

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang Relevan

Dalam penelitian mengenai Analisis pengaruh radiasi cahaya matahari, suhu dan polutan terhadap daya output PLTS, penulis memuat beberapa literatur yang digunakan dari penelitian sebelumnya sebagai teori pendukung yaitu:

Berdasarkan penelitian[1] pada tahun 2021 dengan judul “*Analisa radiasi matahari terhadap panel surya 50 WP*” Penelitian ini membahas pengaruh intensitas cahaya terhadap besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Metode yang digunakan adalah kaji tindak, dimulai dengan mengenali karakteristik sel surya, kemudian menyiapkan alat dan bahan, dilanjutkan dengan proses pengambilan data, perhitungan, analisis, serta penyusunan laporan hasil penelitian. Peralatan yang digunakan meliputi lux meter untuk mengukur intensitas cahaya matahari, serta alat ukur arus dan tegangan guna mengetahui keluaran listrik dari panel surya. Pengamatan dilakukan selama empat minggu menggunakan panel surya berkapasitas 50 Wp. Pada pukul 08.00 WIB dengan kondisi cuaca cerah, intensitas cahaya terukur sebesar 398,05 W/m², menghasilkan tegangan 16,45 Volt dan arus 0,73 *Ampere*. Nilai intensitas cahaya terus meningkat hingga mencapai puncak sekitar pukul 14.00 WIB sebesar 540,18 W/m², dengan tegangan 18,425 Volt dan arus 0,81 *Ampere*. Setelah itu, nilainya berangsur menurun, misalnya pada pukul 17.00 WIB intensitas cahaya turun menjadi 384,75 W/m², dengan tegangan 15,7 Volt dan arus 0,59 *Ampere*. Perubahan nilai tersebut terjadi karena kondisi cuaca selama penelitian rata-rata cerah dan sinar matahari tidak tertutup awan.

Berdasarkan penelitian[2] pada tahun 2019 dengan judul “*Analisa Unjuk Kerja Grid Inverter Terhadap Pengaruh radiasi matahari dan temperatur PV pada PLTS On-Grid*” Penelitian ini membahas pengaruh radiasi matahari dan suhu terhadap kinerja sistem PLTS tipe *On-Grid*, yang berfungsi menyearahkan tegangan DC dari PLN untuk menghasilkan tegangan serta arus sebagai keluaran listrik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi studi literatur dan pengukuran langsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan radiasi matahari di atas 560 W/m² tidak selalu menyebabkan kenaikan daya GTI secara signifikan. Hal ini terjadi karena kenaikan

radiasi biasanya disertai dengan meningkatnya suhu pada panel surya. Ketika suhu panel melebihi 35°C, efisiensi daya cenderung menurun. Sebagai contoh, pada kondisi radiasi yang relatif sama sekitar 270 W/m², namun suhu panel naik dari 39°C menjadi 44°C, daya GTI turun dari 261,2 W menjadi 152,6 W. Penurunan ini terjadi karena daya keluaran panel surya (PV) juga berkurang dari 307,42 W menjadi 185,48 W akibat meningkatnya suhu pada panel.

Berdasarkan penelitian[3] pada tahun 2025 dengan judul “*Pengaruh suhu dan durasi penyinaran panel surya terhadap efisiensi energi panel surya*” Penelitian ini mengkaji pengaruh suhu dan lama penyinaran matahari terhadap efisiensi panel surya di wilayah tropis, dengan lokasi penelitian di kampus ITPLN. Proses pengumpulan data dilakukan melalui tiga metode, yaitu studi literatur, wawancara, dan observasi lapangan. Studi literatur dilakukan dengan meninjau berbagai penelitian sebelumnya yang relevan, wawancara dilakukan bersama narasumber yang memiliki pemahaman terkait topik penelitian, sedangkan observasi dilakukan secara langsung di lokasi penelitian untuk memperoleh data nyata. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu memiliki dampak negatif yang kuat terhadap efisiensi panel surya, baik pada musim kemarau (koefisien - 1,128) maupun musim hujan (-1,065). Sebaliknya, durasi penyinaran matahari memberikan pengaruh positif meskipun tidak terlalu besar, yaitu 0,361 di musim kemarau dan 0,209 di musim hujan. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa suhu tinggi merupakan faktor utama yang menurunkan kinerja panel, terlepas dari kondisi musim. Sementara itu, radiasi matahari tetap berperan penting meskipun intensitasnya rendah. Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini menekankan pentingnya penerapan sistem pendingin serta strategi penyesuaian iklim yang tepat agar sistem PLTS di daerah tropis dapat beroperasi dengan lebih efisien.

