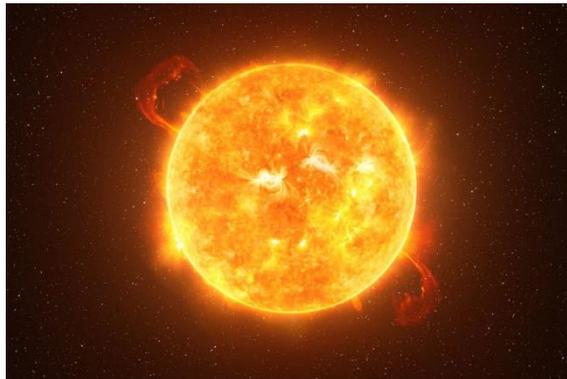


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Surya

Energi surya adalah energi yang berasal dari sinar matahari, yang dapat dimanfaatkan melalui berbagai teknologi untuk menghasilkan energi lain, seperti listrik atau panas. Matahari, sebagai sumber energi terbesar di tata surya kita, mengirimkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik yang mencapai permukaan bumi. Pemanfaatan energi surya telah menjadi fokus utama dalam upaya mencari sumber energi terbarukan yang dapat menggantikan bahan bakar fosil yang terbatas dan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. (Boyle, 2004)



Gambar 2.1 Surya

(Sumber : kompas.com)

Salah satu metode utama dalam pemanfaatan energi surya adalah teknologi fotovoltaik (PV). Sistem fotovoltaik menggunakan sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon, yang dapat mengonversi sinar matahari langsung menjadi listrik melalui efek fotovoltaik. Ketika foton dari sinar matahari mengenai sel surya, mereka dapat melepaskan elektron dari atom-atom silikon, menciptakan arus listrik. Sistem PV dapat diaplikasikan dalam berbagai skala, mulai dari panel kecil pada kalkulator hingga instalasi besar yang menyediakan listrik untuk ribuan rumah. Keuntungan dari teknologi PV adalah kemampuannya untuk diinstalasi di berbagai lokasi, termasuk atap rumah, lahan kosong, atau

bahkan di permukaan air. Selain teknologi fotovoltaik, energi surya juga dapat dimanfaatkan melalui pemanasan surya (*solar thermal*). Teknologi ini memanfaatkan panas dari sinar matahari untuk memanaskan fluida kerja, seperti air atau minyak, yang kemudian digunakan untuk menghasilkan uap dan menggerakkan turbin guna menghasilkan listrik. Terdapat dua jenis utama dari sistem pemanasan surya: pemanas air surya dan pembangkit listrik tenaga surya termal (*Concentrated Solar Power, CSP*). Pemanas air surya menggunakan kolektor surya untuk memanaskan air yang digunakan dalam rumah tangga atau industri. Sementara itu, sistem CSP menggunakan cermin atau lensa untuk memfokuskan sinar matahari ke penerima yang memanaskan fluida kerja hingga suhu tinggi, menghasilkan uap yang digunakan untuk menggerakkan turbin listrik. Teknologi CSP biasanya diaplikasikan dalam skala besar dan memerlukan area yang luas serta intensitas sinar matahari yang tinggi. (Twidell & Weir, 2005)



Gambar 2.2 solar thermal

(Sumber : greymattersglobal.com)

Keunggulan dari pemanfaatan energi surya sangat banyak. Pertama, energi surya adalah sumber energi yang tak terbatas dan berkelanjutan, mengingat matahari akan terus bersinar selama miliaran tahun ke depan. Kedua, energi surya ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polusi udara selama proses konversinya, sehingga membantu mengurangi dampak perubahan iklim. Ketiga, pemanfaatan energi surya dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang terbatas dan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, teknologi surya juga dapat menciptakan lapangan kerja baru di bidang manufaktur, instalasi, dan pemeliharaan sistem energi surya.

