



MATAHARI SEBAGAI ENERGI MASA DEPAN

Panduan Lengkap Pembangkit Listrik
Tenaga Surya (**PLTS**)



Rosnita Rauf ■ Ritnawati ■ Fatmawaty Rachim
Ahmad Thamrin Dahri ■ Hanalde Andre
Richard A. M. Napitupulu ■ Erdawaty
Aminur ■ Dean Corio ■ Parulian Siagian

MATAHARI SEBAGAI ENERGI MASA DEPAN

Panduan Lengkap Pembangkit Listrik
Tenaga Surya **(PLTS)**



UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Tentang diperhaluskannya Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi

Pendataan Perihal Pasal 26

Kategori sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 adalah sebagai berikut:

- penggunaan layanan dengan Ciptaan elektronik melalui Hak Terkait untuk pengaman primaria aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- Penggunaan Ciptaan elektronik melalui Hak Terkait hanya untuk keperluan penelitian ilmu pengetahuan;
- Penggunaan Ciptaan elektronik melalui Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, keolah-olahajaan dan Program yang tidak dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; atau
- penggunaan untuk keperluan penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan yang menggunakan suatu Ciptaan elektronik melalui Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pidana Pasal 113

- Setiap Orang yang dengan sengaja hak ekonomi tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf c, dan/atau huruf h atau Penggunaan Swastika Komersial sebagaimana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun atau denda pidana paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah);
- Setiap Orang yang dengan sengaja hak ekonomi tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf c, dan/atau huruf g atau Penggunaan Swastika Komersial sebagaimana dengan pidana penjara paling lama 2 (dua) tahun atau denda pidana pidana paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah);

Matahari sebagai Energi Masa Depan

Panduan Lengkap Pembangkit Listrik

Tenaga Surya (PLTS)

Rosnita Rauf, Ritnawati, Fatmawaty Rachim
Ahmad Thamrin Dahri, Hanalde Andre
Richard A. M. Napitupulu, Erdawaty
Aminur, Dean Corio, Parulian Siagian



Penerbit Yayasan Kita Menulis

Matahari sebagai Energi Masa Depan

Panduan Lengkap Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2023

Penulis:

Rosnita Rauf, Ritnawati, Fatmawaty Rachim
Ahmad Thamrin Dahri, Hanalde Andre
Richard A. M. Napitupulu, Erdawaty
Aminur, Dean Corio, Parulian Siagian

Editor: Abdul Karim

Desain Sampul: Devy Dian Pratama, S.Kom.

Penerbit

Yayasan Kita Menulis

Web: kitamenulis.id

e-mail: press@kitamenulis.id

WA: 0821-6453-7176

IKAPI: 044/SUT/2021

Rosnita Rauf., dkk.

Matahari sebagai Energi Masa Depan: Panduan Lengkap Pembangkit Listrik
Tenaga Surya (PLTS)

Yayasan Kita Menulis, 2023

xiv, 162 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-113-032-7

Cetakan 1, Oktober 2023

- I. Matahari sebagai Energi Masa Depan: Panduan Lengkap
Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)
- II. Yayasan Kita Menulis

Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku tanpa
izin tertulis dari penerbit maupun penulis

Kata Pengantar

Dengan kerendahan hati, penulis mengucapkan syukur kepada Allah SWT karena atas hidayah, ridha serta segala limpahan rahmatNya penulis dapat menyelesaikan penyusunan buku ini. "Buku ini berjudul Matahari sebagai Energi Masa Depan: Panduan Lengkap Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)" dapat digunakan oleh pembaca khususnya dikalangan mahasiswa untuk pengembangan Pembangkit Energi Alternatif di Jurusan Teknik Elektro.

Terima kasih penulis ucapkan kepada rekan-rekan yang telah memberi dukungan dalam penyelesaian buku ini.

Penulis berharap buku ini akan bermanfaat bagi pembaca. Akhirnya, agar lebih sempurna dalam edisi mendatang, segala saran dan masukan dari pembaca sangat penulis harapkan.

Padang, 20 Oktober 2023

Penulis

Rosnita Rauf

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii

Bab 1 Pengenalan Energi Surya

1.1 Pendahuluan	1
1.2 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Surya	2
1.3 Penilaian Sumber Daya Photovoltaik	3
1.4 Sistem Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya	4
1.4.1 Waktu Puncak Matahari.....	5
1.4.2 Posisi Matahari.....	6
1.5 Sistem Pemasangan Panel Surya.....	7
1.5.1 Sistem On-Grid.....	7
1.5.2 Sistem Off-Grid	8
1.5.3 Sistem Hybrid	8
1.6 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Indonesia	11

Bab 2 Komponen Utama Sistem PLTS

2.1 Sistem PLTS	13
2.2 Jenis Dan Komponen Utama Sistem PLTS	15
2.2.1 Panel Surya PLTS.....	15
2.2.2 Rak Panel Surya.....	16
2.2.3 Solar Charge Controller	17
2.2.4 Inverter.....	18
2.2.5 Baterai.....	20
2.2.6 Panel Listrik	21
2.3 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	22

Bab 3 Desain Dan Perencanaan Sistem PLTS

3.1 Pendahuluan.....	27
3.2 Gambaran Umum PLTS	29
3.3 Komponen Utama PLTS	29
3.4 Modul Surya	30

3.5 Solar Charge Controller (SCC) Atau Battery Charge Controller (BCC)	32
3.6 Inverter	33
3.7 Baterai.....	35
3.8 Konfigurasi Sistem PLTS	39
3.9 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	43

Bab 4 Instalasi Dan Integrasi Sistem

4.1 Pendahuluan.....	47
4.1.1 Latar Belakang.....	47
4.2 Teori Dasar.....	48
4.2.1 Sistem Photovoltaic	48
4.2.2 Komponen Utama Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya	49
4.2.3 Sistem On Grid Dan Off Grid.....	52
4.2.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	52
4.2.5 Integrasi Solar Home System	55

Bab 5 Pemeliharaan Dan Monitoring PLTS

5.1 Pemeliharaan PLTS.....	60
5.1.1 Kinerja Sistem PLTS.....	61
5.1.2 Thermography And Electroluminescence	62
5.1.3 Debu.....	63
5.1.4 Risiko Operasional Dan Pemeliharaan	64
5.1.5 Identifikasi Kegagalan Sistem	65
5.2 Monitoring PLTS	67

Bab 6 Finansial Dan Aspek Ekonomi PLTS

6.1 Pendahuluan.....	71
6.1.1 Keuangan Berkelanjutan dan Pembiayaan Hijau.....	71
6.2 Regulasi.....	72
6.3 Aspek Finansial	76
6.4 Aspek Ekonomis.....	80
6.4.1 Gambaran Garis Besar Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	80

Bab 7 Teknologi PLTS Terbaru

7.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	87
7.2 Cara Kerja PLTS	92
7.3 Struktur Umum Sel Surya.....	93
7.3.1 Stc (Standar Tes Condition).....	94

7.3.2 Klasifikasi Sumber Listrik Tenaga Surya	95
---	----

Bab 8 PLTS Dalam Skala Komunitas Dan Industri

8.1 Pendahuluan.....	99
8.1.1 PLTS Di Rumah Tangga	102
8.1.2 PLTS Pada Gedung Komersial	102
8.1.3 PLTS Untuk Bisnis Dan Industri.....	103
8.1.4 PLTS Pada Pembangkit Listrik Besar.....	103
8.2 PLTS Dalam Skala Komunitas	104
8.2.1 Komunitas PLTS Di Indonesia.....	106
8.2.2 Lembaga Pengelola Komunitas.....	107
8.3 PLTS Dalam Skala Industri.....	108

Bab 9 Aspek Lingkungan Dan Keberlanjutan Energi Surya

9.1 Dampak Lingkungan Produksi Panel Surya.....	113
9.2 Pengelolaan Limbah Panel Surya.....	116
9.3 Kontribusi Terhadap Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca	117
9.4 Peran Energi Surya Dalam Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGS). 118	
9.5 Inovasi Dan Penelitian Untuk Keberlanjutan	120
9.6 Aspek Hukum Dan Kebijakan	122

Bab 10 Studi Kasus Pemanfaatan PLTS

10.1 Pendahuluan.....	125
10.1.1 Kontribusi Meteorologi Energi.....	125
10.2 Studi Kasus Deskripsi Model Pasar Spanyol	126
10.2.1 Model-Model Remunerasi	126
10.3 Perlunya Prakiraan Radiasi.....	128
10.3.1 Konsep Model.....	128
10.3.2 Data Masukanmodel Eurad	129
10.3.3 Prakiraan Penyinaran Ecmwf	130
10.4 Definisi Model Pembangkit Listrik Tenaga Panas Surya	133
10.4.1 Batasan	134
10.5 Studi Kasus: Pembangunan PLTS Pada Rumah Sakit.....	135
10.5.1 Analisis Teknik PLTS.....	138
10.5.2 Analisis Dan Kelayakan Bisnis (Beberapa Program Bisnis)	139
10.6 Program Swot	140
10.6.1 Strength	141
10.6.2 Weakness.....	141
10.6.3 Opportunity	142

10.6.4 Threats	142
Daftar Pustaka	143
Biodata Penulis	157

Daftar Gambar

Gambar 1.1:	Matahari.....	2
Gambar 1.2:	Kurva Radiasi Matahari Selama Siang Hari.....	5
Gambar 1.3:	Posisi Sudut Matahari.....	6
Gambar 1.4:	PLTS Grid Connection.....	8
Gambar 1.5:	PLTS Off Grid	8
Gambar 1.6:	PLTS Hybrid.....	9
Gambar 1.7:	Keunggulan Sistem Tenaga Surya: Ramah Lingkungan, Stabil, dan Hemat	10
Gambar 1.8:	Pembangkit Energi Terbarukan Terpasang di Indonesia tahun 2023	11
Gambar 2.1:	Ilustrasi Proses Terjadinya Listrik Pada Sel Surya	22
Gambar 2.2:	Typical “Bathtub curve” of PLTS module failure	24
Gambar 3.1:	Sel Surya.....	30
Gambar 3.2:	Monocrystalline, Polycrystalline, a-Si-H.....	31
Gambar 3.3:	Diagram Dasar PLTS Off Grid	40
Gambar 3.4:	Skema Dasar PLTS On Grid	41
Gambar 3.5:	Skema Dasar PLTS Hibrid	42
Gambar 3.6:	PLTS Roof-Mounted atau PLTS Rooftop	44
Gambar 3.7:	PLTS Ground-Mounted	45
Gambar 3.8:	PLTS Floating solar system	45
Gambar 4.1:	Cara Kerja Fotovoltaik	53
Gambar 4.2:	Cara Kerja Fotovoltaik	54
Gambar 4.3:	Skema Diagram Satu Garis Integrasi Solar Home System Dengan Jaringan Listrik PLN Menggunakan Relay Dan Kontaktor Magnet Untuk Beban AC	55
Gambar 4.4:	Rangkaian Pengendali Integrasi Solar Home System Dengan Jaringan Listrik PLN	56
Gambar 4.5:	Bentuk Fisik Rangkaian Pengendali	58
Gambar 5.1:	Diagram Pemeliharaan PLTS	60
Gambar 5.2:	Arsitektur Sistem Monitoring Panel Surya	67

Gambar 6.1:	Rata-Rata Jangka Panjang Intensitas Cahaya Matahari di Indonesia	76
Gambar 6.2:	Gambar Rangkuman Komponen dan Aspek Keuangan Proyek Energi Terbarukan	77
Gambar 6.3:	Potovoltaik dan Solar Water Heater	80
Gambar 6.4:	Residential Grid-tied solar PV System Diagram	81
Gambar 6.5:	Sistem Fotovoltaik	81
Gambar 6.6:	Proses Pengembangan Proyek Energi Terbarukan	83
Gambar 6.7:	Aspek Penting Dalam Analisis Pembiayaan PLTS	85
Gambar 7.1:	Sistem Instalasi Dengan Sistem Surya.....	93
Gambar 7.2:	Susunan lapisan solar cell secara umum	94
Gambar 7.3:	PLTS Roof-Mounted atau PLTS Rooftop	95
Gambar 7.4:	PLTS Ground-Mounted	96
Gambar 7.5:	Skema Konfigurasi PLTS Off – Grid	98
Gambar 8.1:	Blok Diagram Sistem PLTS	102
Gambar 9.1:	Distribusi Potensi Matahari	112
Gambar 9.2:	Kapasitas Energi Terbarukan di 2022	113
Gambar. 10.1:	Konfigurasi Skematik dari Proyek Andosol-1	133
Gambar 10.2:	Pengukuran DNI di Darat Pada Hari Cerah.....	134
Gambar 10.3:	Sistem PLTS Off-Grid	137
Gambar 10.4:	Design dan Cara Kerja PLTS Pada Rumah Subsidi	137

Daftar Tabel

Tabel 6.1: Potensi energi Listrik Energi Terbarukan di Indonesia.....	74
Tabel 6.2: Tarif Pembelian Listrik dari PLTS FV	74
Tabel 6.3: Cash flow schedule Ilustrasi Rincian Biaya Untuk Sebuah Proyek PLTS dengan kapasitas 1 MW dan sekitar 5 MW	79
Tabel 8.1: Jenis-Jenis PLTS (ES, 2018).....	101

Bab 1

Pengenalan Energi Surya

1.1 Pendahuluan

Dalam menjalankan aktivitas sehari-hari di lingkungan domestik dan profesional, kebutuhan akan pasokan listrik yang stabil dan kuat menjadi hal yang krusial. Saat ini, Indonesia, seperti banyak negara lain, tergantung pada pembangkit listrik berbahan bakar batu bara sebagai sumber energi utamanya. Sayangnya, pendekatan ini menghasilkan emisi karbon yang signifikan, yang telah diketahui sebagai salah satu kontributor utama terhadap perubahan iklim dan pemanasan global. Dengan urgensi untuk mengurangi jejak karbon, penting untuk mengeksplorasi sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan, Karasoy, A. 2022).

Energi matahari, Gambar 1.1, merupakan salah satu sumber energi alternatif yang menjanjikan. Akan tetapi, pemanfaatan energi matahari untuk kebutuhan listrik tidak sesederhana mengambil cahaya matahari secara langsung. Dibutuhkan teknologi khusus berupa panel surya untuk mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik. Proses konversi ini, walaupun revolusioner, memiliki beberapa tantangan tersendiri. Efisiensi konversi panel surya dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Salah satu faktor kritis adalah orientasi panel surya terhadap matahari, yang cenderung berfluktuasi sepanjang hari. Variasi ini dapat memengaruhi kapasitas panel dalam mengkonversi energi matahari

dengan optimal menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan, (Corio, D., Ramadian, A., Sahlendar Asthan, R., & Maria Ulfah, M. 2020).



Gambar 1.1: Matahari

1.2 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik berbasis energi matahari mengkonversi energi matahari menjadi listrik. Proses konversi ini dapat dilakukan melalui dua mekanisme: secara langsung melalui sel fotovoltaik dan secara tidak langsung melalui teknologi pemusatan energi surya.

Sel fotovoltaik mengkonversi energi cahaya langsung ke listrik dengan memanfaatkan efek fotoelektrik.

1. Teknologi Pemusatan Energi Surya:

Teknologi Pemusatan Energi Surya (Concentrated Solar Power, CSP) mengintegrasikan lensa atau cermin dengan sistem pelacak untuk mengkonsentrasikan energi matahari dari suatu wilayah ke satu titik tertentu. Panas yang dihasilkan kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan generator konvensional. Beberapa teknologi utama dalam CSP antara lain cermin parabolik, lensa reflektor Fresnel, dan menara surya. Fluida yang dipanaskan oleh teknologi ini bisa digunakan untuk mengaktifkan generator, seperti turbin uap

konvensional atau mesin Stirling, atau sebagai media penyimpanan panas, (Chen, G., & Ren, Z. 2015).