Berdasarkan penelitian[4] pada tahun 2020 dengan judul “*Analisis pengaruh kondisi panel surya kotor dengan panel surya bersih terhadap energi listrik yang dihasilkan*” Penelitian ini meneliti perbandingan antara kondisi panel surya yang kotor dan bersih terhadap kinerja PLTS serta daya listrik yang dihasilkan. Metode yang digunakan adalah studi literatur, dengan meninjau berbagai hasil penelitian sebelumnya sebagai dasar teori, kemudian dilanjutkan dengan persiapan alat dan bahan untuk proses pengambilan data. Pengamatan dilakukan antara pukul 11.00 hingga 13.00 dengan selang waktu setiap 5

menit. Hasil pengukuran yang ditampilkan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa pada kondisi panel kotor, peningkatan intensitas cahaya justru menyebabkan tegangan menurun, dan sebaliknya. Perubahan ini memengaruhi kestabilan serta efisiensi konversi energi cahaya menjadi listrik. Sedangkan pada panel bersih, nilai arus dan tegangan yang dihasilkan lebih tinggi, dan proses perubahan energi matahari menjadi listrik berlangsung lebih stabil dan efisien.

Berdasarkan penelitian[5] pada tahun 2022 dengan judul “*Pengaruh polutan pada permukaan panel surya terhadap kinerja panel surya kapasitas 10 Wp*” Penelitian ini bertujuan untuk menilai kinerja panel surya berdasarkan pengaruh kondisi permukaannya terhadap lama pengisian baterai, arus, tegangan, dan daya. Pengujian dilakukan secara langsung menggunakan panel surya berkapasitas 10 Wp pada empat kondisi: bersih kering, bersih basah, terpolusi basah, dan terpolusi kering, dengan melibatkan jenis polutan larut dan tidak larut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel bersih kering memberikan daya rata-rata tertinggi sebesar 5,42 Watt dengan waktu pengisian tercepat, yaitu 6 jam. Kondisi bersih basah menghasilkan daya 4,88 Watt dengan waktu 6 jam 10 menit, terpolusi basah menghasilkan 4,77 Watt dalam 6 jam 14 menit, sedangkan terpolusi kering memiliki daya terendah 4,43 Watt dengan waktu pengisian sekitar 6 jam 20 menit.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan energi listrik. Energi ini berasal dari sinar foton matahari yang ditangkap oleh sel surya (*photovoltaic*) dan diubah menjadi listrik arus searah (DC). Jika diperlukan, listrik DC tersebut bisa diubah menjadi listrik arus bolak-balik (AC) agar dapat digunakan untuk peralatan rumah tangga. PLTS tetap bisa menghasilkan listrik meskipun saat cuaca mendung, asalkan masih ada cahaya matahari yang cukup.

Secara umum, PLTS dapat dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam berbagai skala, mulai dari kecil hingga besar. PLTS termasuk sumber energi terbarukan, karena menggunakan sinar matahari yang tidak akan habis. Selain itu,

PLTS juga ramah lingkungan, sebab tidak menimbulkan polusi udara, air, maupun suara. Sistem ini tidak memiliki komponen berputar, tidak menghasilkan gas buang, dan tidak mencemari lingkungan. Karena keunggulannya, PLTS menjadi salah satu solusi terbaik untuk menghasilkan energi bersih dan berkelanjutan di masa depan.

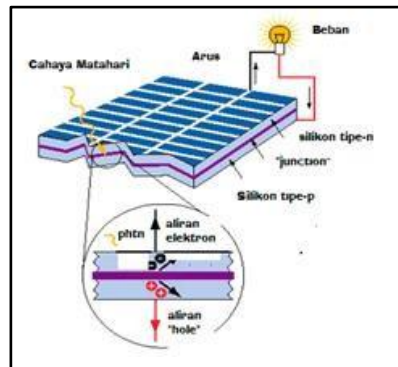


Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya[1]

