

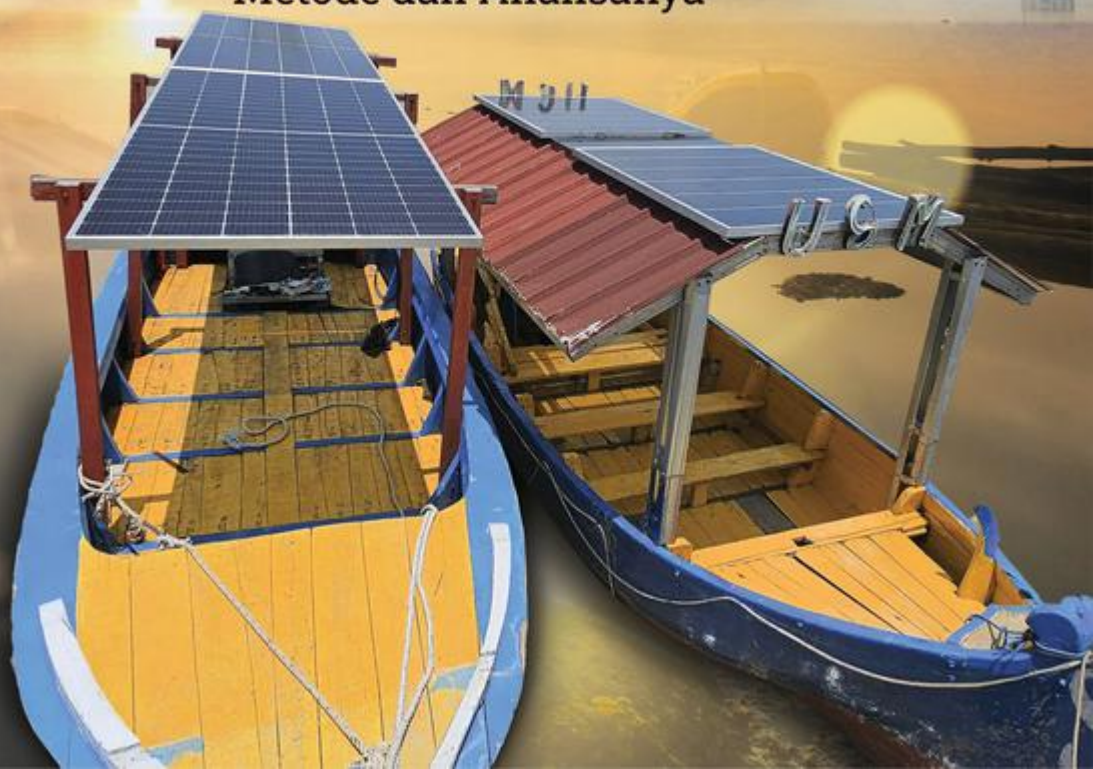
OPTIMALISASI LISTRIK

Tenaga Surya

dalam

Mobilitas Perahu

Metode dan Analisanya



OPTIMALISASI LISTRIK

Tenaga Surya

dalam

Mobilitas Perahu

Metode dan Analisanya

Dr. Supari, S.T., M.T. | Satria Pinandita, S.T., M.Eng.
Syndu Yoga Pratama, S.T.
Lantar Bara Abimanyu, S.T.



USM

Penerbit
litrus.

**OPTIMALISASI LISTRIK TENAGA SURYA DALAM MOBILITAS
PERAHU Metode dan Analisanya**

Ditulis oleh:

Dr. Supari, S.T., M.T.
Satria Pinandita, S.T., M.Eng.
Syndu Yoga Pratama, S.T.
Lantar Bara Abimanyu, S.T.

Diterbitkan, dicetak, dan didistribusikan oleh
PT. Literasi Nusantara Abadi Grup
Perumahan Puncak Joyo Agung Residence Kav. B11 Merjosari
Kecamatan Lowokwaru Kota Malang 65144
Telp : +6285887254603, +6285841411519
Email: literasinusantaraofficial@gmail.com
Web: www.penerbitlitnus.co.id
Anggota IKAPI No. 340/JTI/2022



Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang mengutip
atau memperbanyak baik sebagian ataupun keseluruhan isi buku
dengan cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

Cetakan I, Juli 2024

Perancang sampul: Muhammad Ridho Naufal
Penata letak: Muhammad Ridho Naufal

ISBN : 978-623-519-024-2

viii + 160 hlm. ; 15,5x23 cm.

©Juli 2024



Prakata

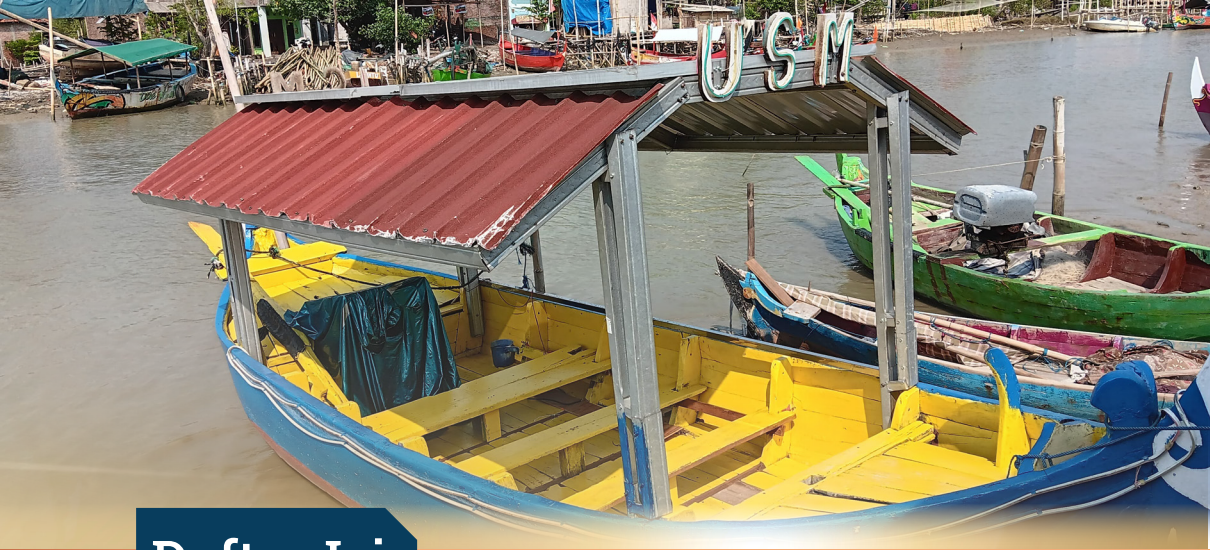
Eksplorasi mendalam tentang penerapan energi listrik tenaga surya dalam mobilitas perahu. Buku ini mengajak Anda untuk menjelajahi dunia teknologi yang sedang berkembang pesat, di mana energi matahari menjadi pilihan utama untuk menggerakkan perahu dengan lebih efisien dan ramah lingkungan.

Buku ini dirancang untuk memberikan panduan praktis yang mencakup berbagai metode inovatif dan analisis mendalam. Dari desain sistem hingga teknologi panel surya terbaru, Anda akan diperkenalkan pada strategi yang dapat meningkatkan performa perahu dengan meminimalkan jejak karbon.

Bukan hanya itu, buku ini juga menyoroti tantangan dan peluang yang muncul seiring dengan penerapan energi surya dalam sektor maritim. Melalui studi kasus dan contoh aplikatif, pembaca akan mendapatkan wawasan tentang bagaimana teknologi ini dapat mengubah paradigma transportasi perahu menuju keberlanjutan yang lebih baik.

Buku ini diharapkan tidak hanya memberi inspirasi bagi para ahli dan praktisi industri maritim, tetapi juga mendorong diskusi lebih lanjut mengenai penggunaan energi terbarukan sebagai solusi masa depan untuk mobilitas perahu yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Semoga buku

ini menjadi panduan berharga bagi upaya kita bersama menciptakan masa depan yang lebih berkelanjutan melalui inovasi dan keberanian untuk mengubah.



Daftar Isi

Prakata.....	iii
Daftar Isi.....	v

BAGIAN I	1
Prawacana	1
Efektivitas Perahu dengan Pemanfaatan Tenaga Surya.....	1

BAGIAN II	5
Konsep Dasar Listrik	5
Definisi Listrik.....	5
Sistematika Listrik	7
Tegangan pada Sistem Tenaga Listrik.....	13
Sistem Tenaga Listrik di Indonesia.....	18

BAGIAN III	25
Pembangkit Tenaga Listrik.....	25
Definisi Pembangkit Tenaga Listrik.....	25

Komponen Pembangkit Tenaga Listrik.....	28
Klasifikasi Sumber Energi Pembangkit Tenaga Listrik	32
Prinsip Kerja dan Watak Pembangkit Listrik	38
Kualitas dan Keandalan Sistem Tenaga Listrik.....	59
BAGIAN IV	69
Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	69
Definisi Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	69
Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	70
Aspek Penyusunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya	74
Potensi Surya Sebagai Listrik Tenaga Surya.....	79
Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	80
BAGIAN V	85
Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	85
Model-Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	85
Pengoprasian Panel Pembangkit Listrik Tenaga Surya	89
Aspek Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya	91
BAGIAN VI	95
Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya	95
Wafer Sel Surya	95
Jenis Panel Surya.....	97
Charge Controller	102
Baterai.....	107
Inverter	112
BAGIAN VII	117
Sistem Penyimpanan Listrik terhadap Energi Surya	117
Proses Konversi <i>Solar Cells</i>	117
Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi	122
Intensitas Cahaya yang dihasilkan Energi Surya.....	125

Pengaruh Suhu terhadap Permukaan Solar Surya 128

BAGIAN VIII **133**

Implementasi Tenaga Surya dalam Mobilitas Perahu.....133

Desain Perahu dengan Tenaga Surya..... 133

Rancangan Mesin pada Perahu Bertenaga Surya..... 135

Manfaat Tenaga Surya pada Perahu..... 145

BAGIAN IX **149**

Simpulan Kajian..... 149

Daftar Pustaka151

Profil Penulis157



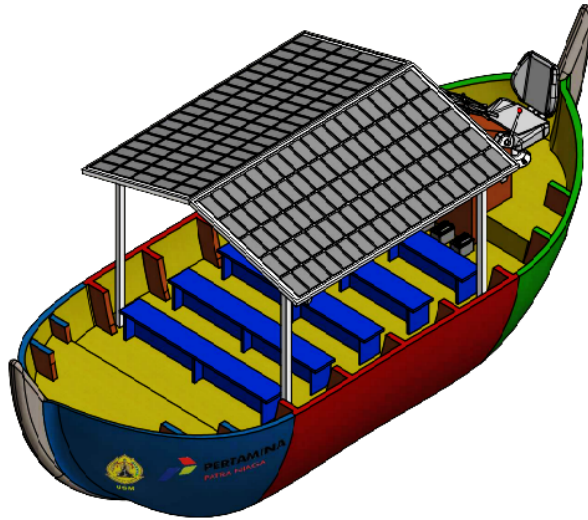
BAGIAN I

Prawacana

Efektivitas Perahu dengan Pemanfaatan Tenaga Surya

Efektivitas perahu dengan pemanfaatan tenaga surya mencerminkan sebuah langkah maju dalam teknologi transportasi laut yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Perahu tenaga surya menawarkan solusi yang menjanjikan dengan mengubah energi matahari menjadi energi listrik untuk menggerakkan motor atau sistem propulsi. Teknologi ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang terbatas, tetapi juga mengurangi emisi gas rumah kaca serta polusi udara yang umumnya terkait dengan perahu bermesin konvensional.

Dalam penjelasan ini dapat dilihat contoh gambar perahu listrik dengan tenaga surya.



Secara teknis, perahu tenaga surya dilengkapi dengan panel surya yang menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Energi listrik ini kemudian disimpan dalam baterai atau langsung digunakan untuk menggerakkan motor perahu. Keunggulan utamanya adalah kebersihan dan keandalannya yang tinggi, karena tidak memerlukan bahan bakar tambahan atau pelumas yang rumit untuk operasionalnya. Perahu tenaga surya juga dikenal lebih tenang dalam operasi, menciptakan lingkungan perairan yang lebih damai dan kurang mengganggu kehidupan laut.

Namun, seperti teknologi energi terbarukan lainnya, efektivitas perahu tenaga surya bergantung pada intensitas sinar matahari yang tersedia. Keterbatasan ini dapat mempengaruhi daya dan jangkauan perahu, terutama di daerah dengan cuaca berawan atau dalam kondisi cuaca ekstrem. Meskipun demikian, perkembangan teknologi panel surya terus mengatasi tantangan ini dengan peningkatan efisiensi dan kapasitas daya, menjadikan perahu tenaga surya semakin praktis dan dapat diandalkan dalam berbagai kondisi lingkungan.

Tantangan lainnya adalah biaya awal yang tinggi dalam pembelian dan instalasi perahu tenaga surya. Meskipun biaya operasionalnya lebih

rendah dalam jangka panjang karena tidak memerlukan pembelian bahan bakar secara terus-menerus, investasi awal yang signifikan dapat menjadi hambatan bagi adopsi luas teknologi ini, terutama di negara-negara dengan anggaran terbatas atau di komunitas nelayan kecil yang mengutamakan biaya awal yang lebih rendah.

Untuk mendukung adopsi lebih luas, pentingnya dukungan dari pemerintah, lembaga riset, dan sektor swasta dalam pengembangan infrastruktur dan subsidi teknologi perlu diperhatikan. Langkah ini akan membantu mengurangi biaya investasi awal dan meningkatkan aksesibilitas perahu tenaga surya bagi komunitas nelayan dan pengguna lainnya di seluruh dunia. Selain itu, pendidikan dan pelatihan terkait perawatan dan manajemen teknologi ini juga diperlukan untuk memastikan operasional perahu tenaga surya yang efisien dan berkelanjutan dalam jangka panjang.

Secara keseluruhan, perahu tenaga surya menunjukkan potensi besar sebagai solusi transportasi laut yang berkelanjutan dan ramah lingkungan di masa depan. Dengan terus berkembangnya teknologi dan kesadaran global akan pentingnya perlindungan lingkungan, peran perahu tenaga surya dalam mengurangi jejak karbon dan mempromosikan transportasi laut yang berkelanjutan diharapkan akan semakin meningkat dalam dekade mendatang.



BAGIAN II

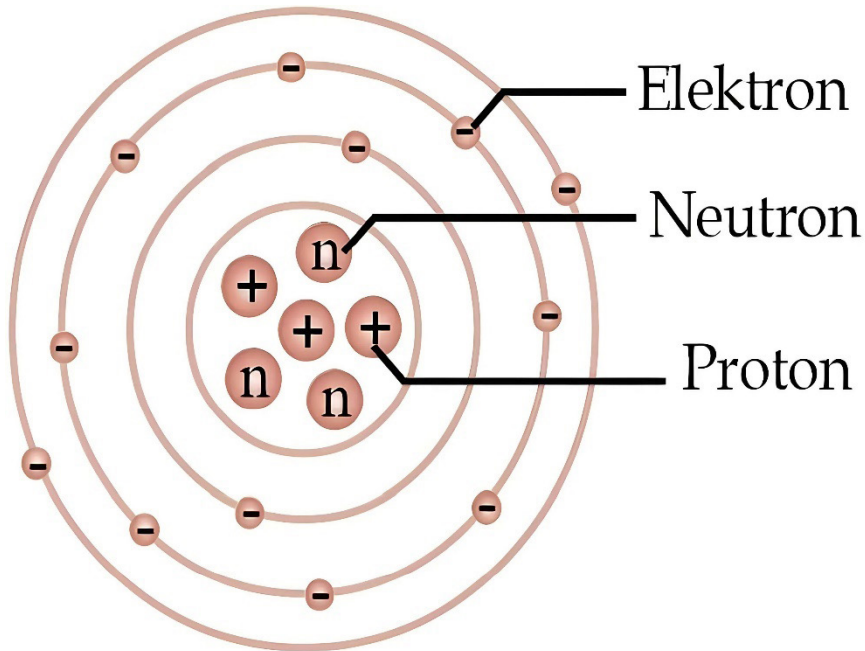
Konsep Dasar Listrik

Definisi Listrik

Listrik adalah sumber energi yang sangat penting dalam kehidupan kita. Ini terdiri dari muatan positif dan negatif yang bergerak sebagai arus listrik, mengalir dari daerah dengan potensial tinggi ke daerah dengan potensial rendah melalui penghantar listrik.

Listrik merupakan bentuk energi yang tidak terlihat namun memberikan manfaat yang nyata. Timbulnya listrik disebabkan oleh gerakan elektron yang berputar teratur mengelilingi inti atom dalam lapisan-lapisan (Orbit). Elektron-elektron yang berada jauh dari inti disebut sebagai elektron bebas, yang cenderung berpindah ke atom lain. Hal ini menyebabkan terjadinya kekosongan di dalam atom yang kemudian diisi oleh elektron-elektron dari atom lain. Ketika gerakan elektron bebas ini teratur ke arah yang sama (Aliran Elektron), maka terjadilah aliran listrik (Akbar, 2019).

Untuk mengetahui lebih jelas mengenai elektron, proton dan neutron dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1 Bentuk Elektron, Neutron, dan Proton
Sumber: Rangkuti, 2023

Listrik adalah fenomena yang melibatkan aliran muatan listrik, umumnya dalam bentuk elektron, melalui konduktor seperti kawat. Aliran ini menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk penerangan, pemanasan, pendinginan, dan pengoperasian perangkat elektronik. Listrik merupakan salah satu bentuk energi yang paling serbaguna dan penting dalam kehidupan sehari-hari, mempengaruhi hampir setiap aspek aktivitas manusia modern (Mutiah, 2016).

Terdapat dua jenis listrik utama yaitu listrik statis dan listrik dinamis. Listrik statis terjadi ketika muatan listrik menumpuk pada permukaan suatu benda, biasanya disebabkan oleh gesekan antara dua bahan berbeda. Sebaliknya, listrik dinamis mengacu pada aliran muatan listrik yang kontinu melalui konduktor. Aliran listrik ini, atau arus listrik, diukur dalam satuan ampere (A) dan dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk baterai, generator, dan pembangkit listrik (Kurniawan, 2019).

Sistem kelistrikan modern sangat kompleks dan terdiri atas berbagai komponen seperti pembangkit listrik, jaringan distribusi, transformator, dan perangkat pengguna akhir. Pembangkit listrik dapat menggunakan berbagai sumber energi, termasuk bahan bakar fosil, energi nuklir, dan energi terbarukan seperti angin, matahari, dan air. Energi yang dihasilkan kemudian dialirkan melalui jaringan distribusi ke rumah, kantor, dan fasilitas industri, di mana energi tersebut diubah menjadi bentuk lain yang dapat digunakan, seperti cahaya, panas, atau tenaga mekanik.

Listrik juga memiliki peran penting dalam perkembangan teknologi dan inovasi. Perangkat elektronik seperti komputer, telepon pintar, dan perangkat rumah pintar semuanya bergantung pada listrik untuk beroperasi. Selain itu, listrik juga mendukung infrastruktur kritis seperti sistem transportasi, komunikasi, dan layanan kesehatan, membuatnya menjadi elemen vital dalam masyarakat modern. Dengan terus berkembangnya teknologi dan kebutuhan energi, pemahaman dan pengelolaan listrik akan menjadi semakin penting di masa depan.

Sistematika Listrik

Sistem kelistrikan digunakan untuk mengoperasikan mesin dan menyediakan sinyal guna mendukung keamanan berkendara. Setiap sepeda motor dilengkapi dengan berbagai rangkaian sistem kelistrikan. Sebagai sumber listrik utama, umumnya digunakan baterai (DC), meskipun ada juga yang menggunakan flywheel magnet (*Alternator*) yang menghasilkan listrik arus bolak-balik atau AC (*Alternating Current*). Dalam kelistrikan, tegangan listrik dibagi menjadi dua jenis. Diantaranya adalah sebagai berikut (Wahid, 2014).

1. Tegangan Listrik Searah (*Direct Current* atau DC)
Tegangan listrik searah adalah jenis tegangan di mana aliran muatan listrik bergerak dalam satu arah tetap. Dalam sistem tegangan DC, elektron mengalir dari kutub negatif ke kutub positif tanpa perubahan arah. Sumber utama tegangan DC adalah baterai dan sel surya.

Baterai menyimpan energi kimia yang diubah menjadi energi listrik ketika digunakan, sedangkan sel surya mengubah energi matahari langsung menjadi listrik. Tegangan DC dikenal karena stabilitasnya yang tinggi, membuatnya ideal untuk digunakan dalam perangkat yang memerlukan pasokan daya yang konsisten dan andal.

Tegangan listrik searah atau DC (*Direct Current*) adalah jenis tegangan listrik di mana arus listrik mengalir dalam satu arah tetap. Sumber tegangan DC yang umum adalah baterai, sel surya, dan adaptor AC-DC. Dalam sistem DC, elektron bergerak dari kutub negatif menuju kutub positif. Beberapa karakteristik utama tegangan DC diantaranya adalah sebagai berikut (Harahap, 2019).

a. Arah Arus Tetap

Arus Mengalir dalam Satu Arah. Dalam sistem tegangan listrik searah (DC), arus listrik selalu mengalir dari kutub negatif ke kutub positif. Arah arus yang tetap ini membuat pengelolaan dan prediksi aliran arus lebih sederhana dibandingkan dengan AC yang arah arusnya berubah-ubah. Contoh aplikasi termasuk baterai dan panel surya.

Keunggulan arus tetap terletak pada stabilitas tegangannya, membuatnya ideal untuk perangkat elektronik yang memerlukan suplai daya konstan. Sistem yang menggunakan arus tetap lebih sederhana dalam desain dan pemeliharaan dibandingkan dengan sistem arus bolak-balik (AC).

Konversi dari AC ke DC membutuhkan perangkat tambahan seperti inverter, yang menambah kompleksitas dan biaya. Meski demikian, arus tetap sangat penting dalam aplikasi elektronik sehari-hari, sistem penyimpanan energi, dan kendaraan listrik karena keandalan dan kestabilannya.

b. Tegangan Konstan

Tegangan Cenderung Tetap dan Tidak Berubah-ubah dengan Waktu. Tegangan dalam sistem DC umumnya konstan, yang berarti besarnya tegangan tidak berubah seiring waktu. Ini

penting untuk kinerja perangkat elektronik yang memerlukan tegangan stabil, seperti laptop dan ponsel, untuk mengoperasikan komponen internal mereka dengan baik.

Tegangan konstan merujuk pada tingkat tegangan listrik yang tetap stabil tanpa fluktuasi selama periode tertentu. Ini berarti perbedaan potensial antara dua titik dalam rangkaian listrik tidak berubah, sehingga memberikan suplai daya yang konsisten dan andal untuk perangkat yang terhubung.

Tegangan konstan sangat penting dalam aplikasi elektronik, karena perangkat seperti komputer, ponsel, dan peralatan medis memerlukan suplai daya yang stabil untuk berfungsi dengan baik dan menghindari kerusakan. Sumber daya dengan tegangan konstan biasanya berasal dari baterai, adaptor daya yang telah diatur, atau sumber daya listrik yang dikendalikan oleh regulator tegangan.

c. Penggunaan

Banyak Digunakan dalam Perangkat Elektronik. DC banyak digunakan dalam perangkat elektronik karena sifatnya yang stabil dan mudah dikendalikan. Diantaranya adalah sebagai berikut.

- 1) Laptop dan Ponsel
Baterai menyediakan tegangan DC yang stabil.
- 2) Sistem Tenaga Listrik Kecil
Power bank, lampu LED, dan gadget elektronik kecil lainnya menggunakan DC.
- 3) Pengisi Daya dan Adaptor
Mengonversi AC menjadi DC untuk mengisi daya perangkat yang menggunakan baterai.

Tegangan DC sering digunakan dalam perangkat elektronik seperti ponsel, laptop, dan berbagai perangkat elektronik portabel lainnya. Selain itu, sistem penyimpanan energi dalam bentuk baterai, seperti pada kendaraan listrik, juga menggunakan tegangan DC. Stabilitas tegangan DC memastikan kinerja optimal dari perangkat

elektronik, mencegah kerusakan akibat fluktuasi tegangan yang tidak terduga. Oleh karena itu, banyak komponen elektronik dirancang khusus untuk beroperasi dengan tegangan DC.

2. Tegangan Listrik Bolak-Balik (*Alternating Current* atau AC)

Tegangan listrik bolak-balik adalah jenis tegangan di mana aliran muatan listrik secara periodik berubah arah. Dalam sistem tegangan AC, arus listrik berganti arah secara terus-menerus, biasanya beberapa kali per detik, tergantung pada frekuensi yang digunakan (misalnya, 50 Hz atau 60 Hz).

Sumber utama tegangan AC adalah pembangkit listrik yang menggunakan generator. Generator ini memutar medan magnet di sekitar kumparan kawat untuk menghasilkan arus listrik yang berubah arah secara berkala.

Tegangan listrik bolak-balik atau AC (*Alternating Current*) adalah jenis tegangan listrik di mana arus listrik berbalik arah secara periodik. Sumber tegangan AC yang umum adalah pembangkit listrik dan generator. Dalam sistem AC, elektron bolak-balik antara kutub positif dan negatif. Terdapat beberapa karakteristik utama tegangan AC, diantaranya adalah sebagai berikut (Rasyid, 2017).

a. Arah Arus Berubah-ubah

Arus Berubah Arah secara Periodik. Dalam tegangan listrik bolak-balik (AC), arus listrik berubah arah secara periodik. Elektron mengalir maju-mundur dalam konduktor dengan frekuensi tertentu, biasanya 50 atau 60 Hz, yang memungkinkan transmisi listrik lebih efisien dan mengurangi kerugian energi pada jarak jauh.

b. Tegangan Berfluktuasi.

Tegangan Berubah-ubah Mengikuti Gelombang Sinusoidal. Tegangan dalam AC berfluktuasi dalam bentuk gelombang sinusoidal, naik dan turun secara periodik dari nilai positif ke negatif. Fluktuasi ini memungkinkan penggunaan transformator untuk menaikkan atau menurunkan tegangan, penting untuk transmisi dan distribusi listrik yang efisien.

c. Penggunaan

Digunakan secara Luas dalam Distribusi Listrik. AC digunakan secara luas untuk distribusi listrik ke rumah dan industri karena efisiensinya dalam transmisi jarak jauh. Sistem AC memungkinkan listrik ditransmisikan pada tegangan tinggi dan arus rendah, mengurangi kerugian energi. Transformator menurunkan tegangan untuk penggunaan rumah tangga dan industri. Contoh aplikasi termasuk jaringan listrik rumah tangga, mesin industri, dan peralatan rumah tangga seperti lampu dan kulkas.

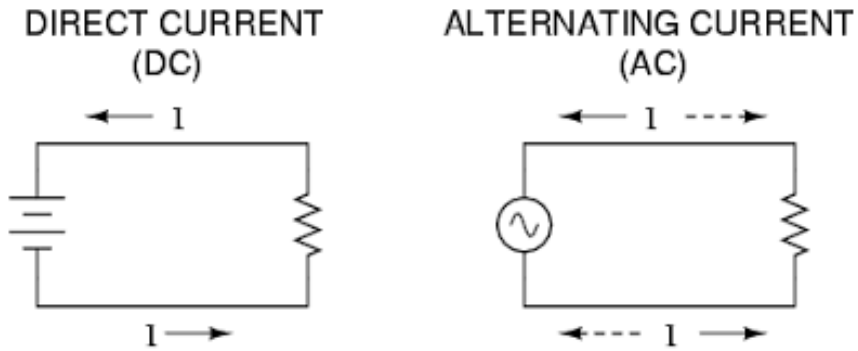
Tegangan AC digunakan secara luas dalam sistem distribusi listrik untuk rumah, gedung, dan industri. Keunggulan utama dari tegangan AC adalah efisiensinya dalam mentransmisikan listrik jarak jauh dan kemampuannya untuk diubah menjadi tegangan yang lebih tinggi atau lebih rendah dengan menggunakan transformator.

Hal ini memungkinkan tegangan AC untuk dikirimkan dengan kehilangan energi yang minimal, sehingga sangat efisien untuk keperluan distribusi listrik skala besar. Selain itu, banyak peralatan rumah tangga dan industri dirancang untuk beroperasi dengan tegangan AC karena kemampuannya untuk menggerakkan motor listrik dengan efisiensi tinggi.

Tegangan listrik searah (DC) dan tegangan listrik bolak-balik (AC) adalah dua bentuk utama distribusi listrik yang memiliki karakteristik dan aplikasi berbeda. Tegangan DC mengalir dalam satu arah tetap, menghasilkan arus yang konstan. Hal ini membuat DC sangat cocok untuk perangkat elektronik yang membutuhkan arus stabil, seperti baterai dan perangkat elektronik portabel. Sebaliknya, tegangan AC berubah arah secara periodik, menghasilkan gelombang sinusoidal yang berfluktuasi antara positif dan negatif.

AC lebih efisien untuk transmisi listrik jarak jauh karena dapat dengan mudah diubah ke voltase tinggi atau rendah menggunakan transformator, sehingga mengurangi kerugian energi. Selain itu, AC adalah standar yang digunakan untuk jaringan listrik rumah tangga dan industri karena

keunggulan ini. Kedua jenis tegangan ini, meskipun berbeda dalam sifat dan penggunaannya, saling melengkapi dalam memenuhi berbagai kebutuhan energi listrik modern. Tegangan pada listrik DC dan AC dapat diilustrasikan sebagai berikut.



Gambar 2 Tegangan Listrik DC dan AC

Sumber: Arindya, 2013

Gambar tersebut menunjukkan perbedaan antara arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC) dalam sebuah rangkaian listrik. Pada arus searah (DC), arus listrik mengalir dalam satu arah yang tetap dan konstan. Sebaliknya, pada arus bolak-balik (AC), arus listrik secara periodik berubah arah, menghasilkan gelombang yang berfluktuasi antara positif dan negatif.

Kedua jenis arus ini memiliki karakteristik dan aplikasi yang berbeda. Arus DC biasanya digunakan dalam perangkat elektronik yang memerlukan arus stabil, seperti baterai, sementara arus AC digunakan untuk distribusi daya pada jaringan listrik rumah tangga dan industri karena efisiensi transmisinya pada jarak jauh.

Sistematika listrik mencakup berbagai konsep, prinsip, dan komponen yang memungkinkan aliran dan pengendalian energi listrik. Sistematika ini melibatkan pemahaman tentang arus listrik, tegangan, resistansi, dan elemen dasar rangkaian listrik seperti resistor, kapasitor, dan induktor. Dalam sistem ini, arus bisa berupa arus searah (DC) atau arus bolak-balik (AC), masing-masing dengan aplikasi dan karakteristik unik.

DC digunakan dalam perangkat elektronik sehari-hari karena stabilitasnya, sementara AC lebih efisien untuk transmisi daya jarak jauh. Selain itu, pengaturan tegangan konstan sangat penting untuk memastikan perangkat elektronik berfungsi dengan baik dan aman.

Pengelolaan energi listrik juga mencakup teknologi konversi dan penyimpanan, seperti penggunaan adaptor AC/DC dan baterai. Sistem kelistrikan modern semakin kompleks dengan integrasi sumber energi terbarukan seperti panel surya, yang menghasilkan arus searah dan memerlukan konversi untuk digunakan dalam jaringan listrik yang biasanya beroperasi dengan arus bolak-balik.

Penerapan prinsip-prinsip sistematika listrik memungkinkan desain yang lebih efisien dan aman dalam berbagai aplikasi, mulai dari elektronik konsumen hingga infrastruktur tenaga listrik besar. Memahami sistematika listrik secara menyeluruh adalah kunci untuk inovasi teknologi dan peningkatan efisiensi energi di masa depan.

Tegangan pada Sistem Tenaga Listrik

Pada sebuah sistem tenaga listrik, tegangan yang digunakan pada setiap komponen dapat berbeda-beda sesuai dengan fungsinya. Dengan kata lain, setiap komponen dalam sistem tenaga listrik beroperasi pada level tegangan yang berbeda-beda. Variasi ini diterapkan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya, sehingga sistem menjadi lebih ekonomis.

Tegangan pada sistem tenaga listrik merujuk pada perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik. Tegangan ini biasanya dinyatakan dalam satuan volt (V). Dalam konteks sistem tenaga listrik, tegangan adalah parameter penting yang menentukan aliran arus listrik melalui berbagai komponen seperti generator, transformator, saluran transmisi, dan peralatan listrik lainnya (Iqtimal, 2018).

Terdapat beberapa fungsi dari tegangan listrik, diantaranya adalah sebagai berikut (Pakpahan, 2019).

1. Distribusi Energi

Distribusi energi listrik adalah proses penting dalam sistem tenaga listrik, di mana energi yang dihasilkan di pembangkit listrik harus diantarkan ke konsumen akhir secara efisien dan aman. Untuk mencapai tujuan ini, tegangan listrik yang berbeda digunakan dalam berbagai tahap distribusi. Pada tahap awal, energi listrik yang dihasilkan di pembangkit listrik diubah menjadi tegangan tinggi menggunakan transformator.

Tegangan tinggi, yang biasanya berkisar antara 110 kV hingga 765 kV, digunakan dalam jaringan transmisi untuk mengurangi kerugian energi selama perjalanan jarak jauh. Penggunaan tegangan tinggi mengurangi arus yang mengalir dalam kabel transmisi, yang pada gilirannya mengurangi resistansi dan panas yang dihasilkan, sehingga meminimalkan kerugian energi.

Tegangan yang berbeda digunakan untuk mendistribusikan energi listrik dari pembangkit listrik ke konsumen akhir melalui jaringan transmisi dan distribusi. Tegangan tinggi digunakan untuk mengurangi kerugian energi selama transmisi jarak jauh, sementara tegangan lebih rendah digunakan di tingkat distribusi untuk keamanan dan efisiensi penggunaan.

2. Motor Induksi Pabrik

Tegangan dalam sistem tenaga listrik tiga fasa 380V AC sangat umum digunakan untuk menggerakkan motor induksi di pabrik karena efisiensi dan distribusi daya yang lebih baik. Dalam sistem ini, terdapat tiga kabel fasa dengan tegangan AC terpisah 120 derajat. Tegangan linier antara dua fasa adalah 380V, sedangkan tegangan antara fasa dan netral sekitar 220V. Motor induksi tiga fasa bekerja dengan medan magnet berputar, memastikan operasi motor yang halus, torsi lebih baik, dan efisiensi tinggi dibandingkan motor satu fasa.

Penggunaan motor induksi tiga fasa di pabrik, seperti di pabrik tekstil untuk menggerakkan mesin tenun, memberikan torsi tinggi dan operasi yang andal. Sistem ini mendistribusikan daya lebih efisien dengan kabel lebih sedikit, memberikan torsi konstan penting untuk

aplikasi industri, dan efisien dalam penggunaan energi sehingga mengurangi biaya operasional. Secara keseluruhan, sistem tiga fasa 380V AC penting untuk efisiensi, keandalan, dan biaya operasional rendah, memastikan motor induksi bekerja optimal dan andal.

3. Operasional Peralatan

Setiap peralatan listrik dirancang untuk beroperasi pada tegangan tertentu guna memastikan kinerja optimal dan keamanan penggunaannya. Peralatan rumah tangga, seperti televisi, lampu, dan oven, biasanya menggunakan tegangan rendah antara 110V hingga 240V. Tegangan rendah ini dipilih karena aman digunakan di lingkungan rumah dan cukup untuk menjalankan peralatan sehari-hari. Sebaliknya, mesin industri dan peralatan berat sering kali memerlukan tegangan lebih tinggi, kadang mencapai 480V atau lebih, tergantung pada kebutuhan spesifik mesin tersebut.