2. Fotovoltaik:

Sel surya, sering juga disebut sebagai solar cell atau fotovoltaik, adalah teknologi yang sedang aktif dikembangkan oleh pemerintah Indonesia. Mengingat posisi geografisnya, Indonesia memiliki potensi energi matahari yang signifikan. Berdasarkan data radiasi matahari dari 18 titik di Indonesia, penyinaran matahari di Kawasan Barat Indonesia rata-rata 4,5 kWh/m²/hari dengan fluktuasi bulanan sekitar 10%. Di Kawasan Timur Indonesia, radiasi matahari rata-rata 5,1 kWh/m²/hari dengan fluktuasi bulanan sekitar 9%. Dengan data tersebut, penyinaran matahari untuk seluruh Indonesia adalah sekitar 4,8 kWh/m²/hari dengan fluktuasi bulanan sekitar 9%. Matahari memancarkan energi ke permukaan bumi dengan intensitas yang besar. Saat cuaca cerah, sekitar 1000 watt energi matahari diterima setiap meter persegi permukaan bumi. Hanya sekitar 30% dari energi ini yang dipantulkan kembali ke angkasa. Sisanya dikonversi menjadi panas, digunakan untuk berbagai proses alami di bumi, atau disimpan melalui proses fotosintesis oleh tumbuhan yang kemudian berkontribusi pada formasi bahan bakar fosil seperti batubara dan minyak bumi, (Sianturi, Y. 2021)

1.3 Penilaian Sumber Daya Photovoltaik

Radiasi matahari menjadi sumber utama bagi sel surya. Salah satu tujuan dari analisis sumber energi di suatu tempat adalah untuk menilai pasokan energi potensial yang dapat diterima oleh sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terpusat yang diusulkan. Efektivitas dalam mengukur, mengkonversi, dan memproyeksikan keluaran selama dua dekade sangat bergantung pada ketepatan data dan metode pemodelan.

Ada dua metode verifikasi data: melalui pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer dihimpun melalui pengukuran langsung radiasi

matahari di lokasi yang diusulkan untuk PLTS, paling tidak selama satu tahun (waktu dan durasi pengukuran primer harus disebutkan dalam dokumen proposal atau studi kelayakan). Sementara itu, data sekunder berasal dari lembaga atau badan berwenang yang menyediakan data radiasi. Jika data radiasi dari BMKG tidak ada, alternatif lainnya adalah menggunakan data satelit yang dikeluarkan oleh lembaga seperti NASA, NREL, atau Solargis.

Beberapa platform yang dapat dijadikan rujukan untuk data pemodelan antara lain:

1. NASA-Langley Distributed Archive. Masukkan koordinat lokasi PLTS untuk mendapatkan informasi mengenai iradiasi harian rata-rata tahunan untuk Global Horizontal Irradiance (GHI). (<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>)
2. Solargis (<http://globalsolaratlas.info>)
3. Laboratorium Energi Terbarukan Nasional (NREL) dari Departemen Energi AS.
4. Platform komersial, seperti RETSCREEN, yang bersifat sumber terbuka (open source).

Secara umum, penggunaan data sekunder dari lembaga-lembaga tersebut dianggap cukup reliabel mengingat mereka memproses data jangka panjang. Adapun kinerja PLTS dapat bervariasi sepanjang hari dan tahun berdasarkan posisi matahari. Faktor lingkungan seperti awan, kelembaban atmosfer, dan temperatur lokal memengaruhi kinerja PLTS. Meskipun proses tersebut kompleks dan tak satupun model dapat memprediksi dengan sempurna kinerja dalam jangka pendek (jam/hari/minggu), data rata-rata bulanan dan tahunan dikenal memiliki tingkat ketepatan yang baik, (Sianturi, Y. 2021).

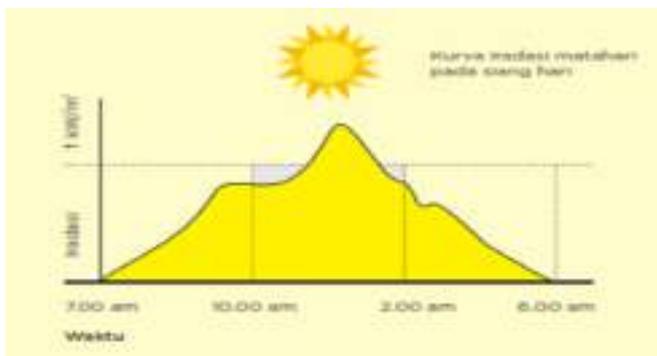
1.4 Sistem Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Cahaya merupakan salah satu bentuk energi yang dipancarkan oleh matahari. Adalah hal yang diketahui luas bahwa tanpa radiasi matahari, kita tidak mampu melihat. Cahaya matahari memfasilitasi kegiatan sehari-hari kita,

menunjukkan pemanfaatan langsung dari radiasi yang berasal dari matahari. Menariknya, energi cahaya ini dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui modul fotovoltaik, dikenal juga sebagai modul PV atau panel surya. Proses alami semacam ini juga diamati dalam fotosintesis, di mana dedaunan hijau pada tanaman mengubah sinar matahari menjadi energi yang esensial bagi pertumbuhannya. Ketika kita mengonsumsi tanaman tersebut, kita mendapatkan energi untuk tubuh kita.

1.4.1 Waktu Puncak Matahari

Iradiasi harian dikenal sebagai waktu puncak matahari. Jumlah waktu puncak matahari mengacu pada durasi ketika energi pada tingkat 1 kW/m^2 memberikan energi setara dengan total energi sepanjang hari tersebut, diperlihatkan pada Gambar 1.2. Waktu Puncak Matahari (Peak Sun Hours (PSH)) penting dalam pengukuran akurat sistem tenaga surya.



Gambar 1.2: Kurva Radiasi Matahari Selama Siang Hari (Bernd Melchior, Bluenergy AG)

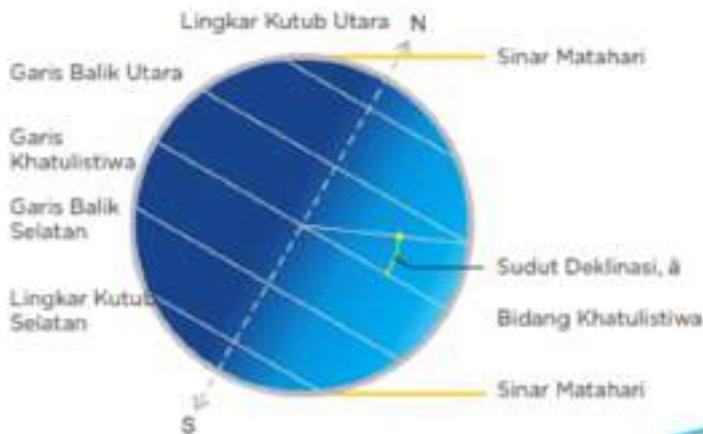
Kecepatan di mana radiasi matahari mencapai permukaan bumi dikenal sebagai "solar irradiance" atau "insolation". Insolation adalah indikator dari energi radiasi matahari yang diterima pada area tertentu di permukaan bumi dalam jangka waktu tertentu. Unit pengukuran untuk irradiance adalah watt per meter persegi (W/m^2). Nilai irradiance matahari maksimal digunakan dalam desain sistem untuk menentukan puncak input energi. Apabila sistem mencakup penyimpanan, penting untuk memahami variasi irradiance selama periode tertentu untuk mengoptimalkan desain sistem. Selain itu, perlu diketahui berapa banyak energi matahari yang tertangkap oleh modul selama periode tertentu, seperti hari, minggu, atau tahun. Ini dikenal sebagai radiasi

matahari atau irradiation. Unit pengukuran radiasi matahari adalah joule per meter persegi (J/m^2) atau watt-jam per meter persegi (Wh/m^2).

1.4.2 Posisi Matahari

Posisi matahari dapat ditentukan melalui dua sudut utama:

1. Sudut Elevasi Matahari ($\hat{\alpha}$) merujuk pada sudut antara sinar matahari dan bidang horizontal.
2. Sudut Azimuth Matahari ($\hat{\beta}$) adalah sudut antara proyeksi sinar matahari pada bidang horizontal dan arah utara (di belahan bumi selatan) atau selatan (di belahan bumi utara).



Gambar 1.3: Posisi Sudut Matahari

Berikut adalah beberapa terminologi terkait dengan posisi matahari, diperlihatkan pada Gambar 1.3. yaitu:

1. Sudut Datang: Sudut antara permukaan dan matahari. Energi maksimum dicapai saat sudut datang 90 derajat.
2. Sudut Elevasi: Merujuk pada sudut antara sinar matahari dan permukaan horizontal bumi. Sudut ini berfluktuasi sepanjang tahun sesuai dengan gerakan matahari di antara kedua tropis (Capricorn dan Cancer).

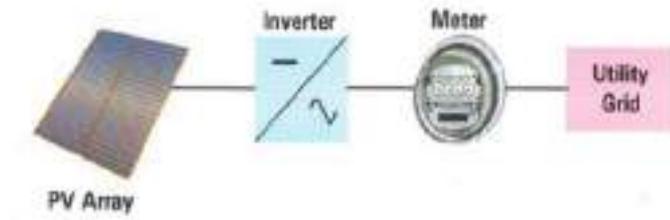
3. Sudut Lintang: Sudut antara garis dari suatu titik di permukaan bumi ke pusat bumi. Ekuator ditetapkan sebagai 0 derajat lintang (0° L). Terdapat Tropik Kanker ($23,45^\circ$ L Utara) dan Tropik Kaprikornus ($23,45^\circ$ L Selatan), yang menunjukkan kemiringan maksimal matahari dari kutub ke kutub.
4. Sudut Azimuth Matahari: Sudut antara proyeksi sinar matahari pada bidang horizontal terhadap utara atau selatan.
5. Sudut Jam: Merupakan jarak antara garis bujur pengamat dengan garis bujur matahari. Pada tengah hari, sudut jam adalah nol, dan bertambah 15 derajat setiap jamnya.

1.5 Sistem Pemasangan Panel Surya

Dalam bidang teknologi tenaga surya, ada tiga varian sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang paling umum dikenal, yakni: PLTS off-grid, PLTS on-grid, dan PLTS Hybrid yang terintegrasi dengan teknologi lain. Klasifikasi ini didasarkan pada mekanisme penyimpanan energi dan ketersediaan infrastruktur jaringan distribusi.

1.5.1 Sistem On-Grid

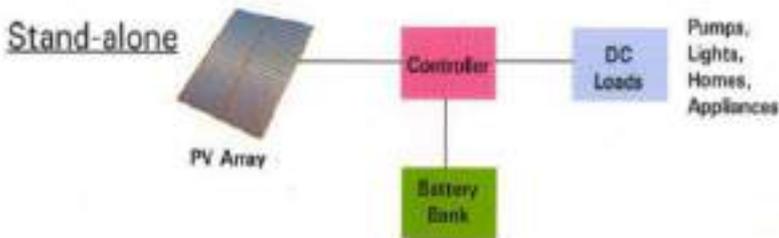
Sistem On-Grid memanfaatkan panel surya untuk memproduksi listrik dengan sifat yang ramah lingkungan, bebas emisi, dan efisien dari segi biaya. Sistem ini diintegrasikan dengan jaringan PLN, diperlihatkan pada Gambar 1.4. Manfaat dari pemanfaatan sinar matahari yang ditransformasikan oleh panel surya ini adalah untuk mengoptimalkan produksi energi listrik. Kelebihan energi dari panel surya, jika melebihi kebutuhan konsumsi, akan dialirkan kembali ke jaringan PLN. Namun, ketika ada pemadaman dari pihak PLN, sistem ini tidak dapat berfungsi sebagai sumber energi cadangan karena absennya baterai dan ketergantungan langsung pada jaringan PLN.



Gambar 1.4: PLTS Grid Connection

1.5.2 Sistem Off-Grid

Disebut juga sebagai Sistem PV Mandiri, sistem Off-Grid mengambil energi semata-mata dari matahari melalui modul fotovoltaik. Berkebalikan dengan Sistem On-Grid, Off-Grid tidak memerlukan konektivitas dengan jaringan PLN karena menyimpan energi yang diproduksi di dalam baterai, diperlihatkan pada Gambar 1.5. Ini memungkinkan sistem ini beroperasi tanpa terganggu saat terjadi pemadaman dari PLN. Kestabilan pasokan listrik dari sistem ini menjadikannya pilihan untuk industri dan wilayah yang belum terjangkau oleh PLN.

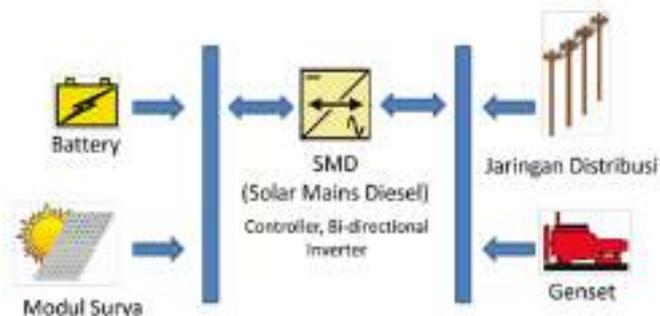


Gambar 1.5: PLTS Off Grid

1.5.3 Sistem Hybrid

Sistem Hybrid mengintegrasikan dua atau lebih jenis pembangkit listrik dengan sumber energi beragam untuk mendapatkan efisiensi dan keandalan yang lebih baik. Tujuannya adalah untuk memanfaatkan kelebihan masing-masing sumber energi guna meningkatkan keandalan dan efisiensi ekonomi. Contoh kombinasi dalam Sistem Hybrid meliputi PLTS-Genset, PLTS-Mikrohydro, dan PLTS-Tenaga Angin, diperlihatkan pada Gambar 1.6. Di

Indonesia, banyak aplikasi yang memadukan beberapa teknologi pembangkit tersebut, dengan PLTS-Genset menjadi yang paling dominan, terutama pada genset standalone yang tidak terinterkoneksi.



Gambar 1.6: PLTS Hybrid

Dalam konteks Indonesia, aspek-aspek positif dari sistem tenaga surya tipe Off Grid belum sepenuhnya disadari. Berbagai kelebihan sistem ini terhadap tenaga listrik konvensional meliputi:

1. Energi Terbarukan dari Matahari

Matahari diproyeksikan sebagai sumber energi bersih masa depan. Keuntungannya terletak pada ketersediaannya yang tak terbatas, berbeda dengan bahan bakar fosil yang berisiko habis. Mengingat Indonesia memiliki iklim tropis dengan intensitas sinar matahari yang tinggi, energi surya menjadi alternatif yang relevan, khususnya di wilayah-wilayah yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik konvensional.

2. Berdampak Positif bagi Lingkungan

Panel surya memiliki operasional yang bebas emisi karbon, sehingga ramah lingkungan. Sebagai ilustrasi, sebuah sistem tenaga surya dengan kapasitas 15.000 Watt-peak dapat menekan emisi gas CO₂ hingga 18 ton setiap tahunnya. Lebih lanjut, operasional sistem ini tidak menyebabkan gangguan visual atau polusi suara.

3. Ekonomis dan Efisien

Umumnya, masyarakat menganggap bahwa penerapan teknologi tenaga surya membutuhkan investasi besar. Namun, dengan

mempertimbangkan bahwa sinar matahari dapat diperoleh tanpa biaya, investasi utama hanya berfokus pada instalasi awal. Sebagai contoh, dengan investasi sebesar 150 juta rupiah, individu dapat meraih pengembalian investasi dalam rentang waktu 5 hingga 8 tahun. Selain itu, instalasi panel surya relatif sederhana, hanya memerlukan sekitar satu minggu, dan fleksibel untuk dipasang di berbagai lokasi.

4. Keandalan Energi

Dengan ketersediaan sinar matahari yang konsisten, tenaga surya menjadi sumber energi yang handal. Hal ini sangat penting, khususnya untuk keperluan industri yang membutuhkan pasokan listrik yang stabil.



Gambar 1.7: Keunggulan Sistem Tenaga Surya: Ramah Lingkungan, Stabil, dan Hemat (Sumber: curbed.com)

Optimalisasi sistem tenaga surya dapat dilihat sebagai bentuk investasi jangka panjang. Efisiensi biaya dimulai sejak instalasi pertama kali dilakukan. Dalam periode tertentu, pengguna akan mendapatkan pengembalian investasi. Dengan posisi geografis yang berada di garis khatulistiwa, Indonesia memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi surya. Kini adalah waktu yang tepat untuk memanfaatkan energi surya sebagai sumber listrik, demi keuntungan finansial, keberlanjutan lingkungan, dan masa depan generasi berikutnya.

