

Analisa Perhitungan untuk Pemasangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk *Solar Home System*

Suprianto

Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan
 Jl. Almamater No. 1 Kampus USU, Medan 20155
 e-mail: suprianto@polmed.ac.id

Abstrak— Pemasangan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk kebutuhan listrik solar home system (SHS) sering tidak efektif karena mungkin tidak menggunakan perhitungan yang teliti. bagaimana efektifitas dan efisiensi sistem PLTS untuk menjaga kontinuitas pelayanan daya dan optimalisasi pemilihan peralatan sering tidak diperhitungkan dengan detail dan teliti. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain PLTS untuk SHS secara efektif dengan cara menganalisa dengan menggunakan perhitungan. Hasil analisa perhitungan tersebut di implementasikan pada pembuatan PLTS yang sesungguhnya. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode analisa perhitungan yang mempertimbangkan aspek efisiensi setiap peralatan pada sistem. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem PLTS yang realisasikan sesuai hasil perhitungan dan performancenya sesuai yang diharapkan. untuk melayani beban dengan daya terpasang 308 watt untuk beban listrik khusus lampu penerangan mampu dilayani oleh sistem PLTS dengan modul surya 1600 Wp, baterai 350 Ah 24 Volt, SCC 24 volt 60 Ampere dan inverter 1000 watt dengan kontinuitas pelayanan beban secara umum dapat terjaga dengan asumsi kondisi cuaca yang fluktuatif. Penambahan jumlah modul surya sebanyak dua kali lipat dari jumlah modul surya hasil perhitungan akan menyebabkan proses pengisian baterai pada waktu tengah hari sudah mencapai level penuh. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk perhitungan dalam pemasangan PLTS untuk SHS secara efektif dan efisien.

Kata kunci : efisiensi, modul surya, baterai, scc, inverter.

Abstract—The installation of a solar power system for the electricity needs of a solar home system (SHS) is often ineffective because it may not use careful calculations. how the effectiveness and efficiency of the solar power system to maintain continuity of power service and optimizing equipment selection is often not taken into account in detail and thoroughly. This research aims to get the design of the solar power system for SHS effectively by analyzing it using calculations. The results of the calculation analysis are implemented in the actual manufacture for the solar power system. The method used in this research is a calculation analysis method that considers the efficiency aspect of each equipment in the system. This research shows that the realized solar power system is in accordance with the calculation results and its performance is as expected. To serve loads with an installed power of 308 watts for special electrical loads in the form of lighting lamps can be served by a solar power system with a 1600 Wp solar module, 350 Ah 24 Volt battery, SCC 24 volt 60 Ampere and a 1000 watt inverter with continuity of service loads in general can be maintained by Assuming fluctuating weather conditions. The addition of the number of solar modules as much as twice the number of solar modules calculated will cause the battery charging process at midday to reach its full level. This research is expected to be a reference for calculations in the installation of a solar power system for SHS effectively and efficiently.

Keywords : efficiency, solar module, battery, scc, inverter.

I. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga surya untuk beban listrik rumah tangga atau sering disebut dengan SHS beberapa tahun kedepan akan menjadi pilihan bagi masyarakat dalam mendapatkan energi listrik bila harga peralatan sistem PLTS sudah tergolong murah dan mudah didapatkan. Keberadaan PLTS tidak menimbulkan suara dan sumber energi utamanya yang mudah didapat dan tidak perlu membayarnya dan tersedia di setiap rumah penduduk diseluruh tempat di wilayah Indonesia akan menjadi alasan yang kuat bagi

masyarakat kedepan untuk memanfaatkan salah satu jenis energi terbarukan ini, untuk penelitian tentang pembangkit listrik tenaga surya terus dilakukan sebagai salah satu upaya dalam memberikan referensi ilmiah di bidang pembangkit listrik tenaga surya. Penelitian tentang bagaimana cara menganalisa dan menghitung perencanaan sistem PLTS perlu dilakukan dengan memberikan bukti dan argumentasi ilmiah yang kuat agar perencanaan PLTS dapat direalisasikan dengan performance dan hasil yang efektif dan efisien. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan desain PLTS untuk SHS secara efektif dengan cara menganalisa dengan menggunakan perhitungan dan

hasil analisa perhitungan tersebut di implementasikan pada pembuatan PLTS yang sesungguhnya agar terjadi perbandingan dan pembuktian antara teoritis dan praktis, yang sekaligus menunjukkan kebaruan dari penelitian ini. Pembangkit listrik tenaga surya rumah diharapkan dapat mengatasi masalah kekurangan energi global. Baterai adalah bagian penting sekaligus merupakan bagian yang paling mahal dari sebuah Solar Home System (SHS) dan masa pakainya relatif tidak lama dibandingkan di antara komponen lainnya. Perkiraan masa pakai baterai merupakan tugas penting dalam desain SHS dan juga merupakan tugas yang kompleks karena bergantung pada pemodelan fenomena elektrokimia tingkat sel untuk teknologi baterai, data eksperimen, dan kasus penggunaannya [3].