Tegangan lebih tinggi diperlukan untuk memberikan daya besar agar mesin-mesin ini dapat beroperasi dengan efisien dan efektif. Penggunaan tegangan yang tepat juga meminimalkan risiko kerusakan peralatan dan memastikan efisiensi energi. Transformator dan regulator tegangan digunakan untuk memastikan setiap peralatan menerima tegangan yang sesuai, sehingga dapat berfungsi dengan baik dan aman dalam berbagai kondisi operasional.

4. Keamanan

Variasi tegangan memiliki dampak yang signifikan terhadap keselamatan penggunaan listrik. Tegangan tinggi, seperti yang digunakan dalam transmisi energi listrik jarak jauh, memiliki potensi bahaya serius bagi manusia jika tidak ditangani dengan benar. Oleh karena itu, tegangan tersebut diturunkan secara signifikan saat mencapai tahap distribusi dan digunakan di tingkat akhir konsumen. Misalnya, dalam rumah tangga, tegangan yang turun menjadi 110V hingga 240V dianggap lebih aman untuk digunakan dalam berbagai peralatan dan lampu.

Hal ini dilakukan untuk mengurangi risiko kecelakaan listrik yang dapat terjadi akibat kontak langsung dengan tegangan tinggi. Penggunaan sistem proteksi seperti pemutus sirkuit dan pembumian juga penting untuk melindungi pengguna dari risiko kejutan listrik atau bahaya lainnya yang dapat timbul akibat variabel tegangan yang tidak terkendali. Dengan demikian, regulasi dan standar keselamatan tegangan memainkan peran penting dalam menjaga keselamatan manusia dalam penggunaan listrik sehari-hari.

5. Efisiensi Ekonomi

Penggunaan berbagai level tegangan dalam sistem tenaga listrik memiliki dampak signifikan terhadap efisiensi operasional dan investasi yang diperlukan. Dengan merancang sistem yang mampu menyesuaikan tegangan untuk berbagai kebutuhan, seperti menggunakan tegangan tinggi untuk transmisi jarak jauh dan menurunkannya di tingkat distribusi dan penggunaan akhir, dapat memaksimalkan efisiensi penggunaan energi.

Hal ini membantu mengurangi kerugian energi yang terjadi selama distribusi, karena arus yang lebih rendah pada tegangan tinggi mengurangi resistansi dalam kabel, sehingga mengoptimalkan biaya operasional jangka panjang. Dengan cara ini, sistem tenaga listrik menjadi lebih ekonomis karena meminimalkan pemborosan energi dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya yang tersedia.

Tegangan pada tenaga listrik memiliki beberapa level yang berbeda, berikut ini beberapa level yang terdapat pada tegangan tenaga listrik. Diantaranya adalah sebagai berikut (Suripto, 2017: 4—8).

1. Tegangan Unit Pembangkit

Pada sistem pembangkitan, tegangan disesuaikan dengan kapasitas generator yang digunakan, biasanya antara 4,5 hingga 20 kV. Generator berkapasitas besar menggunakan tegangan tinggi untuk mengurangi arus yang besar. Ini karena semakin tinggi tegangan, arus yang mengalir semakin kecil, mengurangi kebutuhan akan kawat lilitan yang besar dan rugi daya.

Tegangan generator tidak terlalu tinggi untuk menghindari kompleksitas dan ukuran yang besar. Generator dengan kapasitas lebih kecil menggunakan tegangan rendah untuk ekonomisitas. Jika terhubung ke saluran transmisi dengan tegangan tinggi, diperlukan transformator penaik tegangan.

2. Tegangan saluran Transmisi

Saluran transmisi menggunakan tegangan yang lebih tinggi daripada unit pembangkit karena tujuannya adalah menyalurkan energi listrik dengan efisiensi tinggi dan rugi daya yang rendah. Dengan meningkatkan tegangan, arus yang mengalir dalam saluran bisa diminimalkan, mengurangi rugi daya dan menjaga tegangan tetap memadai pada ujung penerima.

Namun, tegangan tinggi memerlukan peralatan isolasi yang lebih mahal dan tower penyangga yang lebih tinggi untuk keamanan dan keselamatan lingkungan. Tegangan saluran transmisi biasanya berkisar antara 70 kV hingga 1000 kV, dengan 500 kV atau lebih cocok untuk mentransmisikan daya besar dan jarak jauh, sementara tegangan lebih rendah ekonomis untuk jarak dekat dan daya yang lebih kecil.

3. Tegangan Saluran Distribusi

Jaringan distribusi menggunakan tegangan lebih rendah dibandingkan saluran transmisi karena daya yang didistribusikan biasanya kecil dan lokasinya dekat dengan pemukiman, memprioritaskan keselamatan. Jaringan ini langsung berhubungan dengan konsumen, sehingga tegangannya disesuaikan dengan kebutuhan pelanggan.

Umumnya, terdapat dua level tegangan dalam jaringan distribusi: tegangan menengah (JTM) 20 kV dan tegangan rendah (JTR) 220 V. Trafo distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan dari JTM 20 kV ke JTR 220 V untuk kebutuhan pelanggan. JTM umumnya menghubungkan gardu induk ke industri, rumah sakit, mall, atau kampus dengan daya besar (20 kV), sementara JTR (220 V) digunakan untuk rumah tangga dengan daya lebih kecil.

Tegangan dalam sistem tenaga listrik adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian, diukur dalam volt (V). Tegangan ini disesuaikan dengan kapasitas dan spesifikasi generator pada sistem pembangkitan untuk mengatur arus listrik yang mengalir. Pada saluran transmisi, tegangan ditingkatkan untuk mengurangi arus yang mengalir, sehingga mengurangi rugi daya dan mempertahankan efisiensi dalam mentransmisikan energi listrik.

Di sisi lain, jaringan distribusi menggunakan tegangan yang lebih rendah daripada saluran transmisi. Hal ini bertujuan untuk memastikan keselamatan dan efisiensi dalam operasional yang lebih baik di sekitar pemukiman pelanggan. Jaringan distribusi langsung berhubungan dengan konsumen, dengan tegangan yang disesuaikan dengan kebutuhan, seperti tegangan menengah (20 kV) untuk industri dan institusi besar, serta tegangan rendah (220 V) untuk rumah tangga. Pemilihan tegangan yang tepat pada setiap tahapan sistem tenaga listrik sangat penting untuk memaksimalkan efisiensi operasional dan mengoptimalkan biaya secara keseluruhan.

Sistem Tenaga Listrik di Indonesia

Seluruh sistem kelistrikan di Indonesia dikelola oleh PT. PLN Persero, mulai dari pembangkitan listrik hingga distribusi ke pelanggan. Sistem ini menggunakan berbagai jenis energi primer, seperti air, batu bara, minyak bumi (BBM), gas alam, panas bumi, dan sumber energi terbarukan. Semua jenis energi ini dikelola secara terpadu untuk memastikan operasi sistem tenaga listrik yang optimal.

Dengan adanya perbedaan konsumsi energi listrik di berbagai wilayah di Indonesia, sistem tenaga listrik yang digunakan juga bervariasi. Wilayah dengan kebutuhan beban terbesar, seperti Pulau Jawa dan Bali, menggunakan sistem interkoneksi yang dapat dioperasikan dari satu pusat pengatur beban. Sistem ini diharapkan mampu mengoptimalkan pengoperasian pembangkit dan meningkatkan kontinuitas pelayanan,

karena jika terjadi kekurangan energi di satu wilayah, wilayah lain dapat memberikan bantuan (Gunawan, 2018).

Wilayah dengan kebutuhan beban yang tidak terlalu besar, seperti Sumatra, Kalimantan, dan Sulawesi, sebagian dinilai layak menggunakan sistem interkoneksi, sedangkan sebagian lainnya masih menggunakan sistem terpisah atau terisolasi. Sementara itu, sebagian besar wilayah di Indonesia Timur menggunakan sistem terpisah karena kebutuhan dayanya masih relatif kecil, sehingga dianggap tidak ekonomis jika menggunakan sistem interkoneksi.

Sebagian besar energi listrik di Indonesia masih digunakan untuk kepentingan rumah tangga, baik untuk penerangan maupun keperluan lainnya. Setelah itu, listrik baru digunakan untuk sektor industri dan sektor lainnya. Gambaran penggunaan energi listrik di Indonesia dapat diamati pada tabel berikut.

Tabel 1 Penggunaan Energi Listrik di Indonesia Tahun 2016

Rumah tangga	95.329 TWh
Industri	68.928 TWh
Bisnis	39.534 TWh
Sosial	6.364 TWh
Gedung Kantor Pemerintah	3.964 TWh
Penerangan Jalan Umum	3.706 TWh

Sumber: Suropto, 2017: 13

Pada tahun 2016, jumlah pelanggan listrik di Indonesia tercatat sekitar 65 juta, dengan 59 juta di antaranya adalah pelanggan rumah tangga. Sisanya terdiri dari pelanggan industri, publik, sosial, dan kantor pemerintah. Sebagian besar pelanggan, sekitar 41 juta, berada di wilayah Jawa-Bali, sedangkan sisanya tersebar di wilayah lain.

Pertumbuhan beban puncak kelistrikan di Indonesia meningkat setiap tahun, terutama di perkotaan dan daerah industri, khususnya di Pulau Jawa. Untuk meningkatkan kualitas pelayanan, pertumbuhan beban puncak harus diimbangi dengan penambahan kapasitas pembangkitan.

Sebagai contoh, di Jawa-Bali, beban puncak pada tahun 2015 mencapai 24.807 MW. Untuk melayani beban tersebut, kapasitas pembangkit yang siap dioperasikan mencapai 33.824 MW dengan kemampuan membangkitkan serentak sebesar 31.694 MW. Dengan demikian, diharapkan tidak terjadi kekurangan daya saat beban puncak.

Sistem Tenaga Listrik di Indonesia memiliki karakteristik dan tantangan yang beragam yang perlu dipahami untuk memahami kompleksitas pengelolaan energi nasional. Terdapat beberapa karakteristik dari sistem tenaga listrik yang ada di Indonesia, diantaranya adalah sebagai berikut (Ambabungan, 2021).

1. Diversitas Geografis dan Demografis

Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau dengan ragam kondisi geografis, termasuk pegunungan dan dataran rendah, memainkan peran krusial dalam distribusi dan manajemen energi listrik. Kondisi geografis yang beragam ini mempengaruhi bagaimana infrastruktur listrik dikembangkan dan diintegrasikan antarpulau, memerlukan solusi distribusi yang fleksibel dan adaptif. Selain itu, perbedaan dalam jumlah penduduk dan kepadatan populasi di setiap wilayah juga memainkan peran penting dalam permintaan energi lokal.

Dengan memahami kondisi geografis dan demografis yang beragam ini, strategi manajemen energi listrik dapat disesuaikan untuk memaksimalkan ketersediaan energi, efisiensi operasional, dan keberlanjutan lingkungan di seluruh Indonesia.

2. Sistem Interkoneksi

Sistem interkoneksi antarpulau, khususnya antara Pulau Jawa, Bali, dan Madura (Jabodetabek), memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung distribusi energi listrik yang efisien dan andal di Indonesia. Interkoneksi ini memungkinkan untuk pembagian energi yang lebih merata antarwilayah, serta memberikan kemampuan saling bantu dalam hal ketersediaan energi.

Dengan adanya sistem interkoneksi yang kuat dan terkoordinasi dengan baik, dapat memastikan bahwa pasokan energi listrik

tetap stabil dan terjamin di berbagai wilayah, sehingga mendukung pertumbuhan ekonomi, keandalan infrastruktur, serta kenyamanan dan keamanan bagi masyarakat umum.

3. Tantangan Infrastruktur

Pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur listrik di Indonesia, terutama di daerah terpencil dan pulau-pulau kecil, sering kali menjadi tantangan utama. Keterbatasan aksesibilitas dan kondisi geografis yang sulit mempengaruhi efisiensi dan biaya pengelolaan serta distribusi energi. Banyak wilayah ini terletak jauh dari pusat-pusat pembangkit listrik utama dan memerlukan jaringan distribusi yang panjang dan kompleks.

Kerja sama antara pemerintah pusat, pemerintah daerah, sektor swasta, dan komunitas lokal sangat penting untuk merencanakan, mendanai, dan melaksanakan proyek. Pelatihan dan pemberdayaan masyarakat lokal juga kunci keberlanjutan proyek dan pemeliharaan infrastruktur. Dengan pendekatan komprehensif dan kolaboratif, tantangan pembangunan listrik di daerah terpencil dapat diatasi lebih efektif.

4. Pertumbuhan Beban dan Urbanisasi

Pertumbuhan ekonomi yang cepat, urbanisasi tinggi, dan peningkatan industrialisasi menyebabkan permintaan energi listrik meningkat, terutama di daerah perkotaan dan industri. Di perkotaan, gedung perkantoran, pusat perbelanjaan, rumah sakit, dan transportasi listrik membutuhkan pasokan listrik yang stabil dan berkualitas. Di sektor industri, pabrik, kilang minyak, dan tambang memerlukan pasokan listrik yang besar dan andal untuk menjaga efisiensi dan kontinuitas produksi. Gangguan pasokan listrik dapat menyebabkan kerugian finansial signifikan dan mengganggu rantai pasokan.

Untuk memenuhi permintaan ini, diperlukan investasi besar dalam infrastruktur pembangkit dan jaringan distribusi listrik. Pembangunan pembangkit baru, baik energi fosil maupun terbarukan, perlu dipercepat. Energi terbarukan seperti tenaga surya, angin,

dan hidro dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan dampak lingkungan. Modernisasi dan perluasan jaringan distribusi juga penting untuk mengurangi kehilangan energi selama transmisi.

5. Pengembangan Energi Terbarukan

Indonesia memiliki potensi besar dalam sumber energi terbarukan seperti energi panas bumi, hidro, dan angin, yang kini menjadi fokus utama pengembangan energi. Dengan cadangan panas bumi terbesar di dunia, Indonesia memiliki peluang besar untuk memanfaatkan energi panas bumi sebagai sumber daya yang berkelanjutan. Pembangkit listrik tenaga panas bumi tidak hanya mampu menghasilkan listrik dalam jumlah besar, tetapi juga memiliki emisi karbon yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik berbahan bakar fosil.

Turbin angin dapat diintegrasikan ke dalam sistem energi lokal untuk menyediakan listrik yang bersih dan terjangkau. Pengembangan sumber daya energi terbarukan ini diperlukan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, yang selama ini mendominasi sektor energi di Indonesia. Dalam hal ini penting untuk meminimalkan dampak lingkungan dan meningkatkan keberlanjutan sektor energi. Melalui pemanfaatan energi terbarukan, Indonesia dapat membangun masa depan yang lebih hijau dan lebih berkelanjutan.

6. Keandalan dan Kualitas Pelayanan

Peningkatan keandalan pasokan energi listrik, pengurangan gangguan, dan peningkatan efisiensi dalam manajemen sistem menjadi prioritas. Hal ini krusial untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dan industri yang semakin kompleks serta untuk mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan.

7. Regulasi dan Kebijakan Energi

Peningkatan keandalan pasokan energi listrik, pengurangan gangguan, dan efisiensi manajemen sistem adalah prioritas utama dalam infrastruktur listrik Indonesia. Dalam konteks masyarakat dan

industri yang semakin kompleks, kebutuhan akan pasokan listrik yang stabil sangat krusial. Gangguan pasokan listrik tidak hanya menghambat aktivitas harian, tetapi juga berdampak besar terhadap produktivitas industri dan layanan publik.

Untuk mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, perlu ditingkatkan efisiensi manajemen sistem energi listrik. Pengurangan kehilangan energi dalam transmisi dan distribusi, serta optimalisasi penggunaan sumber daya energi, akan mengurangi biaya operasional dan meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Integrasi sumber energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin juga penting untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendukung pengurangan emisi karbon.

Sistem Tenaga Listrik di Indonesia menghadapi berbagai tantangan, termasuk kompleksitas diversitas geografis, pertumbuhan beban yang cepat terutama di perkotaan dan industri, serta kebutuhan akan peningkatan infrastruktur dan pengembangan energi terbarukan. Meskipun demikian, dengan menerapkan regulasi yang berkelanjutan dan fokus pada efisiensi serta keberlanjutan, Indonesia dapat meningkatkan kualitas layanan listrik dan mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan di masa depan.



BAGIAN III

Pembangkit Tenaga Listrik

Definisi Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengubah berbagai sumber energi menjadi energi listrik. Sumber energi tersebut dapat berasal dari air, bahan bakar minyak, batu bara, angin, matahari, dan lain-lain. Proses untuk menghasilkan energi listrik membutuhkan sebuah perangkat yang disebut generator (Marsudi, 2006: 7)

Generator hanya dapat menghasilkan energi listrik jika porosnya diputar. Untuk memutar generator, diperlukan energi mekanik yang biasanya dihasilkan oleh turbin. Turbin berperan dalam mengubah energi dari sumber energi primer menjadi energi gerak atau energi mekanik.

Pembangkit listrik yang sedang dikembangkan untuk mengurangi dampak pemanasan global dan polusi udara menggunakan sumber energi terbarukan. Jenis pembangkit ini tidak lagi menggunakan pembakaran bahan bakar fosil yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan polusi udara. Contoh dari jenis pembangkit ini termasuk pembangkit

listrik tenaga panas bumi (PLTP), pembangkit listrik tenaga angin (PLTB), dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

Pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) menggunakan tenaga angin untuk memutar kincir angin, sedangkan pembangkit listrik tenaga panas bumi memanfaatkan uap panas dari dalam bumi untuk menggerakkan turbin atau memanaskan air, seperti yang dilakukan pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).

Tujuan utama dari pembangkit tenaga listrik adalah untuk memenuhi kebutuhan listrik suatu wilayah atau negara secara efisien dan handal. Proses pembangkitan listrik juga berkontribusi terhadap ekonomi melalui penciptaan lapangan kerja dalam operasional dan pemeliharannya, serta memberikan keamanan energi bagi kegiatan industri dan rumah tangga (Juwito, 2012).

Dengan terus berkembangnya teknologi dan kesadaran akan lingkungan, pengembangan pembangkit tenaga listrik semakin berfokus pada efisiensi energi, penggunaan bahan bakar yang lebih bersih, dan pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Terdapat beberapa jenis pembangkit listrik dapat diklasifikasikan berdasarkan sumber energi utama yang digunakan atau proses konversi energinya. Terdapat beberapa yang menggunakan energi fosil, seperti batubara, minyak, dan gas alam. Jenis ini mengandalkan bahan bakar yang berasal dari sisa-sisa organisme yang terperangkap dalam bumi selama jutaan tahun.

Sementara itu, ada juga pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan, seperti panas bumi, air, angin, dan sinar matahari. Sumber daya energi terbarukan ini dapat diperbaharui secara alami dan memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan energi fosil.

Dalam konteks proses pembangkit listrik, terdapat dua jenis utama pembangkit termal dan pembangkit non-termal (Suripto, 2017: 21—22).

1. Pembangkit Termal

Pembangkit termal menggunakan panas untuk menghasilkan energi listrik. Proses ini umumnya melibatkan pembakaran bahan bakar

fosil seperti batubara, minyak, dan gas alam di dalam boiler untuk menghasilkan uap. Uap tersebut digunakan untuk memutar turbin yang terhubung dengan generator, menghasilkan listrik. Selain itu, pembangkit termal juga mencakup pembangkit listrik tenaga panas bumi (*Geotermal*), di mana panas bumi digunakan langsung untuk menghasilkan uap yang menggerakkan turbin.

Terdapat beberapa macam pembangkit tenaga listrik jenis termal. Diantaranya adalah sebagai berikut

- a. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
 - b. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)
 - c. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)
 - d. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)
 - e. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)
2. Pembangkit Non-termal

Pembangkit non-termal menggunakan sumber energi yang tidak melibatkan proses pembakaran. Contohnya termasuk pembangkit listrik tenaga air (*Hidroelektrik*), di mana energi air yang mengalir digunakan untuk memutar turbin yang terhubung ke generator. Selain itu, pembangkit listrik tenaga angin menggunakan energi kinetik angin untuk memutar turbin yang menghasilkan listrik, serta pembangkit listrik tenaga surya yang mengubah energi matahari menjadi listrik menggunakan panel surya.

Jenis pembangkit tenaga listrik non termal terdiri dari beberapa macam, diantaranya adalah sebagai berikut.

- a. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)
- b. Pembangkit Listrik Tenaga Angin atau Bayu (PLTB)
- c. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik termal dan non-termal memiliki perbedaan mendasar dalam hal sumber energi utama yang digunakan dan proses konversi energinya. Pembangkit listrik termal mengandalkan bahan bakar fosil seperti batubara, minyak, dan gas alam yang dibakar untuk menghasilkan panas. Proses ini melibatkan pembakaran bahan bakar dalam boiler untuk memanaskan air menjadi uap, yang kemudian

digunakan untuk memutar turbin dan generator guna menghasilkan energi listrik.

Di sisi lain, pembangkit listrik non-termal menggunakan sumber energi terbarukan seperti energi air (*Hidroelektrik*), angin, matahari, dan panas bumi (*Geothermal*). Proses konversi energi non-termal ini bisa bervariasi, misalnya dengan memanfaatkan energi kinetik air atau angin untuk menggerakkan turbin, atau dengan mengubah langsung energi matahari menjadi listrik melalui panel surya.

Selain itu, pembangkit listrik non-termal cenderung lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi karbon yang signifikan atau polusi udara, sekaligus menawarkan keberlanjutan energi yang lebih baik dibandingkan dengan pembangkit termal yang tergantung pada bahan bakar fosil terbatas.

Pembangkit tenaga listrik mengubah berbagai sumber energi menjadi energi listrik melalui konversi energi dari bentuk-bentuk seperti mekanik, termal, atau kimia. Sumber energinya dapat berupa bahan bakar fosil seperti batubara, minyak, dan gas alam yang dibakar dalam boiler, atau energi terbarukan seperti energi air, angin, matahari, dan panas bumi yang digunakan untuk menggerakkan turbin dan generator.

Pembangkit listrik tidak hanya memenuhi kebutuhan energi wilayah atau negara dengan efisien, tetapi juga berperan penting dalam ekonomi dengan menciptakan lapangan kerja dan menyediakan keamanan energi. Perkembangan teknologi pembangkit tenaga listrik terus berfokus pada efisiensi energi, penggunaan bahan bakar bersih, dan pemanfaatan energi terbarukan untuk mengurangi dampak lingkungan.

Komponen Pembangkit Tenaga Listrik

Komponen-komponen dalam pembangkit tenaga listrik mencakup peralatan penting yang bekerja bersama untuk menghasilkan energi listrik dari sumber energi primer. Penggerak utama, seperti turbin uap atau mesin

pembakaran dalam, mengubah energi panas atau tekanan menjadi energi mekanik untuk memutar generator. Generator menggunakan prinsip induksi elektromagnetik untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui kumparan kawat yang berputar dalam medan magnet (Hasanah, 2018).

Trafo step-up juga penting karena meningkatkan tegangan listrik dari generator sebelum energi listrik disalurkan melalui jaringan transmisi, mengurangi kerugian daya dan memastikan distribusi yang efisien. Peralatan kendali dan proteksi berfungsi mengontrol operasi dan melindungi sistem dari gangguan seperti lonjakan tegangan atau gangguan mekanis.

Semua komponen ini berinteraksi untuk menjaga stabilitas, efisiensi, dan keandalan pembangkit tenaga listrik dalam memenuhi kebutuhan energi masyarakat dan industri. Terdapat beberapa komponen-komponen utama dalam sebuah pembangkit tenaga listrik, diantaranya adalah sebagai berikut (Marsudi, 2006: 13).

1. Penggerak Utama (*Prime Mover*)

Penggerak utama dalam konteks ini adalah komponen yang berfungsi mengubah energi dari sumber primer, seperti energi panas dari pembakaran bahan bakar fosil atau energi kinetik dari air atau angin, menjadi energi mekanik yang dapat digunakan untuk memutar generator listrik. Misalnya, dalam pembangkit listrik tenaga uap, uap air dihasilkan dari pemanasan air dengan energi panas yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil atau energi nuklir. Contoh penggerak utama diantaranya adalah sebagai berikut.

- a. Turbin Uap

Menggunakan uap air panas yang dihasilkan dari pemanasan air dengan menggunakan bahan bakar fosil (seperti batubara, minyak, atau gas) atau panas dari panas bumi.

- b. Mesin Pembakaran Dalam

Menggunakan pembakaran bahan bakar fosil (misalnya, diesel atau gas) untuk menghasilkan energi panas yang digunakan untuk memutar turbin.

2. Generator Pembangkit Listrik

Generator adalah sebuah perangkat yang mengubah energi mekanik dari penggerak utama, seperti turbin angin atau mesin diesel, menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya didasarkan pada induksi elektromagnetik, di mana medan magnet yang berputar menginduksi gerakan elektron-elektron dalam kawat yang terhubung di dalamnya.

Ketika kumparan kawat tersebut diputar di dalam medan magnet, arus listrik bolak-balik dihasilkan sesuai dengan prinsip elektromagnetik Faraday. Proses ini menghasilkan energi listrik yang kemudian dapat disalurkan ke jaringan untuk digunakan oleh berbagai peralatan elektronik dan penerangan.

3. Trafo Step-up

Trafo step-up merupakan komponen vital dalam infrastruktur energi listrik yang berfungsi untuk meningkatkan tegangan listrik dari generator sebelum energi listrik tersebut disalurkan ke jaringan transmisi. Proses peningkatan tegangan ini penting karena membantu mengurangi kerugian daya yang terjadi selama transportasi listrik jarak jauh.

Dengan meningkatkan tegangan, arus listrik yang mengalir dapat dikurangi, sehingga berdampak pada pengurangan kehilangan energi dalam bentuk panas yang terjadi pada kabel transmisi. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional sistem, tetapi juga mengoptimalkan distribusi energi secara keseluruhan, memastikan bahwa listrik yang disalurkan ke konsumen akhir tetap dalam kondisi yang stabil dan efisien.

4. Peralatan Kendali

Peralatan kendali dalam konteks infrastruktur listrik meliputi sistem kontrol dan pengaturan yang mengelola operasi keseluruhan pembangkit. Fungsinya mencakup pengaturan proses start-up, shut-down, dan penyesuaian beban sesuai dengan permintaan energi listrik. Keberadaan sistem kontrol ini menjadi krusial karena memastikan kestabilan operasi pembangkit, serta meningkatkan efisiensi penggunaan energi secara keseluruhan.

Dengan pengaturan yang tepat, sistem ini membantu mengoptimalkan kinerja pembangkit, mengurangi risiko gangguan operasional, dan menjaga keandalan pasokan listrik yang diperlukan untuk masyarakat dan industri.

5. Peralatan Proteksi (*Protection Equipment*)

Peralatan proteksi dalam infrastruktur listrik berfungsi untuk melindungi komponen-komponen sistem pembangkit dari kerusakan akibat kondisi yang tidak diinginkan, seperti lonjakan tegangan, arus lebih, atau gangguan lainnya yang bisa menyebabkan kerusakan serius atau bahkan kegagalan total.

Contoh dari perlindungan ini termasuk proteksi terhadap gangguan busur listrik yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik, proteksi terhadap gangguan tanah yang dapat merusak isolasi sistem. Perlindungan ini tidak hanya mempertahankan integritas sistem, tetapi juga meminimalkan risiko downtime yang dapat berdampak negatif pada produktivitas dan keandalan operasional.

6. Sistem Bahan Bakar

Sistem bahan bakar dalam infrastruktur listrik bertanggung jawab dalam memasok dan mengelola bahan bakar ke pembangkit listrik. Ini meliputi penyimpanan bahan bakar untuk memastikan ketersediaan yang cukup, penanganan bahan bakar termasuk proses pemrosesan dan pengaturan aliran bahan bakar, serta sistem pengontrolan dan pengawasan yang menyeluruh.

Tujuan utamanya adalah untuk memastikan pasokan bahan bakar yang stabil, konsisten, dan aman sesuai dengan kebutuhan operasional pembangkit. Integrasi teknologi monitor dan kontrol yang canggih menjadi kunci untuk mengidentifikasi, mencegah, dan menangani potensi gangguan atau kegagalan dalam pasokan bahan bakar, sehingga meminimalkan risiko gangguan operasional dan meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

Setiap komponen ini bekerja secara terpadu dalam sebuah pembangkit tenaga listrik untuk menghasilkan energi listrik yang diperlukan

dalam berbagai skala, mulai dari pembangkit listrik tenaga besar hingga pembangkit listrik tenaga kecil atau skala mikro. Kombinasi dan pengaturan komponen ini menjadi kunci utama dalam menjaga keandalan, efisiensi, dan keselamatan operasional dari seluruh sistem pembangkit tenaga listrik.

Komponen pembangkit tenaga listrik terdiri dari beberapa elemen penting yang bekerja secara sinergis untuk menghasilkan listrik. Generator adalah komponen utama yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Turbin, yang digerakkan oleh fluida seperti air, uap, atau gas, menyediakan energi mekanik untuk generator.

Selain itu, terdapat boiler yang memanaskan fluida kerja, kondensor yang mengubah fluida uap kembali menjadi cair, dan pompa yang mengedarkan fluida. Sistem kontrol dan pengatur juga sangat penting untuk menjaga kestabilan dan efisiensi proses pembangkitan listrik. Semua komponen ini harus dirancang dan dioperasikan dengan baik untuk memastikan pasokan listrik yang andal dan efisien.

Klasifikasi Sumber Energi Pembangkit Tenaga Listrik

Klasifikasi sumber energi pembangkit tenaga listrik mengacu pada pengelompokan jenis-jenis energi yang digunakan untuk menghasilkan listrik berdasarkan asal dan sifatnya. Sumber energi terbagi menjadi dua kelompok utama yaitu terbarukan dan tidak terbarukan. Sumber energi terbarukan, seperti matahari, angin, air, biomassa, dan panas bumi, berasal dari alam dan dapat diperbarui (Meilani, 2010).

Berikut ini beberapa penjelasan dari jenis sumber energi pada pembangkit tenaga listrik. Diantaranya adalah sebagai berikut (Yuniarti, 2019: 16—18).

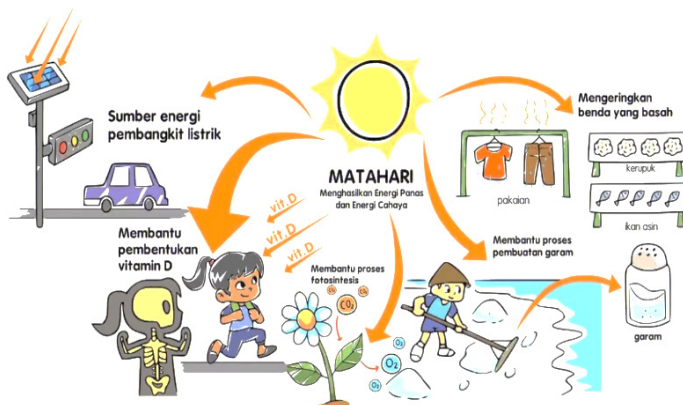
1. Sumber Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan secara terus-menerus dari berbagai sumber seperti matahari, angin, air, panas bumi, biomassa, dan ombak. Keunggulan utama energi terbarukan adalah

ketersediaannya yang tidak pernah habis dan sifatnya yang bersih atau bebas dari polusi yang dihasilkan oleh sumber energi konvensional. Terdapat beberapa jenis energi terbarukan diantaranya adalah sebagai berikut.

a. Energi Matahari

Energi matahari adalah sumber energi terbarukan dengan potensi tertinggi, memberikan energi bersih, aman, dan dapat diandalkan. Biaya instalasi energi matahari saat ini jauh lebih murah daripada sepuluh tahun lalu, memungkinkan persaingan biaya pembangkitan dengan energi fosil. Energi matahari terbagi menjadi dua tipe: pasif dan aktif. Energi matahari dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



Gambar 3 Manfaat Energi Matahari dalam Kehidupan

Sumber: Staida, 2024

b. Energi Angin

Angin disebabkan oleh pergerakan udara di atmosfer, dimanfaatkan oleh turbin angin untuk menangkap energinya. Energi angin dapat dihasilkan dalam berbagai kondisi cuaca. Penempatan turbin angin pada ketinggian sekitar 30 meter dari tanah penting untuk mengoptimalkan kinerjanya. Untuk menghindari turbulensi, turbin angin ditempatkan dengan jarak 5-15 kali lebar diameter turbin di setiap titiknya, dan dapat beroperasi dengan

poros horizontal atau vertikal. Energi angin dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



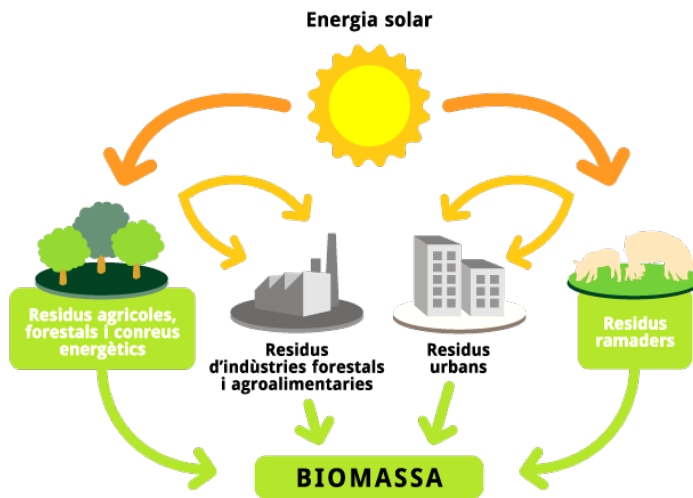
Gambar 4 Pemanfaatan Energi Angin

Sumber: Rangkuti, 2023

c. Energi Biomassa

Biomassa merupakan sumber energi yang dihasilkan dari limbah tanaman atau hewan dalam sektor pertanian. Energi ini berasal dari bahan organik di mana energi dari sinar matahari disimpan dalam ikatan kimia melalui proses fotosintesis. Saat biomassa dibakar atau terdekomposisi, ikatan antara molekul karbon, hidrogen, dan oksigen terpisah, melepaskan energi yang tersimpan dalam substansi organik ini.

Proses ini menghasilkan panas dan dapat digunakan untuk menghasilkan listrik, panas, atau bahan bakar bio. Biomassa memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan karena dapat dihasilkan secara berkelanjutan dari limbah pertanian dan dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta mengurangi emisi gas rumah kaca. Energi biomassa dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



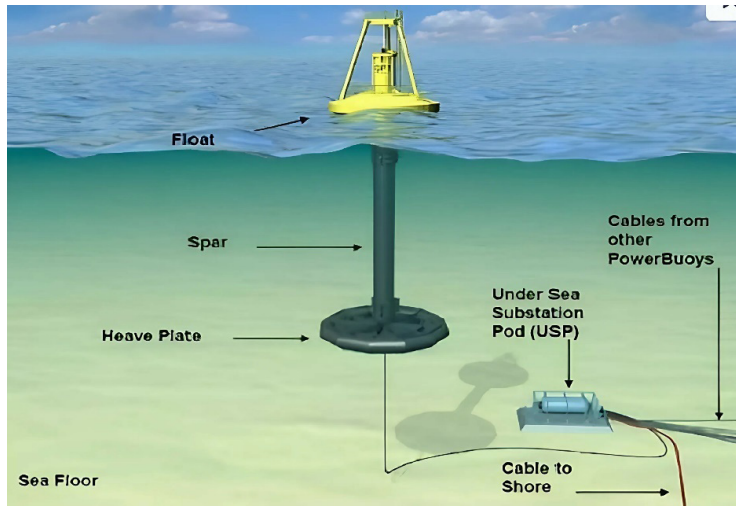
Gambar 5 Skema Kerja energi Biomasa

Sumber: Prayitno, 2022

d. Energi Ombak

Lautan, yang menutupi sepertiga permukaan bumi, tidak hanya merupakan sumber energi terbarukan potensial yang besar tetapi juga menawarkan berbagai metode inovatif untuk memanfaatkan energi kinetik air di pesisir pantai. Salah satu pendekatan yang efisien adalah menggunakan kolom osilasi, yang memanfaatkan pergerakan pasang surut air laut untuk memutar turbin angin.

