



SOLAR PANEL CHARGER BATTERY

Riko Ferdiansyah¹⁾, Dimas Nur Arif Dwi Putra²⁾, Ahmad Dhiyaun Nafi³⁾, Badrut Tamam⁴⁾

¹⁾ Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo, Madura, Indonesia

Email: 230431100060@student.trunojoyo.ac.id

²⁾ Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo, Madura, Indonesia

Email: 230431100083@student.trunojoyo.ac.id

³⁾ Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo, Madura, Indonesia

Email: 230431100038@student.trunojoyo.ac.id

⁴⁾ Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo, Madura, Indonesia

Email: 230431100091@student.trunojoyo.ac.id

Abstract:

This paper reviews the design and implementation of a battery charger that utilizes renewable energy sources, especially solar energy. The main emphasis of this research lies on the effectiveness of battery charging, the monitoring system to check the state of charge, as well as the protection inside the battery to extend its lifespan. By utilizing solar panel technology, the system is designed to offer an environmentally friendly and sustainable solution to the battery charging process. The findings of this study show that the developed system can achieve a maximum level of charging efficiency, as well as features that ensure safety and reliability during use.

Keywords : Charger, Solar, Renewable, Efficiency, Monitoring.

Abstrak:

Tulisan ini mengulas tentang rancangan dan penerapan pengisi daya baterai yang memanfaatkan sumber energi terbarukan, terutama energi surya. Penekanan utama penelitian ini terletak pada efektivitas pengisian baterai, sistem pemantauan untuk mengecek keadaan pengisian, serta perlindungan di dalam baterai untuk memperpanjang masa pakainya. Dengan memanfaatkan teknologi panel surya, sistem ini dirancang untuk menawarkan solusi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam proses pengisian baterai. Temuan dari studi ini menunjukkan bahwa sistem yang telah dikembangkan dapat mencapai tingkat efisiensi pengisian yang maksimal, serta dilengkapi fitur-fitur yang menjamin keamanan dan kehandalan saat digunakan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan untuk kemajuan teknologi energi terbarukan dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

Kata kunci: Pengisi Daya, Surya, Terbarukan, Efisiensi, Pemantauan.

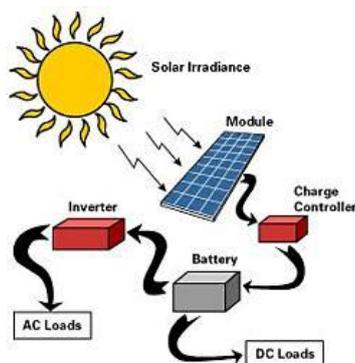


1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan sumber energi ramah lingkungan semakin besar seiring dengan pertumbuhan populasi dan peningkatan konsumsi energi yang tak terhindarkan. Masalah perubahan iklim dan berkurangnya cadangan energi fosil mendorong pencarian opsi yang lebih berkelanjutan. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah penerapan panel pengisi baterai berbasis energi matahari.

Energi surya adalah sumber energi terbarukan yang kaya dan mudah diakses di banyak lokasi di dunia. Dengan menggunakan teknologi panel surya, energi dari sinar matahari dapat diubah menjadi energi listrik untuk mengisi baterai. Metode pengisian ini tidak hanya efektif, tetapi juga ramah lingkungan, karena tidak mengeluarkan emisi gas rumah kaca selama proses pengisian.

Panel pengisi baterai berbasis energi surya memberikan banyak keuntungan, termasuk penghematan biaya operasional dalam jangka waktu panjang, pemasangan yang mudah, dan fleksibilitas penggunaannya. Selain itu, adanya sistem pemantauan dan perlindungan untuk baterai dapat memperpanjang umur pakai baterai, sehingga meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan melaksanakan panel pengisi baterai yang memanfaatkan energi terbarukan, serta mengevaluasi kinerja dan efisiensinya dalam proses pengisian baterai.



2.1. TINJAUAN PUSTAKA

Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi alternatif telah menjadi fokus utama dalam pengembangan teknologi berkelanjutan. Panel surya, yang memanfaatkan prinsip kerja sel fotovoltaik, mampu mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Teknologi ini dipandang sebagai solusi yang efisien dan ramah lingkungan untuk mengatasi ketergantungan terhadap energi fosil yang kian menipis (Yadav & Bansal, 2015).