II. STUDI PUSTAKA

Sebagian besar SHS tidak memiliki perhitungan yang teliti dan cermat yang akan membuat penerapan teknik pengoptimalan menjadi tantangan. Studi sistem SHS yang cermat melalui beberapa kajian dan penelitian dapat dijadikan dasar penggunaan baterai yang mengarah pada penggunaan energi yang lebih optimal [4]. Konversi energi matahari menjadi listrik merupakan pembangkit listrik alternatif dari sumber energi terbarukan yang sangat menjanjikan karena berasal dari sumber energi yang gratis, bersih dan melimpah di beberapa negara. Pengaruh suhu sel surya terhadap kinerja panel fotovoltaik dan usia pakainya tidak berpengaruh signifikan terhadap pemilihan penggunaan pembangkit listrik tersebut [1]. Jenis energi yang tidak terbarukan seperti bahan bakar fosil dari segi biaya cukup mahal ditambah lagi dengan biaya pembangunan transmisi serta jalur distribusi turut menyumbang peningkatan biaya pembangunan pembangkitan listrik dan mengakibatkan harga listrik bagi pelanggan semakin tinggi. Pada sisi lain, pembakaran bahan bakar menyebabkan pencemaran lingkungan yang mengarah pada pemanasan global yang pada akhirnya menyebabkan perubahan iklim dan konsekuensinya iklim menjadi tidak stabil dan cenderung menimbulkan bencana alam. Meskipun biaya pemasangan awal tinggi penggunaan sistem fotovoltaic (PV) mandiri dengan koneksi jaringan tradisional menjadi menguntungkan khususnya untuk beberapa tahun kedepan Karena tidak perlu membayar tagihan listrik untuk memanfaatkan listrik dari tenaga matahari. Penentuan ukuran optimal dari sistem atap (rooftop) pembangkit listrik tenaga surya akan memenuhi kriteria kelayakan penggunaan listrik tenaga matahari dengan harga yang terjangkau [2].

Pembangkit listrik tenaga surya dengan baterai lithium-ion yang digunakan untuk peralatan rice cooker dan lampu LED secara efisien dapat memenuhi kebutuhan listrik dalam memasak dan penerangan untuk satu keluarga. Pembangkit listrik tenaga surya dengan tata letak rumah yang tersedia dinilai dari segi biaya untuk beberapa tahun kedepan cukup menguntungkan dengan biaya investasi awal

yang tinggi. Untuk penggunaan system solar sel dalam skala besar hendaknya memperhitungkan biaya investasi dan breakevent point atas biaya yang dikeluarkan dalam proyek pembangunan pembangkit listrik tenaga surya dalam skala besar [6]. Penyinaran matahari berpotensi untuk dimanfaatkan dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik sehari-hari. Salah satu keterbatasan utama panel surya adalah efisiensinya yang rendah. Banyak penelitian sedang dilakukan untuk meningkatkan kinerja panel surya. Pelacakan matahari adalah metode yang sering diadopsi untuk peningkatan kinerja. Namun perangkat pelacak matahari membutuhkan peralatan kontrol dan penggerak yang mahal dan daya untuk peralatan ini harus disediakan oleh panel surya dan baterai yang dipasang di dalam sebuah system listrik tenaga surya selain biaya perawatan yang harus dikeluarkan setiap periode perawatan [5].

III. METODE

Pada sistem pembangkit listrik tenaga surya, semua peralatan seperti baterai, panel surya, inverter dan *solar charge controller* (SCC) harus disesuaikan secara teknis dan ekonomis agar perancangan pembangkit listrik tenaga surya efektif dan bekerja sesuai dengan kemampuannya dalam melayani beban-beban listrik. Metode yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan alur/langkah penelitian yang dijelaskan setiap langkah per langkah sebagai berikut:

A. Menentukan Kapasitas baterai yang digunakan

1. Menghitung energi listrik rata-rata yang dibutuhkan per hari
Energi listrik rata-rata per hari dihitung dengan mendata beban-beban yang digunakan dengan cara sebagai berikut :
 - a. Melakukan pendataan rating daya masing-masing peralatan dalam satuan watt
 - b. Menghitung jumlah jenis peralatan yang memiliki rating daya yang sama dan pada bagian atau fungsi yang sama (misalnya lampu ruang tamu terdiri dari dua lampu yang sama dan daya yang sama, maka dalam hal ini jumlah peralatan 2 unit)
 - c. Melakukan pendataan terhadap waktu atau lama pemakaian setiap beban listrik dalam satu hari (misalnya lampu ruang tamu dalam satu hari hanya menyala selama 6 jam)
 - d. Melakukan pendataan terhadap jumlah hari pemakaian beban listrik dalam seminggu (misalnya menggunakan setrika listrik dalam seminggu hanya 5 hari setrika digunakan)
 - e. Menghitung energi Listrik yang digunakan dalam waktu satu minggu, yaitu dengan cara menghitung energi setiap peralatan listrik yaitu energi listrik per minggu setiap peralatan (Wh per minggu) adalah $Wh \text{ per minggu} = \text{daya setiap peralatan} \times \text{jumlah unit} \times \text{jumlah hari pemakaian listrik per minggu}$
 - f. Menghitung energi Listrik total dari semua peralatan dengan menjumlahkan semua energi listrik yang digunakan dalam waktu satu minggu

