

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Efisiensi panel surya sebagai sumber energi alternatif menunjukkan potensi besar energi surya di Indonesia, yang terletak di garis khatulistiwa. Penelitian ini menguji panel surya mini pada Solar Panel Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan menunjukkan hasil daya dan efisiensi yang cukup baik. Meskipun demikian, diperlukan penelitian lanjutan untuk meningkatkan efisiensi dan daya yang dihasilkan. Peneliti juga merekomendasikan penggunaan sensor berbasis mikrokontroler untuk memantau arus dan tegangan secara otomatis, yang akan meningkatkan akurasi pengukuran dan memudahkan pemantauan sistem surya secara *real-time*. Penelitian ini mendukung pengembangan energi surya sebagai solusi energi terbarukan yang ramah lingkungan di Indonesia.[1]

Penggunaan panel surya untuk mengisi daya ponsel melalui stasiun pengisian berbasis energi terbarukan. Panel surya mengkonversi sinar matahari menjadi arus listrik yang disalurkan melalui *Solar Charge Controller (SCC)* untuk mengisi baterai dan mengecas ponsel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi cuaca mempengaruhi arus yang dihasilkan, dengan cuaca cerah menghasilkan arus lebih tinggi. Sistem ini memungkinkan pengecasan beberapa perangkat secara bersamaan dengan efisiensi yang baik, serta mengurangi ketergantungan pada energi fosil, menjadikannya solusi ramah lingkungan untuk pengisian daya berbasis energi surya.[2]

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) portable yang bertujuan untuk menyediakan solusi energi terbarukan bagi masyarakat yang beraktivitas di luar rumah dan tidak terjangkau oleh listrik. Sistem ini menggunakan panel surya yang mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik yang disimpan dalam baterai dan dapat digunakan untuk mengisi daya ponsel atau menyalakan lampu. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan perangkat pemantauan untuk mengukur arus dan tegangan yang dihasilkan, sehingga mempermudah proses perawatan dan memastikan efisiensi sistem. Penelitian ini relevan untuk pengembangan teknologi pengisian daya ponsel berbasis energi surya yang portabel, efisien, dan ramah lingkungan.[3]

pengaruh suhu terhadap kinerja panel surya, di mana suhu tinggi dapat menurunkan tegangan keluaran dan efisiensi daya. Daya keluaran panel sangat bergantung pada intensitas sinar matahari, dengan radiasi yang lebih tinggi menghasilkan efisiensi yang lebih baik. Penurunan suhu panel dapat meningkatkan efisiensi, sementara suhu tinggi cenderung menurunkan kinerja panel. Temuan ini relevan untuk analisis efisiensi solar panel portable dalam optimasi pengisian daya dengan energi terbarukan.[4]

Pengontrol dari penggunaan *Solar Charge Controller* yang bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan energi, mengurangi konsumsi energi, serta memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan. Sistem ini dirancang untuk mengelola konsumsi energi secara otomatis dan real-time, sehingga dapat meningkatkan efisiensi operasional. Penelitian ini relevan dengan pengembangan sistem pengelolaan energi yang dapat diterapkan pada panel surya portable, yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengisian daya ponsel menggunakan energi terbarukan dengan cara yang lebih ramah lingkungan dan praktis.[5]

Pengembangan sistem pengisian daya portabel berbasis panel surya untuk mengisi baterai dan smartphone. Hasil menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh panel surya. Sistem ini dapat menghasilkan daya yang stabil dalam kondisi cuaca cerah. Penggunaan energi terbarukan dari panel surya memberikan solusi ramah lingkungan untuk pengisian perangkat elektronik. Penelitian ini relevan dengan pengembangan solar panel portable yang efisien.[6][7]

2.2 Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.2.1.1 Definisi Energi Terbarukan