Teknologi ini memungkinkan konversi energi kinetik dari gerakan air laut menjadi energi listrik secara efektif, dengan potensi untuk menyediakan sumber daya yang stabil dan berkelanjutan bagi komunitas pesisir dan pulau-pulau kecil yang bergantung pada akses energi yang andal dan ramah lingkungan. Energi ombak dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



Gambar 6 Pemanfaatan Energi Ombak

Sumber: Rangkuti, 2023

e. Energi Panas Bumi

Energi panas bumi merupakan sumber energi yang dihasilkan dari panas yang terdapat di inti bumi, yang dikenal bersih dan dapat diperbarui. Meskipun demikian, penggunaannya menghadapi kendala-kendala tertentu. Tidak semua lokasi geografis dapat mendukung pembangunan pembangkit energi panas bumi karena membutuhkan kondisi geologis yang spesifik.

Selain itu, sumber energi ini rentan terhadap risiko pergeseran tanah atau gempa bumi yang dapat mengganggu keandalan operasionalnya. Oleh karena itu, meskipun potensinya besar dalam menyediakan energi yang ramah lingkungan, pemanfaatan energi panas bumi memerlukan studi yang mendalam tentang kondisi geologis dan mitigasi risiko yang tepat agar dapat dimanfaatkan secara optimal dan aman. Energi panas bumi dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



Gambar 7 Pemanfaatan Energi Panas Bumi

Sumber: Pristiandaru, 2020

2. Sumber Energi Tidak Tabarukan

Energi tidak terbarukan merujuk kepada jenis energi yang berasal dari sumber daya alam yang memerlukan waktu jutaan tahun untuk terbentuk. Sumber energi ini dianggap tidak terbarukan karena jika eksploitasi berlebihan terjadi, tidak ada jaminan bahwa sumber daya alam yang sama akan terbentuk kembali dalam jutaan tahun mendatang. Berikut adalah beberapa jenis sumber daya alam yang termasuk dalam kategori tidak terbarukan. Diantaranya adalah sebagai berikut.

 - a. Batu bara adalah bahan bakar fosil berbentuk batuan sedimen yang bisa terbakar, terbentuk dari sisa-sisa bahan organik seperti tumbuhan dengan kandungan utama karbon, hidrogen, dan oksigen.
 - b. Minyak bumi merupakan cairan kental berwarna hitam atau coklat gelap yang mudah terbakar, terdiri dari campuran hidrokarbon kompleks hasil dekomposisi materi organik seperti tumbuhan dan hewan.
 - c. Gas alam, juga dikenal sebagai gas bumi, berbentuk gas utama yang mengandung metana, dihasilkan dari pembusukan bahan

organik oleh bakteri anaerobik. Metana sebagai gas rumah kaca berpotensi menyebabkan pemanasan global jika terlepas ke atmosfer.

- d. Energi nuklir dihasilkan melalui proses reaksi fisi dan fusi pada inti atom. Bahan bakar utama energi nuklir adalah uranium dan plutonium yang diekstraksi dari tambang bawah tanah, sehingga termasuk dalam kategori bahan bakar tidak terbarukan.

Klasifikasi sumber energi pembangkit tenaga listrik membagi berbagai jenis energi berdasarkan asal dan karakteristiknya. Ini penting untuk memahami potensi, kelebihan, dan tantangan dari setiap jenis energi dalam konteks pembangkitan listrik.

Energi terbarukan seperti matahari, angin, air, biomassa, dan panas bumi menawarkan keberlanjutan dan meminimalkan polusi, sementara sumber energi tidak terbarukan seperti batu bara, minyak bumi, gas alam, dan energi nuklir memiliki keterbatasan dalam keberlanjutan dan dampak lingkungan. Pemilihan sumber energi yang tepat dapat mempengaruhi keandalan, efisiensi, dan dampak lingkungan dari sistem pembangkitan listrik.

Prinsip Kerja dan Watak Pembangkit Listrik

Prinsip kerja pembangkit listrik mencakup konversi energi dari bentuk lain (seperti energi mekanik, panas, atau kimia) menjadi energi listrik melalui generator. Karakteristiknya meliputi efisiensi, kapasitas, keandalan, dan dampak lingkungan. Efisiensi menggambarkan tingkat konversi energi yang optimal tanpa pemborosan (Astro, 2020).

Kapasitas mengacu pada jumlah energi listrik yang bisa dihasilkan. Keandalan menunjukkan konsistensi penyediaan daya, sementara dampak lingkungan mengukur pengaruh negatif seperti emisi gas rumah kaca atau limbah panas. Pemahaman ini penting untuk memilih dan mengoperasikan teknologi pembangkit listrik yang sesuai dengan kebutuhan energi dan keberlanjutan lingkungan.

Prinsip kerja dan sifat dari pembangkit listrik memiliki beberapa jenis, diantaranya adalah sebagai berikut (Suripto, 2017: 26—58).

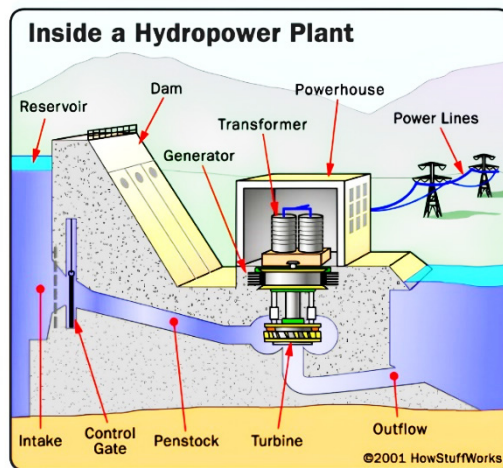
1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) menggunakan energi air sebagai sumber untuk menggerakkan turbin, yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator. Energi mekanik berasal dari energi potensial air yang tersimpan pada ketinggian tertentu dalam waduk atau kolam penampungan, kemudian dialirkan melalui pipa-pipa ke sudu-sudu turbin.

Terdapat dua jenis PLTA berdasarkan posisi poros turbinnya diantaranya adalah sebagai berikut (Suripto, 2017: 27—30).

a. PLTA turbin poros Vertikal

PLTA yang menggunakan turbin poros vertikal biasanya digunakan untuk PLTA di waduk, contohnya adalah PLTA Sutami atau PLTA Karanglates di Malang, Jawa Timur. PLTA dengan turbin poros vertikal dapat di gambarkan sebagai berikut.



Gambar 8 Skema Kerja PLTA Turbin Poros Vertikal

Sumber: Suripto, 2017: 27

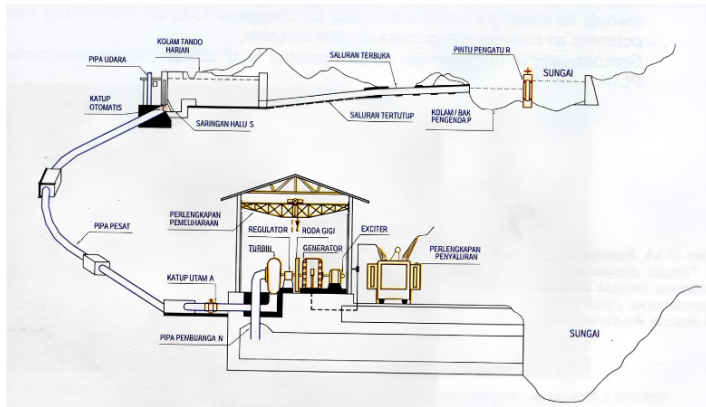
Terdapat beberapa prinsip konversi pada PLTA jenis turbin poros vertikal, diantaranya adalah sebagai berikut.

- 1) Air sungai dialirkan ke waduk melalui bendungan untuk mencapai ketinggian yang cukup, menghasilkan energi potensial besar. Turbin air dipasang di area sekitar waduk yang lebih rendah.
- 2) Air dari waduk dialirkan ke turbin melalui pipa penstock. Aliran air diatur sesuai kebutuhan turbin dengan mengatur pintu air pada pipa penstock. Terdapat penstock vertikal terbuka untuk mengatur tekanan saat terjadi gangguan pada turbin yang memperlambat aliran air.
- 3) Air keluar dari pipa penstock dengan kecepatan tinggi, memberikan energi kinetik yang cukup besar untuk memutar turbin air.
- 4) Poros turbin terhubung dengan poros generator, yang menghasilkan putaran dan menghasilkan energi listrik.
- 5) Air yang keluar dari turbin kembali dialirkan ke sungai untuk keperluan pengairan atau kebutuhan lainnya.

a. PLTA Turbin Poros Horizontal

Pembangkit listrik tenaga air dengan turbin poros horizontal menggunakan kolam tando sebagai alternatif jika debit air tidak besar, dengan kolam tando di hulu sungai yang tidak terlalu besar. Air sebagian dialirkan ke daerah lebih rendah melalui pipa, sementara sisanya mengalir melalui sungai untuk memutar turbin di daerah yang lebih rendah.

PLTA turbin dengan poros horizontal dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 9 Skema PLTA Turbin Horizontal

Sumber: Suropto, 2017: 30

PLTA merupakan jenis pembangkit listrik yang dapat dioperasikan secara sederhana dan cepat, sehingga dapat segera terhubung dengan sistem yang lebih besar dalam waktu singkat. Karena fleksibilitas ini, PLTA sering dimanfaatkan untuk mendukung beban puncak, yakni dioperasikan saat kebutuhan listrik harian tinggi selama beberapa jam saja. Setelah periode tersebut berakhir dan kebutuhan turun, PLTA dapat dinonaktifkan.

- 1) Secara singkat, watak pada karakteristik PLTA dapat dijelaskan diantaranya adalah sebagai berikut
- 2) Lokasi pembangunannya bergantung pada ketersediaan sumber air.
- 3) Pembangunannya membutuhkan waktu yang lama.
- 4) Umumnya terletak di daerah yang jauh dari perkotaan atau pusat beban.
- 5) Memerlukan biaya pembangunan yang besar dan lahan yang luas.
- 6) Biaya operasionalnya relatif rendah.
- 7) Operasinya sangat dipengaruhi oleh ketersediaan cadangan air.
- 8) Ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi udara.

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan salah satu bentuk utama dari pembangkit listrik berbasis energi terbarukan yang menggunakan energi potensial air untuk menghasilkan listrik. PLTA umumnya memanfaatkan air yang disimpan dalam waduk atau bendungan. Proses dimulai dengan air yang mengalir dari waduk melalui pipa penstock menuju turbin. Saat air mengalir melalui turbin, energi potensial air berubah menjadi energi kinetik yang menggerakkan turbin.

Gerakan turbin kemudian digunakan untuk memutar generator yang menghasilkan listrik. Selain menghasilkan energi listrik yang bersih dan ramah lingkungan, PLTA juga memiliki kemampuan untuk menyimpan energi dalam bentuk air yang tersimpan di waduk, yang dapat digunakan sesuai kebutuhan untuk mengatur pasokan energi listrik.

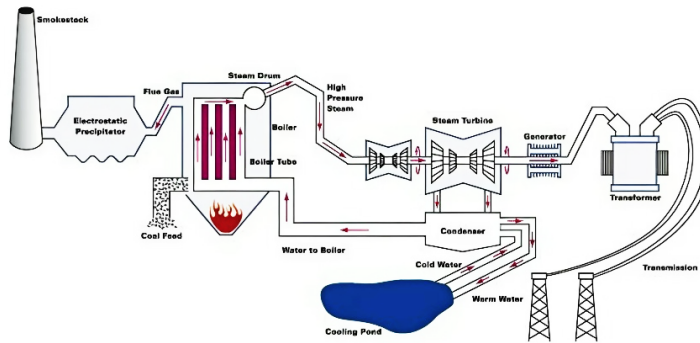
Keuntungan utama PLTA meliputi keandalan dan stabilitas dalam penyediaan energi listrik. Karena mengandalkan aliran air yang alami, PLTA mampu menghasilkan listrik secara konsisten, terlepas dari fluktuasi cuaca atau musiman. Selain itu, PLTA juga memberikan manfaat tambahan berupa pengaturan banjir dan pengendalian tata air, yang dapat membantu mengurangi risiko banjir dan memberikan pasokan air yang stabil untuk keperluan irigasi pertanian.

Meskipun PLTA memiliki dampak lingkungan terkait perubahan ekosistem di sekitar waduk dan laju aliran sungai, keunggulannya dalam menyediakan energi terbarukan yang dapat diandalkan membuatnya menjadi salah satu pilihan utama dalam diversifikasi sumber energi global.

2. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu jenis pembangkit termal yang paling sering dipilih untuk pengembangan kapasitas pembangkit di Indonesia. Disebut pembangkit termal karena jenis ini mengonversi energi melalui proses pemanasan bersuhu tinggi untuk menghasilkan energi yang besar. Kapasitas pembangkit ini dapat dikembangkan sesuai dengan kebutuhan daya beban dan

ketersediaan sumber energi primer. Prinsip kerja dari PLTU dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 10 Skema Kerja PLTU

Sumber: Suropto, 2017: 33

Prinsip kerja PLTU dapat dijelaskan diantaranya adalah sebagai berikut.

- Air dipanaskan dalam ketel uap (Boiler) hingga menjadi uap dengan suhu dan tekanan tinggi.
- Uap tersebut kemudian dialirkan ke turbin uap untuk memutar turbin.
- Uap yang keluar dari turbin, yang tekanannya sudah relatif rendah, dialirkan ke kondensator agar mengembun menjadi air kembali.
- Air yang dihasilkan oleh kondensator dikembalikan ke boiler untuk diuapkan lagi. Siklus ini akan terus berulang selama pemanasan masih berlangsung.

Ciri khas dari pembangkit listrik tenaga uap adalah adanya cerobong asap yang dibuat cukup tinggi. Cerobong ini digunakan untuk membuang asap sisa pembakaran bahan bakar. Salah satu dampak dari pembakaran bahan bakar adalah polusi berupa udara panas dan karbon dioksida (CO_2).

Karakteristik dan sifat PLTU dapat diringkas diantaranya adalah sebagai berikut

- a. Lokasi pembangunan dapat didekatkan dengan pusat beban untuk mengurangi biaya penyaluran tenaga listrik.
- b. Lokasi pembangunan biasanya dipilih di pantai untuk mempermudah transportasi bahan bakar dan proses pengembunan uap.
- c. Menimbulkan polusi berupa udara panas dan CO₂ dari gas buang sisa pembakaran.
- d. Pembangunan dapat dilakukan dalam waktu yang relatif singkat.
- e. Layak dibangun untuk kapasitas daya yang besar.
- f. Biaya operasional sangat dipengaruhi oleh jenis bahan bakar yang digunakan.
- g. Biaya investasi relatif lebih murah dibandingkan dengan PLTA.
- h. Waktu yang diperlukan untuk memulai pengoperasian cukup lama, sehingga digunakan untuk melayani beban dasar.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan proses konversi energi panas menjadi energi listrik. PLTU umumnya menggunakan bahan bakar fosil seperti batu bara untuk menghasilkan uap yang kemudian digunakan untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik.

Proses dimulai dengan pembakaran batu bara di dalam boiler untuk memanaskan air dan menghasilkan uap. Uap yang dihasilkan kemudian dialirkan melalui pipa menuju turbin, di mana energi kinetik dari uap digunakan untuk memutar turbin tersebut. Gerakan turbin menggerakkan generator yang mengubah energi kinetik menjadi energi listrik.

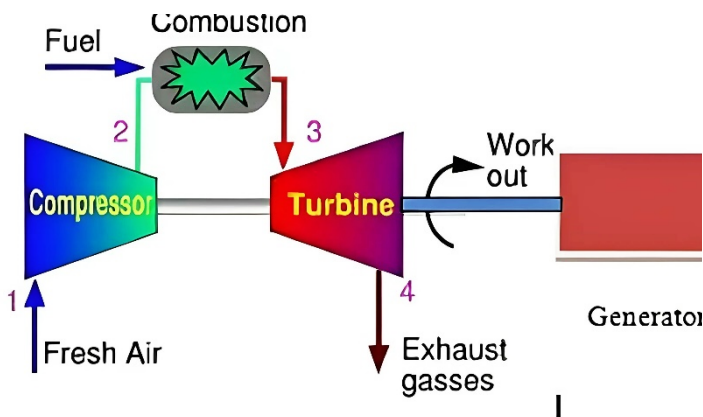
Salah satu keunggulan PLTU adalah kemampuannya untuk menghasilkan daya listrik dalam jumlah besar dengan biaya relatif rendah, terutama di negara-negara dengan cadangan batu bara yang melimpah. Namun, PLTU juga memiliki dampak lingkungan yang signifikan. Pembakaran batu bara menghasilkan emisi gas rumah kaca dan partikulat yang dapat mencemari udara dan lingkungan sekitarnya.

Upaya untuk mengurangi dampak ini telah mengarah pada pengembangan teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon (CCS), serta langkah-langkah untuk meningkatkan efisiensi konversi energi dalam proses pembakaran dan pengelolaan limbah. Meskipun demikian, PLTU tetap menjadi salah satu sumber utama energi listrik di banyak negara, meskipun sedang menghadapi tantangan dalam konteks transisi energi menuju sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

3. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) merupakan jenis pembangkit listrik yang menggunakan gas bertekanan tinggi hasil pembakaran untuk memutar turbin. Perbedaan utamanya dengan PLTU terletak pada penggunaan panas dari pembakaran bahan bakar untuk memanaskan air menjadi uap.

Untuk mengetahui bagaimana kerja dari PLTG dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 11 Skeman Kerja PLTG

Sumber: Suripto, 2017: 41

Proses konversi energi yang terjadi di PLTG secara umum dapat dijelaskan diantaranya adalah sebagai berikut.

- a. Udara segar dimasukkan ke dalam kompresor untuk meningkatkan tekanan secara signifikan, kemudian dialirkan ke ruang bakar.
- b. Pada ruang bakar, bahan bakar disemprotkan bersama udara bertekanan tinggi untuk proses pembakaran.
- c. Gas hasil pembakaran yang memiliki tekanan dan suhu tinggi dialirkan ke turbin gas untuk memutar turbin.
- d. Gas panas yang keluar dari turbin dapat langsung dibuang atau dimanfaatkan untuk memanaskan air dalam boiler pada PLTU.

PLTG memiliki keuntungan waktu start yang singkat dibandingkan dengan PLTU, sehingga dapat segera digunakan setelah dioperasikan. Start PLTU dimulai dengan memutar kompresor menggunakan mesin diesel. Secara ringkas, terdapat beberapa atak yang dihasilkan dari PLTG diantaranya adalah sebagai berikut

- a. Waktu starting pembangkit yang relatif singkat.
- b. Lokasi pembangkit yang dapat ditempatkan dekat pusat beban, seringkali di sekitar pantai untuk mempermudah transportasi bahan bakar.
- c. Biaya operasional yang cenderung tinggi.
- d. Lebih banyak digunakan untuk kapasitas daya yang relatif kecil dan untuk menangani beban puncak.
- e. Tidak memerlukan lahan yang luas.

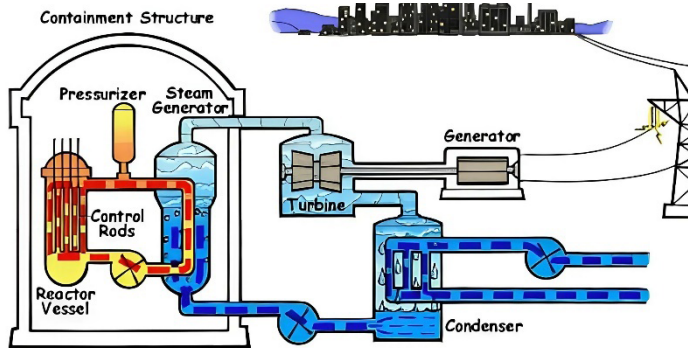
Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan gas alam sebagai bahan bakar utamanya. Proses pembangkitan dimulai dengan pembakaran gas alam dalam mesin turbin gas untuk menghasilkan energi panas. Energi panas ini kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin yang terhubung dengan generator listrik, menghasilkan listrik.

Keunggulan utama PLTG termasuk efisiensi tinggi dalam konversi energi, kemampuan untuk dimulai dan dihentikan dengan cepat, serta menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya yang menggunakan bahan

bakar fosil. PLTG juga fleksibel dalam penggunaan, dapat digunakan sebagai sumber listrik utama atau sebagai penguat (peaking power) saat diperlukan untuk mengatasi fluktuasi permintaan listrik dalam jaringan.

4. Pembangkit listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

Pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) adalah pembangkit listrik dengan kapasitas besar yang sering dibangun dengan biaya operasional relatif murah. Prinsip kerja PLTN secara umum mirip dengan PLTU, namun berbeda dalam hal panas yang digunakan untuk memanaskan air di boiler, yaitu menggunakan panas dari hasil reaksi nuklir. Proses kerja dari Pembangkit Listrik tenaga nuklir dapat kita ketahui pada gambar berikut.



Gambar 12 Skema Kerja PLTN

Sumber: Suripto, 2017: 46

Kelebihan lain dari PLTN adalah tidak menimbulkan polusi udara berupa CO₂ seperti yang umumnya terjadi pada pembangkit tenaga fosil. Watak yang dihasilkan dari kerja PLTN secara umum, diantaranya adalah sebagai berikut.

- Biaya pembangunan yang relatif besar, hanya layak untuk kapasitas daya besar.
- Biaya operasional yang relatif lebih murah.
- Tidak menghasilkan polusi CO₂ di lingkungan sekitarnya.

- d. Risiko keamanan terhadap lingkungan yang lebih besar, termasuk bahaya radiasi dan gelombang radioaktif.
- e. Memerlukan sistem pendinginan yang cukup besar, sehingga lebih cocok untuk dibangun di daerah pantai.

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) adalah instalasi yang menggunakan reaksi nuklir untuk menghasilkan energi listrik. PLTN menggunakan bahan bakar nuklir seperti uranium atau plutonium yang mengalami fisi nuklir, menghasilkan panas yang kemudian digunakan untuk menghasilkan uap air. Uap ini kemudian digunakan untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik.

Keunggulan utama PLTN termasuk kapasitas besar dalam menghasilkan energi dengan emisi karbon yang rendah, yang membuatnya menjadi alternatif yang menarik dalam upaya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Namun, tantangan utama PLTN meliputi pengelolaan limbah radioaktif yang sangat berbahaya dan kekhawatiran akan kecelakaan nuklir, yang mendorong perlunya standar keselamatan yang ketat dan tata kelola yang transparan dalam pengoperasiannya.

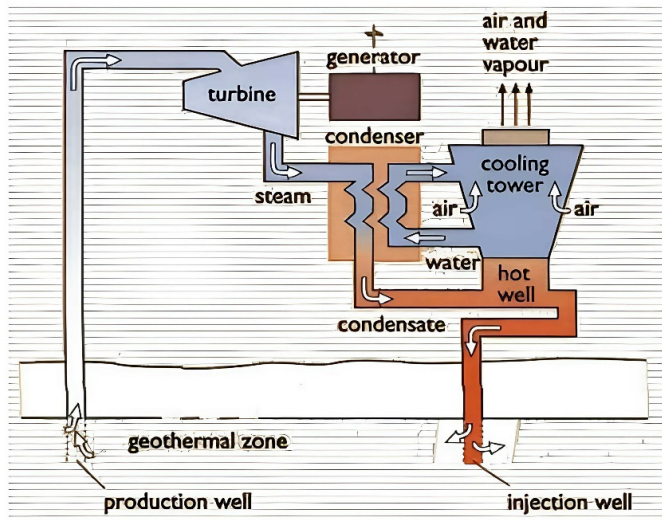
5. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) merupakan jenis pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan (EBT). PLTP umumnya dibangun di sekitar gunung berapi yang memiliki sumber panas dari magma. Dalam prosesnya terdapat dua konsep kinerja pada pembangkit listrik tenaga panas bumi, diantaranya adalah sebagai berikut

- a. PLTP (Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi) dengan uap kering adalah skema yang memanfaatkan panas bumi untuk menghasilkan listrik. Uap kering yang dihasilkan dari reservoir panas bumi dialirkan melalui turbin, menggerakkan generator listrik untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik.

Skema ini menggunakan sumber daya terbarukan dan ramah lingkungan, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, meskipun memiliki tantangan seperti biaya investasi awal yang

tinggi dan eksplorasi teknis yang kompleks. Skema tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 13 Skema PLTP dengan Uap Kering

Sumber: Suropto, 2017: 48

Uap air yang telah dikeluarkan dari turbin kemudian dikondensasikan dalam kondenser sebelum disuntikkan kembali ke dalam bumi melalui sumur injeksi. Proses ini diperlukan untuk mengurangi dampak buruk terhadap keseimbangan ekosistem bumi dan menjaga stabilitas kondisi uap air yang keluar dari sumur produksi.

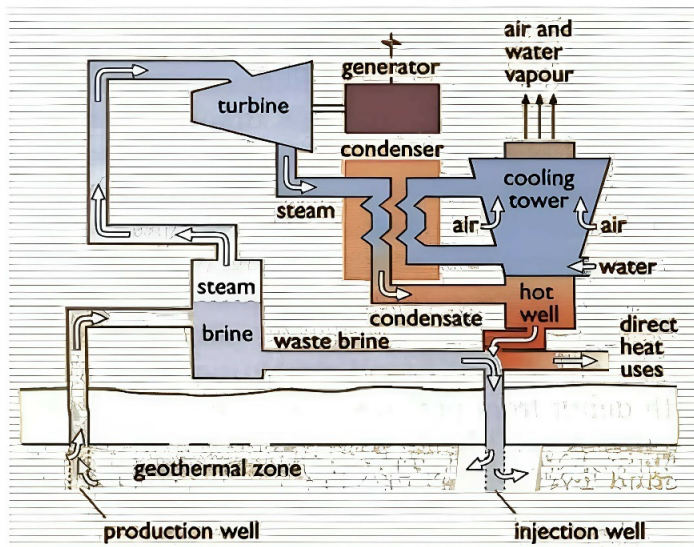
Pendinginan dilakukan dengan menggunakan air yang sirkulasinya diatur melalui menara pendingin atau cooling tower, terutama karena pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) umumnya berlokasi di pegunungan yang jauh dari pantai.

- b. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi dengan Uap Basah Uap air panas yang keluar dari sumur produksi masih mengandung banyak air, yang biasa disebut sebagai uap basah. Proses pada PLTU jenis uap basah ini dibagi menjadi dua, yaitu sirkulasi

tunggal (single flash steam power plant) dan binary cycle power plant yang menggunakan dua sirkulasi panas terpisah.

Pada sistem sirkulasi tunggal, uap panas langsung dari sumur digunakan untuk menggerakkan turbin uap setelah air dipisahkan dari uap panas. Uap yang keluar dari turbin kemudian dikondensasikan, dan bersama dengan air yang dipisahkan dari uap panas melalui sumur injeksi, kembali dipompakan ke dalam bumi.

Proses yang terjadi pada jenis ini, dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 14 Skema PLTP dengan Uap Basah

Sumber: Suripto, 2017: 50

PLTP uap basah menggunakan uap air panas langsung dari sumur-sumur panas bumi sebagai sumber energi utama. Uap basah ini digunakan untuk menggerakkan turbin uap dalam sistem sirkulasi tunggal, di mana uap panas langsung dari sumur memutar turbin setelah airnya dipisahkan. Setelah melewati turbin, uap dikondensasikan kembali menjadi air.

Air yang dimaksud dengan air hasil kondensasi, dipompakan kembali ke dalam bumi melalui sumur injeksi. Meskipun memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan PLTP jenis binary cycle, PLTP uap basah tetap menjadi pilihan utama di daerah dengan suhu tinggi yang mendukung produksi uap basah dalam jumlah besar. Perkembangan teknologi terus mendorong peningkatan efisiensi dan keberlanjutan operasional PLTP uap basah, dengan memperhatikan juga dampak lingkungan terkait manajemen sisa panas dan pengelolaan air limbah.

Dalam perkembangannya, terdapat beberapa jenis proses konversi energi yang digunakan diantaranya adalah sebagai berikut.

- a. Sistem uap kering atau dry steam system.
- b. PLTU, di mana uap air panas yang keluar dari sumur produksi masih mengandung banyak air atau sering disebut sebagai uap basah.

Secara umum, watak yang terjadi pada PLTP dapat diringkas diantaranya adalah sebagai berikut.

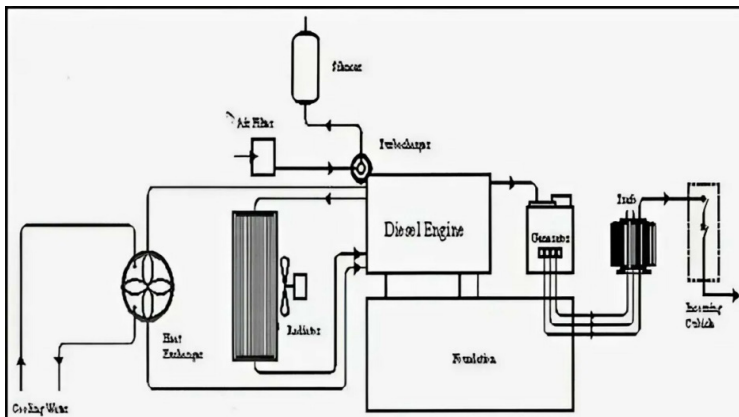
- a. Lokasi pembangunan berada di sekitar gunung berapi yang kaya akan magma.
- b. Biaya pembangunan tinggi terutama untuk proses pengeboran.
- c. Memerlukan pertimbangan serius terhadap potensi kerusakan lingkungan dan ekosistem.
- d. Biaya operasional relatif murah.
- e. Tidak menimbulkan banyak dampak polusi udara karena tidak ada pembakaran bahan bakar.

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) memanfaatkan panas dari dalam bumi untuk menghasilkan listrik secara berkelanjutan dan ramah lingkungan. Prosesnya melibatkan ekstraksi uap atau air panas dari reservoir bawah tanah melalui sumur bor, yang kemudian menggerakkan turbin yang terhubung dengan generator. PLTP terdiri dari tiga jenis utama yaitu, sistem uap kering, sistem uap berfluks, dan sistem biner.

Sistem uap kering menggunakan uap langsung dari reservoir, sementara sistem uap berfluks mengubah air panas menjadi uap melalui penurunan tekanan. Sistem biner menggunakan fluida sekunder dengan titik didih lebih rendah untuk mengambil panas dari air panas, menghasilkan uap yang menggerakkan turbin. Keunggulan PLTP adalah sumber energi yang stabil dan berkelanjutan serta emisi gas rumah kaca yang rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik berbahan bakar fosil.

6. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Kelebihan PLTD dibandingkan dengan jenis pembangkit lain yang telah dibahas sebelumnya adalah bahwa PLTD lebih sesuai untuk dibangun di lokasi dengan kebutuhan beban yang masih relatif kecil. Kelebihan lain dari PLTD adalah waktu yang singkat untuk memulai operasi normal setelah start. Pada proses ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 15 Skema Kerja PLTD

Sumber: PT Berkat Manunggal, 2018

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) menggunakan mesin diesel untuk menghasilkan energi listrik. Prosesnya dimulai dengan pembakaran bahan bakar diesel di dalam mesin, yang menghasilkan energi panas untuk memutar generator. Generator ini mengubah

energi mekanik menjadi energi listrik yang dapat disalurkan ke jaringan listrik atau digunakan lokal.

PLTD umumnya digunakan dalam skala kecil hingga menengah untuk pasokan listrik darurat, cadangan, atau di daerah yang belum terjangkau jaringan listrik utama. Meskipun andal, biaya operasional PLTD cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan pembangkit listrik menggunakan bahan bakar lainnya seperti gas alam atau batu bara.

Secara ringkas, watak yang terdapat pada PLTD diantaranya adalah sebagai berikut.

- a. Biaya pembangunan yang relatif ringan.
- b. Proses pembangunannya lebih cepat.
- c. Letaknya dapat didekatkan dengan pusat beban.
- d. Dapat segera digunakan setelah start.
- e. Biaya operasional cukup tinggi.
- f. Biasanya digunakan untuk daya yang relatif kecil.
- g. Digunakan untuk melayani beban puncak atau di daerah terpencil.

7. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan jenis pembangkit energi terbarukan yang dikembangkan untuk mengatasi kesulitan dalam pengadaan tenaga listrik di daerah terpencil. Prinsip kerja PLTS adalah memanfaatkan energi panas matahari untuk memanaskan sel surya, yang terdiri dari dua lapisan bahan semi konduktor yang berbeda jenis.

Terdapat beberapa bagian dari sel surya, diantaranya adalah sebagai berikut.

a. Substrat

Substrat dalam konteks sel surya adalah lapisan dasar yang umumnya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Sifat elektrik substrat sangat krusial karena memungkinkan materi tersebut menghasilkan aliran elektron ketika terpapar oleh cahaya matahari. Proses ini, dikenal sebagai efek fotolistrik,

memungkinkan substrat untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik yang dapat digunakan.

b. Lapisan Pengotor (*Doping Layer*)

Lapisan ini mengacu pada proses doping, di mana atom-atom dari unsur tertentu (Seperti Boron atau Fosfor) ditambahkan ke substrat semikonduktor. Doping dengan boron menghasilkan tipe p semikonduktor (Berlebihan Lubang Positif), sementara doping dengan fosfor menghasilkan tipe n semikonduktor (Berlebihan Elektron Negatif). Hal ini penting karena menentukan polaritas dan konduktivitas elektrik dari sel surya.

c. Kontak Elektroda

Sel surya terdiri dari dua kontak elektroda utama, yaitu elektroda n dan elektroda p. Elektroda-n biasanya terbuat dari bahan seperti silikon yang difosforilasi untuk membentuk lapisan negatif, sementara elektroda-p terbuat dari bahan boron yang mere-duksi ketidakmurnian.

Ketika cahaya matahari jatuh ke sel surya, elektroda-n dan elektroda-p bekerja bersama-sama untuk mengumpulkan aliran elektron dan lubang. Elektroda ini sering terbuat dari logam seperti perak atau aluminium yang sangat konduktif, memungkinkan untuk pengumpulan dan pengalihan listrik yang efisien dalam sel surya.

d. Junction (Daerah P-N)

Junction dalam sel surya merupakan perbatasan antara lapisan n dan p di mana terjadi proses penting dalam menghasilkan listrik dari energi surya. Ketika sel surya terkena cahaya matahari, foton cahaya menghasilkan energi yang diserap oleh elektron di daerah junction, menciptakan sepasang elektron-lubang.

Interaksi ini menghasilkan medan listrik di sekitar junction, yang mendorong elektron menuju elektroda n dan lubang menuju elektroda p. Proses ini menghasilkan arus listrik yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, dari tenaga rumah tangga

hingga aplikasi industri yang lebih besar dalam pengembangan energi terbarukan.

e. Lapisan Anti-Reflektif

Lapisan anti-reflektif ini secara khusus ditempatkan di atas substrat semikonduktor pada sel surya untuk mengurangi refleksi cahaya dari permukaannya. Fungsi utamanya adalah meningkatkan penyerapan cahaya matahari oleh substrat, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi konversi energi surya menjadi listrik.