- g. Menghitung rata-rata energi listrik per hari dari semua peralatan yaitu

$$\frac{\text{energi listrik per minggu}}{7} \text{ (Wh)} \quad (1)$$

2. Mengubah satuan energi listrik rata-rata per hari kedalam satuan ampere-hour (Ah)

Konversi satuan energi listrik rata-rata perhari (Wh) kedalam satuan Ampere-hour (Ah) dapat dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu tegangan baterai pada sistem PLTS yang akan digunakan, sehingga apabila telah dipilih dan ditentukan tegangan baterai untuk sistem yang digunakan maka dapat dihitung ampere-hour rata-rata yang dibutuhkan dalam waktu satu hari.

$$\frac{\text{energi listrik rata – rata per hari}}{\text{Tegangan baterai yang dipilih}} \text{ (Ah)} \quad (2)$$

3. Menghitung Ampere-hour rata-rata per hari dengan mempertimbangkan penggunaan peralatan inverter

Inverter digunakan untuk mengubah listrik DC menjadi listrik AC dalam sistem PLTS hal ini menjadi hal yang umum karena beban-beban listrik yang digunakan dalam masyarakat luas adalah beban – beban listrik AC, untuk itu energi listrik yang dihasilkan baterai perlu diubah kedalam bentuk listrik AC dengan menggunakan inverter yang tentunya memiliki efisiensi dalam penggunaannya. Efisiensi inverter nilainya umumnya bervariasi dari 75% hingga 95 % , semakin tinggi pembebanan yang sesuai dengan kemampuan inverter semakin tinggi pula efisiensinya hal ini disebabkan oleh proses perubahan bentuk gelombang oleh komponen elektronika didalam inverter, namun demikian bila diambil nilai rata-ratanya efisiensi inverter kira-kira sebesar 85%.



Gambar 1. Inverter

Ampere-hour rata-rata per hari dengan mempertimbangkan penggunaan inverter artinya menghitung ampere-hour rata-rata per hari dengan memperhitungkan efisiensi inverternya, dalam hal ini besarnya ampere-hour rata-rata per hari setelah memperhitungkan efisiensi inverter adalah

$$\frac{\text{Ampere – hour rata – rata per hari}}{\text{efisiensi inverter}} \text{ (Ah)} \quad (3)$$

4. Menghitung Ampere-hour rata-rata per hari dengan mempertimbangkan efisiensi inverter dan efisiensi baterai

Setelah memperhitungkan efisiensi inverter, berikutnya memperhitungkan efisiensi baterai karena baterai memiliki efisiensi yang disebabkan adanya tahanan dan proses kimiawi di dalam baterai. Besarnya efisiensi baterai umumnya 80%

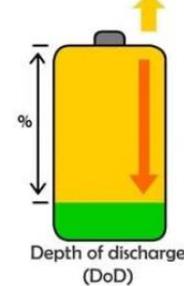


Gambar 2. kapasitas input baterai dengan memperhitungkan efisiensi baterai dan inverter

Input baterai yang telah dihitung dengan mempertimbangkan efisiensi inverter dan efisiensi baterai adalah merupakan ukuran output dari baterai yang lebih tinggi kapasitasnya dibandingkan kapasitas baterai pada gambar 2.

5. Menghitung Ampere-hour rata-rata per hari dengan mempertimbangkan efisiensi inverter, efisiensi baterai dan DoD (*Depth of Discharge*)

Depth of discharge adalah jumlah energi yang diserap beban listrik dari baterai. DoD dinyatakan dalam persentase dari kapasitas nominal baterai. Semakin kecil DoD akan semakin panjang masa pakai baterai atau sebaliknya. DoD untuk baterai Lead Acid berkisar antara 20% hingga 50% sedangkan baterai lithium dapat hingga 80%. Umumnya baterai lead acid bila dipasangkan dengan inverter DoD nya dibatasi melalui proteksi inverter dan umumnya proteksi inverter membatasi tegangan baterai pada batas tegangan terendah untuk tegangan 24 volt baterai yaitu sebesar 19 volt atau bila dikaitkan dengan nilai DoD baterai maka nilai DoD antara 30% hingga 40%.



Gambar 3. Ilustrasi DoD



Gambar 5. Kapasitas input baterai dengan memperhitungkan DoD, efisiensi baterai dan efisiensi inverter

6. Menghitung Ampere-hour rata-rata per hari dengan mempertimbangkan efisiensi inverter, efisiensi baterai, DoD dan hari otonom.