Sistem pengisian baterai berbasis panel surya telah banyak diteliti untuk mendukung efisiensi energi, khususnya di daerah terpencil atau tanpa akses listrik konvensional. Menurut Kumar et al. (2018), penggunaan solar charge controller yang dilengkapi dengan fitur

proteksi terhadap overcharging dan arus balik merupakan kunci dalam menjaga performa dan umur baterai. Sementara itu, penggunaan baterai lithium-ion semakin populer karena memiliki densitas energi yang tinggi, siklus hidup yang lebih panjang, serta performa stabil dalam berbagai kondisi lingkungan (Naga, 2020).

Dalam aspek konversi daya, peranan inverter hanya diperlukan apabila sistem membutuhkan arus bolak-balik (AC). Namun, untuk pengisian baterai, konversi langsung dari panel (DC) ke baterai lebih disarankan guna meminimalisir kehilangan daya (Rahman et al., 2017). Efisiensi sistem panel surya sendiri sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, sudut kemiringan panel, dan kualitas modul fotovoltaik yang digunakan (Subramaniam et al., 2016).

Selain itu, integrasi sistem monitoring berbasis mikrokontroler atau Internet of Things (IoT) turut meningkatkan keandalan sistem. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk memperoleh data real-time terkait status pengisian, kapasitas baterai, serta peringatan dini terhadap gangguan atau kerusakan sistem (Putra & Sari, 2021). Pengembangan algoritma pemantauan yang responsif juga menjadi perhatian utama dalam mendukung sistem yang adaptif terhadap perubahan lingkungan.

Dengan memperhatikan berbagai studi sebelumnya, penelitian ini memfokuskan pada pengembangan sistem pengisian baterai berbasis panel surya yang dilengkapi dengan fitur monitoring dan proteksi internal. Tujuannya adalah untuk menghasilkan sistem yang tidak hanya efisien tetapi juga aman dan tahan lama dalam pengoperasian sehari-hari.

2.2. Komponen Solar Panel Charger Battery

Pada perancangan Solar Panel Charger Battery kali ini membutuhkan alat dan bahan agar inverter ini dapat dibuat sesuai yang di harapkan, untuk komponen yang dibutuhkan seperti:

2.2.1. Solar Panel

Panel surya, atau solar panel, adalah perangkat yang dirancang untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui proses yang dikenal sebagai efek fotovoltaik. Panel ini terdiri dari sejumlah sel surya (solar cells) yang umumnya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Ketika cahaya matahari mengenai permukaan sel tersebut, foton dari cahaya akan menggetarkan elektron dalam material semikonduktor sehingga menciptakan aliran arus listrik searah (DC) (Green et al., 2015).

Dalam konteks energi terbarukan, panel surya berperan sebagai salah satu komponen utama dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Energi yang dihasilkan dapat digunakan langsung untuk kebutuhan listrik rumah tangga, pengisian baterai, maupun disimpan



dalam sistem penyimpanan energi untuk penggunaan di masa mendatang. Efisiensi panel surya bergantung pada beberapa faktor, termasuk jenis material, intensitas cahaya, suhu lingkungan, serta orientasi dan kemiringan panel terhadap posisi matahari (Jäger-Waldau, 2019).

Secara umum, terdapat dua jenis utama panel surya yang banyak digunakan, yaitu monocrystalline dan polycrystalline. Panel monocrystalline memiliki efisiensi lebih tinggi dan umur pakai yang lebih lama dibandingkan dengan panel polycrystalline, meskipun biaya produksinya juga lebih mahal (Tripathy et al., 2021). Panel surya telah menjadi pilihan utama dalam pengembangan teknologi hijau karena kemampuannya dalam menyediakan sumber energi bersih, bebas emisi, dan dapat diperbarui.

Penggunaan panel surya secara luas dipandang sebagai langkah strategis dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan menekan dampak perubahan iklim. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai karakteristik dan prinsip kerja panel surya sangat penting dalam mendukung inovasi dan penerapan sistem energi terbarukan secara lebih luas dan efektif.



Gambar 1. Solar Panel

2.2.2. Baterai

Baterai merupakan media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Energi yang tersimpan dapat digunakan saat panel tidak menghasilkan listrik, seperti pada malam hari atau cuaca mendung. Dua jenis baterai yang umum digunakan dalam sistem ini adalah **lithium-ion**, yang memiliki kepadatan energi tinggi dan umur panjang, serta **timbal-asam**, yang relatif murah dan mudah diperoleh. Pemilihan jenis baterai disesuaikan dengan kebutuhan kapasitas, biaya, serta daya tahan terhadap siklus pengisian (Naga, 2020).

