

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)**

##### **2.1.2 PLTS**

Efek fotovoltaiik digunakan oleh pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Proses ini terjadi ketika sel surya terkena sinar matahari, yang menyebabkan energi foton melepaskan elektron pada persimpangan semikonduktor tipe-n dan tipe-p, sehingga menghasilkan arus listrik. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021–2030 PT PLN (Persero) mendukung penerapan PLTS sebagai sumber energi. Tujuan dari rencana tersebut adalah untuk meningkatkan kecukupan energi dengan memajukan Energi Baru Terbarukan (EBT) dan program 35 GW. PLTS Atap (rooftop) merupakan PLTS jenis baru yang dipasang pada atap bangunan. Hal ini diatur melalui Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Tahun 2019 yang telah diubah dengan Peraturan Nomor 13 Tahun 2019. Tujuan penggelaran PLTS rooftop adalah untuk memperlancar tujuan Blue print Pengelolaan Energi Nasional yang mencapai kurang lebih 23% pemanfaatan EBT pada tahun 2025. Berdasarkan jenis modul surya, sistem PLTS atap memiliki masa operasional sekitar 20 hingga 30 tahun, dan hanya diperlukan satu kali penggantian inverter pada periode tersebut, menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

##### **2.1.3 Solar Cell (Panel Surya)**

Panel surya adalah perangkat yang mengubah energi dari sinar matahari menjadi energi listrik. Terbuat dari semikonduktor silikon yang dilapisi dengan lapisan khusus, panel surya menangkap sinar matahari. Elektron dalam bahan silikon dilepaskan dan mengalir ketika sinar matahari mengenai panel surya, sehingga menghasilkan arus listrik yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Panel PV (Fotovoltaiik), yang juga disebut sebagai panel surya, dirancang untuk mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik. Dengan meningkatnya intensitas sinar matahari, jumlah energi yang diubah pun meningkat. Untuk mengoperasikan motor pompa air dengan baterai, perlu dipasang panel surya dengan dimensi yang sesuai. Dalam keadaan ideal, daya PV yang diperlukan untuk konversi ini adalah 50 Watt puncak (WP), dan mampu mencapai daya puncaknya selama lima jam setiap hari.

## **2.1.4 Jenis-jenis Panel Surya**

Sel fotovoltaik, yang populer disebut sebagai panel surya, diberi nama berdasarkan prinsip menghasilkan listrik dari cahaya. Efek fotovoltaik digunakan oleh sel fotovoltaik atau PV untuk menangkap energi matahari dan menghasilkan arus listrik melalui dua lapisan dengan muatan berlawanan. Tersedia berbagai jenis panel surya, antara lain:

### **1. Panel Surya Monokristal (Mono-crystalline)**

Teknologi canggih digunakan untuk memproduksi panel monokristalin, yang paling efisien di antara berbagai jenis panel, guna mengoptimalkan produksi energi listrik per satuan luas. Di wilayah yang memiliki kondisi iklim ekstrem, kristal tunggal ini sangat cocok untuk aplikasi konsumsi daya tinggi. panel surya ini dapat mencapai hingga 15%. Namun, kelemahannya adalah performanya dapat terpengaruh negatif di daerah yang kurang mendapatkan sinar matahari langsung, seperti dalam kondisi teduh atau cuaca mendung, di mana efektivitasnya dapat signifikan menurun.

### **2. Panel Surya Polikristal (Poly-crystalline)**

Panel surya ini memiliki struktur kristal yang acak karena dibuat melalui proses pengecoran. Jenis panel ini membutuhkan area yang lebih besar dibandingkan dengan panel monocrystalline untuk menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang sama. Meskipun lebih murah, panel surya dengan struktur kristal acak ini cenderung kurang efisien dibandingkan dengan jenis monocrystalline.

### **3. Panel Surya Thin Film Photovoltaic**

Panel surya ini mencapai efisiensi modul hingga 8,5% dengan menggunakan teknologi lapisan ganda yang mencakup silikon mikrokristalin dan film tipis amorf. Dibandingkan dengan panel monokristalin dan polikristalin, panel ini memerlukan area yang lebih luas untuk menghasilkan setiap watt listrik. Teknologi Film Tipis Persimpangan Tiga Fotovoltaik, yang terdiri dari tiga lapisan, merupakan inovasi yang lebih baru. Panel ini mampu menghasilkan daya hingga 45% lebih besar dibandingkan panel lain dengan kapasitas sebanding dan mempertahankan efisiensi tinggi bahkan dalam kondisi mendung.