Energi terbarukan merujuk pada energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat terus diperbaharui, seperti sinar matahari, angin, dan air. Energi ini memberikan solusi untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang terbatas. Penggunaan energi surya, khususnya melalui panel fotovoltaik, menjadi pilihan utama karena kemampuannya mengubah cahaya matahari menjadi listrik yang bisa digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk pengisian daya perangkat elektronik. Sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) memanfaatkan sinar matahari yang diubah

menjadi energi listrik, dengan kapasitas yang bisa disesuaikan dengan intensitas sinar matahari, mendukung keberlanjutan energi di masa depan.[8][9]

2.2.1.2 Peran Energi Terbarukan

Peran energi terbarukan dalam mengurangi emisi gas rumah kaca sangat ditekankan. Energi terbarukan, seperti yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terapung Cirata, berfungsi untuk mengurangi emisi karbon yang dihasilkan oleh pembangkit listrik berbasis fosil. Proyek PLTS Terapung Cirata dapat mengurangi emisi karbon sebesar ratusan ribu ton setiap tahun, sejalan dengan upaya Indonesia untuk mencapai target *Net Zero Emission (NZE)* pada 2060. Teknologi ini membantu mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mengurangi dampak negatif pemanasan global, mendukung Indonesia dalam berperan aktif dalam mitigasi perubahan iklim melalui transisi energi bersih.[10]

2.2.1.3 Panel Surya (Solar Panel)

Solar panel adalah perangkat yang digunakan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui proses yang dikenal sebagai efek fotoelektrik. Panel ini terdiri dari banyak sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon, yang mampu menyerap foton (partikel cahaya) dan mengubahnya menjadi arus listrik searah (DC). Arus listrik ini kemudian dapat digunakan langsung atau disimpan dalam baterai untuk penggunaan di kemudian hari. Solar panel sering digunakan dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk menyediakan energi bersih dan terbarukan bagi berbagai keperluan, seperti pengisian daya perangkat, penerangan, atau kebutuhan listrik rumah tangga.[11]



Gambar 2. 1 Solar panel

2.2.1.4 Prinsip Kerja Solar Panel

Prinsip kerja solar panel adalah proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotoelektrik. Solar panel terdiri dari banyak sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor, biasanya silikon. Ketika cahaya matahari mengenai permukaan panel, foton (partikel cahaya) menabrak atom-atom dalam semikonduktor dan melepaskan elektron. Proses ini menghasilkan arus listrik searah (DC). Arus ini kemudian dapat digunakan untuk berbagai keperluan, seperti mengisi daya baterai atau langsung memasok daya ke perangkat listrik, setelah melalui proses pengaturan arus dan tegangan menggunakan perangkat seperti solar charge controller dan inverter (jika diperlukan untuk mengubah DC menjadi AC).[12]

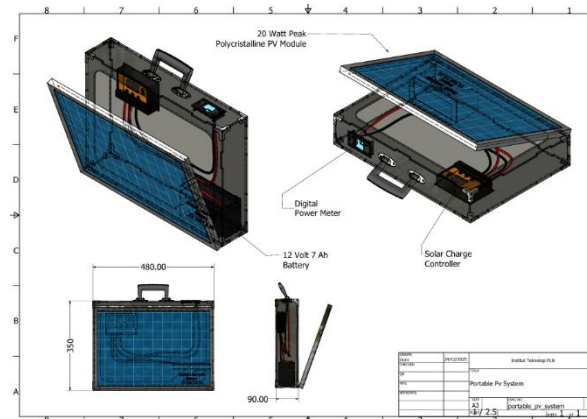
2.2.1.5 Kinerja dan Efisiensi Solar Panel