1.6 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Indonesia

Berdasarkan informasi yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (EBTKE) di bawah naungan Kementerian ESDM, tahun 2022 menyaksikan realisasi kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebesar 271,6 megawatt (MW). Angka ini menunjukkan ketertinggalan signifikan dibandingkan target yang ditetapkan pada 893,3 MW. Selama tahun tersebut, terjadi peningkatan sebesar 66,9 MW dari total 204,7 MW pada 2021. Sebagai bagian dari visi jangka panjang, Kementerian ESDM telah menetapkan ambisi untuk mencapai kapasitas terpasang PLTS atap sebesar 3.600 MW pada 2025, diperlihatkan pada Gambar 1.7.(PERDANA, 2023)

Dalam era modern yang semakin mengedepankan keberlanjutan, PLTS diakui sebagai alternatif energi yang sustainable dan ramah lingkungan. Sistem ini memaksimalkan pemanfaatan radiasi matahari sebagai sumber energi. Dengan mempertimbangkan potensi energi surya di Indonesia yang melimpah, implementasi PLTS dinilai sebagai salah satu pendekatan yang efektif dalam memanfaatkan sumber energi terbarukan.



Gambar 1.8: Pembangkit energi Terbarukan Terpasang di Indonesia tahun 2023

Terkait regulasi, saat ini, Kementerian ESDM tengah mempertimbangkan revisi terhadap Peraturan Menteri ESDM Nomor 26 Tahun 2021. Fokus revisi

terutama tertuju pada PLTS Atap yang Terintegrasi dengan Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum (IUPTLU). Langkah ini diambil sebagai bagian dari upaya percepatan penerapan PLTS atap dan sekaligus untuk memberikan peluang lebih besar kepada masyarakat untuk melakukan instalasi sistem tersebut.

Di tengah tantangan yang dihadapi dalam mencapai target kapasitas terpasang, Indonesia memiliki keunggulan geografis yang mendukung pengembangan energi surya. Berada di khatulistiwa, Indonesia mendapatkan intensitas sinar matahari yang konsisten sepanjang tahun, memberikan potensi optimal untuk pemanfaatan energi matahari. Namun, realisasi potensi ini memerlukan upaya terkoordinasi dan dukungan penuh dari berbagai pemangku kepentingan. Beberapa hambatan utama yang dihadapi dalam pengembangan PLTS di Indonesia termasuk kurangnya kesadaran masyarakat tentang manfaat jangka panjang dari investasi dalam teknologi ini, biaya awal yang relatif tinggi, serta keterbatasan infrastruktur dan teknologi. Oleh karena itu, perlu adanya kerjasama antara pemerintah, industri, dan masyarakat dalam mengatasi hambatan tersebut.

Untuk mengatasi masalah biaya awal, pemerintah bisa memberikan insentif fiskal atau subsidi bagi individu dan bisnis yang ingin berinvestasi dalam PLTS. Selain itu, kampanye edukasi publik dapat dilakukan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang manfaat jangka panjang dari energi surya, tidak hanya dari segi ekonomi tetapi juga kontribusi terhadap upaya mitigasi perubahan iklim. Dalam konteks regulasi, revisi Peraturan Menteri ESDM adalah langkah positif untuk mempermudah masyarakat dan pelaku usaha dalam adopsi teknologi PLTS. Namun, revisi ini perlu diimbangi dengan peningkatan kapasitas infrastruktur, terutama dalam hal jaringan listrik dan fasilitas penyimpanan energi, agar energi surya yang dihasilkan dapat dimanfaatkan dengan efisien.

Selain itu, kerjasama dengan lembaga penelitian dan perguruan tinggi juga sangat penting untuk mendorong inovasi dalam teknologi PLTS. Penelitian terkini dapat membantu menemukan solusi untuk meningkatkan efisiensi panel surya, mengurangi biaya produksi, dan mengembangkan metode penyimpanan energi yang lebih baik. Dengan pendekatan terpadu dan dukungan dari semua sektor, Indonesia dapat memanfaatkan potensi energi surya yang luar biasa dan berkontribusi signifikan dalam transisi energi global menuju sumber yang lebih berkelanjutan.

Bab 2

Komponen Utama Sistem PLTS

2.1 Sistem PLTS

Matahari adalah sumber energi ekologis dan terbarukan. Jumlah radiasi matahari yang dihasilkan matahari sangat besar, sehingga menjadikan PLTS sebagai sumber energi alternatif terbarukan yang sangat menjanjikan. Namun, sebagai pembangkit listrik yang bersih dan terbarukan, jumlah listrik yang dihasilkan PLTS melimpah pada siang hari ketika beban listrik yang dibutuhkan tidak terlalu besar. PLTS menggunakan teknologi fotovoltaik pada sel surya untuk mengubah radiasi dan suhu matahari menjadi arus listrik. Namun energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS memerlukan sistem kendali dan power inverter. energi surya untuk dapat menghasilkan listrik yang dapat digunakan pada sel surya. sistem yang ada. beban listrik (Arus Bolak-balik - Beban AC). Inverter surya merupakan salah satu komponen utama sistem PLTS sehingga dapat menghasilkan energi yang dapat dikonsumsi oleh beban yang ada. Peran inverter surya adalah mengubah energi listrik DC intermiten dari PLTS menjadi listrik AC untuk menggerakkan beban. Hal ini menjadikan inverter surya beserta sistem kendali untuk menghasilkan arus bolak-balik yang diinginkan menjadi elemen penting dalam sistem PLTS.

Teknologi fotovoltaik terus berkembang sangat pesat dalam beberapa tahun terakhir karena potensi energi surya yang tersedia dan sifatnya yang ramah lingkungan. Selain pertimbangan harga, salah satu parameter penting teknologi

fotovoltaik adalah efisiensi. Efisiensi modul surya terus meningkat, yang tentunya berdampak pada peningkatan efisiensi modul surya. Kinerja eksternal modul fotovoltaik surya dipengaruhi oleh banyak faktor: beberapa masalah kinerja terkait dengan modul itu sendiri, dan masalah lainnya terkait dengan lokasi dan lingkungan. Beberapa faktor kunci tersebut adalah degradasi material, radiasi matahari, suhu modul, ketahanan parasit, faktor pengisian, naungan, kotoran, PID, sudut kemiringan dan lain-lain.

Kinerja dan keandalan modul PLTS berperan penting dalam meningkatkan umur modul PLTS, serta jangka waktu investasi yang merupakan indikator penurunan langsung biaya listrik atau energy cost (LCOE) setiap instalasi PLTS. Namun, masih belum ada pemahaman menyeluruh mengenai dampak degradasi terhadap kinerja modul PLTS, dan diperlukan upaya yang signifikan untuk mencapai dan memastikan masa pakai modul PLTS minimal 25 tahun dengan kinerja tinggi dan handal di segala kondisi iklim. . . Secara khusus, kondisi iklim berperan penting dalam menentukan tingkat degradasi dan penyebab utama kegagalan modul PLTS. Oleh karena itu, umpan balik terhadap instalasi tenaga surya di berbagai wilayah dan iklim diperlukan dalam hal degradasi, yang tidak dapat memperkaya database global mengenai kinerja dan keandalan sistem tenaga surya (Belhaouas et al., 2022), (Atsu et al., 2020).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu sumber energi baru terbarukan yang sedang dikembangkan di Indonesia. PLTS banyak dipasang di industri maupun di rumah tangga. Alasan pemasangan PLTS di industri dan rumah tangga adalah untuk mengurangi tagihan listrik PLN dan juga untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu, PLTS juga dipasang di daerah terpencil atau daerah yang tidak ada aliran listrik PLN. PLTS merupakan salah satu pilihan utama untuk mempercepat transisi energi di Indonesia. karena PLTS mempunyai potensi pengembangan yang sangat besar. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2019, potensi PLTS di Indonesia sebesar 207,8 Giga Watt dan hanya menggunakan sekitar 80,23 Mwp.

Berdasarkan sistemnya, PLTS dibagi menjadi 3 bagian, yaitu PLTS on-grid, PLTS off-grid, dan PLTS hybrid. PLTS yang terhubung ke jaringan adalah PLTS yang dipasang pada rumah-rumah yang dialiri jaringan listrik PLN. Sedangkan PLTS off-grid merupakan sistem PLTS yang berdiri sendiri (stand-alone), menggunakan baterai untuk menyimpan energi listrik pada siang hari. PLTS Hibrid merupakan PLTS yang menggabungkan dua sumber energi listrik, misalnya penggabungan PLTS dan PLTA. PLTS off-grid memiliki

komponen yang lebih banyak dibandingkan PLTS terkoneksi jaringan, salah satu yang membedakan adalah baterai. PLTS off-grid menggunakan baterai, sedangkan PLTS yang terhubung ke jaringan tidak menggunakan baterai.

2.2 Jenis Dan Komponen Utama Sistem PLTS

Sistem PLTS diklasifikasikan ke dalam kelompok yang berbeda, berdasarkan desain, efisiensi pasokan dan utilitas serta metode yang digunakan sistem untuk menghubungkan dan berkomunikasi dengan beban listrik lainnya. Kita dapat membedakan antara sistem jaringan dan sistem otonom. Sistem fotovoltaik surya yang terhubung ke jaringan mengirimkan energi listrik ke jaringan bersama dengan energi standar. Sistem yang terhubung ke jaringan menghasilkan listrik yang diatur tanpa menggunakan baterai (Ihaddadene et al., 2022).

2.2.1 Panel surya PLTS

PLTS mempunyai banyak komponen dan masing-masing komponen mempunyai fungsinya masing-masing. Panel surya merupakan salah satu komponen penting PLTS. Panel surya merupakan perangkat yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip pengoperasian efek fotovoltaik (PV).

Biasanya, panel surya dibuat dari bahan kristal dan film tipis. Tipe kristal meliputi 2 tipe, yaitu tipe kristal tunggal dan tipe polikristalin. Sedangkan film tipis meliputi beberapa jenis, yaitu silikon amorf, telurida kadmium, dan fotovoltaik organik. Pangsa pasar yang besar dan teknologi silikon kristalin membuat teknologi ini masih sangat menarik untuk dikembangkan.

Prinsip pengoperasian sel surya adalah sebagai berikut:

1. Ketika sinar matahari mengenai permukaan sel surya, maka akan timbul medan listrik.
2. Cahaya mencapai persimpangan antara tipe P dan tipe N menciptakan elektron bebas.

3. Tenaga kuda. Elektron akan melewati medan listrik yang dihasilkan jika energinya cukup sehingga bebas bergerak melalui silikon dan masuk ke rangkaian luar.

Teknologi fotovoltaik terdapat tiga generasi, yaitu (Mussard dan Amara, 2018):

1. Generasi pertama: Gallium arsenide (GaAs) dan silikon kristal (cSi) seperti silikon polikristalin (multi -Si) dan silikon kristal tunggal (mono-Si);
2. Generasi kedua (lapisan tipis): silikon amorf (a-Si), CdTe atau tembaga, indium dan galium (di)selenida (CIS/CIGS);
3. Generasi ketiga: peka terhadap pewarna, organik dan multi fungsi.

Pangsa pasar yang signifikan dan teknologi silikon kristalin membuat teknologi ini masih sangat menarik untuk dikembangkan. Di Indonesia, banyak industri atau rumah tangga yang menggunakan panel surya monokristalin dan polikristalin. Perbedaan paling menonjol antara kedua jenis modul surya ini adalah jumlah silikon dan warnanya. tipe Mono crystalline mempunyai silikon tunggal dengan warna hitam, pasangan tipe polycrystalline mempunyai silikon campuran dan berwarna biru.

Panel surya adalah komponen yang paling terlihat dari PLTS sehingga paling mudah dikenali dari semua komponen PLTS lainnya. Selanjutnya, sinar matahari merangsang elektron untuk bergerak melalui sel-sel surya yang terpasang di panel surya. Sinar matahari merupakan sumber energi listrik, bukan panas dari matahari seperti yang dianggap sebagian besar masyarakat. Faktanya, panel yang terlalu panas mungkin memiliki kinerja yang kurang efisien. Oleh karena itu, apapun merek panel surya yang Anda pilih, harus mampu bertahan di iklim tropis Indonesia dan memiliki umur minimal 25 tahun. Semakin lama panel surya digunakan, semakin besar manfaatnya.

2.2.2 Rak Panel Surya

Komponen utama kedua dari energi surya adalah rak panel surya. Rak ini berguna untuk menempelkan panel surya ke atap dengan aman seperti pada gambar di bawah. Selain untuk atap, rak juga dapat dibuat menyesuaikan kebutuhan tempat pemasangan misalnya untuk tanah seperti pada gambar di atas. Setiap penyedia perangkat tenaga surya tentu akan menggunakan

peralatan rak berkualitas. Selain memilih merek, Anda juga perlu memikirkan apakah sebaiknya menyewa jasa pemasangan profesional atau memilih memasang sendiri, dengan segala risikonya.

Pemasangan peralatan tenaga surya harus dilakukan dengan hati-hati dan aman agar komponen yang dipasang tidak merusak bagian rumah atau membahayakan keselamatan penghuninya. Hindari pemasangan yang asal-asalan, karena tenaga surya dipasang dalam jangka waktu yang lama.

Pemasangan panel surya merupakan bagian integral dari sistem PLTS. Ada banyak variasi pemasangan yang tersedia di pasaran, baik untuk pemasangan panel surya di atap maupun di tanah yaitu ground. Sedangkan solar rack merupakan komponen yang digunakan sebagai rangka pemasangan panel surya. Braket surya berfungsi untuk memperbaiki panel surya agar tetap pada tempatnya. Rak surya disebut juga rak panel surya. Rak diperlukan untuk mengatur kemiringan panel surya berdasarkan garis lintang, musim, atau waktu. Menyesuaikan kemiringan penting saat memasang panel surya. Memang kemiringan lereng sangat memengaruhi produksi energi matahari yang diserap atau ditangkap modul. Ada tiga komponen penting pada solar rack, yaitu braket atap, penjepit modul, dan rel pemasangan. Pengencang Atap merupakan klip yang akan dibor pada atap untuk mengamankan sistem pemasangan agar tetap kokoh dan mampu menopang bobot panel PV. Sedangkan modul klem adalah klem yang digunakan untuk memasang sekrup atap yang dibor pada rel pemasangan atau rel pemasangan. Rel pemasangan merupakan bagian panjang yang digunakan untuk meletakkan panel surya. Rak surya ini berfungsi sebagai penopang dan melindungi panel surya atau grounding atap. Rak tenaga surya dan instalasi tenaga surya biasanya menyumbang sekitar 10% dari total biaya pemasangan panel surya.

2.2.3 Solar Charge Controller

Solar charge controller adalah perangkat elektronik yang mengatur arus baterai. Pengontrol muatan surya ini juga berfungsi untuk menghindari pengisian daya baterai yang terisi penuh secara berlebihan. Dengan adanya solar charge controller diharapkan dapat memperpanjang umur baterai yang digunakan. Selain itu, solar charge controller juga mengukur dan memantau tegangan, arus, dan energi yang dikumpulkan oleh modul surya dan mengirimkannya ke baterai.

Saat memilih pengontrol muatan surya, juga harus memperhatikan spesifikasi yang ideal. Spesifikasi yang idealnya adalah input arus dan tegangan maksimum *Solar Charge Controller* harus lebih tinggi dari arus dan tegangan maksimum modul suryanya yang terhubung pada kondisi apapun.

Solar charge controller atau dikenal SCC adalah perangkat elektronik yang dipakai untuk mengoptimalkan pengisian baterai dan mengontrol muatan energi. SCC dipasang diantara panel surya dan bank baterai untuk mencegah pengisian baterai yang berlebihan dengan membatasi jumlah dan tingkat pengisian baterai. SCC juga dapat mencegah baterai terkuras habis untuk menjaga kesehatan dan masa pakai baterai.

Ada dua jenis SCC, yaitu SCC PWM dan SCC MPPT. PLC menggunakan teknologi yang lebih maju dan lebih murah namun kurang efisien dibandingkan jenis MPPT. Kedua jenis SCC ini telah banyak digunakan untuk menjaga dan menjaga umur baterai PLTS. Untuk memilih SCC, perlu menyesuaikannya dengan kapasitas sistem PLTS yang dibangun.