Hari otonom adalah hari dimana baterai tetap mampu melayani beban jika modul surya tidak maksimal menghasilkan listrik dalam pengisian

baterai dan pelayanan beban yang disebabkan cuaca mendung atau hujan. Semakin besar hari otonom yang diprediksi berarti kapasitas baterai harus semakin besar



Gambar 6. Kapasitas input baterai dengan memperhitungkan hari otonom, DoD, efisiensi baterai dan efisiensi inverter



Gambar 7. Kapasitas baterai yang sesungguhnya untuk perencanaan sistem PLTS dengan kapasitas (Ah rata-rata per hari / efisiensi inverter / Efisiensi Baterai / DoD) x Jlh. Hari otonom

7. Menentukan dan memilih kapasitas Ah dan tegangan untuk satu unit baterai yang nantinya akan digunakan dalam jumlah tertentu yang dihubungkan dengan kombinasi seri – paralel dalam melayani beban listrik

B. Menentukan jumlah modul fotovoltaic yang dibutuhkan dalam sistem PLTS

Penentuan jumlah modul surya tergantung pada kebutuhan energi rata-rata per hari yang dibutuhkan beban listrik, kondisi cuaca, letak modul solar sel, ada tidaknya shading, dan spesifikasi peralatan lainnya dalam sebuah sistem PLTS. Beberapa rumus atau formula sering digunakan untuk menentukan jumlah modul surya yang digunakan dan terkadang dalam rumusan tersebut melibatkan konstanta tertentu dan data tertentu dari keadaan cuaca. Dalam penelitian ini perhitungan jumlah modul surya yang digunakan berdasarkan perhitungan sederhana sebagai berikut :

$$\frac{\text{energi rata – rata per hari yang dibutuhkan beban listrik}}{\text{energi rata – rata yang dihasilkan satu modul surya per hari}} \quad (4)$$

Penyinaran matahari akan memberikan energi kepada modul surya untuk kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh modul surya. Energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya yang dapat langsung menyuplai beban dan pengisian baterai biasanya terjadi pada pukul 09:00 Wib hingga pukul 16:00 Wib, dan waktu tersebut tidak dapat menjadi patokan karena sangat tergantung pada intensitas matahari ketika sampai ke modul surya yang artinya tergantung fluktuasi intensitas karena kondisi cuaca. Adakalanya mulai pukul 8:30 Wib intensitas matahari sudah mulai tinggi dan adakalanya mulai pukul 10:00 Wib dan intensitas tinggi penyinaran adakalanya bisa sampai jam 15:00 Wib dan adakalanya juga sampai pukul 16:00 Wib dan bahkan hingga pukul 17:00 Wib. jadi tergantung pada intensitas matahari yang identik dengan kondisi cuaca. Jika dirata-ratakan intensitas tinggi matahari terjadi kurang lebih antara 5 jam

sampai 6 jam dalam satu hari dengan nilai intensitas yang tetap berfluktuasi selama waktu tersebut.

C. Menentukan rating solar charge controller dalam sistem PLTS

Solar charge controller (SCC) atau dengan nama lain Battery Control Unit (BCU) atau Battery Control Regulator (BCR) adalah peralatan elektronika yang berfungsi untuk pengendali otomatis pengisian baterai untuk mencegah baterai dari overcharging dan overvoltage yang dapat berpotensi menimbulkan kerusakan pada baterai saat proses pengisian. Selain itu SCC juga berfungsi memblokir arus balik ke modul surya pada malam hari. SCC mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai, bila baterai sudah penuh maka secara otomatis pengisian arus dari modul surya dihentikan atau diperkecil sampai dengan tegangan baterai kembali turun akibat pembebanan. Penentuan rating SCC yang digunakan tergantung dari besar arus modul surya secara keseluruhan dan tegangan modul surya yang dipilih.

Rating arus SCC

> arus max. modul surya secara keseluruhan

Penggunaan terminal SCC untuk ke beban listrik umumnya menyebabkan beban listrik akan diproteksi untuk menjaga baterai dari kelebihan pembebanan atau menjaga nilai DoDnya. Untuk penggunaan praktis umumnya terminal beban pada SCC tidak digunakan karena proteksi terhadap baterai sudah dilakukan oleh sistem proteksi didalam inverter sendiri.

D. Menentukan rating inverter dalam sistem PLTS

Inverter yaitu peralatan yang berfungsi untuk mengubah listrik DC ke listrik AC pada tegangan dan frekuensi yang ditentukan. Bentuk gelombang inverter dapat berupa gelombang persegi (square wave), gelombang sinus (sine wave), gelombang sinus yang dimodifikasi (modified sine wave) dan gelombang modulasi pulsa lebar (pulse width modulated wave) tergantung pada desain rangkaian inverter yang bersangkutan. Sedangkan Frekuensi arus listrik yang dihasilkan pada umumnya adalah sekitar 50Hz dengan tegangan output 240V dengan kapasitas daya beraneka ragam mulai dari 300W, 500W, 1000W, 2000W, 3000W dan lain-lain. Perhitungan untuk menentukan kapasitas inverter dilakukan dengan memperhitungkan daya beban listrik yang akan dilayani.

