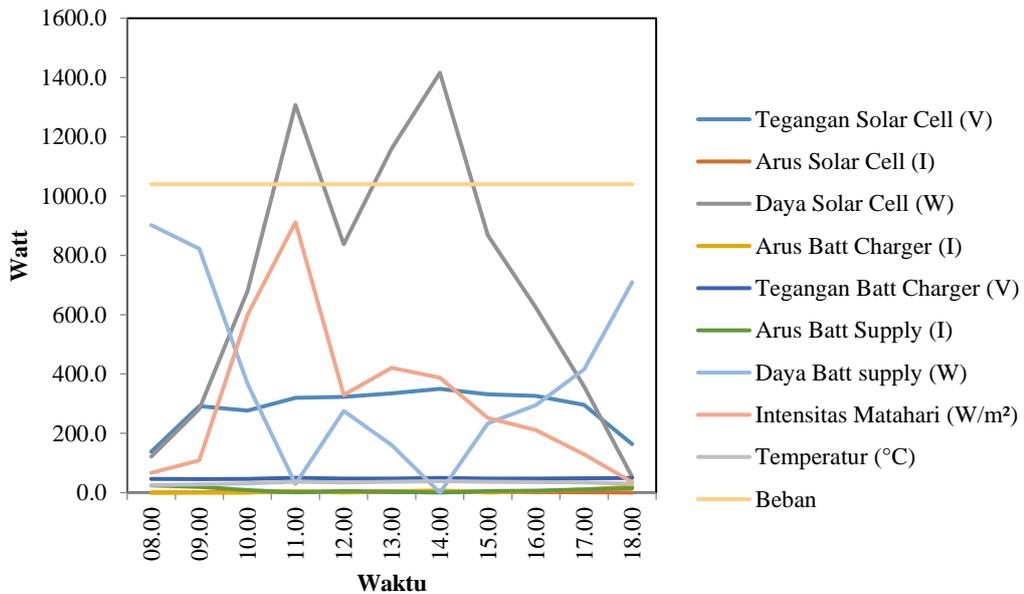
3.1. Grafik Hasil Pengukuran Besaran Listrik Dan Non Listrik Pada PLTS

Adapun gambar grafik hasil pengukuran besaran listrik dan non listrik pada PLTS pada hari pertama yang ditunjukkan pada gambar 3 berikut ini.



Gambar 3: Grafik hasil pengukuran besaran listrik dan non listrik pada PLTS hari pertama