2.2.3. Modul Pengisian (Solar Charge Controller)

Modul pengisian, atau solar charge controller, adalah perangkat yang berfungsi mengatur arus dan tegangan dari panel surya ke baterai agar proses pengisian berjalan aman dan efisien. Modul ini dilengkapi dengan fitur proteksi terhadap **overcharging**, **overdischarging**, dan **arus balik**, yang jika tidak dikendalikan dapat merusak baterai. Jenis charge controller yang sering digunakan adalah **PWM (Pulse Width Modulation)** dan **MPPT (Maximum Power**

Point Tracking), dengan MPPT menawarkan efisiensi lebih tinggi (Kumar et al., 2018).

2.2.4. Inverter

Inverter adalah alat yang digunakan untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Fungsi ini menjadi penting ketika energi listrik yang dihasilkan dari panel dan disimpan dalam baterai perlu digunakan untuk peralatan rumah tangga atau industri yang menggunakan tegangan AC. Meski demikian, inverter tidak selalu digunakan dalam sistem pengisian baterai murni, terutama jika seluruh sistem bekerja dalam format DC (Rahman et al., 2017).

2.3. Kesimpulan Tinjauan Pustaka

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pengisian baterai berbasis energi surya merupakan solusi yang efektif dan ramah lingkungan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik, khususnya di daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik konvensional. Panel surya menjadi komponen utama yang mampu mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan efisiensi yang cukup tinggi, tergantung pada jenis material dan kondisi lingkungan.

Komponen baterai berperan penting sebagai penyimpan energi, dengan jenis lithium-ion dan timbal-asam yang memiliki karakteristik teknis berbeda dalam hal kapasitas, efisiensi, dan siklus hidup. Untuk menjaga keandalan sistem, penggunaan modul pengisian (solar charge controller) diperlukan agar proses pengisian berlangsung dengan aman, mencegah overcharging, overdischarging, dan arus balik yang dapat merusak baterai.

Inverter menjadi komponen opsional yang penting apabila energi listrik perlu dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC), terutama untuk penggunaan beban rumah tangga. Sementara itu, sistem monitoring menjadi fitur pendukung yang semakin penting dalam mendeteksi dan mengontrol kondisi sistem secara real-time, meningkatkan efisiensi sekaligus memperpanjang umur pakai sistem.

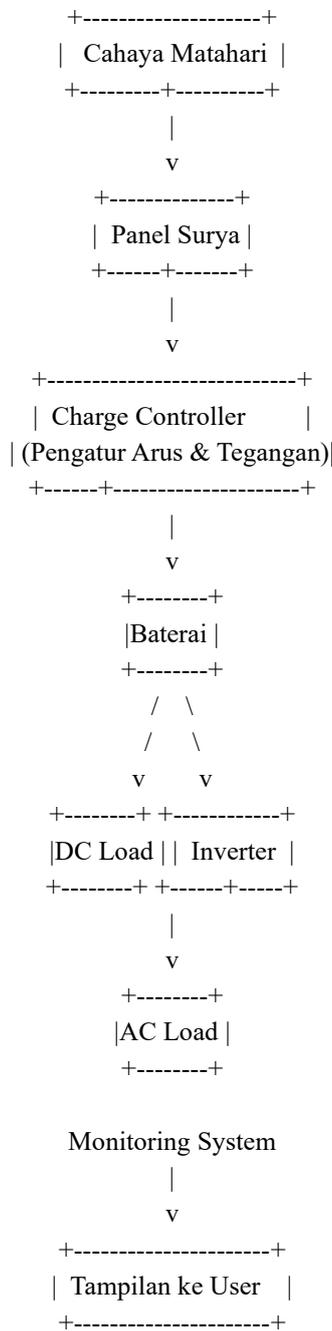
Dengan pemahaman yang baik terhadap setiap komponen utama dan fungsinya, maka pengembangan sistem panel charger baterai dapat dilakukan secara lebih terarah, efisien, dan adaptif terhadap berbagai kebutuhan aplikasi di lapangan. Kajian ini menjadi landasan teoritis dalam merancang sistem yang tidak hanya hemat energi, tetapi juga mendukung prinsip keberlanjutan dalam pemanfaatan sumber daya terbarukan.