Fungsi utama dari Solar Charge Controller (SCC) adalah untuk mengontrol proses pengisian baterai dengan cara mengontrol arus yang dihasilkan oleh panel surya untuk digunakan sebagai sumber energi listrik untuk kebutuhan pengisian baterai, sehingga baterai tidak mengalami kelebihan beban. kondisi. Hal ini dapat mengurangi masa pakai baterai. Keadaan baterai yang terisi penuh dapat diketahui melalui alat ukur, apabila pembacaan tegangan alat ukur baterai telah mencapai tingkat tegangan yang ditentukan untuk kapasitas baterai yang digunakan. Konsep SCC dirancang untuk membaca tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya dan menampilkannya melalui layar LCD. Tegangan yang dipancarkan dari SCC sangat dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari yang diterima panel surya, yang kemudian menjadi masukan untuk proses pengisian SCC pada baterai.

2.2.4 Inverter

Inverter adalah komponen elektronika yang mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik. Sebelum listrik digunakan untuk menyalakan perangkat elektronik di rumah, arusnya diubah terlebih dahulu menggunakan inverter ini. Selain itu, inverter juga melindungi baterai dari pengisian daya berlebih yang dapat menyebabkan berkurangnya arus pengisian saat baterai sudah penuh.

Selain komponen utama di atas, terdapat juga komponen pendukung sistem PLTS off-grid. Komponen pendukungnya antara lain, combiner box, kabel,

panel distribusi DC dan AC, genset, penangkal petir, grounding box dan komponen lainnya. Inverter merupakan unit tenaga surya yang mengubah arus searah yang dihasilkan panel surya menjadi arus bolak-balik 240V. Arus bolak-balik ini dapat digunakan untuk menyalakan televisi, lemari es, dan mesin cuci di rumah. Inverter termasuk perangkat bertenaga surya yang beroperasi terus menerus selama energi matahari digunakan untuk menyediakan listrik ke rumah. Inverter merupakan salah satu komponen yang paling banyak mengalami kerusakan, jadi perhatikan kualitas inverter yang dipilih. Perhatikan juga jumlah tahun garansi yang ditawarkan dan pastikan inverter yang digunakan dirancang khusus untuk tenaga surya.

Inverter surya yang akan dikerahkan memiliki fungsi khusus yaitu mengkonversi perubahan tegangan DC akibat produksi pembangkit listrik tenaga surya yang terputus-putus. Untuk dapat dengan mudah mentenagai beban yang ada (biasanya beban AC), diperlukan perangkat inverter surya khusus yang dapat mengubah tegangan DC yang berbeda menjadi tegangan AC yang diatur.

Inverter dirancang khusus untuk digunakan pada pembangkit listrik tenaga surya *off-grid* dan akan memiliki fitur berikut:

1. Keluaran gelombang sinus murni Inverter akan menghasilkan tegangan keluaran gelombang sinusoidal murni. Hal ini dilakukan agar keluaran inverter tidak merusak peralatan yang cukup sensitif terhadap bentuk gelombang tegangannya (misalnya motor listrik)
2. Penyesuaian Input Hal ini dilakukan untuk memperoleh tegangan AC 220 V pada sisi keluaran terlepas dari beban inverter dan terlepas dari tegangan masukan yang dihasilkan.

Komponen utama inverter adalah Boost Converter dan H-Bridge. Boost converter merupakan suatu alat elektronik yang mengubah tegangan DC 12 volt menjadi tegangan DC yang lebih tinggi yaitu (sekitar 310 volt). Sedangkan H-bridge mempunyai efek membuat tegangan DC bergantian. Puncak dari desain tersebut terletak pada Boost Converter. Boost converter dikontrol sedemikian rupa sehingga yang dihasilkan adalah tegangan DC yang setinggi gelombang sinus) dan bukan AC. Oleh karena itu, jembatan H di sini hanya berperan mengubah tegangan gunung menjadi arus bolak-balik. Komponen utama inverter adalah Boost Converter dan H-Bridge. Boost converter merupakan suatu alat elektronik yang mengubah tegangan DC

sebesar 12, Volt menjadi tegangan DC yang lebih tinggi yaitu (sekitar 310 Volt). Sedangkan jembatan H mempunyai efek tegangan bolak-balik DC. Desain modern dari terletak pada Boost Converter. Konverter Boost dikontrol sedemikian rupa sehingga yang dihasilkan adalah tegangan DC yang bergunung-gunung (seperti gelombang sinus) dan bukan AC. Oleh karena itu, jembatan H disini hanya berperan pada jembatan dengan mengubah potensi gunung menjadi arus bolak-balik.

2.2.5 Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen terpenting dalam PLTS off-grid. Karena PLTS off-grid ini tidak terhubung dengan PLN, maka baterainya akan digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan modul surya pada siang hari. Baterai yang biasa digunakan dalam sistem fotovoltaik surya off-grid adalah baterai timbal-asam. Baterai asam timbal banyak digunakan karena tahan lama, mudah digunakan, lebih aman, dan relatif lebih murah dibandingkan baterai jenis lainnya.

Pemilihan spesifikasi baterai biasanya ditentukan oleh voltase dan kapasitas pengenalan. Tegangan nominal pada dasarnya adalah tegangan titik tengah baterai atau tegangan yang diukur ketika baterai dalam keadaan terisi 50%. Kapasitas adalah besarnya arus yang mampu disediakan oleh baterai dalam waktu tertentu (Ah). Kapasitas terukur biasanya diukur menggunakan baterai selama 10 jam dengan konsumsi arus 1/10 dari kapasitas baterai.

Baterai merupakan komponen energi surya yang digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan pada siang hari sehingga dapat digunakan sepanjang malam saat sistem tidak lagi menghasilkan listrik. Teknologi baterai berkembang pesat dengan lebih banyak pilihan kapasitas penyimpanan dan daya tahan.

Sebenarnya baterai yang paling mudah ditemui dan ada disekitar adalah aki basah dan aki kering untuk kendaraan seperti motor dan mobil. Tapi tentu saja ketika digunakan untuk kebutuhan tenaga surya butuh aki dengan kapasitas yang lebih besar dan akan lebih baik lagi kalau aki yang dipakai memang diperuntukan untuk kebutuhan PLTS.

Terdapat berbagai jenis baterai, antara lain:

1. **Baterai utama**

Baterai ini hanya dapat digunakan satu kali. Oleh karena itu kami tidak dapat mengisinya kembali. Jadi gunakan sekali dan buang.

2. **Baterai sekunder**

Berbeda dengan baterai primer, baterai sekunder tentu saja bukan baterai sekali pakai. Baterai jenis ini sering banyak digunakan pada sistem baterai tenaga surya, ada dua jenis baterai sekunder: baterai timbal-asam dan lithium-ion. Baterai lead acid merupakan salah satu jenis baterai yang bisa disebut dengan Accu. Bahan baterai sekunder adalah timbal. Kelebihan baterai jenis ini adalah harganya yang terjangkau, namun kekurangannya adalah tidak tahan lama, sedangkan lain halnya jika menggunakan baterai lithium-ion. Baterai jenis ini cukup umum digunakan pada produk elektronik. Sistem kerjanya sangat kompak dan baterainya ringan.

2.2.6 Panel Listrik

Electrical Switchboard atau panel listrik adalah komponen PLTS yang berfungsi untuk mengatur distribusi arus listrik dari sumber energi ke peralatan elektronik dan menjadi komponen pengaman tambahan. Dalam sistem on-grid, listrik AC dari inverter dikirim ke switchboard sebelum dikirim ke berbagai sirkuit dan peralatan di rumah. Kabinet listrik memiliki 2 tipe yaitu kabinet listrik dan kabinet distribusi. Kabinet listrik merupakan suatu alat yang mempunyai fungsi menyalurkan tenaga listrik dari stasiun trafo ke kabinet distribusi. Sedangkan power distribution cabinet merupakan alat yang digunakan untuk menyalurkan listrik dari panel listrik ke perangkat elektronik di rumah atau kantor. Kabinet distribusi juga dapat mengirimkan kelebihan listrik yang dihasilkan ke jaringan melalui meteran atau menyimpannya dalam sistem penyimpanan baterai jika menggunakan sistem hybrid.

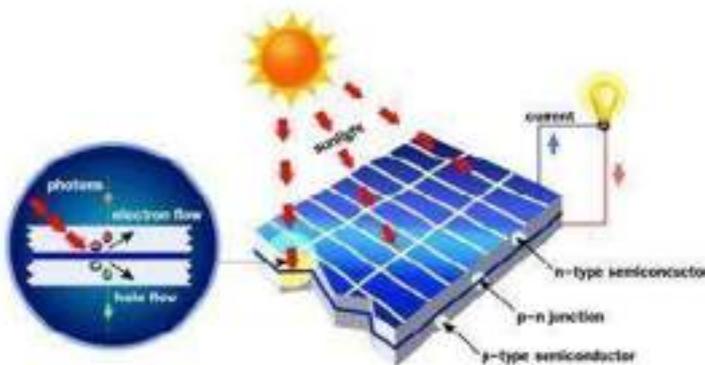
Pada sistem hybrid, PLTS dapat mengeksport kelebihan listrik dan menyimpan kelebihan energi pada baterai. Beberapa inverter hibrida juga dihubungkan ke rangkaian ini untuk redundansi, sehingga daya dapat dialihkan ke baterai ketika panel surya tidak beroperasi atau jika terjadi kegagalan jaringan PLN. Ini hanya komponen utama saja, belum termasuk komponen pendukung yang

lebih kecil seperti kabel, terminal, saklar, dll. Semoga di lain waktu saya bisa menulis lebih detail tentang komponen tersebut termasuk bautnya.

2.3 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Saat sinar matahari menyinari panel surya, elektron dari pita valensi akan melompat ke pita konduksi. Jika sel surya dihubungkan dengan rangkaian luar maka akan terjadi pergerakan elektron. Arus yang dihasilkan pada sel surya adalah arus searah (Nurosyid et al., n.d.).

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) biasanya dapat beroperasi apabila menerima cahaya foton dari matahari dan cahaya foton tersebut diterima oleh sel surya di mana sel surya tersebut dapat mengubah energi foton tersebut menjadi energi listrik. Proses pengubahan atau pengubahan sinar matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan penyusun sel surya fotovoltaik bersifat semikonduktor. Sel surya terdiri dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan listrik berbeda. Lapisan atas sel surya bermuatan negatif (n) sedangkan lapisan bawah bermuatan positif (p) (Natsir, n.d.).



Gambar 2.1: Ilustrasi Proses Terjadinya Listrik pada Sel Surya (Natsir, n.d.)

Silikon adalah bahan semikonduktor yang paling umum digunakan untuk sel surya. Ketika permukaan sel surya terkena cahaya, pasangan elektron dan lubang tercipta. Elektron akan meninggalkan sel surya dan mengalir ke sirkuit

luar sehingga menimbulkan arus listrik. Arus yang dihasilkan sel surya dapat digunakan langsung atau disimpan dalam baterai untuk digunakan nanti (Natsir, n.d.).

Besar kecilnya pasangan lubang elektron yang tercipta atau besarnya arus yang dihasilkan bergantung pada intensitas cahaya dan panjang gelombang cahaya yang mengenai sel surya. Intensitas cahaya menentukan jumlah foton, semakin besar intensitas cahaya yang mengenai permukaan sel surya, maka semakin banyak foton yang dikandungnya, sehingga menimbulkan lebih banyak pasangan elektron dan hole sehingga menghasilkan arus yang lebih besar. Semakin pendek panjang gelombang cahaya, maka energi fotonnya semakin tinggi, sehingga energi elektron yang dihasilkan semakin besar, yang berarti pula arus yang mengalir semakin besar (Natsir, n.d.).

Rasio kinerja (PR) merupakan cara menghitung efisiensi aktual suatu sistem PLTS. Ini mewakili rugi-rugi daya seperti rugi-rugi suhu, rugi-rugi inverter, rugi-rugi kabel, fouling, ghosting, rugi-rugi ketidakcocokan, dan rugi-rugi dioda bypass. PR merupakan faktor normalisasi radiasi matahari. Hal ini menunjukkan tidak memadainya pemanfaatan radiasi matahari dan proporsi energi yang tersedia di jaringan listrik setelah kehilangan energi pada sistem fotovoltaik surya yang terhubung ke jaringan listrik. Ini adalah parameter kinerja yang paling banyak digunakan untuk mengevaluasi berbagai teknologi panel surya. Hal ini juga digunakan untuk membandingkan sistem tenaga surya yang terhubung ke jaringan terlepas dari lokasi, kapasitas daya, dan struktur instalasi (Solar dan Ag, 2016).

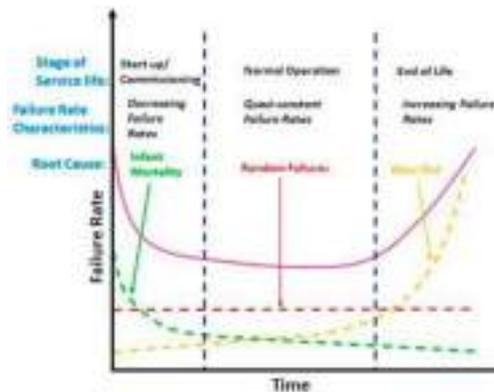
Penurunan kinerja sistem PLTS terutama disebabkan oleh beberapa faktor seperti kondisi iklim dan lingkungan, penanganan kesalahan modul PLTS yang terjadi selama pengangkutan, serta pemasangan dan pemeliharaan di lokasi. Meskipun kemajuan signifikan telah dicapai dalam sistem fotovoltaik surya selama beberapa dekade terakhir, para perancang masih menghadapi tantangan terkait pengaruh kondisi iklim terhadap kinerja sistem sistem fotovoltaik surya. Pada kenyataannya, kinerja modul fotovoltaik surya ketika dioperasikan di luar ruangan jauh lebih rendah dibandingkan dengan kondisi laboratorium yang terkendali. Kondisi iklim utama yang sangat memengaruhi kinerja modul PLTS antara lain radiasi matahari, suhu, kecepatan dan arah angin, kelembaban relatif, dan debu.

Secara umum, radiasi matahari dan suhu udara memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap pembangkitan tenaga surya dibandingkan kelembaban dan

kecepatan angin. Debu merupakan masalah khusus yang secara signifikan memengaruhi kinerja modul fotovoltaik surya di kawasan Teluk. Studi telah dilakukan mengenai pengaruh kondisi iklim yang berbeda terhadap kinerja sistem fotovoltaik surya.

Faktor lingkungan memiliki dampak yang berbeda terhadap kinerja sistem tenaga surya. Misalnya, keluaran daya sel surya menurun seiring dengan meningkatnya kelembaban relatif, suhu udara, dan pengendapan debu, sementara itu meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan angin. Variasi kondisi iklim dari satu tempat ke tempat lain di seluruh dunia mempunyai dampak yang sama terhadap kinerja modul fotovoltaik surya di berbagai wilayah. Parameter yang dapat memengaruhi kinerja modul PLTS antara lain radiasi matahari, kecepatan angin, curah hujan, suhu, kelembaban, dan kemungkinan debu (Charfi et al., 2018).

Kegagalan modul fotovoltaik surya di lapangan dapat timbul dari masalah perangkat keras, kelemahan mendasar dalam desain produk, atau kesalahan kendali mutu selama proses pembuatan. Tiga mekanisme utama kerusakan modul PV yang umum dipertimbangkan, yaitu kematian bayi, kerusakan paruh baya (atau kerusakan yang tidak disengaja), dan kerusakan akibat keausan. Gambar 9 menunjukkan grafik Bathub Curve yang dihasilkan dengan memetakan tingkat awal Kegagalan modul PLTS "Infant Mortalities" ketika pertama kali terjadi, kemudian tingkatan berikutnya "kegagalan acak" selama "periode operasi normal," dan akhirnya, tingkat kegagalan "aus" setelah tanggal akhir masa pakainya.



Gambar 2.2: Typical “Bathtub curve” of PLTS module failure (Rahman, Khan and Alameh, 2021)

Terdapat risiko kegagalan yang tinggi pada tahap operasional atau awal yang biasa disebut kematian bayi. Risiko ini berkurang dengan sangat cepat selama pengoperasian normal, ketika tingkat kegagalan hampir konstan. Namun, ketika modul fotovoltaik surya mencapai akhir masa pakainya, risiko kegagalan meningkat karena keausan. Deteksi dini cacat menggunakan teknik karakterisasi yang akurat dapat meningkatkan umur panel surya sehingga mengurangi limbah modul fotovoltaik surya (Rahman, Khan, & Alameh, 2021).