2.2.2 Komponen Utama PLTS

- Sel Surya

Sel surya atau sel fotovoltaik berasal dari istilah bahasa Inggris *photovoltaic*, yang terdiri dari kata *photo* (cahaya) dan *volt* (satuan listrik dari nama Alessandro Volta). Penemuan prinsip ini pertama kali dilakukan oleh Edmond Becquerel dan rekannya pada abad ke-18[1]. Secara sederhana, *photovoltaic* berarti cahaya yang menghasilkan listrik. Sel surya berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik. Setiap sel surya menghasilkan tegangan kecil, sekitar 0,6 volt tanpa beban dan 0,45 volt saat diberi beban. Untuk mendapatkan tegangan lebih tinggi, beberapa sel disusun seri; misalnya, 36 sel dapat menghasilkan sekitar 16 volt untuk mengisi aki 12 volt. Kumpulan beberapa sel disebut panel surya, dan beberapa panel dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga. Ketika bahan semikonduktor seperti silikon terkena cahaya matahari, terjadi pelepasan elektron yang disebut efek fotolistrik. Cahaya matahari terdiri dari partikel energi bernama *photon*. Saat *photon* mengenai sel surya, sebagian energinya diserap dan memindahkan energi ke elektron dalam bahan semikonduktor. Elektron yang terlepas dari ikatannya bergerak membentuk arus listrik, sedangkan ruang kosong yang ditinggalkan disebut “lubang” (*hole*). Fenomena inilah yang menjadi dasar proses pembangkitan listrik pada sel surya.

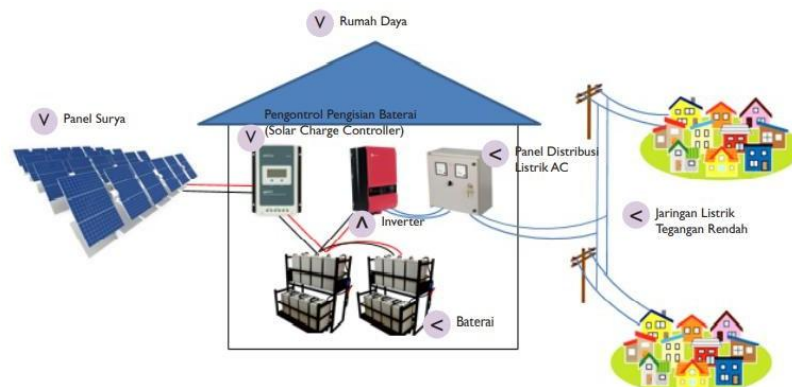


Gambar 2. 2 Sel Surya Mengubah Energi Matahari Menjadi Listrik[1]

- Panel Surya

Panel surya adalah perangkat yang digunakan untuk mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Cara kerjanya didasarkan pada prinsip efek fotovoltaiik, yaitu saat cahaya matahari mengenai permukaan sel surya dan menghasilkan arus listrik. Panel surya banyak dimanfaatkan karena sumber energinya sangat melimpah, tidak menimbulkan polusi, dan ramah terhadap lingkungan. Di dalam panel surya terdapat banyak sel surya (*solar cell*) yang biasanya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Setiap sel surya hanya mampu menghasilkan tegangan kecil sekitar 0,5 volt. Karena itu, beberapa sel disusun secara seri dan paralel agar bisa menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar. Kumpulan dari sel-sel tersebut disebut panel surya atau modul surya.

Berdasarkan bahan dan cara pembuatannya, panel surya dibagi menjadi beberapa jenis. Pertama, *monocrystalline*, yaitu panel yang dibuat dari satu kristal silikon murni. Jenis ini paling efisien dan tahan lama, tetapi harganya cukup mahal. Kedua, *polycrystalline*, yang dibuat dari campuran beberapa kristal silikon. Jenis ini lebih murah namun efisiensinya sedikit lebih rendah. Ketiga, *thin film*, yaitu panel berbentuk lapisan tipis yang ringan dan fleksibel. Jenis ini cocok digunakan di area luas meski efisiensinya rendah. Dalam penerapannya, panel surya biasanya dipasang di atap rumah, bangunan, atau tempat terbuka yang mendapat banyak sinar matahari. Listrik yang dihasilkan dapat langsung digunakan untuk keperluan sehari-hari atau disimpan di dalam baterai agar bisa dimanfaatkan pada malam hari maupun saat cuaca mendung.