Kinerja dan efisiensi panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu intensitas cahaya matahari, suhu permukaan, dan sudut orientasi panel terhadap cahaya matahari. Semakin tinggi intensitas cahaya matahari, semakin besar daya yang dihasilkan, dengan peningkatan arus sementara tegangan tetap konstan. Namun, suhu permukaan yang lebih tinggi dapat menurunkan tegangan yang dihasilkan, meskipun daya tetap meningkat. Posisi panel surya yang lebih tegak lurus terhadap cahaya matahari juga sangat mempengaruhi efisiensi, karena semakin mendekati posisi tegak lurus, semakin besar tegangan dan arus yang dihasilkan. Oleh karena itu, faktor-faktor ini sangat penting untuk diperhatikan guna mengoptimalkan kinerja dan efisiensi panel surya dalam menghasilkan energi.[13]

2.2.1.6 Solar Panel Portable

Solar panel portable adalah sistem pembangkit energi alternatif yang dirancang untuk menyediakan listrik sementara, terutama dalam situasi darurat seperti bencana alam. Sistem ini mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui panel surya, yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan dasar seperti penerangan dan pengisian perangkat elektronik. Desain panel surya portable dibuat agar mudah dibawa, efisien, dan praktis digunakan di lapangan. Komponen utama sistem ini meliputi panel surya, baterai penyimpanan energi, inverter untuk mengubah arus DC menjadi AC, serta pengontrol arus dan tegangan untuk memastikan pengisian yang aman dan stabil. Berdasarkan pengujian, solar panel portable dapat menghasilkan energi listrik yang cukup untuk

menyalakan lampu LED dan stasiun pengisian daya selama beberapa jam, tergantung pada intensitas sinar matahari dan kondisi cuaca. Penggunaan sistem ini tidak hanya mendukung penyediaan energi bersih dan berkelanjutan, tetapi juga menawarkan solusi ramah lingkungan yang mempermudah mobilitas masyarakat di daerah yang terkena bencana atau di lokasi tanpa akses listrik konvensional.[14]



Gambar 2. 2 Solar Panel Portable

2.2.2 Kinerja Solar Panel Portable

Kinerja solar panel portable dapat diartikan sebagai kemampuan panel surya dalam mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan secara optimal pada sistem yang bersifat fleksibel dan mudah dipindahkan. Evaluasi kinerja panel surya umumnya dilakukan dengan melihat parameter utama berupa tegangan, arus, dan daya keluaran yang dihasilkan pada kondisi iradiasi serta temperatur tertentu. Pada sistem portable, performa panel sangat dipengaruhi oleh besarnya intensitas sinar matahari, sudut pemasangan panel terhadap arah datang cahaya, serta kondisi lingkungan di sekitarnya, seperti suhu dan adanya bayangan. Semakin besar intensitas radiasi matahari yang diterima oleh permukaan panel, maka daya listrik yang dihasilkan juga akan semakin meningkat, sehingga panel dapat bekerja pada kondisi yang mendekati optimal.

Selain dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, kinerja solar panel portable juga ditentukan oleh kecocokan antara panel surya dengan beban serta sistem penyimpanan energi yang digunakan. Adanya baterai sebagai penyimpan energi memungkinkan listrik yang dihasilkan pada siang hari tetap dapat dimanfaatkan ketika intensitas cahaya

berkurang atau saat malam hari. Dengan demikian, kinerja panel surya tidak hanya dinilai dari besarnya daya listrik yang dihasilkan, tetapi juga dari kemampuannya dalam menyuplai energi ke beban secara stabil dan efisien. Analisis kinerja ini penting dilakukan untuk memastikan bahwa solar panel portable mampu bekerja secara maksimal dan layak digunakan pada aplikasi skala kecil, seperti pengisian daya perangkat elektronik maupun sistem pompa air tenaga surya.[15]