Dengan mengurangi tingkat refleksi, lebih banyak cahaya matahari dapat diteruskan ke dalam sel surya untuk diubah menjadi energi listrik, sehingga mendukung kinerja optimal sel surya dalam menghasilkan daya secara ekonomis dan efisien.

f. Grid atau Fingers

Grid atau fingers adalah struktur tipis dari logam konduktif seperti perak yang diletakkan di atas sel surya. Fungsinya adalah untuk mendistribusikan arus listrik yang dihasilkan secara merata ke elektroda, meningkatkan efisiensi pengumpulan listrik dengan mengurangi resistansi internal sel surya. Dengan demikian, grid ini membantu meningkatkan daya hasil dan umur pakai sel surya dengan menjaga kinerja stabil terhadap variasi kondisi lingkungan dan intensitas cahaya.

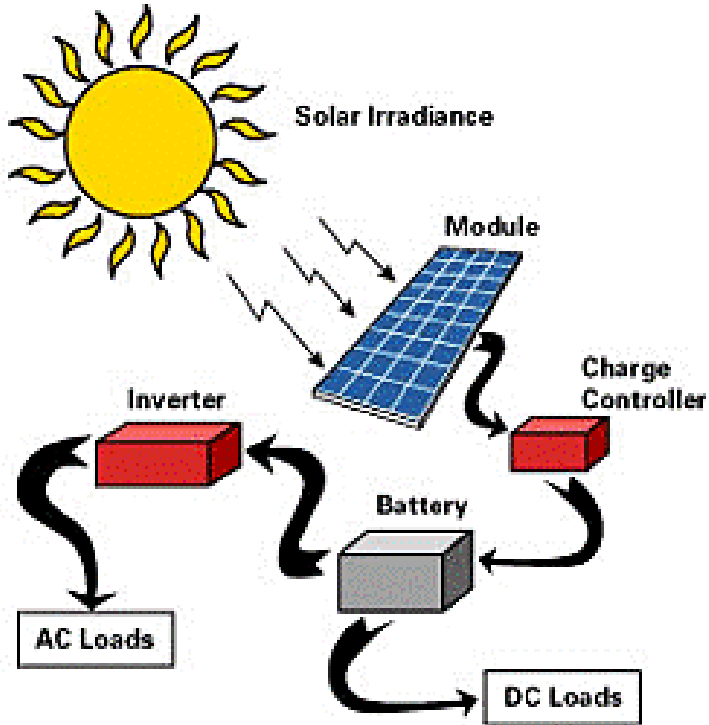
g. Perlindungan dan Lapisan Pelindung

Lapisan terakhir pada sel surya memiliki peran penting dalam melindungi sel surya dari kerusakan fisik dan pengaruh lingkungan yang merugikan, seperti kelembaban tinggi dan suhu panas yang berlebihan. Selain itu, lapisan ini berperan dalam meningkatkan umur dan kinerja sel surya dalam jangka panjang dengan mengurangi risiko korosi dan degradasi material akibat eksposur terhadap kondisi cuaca ekstrem dan perubahan suhu yang tajam.

Dengan demikian, perlindungan yang efektif dari lapisan ini tidak hanya memastikan stabilitas operasional sel surya, tetapi

juga mendukung efisiensi dan keandalan sistem energi terbarukan secara keseluruhan.

Untuk mengetahui bagaimana kerja dan proses perubahan listrik menjadi energi surya dapat kita lihat pada gambar berikut.



Gambar 16 Skema Kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Sumber: PT Daya SN, 2011

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan teknologi sel surya. Panel surya, terdiri dari sel surya atau modul surya, menangkap energi dari sinar matahari. Sel surya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik.

Ketika cahaya matahari jatuh ke sel surya, foton-foton cahaya mengangkat elektron di dalam lapisan semikonduktor, menciptakan

pasangan elektron-lubang di junction antara lapisan n dan p. Medan listrik yang terbentuk di junction mendorong elektron dan lubang untuk mengalir ke elektroda negatif (n) dan positif (p), menghasilkan arus listrik sepanjang rangkaian eksternal yang terhubung.

Arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya berbentuk arus searah (DC). Untuk digunakan dalam rumah tangga atau grid listrik, arus ini diubah menjadi arus bolak-balik (AC) oleh inverter. Energi listrik yang dihasilkan dapat langsung digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik di rumah atau dialirkan ke jaringan listrik umum.

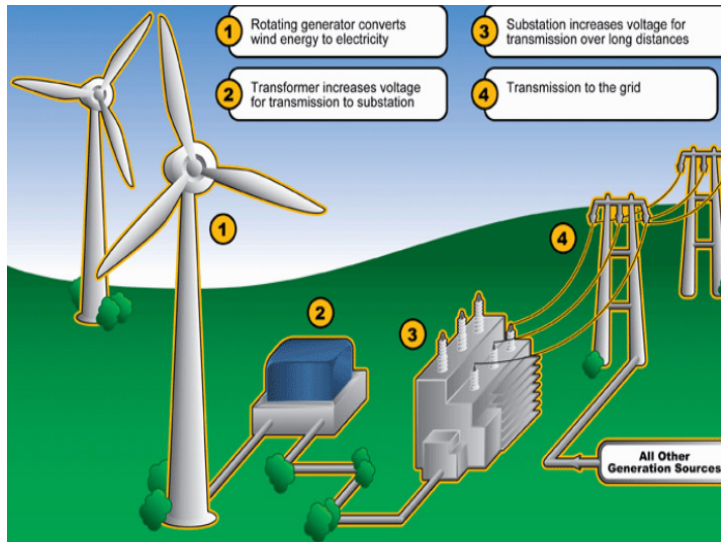
Sistem PLTS juga dilengkapi dengan sistem pemantauan untuk memantau kinerja panel surya dan inverter, serta perlu dilakukan perawatan rutin untuk menjaga efisiensi sistem dalam menangkap energi matahari.

8. Pembangkit Listrik Tenaga Angin atau Bayu (PLTB)

Pada pembangkit listrik tenaga angin, energi untuk memutar generator berasal dari energi angin. Angin yang memiliki kecepatan cukup tinggi digunakan untuk memutar kincir yang porosnya terhubung dengan poros generator.

Karena kecepatan dan arah angin di suatu lokasi dapat berubah-ubah dari waktu ke waktu, diperlukan peralatan pengatur putaran seperti kombinasi roda gigi untuk memastikan putaran kincir tetap stabil. Sama seperti pada PLTS, PLTB juga memerlukan alat penyimpanan energi dan pengatur tegangan. Hal ini penting karena kecepatan angin dapat berubah sewaktu-waktu, sehingga penggunaan energi dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.

Untuk mengetahui bagaimana cara kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin atau Bayu dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 17 Skema Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Sumber: Jendela Den Bei, 2011

Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) menggunakan energi kinetik dari angin untuk menghasilkan energi listrik. PLTA terdiri dari turbin angin yang dilengkapi dengan baling-baling atau bilah yang terpasang pada rotor. Ketika angin bertiup, baling-baling tersebut berputar, menggerakkan rotor dalam turbin. Gerakan rotor ini mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik.

Energi mekanik dari rotor diteruskan ke generator yang terhubung, di mana energi mekanik tersebut diubah menjadi energi listrik dalam bentuk arus listrik bolak-balik (AC) melalui prinsip induksi elektromagnetik. Arus listrik ini kemudian disesuaikan tegangannya melalui transformator agar sesuai dengan kebutuhan jaringan listrik sebelum dialirkan ke pengguna akhir atau jaringan listrik umum.

Sistem PLTA dilengkapi dengan sensor dan sistem pemantauan untuk mengatur kecepatan putaran turbin angin sesuai dengan kondisi angin yang berubah-ubah. Perawatan rutin sangat penting untuk memastikan turbin angin beroperasi secara optimal dan efisien. PLTA merupakan solusi energi yang ramah lingkungan karena tidak

menghasilkan emisi karbon atau polusi udara, menjadikannya alternatif yang menjanjikan dalam menyediakan energi listrik yang bersih dan berkelanjutan.

Prinsip kerja dan karakteristik berbagai jenis pembangkit listrik, terlihat bahwa setiap jenis memiliki cara unik untuk menghasilkan energi listrik. PLTU menggunakan panas dari pembakaran bahan bakar untuk menghasilkan uap yang memutar turbin, PLTG menggunakan gas bertekanan tinggi hasil pembakaran, dan PLTN memanfaatkan panas dari reaksi nuklir tanpa polusi CO₂.

PLTP mengandalkan panas magma di sekitar gunung berapi, PLTS mengubah energi panas matahari melalui sel surya, dan PLTB memanfaatkan energi angin untuk memutar kincir. Setiap jenis ini memiliki keunggulan dan tantangan yang perlu dipertimbangkan dalam memilih teknologi yang sesuai dengan kebutuhan lokal.

Kualitas dan Keandalan Sistem Tenaga Listrik

Keandalan mengacu pada standar pelayanan yang menjamin kelangsungan energi listrik kepada konsumen, sedangkan kualitas terkait dengan stabilitas tegangan dan frekuensi yang diterima oleh konsumen. Dengan tingkat keandalan dan kualitas yang tinggi, konsumen dapat menggunakan energi listrik secara kontinu dan nyaman sesuai kebutuhan mereka dengan aman (Suripto, 2017: 146).

Standar pelayanan energi listrik yang diterima oleh pelanggan dari jaringan distribusi meliputi keandalan dan kualitas listrik. Kualitas listrik dinilai berdasarkan kestabilan tegangan dan frekuensi energi yang diterima oleh pelanggan. Kualitas dikatakan baik jika tegangan dan frekuensi tetap stabil dalam batas toleransi yang ditetapkan.

Terdapat beberapa jenis perubahan tegangan pada distribusi menuju konsumen, diantaranya adalah sebagai berikut (Sugiarti, 2017).

1. Tegangan Lebih (*Over Voltage*) terjadi ketika tegangan pada sistem listrik melebihi batas yang aman atau yang diharapkan. Hal ini dapat

disebabkan oleh gangguan dalam sistem, seperti kilat atau lonjakan tegangan yang tidak terduga. Over voltage dapat merusak peralatan listrik sensitif dan mengganggu operasi normal sistem.

2. Penurunan Tegangan (*Drop Voltage*) adalah kondisi dimana tegangan listrik mengalami penurunan signifikan dari nilai yang seharusnya selama waktu yang singkat. Hal ini bisa terjadi akibat resistansi kabel yang tinggi, beban listrik yang berlebihan, atau jaringan distribusi yang tidak memadai. Drop voltage dapat menyebabkan peralatan elektronik tidak berfungsi dengan baik atau bahkan rusak jika terjadi secara terus-menerus.
3. Getaran Tegangan (*Flicker Voltage*) adalah fluktuasi periodik pada tegangan listrik yang terlihat sebagai getaran atau perubahan cahaya pada lampu. Getaran ini biasanya disebabkan oleh beban besar yang beralih secara periodik, seperti mesin-mesin industri besar yang dihidupkan dan dimatikan secara berkala. Flicker voltage dapat mengganggu kenyamanan visual, menyebabkan kelelahan mata, dan dalam kasus yang parah, mempengaruhi kinerja peralatan sensitif.
4. Kedipan Tegangan (*Dip Voltage*) terjadi ketika tegangan listrik turun secara tiba-tiba dan singkat. Ini bisa disebabkan oleh gangguan pada sistem distribusi, seperti hubung singkat atau pemadaman listrik sementara. Dip voltage dapat menyebabkan pemadaman peralatan elektronik, mesin yang beroperasi tidak stabil, dan dalam kasus ekstrem, kerusakan permanen pada peralatan.
5. Harmonisasi Tegangan (*Harmonic*) adalah gelombang-gelombang frekuensi tambahan yang muncul di dalam sistem listrik selain dari frekuensi dasar. Harmonic dapat terjadi akibat penggunaan peralatan elektronik yang kompleks seperti pengonversi daya atau penyaringan yang buruk. Keberadaan harmonic dapat mengganggu kinerja peralatan listrik, menghasilkan panas berlebih, dan mengurangi efisiensi energi dalam sistem.
6. Ketidakseimbangan Tegangan (*Unbalance*) terjadi ketika tegangan fase pada sistem tiga fase tidak sama. Ketidakseimbangan ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor, seperti tidak seimbangnnya beban pada

tiap fase atau masalah pada transformator daya. Ketidakseimbangan tegangan dapat mengakibatkan operasi tidak stabil pada motor listrik, meningkatkan keausan pada peralatan, dan mengurangi efisiensi energi dalam sistem kelistrikan.

Terdapat beberapa indikator keandalan yang umum digunakan untuk mengevaluasi seberapa handalnya sistem distribusi tenaga listrik. Diantaranya adalah sebagai berikut (Suripto, 2017: 148—157).

1. *System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)*

SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) adalah parameter yang memberikan informasi tentang rata-rata jumlah kejadian pemadaman yang dialami oleh setiap pelanggan dalam satu tahun. SAIFI mengukur seberapa sering sistem distribusi tenaga listrik mengalami gangguan dari perspektif jumlah pelanggan yang dilayani.

Indeks ini dihitung dengan membagi jumlah pemadaman yang terjadi selama periode tertentu dengan jumlah total pelanggan yang dilayani oleh sistem tersebut. Dengan demikian, SAIFI memberikan gambaran yang jelas tentang frekuensi pemadaman yang mungkin dialami oleh setiap pelanggan dalam satu tahun.

SAIFI merupakan alat penting bagi operator sistem distribusi tenaga listrik untuk mengevaluasi kinerja dan keandalan jaringan mereka. Semakin rendah nilai SAIFI, semakin jarang pemadaman terjadi, yang menunjukkan sistem distribusi yang lebih andal dan stabil.

2. *System Average Interruption Duration Index (SAIDI)*

SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) adalah indikator yang mengukur rata-rata durasi pemadaman yang dialami oleh setiap pelanggan dalam satu tahun. Indeks ini memberikan informasi tentang seberapa lama rata-rata pelanggan mengalami pemadaman listrik dalam periode tersebut. SAIDI dihitung dengan membagi total durasi pemadaman selama periode tertentu dengan jumlah keseluruhan pelanggan yang dilayani oleh sistem distribusi listrik.

Dengan nilai SAIDI, operator jaringan distribusi listrik dapat mengevaluasi tingkat keandalan layanan mereka berdasarkan lamanya pemadaman yang dialami pelanggan. Semakin rendah nilai SAIDI, semakin singkat durasi pemadaman rata-rata, yang mencerminkan sistem distribusi listrik yang lebih andal.

Informasi ini penting dalam membantu operator mengidentifikasi area atau komponen jaringan yang sering mengalami pemadaman lama, sehingga mereka dapat mengambil tindakan perbaikan untuk meningkatkan kepuasan pelanggan dan memastikan ketersediaan listrik yang lebih baik.

3. *Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)*

CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*) adalah indikator yang mengukur rata-rata durasi waktu setiap pemadaman yang dialami oleh pelanggan dalam satu tahun. Indeks ini memberikan gambaran tentang seberapa lama rata-rata pelanggan mengalami pemadaman listrik dalam periode tersebut. CAIDI dihitung dengan membagi total durasi pemadaman selama satu tahun dengan jumlah pemadaman yang terjadi.

Dengan menggunakan nilai CAIDI, operator sistem distribusi listrik dapat mengevaluasi kinerja keandalan jaringan mereka dari perspektif durasi pemadaman yang dialami pelanggan. Semakin tinggi nilai CAIDI, semakin singkat durasi rata-rata setiap pemadaman, yang menunjukkan sistem distribusi listrik yang lebih handal.

Informasi ini membantu operator dalam menentukan area atau komponen jaringan yang memerlukan perbaikan atau peningkatan untuk mengurangi durasi pemadaman dan meningkatkan kepuasan pelanggan.

4. *Average Service Availability Index (ASAI)*

ASAI (*Average Service Availability Index*) adalah parameter yang memberikan informasi mendetail tentang tingkat ketersediaan layanan atau suplai daya yang diterima oleh pelanggan dari sistem distribusi listrik.

Indeks ini mengukur persentase waktu di mana pelanggan menerima suplai listrik tanpa adanya gangguan atau pemadaman dalam periode waktu tertentu, seperti dalam satu tahun. Semakin tinggi nilai ASAI, semakin baik ketersediaan layanan yang dirasakan oleh pelanggan, menandakan sistem distribusi listrik yang lebih stabil dan handal.

Penggunaan nilai ASAI memungkinkan operator jaringan listrik untuk secara efektif mengevaluasi performa sistem mereka dalam menyediakan layanan listrik kepada pelanggan. Informasi ini penting untuk mengidentifikasi area atau komponen jaringan yang memerlukan perbaikan atau peningkatan untuk meningkatkan ketersediaan layanan secara keseluruhan.

Dengan memonitor dan meningkatkan nilai ASAI, operator dapat meningkatkan kepuasan pelanggan serta memastikan bahwa penyediaan listrik tetap stabil dan dapat diandalkan di wilayah yang dilayani.

5. *Average Service Unavailability Index (ASUI)*

Indeks ini menggambarkan durasi atau periode di mana layanan (Suplai Daya) tidak tersedia bagi pelanggan. Pengukuran waktu dilaksanakan dengan pelanggan yang mengalami pemadaman atau gangguan dalam penyediaan listrik, sehingga memberikan gambaran tentang seberapa sering dan seberapa lama pelanggan tidak mendapatkan layanan listrik dalam suatu periode waktu tertentu, seperti setahun.

Dengan menggunakan informasi dari indeks ini, operator jaringan listrik dapat mengevaluasi secara rinci keandalan dan ketersediaan layanan yang mereka berikan kepada pelanggan. Hal ini membantu dalam mengidentifikasi faktor-faktor penyebab pemadaman atau gangguan, sehingga tindakan perbaikan dan perawatan yang tepat dapat diambil untuk meningkatkan kualitas layanan dan meminimalkan ketidaknyamanan yang dialami pelanggan akibat dari pemadaman listrik.

Kualitas dan keandalan sistem tenaga listrik adalah aspek penting dalam menyediakan layanan listrik yang dapat diandalkan kepada konsumen. Keandalan mengacu pada kemampuan sistem untuk menyediakan listrik secara terus menerus tanpa gangguan yang signifikan, seperti pemadaman atau fluktuasi tegangan yang berlebihan. Ini melibatkan infrastruktur utama seperti transformator, saluran distribusi, dan peralatan lain yang mendukung pengiriman listrik yang stabil.

Sementara itu, kualitas listrik menekankan pada stabilitas tegangan dan frekuensi yang diterima oleh konsumen. Tegangan yang stabil penting untuk menjaga kinerja optimal peralatan elektronik dan rumah tangga, sementara fluktuasi yang berlebihan dapat merusak peralatan dan mempersingkat umur pakainya. Frekuensi listrik yang konsisten juga diperlukan untuk menjaga fungsi peralatan yang memerlukan kestabilan frekuensi, seperti jam digital dan peralatan sensitif lainnya.

Terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan pada kualitas sistem tenaga listrik, diantaranya adalah sebagai berikut (Sugiarti, 2017).

1. Tegangan Lebih

Tegangan berlebih dalam jaringan distribusi sering disebabkan oleh petir, lonjakan arus, beban kapasitif berlebihan, atau pengaturan arus eksitasi generator yang terlalu tinggi. Ini dapat menyebabkan arus yang besar mengalir ke peralatan listrik, mempercepat penurunan kualitas isolasi, dan meningkatkan risiko kebakaran.

Peralatan seperti transformator, motor listrik, dan kapasitor paling rentan terhadap kerusakan akibat tegangan berlebih. Memasang arsester pada peralatan-peralatan ini dapat mengurangi risiko gangguan dan melindungi mereka dari lonjakan tegangan yang tidak diinginkan.

2. Tegangan Turun

Penurunan tegangan dalam jaringan distribusi sering disebabkan oleh faktor seperti panjangnya jaringan atau beban trafo distribusi yang melebihi kapasitas nominalnya. Jarak yang terlalu jauh antara beban dengan trafo distribusi juga dapat memperbesar penurunan

tegangan yang sampai ke konsumen, terutama akibat beban induktif yang berlebihan.

Turunnya tegangan ini dapat mengakibatkan penurunan intensitas cahaya pada peralatan penerangan, serta kesalahan operasi pada peralatan kendali magnetik seperti katup otomatis, sakelar magnetik, dan rele. Selain itu, penurunan tegangan juga dapat menyebabkan berkurangnya torsi saat motor listrik mulai beroperasi.

Langkah untuk mengatasi penurunan tegangan yang melebihi batas termasuk pembatasan beban maksimal pada trafo, penempatan yang lebih strategis dari trafo distribusi, dan pemasangan kapasitor sebagai kompensasi untuk beban induktif.

3. Tegangan Kedip

Tegangan kedip adalah kondisi di mana tegangan jaringan turun hingga 20% dalam durasi yang sangat singkat, yaitu beberapa milidetik. Penyebab utama kondisi ini adalah gangguan hubungan singkat (*Short Circuit*) pada jaringan distribusi. Tegangan kedip dapat mengganggu peralatan seperti kontaktor magnetik, motor dengan penggerak kecepatan variabel (*Variable Speed Drive*), lampu pelepasan tegangan tinggi (*High Voltage Discharge Lamp*), dan relay tegangan rendah (*Under Voltage Relay*).

4. Harmonisa Tegangan

Harmonisa tegangan adalah komponen-komponen gelombang sinus dengan frekuensi lebih tinggi dan amplitudo yang relatif kecil dibandingkan dengan gelombang dasar, menyebabkan bentuk gelombang tegangan menjadi cacat dan tidak murni sinus. Harmonisa tegangan sering disebabkan oleh beban non-linear, seperti peralatan yang menggunakan komponen elektronika daya, termasuk penyearah dan inverter.

Harmonisa tegangan dapat menyebabkan panas berlebih pada trafo akibat kenaikan rugi daya, getaran keras atau suara berisik pada peralatan kapasitor daya, serta gangguan pada peralatan rumah tangga. Untuk mengatasi harmonisa tegangan yang berlebihan, dapat

dipasang filter dengan kapasitas yang sesuai dengan daya beban dan nilai harmonisa yang terjadi.

5. Ketidak Seimbangan Tegangan

Ketidakseimbangan tegangan terjadi pada jaringan distribusi tiga fase ketika ada perbedaan tegangan yang signifikan antara fase-fase tersebut. Ketidakseimbangan ini umumnya disebabkan oleh distribusi beban yang tidak merata di setiap fase. Ketika beban pada satu fase lebih besar dibandingkan dengan fase lainnya, tegangan antara fase tersebut akan berbeda, menyebabkan ketidakseimbangan.

Hal ini dapat mengakibatkan motor tiga fase bekerja tidak optimal, mengalami panas berlebih karena peningkatan rugi daya, dan bahkan berpotensi terbakar. Ketidakseimbangan tegangan juga dapat menyebabkan peralatan listrik lainnya mengalami kerusakan atau penurunan kinerja.

Oleh karena itu, sangat penting untuk menjaga keseimbangan beban pada setiap fase agar ketidakseimbangan tegangan pada jaringan tiga fase tetap dalam batas toleransi yang dapat diterima, sehingga sistem distribusi listrik dapat berfungsi dengan baik dan aman.

Kualitas dan keandalan sistem tenaga listrik sangat penting untuk memastikan bahwa pasokan listrik yang diterima oleh konsumen stabil dan aman. Kualitas tenaga listrik dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti tegangan lebih, tegangan turun, tegangan kedip, dan harmonisa tegangan. Tegangan lebih dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan dan meningkatkan risiko kebakaran, sementara tegangan turun dapat mengganggu operasi peralatan dan mengurangi torsi motor listrik.

Tegangan kedip dapat mengganggu peralatan kontrol magnetik dan motor, sementara harmonisa tegangan dapat menyebabkan panas berlebih pada trafo dan gangguan pada peralatan rumah tangga. Mengelola kualitas tenaga listrik melibatkan langkah-langkah seperti pemasangan arester dan filter harmonisa untuk mengurangi dampak negatif ini.

Keandalan sistem tenaga listrik juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti ketidakseimbangan tegangan pada jaringan tiga fase dan gangguan hubungan singkat. Ketidakseimbangan tegangan disebabkan oleh beban yang tidak merata di setiap fase, yang dapat menyebabkan kerusakan dan penurunan kinerja peralatan listrik.

Untuk menjaga keandalan, penting memastikan beban yang seimbang pada setiap fase dan mengelola arus eksitasi generator dengan baik. Selain itu, memantau indikator seperti SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan ASAI membantu operator sistem distribusi listrik mengevaluasi kinerja dan melakukan perbaikan yang diperlukan untuk meningkatkan keandalan sistem. Dengan langkah-langkah yang tepat, kualitas dan keandalan sistem tenaga listrik dapat dipertahankan sehingga pasokan listrik tetap stabil dan aman bagi konsumen.



BAGIAN IV

Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Definisi Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah jenis pembangkit listrik yang menggunakan sel surya (*Photovoltaic*) untuk mengubah radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik. Sel surya terdiri dari lapisan-lapisan tipis bahan semikonduktor seperti silikon murni dan bahan semikonduktor lainnya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC, yang dapat diubah menjadi listrik AC sesuai kebutuhan. Pembangkit ini tetap dapat menghasilkan listrik meskipun cuaca mendung, selama masih ada cahaya yang mencukupi (Putra, 2016).

Sistem PLTS dapat dikelompokkan ke dalam beberapa jenis berdasarkan aplikasi dan konfigurasi. Secara umum, PLTS dapat dibagi menjadi dua kategori utama yaitu sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan (On-Grid PV System) dan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan (Off-Grid PV System) atau yang dikenal sebagai PLTS berdiri sendiri (Stand-Alone). PLTS stand-alone tidak hanya mampu beroperasi secara mandiri, tetapi juga dapat didukung oleh sumber daya lain seperti

tenaga angin, generator set, tenaga air, atau tenaga mikro hidro dalam konfigurasi yang dikenal sebagai sistem PLTS hybrid (Bramasto, 2022).

PLTS dapat diterapkan dalam skala mulai dari rumah tangga kecil hingga pembangkitan komersial besar. Instalasi rumah tangga umumnya terdiri dari panel surya yang dipasang di atap atau struktur lainnya, mengumpulkan sinar matahari untuk menghasilkan listrik yang bisa langsung digunakan atau disimpan dalam baterai. Di sisi lain, instalasi komersial atau industri PLTS sering lebih besar dan dapat terhubung dengan jaringan listrik atau berdiri sendiri sebagai sistem off-grid, sesuai kebutuhan dan lokasi.

Keunggulan PLTS meliputi aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial. Secara lingkungan, PLTS tidak menghasilkan emisi karbon atau polusi udara selama operasinya, membantu mengurangi jejak karbon global. Secara ekonomi, biaya operasional PLTS rendah karena menggunakan sumber energi gratis dan tak terbatas seperti matahari, membuatnya lebih kompetitif dibandingkan pembangkit listrik konvensional yang menggunakan bahan bakar fosil mahal dan terbatas.

Secara sosial, PLTS meningkatkan akses terhadap energi yang terjangkau dan andal bagi komunitas terpencil atau tak tersentuh jaringan listrik, mendukung kualitas hidup yang lebih baik dan pembangunan berkelanjutan.

PLTS bukan hanya teknologi energi, tetapi juga kunci dalam transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Terus berkembangnya teknologi sel surya, efisiensi penyimpanan energi, dan integrasi dengan infrastruktur energi akan memperluas potensi dan penerapan PLTS di masa depan.

Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mengacu pada pengelompokan sistem yang menggunakan energi matahari sebagai sumber utama untuk menghasilkan listrik, tergantung pada cara mereka terhubung

atau tidak terhubung dengan jaringan listrik utama. Sistem Grid-Tied menghubungkan panel surya langsung ke jaringan listrik PLN untuk memasok energi yang dihasilkan ke dalam grid nasional, meningkatkan keandalan pasokan energi dan memberikan manfaat finansial melalui skema feed-in tariff (Arsa, 2023).

Terdapat beberapa jenis pembangkit listrik tenaga surya dengan dasar klasifikasi yang berbeda-beda, diantaranya adalah sebagai berikut (Akhmad, 2005).

1. Berdasarkan Teknologi

Pemasangan PLTS dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan teknologinya. Berikut ini penjelasan mengenai ketiga jenis PLTS tersebut berdasarkan teknologi yang digunakan.

- a. *Roof-Mounted*

Metode pemasangan roof-mounted adalah pendekatan yang menggunakan ruang kosong di atap bangunan untuk menginstallasi panel surya. Pendekatan ini terbukti efektif dalam pembangkitan listrik skala kecil, mengoptimalkan penggunaan lahan yang sudah ada untuk menghasilkan energi terbarukan. Selain mengurangi tagihan listrik melalui sistem ekspor dan impor energi, teknologi ini juga menerapkan solusi modern untuk memanfaatkan sumber daya energi yang tak terbatas secara lokal.

Dengan memanfaatkan energi matahari, metode roof-mounted berperan dalam mengurangi emisi karbon dan membantu memperkuat ketahanan energi lokal, mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional yang lebih merugikan lingkungan.

- b. *Ground-Mounted*

Metode pemasangan ground-mounted menggunakan lahan kosong yang datar dan stabil tanpa halangan. Struktur pendukungnya meliputi tonggak dan balok baja, serta memerlukan analisis untuk menjamin stabilitas tanah dalam jangka panjang.

Keunggulan dari panel surya yang terpasang di atas tanah adalah suhu panel surya yang lebih stabil karena adanya pendinginan dari tanah yang dapat menyerap panas. Namun, kekurangannya meliputi kebutuhan akan lahan yang luas dan risiko terpapar debu serta kotoran karena posisinya yang rendah mendekati permukaan tanah (Fauzi Wibowo dan Rokhmat 2019).

c. *Reservoir (Lake Based Floating Solar System)*

Metode pemasangan floating solar photovoltaic (PV) menggunakan sistem apung di atas laut, waduk, dan danau menawarkan keunggulan signifikan. Sistem ini memanfaatkan pendinginan evaporatif alami air untuk menjaga suhu panel surya tetap rendah, meningkatkan efisiensi hingga 11% lebih tinggi dibandingkan dengan sistem ground-mounted PV. Floating solar juga mengoptimalkan penggunaan ruang tanpa memerlukan lahan tambahan, cocok untuk pembangkit listrik skala besar yang ramah lingkungan dan ekonomis (Sahu, 2016).

2. Berdasarkan Koneksi Sistem terhadap Grid

Perbaiki keterbacaan kalimatnya sesuai kaidah kebahasaan Secara umum, PLTS dapat dibagi menjadi dua berdasarkan teknologinya, yaitu yang terhubung ke jaringan (*Grid Connection*) dan yang tidak terhubung ke jaringan (*Off-Grid*). Penjelasan mengenai kedua jenis PLTS berdasarkan koneksi sistem terhadap Grid. Diantaranya adalah sebagai berikut (Silaban, 2021).

a. *Grid Connection System*

PLTS On Grid adalah model instalasi yang mengintegrasikan dua sumber energi listrik, yaitu jaringan listrik PLN dan panel surya. Dalam sistem ini, panel surya yang terhubung dengan jaringan PLN berfungsi untuk menyuplai energi listrik ke rumah tangga atau industri. Keunikan sistem Grid Connection terletak pada kemampuannya untuk tetap terhubung dengan jaringan PLN, sehingga energi yang dihasilkan dari panel surya dapat dioptimalkan secara maksimal.

Hal ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada pasokan listrik dari PLN, tetapi juga dapat mengurangi tagihan listrik secara signifikan dengan memanfaatkan energi yang dihasilkan sendiri. Dengan demikian, PLTS On Grid tidak hanya berperan dalam meningkatkan kemandirian energi tetapi juga membantu dalam upaya efisiensi penggunaan sumber daya dan pengurangan dampak lingkungan..

b. *Off-Grid System*

Sistem Off-Grid, atau stand alone, adalah sistem yang sepenuhnya mengandalkan energi matahari sebagai sumber utama untuk menghasilkan listrik. Dalam konfigurasi ini, modul surya mengumpulkan energi dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi, tanpa terhubung ke jaringan listrik PLN.

Meskipun demikian, ada jenis sistem Off-Grid yang dapat beroperasi secara hibrid dengan menggunakan pembangkit listrik lain, seperti generator atau turbin angin, untuk menjaga keseimbangan daya dan memastikan kontinuitas pasokan energi. Sistem PLTS Off-Grid umumnya diterapkan di daerah terpencil atau yang tidak dapat dijangkau oleh jaringan listrik PLN, di mana biaya dan teknisitas membangun jaringan listrik konvensional menjadi tidak ekonomis atau tidak memungkinkan.

Klasifikasi pembangkit listrik tenaga surya menunjukkan variasi signifikan dalam implementasi dan operasinya. Sistem Grid-Tied adalah pendekatan umum yang menghubungkan panel surya ke jaringan listrik PLN untuk meningkatkan keandalan pasokan energi dan memberikan manfaat finansial melalui skema feed-in tariff. Sistem Off-Grid menyediakan solusi mandiri di daerah terpencil dengan hanya mengandalkan energi matahari, meskipun sering memerlukan penyimpanan energi tambahan seperti baterai.

Penerapan teknologi fotovoltaik mempromosikan energi terbarukan dan keberlanjutan, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar

fosil dan meningkatkan ketahanan energi lokal. Meskipun menghadapi tantangan seperti biaya awal yang tinggi dan ketersediaan lahan yang terbatas, perkembangan teknologi dan kebijakan yang mendukung telah mempercepat adopsi pembangkit listrik tenaga surya di berbagai sektor. Dengan meningkatkan efisiensi panel surya dan inovasi dalam penyimpanan energi.

Aspek Penyusunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Aspek penyusunan pembangkit listrik tenaga surya meliputi panel surya untuk mengubah energi matahari menjadi listrik DC, inverter untuk mengubahnya menjadi AC, dan sistem baterai untuk penyimpanan energi. Sistem juga dilengkapi dengan monitoring dan kontrol untuk memantau dan mengatur penggunaan energi secara efisien. Dalam komponen ini dirancang untuk menyediakan sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Terdapat beberapa jenis-jenis alat penyusun pembangkit listrik tenaga surya, diantaranya adalah sebagai berikut (Hasan, 2012).

1. Modul Surya

Modul surya, atau modul fotovoltaik, merupakan komponen kunci dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Setiap modul ini terdiri dari sel-sel fotovoltaik yang mengubah energi matahari menjadi listrik. Sel-sel ini dihubungkan secara seri untuk membentuk rangkaian, dan rangkaian-rangkaian ini kemudian disusun secara paralel menjadi sebuah array selama proses instalasi. Dengan cara ini, modul surya tidak hanya mengumpulkan energi matahari secara efisien tetapi juga memaksimalkan output listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS secara keseluruhan.

Terdapat dua jenis sel surya yang dibedakan berdasarkan bahan semikonduktor yang beragam, di mana silikon adalah bahan utama yang sering digunakan secara individual sebagai chip. Diantaranya adalah sebagai berikut.

a. *Monocrystalline* (Si)

Panel surya monokristalin biasanya dibuat menggunakan proses Czochralski. Panel ini cenderung lebih mahal karena dibuat dari potongan silinder kristal tunggal yang memberikan bentuk berbentuk segi delapan yang cenderung bulat dan memiliki warna yang agak gelap. Saat ini, panel monokristalin dapat dibuat dengan ketebalan hingga 200 mikron dan mencapai efisiensi sekitar 24%.

b. *Polycrystalline*

Dibuat dengan melelehkan silikon dalam tungku keramik, kemudian didinginkan perlahan untuk membentuk campuran silikon yang mengeras di atas lapisan silikon. Sel ini memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan sel Polikristalin (sekitar 18%), namun memiliki biaya produksi yang lebih murah.