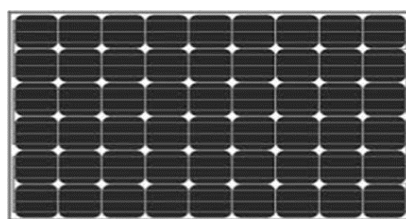


Gambar 2. 3 Diagram Komponen PLTS[6]

Adapun jenis-jenis panel surya adalah sebagai berikut:

1. *Monocrystalline*

Panel jenis ini termasuk yang paling efisien karena dibuat dengan teknologi canggih dan mampu menghasilkan listrik lebih banyak dari setiap luas permukaannya. Panel *monocrystalline* umumnya digunakan untuk kebutuhan listrik berkapasitas besar, terutama di wilayah yang memiliki cuaca ekstrem atau kondisi lingkungan yang berat. Tingkat efisiensinya dapat mencapai sekitar 15%. Namun, kekurangannya, panel ini tidak bekerja maksimal di tempat yang minim cahaya matahari, seperti area yang teduh, serta kinerjanya bisa menurun saat cuaca mendung.



Gambar 2. 4 *Monocrystalline*[7]

2. *Polycrystalline*

Panel jenis ini memiliki struktur kristal yang tidak teratur karena dibuat melalui proses pengecoran. Untuk menghasilkan daya listrik setara dengan panel monokristal, panel ini memerlukan area permukaan yang lebih besar. Tingkat

efisiensinya lebih rendah, sekitar 1-2%[6], namun harganya lebih terjangkau dibandingkan panel *monocrystalline*.



Gambar 2. 5 *Polycrystalline*[7]

3. *Thin Film Photovoltaic*

Panel jenis ini tersusun dari dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan mikro-kristal silikon dan *amorf* yang memiliki efisiensi sekitar 8,5%, sehingga diperlukan area permukaan yang lebih luas untuk menghasilkan daya listrik setara dengan panel monokristal maupun polikristal. Untuk versi terbarunya, yaitu *Thin Film Triple Junction Photovoltaic* yang terdiri dengan tiga lapisan, memiliki kinerja yang sangat baik bahkan saat kondisi cuaca mendung. Panel ini mampu menghasilkan daya listrik hingga 45% lebih tinggi dibandingkan jenis panel lain dengan ukuran yang sama.



Gambar 2. 6 *Thin Film Photovoltaic*[7]

- *Solar Charge Controller* atau *Battery Charge Controller (BCC)*

Solar Charge Controller merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya. Alat ini berfungsi untuk mengatur aliran listrik, baik dari panel surya menuju baterai maupun dari baterai ke beban yang digunakan yang tujuan utamanya adalah melindungi baterai agar tidak mengalami pengisian berlebih

yang dapat menyebabkan kerusakan. Selain itu, alat ini juga berperan dalam menstabilkan tegangan dan arus yang berasal dari panel surya sebelum dialirkan ke baterai. Umumnya, panel surya bertegangan 12 volt mampu menghasilkan tegangan sekitar 16 hingga 20 volt arus searah (DC). Jika tegangan sebesar itu langsung masuk ke baterai tanpa diatur, baterai bisa cepat rusak karena kelebihan muatan. Umumnya, baterai 12 volt hanya memerlukan tegangan pengisian antara 13 hingga 14,8 volt agar bisa terisi penuh dengan aman. Dengan adanya alat ini, proses pengisian baterai menjadi lebih stabil, efisien, dan umur baterai bisa lebih panjang.



Gambar 2. 7 Solar Charge Controller[8]

- Inverter

Inverter merupakan perangkat yang berfungsi mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik (AC), yang biasanya digunakan untuk berbagai peralatan listrik rumah tangga. Tegangan DC dari panel surya biasanya bersifat tidak stabil karena dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari. Inverter berperan dalam menstabilkan tegangan tersebut agar menghasilkan arus AC yang konstan dan aman digunakan. Tegangan serta arus keluaran dari inverter umumnya telah disesuaikan dengan standar nasional maupun internasional. Dalam perancangan sistem PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya), pemilihan jenis inverter disesuaikan dengan konfigurasi yang digunakan, yaitu tipe *On Grid*, *Off Grid*, maupun *Hybrid*.