Namun, ada beberapa tantangan dalam pemanfaatan energi surya yang perlu diatasi. Variabilitas sinar matahari adalah salah satu tantangan utama, karena ketersediaan energi surya sangat bergantung pada kondisi cuaca dan waktu. Pada malam hari atau saat cuaca mendung, sistem energi surya tidak dapat menghasilkan listrik, sehingga diperlukan sistem penyimpanan energi yang efektif untuk memastikan ketersediaan listrik secara kontinu. Efisiensi konversi energi matahari juga masih menjadi perhatian, meskipun telah ada peningkatan signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Penelitian dan pengembangan terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sel surya dan teknologi penyimpanan energi. Dengan potensi besar dan manfaat lingkungan yang signifikan, energi surya menjadi salah satu pilar utama dalam transisi global menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Meskipun tantangan teknis masih ada, kemajuan teknologi dan inovasi terus membuka jalan bagi masa depan yang lebih cerah di mana energi surya memainkan peran penting dalam memenuhi kebutuhan energi dunia. (Kalogirou, 2014)

2.2 Teknologi Fotovoltaik

Panel fotovoltaik, sering disebut sebagai panel surya, adalah perangkat yang dirancang untuk mengonversi sinar matahari langsung menjadi listrik melalui proses yang dikenal sebagai efek fotovoltaik. Panel ini terdiri dari banyak sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon, yang mampu menghasilkan arus listrik ketika terkena cahaya matahari. Dalam beberapa dekade terakhir, panel fotovoltaik telah menjadi komponen utama dalam sistem energi surya, yang digunakan untuk berbagai aplikasi mulai dari perangkat elektronik kecil hingga pembangkit listrik skala besar. Prinsip kerja panel fotovoltaik didasarkan pada efek fotovoltaik, suatu fenomena di mana bahan semikonduktor menghasilkan arus listrik ketika disinari cahaya. Setiap sel surya dalam panel fotovoltaik terdiri dari dua lapisan semikonduktor yang membentuk junction p-n. Ketika foton dari sinar matahari mengenai sel surya, energi dari foton tersebut dapat melepaskan elektron dari atom dalam bahan semikonduktor. Elektron yang terlepas ini kemudian mengalir melalui bahan semikonduktor dan menghasilkan arus listrik. Arus ini

dikumpulkan oleh kawat-kawat konduktif pada permukaan sel surya dan dapat digunakan untuk berbagai aplikasi listrik. (Green, 1982)

Struktur panel fotovoltaik terdiri dari beberapa komponen utama. Yang pertama adalah sel surya, unit dasar yang mengonversi cahaya matahari menjadi listrik. Sel surya ini dilindungi oleh kaca penutup yang melindungi mereka dari kerusakan fisik dan cuaca. Selain itu, ada lapisan enkapsulasi yang menyegel sel surya untuk melindungi dari kelembaban dan kontaminasi. Lembaran belakang memberikan dukungan struktural dan proteksi tambahan, sementara bingkai, biasanya terbuat dari aluminium, memberikan kekuatan mekanis dan memfasilitasi pemasangan panel. Keunggulan panel fotovoltaik sangat banyak dan bervariasi. Yang paling signifikan adalah sifatnya sebagai sumber energi terbarukan. Sinar matahari adalah sumber energi yang melimpah dan dapat diperbarui, yang tidak akan habis selama miliaran tahun ke depan. Selain itu, pemanfaatan panel fotovoltaik ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polusi udara selama proses konversinya. Ini membantu mengurangi dampak perubahan iklim dan polusi udara. Panel fotovoltaik juga memerlukan pemeliharaan yang rendah setelah dipasang dan dapat bertahan hingga 25-30 tahun, memberikan penghematan biaya energi dalam jangka panjang. Penggunaan panel fotovoltaik juga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang terbatas dan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Namun, ada beberapa tantangan dan keterbatasan dalam penggunaan panel fotovoltaik. Salah satu tantangan utama adalah efisiensi konversi. Meskipun telah banyak kemajuan, efisiensi konversi energi dari sinar matahari menjadi listrik masih relatif rendah dibandingkan dengan sumber energi konvensional. Biaya awal pemasangan panel fotovoltaik juga cukup tinggi, meskipun ini dapat diimbangi oleh penghematan energi dalam jangka panjang. Variabilitas sinar matahari juga merupakan masalah, karena ketersediaan energi surya bervariasi tergantung pada lokasi geografis, waktu, dan kondisi cuaca. Hal ini menghasilkan variabilitas dalam produksi listrik dan memerlukan sistem penyimpanan energi yang efektif untuk memastikan ketersediaan listrik secara kontinu. Panel fotovoltaik telah membuka jalan bagi revolusi energi terbarukan, memberikan solusi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk kebutuhan energi global. Dengan terus berkembangnya teknologi dan penurunan biaya

produksi, panel fotovoltaik diharapkan memainkan peran yang semakin penting dalam memenuhi kebutuhan energi dunia di masa depan. Sementara tantangan teknis masih ada, kemajuan yang terus berlanjut dalam penelitian dan pengembangan menjanjikan peningkatan efisiensi dan efektivitas panel fotovoltaik, menjadikannya salah satu pilar utama dalam transisi menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. (Luque & Hegedus, 2011)