2. Inverter

Inverter adalah komponen penting dalam sistem PLTS yang spesifikasinya harus diperhatikan dengan baik sesuai kebutuhan. Inverter berfungsi mengubah tegangan DC output dari panel surya atau baterai menjadi tegangan AC. Komponen inverter mencakup sakelar elektronik dan filter pasif, serta bagian inputnya dilengkapi dengan kapasitor elektrolit besar untuk menjaga stabilitas tegangan DC.

Terdapat dua jenis utama inverter yang digunakan dalam PLTS diantaranya adalah sebagai berikut (Halim, 2020)

a. Inverter Satu Phase

Inverter satu Phase biasanya digunakan dalam sistem dengan beban kecil, seperti di rumah tangga atau instalasi skala kecil. Untuk mengetahui bagaimana bentuk inverter satu phase dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 18 Inverter 1 Phase

Sumber: Halim, 2020

b. Inverter Tiga Phase

Inverter tiga phase digunakan dalam sistem yang lebih besar dan terhubung dengan jaringan utilitas (PLN). Inverter tiga fasa mampu menangani beban yang lebih besar dan lebih stabil dalam distribusi daya, sehingga ideal untuk aplikasi komersial dan industri. Untuk mengetahui bagaimana bentuk inverter satu phase dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 19 Inverter 3 Phase

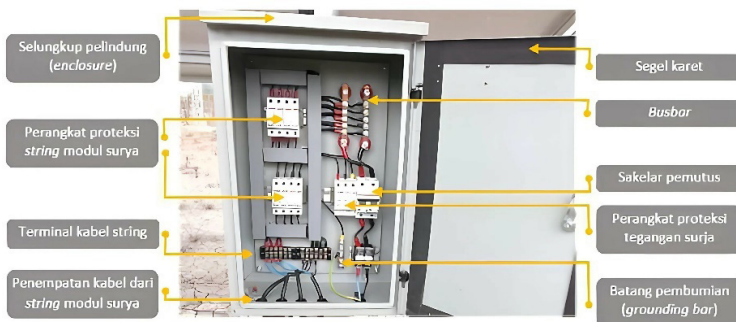
Sumber: Halim, 2020

3. Kabel

Manajemen kabel dalam instalasi PLTS Terapung memerlukan perencanaan yang baik, baik selama tahap perencanaan maupun instalasi. Panjang dan rute kabel perlu direncanakan dan dihitung dengan hati-hati. Kabel harus cukup elastis untuk menyesuaikan gerakan platform terapung dan perubahan ketinggian permukaan air yang mungkin terjadi. Jika tidak, tegangan yang terjadi bisa menyebabkan kabel putus atau pecah.

4. Combiner Box

Salah satu komponen penting dalam perencanaan PLTS adalah Combiner box. Combiner box atau panel existing berfungsi untuk menggabungkan string photovoltaic guna meningkatkan arus keluaran dari photovoltaic. Untuk mengetahui combiner box dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 20 Combiner Box

Sumber: Hasan, 2013

Berikut adalah komponen-komponen di dalam combiner box tersebut. Diantaranya adalah sebagai berikut.

- a. Perangkat perlindungan string panel surya digunakan untuk melindungi setiap string modul surya dari arus berlebihan, biasanya dengan sekering atau MCB.
- b. Busbar adalah titik sambungan untuk beberapa string modul surya, menggabungkan mereka ke dalam konduktor yang sama

dengan busbar DC terbuat dari konduktor tembaga berlapis timah untuk melindungi dari korosi.

- c. Sakelar pemutus memungkinkan pemutusan aman kotak penggabungan dari Solar Charge Controller atau inverter jaringan selama pemeliharaan.
- d. Perangkat proteksi tenaga surja (*Surge Protection Device*) digunakan untuk melindungi dari lonjakan tegangan akibat sambaran petir, terhubung ke kutub positif dan negatif bus DC serta sistem pembumian.
- e. Selingkup pelindung (*Enclosure*) melindungi komponen listrik dari lingkungan luar dan gangguan.
- f. Batang pembumian (*Grounding Bar*) menyediakan sambungan pembumian untuk selingkup pelindung (Jika Berbahan Logam) dan mengarahkan arus surja ke sistem pembumian dengan perangkat perlindungan tegangan surja.

Penyusunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menyoroti pentingnya memilih komponen yang sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik sistem yang diinginkan. Pemilihan inverter, baik itu central, string, module, atau smart, memainkan peran krusial dalam menentukan efisiensi, keandalan, dan biaya operasional PLTS. Central inverter cocok untuk sistem besar dengan homogenitas modul yang tinggi, sementara string inverter memberikan fleksibilitas dalam instalasi dan manajemen daya.

Selain itu, aspek lain seperti penyusunan secara efisien juga sangat berpengaruh terhadap kinerja keseluruhan sistem. Pengaturan modul PV dalam string atau array yang optimal dapat meningkatkan penyerapan energi matahari dan output listrik yang dihasilkan. Selain itu, penggunaan teknologi monitoring dan pengendalian yang canggih pada smart inverter membantu menjaga stabilitas dan keandalan operasional PLTS, serta mendukung integrasi yang lebih baik dengan infrastruktur listrik yang ada.

Potensi Surya Sebagai Listrik Tenaga Surya

Penggunaan energi matahari untuk pembangkit listrik sudah dimulai sejak awal dekade 80-an, tetapi pada awalnya terbatas pada sistem kecil yang dikenal sebagai solar home system (SHS). Sistem SHS biasanya memiliki kapasitas antara 25 hingga 50W, sehingga terbatas dalam kemampuannya untuk memenuhi beban listrik yang lebih besar (Kumara, 2010).

Sistem ini umumnya digunakan di pedesaan yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN, di mana penduduk desa menggunakan SHS sebagai sumber penerangan untuk menggantikan lampu tradisional berbahan bakar minyak tanah. Penggunaan SHS memberikan manfaat signifikan dengan mengurangi konsumsi minyak tanah, emisi karbon, serta memberikan kemudahan dan keamanan penggunaan.

PLTS atau sel surya, yang lebih dikenal, semakin diminati karena dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti perkantoran, pabrik, perumahan, dan lain-lain. Indonesia, sebagai daerah tropis, memiliki potensi energi matahari yang besar dengan rata-rata insolasi harian sekitar 4,5 hingga 4,8 kWh/m²/hari. Produksi energi listrik dari sel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sistem. Untuk memanfaatkan listrik yang dihasilkan oleh sel surya secara maksimal, integrasi dengan jaringan listrik PLN sangat diperlukan.

PLTS menggunakan sinar matahari untuk menghasilkan listrik DC (Arus Searah), yang dapat dikonversi menjadi listrik AC (Arus Bolak-Balik) sesuai kebutuhan. PLTS pada dasarnya adalah pembangkit daya yang dapat disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan listrik mulai dari skala kecil hingga besar, baik secara mandiri maupun dalam sistem hibrida (Bien, 2008).

Potensi energi surya sebagai sumber listrik telah menjadi perhatian utama dalam upaya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon. Di Indonesia, dengan rata-rata insolasi harian yang tinggi sekitar 4,5 hingga 4,8 kWh/m²/hari, potensi energi surya sangat besar terutama di daerah tropis (Kunaifi, 2010).

Penggunaan panel surya, baik dalam skala kecil seperti solar home system (SHS) maupun dalam skala besar untuk instalasi di perkantoran, pabrik, dan perumahan, menunjukkan fleksibilitas dan potensi untuk menyediakan sumber energi yang bersih dan dapat diperbaharui. Dalam konteks integrasi dengan jaringan listrik PLN, PLTS dapat beroperasi secara mandiri atau sebagai bagian dari sistem hibrida, menawarkan solusi yang dapat meningkatkan ketersediaan listrik dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Energi surya sering disebut sebagai sumber energi utama di masa depan. Mari kita tinjau keunggulan dan kelemahannya. Meskipun energi surya memiliki lebih banyak keunggulan daripada kelemahannya, namun kelemahan tersebut masih menjadi hambatan utama untuk penggunaan energi surya yang lebih luas. Saat ini, kita akan membahas terlebih dahulu keunggulan dari energi surya. Kita telah mengetahui bahwa energi surya adalah sumber energi terbarukan.

Matahari hampir tidak terbatas sebagai sumber energi, dan energi surya tidak akan habis, berbeda dengan bahan bakar fosil yang pada akhirnya akan habis. Ketika bahan bakar fosil habis, dunia akan memerlukan alternatif sumber energi yang baik, dan energi surya jelas terlihat sebagai salah satu alternatif terbaik.

Secara jangka panjang, energi surya dapat mengurangi pengeluaran uang untuk energi. Meskipun biaya awalnya cukup signifikan, setelah beberapa waktu Anda akan mendapatkan akses ke energi yang benar-benar gratis. Selain itu, jika sistem tenaga surya di rumah Anda menghasilkan lebih banyak energi daripada yang Anda butuhkan, beberapa negara memungkinkan Anda untuk menjual kelebihan energi tersebut kepada perusahaan listrik, sehingga terdapat potensi keuntungan tambahan. Banyak negara juga menawarkan insentif keuangan untuk mendorong penggunaan energi surya (Susanty, 2023).

Terdapat beberapa kelebihan yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga surya, diantaranya adalah sebagai berikut (Suhendar, 2022: 4).

1. Matahari sebagai sumber energi terbarukan menawarkan keuntungan utama karena sumber energinya tidak terbatas dan dapat diandalkan dalam jangka panjang. Energinya tersedia secara luas di seluruh dunia tanpa memerlukan pengeluaran terus-menerus untuk memperolehnya, menjadikannya solusi yang potensial untuk memenuhi kebutuhan energi global yang terus meningkat.
2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah solusi energi ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polusi udara saat menghasilkan listrik. Mengandalkan energi matahari untuk menghasilkan listrik membantu mengurangi dampak perubahan iklim global, mendukung upaya internasional untuk beralih ke energi bersih dan berkelanjutan.
3. Biaya operasional PLTS relatif rendah setelah fase instalasi awal. Karena tidak memerlukan bahan bakar, biaya energi yang dihasilkan sangat rendah, hanya memerlukan perawatan minimal untuk menjaga kinerja optimal sistem. Ini mengurangi biaya jangka panjang dan membuat PLTS menjadi investasi yang menarik secara ekonomi dalam jangka panjang.
4. PLTS menawarkan fleksibilitas dan skalabilitas yang tinggi dalam penggunaannya. Sistem ini cocok untuk digunakan secara terdesentralisasi, mulai dari aplikasi rumah tangga skala kecil hingga instalasi besar seperti pembangkit listrik komersial atau utilitas. Fleksibilitas ini memungkinkan penyesuaian yang mudah sesuai dengan kebutuhan energi yang berubah dari waktu ke waktu.
5. Beberapa Negara, setiap pengguna PLTS memiliki kesempatan untuk menjual kelebihan energi yang dihasilkan kembali ke jaringan listrik publik. Ini menciptakan potensi pendapatan tambahan bagi pemilik PLTS melalui skema feed-in tariff atau program pembelian kembali energi, meningkatkan nilai ekonomis investasi dalam PLTS.
6. Keandalan merupakan karakteristik utama PLTS karena umumnya memiliki umur panjang dan memerlukan sedikit perawatan.

Teknologi fotovoltaik semakin matang dan terpercaya, menawarkan sistem yang stabil dengan efisiensi yang tinggi dalam mengubah energi matahari menjadi listrik. Hal ini membuat PLTS menjadi pilihan yang dapat diandalkan untuk pasokan energi yang berkelanjutan dan stabil dalam jangka panjang.

Selain kelebihan terdapat beberapa kekurangan yang dimiliki dari penggunaan pembangkit listrik tenaga surya, diantaranya adalah sebagai berikut (Suhendar, 2022: 6).

1. Biaya awal yang tinggi merupakan salah satu tantangan utama dalam penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Meskipun biaya operasionalnya rendah setelah instalasi, investasi awal yang besar sering kali menjadi hambatan bagi banyak pengguna. Biaya tersebut mencakup pembelian panel surya, inverter, sistem mounting, dan biaya instalasi yang melibatkan tenaga ahli untuk memasang sistem tersebut dengan benar.
2. Kinerja PLTS sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan intensitas sinar matahari yang tersedia. Variasi cuaca yang signifikan dari waktu ke waktu dan perbedaan intensitas sinar matahari di berbagai lokasi geografis dapat mempengaruhi produksi energi listrik secara substansial. Pada hari yang mendung atau di musim hujan, PLTS mungkin menghasilkan energi lebih sedikit dibandingkan dengan hari cerah.
3. Instalasi PLTS sering memerlukan lahan yang luas untuk menampung panel surya, terutama untuk sistem besar dengan kapasitas yang signifikan. Meskipun ada teknologi yang memungkinkan pemanfaatan atap bangunan atau struktur yang sudah ada, masih dibutuhkan ruang yang memadai untuk menempatkan panel surya dengan optimal.
4. PLTS umumnya tidak memiliki kemampuan penyimpanan energi yang besar, yang berarti energi yang dihasilkan harus langsung digunakan atau dijual ke grid listrik jika terhubung dengan jaringan. Untuk mengatasi masalah ini, integrasi dengan teknologi penyimpanan energi tambahan seperti baterai menjadi penting. Baterai dapat menyimpan energi yang dihasilkan dari PLTS untuk digunakan pada

saat malam hari atau selama cuaca buruk, meningkatkan fleksibilitas dan keandalan pasokan energi.

5. Produksi dan pembuangan material yang digunakan dalam pembuatan panel surya dapat memiliki dampak lingkungan lokal yang perlu diperhatikan. Meskipun dampaknya umumnya lebih rendah dibandingkan dengan energi konvensional seperti pembangkit listrik tenaga batu bara atau nuklir, proses manufaktur panel surya masih membutuhkan sumber daya dan dapat menghasilkan limbah. Penting untuk terus mengembangkan teknologi panel surya yang ramah lingkungan dan memprioritaskan praktik produksi yang berkelanjutan.
6. PLTS bergantung pada sinar matahari sebagai sumber utama untuk menghasilkan energi. Ketergantungan ini berarti produksi energi tidak dapat dilakukan secara konsisten pada malam hari atau selama cuaca buruk yang menghalangi penetrasi sinar matahari. Dalam hal ini menunjukkan perlunya alternatif dalam penyediaan energi, seperti sistem cadangan atau integrasi dengan sumber energi lainnya, untuk memastikan pasokan energi yang stabil dan dapat diandalkan sepanjang waktu.

Pembangkit listrik tenaga surya memiliki sejumlah kelebihan dan kekurangan yang perlu dipertimbangkan. Salah satu kelebihan adalah sifatnya yang ramah lingkungan dan berbasis sumber energi terbarukan. Pembangkit ini memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energinya, yang tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polutan lainnya. Hal ini menjadikan pembangkit listrik tenaga surya sebagai salah satu sumber energi paling ramah lingkungan dan berkelanjutan, karena sinar matahari merupakan sumber energi yang hampir tidak terbatas dan selalu tersedia.

Namun, pembangkit listrik tenaga surya juga memiliki kekurangan, terutama ketergantungannya pada kondisi cuaca dan efisiensi yang terbatas. Efisiensi pembangkit ini dapat menurun secara signifikan pada hari-hari mendung atau hujan, serta tidak menghasilkan listrik pada malam hari. Selain itu, efisiensi panel surya saat ini masih relatif rendah, sehingga membutuhkan area yang luas untuk menghasilkan listrik dalam jumlah

besar. Hal ini menjadi tantangan tersendiri dalam pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya secara maksimal.



BAGIAN V

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Model-Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) telah menjadi fokus utama dalam upaya global untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi dampak lingkungan. Untuk memahami lebih dalam tentang bagaimana PLTS beroperasi dan berkontribusi dalam sistem energi yang lebih berkelanjutan, penting untuk memahami berbagai model sistem yang digunakan dalam implementasi teknologi ini (Wiryadinata, 2013).

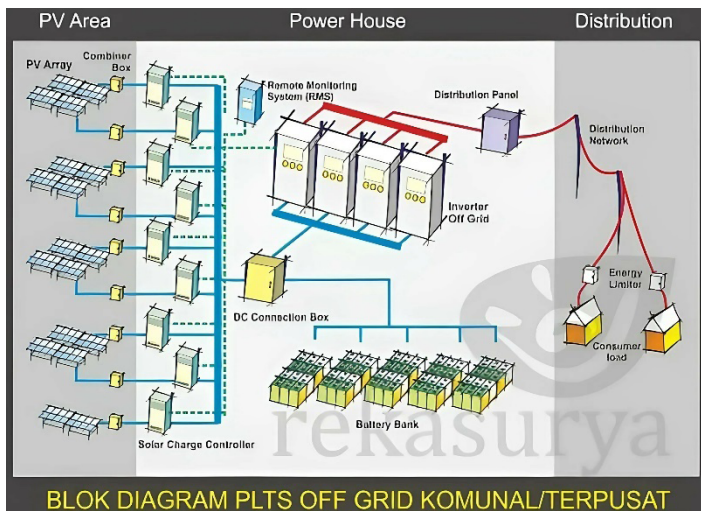
Model-model ini mencakup berbagai pendekatan dalam desain, integrasi, dan pengelolaan sistem PLTS, yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan, karakteristik geografis, serta infrastruktur yang tersedia di berbagai lokasi. Dalam pembahasan ini, kita akan menjelajahi beberapa model sistem PLTS yang umum digunakan, serta implikasi dan manfaatnya dalam mendukung transisi menuju energi terbarukan secara global.

Terdapat beberapa model-model dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya, diantaranya adalah sebagai berikut (Samsulrizal, 2021: 12—16).

1. PLTS *Off Grid*

PLTS Off-Grid adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang beroperasi secara mandiri tanpa terhubung ke jaringan listrik utama. Sistem ini juga dikenal sebagai sistem mandiri (*Stand-Alone System*). Biasanya, PLTS Off-Grid dipasang secara tersebar (*Distributed*) dengan kapasitas pembangkitan skala kecil.

Sistem ini dilengkapi dengan penyimpanan energi listrik menggunakan baterai, yang bertujuan untuk menjaga ketersediaan listrik bagi beban saat cuaca buruk atau pada malam hari. Secara aplikatif, PLTS Off-Grid dibagi menjadi dua jenis yaitu PLTS Off-Grid Domestic untuk rumah tangga dan PLTS Off-Grid Non-Domestic untuk aplikasi non-rumah tangga. Untuk mengetahui bentuk *Off Grid* pada PLTS dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 21 Blok Diagram PLTS Off Grid

Sumber: Samsulrizal, 2012

2. *PLTS Off Grid Domestic*

PLTS Off-Grid Domestic adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang menyediakan daya listrik untuk rumah tangga dan pedesaan yang belum terhubung dengan jaringan listrik utama seperti PLN. Sistem ini mengalimentasikan berbagai jenis beban listrik, termasuk sistem penerangan dan kebutuhan listrik rumah tangga lainnya.

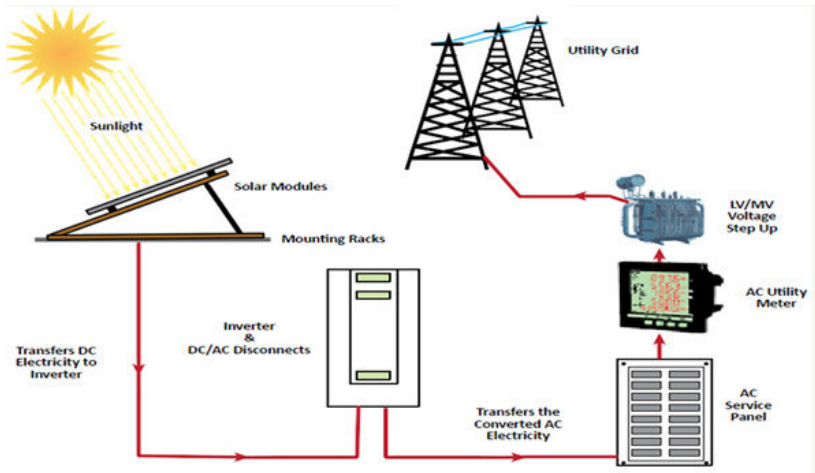
3. *PLTS Off Grid Non-Domestic*

PLTS Off-Grid Non-Domestic merupakan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang menyediakan daya listrik untuk berbagai kebutuhan yang lebih luas, seperti telekomunikasi, penerangan jalan, pompa air, radio repeater, stasiun transmisi untuk observasi gempa dan cuaca, sistem tanda lalu lintas, pelabuhan dan bandara, instalasi periklanan, serta alat bantu navigasi.

4. *PLTS On Grid (Grid Connected PV Plant)*

PLTS *On-Grid* atau *Grid-connected PV Plant* merupakan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung langsung dengan jaringan listrik. Sistem ini memiliki dua pola operasi utama dalam penyaluran tenaga listrik: pertama, menggunakan penyimpanan energi (storage) dengan baterai sebagai cadangan, yang dikenal sebagai *Grid-connected PV with a battery back-up*; kedua, tanpa menggunakan baterai, yang disebut *Grid-connected PV without a battery back-up*.

Untuk mengetahui bentuk dari *PLTS On Grid* atau *Grid-connected PV Plant*, dapat dilihat pada gambar berikut.

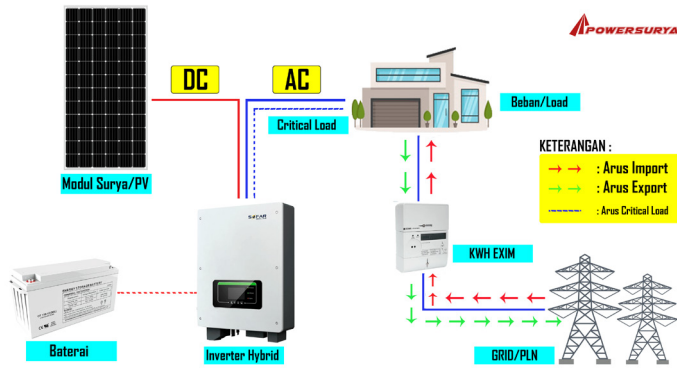


Gambar 22 Blog Diagram PLTS *On Grid* atau *Grid-connected PV Plant*

Sumber: Samsurizal, 2012

5. PLTS Hybrid

PLTS Hybrid adalah jenis pembangkit listrik tenaga surya yang menggabungkan beberapa jenis pembangkit listrik lainnya yang menggunakan sumber energi berbeda. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kehandalan sistem secara berkelanjutan atau kontinu, serta menggunakan manajemen operasi khusus guna mencapai efisiensi dalam pengelolaan energi listrik. Contoh dari PLTS hybrid mencakup kombinasi dengan genset, mikrohidro, atau tenaga angin. Untuk mengetahui bentuk dari PLTS Hybrid, dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 23 Blog Diagram PLTS Hybrid

Sumber: Samsurizal, 2012

Model-model sistem pembangkit listrik tenaga surya menawarkan pendekatan yang beragam dalam memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan listrik. PLTS Off-Grid, baik dalam versi Domestic maupun Non-Domestic, menyediakan solusi mandiri untuk lokasi yang belum terjangkau oleh jaringan listrik utama. Sementara PLTS On-Grid mengintegrasikan panel surya ke dalam jaringan listrik utama untuk memaksimalkan penggunaan energi yang dihasilkan.

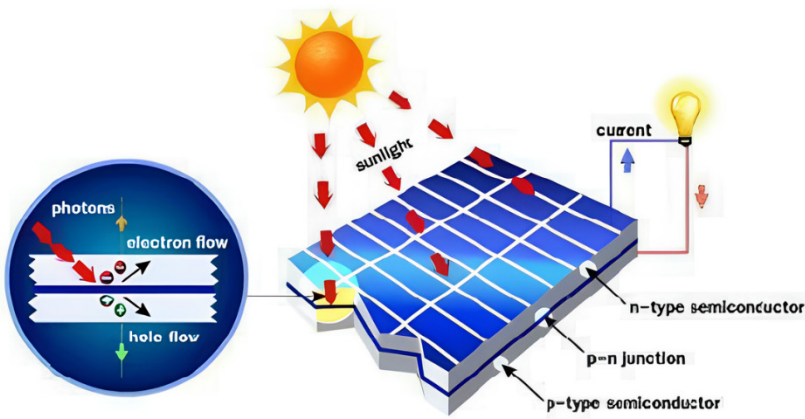
Di sisi lain, PLTS Hybrid menggabungkan teknologi surya dengan sumber energi lain seperti genset, mikrohidro, atau tenaga angin untuk meningkatkan kehandalan dan efisiensi sistem. Pengembangan dan penerapan berbagai model ini mendukung transisi menuju energi terbarukan yang lebih luas dan berkelanjutan, dengan mempertimbangkan kebutuhan energi lokal dan karakteristik geografis.

Pengoprasian Panel Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Ketika panel surya terkena sinar matahari, elektron pada pita valensi akan berpindah ke pita konduksi. Jika sel surya terhubung dengan sirkuit eksternal, maka elektron akan bergerak. Arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya adalah arus searah (DC).

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) umumnya berfungsi saat menerima cahaya foton dari matahari, yang kemudian diterima oleh sel surya. Sel surya mengubah energi foton menjadi energi listrik. Proses konversi ini dimungkinkan oleh bahan semikonduktor yang menyusun sel surya fotovoltaik. Sel surya terdiri dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan berbeda: lapisan atas bermuatan negatif (n) dan lapisan bawah bermuatan positif (p) (Hani, 2015).

Berikut ini contoh gambar bagaimana proses sel surya menjadi matahari.



Gambar 24 Proses Terjadinya Listrik dari Matahari

Sumber: Ridwan, 2021

Silikon merupakan bahan semikonduktor yang paling sering digunakan untuk sel surya. Ketika permukaan sel surya terkena cahaya, pasangan elektron dan hole akan terbentuk. Elektron kemudian akan meninggalkan sel surya dan mengalir melalui rangkaian luar, menghasilkan arus listrik. Arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya dapat langsung digunakan atau disimpan terlebih dahulu dalam baterai untuk digunakan nanti.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) bekerja dengan mengubah energi foton dari sinar matahari menjadi energi listrik melalui sel surya. Sel surya, yang umumnya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon, memiliki dua lapisan dengan muatan berbeda. Ketika sinar matahari

menyinari permukaan sel surya, elektron di lapisan valensi berpindah ke pita konduksi, membentuk pasangan elektron dan hole. Elektron-elektron ini kemudian mengalir melalui rangkaian eksternal, menciptakan arus listrik searah (DC).

Arus listrik yang dihasilkan oleh PLTS dapat langsung digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi atau disimpan dalam baterai untuk digunakan di kemudian hari. Proses konversi ini sangat bergantung pada bahan semikonduktor yang menyusun sel surya, yang memungkinkan terjadinya pergerakan elektron ketika terpapar cahaya. Dengan teknologi ini, PLTS menawarkan solusi energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, memanfaatkan sumber daya alam yang melimpah, yaitu sinar matahari.

Aspek Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Aspek biaya merupakan salah satu pertimbangan utama dalam pengembangan dan implementasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Biaya terkait PLTS mencakup berbagai komponen, mulai dari investasi awal untuk pemasangan sistem hingga biaya operasional dan pemeliharaan jangka panjang (Sianipar, 2014).

Dalam pembahasan ini, kita akan menguraikan berbagai aspek biaya yang terkait dengan PLTS, termasuk perbandingan biaya dengan sumber energi lain, faktor-faktor yang mempengaruhi biaya instalasi dan operasional, serta potensi penghematan dan insentif keuangan yang tersedia. Pemahaman mendalam tentang aspek biaya ini penting untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi dan manfaat jangka panjang dari penggunaan energi surya sebagai sumber energi terbarukan.

Terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam biaya pembangkit listrik tenaga surya, diantaranya adalah sebagai berikut (Suhendar, 2022: 50—52).

1. Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Dalam sistem PLTS, biaya siklus hidup (LCC) dihitung berdasarkan nilai sekarang dari total biaya sistem, yang mencakup biaya investasi awal serta biaya pemeliharaan dan operasional jangka panjang. Biaya siklus hidup (LCC) ini dihitung menggunakan beberapa persamaan diantaranya adalah sebagai berikut.

$$LCC = C + MPW + RP$$

Dengan penjelasan sebagai berikut.

LCC = Biaya siklus hidup (Life Cycle Cost).

C = Biaya investasi awal adalah biaya awal yang dikeluarkan untuk pembelian komponen-komponen PLTS, biaya instalasi dan biaya lainnya misalnya biaya untuk rak penyangga.

MPW = Biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional selama n tahun atau selama umur proyek.

RPW = Biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian yang harus dikeluarkan selama umur proyek. Contohnya adalah biaya untuk penggantian baterai.

Biaya pemeliharaan dan operasional tahunan untuk PLTS umumnya diperkirakan sebesar 1-2%. Besarnya biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan dikembangkan dapat dihitung menggunakan persamaan diantaranya adalah sebagai berikut.

$$M = 1\% \times \text{Total Biaya Investasi}$$

2. Faktor Diskonto

Faktor diskonto adalah angka yang digunakan untuk mengonversi nilai penerimaan di masa depan agar dapat dibandingkan dengan pengeluaran saat ini. Tingkat diskonto yang diterapkan pada penerimaan tersebut dapat berupa tingkat suku bunga pasar atau tingkat suku bunga bank. Berikut ini adalah persamaan faktor diskonto.

$$DF = 1 / (1+i)$$

Dengan

DF = Faktor diskonto.

- i = Tingkat diskonto.
n = Periode dalam tahun (umur investasi)

3. Biaya Energi (*Cost of Energy*)

Biaya energi adalah perbandingan antara biaya total per tahun dari sistem dengan energi yang dihasilkannya selama periode yang sama. Secara ekonomi, biaya energi dari PLTS berbeda dengan biaya energi dari pembangkit konvensional karena dipengaruhi oleh faktor-faktor biaya seperti

- a. Biaya awal (biaya modal) yang tinggi;
- b. Biaya pemeliharaan dan operasional rendah;
- c. Biaya penggantian rendah (terutama hanya untuk baterai).

4. Faktor Pemulihan Modal (*Capital Recovery Factor*)

Faktor pemulihan modal adalah angka yang digunakan untuk mengonversi seluruh arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian pembayaran atau biaya tahunan dengan jumlah yang sama. Faktor ini membantu mengubah total biaya yang dikeluarkan selama siklus hidup aset menjadi pembayaran tahunan yang seragam, sehingga memudahkan perhitungan dan perbandingan biaya.

Aspek biaya pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya mencakup berbagai komponen penting yang mempengaruhi total pengeluaran selama siklus hidup proyek. Biaya awal yang signifikan meliputi pembelian dan pemasangan panel surya, inverter, dan komponen pendukung lainnya. Selain itu, biaya pemeliharaan dan operasional yang relatif rendah menjadi keuntungan dalam jangka panjang.

Teknologi yang terus berkembang juga berpotensi menurunkan biaya produksi dan meningkatkan efisiensi energi. Secara keseluruhan, investasi awal yang besar pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dapat diimbangi oleh penghematan biaya operasional dan manfaat lingkungan jangka panjang.



BAGIAN VI

Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Wafer Sel Surya

Salah satu komponen utama pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah wafer sel surya, yang terdiri dari sel surya sebagai komponen dasarnya. Sel surya mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Sel surya terbuat dari lapisan tipis bahan semikonduktor, biasanya silikon, dengan ketebalan sekitar 0,3 mm dan permukaan berukuran 100 hingga 225 cm² (Kirmani, 2010).

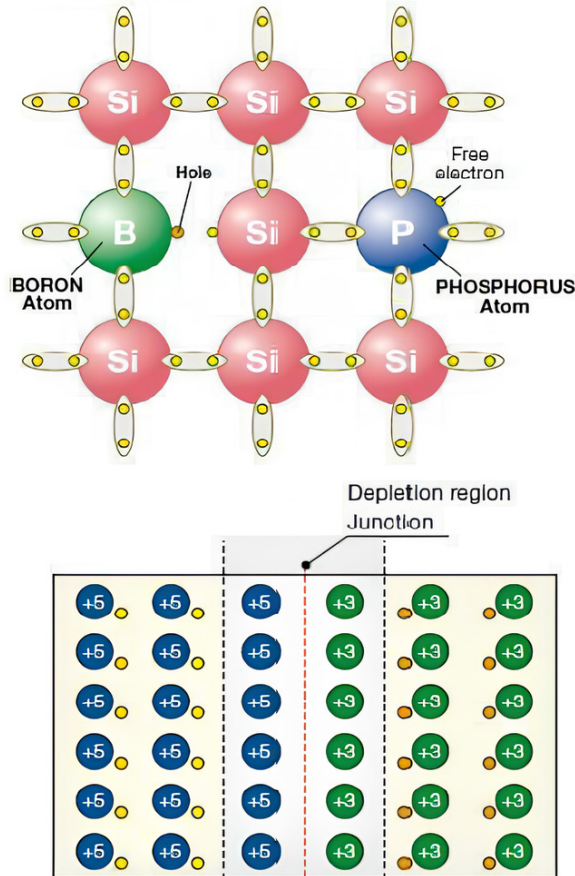
Silikon memiliki empat elektron valensi (*Tetravalensi*) dan didoping dengan menambahkan atom trivalensi, seperti boron (*Doping P*), pada satu lapisan, serta atom pentavalensi, seperti fosfor (*Doping N*), pada lapisan lainnya. Daerah tipe-P memiliki kelebihan lubang (*Holes*), sedangkan daerah tipe-N memiliki kelebihan elektron.

Ketika sel surya terkena sinar matahari, berdasarkan efek fotovoltaiik, terjadi perpindahan elektron dari daerah N yang kaya elektron ke daerah P yang memiliki lubang. Perpindahan ini menghasilkan aliran arus internal. Jika sambungan tersebut terhubung dengan penghantar dan membentuk

rangkaian tertutup atau terhubung dengan beban, maka akan terjadi aliran arus listrik dengan tegangan tertentu menuju beban. Beban tersebut akan menyerap daya listrik secara kontinu selama sel surya menerima sinar matahari.

Berikut ini gambar wafer sel surya diantaranya adalah sebagai berikut.

Silicon doped



Gambar 25 Skema Kerja Wafer Sel Surya

Sumber: Samsurizal, 2021: 20

Ketika sinar atau energi matahari mengenai sel surya, tidak seluruh energi tersebut terserap dan sepenuhnya dikonversi menjadi energi

listrik. Hal ini disebabkan adanya persentase kerugian (*Losses*) selama proses konversi dengan rincian distribusi dari 100% energi matahari yang mengenai sel surya, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. 3% hilang karena pantulan dan bayangan pada kontak depan (lapisan depan).
2. 23% foton dengan panjang gelombang tinggi memiliki energi yang tidak cukup untuk membebaskan elektron, sehingga hanya menghasilkan panas.
3. 32% foton dengan panjang gelombang pendek memiliki energi berlebih yang mengakibatkan penyebaran (*Transmission*).
4. 8,5% hilang karena penggabungan ulang dari pembawa muatan bebas.
5. 20% hilang pada transisi elektrik dalam sel, terutama pada daerah transmisi/peralihan.
6. 0,5% hilang karena resistansi, yang mewakili rugi konduksi (*Conduction Losses*).
7. 13% merupakan energi listrik yang dapat digunakan.

Wafer sel surya adalah komponen utama dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang bertugas mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik. Sel surya, yang terbuat dari lapisan tipis bahan semikonduktor seperti silikon, memanfaatkan dopan untuk menciptakan daerah tipe-P dan tipe-N yang memungkinkan perpindahan elektron dan pembentukan arus listrik.