Bab 3

Desain Dan Perencanaan Sistem PLTS

3.1 Pendahuluan

Selama 10 tahun terakhir di Indonesia, pemanfaatan tenaga surya untuk menghasilkan listrik telah berkembang pesat, terutama dalam upaya pemerintah untuk mencapai target rasio kelistrikan melebihi 70% pada tahun 2012 (PLN, 2012). Keputusan untuk mengadopsi teknologi ini diambil karena banyaknya lokasi terpencil atau terisolasi seperti pulau-pulau terluar yang sulit atau mahal untuk menghubungkannya ke jaringan listrik yang sudah ada secara teknis dan ekonomis (PLN, 2012). Sistem fotovoltaik yang umumnya digunakan oleh departemen yang bertanggung jawab untuk mengembangkan daerah terpencil adalah sistem fotovoltaik berukuran kecil. Sistem ini biasanya tersedia dalam bentuk paket yang dipasang secara terdistribusi di setiap rumah, yang dikenal sebagai SHS (Solar Home System). Di Indonesia, dalam praktiknya, kelemahan sistem ini terletak pada fakta bahwa setiap penghuni rumah yang memiliki SHS harus memiliki pengetahuan dan keterampilan untuk mengoperasikan dan merawat sistem SHS tersebut. Namun, pada umumnya, masyarakat menghadapi keterbatasan dalam hal ini.

Sejak awal tahun 2010, PLN telah memulai pemanfaatan teknologi ini untuk menyediakan listrik di lokasi-lokasi terpencil yang sulit dijangkau oleh jaringan PLN. Tidak seperti instansi lain, PLN telah mengembangkan teknologi ini dengan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) secara terpusat, yang merupakan pembangkit listrik tenaga surya dengan skala yang relatif besar (PLN, 2012). Program ini dimulai dengan pembangunan beberapa PLTS di beberapa lokasi sebagai proyek percontohan. Tujuan dari proyek-proyek tersebut adalah untuk memperoleh pengalaman dalam perencanaan dan pembangunan PLTS yang akan digunakan sebagai referensi untuk pelaksanaan program selanjutnya. Hal ini penting karena pada saat itu, PLN belum memiliki panduan resmi untuk membangun PLTS, termasuk standar peralatan dan konfigurasi pembangkit tersebut. Selain itu, terdapat komponen penting lain yang belum memiliki standar produk, seperti inverter, dan tiap produk inverter memiliki karakteristik yang berbeda. Oleh karena itu, diperlukan suatu parameter untuk menentukan kapasitas atau jenis inverter yang sesuai.

Perencanaan PLTS pada dasarnya jauh lebih sederhana dibandingkan dengan jenis pembangkit listrik lainnya atau pembangkit konvensional. Namun, karena teknologi ini masih dalam tahap perkembangan, prosesnya terlihat kompleks dan tidak begitu familiar. Hampir semua peralatan yang digunakan dalam PLTS terdiri dari sistem yang dilengkapi dengan perangkat elektronik, sehingga pemasangannya menjadi semacam 'colok dan operasikan'. Memahami faktor-faktor kunci yang terkait dengan peralatan tersebut akan memudahkan perencanaan PLTS.

Secara prinsip, dalam perencanaan PLTS, perlu mempertimbangkan berbagai faktor, seperti rencana pola operasi PLTS dan apakah PLTS akan terhubung ke jaringan listrik di lokasi yang direncanakan (Simon, 1991). Faktor-faktor ini akan memengaruhi pemilihan jenis dan kapasitas komponen utama, seperti modul surya (PV), inverter, dan baterai (Endecon, 2001). Kapasitas PLTS dinyatakan dalam kilowatt peak (kWp), kapasitas inverter dalam kilowatt (kW), dan kapasitas baterai dalam ampere-hour (Ah) atau kilowatt-hour (kWh). Tingkat kehandalan yang diinginkan juga akan memengaruhi konfigurasi, kapasitas, dan jumlah inverter yang dipilih.

3.2 Gambaran Umum PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu sistem pembangkit listrik yang menggunakan radiasi sinar matahari sebagai sumber daya untuk menghasilkan energi listrik melalui sel surya (fotovoltaik). Proses ini mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik (Putra, 2015).

Energi matahari adalah sumber daya yang bersifat ramah lingkungan dan memiliki potensi yang sangat menjanjikan untuk masa depan. Hal ini karena dalam proses konversi energi dari sinar matahari menjadi listrik, tidak ada polusi yang dihasilkan. Selain itu, sinar matahari adalah sumber energi yang melimpah alamiah dan tersedia sepanjang tahun, terutama di negara-negara tropis seperti Indonesia (Permadi, 2008)

3.3 Komponen Utama PLTS

Fotovoltaik adalah sebuah perangkat yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi dari matahari (foton) menjadi arus listrik searah. Selanjutnya, arus listrik searah ini dikonversi menjadi arus bolak-balik sesuai dengan tegangan dan frekuensi sistem lokal. Sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu panel surya (fotovoltaik), inverter, dan baterai (Michael, 2012).

PLTS tidak menghasilkan daya listrik yang konstan (sistem non-capacity value generation) karena kapasitas keluarannya sangat tergantung pada tingkat radiasi matahari yang senantiasa berubah sepanjang waktu. Penilaian kinerja PLTS didasarkan pada seberapa banyak energi yang dapat dihasilkan, bukan seberapa besar dayanya, kecuali dalam kasus sistem yang dilengkapi dengan penyimpanan energi. Karena itu, kapasitas suatu PLTS ditentukan berdasarkan jumlah energi yang diperlukan oleh suatu beban dalam periode tertentu, dengan mempertimbangkan rata-rata konsumsi energi suatu beban di lokasi dan periode yang sama.

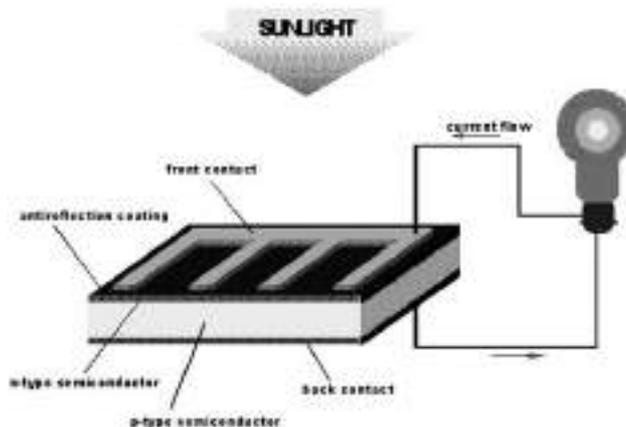
Penentuan kapasitas komponen utama PLTS, seperti modul surya, inverter, dan baterai, disesuaikan dengan jenis dan desain PLTS yang akan dibangun. Dalam konteks sistem PLTS, proses penentuan kapasitas komponen ini, yang sering disebut sebagai "sizing," sangat krusial karena kapasitas yang terlalu kecil dapat mengakibatkan sistem tidak mampu memenuhi kebutuhan energi

yang diinginkan, sementara kapasitas yang terlalu besar dapat mengakibatkan biaya PLTS menjadi sangat tinggi. Sistem PLTS memiliki komponen utama yang meliputi modul surya, inverter atau power conditioner unit(PCU), pengontrol pengisian baterai (solar charge controller atau battery charge controller), dan sistem penyimpanan energi (baterai).

3.4 Modul Surya

Komponen paling kecil dalam teknologi fotovoltaik adalah sel surya, yang pada dasarnya adalah sebuah dioda besar yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan daya listrik. Fotovoltaik terdiri dari dua jenis bahan yang berbeda yang dihubungkan melalui suatu wilayah junction, di mana jika cahaya matahari jatuh pada permukaan junction tersebut, cahaya tersebut akan diubah menjadi arus listrik searah (Patel, 1984).

Untuk mencapai daya yang signifikan, diperlukan sejumlah besar sel surya. Biasanya, sel-sel surya tersebut telah dirangkai menjadi panel yang dikenal sebagai modul surya. Ilustrasi dalam Gambar 1 menggambarkan tampilan potongan melintang dari suatu sel surya yang berfungsi sebagai sumber listrik.

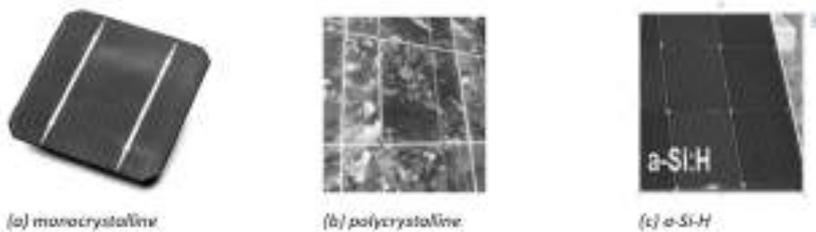


Gambar 3.1: Sel Surya

Terdapat dua jenis modul surya yang paling umum, yaitu modul kristal silikon dan modul tipis (thin film). Modul kristal silikon terbuat dari silikon, sementara modul tipis sebagian besar menggunakan bahan kimia. Modul kristal silikon terdiri dari dua jenis, yaitu monokristalin (lihat Gambar 3.2a) dan polikristalin (lihat Gambar 3.2b). Setiap jenis memiliki efisiensi yang berbeda, dengan

monokristalin mencapai 14-16% dan polikristalin 13-15% (Luque & Hegedus, 2002). Modul surya tipis terdiri dari beberapa jenis yang dinamai sesuai dengan bahan dasarnya, seperti A-Si:H, CdTe, dan CIGs (lihat Gambar 3.2c) (Konagai & Takahashi, 1986). Rata-rata efisiensi modul surya tipis adalah sekitar 6,5-8%. Oleh karena itu, dengan kapasitas yang sama, setiap jenis modul memiliki ukuran per modul yang berbeda, yang akan berdampak pada lahan yang diperlukan.

Kapasitas modul surya dinyatakan dalam Watt puncak (Wp) dan tersedia dalam berbagai ukuran. Dalam penggunaan pembangkit listrik, ukuran modul yang umum digunakan berkisar antara 80 hingga 300 Wp per modul. Untuk mencapai tegangan yang lebih tinggi, modul disusun secara seri, sedangkan untuk mendapatkan arus yang lebih besar, modul disusun secara paralel.



Gambar 3.2: monocrystalline, polycrystalline, a-Si-H

Kapasitas yang dibutuhkan dari panel surya, diukur dalam kWp (Kilowatt puncak), ditentukan oleh jumlah energi (kWh atau Kilowatt-jam) yang diperlukan oleh beban selama suatu periode tertentu dan tingkat radiasi matahari di lokasi tersebut. Berbagai faktor seperti suhu, konektivitas kabel, inverter, baterai, dan lain-lain dapat memengaruhi efisiensi panel surya. Oleh karena itu, dalam praktiknya, hasil perhitungan sering dikoreksi dengan menggunakan faktor derating yang umumnya berkisar sekitar 0,67%. Perhitungan kapasitas kWp dihitung menggunakan rumus (Castaner & Maskavart, 2003) berikut ini:

$$kWp = \frac{I_o}{H_o} \cdot \frac{E_o}{\eta_{sm}} \cdot Cf \cdot \frac{E_o}{PSH \times \eta_{sm}} \cdot Cf \dots \dots \dots (1)$$

Untuk menghitung kapasitas panel surya yang dibutuhkan, kita menggunakan rumus berikut:

$$E_o \text{ (kWh)} = (H \text{ (kWh/m}^2\text{/hari)} * I_o \text{ (1 kW/m}^2\text{)} * H \text{ (\%)}) / (C_f * PSH \text{ (jam/hari)} * \eta_{sm} \text{ (0,67 - 0,75)})$$

Dalam rumus ini:

1. E_o adalah energi yang ingin dihasilkan (dalam kWh).
2. H adalah tingkat radiasi matahari di lokasi (dalam kWh/m²/hari).
3. I_o adalah iradiasi standar (1 kW/m²).
4. H adalah efisiensi sistem modul (dalam persentase).
5. C_f adalah faktor koreksi temperatur (antara 1,1 hingga 1,5).
6. PSH adalah jam matahari puncak dalam suatu periode.
7. η_{sm} adalah efisiensi total sistem (antara 0,67 hingga 0,75).

Untuk mencapai tegangan yang diinginkan, modul surya dihubungkan secara berderet dalam susunan yang disebut sebagai "string." Sedangkan, untuk mencapai daya atau arus yang diinginkan, string-string modul surya tersebut dihubungkan secara paralel. Tegangan dari string-string ini disesuaikan dengan tegangan masukan inverter.

3.5 Solar Charge Controller (SCC) atau Battery Charge Controller (BCC)

Charge controller berperan penting dalam memastikan bahwa baterai tidak mengalami *over discharge* (pelepasan muatan berlebihan) atau *over charge* (pengisian muatan berlebihan), yang dapat merusak dan mengurangi umur baterai. Fungsi charge controller melibatkan pemantauan dan pengaturan tegangan dan arus yang masuk dan keluar baterai sesuai dengan kondisi baterai tersebut.

Charge controller sering disebut sebagai *solar charge controller* (pengontrol pengisian surya) jika berperan dalam menghubungkan panel surya ke baterai atau peralatan lainnya, seperti inverter. Sebaliknya, jika bagian ini berperan dalam menghubungkan inverter ke baterai, seringkali disebut sebagai battery

charge controller (pengontrol pengisian baterai). Namun, penting untuk dicatat bahwa istilah ini tidak selalu baku dan bisa bervariasi dalam penggunaan.

Meskipun keduanya memiliki fungsi yang sama, yaitu mengatur pengisian baterai, ada perbedaan antara *solar charge controller* (SCC) dan *battery charge controller* (BCC). *Solar charge controller* dilengkapi dengan PWM-MPPT (Pulse Width Modulation-Maximum Power Point Tracking), yang merupakan kemampuan untuk mengoptimalkan daya listrik yang diterima dari panel surya ke titik maksimumnya.

3.6 Inverter

Inverter merupakan komponen inti dalam sistem PLTS. Peran utama inverter adalah mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik (AC). Tegangan DC dari panel surya biasanya tidak stabil dan bervariasi sesuai dengan tingkat radiasi matahari. Inverter bertugas mengubah tegangan masukan DC yang tidak stabil ini menjadi tegangan AC yang stabil dan siap digunakan atau dihubungkan ke dalam sistem yang sudah ada, seperti jaringan PLN. Parameter tegangan dan arus keluaran inverter umumnya telah diatur sesuai dengan standar nasional atau internasional.

Saati ini, semua inverter menggunakan komponen elektronika di dalamnya. Teknologi terbaru dalam inverter telah mengadopsi IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor) (Patel, 1984) sebagai komponen utamanya, menggantikan komponen lama seperti BJT, MOSFET, J-FET, SCR, dan lainnya. Karakteristik IGBT adalah kombinasi dari keunggulan yang dimiliki oleh MOSFET dan BJT.

Pemilihan jenis inverter dalam perencanaan PLTS disesuaikan dengan desain yang akan digunakan. Jenis inverter yang digunakan dalam PLTS harus disesuaikan dengan apakah PLTS tersebut merupakan sistem On Grid (terhubung ke jaringan listrik utama) atau Off Grid (terisolasi dari jaringan listrik utama) atau merupakan sistem Hibrid. Inverter untuk sistem On Grid, yang dikenal sebagai On Grid Inverter, harus memiliki kemampuan untuk memutuskan hubungannya dengan jaringan listrik utama (islanding system) jika terjadi pemadaman listrik di jaringan. Sementara inverter untuk sistem PLTS hibrid harus memiliki kemampuan untuk mengubah arus dari arah DC

ke AC dan sebaliknya dari AC ke DC. Oleh karena itu, inverter ini sering disebut sebagai inverter bi-directional.

Saat ini, belum ada standar yang mencakup semua aspek kelengkapan suatu inverter, sehingga produk inverter yang satu dengan yang lainnya mungkin tidak sepenuhnya kompatibel. Beberapa inverter telah dilengkapi dengan fungsi charge controller (SCC dan BCC) serta fungsi lainnya yang terintegrasi di dalamnya. Alat semacam ini sering disebut sebagai PCS (Power Conditioner System) atau Power Conditioner Unit (PCU). Apakah diperlukan SCC atau BCC tambahan akan tergantung pada kemampuan dan kelengkapan inverter tersebut. Jika inverter sudah memiliki charge controller (SCC dan BCC) di dalamnya, maka mungkin tidak perlu lagi menggunakan charge controller eksternal.