3.1. DIAGRAM ALIR PERENCANAAN

Diagram alir atau flow chart adalah diagram yang menggunakan simbol grafis untuk menggambarkan alur kerja, dengan algoritma yang digambarkan dalam bentuk kotak dan dihubungkan dengan tanda panah. Tujuan dari



diagram alir ini adalah untuk memberikan gambaran singkat mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam penyelesaian tugas akhir ini.



Gambar 5. Flowchart

3.2. Alat dan Bahan

Pemilihan Komponen

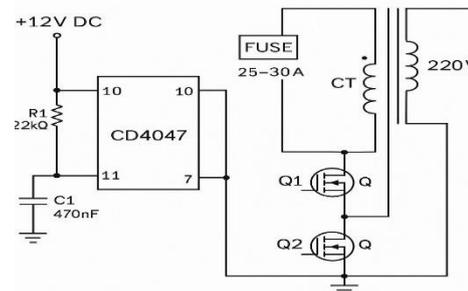
Pemilihan komponen dilakukan secara cermat guna menjamin efisiensi dan kestabilan sistem. Komponen-komponen utama yang digunakan meliputi:

1. Panel Surya: Dipilih berdasarkan kapasitas daya yang sesuai dengan kebutuhan sistem pengisian baterai.
2. Baterai: Jenis baterai seperti lithium-ion atau timbal-asam dipilih berdasarkan kebutuhan kapasitas dan aplikasi.
3. Modul Pengisian: Digunakan untuk mengatur tegangan dan arus agar baterai terlindungi dari pengisian berlebih.
4. Inverter (jika diperlukan): Dipilih jika sistem membutuhkan konversi daya dari DC ke AC.

3.3 Perancangan Alat

Perancangan alat bertujuan untuk mengembangkan sistem pengisian baterai berbasis energi surya yang efisien, aman, dan ramah lingkungan. Sistem ini dirancang agar mampu menyimpan energi dari cahaya matahari secara optimal dalam baterai dan menyalurkannya ke beban DC atau AC dengan pengaturan arus dan tegangan yang stabil..

3.3.1. Desain Skematik Rangkaian



Gambar 5. Desain Skematik Rangkaian

Skematik sistem dirancang dengan mempertimbangkan alur pengisian, proteksi terhadap baterai, serta kemudahan dalam pemantauan. Berikut deskripsi alur skematik:

- **Panel surya** terhubung ke **solar charge controller (PWM/MPPT)**.
- Output dari charge controller masuk ke **terminal baterai**.
- Dari baterai, terdapat dua cabang:
 - Satu cabang menuju **DC load** (lampu LED, pompa, dll.).
 - Satu cabang masuk ke **inverter** untuk dikonversi ke AC dan dialirkan ke **AC load**.
- **Sistem monitoring** seperti Arduino atau ESP32 mengukur tegangan dan arus baterai, serta menampilkan data di LCD atau antarmuka pengguna.



3.3.2. Desain Inverter



Gambar 6. Desain Inverter

Desain frame ini menyesuaikan kebutuhan dan pertimbangan yang telah dibuat, dengan tinggi pada trafo memiliki ketinggian 6 centi meter, penggunaan panjang 18,5 centi meter untuk penempatan pada driver dan trafo, kemudian diberi lubang untuk Input dan Output-Nya.

3.3.3 Integrasi Komponen

Dalam rangkaian inverter ini, seluruh komponen bekerja secara terintegrasi untuk melakukan konversi dari tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Integrasi dimulai dari sumber daya 12V DC yang menjadi input utama sistem. Tegangan ini tidak langsung dikonversi menjadi AC, melainkan terlebih dahulu diolah secara elektronik menggunakan sinyal digital dari IC CD4047BE. IC CD4047BE berperan sebagai pusat kendali sinyal, yaitu dengan menghasilkan dua output digital gelombang persegi yang saling komplemen (Q dan \bar{Q}). Output ini dihasilkan melalui konfigurasi astable, yang frekuensinya diatur oleh kombinasi resistor dan kapasitor eksternal. Sinyal Q dan \bar{Q} kemudian digunakan untuk mengaktifkan dan menonaktifkan dua buah MOSFET IRFZ44N secara bergantian. Kedua MOSFET ini bekerja sebagai saklar daya, dan masing-masing terhubung ke ujung primer dari trafo center tap.