2.2.3 Solar Panel *Monocrystalline*

Solar Panel Monocrystalline adalah salah satu jenis sel surya yang dibuat dari silikon dengan struktur kristal tunggal. Struktur kristal yang seragam ini memungkinkan proses konversi energi matahari menjadi energi listrik berlangsung lebih efisien dibandingkan dengan jenis sel surya lainnya. Oleh karena itu, monocrystalline solar cell banyak digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga surya yang menuntut kinerja tinggi, terutama pada lokasi dengan keterbatasan luas area pemasangan. Pada sistem PLTS, monocrystalline solar cell dipilih karena memiliki tingkat efisiensi yang relatif lebih tinggi, umumnya berada pada kisaran 15% hingga 20%. Tingginya efisiensi tersebut memungkinkan modul surya menghasilkan daya listrik yang lebih besar meskipun menggunakan luas permukaan yang lebih kecil. Dengan karakteristik ini, monocrystalline solar cell sangat sesuai untuk penerapan PLTS pada bangunan, kawasan perkotaan, maupun sistem PLTS yang terhubung ke jaringan listrik.

Selain memiliki efisiensi yang tinggi, monocrystalline solar cell juga menunjukkan kinerja yang cukup stabil pada kondisi penyinaran matahari yang optimal. Meskipun demikian, performa modul surya jenis ini tetap dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti intensitas radiasi matahari dan suhu sekitar. Peningkatan suhu lingkungan dapat menurunkan daya keluaran modul, sehingga dalam perencanaan dan pemasangan sistem PLTS perlu diperhatikan aspek ventilasi dan penempatan modul agar kinerja tetap optimal. Dengan berbagai keunggulan tersebut, monocrystalline solar cell menjadi pilihan utama dalam pengembangan sistem PLTS yang mengutamakan efisiensi, keandalan, dan keberlanjutan kinerja jangka panjang.[16]

2.2.4 Konversi Daya dan DC–DC Converter

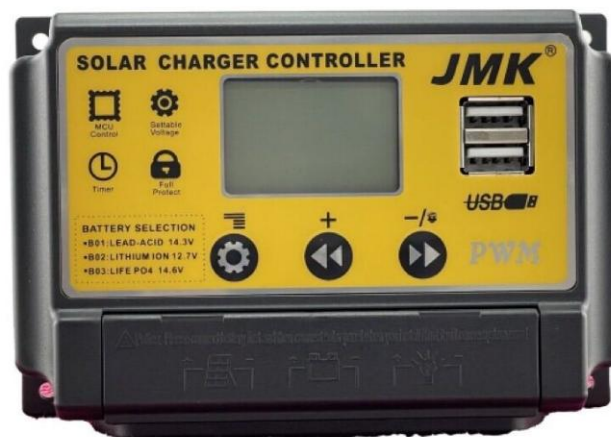
Smartphone membutuhkan tegangan pengisian yang stabil, umumnya 5 V (USB). Oleh karena itu, output solar panel harus disesuaikan menggunakan DC–DC converter. Konversi daya pada sistem arus searah dilakukan dengan menggunakan DC–DC converter yang berfungsi untuk menyesuaikan tingkat tegangan dari sumber DC agar sesuai dengan kebutuhan beban. DC–DC converter bekerja dengan mengubah tegangan masukan menjadi tegangan keluaran yang lebih rendah atau lebih tinggi melalui proses pensaklaran komponen semikonduktor yang dikendalikan secara elektronik. Salah satu jenis konverter yang umum digunakan adalah DC–DC buck converter, yaitu konverter yang berfungsi menurunkan tegangan DC masukan ke tingkat tegangan yang lebih rendah tanpa menggunakan isolasi transformator. Proses konversi daya pada konverter ini dikendalikan oleh sinyal Pulse Width Modulation (PWM), di mana pengaturan lebar pulsa menentukan besar kecilnya tegangan dan daya keluaran. Dengan mekanisme tersebut, DC–DC buck converter mampu melakukan konversi daya secara efisien dan stabil, sehingga banyak diterapkan pada sistem berbasis sumber energi DC seperti panel surya, sistem penyimpanan energi, dan catu daya perangkat elektronik.[17]