Meskipun efisiensi konversi energi sel surya masih terbatas oleh berbagai faktor kerugian seperti pantulan, panas, dan resistansi, teknologi ini terus berkembang dengan potensi besar untuk menyediakan sumber energi bersih dan berkelanjutan.

Jenis Panel Surya

Jenis panel surya dapat dibedakan berdasarkan teknologi yang digunakan dalam proses produksinya, yaitu panel surya monokristalin, polikristalin, dan film tipis (*Thin-Film*). Panel surya monokristalin terbuat dari satu kristal silikon murni, memiliki efisiensi tinggi, dan cocok untuk area

dengan ruang terbatas. Panel surya polikristalin dibuat dari banyak kristal silikon yang dilebur menjadi satu, memiliki efisiensi yang sedikit lebih rendah dibandingkan monokristalin, namun harganya lebih terjangkau (Lestari, 2020).

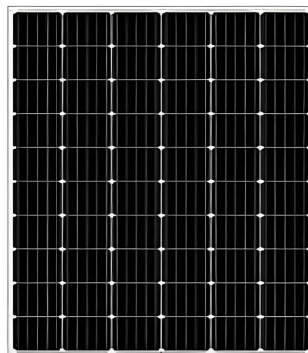
Sementara itu, panel surya film tipis menggunakan lapisan tipis bahan fotovoltaik yang diaplikasikan pada permukaan seperti kaca atau plastik, menawarkan fleksibilitas dan berat yang lebih ringan, tetapi efisiensinya lebih rendah dibandingkan dua jenis lainnya. Pemilihan jenis panel surya tergantung pada kebutuhan spesifik, anggaran, dan kondisi pemasangan.

Berikut ini beberapa jenis panel surya, diantaranya adalah sebagai berikut (Samsurizal, 2021: 22—24).

1. Jenis Monokristalin

Jenis panel surya yang paling unggul dan paling banyak digunakan oleh masyarakat saat ini adalah panel surya monokristalin. Panel ini terbuat dari satu kristal silikon murni, yang memberikan tingkat efisiensi antara 12% hingga 14%. Efisiensi yang tinggi ini membuatnya ideal untuk digunakan di area dengan ruang terbatas. Panel monokristalin terkenal karena kinerjanya yang lebih baik dan daya tahannya yang lebih lama dibandingkan dengan jenis panel surya lainnya, seperti panel polikristalin dan film tipis.

Contoh jenis monokristalin dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.

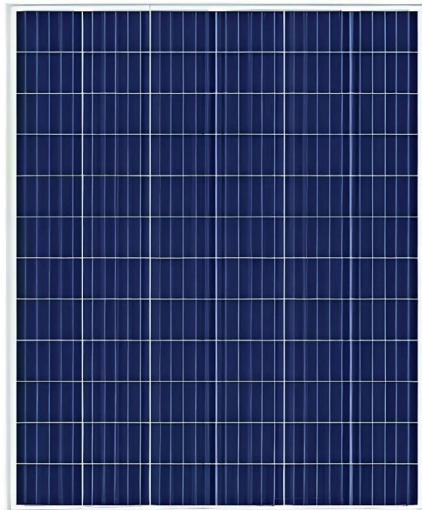


Gambar 26 Panel Surya Jenis Monokristalin

Sumber: Samsurizal, 2021: 22

2. Polikristalin

Jenis kedua adalah panel surya polikristalin atau multi kristalin, yang terdiri dari banyak kristal silikon yang dilebur menjadi satu. Panel ini memiliki tingkat efisiensi antara 10% hingga 12%. Meskipun efisiensinya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan panel monokristalin, panel polikristalin tetap menjadi pilihan populer karena harga yang lebih terjangkau dan performa yang baik dalam kondisi cahaya yang berbeda. Contoh gambar pada jenis polikristalin, sebagai berikut.



Gambar 27 Panel Surya Jenis Polikristalin

Sumber: Samsurizal, 2021: 23

3. Jenis Silikon Amorphus

Panel surya berbasis silikon amorfus berbentuk film tipis dan memiliki efisiensi sekitar 4 hingga 6%. Meski efisiensinya rendah, biaya produksinya lebih murah dan fleksibel untuk berbagai aplikasi. Panel ini cocok untuk produk konsumen dengan kebutuhan daya rendah seperti mainan anak-anak, jam tangan, dan kalkulator. Fleksibilitasnya memungkinkan pemasangan pada permukaan tidak rata atau fleksibel,

menjadikannya solusi ideal untuk perangkat elektronik portabel dan aplikasi kecil lainnya.

Teknologi film tipis memberikan panel surya ini fleksibilitas dan kemampuan untuk diaplikasikan pada permukaan yang berbeda-beda, meskipun tidak seefisien panel monokristalin atau polikristalin dalam menghasilkan listrik dari sinar matahari. Gambar jenis silikon Amorphus, sebagai berikut.



Gambar 28 Panel Surya Jenis Silikon Amorphus

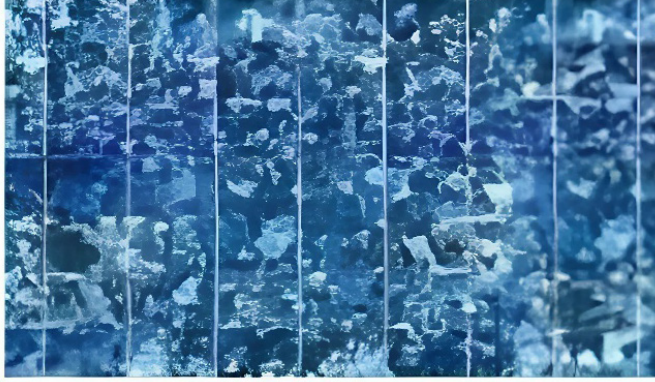
Sumber: Samsurizal, 2021: 23

4. Gallium Arsenide

Panel surya yang terbuat dari Gallium Arsenide (GaAs) menawarkan efisiensi konversi energi yang lebih tinggi, sering kali melebihi 30%, dan tetap stabil saat beroperasi pada suhu tinggi, menjadikannya ideal untuk lingkungan ekstrem seperti gurun dan daerah tropis. Selain memiliki daya tahan dan umur panjang yang lebih baik dibandingkan panel silikon, GaAs juga lebih tahan terhadap radiasi ultraviolet dan degradasi termal.

Meskipun biaya produksinya lebih tinggi karena proses manufaktur yang kompleks, panel GaAs sangat berharga untuk aplikasi khusus

yang membutuhkan kinerja optimal, seperti satelit luar angkasa dan pesawat bertenaga surya. Contoh gambar Gallium Arsenide, sebagai berikut.



Gambar 29 Panel Surya Gallium Arsenide

Sumber: Samsurizal, 2021: 24

Setiap jenis panel surya memiliki keunggulan dan tantangan tersendiri. Panel surya berbasis silikon, termasuk monokristalin dan polikristalin, tetap menjadi pilihan populer karena efisiensinya yang baik dan biaya yang relatif terjangkau. Namun, dalam kondisi suhu tinggi, efisiensi panel surya silikon cenderung menurun. Di sisi lain, panel surya berbasis Thin Film menawarkan fleksibilitas dalam instalasi dan performa yang baik pada kondisi pencahayaan rendah, meskipun efisiensinya masih lebih rendah dibandingkan dengan panel silikon.

Jenis panel surya yang lebih canggih seperti Gallium Arsenide (GaAs) menunjukkan potensi besar dengan efisiensi tinggi dan kemampuan beroperasi optimal pada suhu tinggi, meskipun biaya produksinya lebih tinggi. Panel surya organik dan perovskite juga muncul sebagai alternatif menarik dengan potensi efisiensi tinggi dan biaya produksi yang lebih rendah, meskipun masih dalam tahap pengembangan dan belum mencapai stabilitas jangka panjang.

Dengan terus berkembangnya teknologi dan penelitian di bidang energi surya, berbagai jenis panel surya ini diharapkan dapat memenuhi

kebutuhan energi terbarukan dengan lebih efisien dan ekonomis, mendukung transisi menuju penggunaan energi yang lebih berkelanjutan di masa depan.

Charge Controller

Charge Controller adalah perangkat yang digunakan dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dilengkapi dengan penyimpanan energi listrik cadangan. Fungsinya adalah mengatur arus searah (DC) dari panel surya ke baterai selama proses pengisian (*Charge*), serta mengatur arus listrik dari baterai ke beban selama proses penggunaan energi (*Discharge*) (Ardhi, 2011).

Charge Controller penting pada sistem PLTS mandiri untuk menjaga baterai tetap optimal dan melindungi baterai dari overcharge dengan membatasi pengisian saat baterai penuh, serta untuk mencegah over-discharge yang dapat merusak baterai akibat beban berlebihan dengan memutuskan koneksi saat baterai mencapai kondisi low state of charge.

Terdapat dua jenis Charge Controller dan kedua jenis ini memiliki fungsi yang berbeda-beda serta bentuk yang berbeda-beda, diantaranya adalah sebagai berikut (Abuzairi, 2019).

1. Simple Charge Controller (SCC)

Simple Charge Controller (SCC) atau PWM (Pulse Width Modulation) controller adalah jenis charge controller yang sederhana dan terjangkau. SCC mengatur tegangan dari panel surya ke baterai dengan memotong tegangan berlebih secara periodik. Keuntungannya adalah harga yang lebih murah dan kemudahan penggunaan. Namun, efisiensinya lebih rendah, terutama dalam kondisi pencahayaan buruk, dan tidak mampu memaksimalkan daya panel surya.

Untuk mengetahui bagaimana bentuk dari SCC dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 30 Skema Kegunaan Simple Charge Controller

Sumber: Abuzairi, 2019

2. Maximum Power Point Tracking

Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah jenis charge controller yang lebih canggih dan efisien. MPPT mengidentifikasi titik daya maksimum dari panel surya dan mengoptimalkan transfer daya ke baterai dengan menyesuaikan tegangan dan arus secara dinamis.

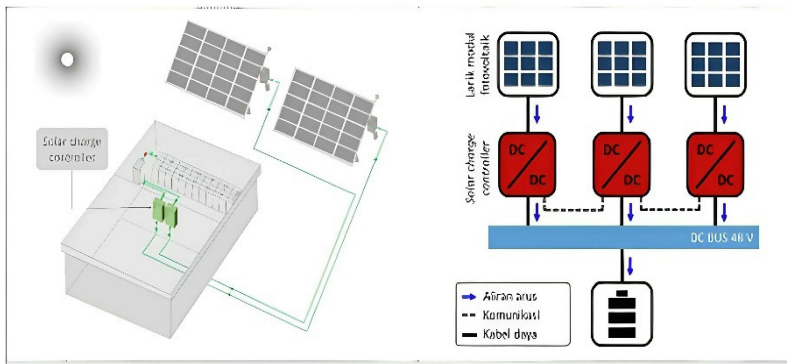
Keuntungannya termasuk efisiensi tinggi, terutama dalam kondisi pencahayaan variabel, dan kemampuan menghasilkan daya lebih banyak. MPPT juga fleksibel dalam menangani berbagai tegangan panel dan baterai, namun harganya lebih mahal dan lebih kompleks dalam penggunaannya. Untuk mengetahui bagaimana bentuk dari SCC dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 31 Bentuk Maximum Power Point Tracking

Sumber: Abuzairi, 2019

Perangkat ini beroperasi dengan cara mengatur tegangan dan arus pengisian berdasarkan daya yang tersedia dari larik modul fotovoltaik serta status pengisian baterai (SoC, state of charge). Beberapa SCC bahkan dapat dipasang secara paralel di dalam bank baterai yang sama untuk menggabungkan daya dari beberapa larik modul fotovoltaik guna mencapai arus pengisian yang lebih tinggi. Contoh gambar dari charge Controller sebagai sebagai berikut.



Gambar 32 Gambar Charge Controller

Sumber: Samsurizal, 2021: 25

Perangkat pada charge controller tidak hanya mengontrol tegangan dan arus pengisian berdasarkan kondisi modul fotovoltaik dan baterai, tetapi juga melindungi baterai dari risiko *overcharge* dan *over discharge* yang dapat merusaknya. Dengan menjaga baterai tetap dalam kondisi optimal (*State Of Charge*), Charge Controller berperan krusial dalam meningkatkan efisiensi dan umur pakai keseluruhan sistem PLTS.

Charge controller adalah perangkat elektronik yang digunakan dalam sistem tenaga surya untuk mengatur arus listrik yang masuk ke dan keluar dari baterai penyimpanan. Fungsi utamanya adalah melindungi baterai dari pengisian berlebih (*Overcharging*) dan pengosongan berlebih (*Overdischarging*), serta memastikan umur baterai yang lebih lama dan efisiensi sistem tenaga surya yang optimal.

Terdapat beberapa tujuan Charge Controller yang digunakan sebagai komponen tenaga listrik sel surya, diantaranya adalah sebagai berikut (Setyawan, 2022).

1. Melindungi Baterai dari Pengisian Berlebih (*Overcharging*)
Ketika panel surya menghasilkan listrik, charge controller mengatur jumlah arus yang masuk ke baterai. Tanpa kontrol ini, baterai dapat mengalami pengisian berlebih yang dapat menyebabkan panas berlebih, kerusakan, atau bahkan kebakaran.

2. Mencegah Pengosongan Berlebih (*Overdischarging*)
Charge controller memastikan baterai tidak terkuras hingga level yang merusak. Jika baterai terlalu kosong, ini dapat mengurangi kapasitasnya atau bahkan merusak baterai sepenuhnya.
3. Mengatur Aliran Daya
Charge controller mengatur aliran daya dari panel surya ke baterai dan dari baterai ke beban (perangkat yang menggunakan daya). Ini memastikan aliran daya yang stabil dan efisien sesuai kebutuhan.
4. Memantau Status Baterai
Charge controller memantau voltase dan arus baterai untuk memberikan informasi penting tentang status pengisian dan kesehatan baterai.

Selain tujuan yang penggunaan charge controller, dalam komponen charge controller juga memiliki beberapa manfaat, diantaranya adalah sebagai berikut (Dilla, 2022).

1. Memperpanjang Umur Baterai
Charge controller memainkan peran penting dalam memperpanjang umur operasional baterai dengan mencegah pengisian dan pengosongan berlebih. Pengisian berlebih dapat menyebabkan panas berlebihan dan kerusakan pada baterai, sementara pengosongan berlebih dapat merusak sel-sel baterai dan mengurangi kapasitasnya.
2. Meningkatkan Efisiensi Sistem
Charge controller membantu mengoptimalkan proses pengisian dan penggunaan daya, sehingga energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat dimanfaatkan secara maksimal. Teknologi Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada charge controller modern memungkinkan sistem untuk menyesuaikan titik operasi panel surya agar selalu berada pada titik daya maksimalnya, meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem.
3. Keamanan
Pengisian berlebih tidak hanya merusak baterai tetapi juga dapat menimbulkan risiko kebakaran atau kerusakan serius pada sistem. Charge controller dilengkapi dengan mekanisme perlindungan yang

memutus aliran arus jika terjadi pengisian berlebih, mencegah potensi bahaya tersebut. Selain itu, charge controller juga melindungi komponen lain dalam sistem tenaga surya dari lonjakan arus dan tegangan yang tidak diinginkan, memastikan bahwa seluruh sistem beroperasi dengan aman dan andal.

4. Pemantauan dan Diagnostik

Banyak charge controller modern dilengkapi dengan fitur pemantauan yang memungkinkan pengguna untuk memeriksa status sistem tenaga surya secara real-time. Fitur ini mencakup informasi tentang tegangan, arus, dan status pengisian baterai, serta data historis tentang kinerja sistem.

5. Pengaturan Mode Operasi

Charge controller modern sering kali memiliki berbagai mode operasi yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan spesifik baterai dan sistem tenaga surya. Mode pengisian boost digunakan untuk memberikan arus tinggi dalam waktu singkat untuk mempercepat pengisian baterai yang sangat kosong.

Charge controller adalah komponen krusial dalam sistem tenaga listrik surya. Mereka memastikan bahwa baterai diisi dan dikosongkan dengan cara yang aman dan efisien, memperpanjang umur baterai, meningkatkan efisiensi sistem, dan menyediakan keamanan serta pemantauan yang penting untuk operasi yang handal dan optimal. Memilih jenis charge controller yang tepat, baik PWM atau MPPT, tergantung pada kebutuhan spesifik sistem dan anggaran yang tersedia.

Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang berfungsi sebagai penyimpan cadangan energi listrik. Baterai menyimpan energi arus searah yang dihasilkan oleh panel surya untuk digunakan sebagai cadangan saat panel surya tidak aktif, seperti pada malam hari atau cuaca mendung, untuk menjaga stabilitas tegangan keluaran sistem (Syahwil, 2022).

Kapasitas energi yang dapat disimpan oleh baterai diukur dalam ampere hour (Ah), yang menunjukkan arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh baterai selama satu jam. Pentingnya menjaga baterai agar tidak terlalu kosong (*Depth Of Discharge*) DOD adalah untuk memperpanjang umur pakai baterai, dengan umumnya DOD yang disarankan tidak melebihi 80% dari kapasitas total baterai.

Terdapat berbagai jenis dan klasifikasi baterai yang diproduksi saat ini, masing-masing dengan desain dan karakteristik performa yang spesifik untuk berbagai aplikasi khusus. Jenis dan klasifikasi baterai dapat dibedakan berdasarkan berbagai faktor seperti bahan kimia elektrolitnya, struktur internal, serta aplikasi dan karakteristik performa yang diinginkan. Jenis dan klasifikasi baterai, diantaranya adalah sebagai berikut (Roal, 2015).

1. Lead-Acid Battery (Baterai Timbal-Asam)

Baterai lead-acid adalah jenis yang paling umum digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Baterai ini menggunakan elektrolit berbasis air yang mengandung asam sulfat dan memiliki elektroda berbasis timbal dan timbal dioksida. Untuk mengetahui bagaimana bentuk Lithium-Ion Battery dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 33 Skema Bentuk Lead-Acid Battery

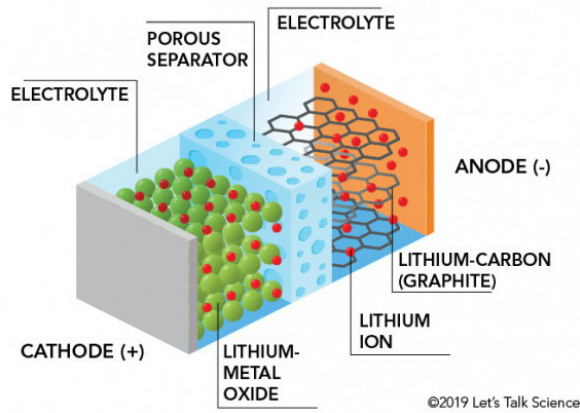
Sumber: Roal, 2015

Lead-acid battery tersedia dalam dua varian utama, diantaranya adalah sebagai berikut.

- a. Baterai Aki (*Starting, Lighting, Ignition-SLI*)
 - b. Digunakan untuk aplikasi start mesin kendaraan dan memberikan daya untuk lampu dan sistem pengapian.
 - c. Baterai Deep Cycle
 - d. Digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan pemakaian daya yang sering dan dalam (*Deep Discharge*), seperti pada sistem PLTS untuk menyimpan energi dari panel surya.
 - e. Nickel-Cadmium Battery (*Baterai Nikel-Kadmium*)
 - f. Baterai jenis ini menggunakan elektrolit berbasis larutan yang mengandung ion nikel dan kadmium. Baterai ini memiliki siklus hidup yang panjang, tahan terhadap suhu ekstrem, dan dapat diisi ulang dengan cepat. Hal ini membuatnya ideal untuk aplikasi yang memerlukan keandalan tinggi dan kestabilan performa, meskipun biaya awal dan pemeliharannya cenderung lebih tinggi.
2. Lithium-Ion Battery (*Baterai Lithium-Ion*)
- Baterai lithium-ion menggunakan elektrolit berbasis garam litium yang memiliki bobot yang lebih ringan dan energi yang lebih tinggi dibandingkan baterai tradisional lainnya. Baterai ini memiliki keunggulan dalam kepadatan energi, umur pakai yang panjang, dan masa pakai siklus yang tinggi. Lithium-ion battery banyak digunakan dalam perangkat elektronik portabel, kendaraan listrik, dan penyimpanan energi pada sistem PLTS yang membutuhkan efisiensi tinggi.

Untuk mengetahui bagaimana bentuk Lithium-Ion Battery dapat dilihat pada gambar berikut.

PARTS OF A LITHIUM-ION BATTERY



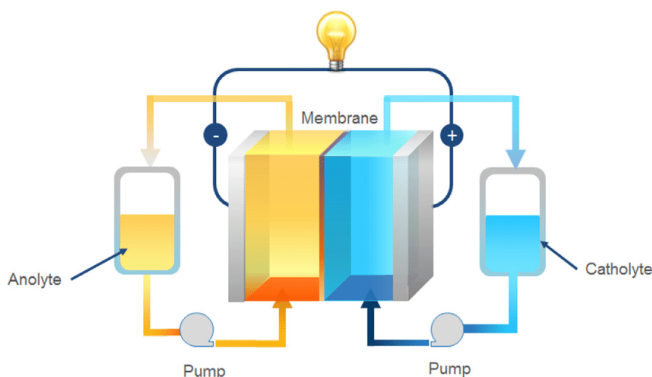
Gambar 34 Skema Bentuk Lithium Ion Batery

Sumber: Roal, 2015

3. Baterai Flow (*Flow Battery*)

Baterai ini menggunakan elektrolit cair yang disirkulasikan antara dua tangki melalui sel elektrokimia untuk menghasilkan energi listrik. Flow battery cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kapasitas penyimpanan besar dan fleksibilitas dalam mengelola output daya.

Untuk mengetahui bagaimana bentuk Flow Battery dapat dilihat pada gambar berikut.



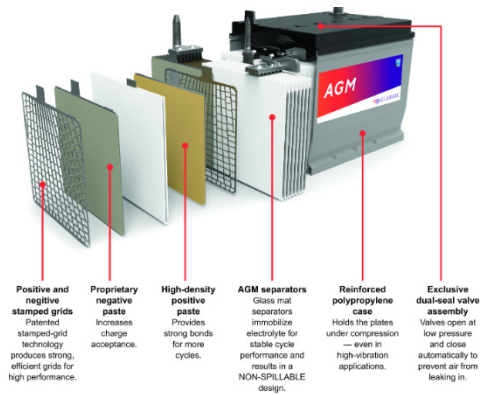
Gambar 35 Skema Bentuk Baterai Flow

Sumber: Roal, 2015

4. Baterai Gel dan AGM (*Absorbent Glass Mat*)

Baterai gel dan AGM adalah varian dari baterai lead-acid yang menggunakan elektrolit yang terikat dalam bentuk gel (*Baterai Gel*) atau dalam bahan serat terabsorpsi (AGM). Keduanya menawarkan keunggulan dalam hal daya tahan, keandalan, dan tidak memerlukan pemeliharaan yang intensif, membuatnya ideal untuk aplikasi yang memerlukan instalasi yang lebih fleksibel dan aman.

Untuk mengetahui bagaimana bentuk Flow Battery dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 36 Skema Bentuk Baterai Gel dan AGM

Sumber: Roal, 2015

Baterai merupakan komponen krusial dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), berfungsi sebagai penyimpan energi cadangan yang dihasilkan oleh panel surya. Dengan kapasitas untuk menyimpan energi arus searah (DC), baterai memungkinkan sistem PLTS untuk tetap menyediakan daya listrik saat kondisi sinar matahari tidak mencukupi, seperti pada malam hari atau cuaca buruk.

Pemilihan jenis baterai yang tepat, seperti lead-acid untuk ketersediaan dan biaya yang terjangkau, atau lithium-ion untuk efisiensi dan umur pakai yang lebih panjang, menjadi kunci dalam memastikan kinerja dan keandalan sistem PLTS secara keseluruhan. Dengan mengoptimalkan penggunaan baterai, sistem PLTS dapat memberikan solusi energi yang

berkelanjutan dan efisien untuk berbagai kebutuhan aplikasi, baik di tingkat rumah tangga maupun komersial.

Inverter

Pengkondisian tenaga listrik (*Power Conditioning*) dan sistem kontrol pada PLTS dilakukan oleh inverter. Inverter berfungsi mengubah arus listrik searah (DC) yang dihasilkan oleh modul surya menjadi arus bolak-balik (AC). Inverter juga mengontrol kualitas daya listrik yang dihasilkan untuk disalurkan ke beban atau jaringan listrik. Pada PLTS, inverter satu fasa biasanya digunakan untuk sistem dengan beban kecil, sedangkan untuk sistem yang lebih besar dan terhubung dengan jaringan utilitas (PLN), digunakan inverter tiga fasa (Samsurizal, 2021: 27).

Inverter adalah perangkat elektronik penting dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang berfungsi mengubah arus listrik searah (DC) yang dihasilkan oleh modul surya menjadi arus listrik bolak-balik (AC). Arus bolak-balik ini diperlukan karena sebagian besar peralatan rumah tangga dan industri menggunakan listrik AC untuk beroperasi. Dengan demikian, inverter memungkinkan energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat digunakan secara langsung untuk kebutuhan sehari-hari atau disalurkan ke jaringan listrik.

Inverter tidak hanya mengubah jenis arus listrik tetapi juga bertanggung jawab untuk mengontrol kualitas daya listrik yang dihasilkan. Melibatkan pengaturan tegangan, frekuensi, dan bentuk gelombang listrik agar sesuai dengan standar yang dibutuhkan oleh peralatan listrik atau jaringan utilitas. Kualitas daya listrik yang baik sangat penting untuk mencegah kerusakan pada peralatan dan memastikan operasi yang efisien dan aman.

Terdapat dua jenis utama inverter yang digunakan dalam PLTS diantaranya adalah sebagai berikut (Halim, 2020)

1. Inverter Satu Phase

Inverter satu Phase biasanya digunakan dalam sistem dengan beban kecil, seperti di rumah tangga atau instalasi skala kecil. Untuk

mengetahui bagaimana bentuk inverter satu phase dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 37 Inverter 1 Phase

Sumber: Halim, 2020

2. Inverter Tiga Phase

Inverter tiga phase digunakan dalam sistem yang lebih besar dan terhubung dengan jaringan utilitas (PLN). Inverter tiga fasa mampu menangani beban yang lebih besar dan lebih stabil dalam distribusi daya, sehingga ideal untuk aplikasi komersial dan industri. Untuk mengetahui bagaimana bentuk inverter satu phase dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 38 Inverter 3 Phase

Sumber: Halim, 2020

Selain itu, inverter modern sering dilengkapi dengan fitur tambahan seperti pemantauan jarak jauh, proteksi dari overvoltage dan overcurrent, serta kemampuan untuk bekerja secara paralel dengan beberapa inverter lainnya. Memberikan kemungkinan terkait fleksibilitas dan skalabilitas dalam mengelola sistem PLTS, sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik pengguna dan kondisi operasional. Inverter juga memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem PLTS dan memastikan keandalan pasokan energi terbarukan.

Pada dasarnya terdapat beberapa tujuan dari penggunaan inverter yang merupakan bagian dari komponen pembangkit listrik tenaga surya, diantaranya adalah sebagai berikut (Wellid, 2019).

1. Konversi Arus Listrik

DC ke AC Sel surya menghasilkan listrik dalam bentuk arus searah (DC). Namun, sebagian besar peralatan listrik di rumah dan jaringan listrik umum menggunakan arus bolak-balik (AC). Inverter mengubah arus DC menjadi AC, sehingga listrik yang dihasilkan oleh

sel surya dapat digunakan untuk mengoperasikan peralatan rumah tangga dan diumpankan ke jaringan listrik.

2. Pengaturan Tegangan dan Frekuensi

Inverter memastikan bahwa tegangan dan frekuensi listrik yang dihasilkan sesuai dengan standar yang diperlukan oleh peralatan listrik dan jaringan listrik. Biasanya, ini berarti menyesuaikan output ke 220-240V dan 50-60Hz, tergantung pada lokasi geografis.

3. Pengelolaan Daya dan Optimalisasi Efisiensi

Inverter modern dilengkapi dengan teknologi pengelolaan daya yang cerdas, seperti Maximum Power Point Tracking (MPPT). Teknologi ini memaksimalkan daya yang diekstrak dari panel surya dengan menyesuaikan beban sesuai dengan kondisi lingkungan, seperti intensitas cahaya matahari dan suhu.

Terdapat beberapa manfaat penggunaan inverter sebagai komponen dari tenaga listrik sel surya, diantaranya adalah sebagai berikut (Yuwono, 2021).

1. Peningkatan Efisiensi Sistem

Dengan konversi yang efisien dari DC ke AC dan fitur MPPT, inverter meningkatkan total efisiensi sistem tenaga surya. Hal ini memastikan bahwa lebih banyak energi yang dihasilkan oleh sel surya dapat digunakan atau disimpan.

2. Kompatibilitas dengan Peralatan Listrik

Inverter memungkinkan listrik yang dihasilkan oleh panel surya untuk digunakan oleh berbagai peralatan listrik yang beroperasi pada arus AC. Ini termasuk peralatan rumah tangga, elektronik, dan sistem pencahayaan.

3. Kemampuan Grid-Tie

Inverter memungkinkan sistem tenaga surya untuk terhubung ke jaringan listrik umum (grid-tie). Ini berarti surplus listrik yang dihasilkan oleh sistem tenaga surya dapat dijual kembali ke perusahaan listrik atau digunakan sebagai cadangan energi.

4. Pemantauan dan Diagnostik Sistem

Inverter modern sering dilengkapi dengan fitur pemantauan yang memungkinkan pengguna untuk melacak kinerja sistem tenaga surya mereka. Fitur ini mencakup data produksi energi, efisiensi, dan deteksi masalah secara dini.

5. Keamanan

Inverter juga memiliki fitur keamanan, seperti proteksi dari arus balik, proteksi dari lonjakan tegangan, dan pemutusan otomatis dalam keadaan darurat. Ini melindungi sistem tenaga surya dan peralatan listrik dari kerusakan.

6. Penyimpanan Energi

Beberapa inverter dirancang untuk bekerja dengan sistem penyimpanan energi, seperti baterai. Ini memungkinkan penyimpanan energi yang dihasilkan pada siang hari untuk digunakan pada malam hari atau saat cuaca mendung.

Inverter adalah komponen krusial dalam sistem tenaga listrik sel surya. Mereka memastikan bahwa energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat digunakan secara efektif dan efisien, baik untuk konsumsi rumah tangga maupun untuk dijual kembali ke jaringan listrik. Dengan teknologi yang terus berkembang, inverter tidak hanya mengubah arus DC menjadi AC, tetapi juga mengoptimalkan efisiensi sistem, menyediakan fitur pemantauan, dan meningkatkan keamanan serta keandalan sistem tenaga surya.



BAGIAN VII

Sistem Penyimpanan Listrik terhadap Energi Surya

Proses Konversi *Solar Cells*

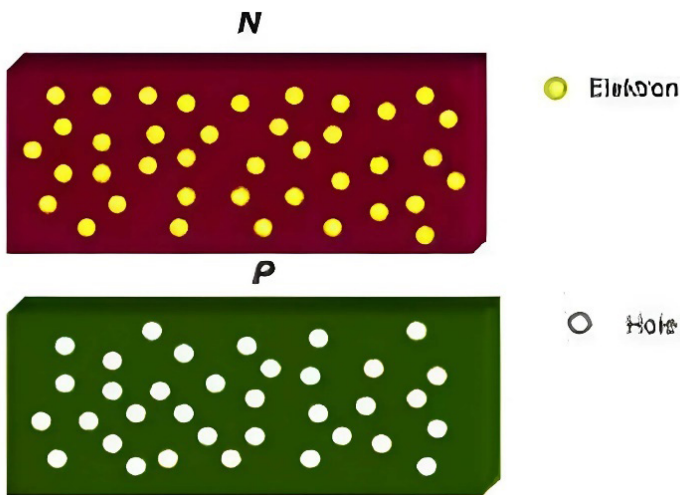
Proses konversi cahaya matahari menjadi listrik dimungkinkan oleh material semikonduktor yang menyusun sel surya. Sel surya terdiri dari dua jenis semikonduktor yaitu tipe n dan tipe p. Semikonduktor tipe n memiliki kelebihan elektron, sehingga bermuatan negatif ($n = \text{negatif}$), sedangkan semikonduktor tipe p memiliki kelebihan hole, sehingga bermuatan positif ($p = \text{positif}$) (Hardianto, 2012).

Untuk meningkatkan efisiensi konversi cahaya matahari menjadi listrik, berbagai teknik dan material tambahan diterapkan dalam konstruksi sel surya. Salah satu metode yang digunakan adalah penerapan lapisan anti-reflektif. Lapisan ini berfungsi untuk mengurangi pantulan cahaya pada permukaan sel surya, sehingga lebih banyak foton dapat diserap oleh semikonduktor. Dengan mengurangi pantulan, lebih banyak energi matahari yang masuk ke dalam sel surya dan diubah menjadi energi listrik.

Pada awalnya, pembuatan kedua jenis semikonduktor ini bertujuan untuk meningkatkan konduktivitas atau kemampuan daya hantar

listrik dan panas dari semikonduktor alami. Dalam semikonduktor alami, jumlah elektron dan hole adalah sama. Kelebihan elektron atau hole dapat meningkatkan daya hantar listrik dan panas dari semikonduktor tersebut. Ketika semikonduktor tipe n dan tipe p disatukan, mereka membentuk sambungan p-n atau dioda p-n, yang juga dikenal sebagai sambungan metalurgi (metallurgical junction). Dapat diperhatikan pada beberapa penjelasan yang disertai dengan gambar, diantaranya adalah sebagai berikut (Samsurizal, 2021: 32—36)

1. Semikonduktor Jenis p dan n Sebelum Disambung



Gambar 39 Semikonduktor Jenis p dan n Sebelum disambung

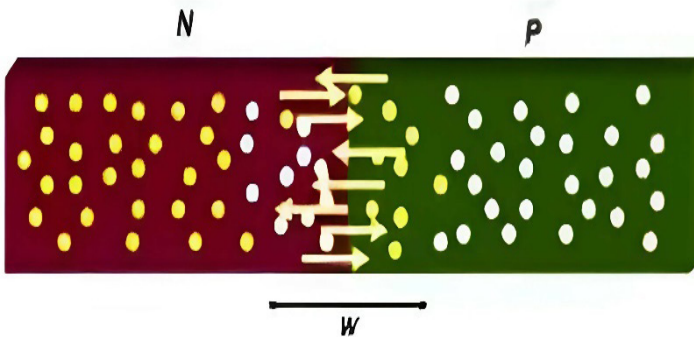
Sumber: Samsurizal, 2021: 32

Sebelum semikonduktor tipe p dan n disambungkan, masing-masing memiliki sifat listrik yang unik. Tipe p dibuat dengan menambahkan boron yang menghasilkan hole, menciptakan muatan positif, sedangkan tipe n ditambahkan fosfor yang menghasilkan kelebihan elektron dan muatan negatif.

Ketika disatukan, elektron dari tipe n dan hole dari tipe p bergerak dan membentuk daerah deplesi dengan medan listrik internal. Medan ini mengarahkan elektron dan hole saat sel surya terkena cahaya matahari, menciptakan arus listrik. Persiapan yang tepat dari

semikonduktor tipe p dan n sangat penting untuk efisiensi konversi energi dalam sel surya.

2. Sesaat setelah kedua jenis semikonduktor ini disambungkan, terjadi perpindahan elektron dari semikonduktor n ke semikonduktor p, serta perpindahan hole dari semikonduktor p ke semikonduktor n. Dapat diilustrasikan dengan gambar berikut.