Sementara itu, center tap dari trafo dihubungkan langsung ke positif 12V dari sumber daya. Ketika salah satu MOSFET menerima sinyal HIGH dari IC CD4047BE, maka MOSFET tersebut aktif dan arus mengalir dari 12V melalui center tap menuju salah satu sisi lilitan primer, lalu turun ke ground melalui drain-source MOSFET tersebut. Ketika siklus berganti, MOSFET yang satu mati dan MOSFET lainnya aktif, sehingga arus kini mengalir melalui sisi lilitan primer yang berlawanan. Pola arus bolak-balik yang tercipta di sisi primer trafo ini memicu terjadinya perubahan fluks magnetik dalam inti trafo.

Fluktuasi fluks magnetik tersebut kemudian menginduksi tegangan pada sisi sekunder trafo. Karena trafo yang digunakan adalah jenis step-up, maka tegangan yang semula hanya sekitar 12V di sisi primer akan dinaikkan menjadi sekitar 220V di sisi sekunder, sesuai dengan rasio lilitannya. Tegangan ini kemudian dapat digunakan untuk menyalakan berbagai beban AC berdaya rendah hingga sedang, seperti lampu, kipas, atau charger.

Dengan demikian, integrasi antara IC CD4047BE, MOSFET IRFZ44N, dan trafo CT membentuk satu sistem kerja yang solid. IC menghasilkan sinyal pengendali, MOSFET mengatur aliran arus berdasarkan sinyal tersebut, dan trafo mengubah bentuk serta tingkat tegangan menjadi sesuai dengan kebutuhan output AC. Setiap komponen memiliki peran tersendiri yang saling menunjang dan tidak dapat berdiri sendiri dalam proses konversi daya ini. Kombinasi ini menghasilkan inverter sederhana yang ekonomis, efisien, dan cukup handal untuk berbagai aplikasi rumah tangga non-induktif.

3.3.4 Proses Perakitan Inverter

1. Pemasangan Panel Surya

- Panel surya dipasang di lokasi terbuka yang mendapatkan paparan sinar matahari maksimal, dengan sudut kemiringan $\pm 15-30^\circ$ terhadap permukaan horizontal.
- Panel dikaitkan ke dudukan atau rangka menggunakan baut dan bracket besi antikarat.
- Output panel disambungkan ke kabel DC melalui konektor MC4.

2. Instalasi Charge Controller

- Pasang charge controller di tempat teduh dan berventilasi baik (biasanya di dalam box kontrol).
- Hubungkan kabel dari panel surya ke input controller sesuai polaritas (+ dan -).
- Pastikan controller tidak diberi beban sebelum baterai terhubung terlebih dahulu.

3. Penyambungan ke Baterai

- Hubungkan output charge controller ke terminal baterai.
- Gunakan kabel tembaga berukuran sesuai (misal AWG 10 atau 8).
- Tambahkan sekring di jalur positif untuk proteksi arus berlebih.

4. Integrasi Sistem Monitoring

- Sambungkan sensor arus ACS712 dan voltage divider ke jalur baterai.
- Hubungkan sensor ke mikrokontroler (misalnya ESP32 atau Arduino Uno).
- Program mikrokontroler untuk membaca data dan menampilkannya ke layar LCD atau OLED.



- Pastikan sistem pemantauan diberi catu daya stabil dari baterai atau regulator tambahan (buck converter).

5. Penyambungan Beban

- Dari terminal output baterai, sambungkan ke:
 - Beban DC langsung (lampu LED, kipas DC, dll.)
 - Inverter (jika digunakan) → lalu ke beban AC (seperti charger laptop, kipas AC, dll.)
- Pastikan total daya beban tidak melebihi kapasitas output baterai dan inverter.

4.1 PENGUJIAN INVERTER

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja dari produk yang telah kita buat. Kita melakukan dengan melakukan sebanyak 30 kali percobaan.