Daya inverter x eff. inverter >

daya maks. keseluruhan beban yang akan dilayani

Khusus untuk beban-beban motor listrik yang akan dilayani maka inverter harus mempunyai kemampuan dalam pelayanan daya khususnya pada saat starting motor-motor listrik yang mempunyai arus start yang tinggi dan itulah sebabnya beberapa inverter

memberikan keterangan daya peak yang dapat dilayani misalnya 2000 Watt dengan peak 4000W artinya inverter tersebut dapat melayani daya secara normal pada beban 2000 Watt namun pada saat awal bisa sampai melayani 4000Watt dalam waktu cukup ringkas atau disebut dengan daya peak atau daya kejut

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pendataan beban – beban listrik sebagai pembebanan dari sistem PLTS yang akan direncanakan di buat pada tabel 1. sebagai berikut

Tabel 1. Data-data beban listrik sistem PLTS

| Load | Daya (Watt) | Jumlah Peralatan | Jumlah Jam Pemakaian listrik / Hari | jumlah hari pemakaian listrik / minggu | Energi Listrik yang digunakan dalam waktu satu minggu (Watt-Jam) |
|---------------------|-------------|------------------|-------------------------------------|--|--|
| Lampu Teras | 18 | 1 | 12 | 7 | 1512 |
| Lampu Ruang Tamu | 14 | 2 | 6 | 7 | 1176 |
| Lampu Ruang Belajar | 30 | 1 | 6 | 7 | 1260 |
| Lampu Kamar 1 | 18 | 1 | 6 | 7 | 756 |
| Lampu kamar mandi 1 | 7 | 1 | 12 | 7 | 588 |
| Lampu Mushallah | 18 | 1 | 6 | 7 | 756 |
| Lampu Kamar 2 | 18 | 1 | 6 | 7 | 756 |
| Lampu Kamar 3 | 18 | 1 | 6 | 7 | 756 |
| Lampu Tengah | 18 | 1 | 6 | 7 | 756 |
| Lampu Dapur | 18 | 1 | 12 | 7 | 1512 |
| Lampu Ruang Makan | 14 | 1 | 6 | 7 | 588 |
| Lampu Gudang 1 | 18 | 1 | 2 | 7 | 252 |
| Lampu Gudang 2 | 7 | 1 | 12 | 7 | 588 |
| Lampu Kamar Mandi 2 | 9 | 1 | 2 | 7 | 126 |
| Lampu belakang | 12 | 1 | 2 | 7 | 168 |

| Load | Daya (Watt) | Jumlah Peralatan | Jumlah Jam Pemakaian listrik / Hari | jumlah hari pemakaian listrik / minggu | Energi Listrik yang digunakan dalam waktu satu minggu (Watt-Jam) |
|------------------|-------------|------------------|-------------------------------------|--|--|
| Lampu samping 1 | 7 | 1 | 12 | 7 | 588 |
| Lampu samping 2 | 7 | 1 | 12 | 7 | 588 |
| Lampu samping 3 | 7 | 1 | 12 | 7 | 588 |
| Lampu Garasi | 18 | 1 | 6 | 7 | 756 |
| Lampu Sampin g 4 | 18 | 1 | 12 | 7 | 1512 |
| TOTAL | | | | | 15582 |

Berdasarkan data-data yang telah dikumpulkan maka dapat dilaksanakan perhitungan perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) berdasarkan cara perhitungan-perhitungan yang telah disampaikan pada metode penelitian

A. Kapasitas baterai yang digunakan

Energi listrik rata-rata adalah :

$$\frac{\text{energi listrik per minggu}}{7} = \frac{15582}{7} = 2226 \text{ (Wh/hari)}$$

Bila dikonversi dari Wh ke Ah, maka

$$\frac{\text{energi listrik rata – rata per hari}}{\text{Tegangan baterai yang dipilih}} \text{ (Ah/hari)}$$

Tegangan baterai pada sistem PLTS yang dipilih dalam hal ini adalah 24 V, tegangan baterai bebas dipilih dalam perencanaan PLTS, namun pada dasarnya pemilihan tegangan yang lebih tinggi bisa menurunkan rugi-rugi daya. Ampere hour rata-rata per hari setelah memilih tegangan baterai yang dipilih menjadi:

$$\text{Ampere – hour rata – rata} = \frac{2226}{24} = 93 \text{ (Ah/hari)}$$

Setelah memperhitungkan efisiensi inverter maka;

$$\text{Ah rata – rata} = \frac{\text{Ampere-hour rata-rata}}{\text{efisiensi inverter}} \text{ (Ah/hari)}$$

efisiensi inverter bervariasi dari 75% hingga 95 %, tapi pada umumnya efisiensi inverter yang dipilih adalah 85%.

$$\text{Ah rata – rata} = \frac{93}{0,85} = 109,1 \text{ (Ah/hari)}$$

Efisiensi baterai lead acid umumnya 80% , sehingga Ah rata-rata setelah mempertimbangkan faktor efisiensi inverter dan baterai adalah Ah rata2 setelah menggunakan inverter / eff. inverter

$$\frac{\text{Efisiensi Baterai}}{\text{Ah rata - rata}} = \frac{109,1}{0,8} = 136,4 \text{ (Ah/hari)}$$

Faktor DoD untuk Baterai Lead Acid adalah 20% hingga 50%, sesuai dengan proteksi inverter yang digunakan maka faktor DoD sebesar 40% , sehingga Ah rata-rata per hari menjadi

$$\frac{\text{Ah rata2 per hari / eff. inverter/eff. baterai}}{\text{DoD}} = \frac{136,4}{0,4} = 341 \text{ (Ah/hari)}$$