Gambar 40 Perpindahan Electron dan Hole pada Semikonduktor

Sumber: Samsurizal, 2021: 32

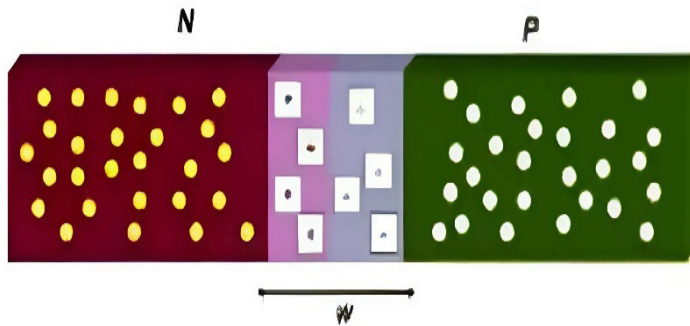
Perpindahan elektron dan hole pada semikonduktor terjadi saat dua jenis semikonduktor, tipe p dan tipe n, disambungkan. Elektron dari semikonduktor n bergerak menuju semikonduktor p, sementara hole dari semikonduktor p bergerak ke semikonduktor n.

Perpindahan ini menciptakan daerah deplesi di sekitar sambungan, di mana elektron dan hole saling menetralkan, menghasilkan medan listrik internal yang mencegah perpindahan lebih lanjut tanpa energi eksternal seperti cahaya matahari.

Medan listrik di daerah deplesi sangat penting dalam operasi sel surya. Ketika foton dari cahaya matahari membebaskan elektron dalam semikonduktor, medan listrik ini mengarahkan elektron ke semikonduktor n dan hole ke semikonduktor p, menciptakan arus listrik yang dapat digunakan.

Proses ini adalah dasar dari konversi energi cahaya menjadi listrik dalam sel surya. Pengelolaan perpindahan elektron dan hole ini sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas sel surya dalam menghasilkan energi listrik.

- Elektron dari semikonduktor n bergabung dengan hole pada semikonduktor p, menyebabkan jumlah hole pada semikonduktor p berkurang. Akibatnya, daerah ini menjadi lebih bermuatan negatif. Sementara itu, hole dari semikonduktor p bergabung dengan elektron di semikonduktor n, mengurangi jumlah elektron di daerah ini. Akibatnya, daerah ini menjadi lebih bermuatan positif. Pada proses ini dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 41 Hasil Muatan Positif dan Negatif pada Semikonduktor

Sumber: Samsurizal, 2021: 33

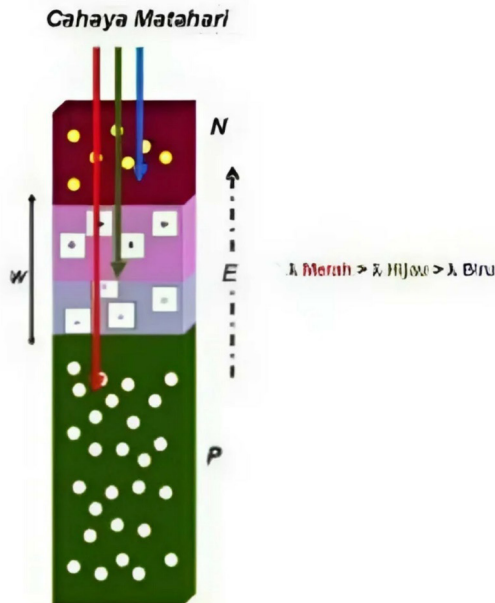
- Daerah negatif dan positif ini, yang disebut daerah deplesi (depletion region), adalah area di sekitar sambungan p-n pada semikonduktor. Pada daerah ini, terjadi penipisan atom-ion bebas karena elektron dan hole bergerak ke arah yang berlawanan setelah semikonduktor tipe p dan tipe n disambungkan.

Hal ini menyebabkan semikonduktor tipe p menjadi bermuatan negatif karena kekurangan hole, sedangkan semikonduktor tipe n menjadi bermuatan positif karena kekurangan elektron. Medan listrik internal yang terbentuk dari muatan positif ke muatan negatif

mencoba menarik kembali hole ke semikonduktor tipe p dan elektron ke semikonduktor tipe n.

5. Medan listrik menyebabkan sambungan pn mencapai titik keseimbangan, di mana jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor p ke n seimbang dengan jumlah hole yang ditarik kembali ke semikonduktor p karena medan listrik E. Demikian juga, jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p seimbang dengan aliran kembali elektron ke semikonduktor n karena tarikan medan listrik E.

Pada sambungan p-n inilah terjadi proses konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Untuk sel surya, semikonduktor tipe n ditempatkan di lapisan atas sambungan p, menghadap ke arah sinar matahari, dan dibuat lebih tipis daripada semikonduktor tipe p. Hal ini memungkinkan cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terserap dan masuk ke daerah deplesi serta semikonduktor tipe p. Proses ini dapat dengan mudah kita ketahui melalui gambar berikut.



Gambar 42 Sambungan Semikonduktor Terkena Cahaya Matahari

Sumber: Sa msurizal, 2021: 34

Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, elektron mendapatkan energi dari cahaya tersebut untuk melepaskan diri dari semikonduktor tipe n, daerah deplesi, dan semikonduktor p. Proses pelepasan elektron ini menyebabkan pembentukan hole di tempat yang ditinggalkan oleh elektron, yang dikenal sebagai fotogenerasi elektron-hole, yaitu terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat energi dari cahaya matahari.

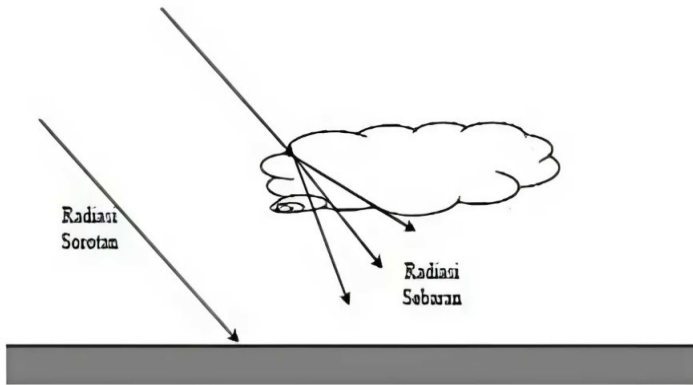
Sel surya biasanya terdiri dari semikonduktor tipe n yang ditempatkan di lapisan atas, yang dirancang agar tipis sehingga dapat lebih efisien menyerap cahaya matahari. Ketika cahaya matahari mengenai sel surya, foton energi tinggi dapat membebaskan elektron dari ikatannya dalam semikonduktor tipe n, menciptakan pasangan elektron-hole di daerah deplesi.

Energi dari foton cahaya matahari ini kemudian dikonversi menjadi energi listrik karena gerakan elektron dan hole yang diarahkan oleh medan listrik internal. Dengan memahami dan mengoptimalkan proses ini, kita dapat meningkatkan efisiensi dan keefektifan sel surya dalam menghasilkan energi listrik dari sumber energi terbarukan yang tak terbatas, yaitu matahari.

Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi

Konstanta radiasi matahari sebesar 1353 W/m^2 berkurang intensitasnya akibat penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek (ultraviolet), sedangkan karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi langsung oleh penyerapan tersebut, terdapat pula radiasi yang dipencarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi, yang disebut sebagai radiasi sebaya (Islamy, 2014).

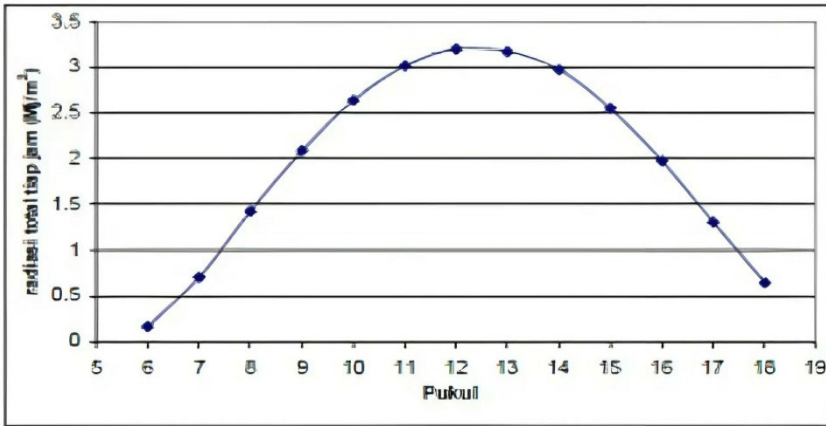
Proses yang terjadi dapat dilihat melalui gambar berikut.



Gambar 43 Radiasi Sorotan dan Radiasi Sebaran yang Mengenai Permukaan Bumi

Sumber: Samsurizal, 2021: 37

Jumlah radiasi harian yang diterima oleh permukaan bumi ditunjukkan pada grafik gambar 3.10. Pada pagi dan sore hari, intensitas radiasi yang mencapai permukaan bumi lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh sudut datang sinar matahari yang tidak tegak lurus dengan permukaan bumi, sehingga sinar matahari mengalami difusi oleh atmosfer bumi. Dalam proses ini terdapat grafik yang dihasilkan akibat radiasi harian matahari yang mengenai permukaan bumi. Grafik tersebut dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 44 Grafik Besar Radiasi Harian Matahari yang Mengenai Permukaan Bumi

Sumber: Samsurizal, 2021: 37

Radiasi harian matahari yang diterima oleh permukaan bumi bervariasi sepanjang hari. Pada pagi dan sore hari, intensitas radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi relatif rendah. Hal ini disebabkan oleh sudut datang sinar matahari yang tidak tegak lurus dengan permukaan bumi, sehingga sinar matahari harus melewati lapisan atmosfer yang lebih tebal. Proses ini menyebabkan sebagian besar sinar matahari mengalami difusi dan penyerapan oleh partikel-partikel di atmosfer, seperti molekul gas, debu, dan uap air, yang mengurangi intensitas radiasi yang mencapai permukaan bumi.

Selain itu, penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer juga mengurangi intensitas radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek, seperti sinar ultraviolet, sementara karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang, seperti sinar inframerah. Proses ini menyebabkan sebagian energi matahari hilang sebelum mencapai permukaan bumi, sehingga mengurangi intensitas radiasi yang diterima oleh permukaan bumi.

Pada siang hari, ketika matahari berada di posisi tertinggi di langit, sudut datang sinar matahari lebih tegak lurus terhadap permukaan bumi, sehingga intensitas radiasi yang mencapai permukaan bumi meningkat. Ini adalah saat di mana permukaan bumi menerima radiasi matahari dengan intensitas tertinggi. Variasi harian dalam intensitas radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi sangat penting untuk diperhitungkan dalam perancangan sistem tenaga surya, karena efisiensi dan output energi dari panel surya sangat bergantung pada jumlah radiasi yang diterima sepanjang hari.

Intensitas Cahaya yang dihasilkan Energi Surya

Intensitas cahaya yang dihasilkan oleh energi surya merupakan jumlah energi radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi per satuan luas. Intensitas ini sangat bergantung pada beberapa faktor, termasuk lokasi geografis, waktu dalam sehari, kondisi atmosfer, dan musim. Di daerah khatulistiwa, intensitas cahaya matahari cenderung lebih tinggi sepanjang tahun dibandingkan dengan daerah yang berada jauh dari khatulistiwa (Usman, 2020).

Ketika matahari berada di posisi tertinggi di langit, intensitas radiasi yang mencapai permukaan bumi adalah yang tertinggi. Hal ini karena sinar matahari datang dengan sudut yang lebih tegak lurus terhadap permukaan bumi, sehingga energi yang diterima per satuan luas lebih besar. Sebaliknya, pada pagi dan sore hari, intensitas cahaya matahari lebih rendah karena sinar matahari datang dengan sudut yang lebih miring, menyebabkan radiasi menyebar lebih luas dan lebih banyak diserap oleh atmosfer.

Kondisi atmosfer juga memainkan peran penting dalam menentukan intensitas cahaya matahari yang mencapai permukaan bumi. Ozon menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek, seperti sinar ultraviolet, sementara karbon dioksida dan uap air menyerap radiasi dengan panjang gelombang lebih panjang, seperti sinar inframerah. Partikel debu dan

polusi juga dapat memantulkan dan menyerap sinar matahari, mengurangi intensitas yang mencapai permukaan bumi. Oleh karena itu, pada hari yang cerah, intensitas cahaya matahari akan lebih tinggi dibandingkan dengan hari yang berawan atau tercemar.

Intensitas cahaya yang dihasilkan oleh energi surya bervariasi tergantung pada banyak faktor. Pemahaman yang baik tentang intensitas radiasi matahari sangat penting untuk desain dan efisiensi sistem tenaga surya. Penggunaan data intensitas cahaya matahari membantu dalam menentukan jumlah dan orientasi panel surya yang optimal untuk memaksimalkan produksi energi listrik. Faktor yang perlu dipahami diantaranya adalah sebagai berikut (Magfiroh, 2017).

1. Lokasi Geografis

Di daerah khatulistiwa, intensitas cahaya matahari cenderung tinggi sepanjang tahun karena matahari berada tegak lurus terhadap permukaan bumi. Di wilayah kutub, intensitas cahaya matahari lebih rendah dan bervariasi, dengan periode siang yang lebih pendek selama musim dingin.

2. Waktu dalam Sehari

Pada siang hari, saat matahari berada di posisi tertinggi di langit, intensitas radiasi yang mencapai permukaan bumi paling tinggi karena sinar matahari datang secara langsung. Sebaliknya, pada pagi dan sore hari, intensitas cahaya matahari lebih rendah karena sinar matahari datang dengan sudut lebih miring, yang menyebabkan radiasi tersebar lebih luas dan lebih banyak diserap oleh atmosfer.

3. Kondisi Atmosfer

Ozon menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek seperti sinar ultraviolet. Karbon dioksida dan uap air menyerap radiasi dengan panjang gelombang lebih panjang seperti sinar inframerah. Partikel debu dan polusi dapat memantulkan dan menyerap sinar matahari, mengurangi intensitas yang mencapai permukaan bumi.

4. Musim

Musim memengaruhi sudut dan durasi paparan sinar matahari. Di musim panas, hari lebih panjang dan matahari lebih tinggi di langit, sehingga intensitas cahaya matahari lebih tinggi. Di musim dingin, hari lebih pendek dan matahari lebih rendah di langit, mengakibatkan intensitas cahaya matahari yang lebih rendah.

5. Sudut Elevasi Matahari

Sudut elevasi matahari menentukan seberapa langsung sinar matahari mengenai permukaan bumi. Semakin tinggi sudut elevasi, semakin besar intensitas radiasi yang diterima per satuan luas.

6. Ketinggian

Pada ketinggian yang lebih tinggi, atmosfer lebih tipis sehingga lebih sedikit radiasi yang diserap atau dipantulkan sebelum mencapai permukaan bumi. Ini menghasilkan intensitas cahaya matahari yang lebih tinggi di daerah pegunungan dibandingkan dengan daerah dataran rendah.

7. Awan dan Cuaca

Awan dapat menghalangi sebagian besar radiasi matahari mencapai permukaan bumi, mengurangi intensitas cahaya. Cuaca cerah memungkinkan lebih banyak radiasi mencapai permukaan, meningkatkan intensitas cahaya matahari.

8. Efek Albedo

Albedo adalah kemampuan permukaan untuk memantulkan radiasi matahari. Permukaan cerah dan reflektif seperti salju atau pasir putih memiliki albedo tinggi dan memantulkan lebih banyak sinar matahari. Permukaan gelap seperti hutan atau lahan basah menyerap lebih banyak sinar matahari dan memiliki albedo rendah.

Intensitas cahaya matahari yang mencapai permukaan bumi merupakan faktor kunci dalam efisiensi dan ketersediaan energi surya. Berbagai faktor seperti lokasi geografis, waktu dalam sehari, kondisi atmosfer, musim, sudut elevasi matahari, ketinggian tempat, dan efek albedo permukaan, semuanya berinteraksi kompleks untuk menentukan

seberapa banyak energi matahari yang dapat dihasilkan dan dimanfaatkan. Misalnya, daerah khatulistiwa dengan matahari yang tegak lurus sepanjang tahun memiliki intensitas cahaya yang lebih tinggi dibandingkan daerah kutub yang mengalami variasi dan intensitas yang lebih rendah.

Pemahaman mendalam terhadap dinamika ini sangat penting dalam merancang sistem energi surya yang optimal. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut secara holistik, mulai dari pemilihan lokasi instalasi hingga manajemen pengaruh cuaca dan musiman, kita dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Pengaruh Suhu terhadap Permukaan Solar Surya

Suhu operasional adalah suhu di mana panel surya bekerja selama proses konversi energi matahari menjadi listrik. Suhu ini dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan seperti sinar matahari langsung, aliran udara di sekitar panel, dan suhu udara di sekitarnya. Suhu operasional yang tinggi dapat menurunkan efisiensi konversi energi panel surya. Panel surya biasanya diuji pada kondisi Standar Tes Kondisi (STC) dengan suhu 25°C, namun dalam kondisi nyata, suhu operasional dapat jauh lebih tinggi (Samsurizal, 2021: 39).

Koefisien suhu adalah parameter yang menunjukkan seberapa besar kinerja panel surya dipengaruhi oleh perubahan suhu. Ini biasanya dinyatakan sebagai persentase penurunan output daya atau efisiensi per derajat Celsius kenaikan. Setiap jenis panel surya memiliki koefisien suhu yang berbeda. Misalnya, panel surya silikon kristalin memiliki koefisien suhu sekitar -0,4% hingga -0,5% per °C, yang berarti efisiensinya menurun sebesar nilai tersebut untuk setiap peningkatan suhu 1°C di atas 25°C.

Terdapat beberapa manfaat dalam memahami pengaruh suhu terhadap permukaan panel surya, diantaranya adalah sebagai berikut (Hehanussa, 2023).

1. Optimisasi Kinerja

Dengan memahami bagaimana suhu mempengaruhi kinerja panel surya, pengguna dapat mengoptimalkan pemasangan dan operasi sistem mereka. Misalnya, memasang panel dengan sudut yang tepat untuk memaksimalkan aliran udara di bawah panel atau menggunakan material yang memiliki koefisien suhu rendah untuk mengurangi efek suhu tinggi.

Contoh Praktis yaitu saat pengguna dapat memasang panel surya dengan ventilasi yang baik atau menggunakan sistem pendingin aktif untuk menjaga suhu panel tetap rendah.

2. Perencanaan dan Pemeliharaan

Pengetahuan tentang pengaruh suhu memungkinkan perencanaan yang lebih baik dalam instalasi sistem tenaga surya. Mencakup pemilihan lokasi yang optimal, desain sistem yang mempertimbangkan aliran udara, dan strategi pemeliharaan untuk menjaga kebersihan dan integritas panel. Contoh Praktisnya yaitu Pemeliharaan rutin seperti pembersihan panel dan pemeriksaan visual untuk mendeteksi dan memperbaiki hot spots dapat meningkatkan kinerja dan umur panjang panel surya.

3. Peningkatan Umur Panjang Panel

Mengelola suhu operasional dapat memperpanjang umur panel surya dengan mengurangi degradasi material yang disebabkan oleh suhu tinggi. Hal ini juga digunakan untuk mengurangi frekuensi perbaikan dan penggantian panel, menghemat biaya jangka panjang. Contoh Praktisnya yaitu Menggunakan material tahan panas atau lapisan pelindung yang dapat mengurangi penyerapan panas dan menurunkan suhu operasional panel.

Selain manfaat terdapat juga tujuan Pengaruh Suhu terhadap Permukaan Panel Surya, diantaranya adalah sebagai berikut (Tiyas, 2020).

1. Meningkatkan Efisiensi Energi

Tujuan utama dari pembahasan ini adalah meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan oleh panel surya. Dengan mengelola suhu

operasional, panel surya dapat bekerja lebih dekat dengan efisiensi maksimumnya. Contoh Praktisnya yaitu Implementasi sistem pendingin pasif seperti ventilasi alami atau pendingin aktif menggunakan kipas atau cairan pendingin dapat menjaga suhu panel tetap optimal.

2. Meminimalkan Kerugian Daya

Memahami pengaruh suhu membantu meminimalkan kerugian daya yang terjadi akibat peningkatan suhu operasional. Kerugian daya ini dapat dikurangi dengan desain yang memperhitungkan koefisien suhu dan pemilihan material yang tepat. Contoh Praktisnya yaitu menggunakan panel surya dengan koefisien suhu rendah atau teknologi baru seperti panel surya berbasis perovskite yang memiliki sensitivitas suhu lebih rendah.

3. Desain dan Inovasi Teknologi

Informasi mengenai pengaruh suhu mendorong inovasi dalam desain dan teknologi panel surya. Pengembangan material baru, teknik manufaktur, dan sistem pendingin yang lebih efektif. Contoh Praktisnya yaitu penelitian dan pengembangan material semikonduktor baru dengan koefisien suhu rendah atau desain panel yang memaksimalkan disipasi panas melalui struktur mikro atau bahan penyerap panas.

4. Penurunan Efisiensi

Suhu yang lebih tinggi dari kondisi standar (25°C) menyebabkan penurunan efisiensi panel surya. Misalnya, pada suhu 50°C , panel surya silikon kristalin dapat mengalami penurunan efisiensi sebesar 10-12%. Contoh Praktisnya yaitu, Di daerah dengan suhu lingkungan yang tinggi, pengguna mungkin melihat penurunan output daya yang signifikan pada siang hari yang panas, dibandingkan dengan pagi atau sore hari ketika suhu lebih rendah.

5. Degradasi Material

Suhu tinggi yang berkepanjangan dapat mempercepat degradasi material pada panel surya, seperti pelapisan anti-reflektif atau bahan semikonduktor. Degradasi ini dapat mengurangi kinerja panel secara

keseluruhan dan memperpendek umur panel. Contoh Praktisnya yaitu penggunaan material dengan stabilitas termal tinggi atau pelapisan khusus yang dapat melindungi sel surya dari suhu tinggi dapat mengurangi laju degradasi.

6. Hot Spots dan Kerusakan Permanen

Hot spots dapat menyebabkan kerusakan permanen pada sel surya, mengurangi output daya, dan dalam beberapa kasus dapat menyebabkan kebakaran. Penyebab umum hot spots termasuk bayangan parsial, kotoran, dan kerusakan fisik pada panel. Contoh Praktisnya yaitu penggunaan teknologi deteksi hot spots seperti pencitraan termal atau inspeksi rutin dapat mengidentifikasi dan memperbaiki masalah sebelum menyebabkan kerusakan serius.

Pengaruh suhu terhadap permukaan panel surya adalah faktor penting yang perlu dipahami untuk mengoptimalkan kinerja dan umur panjang sistem tenaga surya. Dengan memahami bagaimana suhu mempengaruhi efisiensi, merencanakan instalasi yang tepat, dan melakukan pemeliharaan yang baik, pengguna dapat memastikan bahwa mereka mendapatkan manfaat maksimal dari investasi mereka dalam teknologi surya. Pengetahuan ini juga mendorong inovasi dalam desain dan teknologi panel surya, meningkatkan kesadaran dan pendidikan, serta membantu meminimalkan kerugian daya dan meningkatkan efisiensi energi.

Pengaruh suhu terhadap permukaan panel surya adalah faktor penting yang mempengaruhi kinerja dan umur panjang sistem tenaga surya. Suhu operasional yang tinggi dapat menurunkan efisiensi konversi energi panel surya, mempercepat degradasi material, dan menyebabkan titik panas (hot spots) yang dapat merusak sel surya.

Setiap kenaikan suhu sebesar 1°C di atas 25°C dapat mengurangi efisiensi panel surya sekitar 0,4% hingga 0,5%, mengakibatkan penurunan output daya yang signifikan. Oleh karena itu, memahami pengaruh suhu dan cara mengelolanya sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja dan efisiensi sistem tenaga surya.

Manfaat utama dari memahami pengaruh suhu terhadap panel surya meliputi optimisasi kinerja, perencanaan dan pemeliharaan yang lebih baik, serta peningkatan umur panjang panel. Dengan pengetahuan ini, pengguna dapat merancang instalasi yang efisien, melakukan pemeliharaan rutin yang tepat, dan memilih material yang sesuai untuk mengurangi dampak negatif suhu tinggi.

Selain itu, pembahasan ini mendorong inovasi dalam desain dan teknologi panel surya serta meningkatkan kesadaran dan pendidikan tentang pentingnya manajemen suhu dalam operasi panel surya. Dengan demikian, pengguna dapat memastikan bahwa mereka mendapatkan manfaat maksimal dari investasi mereka dalam teknologi surya, mengurangi biaya jangka panjang, dan memaksimalkan produksi energi.



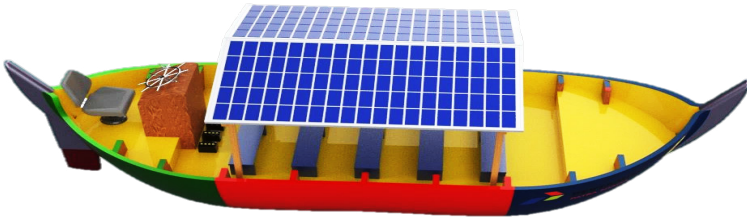
BAGIAN VIII

Implementasi Tenaga Surya dalam Mobilitas Perahu

Desain Perahu dengan Tenaga Surya

Dalam Era kemajuan teknologi dan kesadaran lingkungan yang semakin tinggi, inovasi dalam transportasi menjadi sangat penting. Salah satu inovasi menarik yang muncul adalah desain perahu tenaga surya. Konsep ini tidak hanya menjanjikan solusi ramah lingkungan tetapi juga menawarkan cara baru yang efisien untuk berlayar di perairan. Dengan potensi besar untuk diterapkan dalam berbagai skala, dari perahu rekreasi hingga kapal komersial, desain perahu tenaga surya merupakan langkah maju menuju masa depan transportasi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Desain perahu tenaga surya adalah konsep inovatif yang menggabungkan teknologi panel surya dengan struktur dan mekanisme perahu. Perahu ini dilengkapi dengan panel surya yang dipasang pada bagian atas atau dek, yang berfungsi untuk menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Desain perahu tenaga surya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 45 Desain Perahu Tenaga Surya

Energi listrik yang dihasilkan kemudian digunakan untuk menggerakkan motor listrik yang mengoperasikan perahu. Desain ini memanfaatkan sumber energi terbarukan yang bersih dan ramah lingkungan, sehingga mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca (Sunaris, 2019).

Selain itu, desain perahu tenaga surya juga mempertimbangkan efisiensi dan keberlanjutan. Panel surya yang digunakan harus memiliki efisiensi tinggi untuk memastikan bahwa energi yang dihasilkan cukup untuk menggerakkan perahu, terutama pada hari-hari dengan sinar matahari yang kurang optimal.

Desain ini juga harus mempertimbangkan distribusi berat dan aerodinamika perahu untuk memastikan stabilitas dan kinerja optimal di air. Dengan teknologi yang terus berkembang, perahu tenaga surya menjadi solusi yang menjanjikan untuk transportasi air yang lebih bersih dan berkelanjutan, baik untuk rekreasi maupun kebutuhan komersial.

Desain perahu dengan tenaga surya menawarkan solusi inovatif dalam transportasi maritim yang tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga efisien dalam penggunaan energi. Dengan mengintegrasikan panel surya untuk menghasilkan energi listrik dan menggunakan motor listrik serta baterai lithium-ion untuk menggerakkan propeler, perahu ini mampu mengurangi emisi gas buang dan polusi suara di lingkungan

perairan. Teknologi ini tidak hanya memenuhi tuntutan untuk bergerak menuju keberlanjutan lingkungan, tetapi juga memberikan fleksibilitas operasional yang lebih besar dengan ketergantungan yang minimal pada sumber daya energi eksternal (Dewantara,

Dengan demikian, desain perahu bertenaga surya tidak hanya menghadirkan solusi modern untuk transportasi air yang bersih dan efisien, tetapi juga menjadi contoh nyata bagaimana teknologi dapat berperan dalam melindungi dan memelihara lingkungan laut untuk generasi yang akan datang.

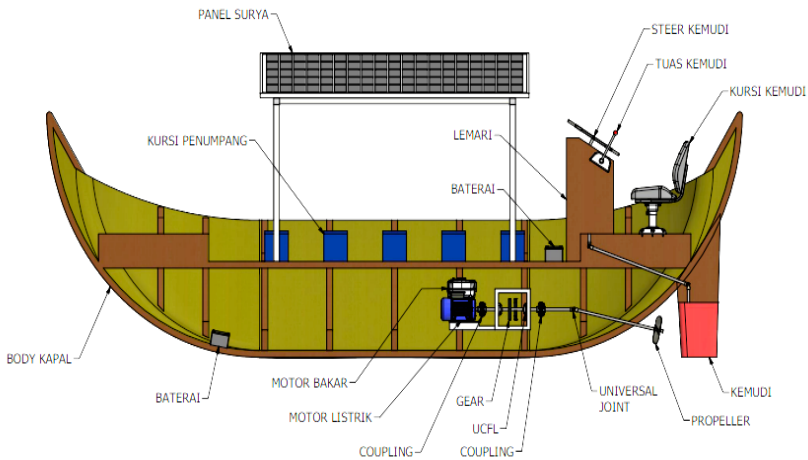
Rancangan Mesin pada Perahu Bertenaga Surya

Rancangan mesin pada perahu berteknologi surya merupakan inovasi yang menggabungkan teknologi energi terbarukan dengan kebutuhan efisiensi transportasi air. Mesin perahu ini dirancang untuk mengoptimalkan penggunaan energi matahari yang diubah menjadi energi listrik melalui panel surya. Komponen utamanya meliputi motor listrik yang dapat dikendalikan dengan presisi, baterai lithium-ion untuk penyimpanan energi, dan sistem propeler yang dirancang untuk memaksimalkan efisiensi dorongan di dalam air (Asri, 2022).

Keunggulan utamanya terletak pada kemampuannya untuk mengurangi dampak lingkungan dengan menghilangkan emisi gas buang dan mengurangi polusi suara, menjadikannya pilihan ramah lingkungan dalam navigasi perairan.

Selain itu, rancangan mesin perahu bertenaga surya juga menawarkan keandalan dan efisiensi operasional yang tinggi. Dengan menggunakan teknologi baterai canggih dan sistem manajemen energi yang efektif, perahu ini dapat mengoptimalkan penggunaan energi yang tersimpan dari panel surya. Hal ini memungkinkan perjalanan yang lebih jauh dan lebih lama tanpa bergantung pada infrastruktur pengisian energi eksternal, meningkatkan kemandirian dan keberlanjutan operasional perahu secara keseluruhan.

Dengan terus berkembangnya teknologi dan peningkatan efisiensi komponen mesin, rancangan mesin perahu bertenaga surya menunjukkan bagaimana inovasi dapat mengubah paradigma transportasi laut menuju solusi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Berikut ini gambar rancangan mesin perahu dengan menggunakan panel surya.

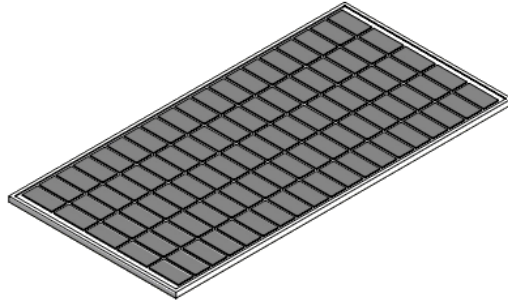


Gambar 46 Rancangan Mesin Perahu Tenaga Surya

Gambar di atas menunjukkan desain kapal hibrida yang menggabungkan sumber daya listrik dan bahan bakar untuk penggerak. Berikut adalah penjelasan terperinci dari setiap komponen yang terlihat pada gambar, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Panel Surya

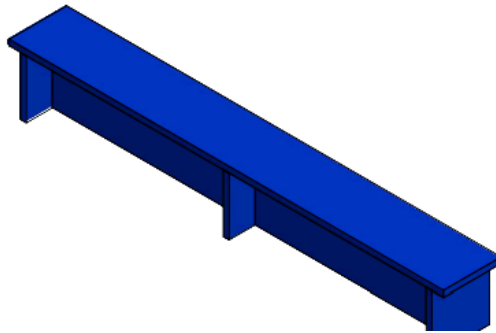
Terletak di atap kapal, panel surya berfungsi sebagai sumber energi terbarukan yang mengisi baterai kapal. Contoh panel surya dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 47 Bentuk Panel Surya

2. Kursi Penumpang

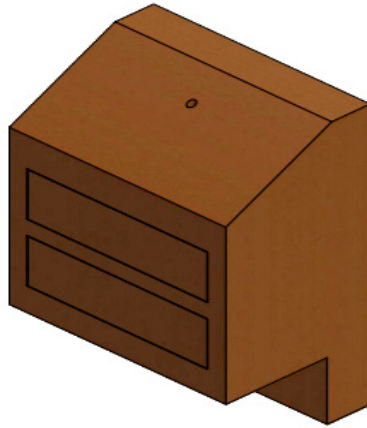
Tersedia di dalam kapal untuk kenyamanan penumpang selama perjalanan. Contoh kursi perahu penumpang dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 48 Bentuk Kursi Perahu Penumpang

3. Lemari

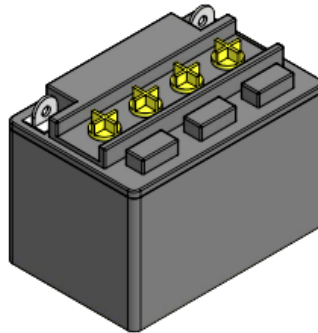
Fasilitas penyimpanan untuk barang-barang yang diperlukan selama perjalanan. Contoh Lemari perahu dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 49 Bentuk Lemari Penyimpanan

4. Baterai

Terdapat beberapa baterai di dalam kapal yang menyimpan energi dari panel surya dan sumber lainnya. Baterai ini menyediakan tenaga untuk menggerakkan motor listrik. . Contoh baterai dapat dilihat pada gambar berikut

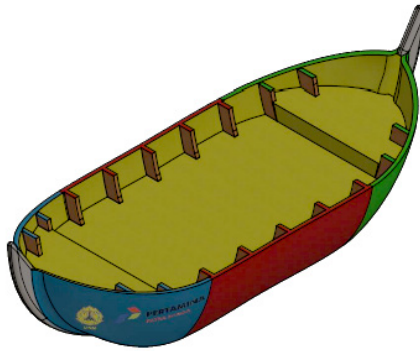


Gambar 50 Bentuk Baterai

5. Body Perahu

Struktur utama kapal yang menopang semua komponen. Terbuat dari bahan yang kuat dan tahan lama untuk memastikan keselamatan

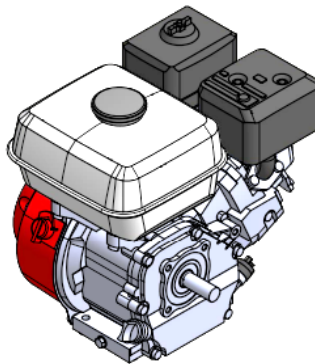
dan stabilitas kapal. Contoh body perahu dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 51 Bentuk Body Perahu

6. Motor Bakar

Motor yang menggunakan bahan bakar sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan kapal saat tenaga listrik tidak mencukupi. Motor ini berfungsi sebagai cadangan energi. Contoh motor bakar kapal dapat dilihat pada gambar berikut.