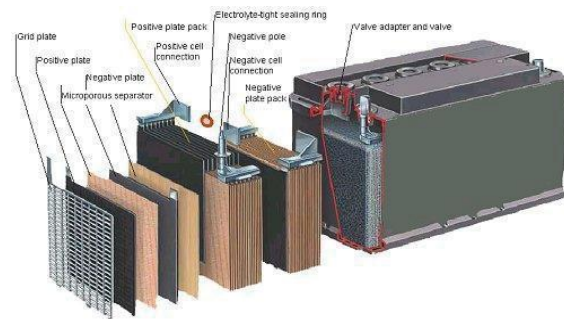


Gambar 2. 8 Inverter[9]

- Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen penting dalam sistem PLTS dengan harga yang tergolong tinggi setelah panel surya dan inverter. Baterai berfungsi untuk mengubah energi kimia yang tersimpan di dalamnya menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan oleh berbagai perangkat elektronik. Jenis baterai yang paling banyak digunakan saat ini adalah baterai *lithium*[10] karena mampu menyimpan energi dalam jumlah besar, memiliki umur pakai yang lama, serta menggunakan bahan katoda yang lebih murah, aman, dan ramah lingkungan. Karena itu, perawatan dan pengoperasian yang benar sangat penting agar baterai bisa bertahan lama. Jika tidak dirawat dengan baik, umur baterai bisa berkurang lebih cepat, menyebabkan biaya operasional meningkat, atau bahkan kapasitas penyimpanannya berkurang. Kapasitas baterai ditentukan berdasarkan pola penggunaan listrik dalam sistem PLTS. Kapasitas ini dinyatakan dalam satuan *Ampere hour* (Ah). Misalnya, baterai berkapasitas 2000 Ah dengan tegangan 2 volt memiliki kemampuan menyimpan energi sebesar $2000 \text{ Ah} \times 2 \text{ V} = 4000 \text{ Wh}$ atau 4 kWh. Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dalam memilih baterai agar tahan lama dan efisien antara lain: *Depth of Discharge (DoD)* atau seberapa banyak energi yang digunakan dari total kapasitas baterai, jumlah siklus pengisian dan pengosongan, efisiensi baterai, kecepatan pengisian dan pengosongan (*charge/discharge rate*), serta suhu kerja baterai. Semua faktor ini berpengaruh terhadap performa dan umur baterai dalam sistem PLTS. Karena PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) sangat bergantung pada sinar matahari, maka dibutuhkan baterai sebagai tempat penyimpanan energi sementara. Baterai berfungsi menyimpan

listrik saat sinar matahari cukup dan menyediakannya kembali ketika matahari tidak bersinar, misalnya saat malam hari atau saat cuaca mendung.



Gambar 2. 9 Baterai[8]

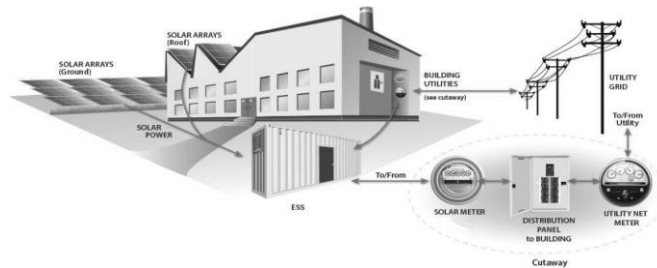
2.2.3 Konfigurasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Konfigurasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan hal penting yang perlu dipahami untuk mengetahui bagaimana sistem tenaga surya bekerja dalam menghasilkan dan menyalurkan energi listrik. Dengan memahami konfigurasi PLTS, kita dapat menentukan sistem yang paling sesuai dengan kebutuhan, baik untuk rumah, industri, maupun daerah terpencil. Setiap jenis konfigurasi memiliki cara kerja dan keunggulan masing-masing dalam memanfaatkan energi matahari sebagai sumber listrik utama. Dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya, terdapat tiga jenis konfigurasi berdasarkan cara kerjanya dengan jaringan listrik. Pertama, PLTS *On-Grid*, yaitu sistem yang terhubung langsung dengan jaringan listrik PLN. Kedua, PLTS *Off-Grid* atau *Stand-Alone*, yaitu sistem yang berdiri sendiri tanpa terhubung ke jaringan PLN dan biasanya menggunakan baterai untuk menyimpan energi. Ketiga, PLTS *Hybrid*, yaitu sistem yang menggabungkan tenaga surya dengan sumber listrik lain seperti genset atau PLN agar pasokan listrik tetap stabil.

- PLTS *On-Grid*

Sistem PLTS Terinterkoneksi (*On-Grid*) atau *Grid Connected PV System* merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan listrik dan terhubung langsung dengan jaringan listrik milik PLN.