Bila mempertimbangkan hari otonom yang dipilih adalah 1 hari , maka Ah rata-rata perhari menjadi

$$\frac{\text{Ah rata2 / eff. inv./eff. bat.}}{\text{DoD}} \times \text{hari otonom}$$

$$\text{Ah rata - rata} = \frac{136,4}{0,4} (\text{Ah/hari}) \times 1 (\text{hari}) = 341 \text{ (Ah)}$$

Sehingga rating baterai yang dibutuhkan adalah 341Ah, bila menggunakan baterai 100 Ah dan tegangannya berdasarkan tegangan yang dipilih sebelumnya yaitu 24 volt maka jumlah baterai yang dibutuhkan adalah jumlah baterai 100 Ah 24 volt = 341 Ah / 100 Ah = 3,41 unit baterai. Bila yang tersedia hanya baterai 100 Ah 12 V, maka untuk mendapatkan tegangan 24 V maka 2 unit baterai 100 Ah 12 V harus diseri sehingga sama dengan satu unit baterai 100 Ah 24 volt. Bila ada 3,41 unit baterai 100 Ah 24 volt berarti jumlah unit baterai 100 Ah 12 volt adalah Jumlah unit baterai 100 Ah 24 Volt = 3,41 unit atau sama dengan 3,41 x 2 = 6,82 unit baterai 100 Ah 12 Volt

Karena faktor pembulatan maka jumlah unit baterai 100 Ah 12 volt yang dibutuhkan sebanyak 7 Unit baterai

B. Jumlah modul fotovoltaic yang dibutuhkan dalam sistem PLTS

Energi rata-rata perhari yang dibutuhkan beban listrik pada tabel 1. sebesar 2266 Wh. Pemilihan satu modul surya dipilih dengan rating 100 Wp, untuk itu berdasarkan metode yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa rata-rata intensitas matahari yang signifikan terjadi antara 5 sampai 6 jam per hari, maka untuk modul surya 100 Wp dalam hal ini dianggap setiap jamnya serendah-rendahnya rata-rata menghasilkan setengahnya dari kapasitas ratingnya dalam hal ini 50 Wp per jam sehingga bila diambil nilai terendah untuk intensitas matahari yang signifikan selama 5 jam maka energi yang dihasilkan rata-rata 5 x 50 Wh atau sama dengan 250 Wh

$$\frac{\text{jumlah modul surya}}{= \frac{\text{energi rata2 per hari yang dibutuhkan beban listrik}}{\text{energi rata2 yang dihasilkan satu modul surya per hari}}}$$

Sehingga jumlah modul surya yang dibutuhkan 9 unit modul 100 wp, untuk spesifikasi tegangan dan arus modul surya tidak perlu dipertimbangkan karena yang diperkirakan adalah jumlah wattnya, sedangkan arus dan tegangan dapat dimodifikasi dalam kombinasi hubungan seri paralel. 9 unit modul surya 100 Wp dari perhitungan telah mampu melayani beban listrik sebesar 2226 Wh, bila ingin pengisian lebih cepat maka jumlah modul surya dapat ditambahkan lebih dari 9 unit, misalnya menggunakan modul surya sebanyak dua kali lipat dari jumlah normalnya yaitu dapat dilakukan cukup hanya setengah hari saja atau kira-kira jam 12:00 Wib hingga 13:00 Wib maka baterai sudah terisi penuh, dan hal ini tidak akan merusak baterai karena penggunaan SCC akan membatasi baterai dari overcharging dan overvoltage. Dalam penelitian ini menggunakan 16 unit 100 Wp sehingga hampir mendekati 18 unit 100 Wp dan diprediksi pengisian baterai akan lebih cepat penuh dibandingkan dengan menggunakan 9 unit modul surya, dan diprediksi kira-kira baterai dapat penuh pada pukul 12:00 Wib hingga pukul 14:00 Wib.

C. rating solar charge controller (SCC) dalam sistem PLTS

Rating SCC yang dipilih berdasarkan rating arus modul surya, modul surya yang dipilih dan digunakan pada penelitian ini adalah 100 Wp, 18 volt, 5,56 A. untuk pemilihan rating SCC maka berlaku persyaratan arus maksimum SCC harus lebih besar dari arus maksimum dari gabungan seri paralel modul surya.

Rating arus SCC

> arus max. modul surya secara keseluruhan

16 modul surya 100 wp 18 volt 5,56 A dalam penelitian ini dihubungkan seri paralel, artinya setiap 2 modul surya dihubungkan seri yang berarti ada 8 yang dihubung seri , dan kemudian dari 8 yang dihubung seri kemudian dihubungkan paralel, sehingga arus maksimum yang dihasilkan adalah 5,56 A x 8 = 44,48 Ampere dengan tegangan 36 volt (18 volt dihubung seri). Berarti rating arus scc harus lebih besar 44,48 A dalam penelitian ini SCC yang dipilih adalah kapasitas 60 Ampere dengan tegangan 24 volt.