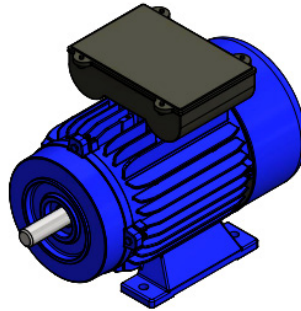


Gambar 52 Bentuk Motor Bakar

7. Motor Listrik

Motor yang menggunakan tenaga listrik dari baterai untuk menggerakkan kapal. Motor listrik ini lebih efisien dan ramah lingkungan

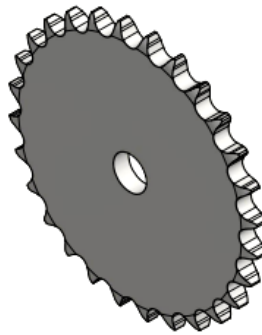
dibandingkan motor bakar. Contoh motor listrik pada desain perahu bertenaga surya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 53 Bentuk Motor Listrik

8. Gear

Komponen mekanis yang menghubungkan motor dengan propeller untuk mengubah kecepatan dan torsi sesuai kebutuhan. Gear memastikan bahwa tenaga dari motor ditransmisikan secara efektif ke propeller. Contoh gear pada desain perahu bertenaga surya dapat dilihat pada gambar berikut.

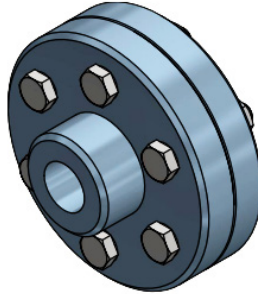


Gambar 54 Bentuk Gear Mesin Perahu

9. Coupling

Alat yang menghubungkan motor dan gear untuk transmisi tenaga. Coupling membantu dalam mengurangi getaran dan keausan pada

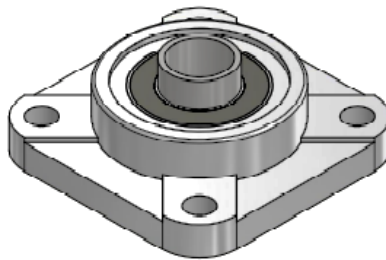
sistem penggerak. Contoh coupling pada desain perahu bertenaga surya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 55 Bentuk Coupling Mesin Perahu

10. UCFL

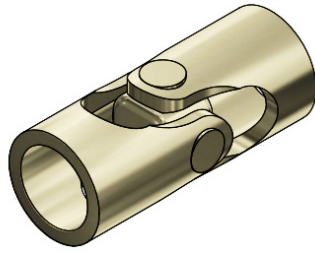
Unit bearing yang menopang poros penggerak untuk mengurangi gesekan dan keausan. UCFL memastikan bahwa poros berputar dengan lancar dan efisien. Contoh UCFL pada desain perahu bertenaga surya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 56 Bentuk UCFL Mesin Perahu

11. Universal Joint

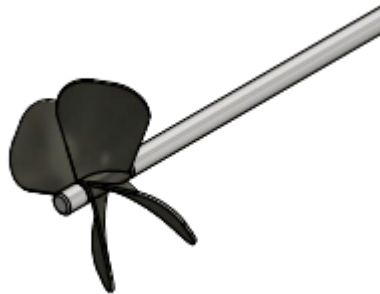
Komponen yang memungkinkan poros penggerak untuk berputar dengan sudut yang bervariasi, menyesuaikan dengan pergerakan kapal. Universal joint memberikan fleksibilitas pada sistem penggerak. Contoh universal joint pada desain perahu bertenaga surya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 57 Bentuk Universal Joint Mesin Perahu

12. Propeller

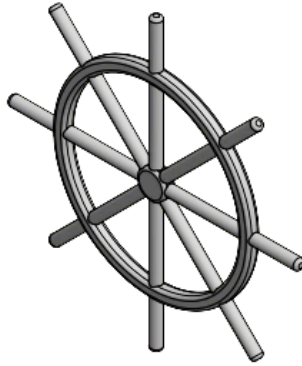
Baling-baling yang berada di bagian belakang kapal, berfungsi untuk mendorong kapal maju atau mundur. Propeller mengubah energi mekanis dari motor menjadi dorongan yang menggerakkan kapal. Contoh propeller pada desain perahu bertenaga surya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 58 Bentuk Propeller Mesin pada Perahu

13. Steer Kemudi

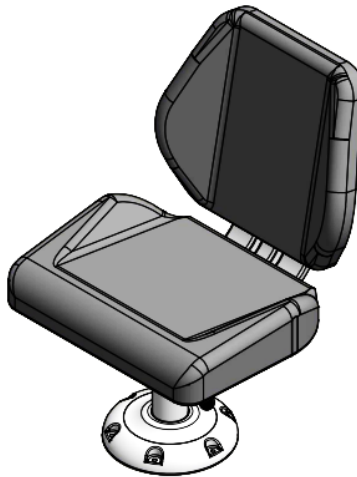
Sistem yang digunakan untuk mengarahkan kapal ke arah yang diinginkan. Kemudi terdiri dari beberapa bagian yang bekerja bersama untuk mengendalikan arah kapal. Contoh kemudi pada desain perahu bertenaga surya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 59 Bentuk Kemudi Mesin Perahu

14. Kursi Kemudi

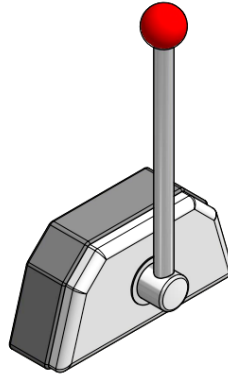
Tempat duduk untuk pengemudi kapal. Kursi ini dirancang untuk memberikan kenyamanan dan kontrol penuh kepada pengemudi. Contoh kursi kemudi pada desain perahu bertenaga surya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 60 Bentuk Kursi Kemudi Mesin Perahu

15. Tuas Kemudi

Alat yang digunakan oleh pengemudi untuk mengendalikan arah kapal. Tuas kemudi terhubung dengan sistem kemudi untuk memudahkan manuver kapal. Contoh tuas kemudi pada desain perahu bertenaga surya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 61 Bentuk Tuas Kemudi Mesin Perahu

Rancangan mesin perahu bertenaga surya menitikberatkan pada efisiensi energi dan kinerja optimal melalui penggunaan komponen-komponen seperti motor listrik, kontroler motor, baterai lithium-ion, dan propeler yang dirancang khusus. Motor listrik yang efisien mengubah energi dari panel surya menjadi energi mekanik dengan minimal kerugian, sementara kontroler memastikan kecepatan dan arah motor dapat diatur dengan optimal sesuai kebutuhan navigasi.

Baterai lithium-ion berfungsi sebagai penyimpan energi yang handal, memungkinkan perahu beroperasi lebih lama dengan energi yang dihasilkan dari sinar matahari. Desain propeler yang efisien memastikan transmisi daya yang optimal dari motor ke pergerakan perahu, sehingga dorongan yang dihasilkan cukup untuk navigasi yang efektif dan efisien.

Selain itu, dinding perahu yang terbuat dari bahan ringan dan kuat seperti fiberglass atau karbon fiber tidak hanya mengurangi bobot total perahu, tetapi juga meningkatkan efisiensi dan stabilitas. Integrasi panel surya pada dinding perahu memaksimalkan penangkapan sinar matahari,

menyediakan sumber energi bersih yang tidak menghasilkan emisi gas buang.

Desain aerodinamis dan hidrodinamis mengurangi resistensi udara dan air, sementara struktur yang kokoh menjamin keamanan dan kestabilan perahu di berbagai kondisi perairan. Dengan lebih sedikit bagian bergerak dan operasi yang tenang, motor listrik menawarkan perawatan minimal dan mengurangi polusi suara, menjadikan perahu bertenaga surya sebagai solusi yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis dibandingkan dengan perahu bermesin bahan bakar fosil.

Manfaat Tenaga Surya pada Perahu

Penggunaan tenaga surya pada perahu menawarkan berbagai manfaat yang signifikan, baik dari segi lingkungan maupun ekonomi. Pertama, tenaga surya merupakan sumber energi terbarukan yang tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca, sehingga penggunaannya pada perahu membantu mengurangi polusi udara dan dampak negatif terhadap perubahan iklim. Selain itu, tenaga surya adalah sumber energi yang melimpah dan gratis, yang dapat diakses di mana saja selama ada sinar matahari.

Pemanfaatan tenaga surya, biaya operasional perahu dapat dikurangi secara drastis karena tidak perlu mengeluarkan biaya untuk bahan bakar fosil yang terus meningkat. Perahu yang menggunakan tenaga surya biasanya dilengkapi dengan sistem otomatis yang memudahkan pengelolaan energi, seperti pengisian daya baterai secara otomatis selama perahu berada di bawah sinar matahari (Widayana, 2012).

Motor listrik yang digunakan pada perahu tenaga surya beroperasi dengan lebih tenang dibandingkan dengan motor berbahan bakar fosil, sehingga mengurangi polusi suara dan meningkatkan kenyamanan bagi penumpang serta mengurangi gangguan terhadap kehidupan laut. Dengan demikian, perahu tenaga surya tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga lebih efisien dan nyaman digunakan.

Penggunaan tenaga surya pada perahu menawarkan manfaat yang luar biasa, baik dari segi lingkungan maupun kepraktisan. Dari sisi

lingkungan, perahu bertenaga surya mengurangi emisi gas rumah kaca, membantu menjaga kualitas udara dan meminimalkan dampak negatif terhadap perubahan iklim. Terdapat dua nilai yang berpengaruh terhadap pemanfaatan tenaga surya pada perahu, diantaranya adalah sebagai berikut (Setiawan, 2019: 5).

1. Berpengaruh pada Nilai Ekonomi

Penggunaan tenaga surya pada perahu memiliki dampak ekonomi yang signifikan, terutama dalam pengurangan biaya operasional dan pemeliharaan. Tenaga surya merupakan sumber energi yang melimpah dan gratis, sehingga dengan memasang panel surya pada perahu, kebutuhan akan bahan bakar fosil yang mahal dapat dieliminasi.

Hal ini mengakibatkan penghematan biaya bahan bakar yang substansial, yang biasanya merupakan salah satu pengeluaran terbesar dalam operasional perahu. Selain itu, dengan memanfaatkan energi matahari, perahu dapat beroperasi lebih lama tanpa perlu berhenti untuk mengisi bahan bakar, meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan.

Motor listrik yang digunakan dalam perahu bertenaga surya juga memiliki lebih sedikit komponen bergerak dibandingkan dengan motor pembakaran internal. Akibatnya, perahu bertenaga surya memerlukan perawatan yang lebih sedikit dan lebih murah. Pengurangan biaya perawatan ini sangat menguntungkan bagi pemilik perahu, karena dapat menghemat waktu dan uang yang biasanya dihabiskan untuk perbaikan dan penggantian suku cadang.

Selain itu, investasi awal dalam teknologi tenaga surya dapat diimbangi oleh penghematan biaya jangka panjang, menjadikannya pilihan yang ekonomis. Dengan motor listrik yang lebih tenang dan minim polusi suara, perahu bertenaga surya tidak hanya efisien dari segi biaya, tetapi juga meningkatkan kenyamanan bagi penumpang dan mengurangi gangguan terhadap ekosistem laut.

2. Berpengaruh pada Nilai Ekologis

Penggunaan tenaga surya pada perahu memiliki dampak ekologis yang sangat positif karena mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi lainnya secara signifikan. Dengan mengandalkan energi matahari yang bersih dan terbarukan, perahu bertenaga surya tidak menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂), yang merupakan kontributor utama pemanasan global dan perubahan iklim.

Selain mengurangi CO₂, perahu konvensional sering memancarkan polutan seperti nitrogen oksida (NO_x) dan partikel halus (PM), yang dapat merusak kualitas udara dan mengganggu keseimbangan ekosistem. Beralih ke tenaga surya mengurangi secara signifikan risiko pencemaran udara, menjaga lingkungan udara dan perairan tetap bersih dan sehat.

Selain mengurangi polusi udara, perahu bertenaga surya juga tidak mencemari air. Mesin perahu berbahan bakar fosil sering kali menimbulkan risiko bocor atau kebocoran minyak dan bahan bakar ke dalam air, yang dapat merusak ekosistem air dan membahayakan kehidupan laut. Dengan tidak menggunakan bahan bakar fosil, perahu tenaga surya menghilangkan risiko pencemaran air ini, menjaga ekosistem perairan, termasuk flora dan fauna yang hidup di dalamnya, dari paparan bahan kimia berbahaya.

Penggunaan energi surya juga membantu mengurangi jejak karbon secara keseluruhan, berkontribusi pada upaya mitigasi perubahan iklim yang lebih luas. Pemanasan global telah menimbulkan dampak yang signifikan pada lautan, seperti peningkatan suhu air, pengasaman, dan perubahan arus laut, yang dapat mengganggu ekosistem laut yang rapuh. Dengan mengurangi emisi karbon, perahu bertenaga surya membantu melindungi ekosistem laut dari dampak negatif yang dapat mengancam keberlanjutan spesies dan kesehatan ekosistem secara keseluruhan.

Penggunaan tenaga surya pada perahu memberikan manfaat yang signifikan, baik dari segi lingkungan maupun ekonomi. Dari perspektif

lingkungan, perahu bertenaga surya membantu mengurangi emisi gas rumah kaca secara drastis, seperti karbon dioksida (CO₂), yang merupakan kontributor utama perubahan iklim global.

Dengan mengandalkan energi matahari yang bersih dan terbarukan, perahu ini tidak hanya meminimalkan polusi udara dengan mengurangi nitrogen oksida (NO_x) dan partikel halus (PM), tetapi juga menghindari pencemaran air dari limbah bahan bakar fosil. Selain itu, penggunaan tenaga surya juga membantu mengurangi gangguan akustik terhadap makhluk laut akibat kebisingan mesin, mempertahankan lingkungan perairan yang lebih tenang dan stabil bagi kehidupan laut.

Dari segi ekonomi, perahu bertenaga surya menawarkan manfaat jangka panjang dengan biaya operasional yang lebih rendah. Dengan tidak perlu mengeluarkan biaya untuk pembelian bahan bakar fosil secara terus-menerus, pemilik perahu dapat menghemat biaya operasional yang signifikan dalam jangka waktu panjang.

Selain itu, keandalan sumber energi yang berasal dari sinar matahari mengurangi ketergantungan pada pasokan energi yang tidak stabil dan mahal. Hal ini memberikan kepastian dalam perencanaan dan pengelolaan perahu, serta meningkatkan keberlanjutan finansial dalam industri transportasi maritim.

Dengan demikian, perahu bertenaga surya tidak hanya merupakan solusi yang ramah lingkungan, tetapi juga investasi cerdas yang mendukung pertumbuhan ekonomi berkelanjutan, melindungi lingkungan, dan meningkatkan kualitas hidup baik bagi manusia maupun makhluk hidup lainnya di bumi ini.



BAGIAN IX

Simpulan Kajian

Penggunaan panel surya sebagai sumber daya untuk perahu listrik menjanjikan solusi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, terutama di daerah terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik konvensional. Panel surya, seperti yang dijelaskan dalam penelitian ini, dipilih berdasarkan spesifikasi yang mengoptimalkan pengisian baterai.

Dengan menggunakan dua panel surya 36V 300 Wp yang dirangkai paralel dan terhubung ke Solar Charger Controller (SCC), sistem dapat menghasilkan daya yang cukup untuk mengisi dua baterai 12V 100Ah dalam waktu sekitar 20 jam. Namun demikian, untuk mencapai kinerja optimal, waktu pengisian ini harus dikurangi melalui peningkatan efisiensi panel surya atau sistem pengisian yang lebih canggih.

Pentingnya puncak intensitas cahaya antara pukul 11.00 hingga 13.00 menyoroti bahwa kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitarnya. Pola intensitas cahaya yang bervariasi sepanjang hari dan perubahan cuaca dapat mempengaruhi produksi energi. Oleh karena itu, dalam merancang sistem, perlu dipertimbangkan strategi untuk mengoptimalkan penggunaan energi selama periode ini, misalnya

dengan mempertimbangkan penempatan panel surya yang optimal atau menggunakan teknologi pelacak matahari.

Selain itu, kebutuhan daya perahu yang bervariasi dengan frekuensi operasi menunjukkan perlunya sistem yang fleksibel dan responsif. Dalam penelitian ini, frekuensi 30 Hz menjadi titik awal di mana perahu dapat bergerak dengan kecepatan 0.9 knot, meningkat hingga mencapai 4 knot pada frekuensi 45 Hz. Untuk mencapai kecepatan dan performa yang diinginkan, sistem harus mampu menyediakan daya yang cukup pada saat-saat ini, tanpa mengorbankan efisiensi energi secara keseluruhan.

Dalam menghadapi tantangan ini, optimalisasi sistem penggunaan listrik tenaga surya untuk mobilitas perahu mengharuskan pendekatan yang terintegrasi dan terperinci. Pemilihan teknologi yang tepat, manajemen daya yang efisien, dan strategi adaptif terhadap kondisi lingkungan yang dinamis. Dengan demikian, penggunaan energi surya tidak hanya dapat memenuhi kebutuhan daya perahu dengan lebih efektif, tetapi juga memberikan kontribusi yang lebih besar terhadap keberlanjutan lingkungan secara keseluruhan.



Daftar Pustaka

- Abuzairi, dkk. (2019). "Solar charge controller with maximum power point tracking for low-power solar applications. *International Journal of Photoenergy*, 2019(1), 5026464.
- Akbar, dkk. 2019. "Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Dengan Sumber Energi Terbarukan (Homer) Di Daerah Pesisir Pantai Pangandaran". *Journal of Energy and Electrical Engineering*, 1(1).
- Akhmad, K. 2005. "Pembangkit listrik tenaga surya dan penerapannya untuk daerah terpencil". *Dinamika Rekayasa*, 1(1), 29-33.
- Ambabunga, dkk. 2021. "Karakteristik Transformator 3 Fasa (Hubung Bintang Dan Delta) Pada Sistem Tenaga Listrik Ac: 3 Phasa Transformer Characteristics (Star and Delta Relationships) in Ac Power System". *Journal Dynamic Saint*, 6(1), 432843.
- Ardhi, F. Z. 2011. "Rancang Bangun Charge Controller Pembangkit Listrik Tenaga Surya". *Universitas Indonesia*, 5.
- Arindya, Radita. 2013. *Penggunaan dan Pengaturan Motor Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Pristiandaru, Danur Lambang. 2020. *Inspirasi Energi Panas Bumi*. Kompas Global.

- Arsa dan Wiratama. 2023. "Pengembangan Trainer Media Pembelajaran Sistem Pembangkit Tenaga Surya Pada Mata Kuliah Sistem Pembangkit Listrik di Prodi Pendidikan Teknik Elektro Undiksha". *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro Undiksha*, 12(1), 1-12.
- Asri, dkk. 2022. "Desain Hybrid Panel Surya dan Generator Set pada Kapal Ikan Pesisir Selatan Jawa". *Jurnal Inovtek Polbeng*, 12(1), 46-53.
- Astro, dkk. 2020. "Fisika Kontekstual Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro". *Orbita*, 6(1), 142-149.
- Bien, dkk. 2008. "Perancangan Sistem Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Jala-Jala". *Jetri*, Volume 8, Nomor 1, Agustus 2008, Halaman 37-56, ISSN 1412-0372
- Bramasto dan Khairiani. 2022. "Prediksi daya output sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menggunakan regresi linear berganda". *Faktor Exacta*, 15(2).
- David, Halliday and Robert Resnick. 1984. *Fisika Edisi ke 3, Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Dewantara. 2019. *Perancangan perahu nelayan ramah lingkungan menggunakan motor listrik bertenaga surya*. Cyclotron.
- Dilla, dkk. 2022. "Implementasi Solar Charge Controller Untuk Pengisian Baterai Dengan Menggunakan Sumber Energi Hybrid Pada Sepeda Motor Listrik". *Jurnal Edukasi Elektro*, 6(2), 128-135.
- Gunawan, dkk. 2018. "Studi Komparasi Kwh Meter pascabayar dengan Kwh Meter Prabayar tentang akurasi pengukuran terhadap tarif listrik yang bervariasi". *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 7(1), 158-168.
- Halim dan Sudjana. 2020. "Perancangan Dan Implementasi Awal Solar Inverter Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid". *Jurnal Teknologi*, 12(1), 31-38.
- Hani, S. 2015. "Pembangkit Listrik energi matahari sebagai penggerak pompa air dengan menggunakan solar cell". *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 157-163.

- Harahap. 2019. "Implementasi karakteristik arus dan tegangan plts terhadap peralatan trainer energi baru terbarukan". *In Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU (SEMNASTEK) (Vol. 2, No. 1, pp. 152-157).*
- Hardianto dan Rinaldi. 2012. "Perancangan prototype penjejak cahaya Matahari pada aplikasi pembangkit listrik Tenaga surya". *Foristek, 2(2).*
- Hasan, H. 2012. "Perancangan pembangkit listrik tenaga surya di pulau Saugi". *Jurnal riset dan teknologi kelautan, 10(2), 169-180.*
- Hasanah, dkk. 2018. "Kajian Kualitas Daya Listrik PLTS Sistem Off-Grid Di STT-PLN". *Energi dan Kelistrikan, 10(2), 93-101.*
- Hehanussa, dkk. 2023. "Pemanfaatan Geogle Earth Engine Untuk Identifikasi Perubahan Suhu Permukaan Daratan Kabupaten Buru Selatan Berbasis Cloud Computing". *Gudang Jurnal Multidisiplin Ilmu, 1(1), 37-45.*
- Iqtimal, dkk. 2018. "Aplikasi sistem tenaga surya sebagai sumber tenaga listrik pompa air". *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro, 3(1).*
- Islamy dan Sudrajad. 2014. "Studi Perencanaan Atap Panel Surya di Hotel The Royale Krakatau Cilegon". *Jurnal Energi dan Manufaktur Vol, 7(2), 119-224.*
- Juwito, dkk. 2012. "Optimalisasi energi terbarukan pada pembangkit tenaga listrik dalam menghadapi desa mandiri energi di Margajaya". *Semesta Teknika, 15(1).*
- Kirmani, Sheeraz. 2010. "Techno Economic Feasibility Analysis of a Stand Alone PV System to Electrify a Rural Area Household in India". *IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 2, No. 10.*
- Kumara, Ketut Vidhia. 2010. *Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap*. Bali: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana-Bali.
- Kumara. 2010. "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Tangga Urban dan Ketersediaanya di Indonesia". *Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana.*

- Kunaifi. 2010. "Program Homer Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida Di Propinsi Riau". *Seminar Nasional Informatika 2010 UPN*.
- Kurniawan, dkk. 2019. "Penyuluhan Penggunaan Listrik dari Sumber Energi Surya Di Pesantren Al Mukarramah Kabupaten Bandung". *Ethos: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 7(2), 355-61.
- Lestari, dkk. 2020. "Penerapan Teknologi Panel Surya Pada Bagan Tancap untuk Peningkatan Tangkapan Ikan Diteluk Jor, Kabupaten Lombok Timur". *Jurnal Abdi Insani*, 7(2), 104-112.
- Maghfiroh, J. 2017. "Pengaruh intensitas cahaya terhadap pertumbuhan tanaman". In *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Biologi Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta* (pp. 51-58).
- Marsudi. 2006. *Operasi sistem tenaga listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Meilani dan Wuryandani. 2010. "Potensi panas bumi sebagai energi alternatif pengganti bahan bakar fosil untuk pembangkit tenaga listrik di Indonesia". *Jurnal Ekonomi Dan Kebijakan Publik*, 1(1), 47-74.
- Musta dan Siswanti. 2019. "Perencanaan Propulsi Elektrik pada Kapal Nelayan". In *Seminar MASTER PPNS* (Vol. 4, No. 1, pp. 171-174).
- Mutiah, dkk. 2016. "Efek Media Demonstrasi Kimia yang Dimodifikasi Terhadap Pemahaman Mahasiswa pada Konsep Elektrokimia". *Jurnal Pijar Mipa*, 11(2).
- Pakpahan dan Agung. 2019. "Rancang Bangun Amf-Ats Berbasis Sim800l Dengan Fungsi Monitoring Status Switching Pada Genset". *Jurnal Teknik Elektro*, 8(1).
- Putra dan Rangkuti. 2016. "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Mandiri Untuk Rumah Tinggal". In *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan* (pp. 23-1).
- Ramadhan, dkk. 2016. Analisis desain sistem pembangkit listrik tenaga surya kapasitas 50 WP. *Jurnal Teknik*, 37(2), 59-63.

- Rasyid dan Murdiya. 2017. *Karakteristik Tegangan Tembus AC pada Material Isolasi Padat Campuran Resin dengan Alumina (Al₂O₃)*. Riau: Doctoral dissertation Riau University.
- Ridwan, dkk. 2021. "Pemanfaatan sinar matahari sebagai energi alternatif untuk kebutuhan energi listrik". In *SENKIM: Seminar Nasional Karya Ilmiah Multidisiplin* (Vol. 1, No. 1, pp. 168-176).
- Roal, M. 2015. "Peningkatan Efisiensi Energi Menggunakan Baterai Dengan Kendali Otomatis Penerangan Ruang Kelas Berbasis PLTS". *Jurnal Elkha*, 7(2).
- Samsurizal, dkk. 2021. *Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Jakarta Barat: Institut Teknologi PLN.
- Setyawan dan Ulinuha. 2022. "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid Untuk Supply Charge Station". *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 24(1), 23-28.
- Sianipar, R. 2014. "Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya". *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*.
- Silaban, dkk. 2021. "Perancangan PLTS Atap Pada Gedung Kantor Bupati Tapanuli Utara Dengan Arsitektur Rumah Adat Batak Toba". *Jurnal SPEKTRUM Vol*, 8(2).
- Sudiyono dan Antoko. 2008. "Perancangan dan Pembuatan Kapal Wisata dengan Motor Generator Listrik Tenaga Surya Sebagai Energi Alternatif Penggerak Propeler". *Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 52-62.
- Sugiarti, A. 2017. "Pengaruh Jenis Sesar Terhadap Distribusi Perubahan Tegangan Coulomb Statis Pada Kasus Gempa Bumi Dengan $M_w \geq 5,9$ Di Sumatera Selatan Periode 2012-2016". *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 6(2).
- Suhendar. 2022. *Dasar-Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Tangerang: Media Edukasi Indonesia.
- Sunaris dan Tallar. 2018. "Green Boat Konsep Pengembangan Energi Hijau Pada Desain Kapal Nelayan". *Prosiding SENIATI*, 4(1), 330-333.
- Suripto, Slamet. 2017. *Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: LP3M UMY

- Susanty. 2023. "Lampu Tenaga Surya untuk Masyarakat Sulit Listrik". *TERANG*, 5(2), 92-99.
- Syahwil dan Kadir. 2021. "Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off-grid Sebagai Alat Penunjang Praktikum Di Laboratorium". *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 3(1), 26-35.
- Tiyas dan Widyartono. 2020. "Pengaruh efek suhu terhadap kinerja panel surya". *Jurnal Teknik Elektro*, 9(1).
- Usman, M. K. 2020. "Analisis intensitas cahaya terhadap energi listrik yang dihasilkan panel surya". *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, 9(2), 52-57.
- Wahid, A. 2014. "Analisis kapasitas dan kebutuhan daya listrik untuk menghemat penggunaan energi listrik di fakultas teknik universitas tanjungpura". *Journal Of Electrical Engineering, Energy, And Information Technology (J3eit)*, 2(2).
- Wellid, dkk. 2019. "Kaji experimental perbandingan kinerja pengkondisi udara antara menggunakan inverter dan non-inverter". *EDUSAINTEK*, 3.
- Widayana, G. 2012. "Pemanfaatan energi surya". *Jurnal pendidikan teknologi dan kejuruan*, 9(1).
- Wiryadinata dan Munarto. 2013. "Studi Pemanfaatan Energi Matahari di Pulau Panjang Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif". *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 2(1), 6-15.
- Yuniarti, Phil Nurhening dan Ilham Wisnu Aji. 2019. *Pembangkit Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Pendidikan Teknik Elektro FT. UNY
- Yuwono, dkk. 2021. "Manfaat Pengadaan Panel Surya dengan Menggunakan Metode On Grid". *Energi dan Kelistrikan*, 13(2), 161-171.
- Rangkuti, Maksum. 2023. *Struktur Atom Pengertian, Jenis, dan Fungsinya*. Medan: Fakultas Teknik UMSU



Profil Penulis



Dr. Supari, S.T., M.T., lahir di Sragen pada 10 Januari 1969. Gelar S.T. dalam Teknik Elektro diperolehnya dari Universitas Diponegoro (UNDIP) pada tahun 1996, sementara gelar M.T. diraihinya dari Universitas Gadjah Mada (UGM) pada tahun 2001, diikuti oleh gelar Doktor dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2012.

Dr. Supari juga berpartisipasi dalam Short Term Exchange Program di Kumamoto University, Jepang, antara tahun 2009 hingga 2010. Sejak tahun 1996, Dr. Supari telah menjadi Dosen Tetap di Universitas Semarang (USM) dan aktif sebagai Tim Penilai Angka Kredit Jabatan Fungsional Akademik Dosen PTN dan PTS Wilayah VI Jawa Tengah.

Dr. Supari memiliki karir yang panjang dan bervariasi dalam bidang akademik dan profesional. Awal karirnya dimulai sebagai Kepala Laboratorium Instalasi Tenaga Listrik (1996-1999) dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro (1997-1999). Kemudian, beliau memimpin Laboratorium Mikroprosesor dan Mikro dari tahun 2003 hingga 2005. Dr. Supari juga pernah menjabat sebagai Sekretaris Fakultas Teknik (2004-2008), Ketua

Tim Monitoring dan Evaluasi Badan Penjaminan Mutu (BPM) (2005-2010), serta Wakil Rektor I Bidang Akademik (2012-2017).

Beranjak dari tahun 2020 hingga 2021, beliau menjabat sebagai Wakil Rektor III Bidang Kemahasiswaan dan Alumni sebelum akhirnya dipercaya sebagai Rektor Universitas Semarang sejak tahun 2021. Selain kegiatan akademiknya, Dr. Supari memiliki pengalaman yang signifikan sebagai Insinyur Perencana, Pelaksana, dan Pengawas dalam proyek-proyek Mekanikal, Elektrikal, dan Plumbing, serta sebagai Insinyur Listrik & Elektronik di industri tekstil multinasional pada periode 1997-1999.



Satria Pinandita ST, M.Eng lahir di Semarang pada 6 Januari 1991. Satria menempuh pendidikan S1 di Universitas Dian Nuswantoro (UDINUS) dan S2 di Universitas Gadjah Mada (UGM), serta sedang mengejar gelar S3 di Universitas Negeri Yogyakarta. Gelar S.T. dalam Teknik Elektro diraihnya pada tahun 2014, disertai dengan program pertukaran pelajar di University Teknik Malaysia Melaka (UTEM), dan gelar M.Eng. dalam “Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan” pada tahun 2016.

Sejak 2016 hingga, Satria menjadi dosen kontrak di Akademi Teknik Elektro Medik Semarang (ATEM), dan sejak 2017, Satria bekerja sebagai dosen tetap di Universitas Semarang (USM). Sebagai dosen, ia mengajar berbagai mata kuliah di program S1 Teknik Elektro USM, termasuk Material Teknik Listrik, Sistem Energi Baru dan Terbarukan, Dasar Teknik Tenaga Listrik, dan Dasar Konversi Energi Listrik.

Di luar akademik, sebagai konsultan bisnis engineering di PT. Tripower Solar Nusantara (TSN), ia bertanggung jawab atas proyek-proyek strategis terkait analisis teknis, pengembangan solusi energi terbarukan, dan implementasi teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk klien perusahaan. Pengalamannya ini memperkaya keahlian manajemen proyek, pemecahan masalah teknis, dan konsultasi bisnis dengan fokus pada keberlanjutan dan efisiensi energi.



Syndu Yoga Pratama, S.T., lahir di Kabupaten Semarang pada 11 Desember 2001, adalah seorang lulusan S1 Teknik Elektro dari Universitas Semarang (USM) yang menyelesaikan studinya pada tahun 2023. Selama masa kuliah, Syndu aktif dalam berbagai kegiatan akademik dan organisasi.

Setelah lulus, Syndu bergabung dengan PT Sinar Sosro Ungaran, tempat Syndu bekerja saat ini sebagai Operator Produksi dan Maintenance. Dalam peran ini, Syndu bertanggung jawab mengawasi proses produksi, memastikan semua peralatan berfungsi dengan baik, serta melakukan perawatan dan perbaikan jika diperlukan. Pengalaman di PT Sinar Sosro Ungaran memberinya kesempatan untuk menerapkan ilmu yang diperolehnya selama kuliah dan terus mengembangkan keterampilannya dalam lingkungan industri.

Dengan kombinasi latar belakang pendidikan yang kuat dan pengalaman profesional yang mendalam, Syndu Yoga Pratama berkomitmen untuk terus berkontribusi dalam bidang teknik elektro dan industri. Keahliannya dalam produksi dan maintenance menjadikannya aset berharga bagi PT Sinar Sosro Ungaran, sementara semangatnya untuk belajar dan berkembang memastikan bahwa ia akan terus mencapai prestasi yang lebih tinggi dalam kariernya.



Lantar Bara Abimanyu, S.T., lahir di Kendal pada 31 Juli 2001, adalah seorang profesional muda di bidang teknik elektro. Lantar menempuh pendidikan S1 Teknik Elektro di Universitas Semarang (USM) dan lulus pada tahun 2023. Lantar aktif mengikuti berbagai kegiatan akademik dan nonakademik.

Setelah menyelesaikan pendidikannya, Lantar segera bergabung dengan PT Forever One Internasional, Lantar bekerja sebagai teknisi. Dalam peran ini, Lantar bertanggung jawab memastikan bahwa semua sistem dan perangkat bekerja dengan optimal, serta melakukan perawatan dan perbaikan jika diperlukan. Pengalaman ini memberinya kesempatan

untuk mengaplikasikan ilmu yang telah diperolehnya dan terus berkembang dalam bidang yang ia tekuni.

Di luar pekerjaannya sebagai teknisi, Lantar juga seorang pengusaha. Lantar memiliki usaha bisnis kafe bernama Kafe Kampung Lawas di Boja. Kafe ini tidak hanya menjadi sumber penghasilan tambahan, tetapi juga wadah bagi Lantar untuk mengembangkan kreativitas dan keterampilan manajemen bisnis. Melalui kafe ini, Lantar berhasil menciptakan tempat berkumpul yang unik dan menarik bagi masyarakat setempat.

OPTIMALISASI LISTRIK

Tenaga Surya

— dalam —

Mobilitas Perahu

Metode dan Analisanya

Buku ini dirancang untuk memberikan panduan praktis yang mencakup berbagai metode inovatif dan analisis mendalam. Dari desain sistem hingga teknologi panel surya terbaru, Anda akan diperkenalkan pada strategi yang dapat meningkatkan performa perahu dengan meminimalkan jejak karbon.

Bukan hanya itu, buku ini juga menyoroti tantangan dan peluang yang muncul seiring dengan penerapan energi surya dalam sektor maritim. Melalui studi kasus dan contoh aplikatif, pembaca akan mendapatkan wawasan tentang bagaimana teknologi ini dapat mengubah paradigma transportasi perahu menuju keberlanjutan yang lebih baik.

Buku ini diharapkan tidak hanya memberi inspirasi bagi para ahli dan praktisi industri maritim, tetapi juga mendorong diskusi lebih lanjut mengenai penggunaan energi terbarukan sebagai solusi masa depan untuk mobilitas perahu yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Semoga buku ini menjadi panduan berharga bagi upaya kita bersama menciptakan masa depan yang lebih berkelanjutan melalui inovasi dan keberanian untuk

litnus. Penerbit



literasinusantaraofficial@gmail.com
www.penerbitlitnus.co.id
@litnuspenerbit
literasinusantara_
085755971589

Teknik

+17

ISBN 978-623-519-024-2



9 786235 190242