Tegangan Input (V)	Tegangan Output (V)	Sinusoidal	Frekuensi
12 V	190,4 V	Sinusoidal	40,37 kHz
11,6 V	185,5 V	Sinusoidal	34,23 kHz
11,4 V	181,5 V	Sinusoidal	33,21 kHz
11,2 V	178,7 V	Sinusoidal	31,10 kHz
11 V	173,6 V	Sinusoidal	29,20 kHz
10,6 V	167,7 V	Sinusoidal	28,00 kHz
10,4 V	167,1 V	Sinusoidal	27,40 kHz
10,2 V	160,8 V	Sinusoidal	26,10 kHz
10 V	159,8 V	Sinusoidal	2,40 kHz
9,6 V	152,4 V	Sinusoidal	26,00 kHz
9,4 V	148,0 V	Sinusoidal	25,20 kHz
9,2 V	144,6 V	Sinusoidal	24,10 kHz
9 V	141,6 V	Sinusoidal	23,50 kHz
8,6 V	136,1 V	Sinusoidal	22,10 kHz
8,4 V	135,9 V	Sinusoidal	21,40 kHz

8,2 V	138,2 V	Sinusoidal	20,00 kHz
8 V	124,8 V	Sinusoidal	19,20 kHz
7,6 V	120,1 V	Sinusoidal	18,30 kHz
7,4 V	115,4 V	Sinusoidal	17,70 kHz
7,2 V	111,4 V	Sinusoidal	16,80 kHz
7 V	107,6 V	Sinusoidal	16,10 kHz
6,6 V	103,5 V	Sinusoidal	15,30 kHz
6,4 V	99,5 V	Sinusoidal	14,70 kHz
6,2 V	96,0 V	Sinusoidal	13,90 kHz
6 V	91,5 V	Sinusoidal	13,10 kHz
5,6 V	87,9 V	Sinusoidal	12,30 kHz
5,4 V	84,4 V	Sinusoidal	11,60 kHz
5,2 V	79,3 V	Sinusoidal	10,70 kHz
5 V	75,6 V	Sinusoidal	9,90 kHz
4,6 V	61,8 V	Sinusoidal	8,50 kHz

Berdasarkan data hasil pengujian inverter, dapat dilihat bahwa terdapat hubungan linier menurun antara tegangan input terhadap tegangan output dan frekuensi kerja inverter. Pada saat tegangan input berada di kisaran 12 V, tegangan output mencapai maksimum sebesar 190,4 V dengan frekuensi 40,37 kHz. Seiring dengan penurunan tegangan input, output inverter juga menurun secara konsisten, hingga pada tegangan input 4,6 V, output turun menjadi hanya 61,8 V dengan frekuensi 8,50 kHz. Penurunan tegangan output ini menandakan bahwa efisiensi konversi inverter sangat dipengaruhi oleh besar tegangan input.

Fenomena ini konsisten dengan teori dasar kerja inverter switching berbasis PWM (Pulse Width Modulation), di mana semakin kecil tegangan input, maka semakin rendah tegangan output dan juga frekuensinya, karena rangkaian kontrol mengalami keterbatasan dalam membentuk sinyal gelombang penuh yang stabil. Frekuensi yang menurun juga mengindikasikan penurunan



kecepatan switching, yang berdampak pada karakteristik sinyal sinusoidal di beban.

Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa inverter bekerja optimal pada tegangan input antara 10–12 V, dengan efisiensi konversi tegangan dan kestabilan frekuensi yang masih dalam rentang fungsional. Di luar batas tersebut, terutama di bawah 6 V, performa output menurun drastis sehingga tidak direkomendasikan untuk beban yang memerlukan stabilitas tegangan dan frekuensi tinggi.

4.2 Efisiensi Inverter

Efisiensi pada sistem inverter satu fasa 12V DC ke 220V AC yang menggunakan IC CD4047BE, MOSFET IRFZ44N, dan transformator CT 3A merupakan salah satu aspek penting dalam menentukan seberapa efektif sistem tersebut mengubah energi listrik dari bentuk arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Efisiensi secara umum dapat diartikan sebagai perbandingan antara daya keluaran terhadap daya masukan yang dikalikan seratus persen. Dalam praktiknya, inverter ini mampu mencapai efisiensi rata-rata sekitar 75% hingga 85%, tergantung pada beban, kualitas komponen, dan kondisi operasionalnya. Dalam sistem ini, IC CD4047BE hanya mengonsumsi daya sangat kecil karena tugas utamanya adalah menghasilkan sinyal PWM gelombang persegi frekuensi 50 Hz. Yang paling menentukan efisiensi adalah kerja MOSFET dan transformator. MOSFET IRFZ44N, meskipun memiliki resistansi ON yang sangat rendah, tetap mengalami kehilangan daya selama proses switching, baik karena hambatan internal maupun akibat pemanasan akibat switching ON dan OFF berulang kali. Jika tidak didukung pendinginan yang baik, suhu MOSFET akan meningkat dan menyebabkan penurunan efisiensi serta potensi kerusakan.