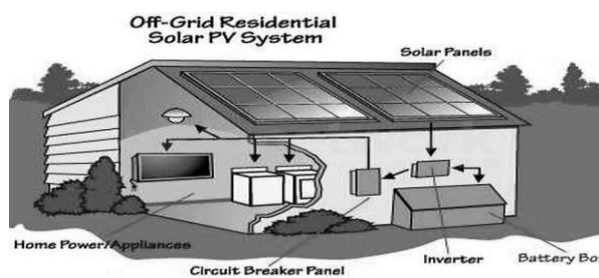
Energi matahari dikumpulkan melalui panel surya (modul fotovoltaik) untuk menghasilkan listrik dalam jumlah maksimal dan apabila malam hari akan menggunakan listrik suplai dari PLN. Sistem ini disebut ramah lingkungan karena tidak menimbulkan emisi selama proses pengoperasiannya.



Gambar 2. 10 PLTS *On-Grid* [11]

- PLTS *Off-Grid*

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (*Off-Grid*) adalah sistem listrik yang menggunakan sinar matahari sebagai satu-satunya sumber energi tanpa terhubung ke jaringan PLN. Energi matahari dikonversi menjadi listrik dengan bantuan panel surya (fotovoltaik). Sistem ini biasanya digunakan di daerah terpencil atau pedesaan yang belum mendapatkan pasokan listrik dari PLN. Dengan adanya sistem ini, masyarakat di wilayah tersebut tetap dapat menikmati listrik secara mandiri menggunakan energi matahari.

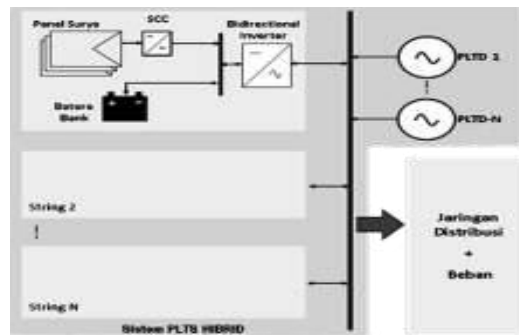


Gambar 2. 11 PLTS *Off-Grid* [11]

- PLTS *Hybrid*

Merupakan gabungan antara sistem *On-Grid* dan *Off-Grid*. Pada sistem ini, sumber listrik tidak hanya berasal dari panel surya, tetapi juga bisa dari PLN atau

generator. Dengan cara ini, suplai listrik akan tetap stabil karena ketika sinar matahari berkurang, sistem dapat beralih menggunakan sumber daya lain. PLTS *Hybrid* banyak digunakan di rumah, kantor, atau area yang membutuhkan pasokan listrik tanpa gangguan.



Gambar 2. 12 PLTS *Hybrid* [12]

2.2.4 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) bekerja ketika cahaya matahari yang membawa energi foton mengenai sel surya. Sel surya kemudian mengubah energi foton tersebut menjadi energi listrik. Hal ini bisa terjadi karena bahan penyusun sel surya terbuat dari semikonduktor yang memiliki dua lapisan semikonduktor, yaitu lapisan atas yang bermuatan negatif (n) dan lapisan bawah yang bermuatan positif (p)[12].



Gambar 2. 13 Ilustrasi Terjadinya Listrik Pada Sel Surya[12]

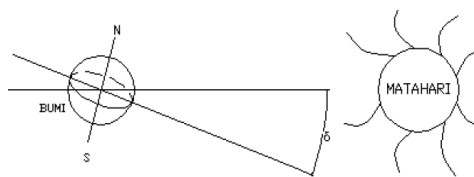
Saat permukaan sel surya terkena cahaya matahari, terbentuk pasangan antara elektron dan lubang. Elektron kemudian bergerak keluar dari sel surya menuju rangkaian luar dan menghasilkan arus listrik. Arus ini bisa langsung digunakan atau disimpan dalam baterai untuk dipakai nanti. Jumlah pasangan elektron dan lubang yang terbentuk