D. Rating inverter dalam sistem PLTS

Penggunaan inverter pada sistem PLTS didasarkan atas kebutuhan beban yang akan dilayani. Namun inverter memiliki efisiensi dalam mengubah listrik DC ke bentuk listrik AC yang pada umumnya memiliki efisiensi 85%. Pada penelitian ini kebutuhan total beban listrik adalah 308 watt.

Daya inverter x eff. inverter >

daya maks. keseluruhan beban yang akan dilayani

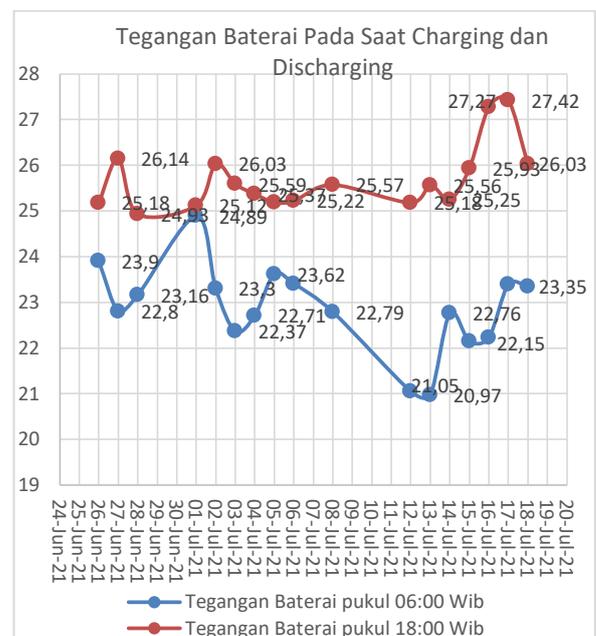
Jika beban hanya berupa lampu penerangan maka tidak perlu memperhitungkan daya peak atau daya kejut sehingga tidak perlu menggunakan spesifikasi inverter yang memiliki daya peak atau daya kejut yang besarnya biasanya dua kali lipat rating daya nominalnya. Pada penelitian ini inverter yang digunakan memiliki daya 1000 watt yang berarti bila memperhitungkan efisiensi inverter 85% maka output inverter $0,85 \times 1000 \text{ watt} = 850 \text{ watt}$, yang berarti daya maksimum keseluruhan beban yang akan dilayani hanya 308 watt dan kemampuan inverter lebih dari cukup untuk melayani pembebanan tersebut. Pemasangan sistem PLTS untuk Solar home sistem dilakukan dengan metode yang sesuai dengan metode penelitian ini dan berdasarkan hasil analisa perhitungan pada bagian pembahasan. Pembuktian hasil analisa perhitungan kemudian di buktikan dengan melakukan pengukuran pada sistem PLTS selama 17 hari. Pengukuran dilakukan setiap 15 menit sekali baik untuk mengukur intensitas matahari, suhu, arus modul surya, tegangan modul surya, tegangan supply baterai, tegangan pengisian baterai, arus pengisian dan arus discharging baterai, tegangan input inverter, arus input inverter, tegangan terminal output inverter, arus output inverter, daya beban listrik, faktor daya beban listrik, tegangan output dan arus SCC. Pengambilan data yang dilakukan cukup banyak namun untuk mewakili data yang disajikan maka data pokok ditampilkan seperti pada tabel 2. berikut

Tabel 2. Data-data hasil pengukuran selama 14 hari dengan selang waktu pengukuran setiap 15 menit sekali dalam 24 jam

| Tanggal | Teg. Bat. pukul 06:00 Wib | Teg. Bat. pukul 18:00 Wib | waktu Teg. baterai >= 26 Volt | Intensitas Matahari Watt/m ² | Rata-rata W.h selama 12 jam |
|----------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---|-----------------------------|
| 26/06/21 | 23,9 | 25,18 | 14.00 | 611 | 2186 |
| 27/06/21 | 22,8 | 26,14 | 12.45 | 590 | 2087 |
| 28/06/21 | 23,16 | 24,93 | 11.00 | 724 | 2019 |
| 01/07/21 | 24,89 | 25,12 | 12.30 | 555 | 2321 |
| 02/07/21 | 23,3 | 26,03 | 11.15 | 576 | 2763 |
| 03/07/21 | 22,37 | 25,59 | 10.45 | 503 | 2647 |
| 04/07/21 | 22,71 | 25,37 | 10.30 | 464 | 2117 |
| 05/07/21 | 23,62 | 25,19 | 12.00 | 480 | 2000 |
| 06/07/21 | 23,41 | 25,22 | 12.15 | 371 | 2273 |
| 08/07/21 | 22,79 | 25,57 | 12.30 | 590 | 1870 |
| 12/07/21 | 21,05 | 25,18 | 13.45 | 408 | 2014 |
| 13/07/21 | 20,97 | 25,56 | 13.30 | 457 | 1917 |
| 14/07/21 | 22,76 | 25,25 | 10.30 | 618 | 2155 |
| 15/07/21 | 22,15 | 25,93 | 12.00 | 1147 | 2232 |
| 16/07/21 | 22,23 | 27,27 | 10.30 | 980 | 2019 |
| 17/07/21 | 23,39 | 27,42 | 10.00 | 883 | 2155 |
| 18/07/21 | 23,35 | 26,03 | 10.00 | 894 | 2165 |