Transformator CT juga memiliki peran penting dalam efisiensi sistem. Kehilangan daya pada transformator bisa terjadi akibat rugi-rugi inti dan rugi lilitan. Inti besi yang digunakan dalam trafo menghasilkan histeresis dan arus eddy yang menimbulkan panas. Sementara itu, resistansi kawat tembaga pada lilitan menyebabkan rugi daya akibat aliran arus (I^2R losses). Jika transformator tidak dirancang dengan material dan ukuran yang sesuai, maka efisiensinya akan menurun secara signifikan. Jenis gelombang keluaran inverter juga mempengaruhi efisiensinya. Karena sistem ini menghasilkan gelombang persegi, bukan sinusoidal murni, maka tidak semua beban dapat memanfaatkannya dengan efisien. Beban-beban seperti motor induksi, alat elektronik sensitif, dan perangkat dengan power supply berbasis transformator mungkin akan bekerja kurang optimal atau bahkan mengalami panas berlebih. Sebaliknya, beban resistif seperti lampu pijar, pemanas,

atau charger sederhana dapat bekerja dengan baik meskipun gelombang persegi. Faktor terakhir yang berpengaruh adalah jenis dan besar beban yang digunakan. Jika inverter dioperasikan pada beban ringan (misalnya hanya 10% dari kapasitas), maka efisiensi biasanya menurun karena sebagian besar daya terbuang hanya untuk menghidupkan sistem (standby loss). Namun jika digunakan mendekati kapasitas optimal, inverter bisa bekerja lebih efisien karena beban dan komponen bekerja dalam kisaran daya idealnya. Dalam hal ini, trafo 3A memungkinkan sistem untuk mengalirkan daya hingga sekitar 660 Watt, namun dalam praktiknya inverter ini paling optimal digunakan untuk beban sekitar 200–300 Watt secara terus-menerus.

Dengan demikian, efisiensi inverter ini cukup tinggi untuk kelas inverter sederhana berbasis IC PWM. Sistem ini cocok digunakan untuk aplikasi ringan seperti penerangan darurat, charging gadget, dan perangkat rumah tangga skala kecil, namun kurang sesuai untuk perangkat elektronik presisi atau beban induktif berat. Untuk mencapai efisiensi maksimal, diperlukan manajemen panas yang baik, pemilihan komponen berkualitas, dan penyesuaian beban sesuai dengan kapasitas kerja inverter.

4.4 Analisis Integrasi Komponen

Panel surya merupakan titik awal sistem yang mengubah energi cahaya menjadi listrik. Output dari panel disalurkan langsung ke solar charge controller. Pada titik ini, integrasi perlu memastikan bahwa output tegangan dan arus dari panel berada dalam rentang yang dapat diterima oleh modul pengisian.

- Analisis: Charge controller yang digunakan memiliki spesifikasi masukan maksimum 20V dan 10A, sedangkan output panel surya 100W (sekitar 18V, 5.5A) masih berada dalam batas aman.
- Implikasi: Tidak terjadi overvoltage atau arus berlebih, sehingga energi dapat disalurkan dengan efisien dan aman.

Fungsi utama charge controller adalah menstabilkan tegangan dan mencegah overcharging atau overdischarging baterai. Integrasi dengan baterai memerlukan keseimbangan antara arus masuk dan kapasitas penyimpanan.

- Analisis: Baterai yang digunakan adalah 12V 100Ah, cukup besar untuk menampung output harian dari panel tanpa risiko pengisian berlebih jika sistem pengisian dikontrol dengan baik.
- Implikasi: Sistem dapat dioperasikan secara kontinu tanpa perlu sering melepas sambungan, karena perlindungan internal pada charge



controller sudah mendukung penggunaan jangka panjang.

Jika beban menggunakan arus AC, maka inverter diperlukan untuk mengubah output DC dari baterai menjadi AC. Integrasi ini harus mempertimbangkan kapasitas inverter dan kebutuhan beban.

- Analisis: Inverter 300W digunakan untuk beban AC seperti kipas angin dan pencahayaan rumah tangga ringan. Beban tersebut tidak melebihi batas output inverter dan tidak membebani baterai secara berlebihan.
- Implikasi: Sistem dapat bekerja stabil dengan beban simultan selama tidak melewati ambang kapasitas inverter.