2.3 Jenis-Jenis Panel Surya

Panel fotovoltaik, yang sering disebut sebagai panel surya, adalah perangkat yang dirancang untuk mengonversi sinar matahari langsung menjadi listrik melalui proses fotovoltaik. Panel ini terdiri dari sel-sel surya yang dibuat dari bahan semikonduktor. Ada berbagai jenis panel fotovoltaik yang tersedia, masing-masing dengan karakteristik, keunggulan, dan kekurangannya sendiri. Berikut ini adalah gambaran lengkap tentang jenis-jenis panel fotovoltaik yang umum digunakan.

1. Monokristalin (*Monocrystalline*)

Panel fotovoltaik monokristalin terbuat dari satu kristal silikon murni yang ditumbuhkan menjadi wafer. Sel-sel surya pada panel ini biasanya berwarna hitam atau gelap dengan sudut-sudut yang melingkar. Panel monokristalin dikenal karena efisiensinya yang tinggi, biasanya berkisar antara 15% hingga 20%. Struktur kristal tunggal memungkinkan elektron bergerak lebih bebas, sehingga menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Salah satu keunggulan utama panel monokristalin adalah umur panjangnya, seringkali lebih dari 25 tahun. Namun, biaya produksi panel ini lebih tinggi karena proses pembuatannya yang lebih kompleks. Meski demikian, panel monokristalin sangat ideal untuk aplikasi di mana ruang terbatas dan efisiensi tinggi diperlukan, seperti atap rumah atau gedung perkantoran. (Nelson, 2003)



Gambar 2.3 Panel Fotovoltaik Monokristalin

(Sumber : tokopedia.com)

2. Polikristalin (Polycrystalline)

Panel fotovoltaik polikristalin terbuat dari banyak kristal silikon yang dilebur bersama-sama. Panel ini biasanya berwarna biru dengan sudut-sudut yang tajam. Proses pembuatan yang lebih sederhana dibandingkan dengan panel monokristalin membuat panel polikristalin lebih terjangkau. Efisiensi panel ini biasanya berkisar antara 13% hingga 18%. Meskipun efisiensinya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan panel monokristalin, panel polikristalin masih menjadi pilihan populer karena harganya yang lebih ekonomis. Panel ini cocok untuk instalasi yang memiliki ruang yang lebih luas dan anggaran yang lebih terbatas, seperti lahan kosong atau atap luas. (Nelson, 2003)



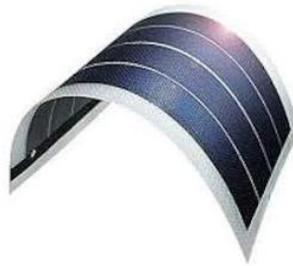
Gambar 2.4 Panel Fotovoltaik Polikristalin

(Sumber : tokopedia.com)

3. *Thin-Film*

Panel *thin-film* dibuat dengan menaruh lapisan tipis bahan fotovoltaik pada substrat seperti kaca, plastik, atau logam. Bahan yang digunakan dalam panel

thin-film dapat berupa silikon amorf, kadmium tellurida (CdTe), atau copper indium gallium selenide (CIGS). Panel thin-film lebih fleksibel dan ringan dibandingkan dengan panel berbasis silikon kristal, sehingga dapat digunakan dalam aplikasi yang memerlukan fleksibilitas tinggi. Proses produksi panel thin-film lebih murah dan memungkinkan pembuatan panel yang lebih ringan dan fleksibel. Namun, efisiensi panel ini biasanya lebih rendah, berkisar antara 10% hingga 12%, dan umur yang lebih pendek dibandingkan dengan panel silikon kristal. Panel *thin-film* cocok untuk aplikasi di mana fleksibilitas dan ringan penting, seperti pada permukaan bangunan yang melengkung atau kendaraan. (Nelson, 2003)



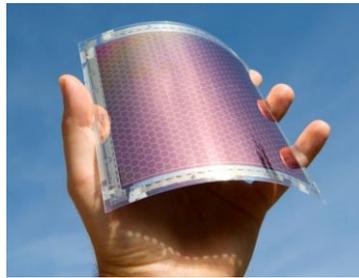
Gambar 2.5 Panel Fotovoltaik thin-film

(Sumber : tokopedia.com)