#### **2.1.5 Struktur Sel Surya**

Melalui berbagai inovasi, teknologi sel surya mengalami pertumbuhan yang cukup besar seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Sel surya diklasifikasikan menjadi beberapa generasi, antara lain generasi pertama, kedua, ketiga, dan keempat, yang masing-masing dibedakan berdasarkan struktur sel dan komponennya sendiri (untuk informasi lebih lanjut mengenai berbagai jenis teknologi sel surya, silakan merujuk ke artikel "Solar Cell" Sel: Jenis Teknologi"). Struktur dan pengoperasian sel surya berbasis silikon, termasuk sel surya generasi pertama (sel surya silikon) dan generasi kedua (film tipis), akan menjadi fokus utama artikel ini.

#### **2.1.6 Cara Kerja Sel Surya**

Sel surya tradisional beroperasi berdasarkan prinsip sambungan p-n, yaitu sambungan terbentuk antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari atom-atom yang terikat bersama, dengan elektron sebagai komponen dasarnya. Semikonduktor tipe-N mengandung kelebihan elektron (muatan negatif), sedangkan semikonduktor tipe-p memiliki kelebihan lubang (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kelebihan elektron dan lubang ini dihasilkan dengan mendoping material

dengan atom tertentu. Misalnya, silikon diolah dengan boron untuk membuat semikonduktor tipe-p, dan diolah dengan fosfor untuk semikonduktor tipe-n.

Persimpangan pn memainkan peran penting dengan membentuk medan listrik, memungkinkan elektron menjauh dari antarmuka persimpangan untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n berdekatan, kelebihan elektron bermigrasi dari semikonduktor tipe-n ke semikonduktor tipe-p, membentuk daerah anoda pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya, daerah katoda pada semikonduktor tipe-p. Pergerakan elektron dan hole ini menimbulkan medan listrik, yang bila terkena sinar matahari menyebabkan elektron berpindah dari semikonduktor menuju daerah katoda sehingga menghasilkan arus listrik, sedangkan hole bergerak menuju anoda.

### **2.1.7 Intensitas Cahaya Matahari**

Berdasarkan data matahari, ditentukan nilai rata-rata radiasi matahari harian. Rata-rata ini dihitung menggunakan Persamaan 1, di mana Global Horizontal Irradiance (Irradian Matahari Horizontal Global) diukur pada 1625 kWh/m<sup>2</sup>, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Di bawah kondisi standar 1000 W/m<sup>2</sup> untuk Radiasi Horizontal Global, hal ini menghasilkan Peak Sun Hour yang setara dengan 4,45 jam.

**Tabel 2.1** Radiasi Matahari

Bulan	perbulan (kWh/m <sup>2</sup> )
Januari	145
Februari	144
Maret	151
April	134
Mei	144
Juni	127
Juli	132
Agustus	135
September	134
Oktober	142
November	119
Desember	117
Total	1625

## **2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)**

### **2.2.1 PLTB**

Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) merupakan sistem yang dirancang untuk memanfaatkan energi angin untuk menghasilkan listrik [5]. PLTB menjadi pilihan utama pembangkit listrik di daerah yang memiliki potensi energi angin yang signifikan [6]. Energi angin dapat dimanfaatkan di berbagai lanskap, termasuk dataran rendah dan dataran tinggi. Namun, mengidentifikasi secara akurat wilayah-wilayah yang memiliki potensi energi angin yang besar sangat penting untuk memastikan daya saing energi angin dibandingkan dengan sumber-sumber alternatif lainnya. Sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 ditetapkan minimal sebesar 23% dan meningkat menjadi 31% pada tahun 2050. Target kapasitas PLTB pada tahun 2025 adalah 255 MW. Survei yang dilakukan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

(Lapan) di dua puluh wilayah di Indonesia menunjukkan rata-rata kecepatan angin tahunan berkisar antara 2 hingga 6 meter per detik.

### **2.2.2 Generator**

Generator adalah alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Pada generator dibagi menjadi beberapa klasifikasi antara lain :

Berikut adalah versi yang diperbaiki dari paragraf yang Anda berikan:

#### **1. Generator Sinkron**

Generator sinkron memanfaatkan medan magnet berputar di dalam belitan stator untuk menghasilkan energi listrik. Arus DC rotor dihasilkan oleh belitan medan yang dihubungkan ke poros rotor. Listrik keluaran biasanya berupa arus bolak-balik tiga fasa, dengan frekuensinya ditentukan oleh kecepatan putaran rotor. Umumnya, generator sinkron tidak dapat dihubungkan langsung ke jaringan listrik (pada 50Hz) tanpa terlebih dahulu menyinkronkan putarannya dengan jaringan. Namun, ketika dihubungkan melalui jembatan dioda, generator dapat menghasilkan arus searah dengan penyearah yang sesuai.