Berikut adalah beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan saat memilih inverter:

1. Kapasitas/daya Inverter: Kapasitas inverter harus cukup untuk menangani beban dalam kondisi daya rata-rata, tipikal, dan puncak. Secara umum, kapasitas inverter dihitung sekitar 1,3 kali dari beban puncak.
2. Tegangan Masukan Inverter: Ketika beban panel surya berfluktuasi, tegangan keluaran dari panel surya dapat mencapai tegangan tanpa beban (Voc). Untuk mencegah kerusakan akibat kenaikan tegangan, tegangan masukan inverter biasanya dihitung sekitar 1,1 hingga 1,15 kali Voc dari string PV.
3. Arus Masukan Inverter: Pada saat sinar matahari sangat terang, panel surya dapat menghasilkan arus yang tinggi, mirip dengan arus tanpa beban (Isc). Untuk mencegah kerusakan akibat peningkatan tegangan, kapasitas arus masukan inverter biasanya dihitung sekitar 1,1 hingga 1,15 kali Isc dari string PV.
4. Kualitas Daya Keluaran Inverter: Inverter memiliki berbagai jenis kualitas daya keluaran, seperti sinus murni, modified square wave, atau square wave. Disarankan untuk memilih inverter yang menghasilkan daya dengan kualitas sinus murni agar cocok untuk berbagai jenis beban.

5. Jenis Transistor Inverter: Pilihlah inverter yang menggunakan sistem komutasi elektronik dengan Insulated-Gate Bipolar Transistor (IGBT).
6. Maximum Power Point Tracking (MPPT): Pastikan inverter memiliki sistem pengaturan MPPT dengan metode Pulse Width Modulation (PWM) untuk meningkatkan efisiensi.
7. Kemampuan Kerja dalam Suhu Tinggi: Pastikan inverter mampu beroperasi pada suhu hingga 45°C.

3.7 Baterai

Dalam sistem PLTS, keberadaan baterai sangat penting untuk menyimpan energi secara sementara ketika panel surya tidak mendapatkan sinar matahari yang cukup, seperti saat malam hari. Baterai umumnya diperlukan dalam sistem Off Grid, di mana PLTS terisolasi dari jaringan listrik utama.

Terdapat beberapa teknologi baterai yang umum digunakan, termasuk lead acid, alkalin, NiFe, Ni-Cad, dan Li-ion. Setiap jenis baterai memiliki kelebihan dan kelemahan, baik dari segi teknis maupun ekonomi (biaya). Lead acid sering dianggap sebagai pilihan yang unggul jika mempertimbangkan kedua aspek tersebut. Baterai lead acid yang digunakan dalam PLTS berbeda dengan baterai lead acid yang digunakan dalam mesin start seperti baterai mobil. Baterai yang digunakan dalam PLTS, khususnya tipe deep cycle lead acid, dapat mengeluarkan muatan secara terus menerus hingga mencapai kapasitas nominalnya.

Baterai merupakan salah satu komponen utama dalam PLTS dan biasanya merupakan investasi awal yang signifikan, setelah panel surya dan inverter. Oleh karena itu, pengoperasian dan pemeliharaan yang tepat sangat penting untuk menjaga umur baterai sesuai dengan rencana. Faktor-faktor seperti Depth of Discharge (DoD), jumlah siklus, efisiensi baterai, tingkat discharge/charge, dan suhu perlu dipertimbangkan dalam menentukan jenis dan kapasitas baterai yang diperlukan untuk PLTS, serta bagaimana faktor-faktor tersebut dapat memengaruhi umur baterai.

1. Depth of Discharge (DoD)

Depth of Discharge (DoD) merujuk pada jumlah energi atau muatan yang telah digunakan atau dikeluarkan dari baterai. DoD diukur dalam persentase dari kapasitas nominal baterai. Misalnya, DoD 80% berarti bahwa baterai tersebut telah melepaskan 80% dari total kapasitasnya yang mencapai 100%. Dalam kondisi ini, baterai akan memiliki sisa muatan sekitar 20%, yang sering disebut sebagai State of Charge (SOC).

Semakin besar DoD suatu baterai, semakin cepat umur baterai akan berkurang. Dalam perhitungan baterai, terdapat dua angka DoD yang penting, yaitu DoD maksimal dan DoD harian. DoD maksimal adalah level DoD tertinggi yang dapat dicapai oleh baterai. Ketika DoD maksimal tercapai, charge controller akan memutuskan koneksi antara baterai dan beban, yang dikenal sebagai cut-off. Sementara itu, DoD harian adalah level DoD rata-rata yang akan dicapai dalam setiap siklus penggunaan baterai.

Biasanya, dalam perencanaan baterai untuk sistem PLTS, DoD (Depth of Discharge) ditetapkan sekitar 25% hingga 30% untuk memastikan umur baterai mencapai sekitar 5 tahun. Dengan kata lain, kapasitas baterai harus beberapa kali lebih besar dari jumlah energi yang akan digunakan dalam satu siklus penggunaan. Umur baterai secara signifikan dipengaruhi oleh level DoD yang tercapai dalam setiap siklusnya. Baterai yang memiliki DoD 50%, misalnya, akan memiliki umur dua kali lebih lama dibandingkan dengan baterai yang memiliki DoD 10%. Oleh karena itu, biaya baterai bisa menjadi lebih tinggi jika Anda memerlukan umur yang lebih panjang atau DoD yang lebih dalam.

2. Jumlah Siklus Baterai

Biasanya, umur baterai diukur berdasarkan jumlah siklus yang dapat dijalani oleh baterai. Dalam hal ini, satu siklus terdiri dari satu proses pengeluaran (discharge) dan satu proses pengisian kembali (charge). Misalnya, jika baterai dinyatakan memiliki umur siklus 1800, dan digunakan dengan tingkat satu siklus per hari, maka umur baterai

relatifnya adalah 1.800 siklus dibagi dengan 365 hari, yang setara dengan sekitar 4,9 tahun. Namun, jika baterai digunakan dengan tingkat dua siklus per hari, maka umur baterai akan lebih pendek, yaitu sekitar 2,5 tahun.

3. Efisiensi Baterai

Baterai berperan sebagai penyimpanan sementara dalam sistem PLTS, dan proses kunci yang terjadi pada baterai melibatkan pengisian (charging) dan pengeluaran (discharging) energi. Sebagian energi listrik pada saat pengisian dan pengeluaran baterai dapat hilang sebagai panas akibat resistansi internal baterai. Efisiensi baterai dalam satu siklus umumnya sekitar 75%, dan hal ini dikenal sebagai efisiensi perjalanan bolak-balik (round trip efficiency).

4. Discharge dan Charge Rate

Kapasitas baterai tidak selalu dapat digunakan sesuai dengan rating yang diumumkan. Biasanya, kapasitas baterai dikaitkan dengan tingkat pengisian atau pengeluaran baterai, yang dinyatakan dalam tingkat Cxx. Standar umum adalah tingkat C20, yang mengindikasikan seberapa besar arus yang dapat dikeluarkan baterai dalam waktu 20 jam. Misalnya, jika baterai memiliki kapasitas 2000 Ah dan tingkat C20, maka baterai mampu mengeluarkan arus maksimum 100 A (2000 Ah dibagi 20 jam). Namun, jika baterai harus mengeluarkan arus lebih besar dari 100 A, maka kapasitas baterai seharusnya mencukupi hanya selama kurang dari 10 jam.

Kenyataannya, kapasitas baterai akan berkurang lebih cepat daripada yang diharapkan saat tingkat pengeluaran baterai meningkat. Tingkat pengisian dan pengeluaran baterai juga memengaruhi efisiensinya. Semakin tinggi tingkat pengisian atau pengeluaran, semakin rendah efisiensi baterai karena aliran arus listrik menjadi lebih kuat.

5. Temperatur Baterai

Suhu baterai memiliki dampak signifikan pada performanya. Suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan kinerja baterai, memungkinkannya beroperasi pada kapasitas maksimalnya, tetapi

juga dapat menyebabkan penuaan dini baterai. Suhu ideal untuk baterai biasanya berkisar antara 20 hingga 25 derajat Celsius.

6. Kapasitas dan Spesifikasi Baterai Bank

Dalam program PLTS 1000 Pulau, kapasitas baterai bank memiliki perbedaan yang signifikan antara PLTS Tipe Off Grid dan PLTS Tipe Hibrid. Keandalan PLTS Off Grid sangat bergantung pada kemampuan baterai yang tersedia, sehingga kapasitasnya ditentukan oleh baterai bank yang ada.

Dengan mempertimbangkan karakteristik baterai yang telah dijelaskan sebelumnya, penentuan kapasitas operasional, spesifikasi, dan pengaturan operasional baterai untuk PLTS Terpusat (komunal) harus memenuhi beberapa kriteria teknis sebagai berikut:

1. Baterai yang digunakan adalah jenis deep cycle.
2. Baterai harus memiliki sistem ventilasi atau katup pengatur Valve Regulated Lead Acid (VRLA) battery.
3. Media elektrolit yang digunakan dapat berupa cair, gel, atau AGM (Absorbed Glass Mat).
4. Elektroda positif harus berjenis tubular.
5. Tegangan per sel (VPC) baterai adalah 2 volt dc.
6. Kapasitas per sel baterai minimal 1800 Ah pada C20 discharge.
7. Baterai harus memiliki jumlah siklus minimal sebanyak 2.000 siklus dengan Depth of Discharge (DoD) 80% pada C20 discharge.
8. Kapasitas baterai harus cukup untuk memenuhi days of autonomy selama 2 kali periode operasinya.
9. DoD maksimal adalah 80%.
10. DoD harian maksimal adalah 50% untuk PLTS Off Grid dan 60% untuk PLTS Hibrid.
11. Baterai harus mampu beroperasi pada suhu hingga 45°C.

Hal-hal ini harus diperhatikan dalam menentukan spesifikasi dan penggunaan baterai dalam sistem PLTS Terpusat.

Untuk perhitungan kapasitas baterai (battery bank), digunakan rumus berikut:

$$kWh = DoA \cdot \frac{E_o}{DoD \text{ maks } \eta \text{ disc}} \cdot C_f \text{ batt} \dots \dots \dots (2)$$

di mana E_o : energy yang siap suplai oleh baterai (kWh), DoA: days of autonomy/hari berawan (hari), DoD: kapasitas yang boleh dikeluarkan (%), η_{disc} : discharge efficiency/efisiensi discharge (%), C_{fbatt} : faktor koreksi baterai.

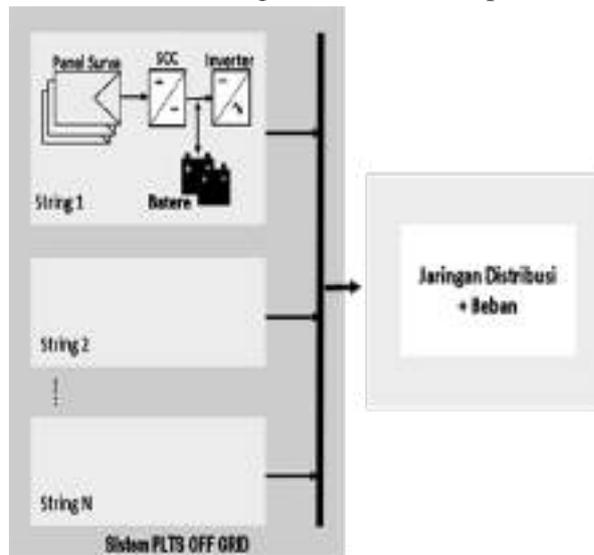
Selanjutnya, setelah menentukan kapasitas baterai, langkah berikutnya adalah menentukan kapasitas dan tegangan persatuan baterai yang dibutuhkan untuk memenuhi kapasitas tersebut.

3.8 Konfigurasi Sistem PLTS

Umumnya, terdapat tiga tipe desain PLTS yang berbeda, yaitu:

1. PLTS Off Grid/stand alone Ini adalah sistem PLTS yang berdiri sendiri dan tidak terhubung dengan jaringan listrik utama. PLTS Off Grid, yang juga sering disebut sebagai PLTS Stand Alone, mengacu pada sistem yang hanya mendapatkan pasokan energi dari panel surya tanpa campur tangan dari jenis pembangkit lain seperti PLTD. Sistem ini sepenuhnya bergantung pada sinar matahari sebagai sumber energinya, karena panel surya tidak dapat terus-menerus menerima sinar matahari, terutama pada malam hari, PLTS Off Grid memerlukan penggunaan baterai sebagai media penyimpanan energi. Biasanya, PLTS Off Grid dirancang untuk mengalimentasi daerah yang sangat terpencil, di mana akses transportasi sulit, sehingga membangun PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel) akan menimbulkan kendala dalam pengadaan bahan bakar minyak. Menentukan kapasitas panel dan baterai secara akurat sangat penting. Pada sistem Off Grid, umumnya kapasitas baterai ditambah untuk mengantisipasi hari tidak ada sinar matahari/hari berawan yang disebut days of autonomy (DoA). Berdasarkan pertimbangan biaya, kapasitasnya ditambahkan 1-2 kali periodenya. Dalam perencanaan,

kapasitas PV harus menyuplai beban minimal pada tingkat radiasi rata-rata 1 kW/m^2 dan secara bersamaan, mampu mengisi baterai dengan jumlah energi yang dibutuhkan dalam periode discharge. Waktu pengisian sekitar peak sun hour (PSH) periode, yaitu lamanya penyinaran matahari secara efektif, di Indonesia sekitar 3-4 jam/hari. Kapasitas panel (kWp) harus memperhitungkan round trip efisiensi baterai. Gambar 3.3 adalah diagram dasar PLTS tipe Off Grid.



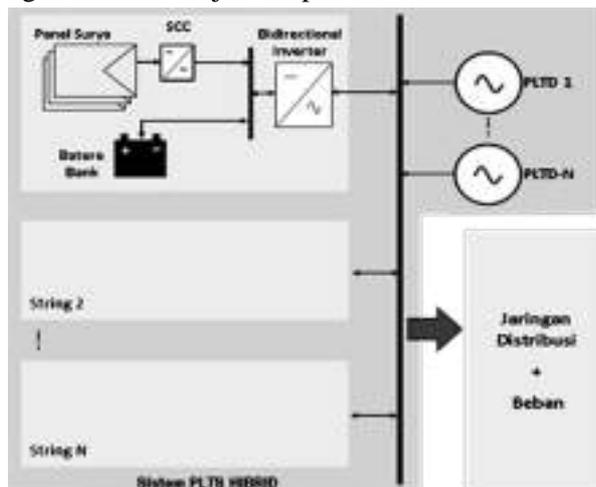
Gambar 3.3: Diagram Dasar PLTS Off Grid (Rafael, 2014)

Dalam perencanaan sistem PLTS Off Grid untuk daerah yang belum memiliki pasokan listrik, beberapa asumsi digunakan untuk menghitung beban listrik. Asumsi-asumsi ini mencakup indikator-indikator listrik berikut:

- a. Load factor (LF): Karena tidak ada data Load factor (LF) yang tersedia untuk daerah yang belum berlistrik, maka LF dapat dianggap sama dengan LF yang tercatat pada lokasi terdekat yang sudah memiliki pasokan listrik. Alternatifnya, bisa digunakan LF tipikal, yang berkisar antara 0,5 hingga 0,6.
- b. Demand factor (DF): Secara umum, untuk daerah pedesaan di Indonesia, nilai DF rata-rata adalah sekitar 0,35.

3. PLTS Hibrid Ini adalah sistem PLTS yang terintegrasi dengan satu atau beberapa pembangkit listrik lain yang menggunakan sumber energi primer yang berbeda, dan memiliki pola operasi terpadu. PLTS Hibrid adalah sistem PLTS yang dioperasikan secara terpadu dengan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang telah ada sebelumnya. Dalam sistem ini, PLTS diharapkan memberikan kontribusi maksimum dalam memasok beban listrik selama periode siang hari. Untuk memastikan bahwa bagian PLTS tidak mengganggu operasi sistem yang sudah ada, PLTS dilengkapi dengan baterai sebagai penyimpanan sementara atau pengatur kestabilan. Prinsipnya, dengan baterai ini, PLTS dapat memberikan daya dan energi ke beban selama periode siang (hours of sun) tanpa menimbulkan risiko gangguan pada sistem yang sudah ada.