4. Sel Fotovoltaik Organik (*Organic Photovoltaics*, OPV)

Sel fotovoltaik organik menggunakan bahan organik atau polimer untuk mengonversi cahaya menjadi listrik. Teknologi ini masih dalam tahap pengembangan dan penelitian. Salah satu keunggulan utama sel fotovoltaik organik adalah potensi biaya produksi yang rendah dan fleksibilitas tinggi. Bahan organik dapat dicetak pada berbagai permukaan menggunakan teknik cetak *roll-to-roll*, membuatnya lebih mudah diproduksi dalam skala besar. Namun, efisiensi dan umur sel fotovoltaik organik masih rendah dibandingkan dengan teknologi fotovoltaik lainnya. Sel-sel ini juga lebih sensitif terhadap degradasi lingkungan, yang membatasi aplikasi praktisnya saat ini. Meski demikian, sel fotovoltaik organik memiliki potensi besar untuk digunakan pada

perangkat portabel atau aplikasi khusus yang memerlukan fleksibilitas tinggi. (Nelson, 2003)

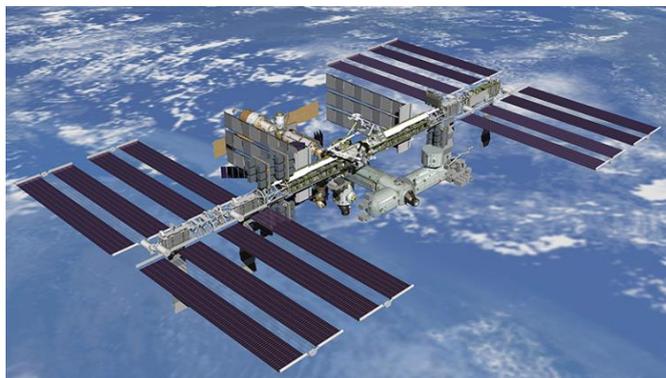


Gambar 2.6 *Organic Photovoltaics*

(Sumber : intechopen.com)

5. Panel Tandem atau *Multi-Junction*

Panel tandem atau *multi-junction* menggunakan beberapa lapisan bahan semikonduktor dengan spektrum penyerapan yang berbeda untuk menangkap lebih banyak energi dari spektrum cahaya matahari. Setiap lapisan semikonduktor didesain untuk menyerap panjang gelombang cahaya yang berbeda, meningkatkan efisiensi keseluruhan panel. Beberapa prototipe panel tandem telah mencapai efisiensi lebih dari 40%. Meskipun efisiensi sangat tinggi, proses produksi panel tandem sangat kompleks dan mahal. Akibatnya, teknologi ini lebih sering digunakan untuk aplikasi khusus seperti satelit dan aplikasi luar angkasa, di mana efisiensi sangat tinggi lebih penting daripada biaya. Panel tandem berpotensi menjadi teknologi masa depan untuk meningkatkan efisiensi sistem fotovoltaik komersial. (Nelson, 2003)



Gambar 2.7 *Multi-Junction PV*

(Sumber : spinoff.nasa.gov)

2.4 Aspek Lingkungan

Penggunaan solar panel pada kendaraan beremisi rendah memiliki dampak lingkungan yang signifikan dan beragam. Ini bukan hanya tentang mengurangi emisi gas rumah kaca, tetapi juga tentang pengurangan polusi udara, pengurangan konsumsi bahan bakar, pengurangan dampak pertambangan dan pengolahan bahan bakar fosil, serta potensi untuk mengubah paradigma energi global menuju sumber energi terbarukan yang lebih bersih dan berkelanjutan. Mari kita bahas lebih lanjut tentang dampak lingkungan dari penggunaan solar panel pada kendaraan beremisi rendah. (Delucchi & Jacobson, 2011)