bergantung pada kuatnya cahaya dan panjang gelombang cahaya yang diterima sel surya. Semakin besar intensitas cahaya, semakin banyak foton yang mengenai permukaan sel surya, sehingga semakin banyak pula elektron yang dihasilkan dan arus yang dihasilkan pun semakin besar. Selain itu, semakin pendek panjang gelombang cahaya, energi fotonnya semakin tinggi, sehingga energi elektron dan arus listrik yang dihasilkan juga meningkat. Rasio kinerja (*Performance Ratio/PR*) digunakan untuk mengukur efisiensi nyata dari sistem PLTS. Nilai PR memperhitungkan berbagai kerugian daya, seperti kerugian akibat suhu, inverter, kabel, kotoran (*fouling*), bayangan (*ghosting*), ketidaksesuaian modul, dan dioda *bypass*. PR menunjukkan seberapa efektif sistem PLTS memanfaatkan radiasi matahari setelah memperhitungkan semua kehilangan energi. Nilai ini juga digunakan untuk membandingkan kinerja sistem PLTS di berbagai lokasi, kapasitas, dan jenis instalasi.

Penurunan kinerja sistem PLTS bisa disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kondisi cuaca dan lingkungan, kesalahan saat pengiriman, pemasangan, maupun perawatan di lapangan. Walaupun teknologi PLTS terus berkembang, pengaruh cuaca tetap menjadi tantangan utama. Dalam kondisi nyata di luar ruangan, kinerja modul PLTS biasanya lebih rendah dibandingkan hasil pengujian di laboratorium. Faktor utama yang memengaruhi kinerjanya meliputi intensitas sinar matahari, suhu, arah dan kecepatan angin, kelembapan udara, serta debu. Secara umum, radiasi matahari dan suhu udara memiliki pengaruh paling besar terhadap hasil energi PLTS, dibandingkan dengan kelembapan dan angin. Debu juga menjadi masalah penting, terutama di daerah beriklim kering seperti kawasan Teluk, karena dapat menurunkan efisiensi panel surya secara signifikan. Setiap kondisi lingkungan memberikan dampak berbeda terhadap kinerja PLTS. Misalnya, daya keluaran akan menurun ketika suhu, kelembapan, dan debu meningkat, tetapi dapat meningkat dengan adanya angin yang membantu mendinginkan panel. Perbedaan iklim antarwilayah di dunia juga menyebabkan perbedaan kinerja sistem PLTS. Secara keseluruhan, faktor seperti radiasi matahari, suhu, kecepatan angin, curah hujan, kelembapan, dan debu adalah elemen penting yang memengaruhi performa panel surya.

2.2.5 Pengaruh Radiasi Cahaya Matahari

Radiasi matahari adalah energi panas dan cahaya yang dihasilkan dari proses reaksi termonuklir di inti matahari. Dalam proses ini, dua inti atom bergabung menjadi satu inti yang lebih besar dan menghasilkan energi dalam jumlah besar. Energi inilah yang menjadi sumber utama bagi berbagai proses di atmosfer bumi, seperti pembentukan cuaca dan iklim. Radiasi dari matahari sangat penting karena menjadi dasar dari semua sumber energi lain yang digunakan manusia. Besarnya energi surya diukur dari daya yang diterima permukaan bumi. Nilai rata-rata energi matahari di luar atmosfer bumi adalah sekitar 1.353 watt per meter persegi, yang disebut sebagai konstanta surya. Namun, sebagian energi ini berkurang karena diserap dan dipantulkan oleh atmosfer, sehingga energi yang benar-benar sampai ke permukaan bumi disebut radiasi surya global. Radiasi surya global ini terdiri dari tiga jenis, yaitu radiasi langsung (*direct radiation*) yang datang langsung dari matahari, dan radiasi sebaran (*diffuse radiation*) dan radiasi pantulan yang dipantulkan oleh gas, debu, dan uap air di atmosfer.



Gambar 2. 14 Deklinasi Matahari, Posisi Pada Musim Panas[8]

Nilai insolasi surya dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti rotasi bumi, kondisi cuaca, jumlah awan, musim, serta letak lintang suatu wilayah. Pada hari yang cerah, intensitas sinar matahari akan meningkat sejak matahari terbit, mencapai titik tertinggi pada siang hari, kemudian menurun kembali saat matahari terbenam. Cahaya matahari memiliki peran penting dalam kehidupan manusia, termasuk dalam penyediaan sumber penerangan. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui besarnya intensitas cahaya yang dibutuhkan di suatu lokasi. Energi matahari yang sampai ke permukaan bumi terdiri dari berbagai panjang gelombang, mulai dari sekitar 300 nanometer hingga 4 mikron. Sebagian dari sinar matahari tersebut dipantulkan atau disebarkan oleh atmosfer (radiasi sebar), sementara sebagian lainnya langsung mencapai permukaan bumi (radiasi

langsung). Kedua jenis radiasi inilah yang dimanfaatkan untuk mengukur jumlah energi matahari yang diterima oleh sel surya.