Sesuai dengan metode penelitian dan hasil analisa perhitungan yang direalisasikan pada pemasangan sistem pembangkit listrik tenaga surya untuk solar home sistem menunjukkan hasil seperti yang

diharapkan Dengan menerapkan jumlah modul surya sebanyak 16 modul surya 100 wp maka pengisian baterai dan dscharging baterai memadai untuk kondisi cuaca dan kondisi pembebanan yang ditentukan dalam perencanaan. Terlihat pada tabel 1. Bahwa pembebanan dari sore hingga pagi hari tidak menyebabkan baterai terkuras dan masih sesuai dengan batas DoD yang direncanakan. Penambahan dan pengurangan tegangan baterai sebanding dengan supply modul surya dan sebanding dengan pembebanan pada solar home system dalam hal ini pembebanan jenis beban lampu penerangan. Intensitas matahari dengan satuan (Watt/m²) yang diukur setiap 15 menit sekali hingga 17 hari memiliki nilai rata pengukuran yaitu sebesar 638 Watt/m² yang mampu melakukan pengisian baterai secara efektif dan aman karena dikendalikan oleh solar charge controller dengan kapasitas 60 Ampere 24 volt.



Gambar 5. Karakteristik tegangan pengisian dan pembebanan baterai

Karakteristik pengisian dan pembebanan baterai diperoleh dari hasil pengukuran tegangan baterai selama 17 hari dengan sampel pengambilan data setiap hari selama 24 jam pada slang waktu 15 menit sekali. Penambahan tegangan baterai karena proses pengisian oleh modul panel surya dan pengurangan tegangan baterai akibat pembebanan adalah sebanding dan bila diambil nilai rata-ratanya selama 17 hari maka penambahan tegangan dan pengurangan tegangan adalah sama yaitu sebesar 2, 8 volt tanpa menyentuh batas DoD baterai atau dengan kata lain proteksi pembatasan tegangan 19 volt oleh inverter tidak sempat terjadi.

V. KESIMPULAN

Penambahan jumlah modul surya sebanyak dua kali lipat dari jumlah modul surya hasil perhitungan akan menyebabkan proses pengisian baterai pada waktu tengah hari sudah mencapai level penuh . Analisa perhitungan yang dilakukan sesuai metode penelitian yang diaplikasikan pada pemasangan sistem PLTS untuk solar home system yang performancinya diamati dan diukur setiap selang waktu 15 menit sekali selama 17 hari dan menunjukkan hasil yang sesuai dengan analisa hasil perhitungan. Penambahan dan pengurangan tegangan baterai selama waktu 17 hari pengukuran menunjukkan nilai yang sama untuk penambahan dan pengurangan tegangan baterai yaitu sebesar 2,8 volt. Tegangan baterai dengan 7 unit baterai 100 Ah 12 volt atau setara dengan 350 Ah 24 volt mampu menyuplai energi listrik sebesar 2226 wh dengan pelayanan beban secara fluktuatif sesuai kebutuhan listrik rumah tangga dalam waktu maksimum 12 jam pembebanan dengan daya maksimum beban terpasang sebesar 308 watt. Desain sistem PLTS untuk Solar home system dengan daya maksimum beban terpasang 308 watt untuk beban listrik khusus lampu penerangan mampu dilayani oleh sistem PLTS dengan 1600 Wp, baterai 350 Ah 24 Volt, SCC 24 volt 60 Ampere dan inverter 1000 watt dengan kontinuitas secara umum untuk pelayanan beban dapat terjaga dengan asumsi kondisi cuaca yang fluktuatif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Charfi, W., Chaabane, M., Mhiri, H., & Bournot, P., "Performance evaluation of a solar photovoltaic system". *Energy Reports*, 4, 400–406. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2018.06.004>, 2018.
- [2] Hossain, C. A., Chowdhury, N., Longo, M., & Yaïci, W., "System and cost analysis of stand-alone solar home system applied to a developing country". *Sustainability* (Switzerland), 11(5). <https://doi.org/10.3390/su11051403>, 2019.
- [3] Narayan, N., Papakosta, T., Vega-Garita, V., Qin, Z., Popovic-Gerber, J., Bauer, P., & Zeman, M., "Estimating battery lifetimes in Solar Home System design using a practical modelling methodology" *Applied Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.152>
- [4] Manur A, Marathe, M., "Smart Solar Home System with Solar Forecasting", 2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid and Renewable Energy (PESGRE2020), Cochin, India, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/PESGRE45664.2020.9070340.
- [5] Rahman, R., & Khan, M. F., Performance enhancement of PV solar system by mirror reflection. In ICECE 2010 - 6th International Conference on Electrical and Computer Engineering (pp. 163–166). <https://doi.org/10.1109/ICECE.2010.5700652>
- [6] Zubi, G., Spertino, F., Carvalho, M., Adhikari, R. S., & Khatib, T., "Development and assessment of a solar home system to cover cooking and lighting needs in developing regions as a better alternative for existing practices". *Solar Energy*, 155, April 2018, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.077>