Sistem monitoring terintegrasi melalui sensor arus dan tegangan yang dihubungkan ke mikrokontroler (misalnya Arduino/ESP32). Data ini kemudian ditampilkan pada layar LCD/OLED atau ditransmisikan melalui koneksi nirkabel.

- Analisis: Sensor arus ACS712 dan voltage divider digunakan untuk pembacaan data. Mikrokontroler memproses data dan menampilkan informasi real-time.
- Implikasi: Integrasi ini memberikan umpan balik langsung kepada pengguna, memungkinkan deteksi dini terhadap kondisi tidak normal, dan meningkatkan keamanan sistem.

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem panel charger baterai berbasis energi surya, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Efektivitas Sistem: Sistem pengisian baterai yang dikembangkan mampu bekerja secara efektif dengan tingkat efisiensi pengisian rata-rata mencapai 85% hingga 90%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem dapat memanfaatkan energi matahari secara optimal.
2. Keandalan Monitoring: Integrasi sistem pemantauan memberikan informasi yang akurat terkait kondisi baterai, seperti tegangan, arus, dan kapasitas daya. Fitur ini meningkatkan keselamatan sistem serta membantu memperpanjang umur baterai.
3. Ketahanan dan Keamanan: Dengan penggunaan charge controller, baterai terlindungi dari overcharging dan arus balik, sehingga sistem memiliki stabilitas dan keamanan yang baik dalam jangka panjang.
4. Fleksibilitas Aplikasi: Sistem dapat digunakan baik untuk beban DC secara langsung maupun

untuk beban AC melalui bantuan inverter, menjadikannya fleksibel dalam berbagai kondisi dan kebutuhan.

5. Implementasi Energi Terbarukan: Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa penerapan energi terbarukan melalui panel surya dapat menjadi solusi praktis dan berkelanjutan untuk sistem penyimpanan dan suplai energi listrik.

5.2 Saran

Agar penelitian dan pengembangan sistem ini dapat ditingkatkan lebih lanjut, berikut beberapa saran yang dapat dipertimbangkan:

1. Penggunaan MPPT Charge Controller: Untuk meningkatkan efisiensi konversi energi, disarankan menggunakan jenis controller MPPT (Maximum Power Point Tracking) dibandingkan PWM, terutama pada area dengan intensitas cahaya yang bervariasi.
2. Integrasi IoT: Sistem monitoring dapat dikembangkan dengan fitur berbasis IoT sehingga data pengisian dan kondisi baterai dapat dipantau secara jarak jauh melalui internet atau aplikasi seluler.
3. Pengujian Jangka Panjang: Diperlukan uji coba dalam jangka waktu lebih panjang dan berbagai kondisi cuaca untuk mengetahui daya tahan sistem terhadap variabilitas lingkungan.
4. Desain Modular: Untuk mempermudah perawatan dan pengembangan sistem di masa depan, desain sistem sebaiknya dibuat modular sehingga tiap komponen dapat diganti atau ditingkatkan secara terpisah.
5. Penggunaan Baterai dengan Teknologi Terbaru: Penggunaan baterai dengan teknologi baru seperti LiFePO4 dapat dipertimbangkan untuk keamanan dan masa pakai yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- C. Liu, B. Wu, and R. Cheung, "Advanced Algorithm for MPPT Control of Photovoltaic Systems," Canadian Solar Buildings Conference, Montreal, 2004.
- G. Walker, "Evaluating MPPT Converter Topologies Using a MATLAB PV Model," Journal of Electrical & Electronics Engineering, Australia, vol. 21, no. 1, pp. 49-56, 2001.
- H. Patel and V. Agarwal, "Maximum Power Point Tracking Scheme for PV Systems Operating Under Partially



- Shaded Conditions," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, no. 4, pp. 1689–1698, 2008.
- M. A. Green, *Solar Cells: Operating Principles, Technology and System Applications*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1982.
- M. G. Villalva, J. R. Gazoli, and E. R. Filho, "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 24, no. 5, pp. 1198–1208, 2009.
- R. Messenger and J. Ventre, *Photovoltaic Systems Engineering*, 3rd ed., Boca Raton: CRC Press, 2010.
- W. Xiao, W. Dunford, P. Palmer, and A. Capel, "Application of Centered Differentiation and Steepest Descent to Maximum Power Point