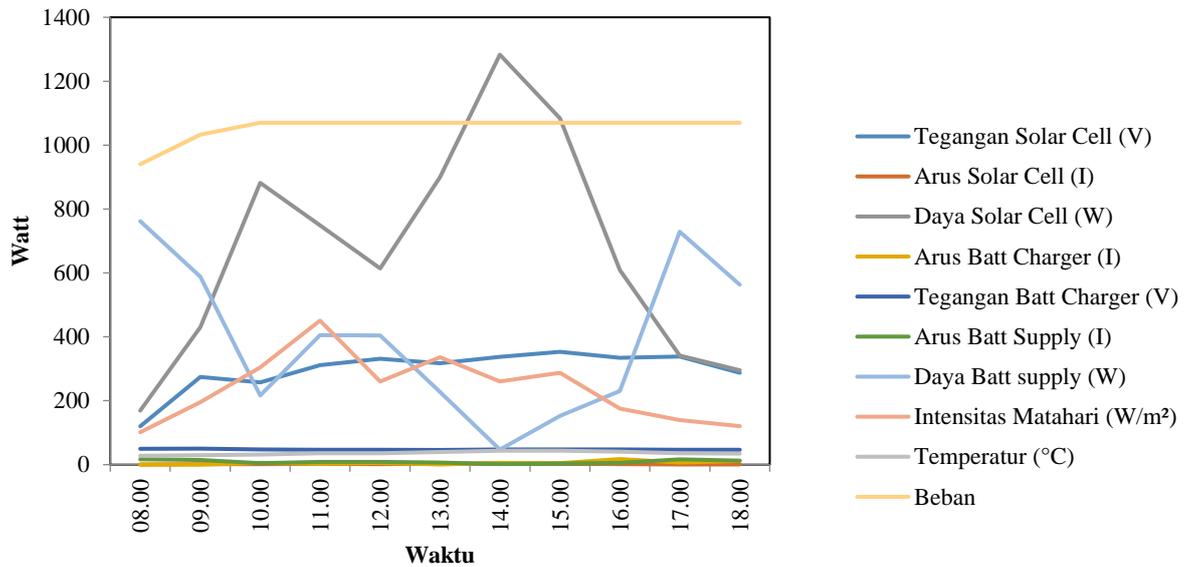
Pada hari pertama antara lain, tegangan solar cell tertinggi pukul 14.00 WIB dengan jumlah 435 V, arus solar cell tertinggi pada pukul 12.00 WIB dengan jumlah 1,7 A, daya solar cell tertinggi pada pukul 11.00 WIB dengan jumlah 1050 W, arus baterai charger tertinggi pukul 11.00 WIB dengan jumlah 31,15 A, tegangan baterai charger tertinggi pada pukul 10.00 WIB dengan jumlah 54,4 V, arus baterai supply tertinggi pada pukul 09.00 WIB dengan jumlah 20,6 A, daya baterai supply tertinggi pada pukul 08.00 WIB dengan jumlah 807,1 W, intensitas matahari tertinggi pada pukul 10.00 WIB dengan jumlah 894,9 W/m<sup>2</sup>, temperatur tertinggi pada pukul 12.00 WIB dengan jumlah 43,3 °C, dan beban tertinggi pada pukul 09.00 WIB sampai dengan 18.00 WIB dengan jumlah 1070 W. Adapun gambar grafik hasil pengukuran besaran listrik dan non listrik pada PLTS pada hari kedua yang ditunjukkan pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4: Grafik hasil pengukuran besaran listrik dan non listrik pada PLTS hari kedua

Pada hari kedua antara lain, tegangan solar cell tertinggi pukul 14.00 WIB dengan jumlah 350 V, arus solar cell tertinggi pada pukul 14.00 WIB dengan jumlah 3,9 A, daya solar cell tertinggi pada pukul 14.00 WIB dengan jumlah 1416 W, arus baterai charger tertinggi pukul 18.00 WIB dengan jumlah 19,97 A, tegangan baterai charger tertinggi pada pukul 11.00 WIB dengan jumlah 49,9 V, arus baterai supply tertinggi pada pukul 08.00 WIB dengan jumlah 24,3 A, daya baterai supply tertinggi pada pukul 08.00 WIB dengan jumlah

902,4 W, intensitas matahari tertinggi pada pukul 11.00 WIB dengan jumlah 911,9 W/m<sup>2</sup>, temperatur tertinggi pada pukul 14.00 WIB dengan jumlah 38,7 °C, dan untuk beban pada hari kedua cukup konstan pada pukul 08.00 WIB sampai dengan pukul 18.00 WIB dengan jumlah 1040 W. Adapun gambar grafik hasil pengukuran besaran listrik dan non listrik pada PLTS pada hari ketiga yang ditunjukkan pada gambar 5 berikut ini.



Gambar 5: Grafik hasil pengukuran besaran listrik dan non listrik pada PLTS hari ketiga

Pada hari ketiga antara lain, tegangan *solar cell* tertinggi pukul 15.00 WIB dengan jumlah 353 V, arus *solar cell* tertinggi pada pukul 14.00 WIB dengan jumlah 3,7 A, daya *solar cell* tertinggi pada pukul 14.00 WIB dengan jumlah 1283 W, arus baterai *charger* tertinggi pukul 16.00 WIB dengan jumlah 17,47 A, tegangan baterai *charger* tertinggi pada pukul 09.00 WIB dengan jumlah 50,1 V, arus baterai *supply* tertinggi pada pukul 08.00 WIB dengan jumlah 16,8 A, daya baterai *supply* tertinggi pada pukul 08.00 WIB dengan jumlah 762,0 W, intensitas matahari tertinggi pada pukul 11.00 WIB dengan jumlah 450,8 W/m<sup>2</sup>, temperatur tertinggi pada pukul 15.00 WIB dengan jumlah 43,7 °C, dan beban tertinggi pada pukul 10.00 WIB sampai dengan 18.00 WIB dengan jumlah 1070 W.