2.2.5 Manajemen Solar Charge Controller

Manajemen *Solar Charge Controller* adalah sistem yang memanfaatkan teknologi untuk mengatur penggunaan energi secara optimal dan berkelanjutan, dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti matahari. Pada solar panel portable, manajemen *Solar Charge Controller* berfungsi untuk memastikan penggunaan energi surya yang efisien. Sistem ini mengelola aliran energi, menyimpan energi dalam baterai untuk digunakan nanti, serta mengatur pengisian daya dengan menggunakan solar charge controller. Dengan manajemen *Solar Charge Controller*, sistem panel surya portable dapat meningkatkan efisiensi energi, mengurangi pemborosan, dan memastikan penyediaan daya yang maksimal di lokasi yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik.[18]

2.2.6 Smart Charging Control (SCC)

Solar Charge Controller (SCC) berfungsi untuk mengatur aliran energi antara panel surya, baterai, dan beban dengan memastikan pengisian daya yang aman dan efisien. SCC mencegah overcharging dengan menghentikan pengisian saat baterai penuh dan menghindari arus balik yang dapat merusak panel surya. Perangkat ini juga mengatur tegangan dan arus yang masuk ke baterai agar tetap dalam batas aman. Dengan cara ini, SCC mengoptimalkan pengisian daya, memaksimalkan penggunaan energi dari panel surya, dan memperpanjang umur baterai dengan menjaga efisiensi sistem secara keseluruhan.[19]



Gambar 2. 3 Smart Charging Control (SCC)

2.2.7 Buck Converter dalam Sistem Pengisian Daya

Buck converter adalah perangkat konverter DC-DC yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari sumber energi, seperti panel surya, ke level yang lebih rendah sesuai dengan kebutuhan sistem. Dalam aplikasi panel surya portable, buck converter digunakan untuk menyesuaikan tegangan yang dihasilkan oleh panel dengan tegangan yang diperlukan untuk mengisi baterai atau memberi daya pada beban. Buck converter bekerja dengan mengatur saklar aktif, seperti MOSFET, untuk mengontrol aliran energi secara on-off berdasarkan duty cycle yang diterapkan. Meskipun demikian, Buck dan Buck-Boost Converter adalah dua jenis konverter DC-DC yang digunakan untuk mengatur tegangan dalam sistem pembangkit energi surya portable, dengan perbedaan fungsi. Buck converter berfungsi untuk mengurangi tegangan dari sumber energi agar sesuai dengan kebutuhan sistem, efektif saat tegangan input lebih tinggi dari pada yang

dibutuhkan. Sebaliknya, Buck-Boost converter dapat menangani variasi tegangan dengan cara menaikkan atau menurunkan tegangan, menjadikannya lebih fleksibel dalam mengatur tegangan dari panel surya yang tidak stabil. Oleh karena itu, Buck-Boost converter lebih cocok digunakan dalam kondisi dengan fluktuasi tegangan input, karena dapat menyesuaikan tegangan yang lebih tinggi atau lebih rendah menjadi tegangan yang sesuai untuk pengisian baterai atau perangkat lainnya.[20]



Gambar 2. 4 Buck Converter

2.2.8 Tegangan, Arus, dan Daya Keluaran

Tegangan dan arus merupakan parameter utama keluaran panel surya. Tegangan (V) menunjukkan beda potensial listrik yang dihasilkan, sedangkan arus (I) menunjukkan aliran muatan listrik yang dihasilkan oleh panel surya akibat paparan cahaya matahari.[21]

Daya keluaran panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P = V \times I$$

dimana:

P = Daya (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

2.2.9 Efisiensi Sistem Solar Panel

Efisiensi sistem solar panel menunjukkan kemampuan panel surya dalam mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Efisiensi dihitung dari perbandingan antara daya keluaran panel surya dengan daya masukan radiasi matahari yang diterima panel.[22]

Rumus efisiensi sistem solar panel adalah:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

dimana:

η = efisiensi sistem (%)

P_{out} = daya keluaran panel surya (W)

P_{in} = daya masukan radiasi matahari (W)