2.2.6 Pengaruh Suhu Terhadap Daya Output PLTS

Salah satu hal yang mempengaruhi kinerja panel surya adalah suhu pada panel tersebut. Beberapa faktor yang dapat memengaruhi suhu panel antara lain suhu lingkungan, kecepatan angin, jenis pemasangan panel, dan koefisien suhu (*temperature coefficient*). Kinerja panel surya akan bekerja paling baik pada suhu sekitar 25°C, namun jika suhunya naik melebihi angka ini, tegangan yang dihasilkan akan menurun. Setiap kenaikan suhu sekitar 10°C di atas 25°C dapat menyebabkan penurunan daya sekitar 0,5%, sehingga semakin panas suhu panel, semakin berkurang pula daya listrik yang dihasilkan. Selain itu, ada juga kondisi yang disebut partial shading, yaitu ketika sebagian panel surya tertutup bayangan akibat awan, pepohonan, atau bangunan di sekitar. Suhu menjadi salah satu faktor penting yang memengaruhi kinerja panel surya. Panel surya tersusun dari beberapa sel surya yang mampu menyerap energi matahari dengan sangat baik. Ketika panel surya bekerja di bawah paparan sinar matahari, suhu pada sel surya akan meningkat. Kenaikan suhu ini dapat memengaruhi daya listrik yang dihasilkan dan menyebabkan penurunan performa panel. Semakin besar radiasi cahaya matahari yang diterima, semakin tinggi pula energi listrik yang dihasilkan. Namun, jika terdapat bayangan atau suhu terlalu panas, daya keluaran panel surya akan berkurang.

2.2.7 Pengaruh Polutan Terhadap Daya Output PLTS

- Debu dan partikel udara

Debu, serbuk, dan partikel kecil dari udara dapat menempel di permukaan panel akibat angin, hujan, atau polusi udara. Jika menumpuk terlalu banyak, partikel ini akan menghalangi cahaya matahari yang seharusnya diserap oleh panel.

- Polusi udara

Asap dari pabrik atau kendaraan bermotor dapat meninggalkan residu atau lapisan tipis di permukaan panel surya. Beberapa zat kimia dari polusi juga

bisa bereaksi dengan kaca panel, sehingga terbentuk lapisan yang sulit dibersihkan dan menurunkan kemampuan panel menangkap cahaya.

- Debu dan kotoran alami
Kotoran alami seperti debu tanah atau serbuk sari tanaman juga bisa menempel pada panel surya. Walaupun tidak separah polusi industri, penumpukan debu alami tetap dapat membuat kinerja panel menurun.
- Pengaruh cuaca
Cuaca ekstrem seperti angin kencang, hujan deras, atau salju bisa memperparah masalah ini. Misalnya, hujan deras bisa membawa kotoran dari udara dan membuatnya menempel di permukaan panel.

Untuk menghindari masalah tersebut, perawatan rutin sangat penting, seperti membersihkan panel secara berkala. Beberapa teknologi seperti lapisan anti-debu atau sistem pembersih otomatis juga bisa digunakan agar panel tetap bersih dan bekerja dengan baik.

Kotoran yang menumpuk memiliki dampak besar terhadap penurunan kinerja panel surya, di antaranya:

- Turunnya efisiensi energi
Lapisan kotoran menghalangi cahaya yang masuk ke sel surya, sehingga daya listrik yang dihasilkan menjadi lebih sedikit. Semakin tebal kotorannya, semakin besar pula penurunan efisiensinya.
- Menurunnya produksi energi
Jika panel jarang dibersihkan, kotoran yang menumpuk bisa menyebabkan penurunan hasil listrik dari waktu ke waktu, terutama pada sistem yang bergantung penuh pada energi surya.
- Kerusakan pada permukaan panel
Beberapa jenis kotoran yang keras atau tajam bisa menggores atau merusak kaca panel jika dibersihkan dengan cara yang salah. Hal ini dapat memperpendek umur panel dan membuat biaya perawatan meningkat.

Oleh karena itu, menjaga kebersihan panel surya sangat penting agar kinerjanya tetap maksimal dan investasi dalam energi surya bisa memberikan hasil yang terbaik dalam jangka panjang.