Hasil dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pengambilan data dilaksanakan selama 3 hari berturut-turut mulai pukul 08.00 wib sampai dengan pukul 18.00 wib dengan pengambilan data setiap 10 menit sekali dan total variabel yang diukur sebanyak 1980 besaran listrik dan non listrik. Kemudian data selama 3 hari tersebut diambil rata-ratanya menjadi 1 jam sekali. Pengukuran menunjukkan bahwa intensitas matahari pada setiap harinya berfluktuasi sesuai dengan kondisi cuaca dan terik matahari. Secara umum, dapat dikatakan bahwa intensitas matahari mulai dapat memberikan daya listrik melalui panel surya untuk pengisian baterai dan suplay beban pada pukul 09.00 atau 10.00 wib hingga pukul 18.00 wib. Nilai intensitas matahari berfluktuasi setiap menit bahkan setiap detik sehingga terjadi nilai yang terukur. Kondisi cuaca dan terik matahari juga bergantung pada posisi rotasi bumi. Hal ini juga berpengaruh terhadap hasil pengukuran yang sudah dilakukan. Satu hal yang menarik adalah, semakin tinggi temperatur yang terukur, maka semakin tinggi juga kuat arus *solar cell* yang dihasilkan, hal ini terbukti pada pengukuran pada hari pertama sampai ketiga.

#### 4. KESIMPULAN

Karakteristik Besaran Listrik Sistem PLTS Rooftop 3300 Wp Di Gedung C Politeknik Negeri Medan menunjukkan bahwa sistem PLTS rooftop dengan kapasitas 3300 Wp memiliki kapasitas tertinggi untuk menghasilkan daya dalam kondisi sinar matahari terbaik (Wattpeak). Tetapi produksi energi sebenarnya bergantung pada berbagai hal, seperti cuaca, orientasi panel surya, dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Jumlah daya yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh intensitas matahari; intensitas matahari yang tinggi menghasilkan daya yang lebih besar, sedangkan intensitas matahari yang rendah menghasilkan daya yang lebih sedikit. Oleh karena itu, sangat penting untuk memahami dengan baik fitur PLTS *rooftop* dan komponen yang memengaruhi kinerjanya untuk memaksimalkan efisiensi penggunaan energi surya.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan rasa syukur karena berkat dan rahmat yang maha kuasa penulis dapat menyelesaikan artiket ini, serta terima kasih atas dukungan finansial yang diberikan oleh Direktorat Akademik Pendidikan Tinggi Vokasi Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Teknologi melalui Pusat Penelitian Pengabdian Masyarakat Politeknik Negeri Medan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Avinda, A. I., Windarta, J., Denis, D., Kusuma, I. A., & Firmansyah, A. (2021). Studi Perancangan PLTS 1200 WP Sistem On-Grid Ditinjau Dari Teknik Dan Ekonomis. *Prosiding Konferensi Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat dan Corporate Social Responsibility (PKM-CSR)*, 4, 234-241.
- Gunawan, N. S., Kumara, I. S., & Irawati, R. (2019). Unjuk kerja pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) 26, 4 kWp pada sistem smart microgrid UNUD. *Jurnal Spektrum* 6(3), 1-9.
- Pandria, T. A., & Prasanti, N. (2021). Penerapan Panel Surya sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif pada Gedung Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar. *Jurnal Serambi Engineering* 6(4), 2320-2329.
- Pareshi, A.L.H. Analisis Studi Penyambungan PLTS ATAP 3, 5 kWp Terhadap Kandungan Harmonisa Gedung Berdasarkan Kapasitas Pembebanan Transformator. 2022. PhD Thesis. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- Siregar, M. F. (2020). Analisis Efisiensi Pada Komponen Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Journal of Electrical and System Control Engineering* 4(1), 1-10.
- Suprianto, S. (2022). Karakteristik Pelayanan Daya Listrik Solar Home System. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro* 4(2), 158-163.
- Widodo, R. A. (2021). Analisis Unjuk Kerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Bendungan Jatibarang Semarang (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).