#### **2. Generator Asinkron:**

Generator asinkron beroperasi berdasarkan interaksi medan magnet antara stator dan rotor. Arus bolak-balik tiga fasa mengalir melalui belitan stator, menciptakan medan magnet yang berputar. Medan magnet ini menginduksi arus pada belitan rotor sehingga menyebabkan rotor berputar. Untuk menjamin putaran, harus selalu ada perbedaan antara medan magnet rotor dan stator. Akibatnya rotor tidak pernah berputar serempak dengan medan stator. Jika

motor beroperasi, rotor bergerak sinkron dengan medan stator. Perbedaan antara kecepatan rotor dan medan stator disebut slip, yang menentukan efisiensi generator.

Berdasarkan jenis arus:

- Generator DC (arus searah)

Generator arus searah (DC) menghasilkan arus yang mengalir dalam satu arah. Mirip dengan generator AC, generator ini dilengkapi komutator dan sikat. Namun, tidak seperti generator AC, komutator tidak berputar mengikuti putaran kawat. Generator ini menghasilkan arus searah, serupa dengan yang dihasilkan oleh baterai. Generator DC terdiri dari loop kawat yang berputar dalam medan magnet, dengan fungsi komutator untuk membalikkan arah arus ketika loop menyelesaikan setengah lingkaran, memastikan tegangan induksi positif terus menerus.

- Generator AC (arus bolak-balik)

Generator arus bolak-balik (AC) menghasilkan arus yang berbalik arah secara berkala. Dalam generator AC, kumparan atau lingkaran kawat berputar dalam medan magnet, biasanya digerakkan oleh turbin di pembangkit listrik tenaga air atau pembangkit listrik tenaga panas. Ujung-ujung lingkaran kawat dihubungkan ke cincin yang berputar, dan arus induksi ditransfer melalui sikat stasioner. Saat loop kawat berputar, perubahan fluks magnet menghasilkan arus induksi, menghasilkan keluaran tegangan sinusoidal dari generator AC.

### 2.2.3 Energy Angin

Angin mengacu pada pergerakan udara antar wilayah dengan tekanan atmosfer berbeda, yang didorong oleh variasi suhu udara. Radiasi matahari yang memanaskan permukaan bumi merupakan pendorong utama pergerakan atmosfer ini. Udara di atas permukaan bumi tidak hanya menyerap panas matahari secara langsung tetapi juga menerima panas melalui radiasi. Variasi suhu dan tekanan udara di seluruh permukaan bumi menciptakan kondisi dimana udara bergerak dari daerah dengan energi panas lebih tinggi ke daerah dengan energi panas lebih rendah, sehingga terjadi arus udara regional [11] [12] [13]. Di Indonesia, potensi energi angin ditandai dengan kecepatan angin rata-rata sekitar 3-5 m/s, yang mampu menghasilkan total keluaran listrik hingga 9.290 MW. Hal ini merupakan sumber energi yang signifikan, terutama mengingat Indonesia saat ini hanya memanfaatkan sekitar 1% dari potensi energi anginnya [14].

**Tabel 2.2** Kecepatan Angin

Kondisi Angin			
Kelas Angin	Kecepatan Angin (m/d)	Kecepatan Angin (km/jam)	Kecepatan Angin (knot/jam)
1	0.3 - 1.5	1 - 5.4	0.58 - 2.92
2	1.6 - 3.3	5.5 - 11.9	23.11 - 6.42
3	3.4 - 5.4	312.0 - 19.5	6.61 - 10.06
4	5.5 - 7.9	19.6 - 28.5	10.7 - 15.4
5	8.0 - 10.7	28.6 - 38.5	15.6 - 20.8
6	10.8 - 13.8	38.6 - 49.7	621 - 26.8
7	13.9 - 17.1	49.8 - 61.5	27 - 33.3
8	17.2	20.7 61.6	74.5 33.5
9	20.8	24.4 74.6	87.9 40.5
10	24.5	28.4 88.0	102.3 47.7
11	28.5	32.6 102.4	117.0 55.4
12	>32.6 >118	>32.6 >118	>32.6 >118
63.4	63.4	63.4	

Sumber: Badan Meteorologi, klimatologi, dan Geofisika