Salah satu dampak yang paling signifikan dari penggunaan solar panel pada kendaraan beremisi rendah adalah mengurangi emisi gas rumah kaca. Emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO₂), merupakan kontributor utama terhadap pemanasan global dan perubahan iklim yang sedang terjadi di seluruh dunia. Kendaraan konvensional yang menggunakan bahan bakar fosil menghasilkan emisi CO₂ dalam jumlah besar setiap kali mereka digunakan, baik untuk perjalanan jarak pendek maupun jarak jauh. Dengan beralih ke kendaraan beremisi rendah yang menggunakan energi surya sebagai sumber energi utama, emisi CO₂ dapat dikurangi secara signifikan atau bahkan dieliminasi sepenuhnya. Solar panel pada kendaraan beremisi rendah mengubah sinar matahari menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk menggerakkan motor listrik atau mengisi daya baterai kendaraan. Dengan demikian, tidak ada pembakaran bahan bakar fosil yang terjadi, sehingga tidak ada emisi CO₂ yang dihasilkan secara langsung dari kendaraan tersebut. Kontribusi pengurangan emisi gas rumah kaca dari kendaraan beremisi rendah yang menggunakan solar panel sangat penting dalam konteks perlindungan lingkungan dan mitigasi perubahan iklim global. Pemanasan global telah menyebabkan efek yang signifikan, seperti peningkatan suhu rata-rata global, perubahan pola cuaca yang ekstrem, dan kenaikan permukaan air laut. Semua ini berdampak pada kehidupan manusia, keberlangsungan ekosistem, dan stabilitas lingkungan secara keseluruhan. Selain CO₂, gas rumah kaca lainnya seperti metana (CH₄) dan nitrogen oksida (NO_x) juga berkontribusi terhadap efek rumah kaca. Kendaraan beremisi rendah yang menggunakan energi surya juga dapat membantu mengurangi emisi gas-gas tersebut, terutama jika kendaraan tersebut juga

menggunakan teknologi yang meminimalkan produksi gas-gas tersebut, seperti katalisator yang efisien. Pengurangan emisi gas rumah kaca dari kendaraan beremisi rendah bukan hanya memberikan manfaat langsung bagi lingkungan dan kesehatan manusia, tetapi juga memberikan sinyal penting dalam upaya global untuk mengurangi jejak karbon dan beralih ke sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Ini sejalan dengan komitmen banyak negara dan organisasi untuk mencapai target emisi nol netto atau net-zero emissions, di mana emisi yang dihasilkan sama dengan jumlah yang dapat diserap oleh lingkungan atau yang dapat dihilangkan melalui teknologi penghapusan karbon. Solar panel pada kendaraan beremisi rendah adalah salah satu solusi inovatif yang dapat membantu mengurangi jejak karbon transportasi, mempercepat transisi menuju mobilitas yang lebih bersih, dan memainkan peran penting dalam mencapai tujuan global untuk menjaga keseimbangan iklim dan lingkungan bumi. (Delucchi & Jacobson, 2011)



Gambar 2.8 Efek Rumah Kaca
(Sumber : kapanlagiplus.com)

Selain mengurangi emisi gas rumah kaca, penggunaan solar panel pada kendaraan beremisi rendah juga membantu mengurangi polusi udara. Kendaraan konvensional menghasilkan berbagai polutan udara, seperti nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC), dan partikulat, yang dapat merusak kualitas udara dan kesehatan manusia. Dengan menggunakan energi surya, kendaraan beremisi rendah tidak lagi memerlukan pembakaran bahan bakar fosil, sehingga mengurangi jumlah polutan yang dilepaskan ke udara. Ini berkontribusi pada peningkatan kualitas udara di lingkungan perkotaan dan mengurangi risiko terhadap masalah kesehatan yang terkait dengan polusi udara. Kendaraan beremisi rendah yang menggunakan solar

panel cenderung memiliki efisiensi energi yang lebih baik dibandingkan kendaraan konvensional. Solar panel dapat mengisi daya baterai kendaraan secara langsung atau menyediakan daya langsung untuk motor listrik, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Dengan demikian, konsumsi bahan bakar dapat dikurangi secara signifikan, mengurangi jejak karbon kendaraan dan mengurangi tekanan terhadap pasokan bahan bakar fosil yang terbatas. Penggunaan solar panel pada kendaraan beremisi rendah juga mencerminkan perubahan paradigma energi global menuju sumber energi terbarukan yang lebih bersih dan berkelanjutan. Dengan terus berkembangnya teknologi solar panel dan penurunan biaya produksinya, kendaraan beremisi rendah yang menggunakan energi surya menjadi semakin terjangkau dan dapat diakses oleh masyarakat luas. Ini mengirimkan sinyal positif kepada industri dan konsumen tentang pentingnya beralih ke sumber energi yang ramah lingkungan dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang terbatas. (Delucchi & Jacobson, 2011)