Dalam perencanaan PLTS Hibrid, kapasitas panel surya harus mempertimbangkan kemampuan panel untuk mengisi baterai sambil menyediakan daya ke beban jika radiasi matahari berada di atas rata-rata. Sistem PLTS Hibrid ini dirancang untuk memperpanjang jam operasi atau pelayanan sistem yang sudah ada dan pada saat yang sama mengurangi konsumsi bahan bakar. Diagram dasar dari PLTS Hibrid dengan PLTD ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 3.5: Skema Dasar PLTS Hibrid (Rafael, 2014)

Inverter yang digunakan dalam sistem PLTS Hibrid harus memiliki kemampuan untuk mengubah arus baik dari arus searah (DC) ke arus bolak-balik (AC) saat memberikan daya ke beban maupun sebaliknya, dari AC ke DC saat mengisi baterai. Karena inverter ini memiliki kemampuan dalam kedua arah ini, biasanya disebut sebagai inverter berkecepatan ganda atau bi-directional inverter.

3.9 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

1. Berdasarkan Teknologi

Instalasi PLTS dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis berdasarkan teknologi penginstalasiannya, yaitu: roof-mounted, ground-mounted, dan sistem floating solar yang terpasang di waduk atau danau. Berikut adalah penjelasan singkat tentang ketiga jenis teknologi PLTS ini:

2. Metode roof-mounted

Metode roof-mounted merupakan teknik instalasi PLTS yang memanfaatkan area tanpa hambatan di atap bangunan. Atap berfungsi sebagai kerangka penyangga untuk sistem PLTS, tetapi perlu persiapan khusus untuk mengatasi perubahan cuaca. Pendekatan teknologi pemasangan PLTS di atap sangat efektif untuk sistem pembangkitan daya yang memiliki kapasitas kecil, dapat mengurangi biaya tagihan listrik dengan adopsi sistem ekspor dan impor daya, merupakan solusi modern yang menggunakan sumber energi terbarukan, serta berkontribusi pada upaya mitigasi perubahan iklim. Metode teknologi pemasangan PLTS di atap serupa dengan yang terlihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6: PLTS Roof-Mounted atau PLTS Rooftop (Adyasolar, 2018)

3. Ground-Mounted

Cara pemasangan ground-mounted mengaplikasikan area tanah kosong yang datar dan stabil tanpa hambatan. Struktur dukungan terdiri dari tiang dan balok baja, dan penelitian dilakukan untuk menilai stabilitas tanah dalam jangka waktu yang panjang. Pendekatan ground-mounted efektif digunakan untuk pembangkitan listrik dalam skala besar. Keuntungan panel surya yang terletak di atas tanah adalah tingkat suhu panel surya yang lebih konsisten karena adanya pendinginan dari kontak dengan tanah yang dapat menyerap panas. Tapi, kekurangan dari sistem ini adalah memerlukan lahan yang luas, dan ada potensi masalah debu dan kotoran karena posisinya lebih dekat dengan permukaan tanah, yang jika tidak di atasi bisa mengakibatkan penurunan hingga 20% dalam produksi panel surya. Solusi untuk masalah ini adalah membersihkan panel surya setiap empat bulan sekali (Rokhmat & Fauzi, 2019). Teknologi ground-mounted seperti gambar 3.7



Gambar 3.7: PLTS Ground-Mounted (ESDM, 2019)

4. Reservoir/lake base floating solar system

Cara pemasangan sistem photovoltaic (PV) floating dilakukan dengan memanfaatkan air sebagai platform apung. Sistem solar floating ini dapat diaplikasikan di berbagai perairan seperti lautan, waduk, danau, dan sebagainya. Penggunaan sistem floating PV di waduk atau danau memiliki potensi yang sangat menarik karena permukaan air ini secara alami menerapkan pendinginan evaporatif, menjaga suhu panel solar tetap rendah, dan meningkatkan efisiensi panel hingga 11% lebih tinggi daripada sistem PV ground-mounted (Sahu, et al., 2016).



Gambar 3.8: PLTS Floating solar system (Sujay, 2017)

Pendekatan pemasangan ini juga mengurangi jumlah hambatan yang dapat menyebabkan kehilangan pencahayaan dan mengurangi dampak debu yang dapat mengurangi kinerja panel (Golroodbari & van Sark, 2020).

Bab 4

Instalasi Dan Integrasi Sistem

4.1 Pendahuluan

4.1.1 Latar Belakang

Tak pungkiri bahwa energi listrik saat ini merupakan suatu kebutuhan yang sulit untuk dipisahkan dari kehidupan sehari-hari. Kebutuhan terhadap energi listrik terus meningkat seiring meningkatnya laju pertumbuhan penduduk dan meningkatnya kegiatan pembangunan disegala bidang yang disertai dengan perkembangan teknologi yang semakin canggih. Sejalan dengan semua hal tersebut, alternatif penyediaan energi terbarukan yaitu energi surya. Pada tahun 2011, Badan Energi Internasional menyatakan bahwa perkembangan “perkembangan teknologi energi surya yang terjangkau, tidak habis dan bersih akan memberikan keuntungan jangka panjang yang besar. Perkembangan ini akan meningkatkan keamanan energi negara-negara melalui pemanfaatan sumber energi yang sudah ada, tidak habis dan tidak tergantung pada impor, meningkatkan kesinambungan, mengurangi polusi, mengurangi biaya mitigasi perubahan iklim dan menjaga harga bahan bakar fosil tetap rendah dari sebelumnya. Keuntungan tersebut berlaku global. Oleh karena itu, biaya insentif tambahan untuk pengembangan awal layakanya dianggap sebagai investasi untuk pembelajaran; investasi ini harus digunakan secara bijak dan

perlu dibagi bersama“ . Tetap persoalan utama dalam pemanfaatan energi surya adalah faktor malam dan siang yang selalu datang bergantian.

Penerapan teknologi tenaga surya untuk kebutuhan listrik daerah terpencil dapat dilakukan dengan berbagai macam sistem pembangkit listrik tenaga surya, seperti pembangkit listrik hybrida yaitu gabungan antara sumber energi surya dengan sumber energi lainnya, yang paling umum adalah penggabungan energi surya dengan energi mesin diesel atau sumber energi mikro hydro. Sistem tenaga surya lainnya adalah “Solar Home System” (SHS) yang terdiri dari panel modul surya, baterai, alat pengontrol dan lampu, sistem ini dipasang pada masing-masing rumah dengan modul fotovoltaik dipasang di atas atap rumah. Sistem ini biasanya mempunyai modul fotovoltaik dengan kapasitas daya 50 WP di mana pada radiasi matahari rata-rata harian 4,5 Kwh/m² akan menghasilkan energi kurang lebih 125 s/d 130 watt-jam. Kendala penerapan SHS adalah harga yang masih relatif mahal untuk masyarakat terpencil dan miskin. Oleh karena itu perlu ada suatu panduan dalam merancang, menghitung dan memilih komponen yang diperlukan sehingga masyarakat tersebut mampu membayar dan dapat menikmati listrik. Dalam tulisan ini, diuraikan cara merancang dan memilih komponen solar home sistem untuk keperluan penerangan rumah sederhana. Tujuan dari tulisan ini adalah memberikan panduan singkat dan praktis kepada masyarakat agar dapat menentukan spesifikasi yang tepat dan ekonomis.

4.2 Teori Dasar

4.2.1 Sistem Photovoltaic

Sistem Photovoltaic (PV) merupakan suatu sistem pembangkit listrik arus searah yang memanfaatkan tenaga surya sebagai sumber energinya. Jumlah tenaga listrik yang tergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterima dan luas seluruh permukaan sel Photovoltaic (PV) ini dapat dibagi dua golongan menurut aplikasinya, yaitu yang pertama sistem dengan unit penyimpan energi yaitu sistem dengan baterai dan tanpa baterai.

4.2.2 Komponen Utama Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya

1. Modul Surya

Komponen Utama dari PV yang dapat menghasilkan energi listrik menjadi DC disebut panel surya atau modul surya. Panel surya atau modul surya. Panel surya terbuat dari bahan semikonduktor, yang apabila disinari oleh cahaya matahari dapat menghasilkan arus listrik. Suatu modul surya adalah sekumpulan sel surya yang dihubungkan secara seri dan atau paralel sehingga menghasilkan arus dan tegangan tertentu. Untuk mensuplai beban yang diinginkan, beberapa modul dihubungkan secara seri dan atau paralel untuk memenuhi besar tegangan dan daya dari beban.

Baterai atau akumulator merupakan salah satu alat yang dapat mengkonversikan energi listrik menjadi energi kimia, atau energi kimia menjadi energi listrik. Akumulator ini sering dikenal sebagai sel sekunder. Pada saat sel ini diisi atau dialiri arus listrik, maka arus listrik tersebut disimpan ke dalam bentuk energi kimia, dan pada saat sel ini dibebani dengan peralatan listrik, maka energi kimia yang tersimpan akan diubah menjadi energi listrik. Kemampuan untuk menyimpan energi listrik kedalam bentuk energi kimia ini memungkinkan penggunaannya dapat diperluas dalam sistem kelistrikan.

2. Baterai

Baterai atau akumulator merupakan salah satu alat yang dapat mengkonversikan energi listrik menjadi energi kimia, atau energi kimia menjadi energi listrik. Akumulator ini sering dikenal sebagai sel sekunder. Pada saat sel ini diisi atau dialiri arus listrik, maka arus listrik tersebut disimpan ke dalam bentuk energi kimia, dan pada saat sel ini dibebani dengan peralatan listrik, maka energi kimia yang tersimpan akan diubah menjadi energi listrik. Kemampuan untuk menyimpan energi listrik kedalam bentuk energi kimia ini memungkinkan penggunaannya dapat diperluas dalam sistem kelistrikan.

3. Solar Charger Controller/Baterai Charger Controller

Charge Controller berfungsi untuk menjaga keseimbangan energi di akumulator dengan cara mengatur tegangan maksimum dan minimal dari akumulator tersebut, alat ini juga berfungsi untuk memberikan pengamanan terhadap sistem yaitu: Proteksi terhadap pengisian berlebih (over charge) di akumulator, proteksi terhadap pemakaian berlebih (over discharge) oleh beban, mencegah terjadinya arus balik ke modul surya, melindungi terhadap terjadinya hubungan singkat pada beban listrik dan sebagai interkoneksi dan komponen-komponen PLTS lainnya.

4. Inverter

Inverter adalah alat yang mengubah arus DC menjadi AC sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik yang digunakan. Alat ini mengubah arus DC dari panel surya menjadi arus AC untuk kebutuhan beban-beban yang menggunakan arus AC. Kemudian untuk merancang sebuah pembangkit solar home system yang diintegrasikan dengan jaringan listrik dari PLN menggunakan kendali relay dan kontaktor magnet, maka selain komponen-komponen utama di atas ditambah lagi dengan komponen-komponen utama lainnya.

5. Kontaktor Magnet

Kontaktor magnet merupakan saklar yang bekerja berdasarkan prinsip kemagnetan. Artinya sakelar ini bekerja jika ada gaya kemagnetan pada penarik kontakannya. Magnet berfungsi sebagai penarik dan sebagai pelepas kontak-kontaknya dengan bantuan pegas pendorong. Sebuah kontaktor harus mampu mengalirkan dan memutuskan arus dalam keadaan kerja normal. Ukuran dari kontaktor ditentukan oleh batas kemampuan arusnya. Biasanya pada kontaktor terdapat beberapa kontak, yaitu kontak normal membuka (Normally Open = NO) dan kontak normal menutup (Normally Close = NC). Kontak NO berarti saat kontaktor magnet belum bekerja kedudukannya membuka dan bila kontaktor bekerja kontak itu menutup/menghubung. Sedangkan kontak NC berarti saat kontaktor belum bekerja kedudukan kontakannya menutup dan bila kontaktor

bekerja kontak itu membuka. Jadi fungsi kerja kontak NO dan NC berlawanan. Kontak NC bekerja membuka sesaat lebih cepat sebelum kontak NO menutup. Koil adalah lilitan yang apabila diberi tegangan akan terjadi magnetisasi dan menarik kontak-kontaknya sehingga terjadi perubahan atau bekerja. Kontaktor yang dioperasikan secara elektromagnetis adalah salah satu mekanisme yang paling bermanfaat yang pernah dirancang untuk penutupan dan pembukaan rangkaian listrik.

6. Relay

Relay merupakan suatu peranti yang menggunakan elektromagnet untuk mengoperasikan seperangkat kontak saklar. Susunan paling sederhana terdiri dari kumparan kawat penghantar yang dililit pada inti besi. Bila kumparan ini dienergikan, medan magnet yang terbentuk menarik armatur berporos yang digunakan sebagai pengungkit mekanisme saklar. Relay digunakan sebagai alat penghubung pada rangkaian dan pada beberapa aplikasi pada industri dan kontrol proses memerlukan relay sebagai elemen kontrol penting.

7. Saklar Sensor Tegangan

Saklar ini berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan tegangan yang masuk ke inverter secara otomatis, saklar ini bekerja berdasarkan tegangan yang dibaca oleh sensor pada baterai. Bila baterai siap digunakan oleh beban maka saklar ini akan mengalirkan arus listrik ke inverter dan bila arus pada baterai telah habis terpakai, maka saklar ini akan memutuskan aliran arus listrik ke inverter.

8. Time Delay Relay

Time Delay Relay adalah alat yang digunakan sebagai pengatur waktu bagi peralatan yang dikendalikannya. Timer ini dimaksudkan untuk mengatur waktu hidup atau mati pada suatu rangkaian atau komponen dalam tunda waktu tertentu. Timer dapat dibedakan dari cara kerjanya yaitu timer yang bekerja menggunakan induksi motor dan menggunakan rangkaian elektronik. pada rancangan pembangkit solar home system yang diintegrasikan dengan jaringan listrik dari PLN menggunakan kendali relay dan kontaktor magnet, alat ini

digunakan sebagai perangkat tambahan untuk memberikan waktu kepada inverter untuk dapat bekerja stabil terlebih dahulu sebelum dibebani, saat akan terjadi perpindahan sumber penyuplai beban.

Pada mode pertama. Alat ini bersifat fleksibel artinya dapat digunakan atau tidak digunakan. Sebagai catatan untuk penggunaan jenis inverter yang bagus perangkat ini, boleh untuk tidak digunakan.

4.2.3 Sistem On Grid dan Off Grid

Sistem On grid merupakan penggunaan satu buah sistem atau lebih, pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan yang dikoneksikan dengan sumber energi listrik dari PLN. Umumnya sumber pembangkit yang dikoneksikan dengan sumber energi listrik dari PLN ini adalah pembangkit listrik tenaga surya ataupun pembangkit listrik tenaga angin, karena kedua jenis sumber pembangkit ini dapat menghasilkan energi listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Dengan adanya sistem ini maka diharapkan akan dapat membantu mengurangi tagihan listrik rumah tangga, dan memberikan nilai tambah pada pemiliknya.

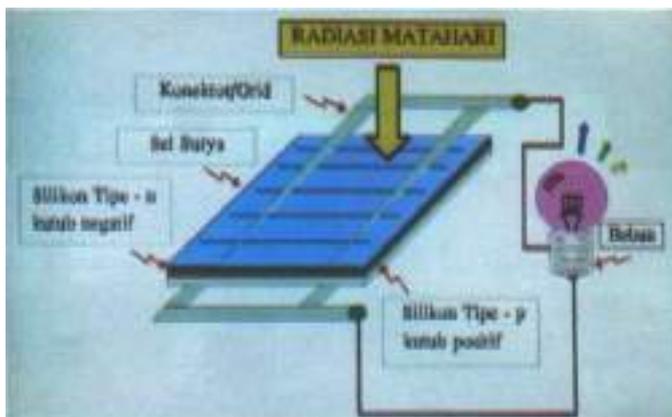
Sedangkan sistem Off grid merupakan sistem pembangkit listrik tenaga surya maupun tenaga angin, untuk daerah-daerah terpencil/pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN. Yang mana sistem ini hanya mengandalkan energi matahari, atau energi angin sebagai satu-satunya sumber energi utama untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan. Beberapa produk off grid system diantaranya PJUTS, dan PLTS Komunal untuk sistem berskala besar.

4.2.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

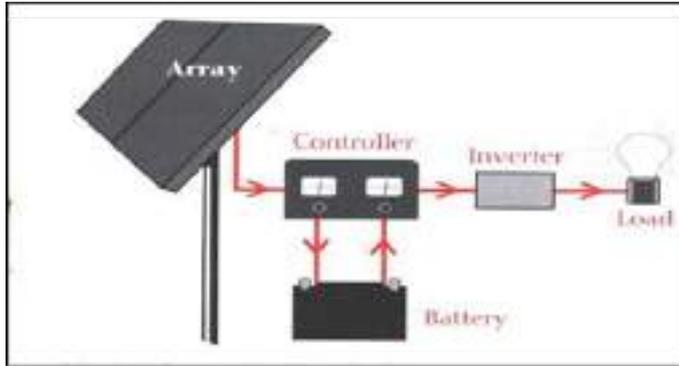
Fotovoltaik (biasanya disebut juga sel surya) adalah piranti semikonduktor yang dapat merubah cahaya secara langsung menjadi menjadi arus listrik searah (DC) dengan menggunakan kristal silikon (Si) yang tipis. Sebuah silindris (Si) diperoleh dengan cara memanaskan Si itu dengan tekanan yang diatur sehingga Si itu berubah menjadi penghantar. Bila kristal silindris itu dipotong setebal 0,3 mm, akan terbentuklah sel-sel silikon yang tipis atau disebut juga dengan sel surya (fotovoltaik). Sel-sel silikon itu dipasang dengan posisi sejajar/seri dalam sebuah panel yang terbuat dari aluminium atau baja anti karat dan dilindungi oleh kaca atau plastik. Kemudian pada tiap- tiap sambungan sel itu diberi sambungan listrik. Bila sel-sel itu terkena sinar

matahari maka pada sambungan tersebut akan mengalir arus listrik. Besarnya arus/tenaga listrik itu tergantung pada jumlah energi cahaya yang mencapai silikon dan luas permukaan sel itu.

Pada dasarnya sel surya fotovoltaik merupakan suatu dioda semikonduktor yang bekerja dalam proses tak seimbang dan berdasarkan efek fotovoltaik. Dalam proses itu sel surya menghasilkan tegangan 0,5-1 Volt tergantung intensitas cahaya dan jenis zat semikonduktor yang dipakai. Sementara itu intensitas energi yang terkandung dalam sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi besarnya sekitar 1000 Watt. Tapi karena daya guna konversi energi radiasi menjadi energi listrik berdasarkan efek fotovoltaik baru mencapai 25%, maka produksi listrik maksimal yang dihasilkan sel surya baru mencapai maksimal yang dihasilkan sel surya baru mencapai 250 Watt per m². Komponen utama sistem surya fotovoltaik adalah modul yang merupakan unit rakitan beberapa sel surya fotovoltaik. Modul fotovoltaik tersusun dari beberapa sel fotovoltaik yang dihubungkan secara seri dan paralel. Teknologi ini cukup canggih dan keuntungannya adalah harga murah, bersih, mudah dipasang dan perawatan yang mudah. Sedangkan kendala utama yang dihadapi dalam pengembangan energi surya fotovoltaik adalah investasi awal yang besar dan harga per kWh listrik yang dibangkitkan relatif tinggi, karena memerlukan subsistem yang terdiri atas baterai, unit pengatur (controller) dan inverter sesuai dengan kebutuhannya. Cara kerja photovoltaik diperlihatkan pada gambar 4.1 dan pada gambar 4.2 diperlihatkan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)



Gambar 4.1: Cara Kerja Fotovoltaik



Gambar 4.2: Cara Kerja Fotovoltaik

PLTS dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam sistem catudaya yang antara lain:

1. Sistem listrik penerangan rumah seperti: Sistem sentralisasi, sistem semi sentralisasi, sistem desentralisasi dan sistem hybrid.
2. Sistem pompa air seperti: Pompa Air Minum dan Pompa Irigasi
3. Sistem kesehatan seperti: Penyimpan vaksin, penyimpan darah, komunikasi stasiun kereta api.
4. Sistem komunikasi seperti: Televisi, repeater, radio repeater, komunikasi stasiun kereta api.
5. Sistem Pemandu Transportasi seperti: Radio sinyal bandara, penunjuk jalan, persimpangan jalan kereta api, penerangan terowongan, lampu suar untuk navigasi, lampu-lampu rambu.
6. Sistem proteksi karat seperti: Proteksi katodik untuk jembatan, pipa, proteksi struktur baja.
7. Lain-lain seperti: Lampu penerang jalan, sistem pencatat gempa, lampu taman, air mancur, kalkulator, arloji dan mobil surya.

Ada 5 keuntungan pembangkit listrik dengan surya fotovoltaik:

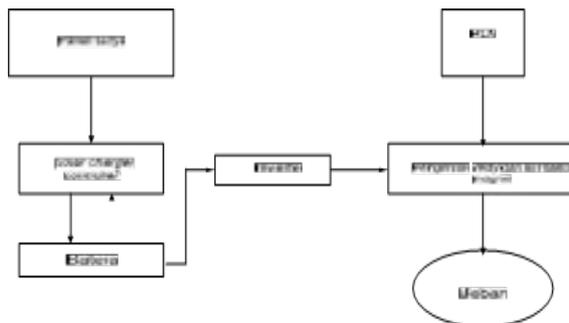
1. Energi yang digunakan energi yang tersedia secara Cuma-Cuma
2. Perawatan mudah dan sederhana
3. Tidak terdapat peralatan yang bergerak, sehingga tidak perlu penggantian suku cadang dan penyetelan serta pelumasan.

4. Peralatan bekerja tanpa suara dan berdampak negatif terhadap lingkungan
5. Dapat bekerja secara otomatis.

4.2.5 Integrasi Solar Home System

1. Dengan Jaringan Listrik PLN Menggunakan Kendali Relay Dan Kontaktor Magnet.

Integrasi Solar Home System dengan jaringan Listrik PLN menggunakan kendali relay dan kontaktor magnet, dimaksudkan untuk dapat menyuplai beban listrik arus bolak-balik (AC) secara kontinyu tanpa terputus atau sebagai langkah untuk menghemat dan mengatasi kebutuhan akan energi listrik di kota pontianak, dan dapat dilakukan secara bergantian sesuai dengan kebutuhan dan kondisi. Suplai listrik utama untuk beban dapat diatur sesuai keinginan pengguna, apakah sumber energi listrik dari panel surya sebagai sumber utama, kemudian sumber listrik dari PLN sebagai cadangan atau berlaku sebaliknya. Tentunya hal ini disesuaikan dengan kondisi yang ada. Kemudian sebagai catatan, jika kita ingin menggunakan sistem ini untuk menyuplai beban listrik arus searah (DC).



Gambar 4.3: Skema Diagram Satu Garis Integrasi Solar Home System dengan jaringan listrik PLN menggunakan relay dan kontaktor magnet untuk beban AC

Maka diperlukan penambahan alat pada sistem berupa penyearah, yannantinya penyearah ini akan dipasang pada sumber listrik dari

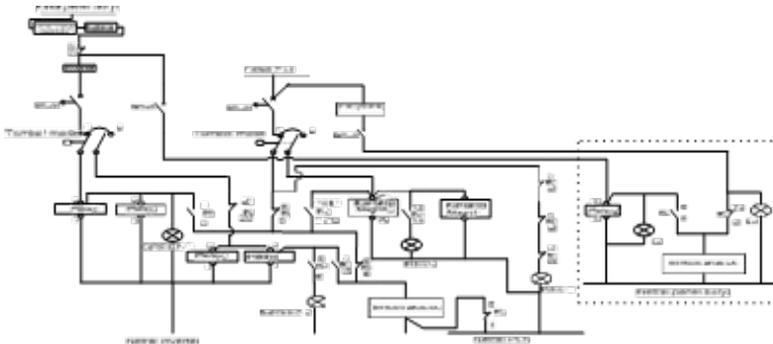
PLN. Berikut gambar skema diagram satu garis integrasi solar home system dengan jaringan listrik PLN menggunakan kendali relay dan kontaktor magnet untuk beban arus bolak-balik (AC).

2. Rancangan Unit Kendali

Untuk membuat/merancang unit pengendali ini maka diperlukan beberapa unit komponen utama dan komponen pembantu yaitu diantaranya adalah:

- Dua unit kontaktor magnet, mitsubishi S-N!@ dan Kisho S-N21 kapasitas 20A tegangan 220-240V frekuensi 50 HZ.
- Empat unit Relay OMRON MK2P-I kapasitas kontak No.10 kontak NC 5A tegangan 220V.
- Satu unit Relay OMRON MJ2Y kapasitas kontak NO 5 A kontak NC 5A tegangan 24 VOLT DC.
- Empat buah MCB (Miniature Circuit Breaker) dengan kapasitas 4A dan 2A.
- Dua buah tombol push button jenis kutub dan kontak ganda
- Enam buah lampu indikator
- Enam buah lampu indikator
- Papan instalasi plus terminal

Berikut diagram satu garis rangkaian pengendali interaksi solar home sistem dengan jaringan listrik PLN menggunakan relay dan kontaktor magnet ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4: Rangkaian Pengendali Integrasi Solar Home System dengan Jaringan Listrik PLN

Keterangan Gambar:

1. Fasa Panel Surya : Tegangan fasa dari Solar Home Sistem
2. Fasa PLN : Tegangan fasa dari PLN
3. Charger Controller : Mengatur pengisian listrik dari Panel surya ke baterai
4. Baterai : Alat yang digunakan untuk menyimpan energi listrik dari panel surya.
5. Peyearah : Alat yang difungsikan untuk merubah tegangan AC sumber listrik PLN
6. MCB : Pengaman hubung singkat penghubung dari sumber listrik ke sistem.
7. R : Relay
8. K : Kontaktor Magnet
9. Tombol Mode : Tombol pilihan untuk menentukan sumber pembangkit utama dan cadangan
10. 21-22 K : Kontak NC pada Kontaktor
11. 31-32 K : Kontak NC pada Kontaktor
12. 8-5 R : Kontak NC pada Relay
13. 2-7 R : Koil pada Relay
14. A1-A2 K : Koil pada Kontaktor Magnet
15. 1-3 R : Kontak No pada Relay

Berikut bentuk fisik dari rangkaian unit pengendali integrase solar home system dengan jaringan PLN ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5: Bentuk Fisik Rangkaian Pengendali

Bab 5

Pemeliharaan dan Monitoring PLTS

Pemanfaatan sumber energi terbarukan, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), telah menjadi fokus utama dalam upaya menjaga keberlanjutan lingkungan dan mengurangi dampak perubahan iklim. PLTS merupakan teknologi yang memanfaatkan sinar matahari untuk menghasilkan energi listrik secara bersih dan ramah lingkungan. Namun, untuk memastikan efisiensi dan keberlanjutan operasi PLTS, diperlukan pemeliharaan yang teratur dan terencana.

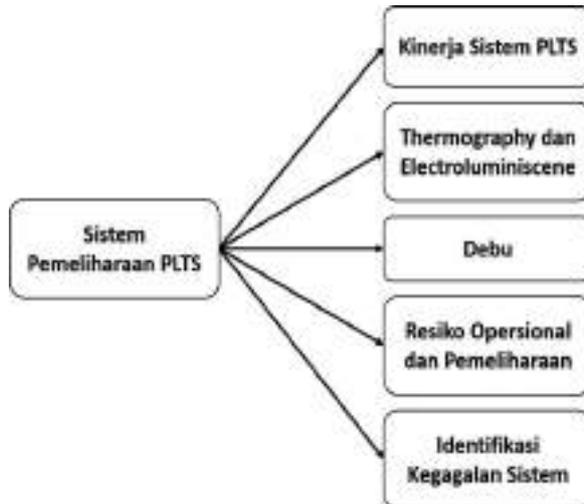
Pemeliharaan PLTS merupakan aspek kunci dalam memastikan bahwa sistem ini dapat beroperasi secara optimal. Pemeliharaan teratur mencakup pemeriksaan rutin, perawatan, dan perbaikan jika diperlukan. Hal ini penting untuk menjaga efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik serta meminimalkan kerusakan atau kegagalan yang dapat mengganggu pasokan energi listrik dari PLTS. Oleh karena itu, pemeliharaan PLTS tidak hanya diperlukan untuk memperpanjang usia pakai sistem, tetapi juga untuk mengurangi biaya operasional jangka panjang.

Pemeliharaan dan monitoring saling terkait erat dalam menjaga kinerja optimal suatu sistem atau perangkat. Monitoring adalah langkah awal yang penting dalam pemeliharaan, karena kita perlu terus-menerus mengawasi kinerja

sistem atau perangkat. Dengan melakukan pemantauan yang berkala, kita bisa mendeteksi masalah atau potensi masalah sebelum mereka menjadi lebih serius. Misalnya, dalam kasus Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), pemantauan bisa membantu kita melacak produktivitas PLTS dan mendeteksi penurunan kinerja atau masalah komponen seperti panel surya yang kotor atau rusak.

5.1 Pemeliharaan PLTS

Pemeliharaan menjadi bagian yang sangat penting dalam sistem PLTS. Bagian ini berfungsi untuk memastikan sistem bekerja dengan baik. PLTS merupakan sumber energi yang bersih dan ramah lingkungan, tetapi tanpa pemeliharaan yang tepat, efisiensi dan daya hasilnya dapat menurun. Pada gambar 9 dapat dilihat diagram pemeliharaan PLTS yang meliputi: Kinerja PLTS, thermography dan Electroluminiscene, debu, risiko operasional dan pemeliharaan dan identifikasi kegagalan sistem(Hernández-Callejo, Gallardo-Saavedra and Alonso-Gómez, 2019).



Gambar 5.1: Diagram Pemeliharaan PLTS (Hernández-Callejo, Gallardo-Saavedra and Alonso-Gómez, 2019)

Pemeliharaan yang teratur dapat membantu dalam menjaga sistem PLTS beroperasi pada tingkat efisiensi yang optimal, sehingga meningkatkan produksi energi. Pemeliharaan juga membantu dalam mendeteksi masalah sejak dini, mencegah kerusakan yang mungkin mengganggu pasokan listrik, dan mengurangi biaya perbaikan. Dalam era keberlanjutan, menjaga sistem kondisi baik adalah langkah penting dalam mendukung peralihan menuju energi bersih dan ramah lingkungan, serta mengoptimalkan investasi dalam teknologi energi terbarukan.

5.1.1 Kinerja Sistem PLTS

Pendinginan adalah faktor kritis yang dapat memengaruhi kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Suhu yang tinggi dapat mengurangi efisiensi panel surya. Ketika suhu panel naik, kemampuan panel untuk mengubah cahaya matahari menjadi listrik (efisiensi konversi) dapat menurun. Oleh karena itu, pendinginan yang efektif dapat membantu menjaga suhu panel surya tetap pada tingkat yang optimal, meningkatkan efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik.

Selain itu suhu yang tinggi juga dapat mengurangi masa penggunaan panel surya karena menyebabkan terjadinya degradasi material dan komponen lainnya. Hal lain yang perlu diwaspadai adalah terjadinya risiko overheating atau panas yang sangat tinggi. Kondisi ini dapat mengakibatkan kerusakan komponen hingga menyebabkan kegagalan sistem.

Metode pendinginan dapat dibagi menjadi dua kelompok: pasif dan aktif. Dalam kelompok pasif, terdapat metode pendinginan menggunakan heat pipe atau pipa panas, Sistem ini menggunakan pipa panas yang terisi dengan cairan yang menguap pada suhu rendah. Selanjutnya dapat menggunakan heat sinks yang ditempatkan di bagian belakang panel surya untuk meningkatkan perpindahan panas ke udara melalui sistem konveksi. Selain itu juga dapat menggunakan heat separators. Sistem ini memiliki struktur yang terletak di antara panel-panel fotovoltaik untuk meningkatkan sirkulasi udara.

Pada sistem pendinginan aktif dapat menggunakan Kipas untuk meningkatkan sirkulasi udara di sekitar panel surya. Udara yang bergerak lebih cepat dapat membantu menghilangkan panas lebih efektif dari permukaan panel, menjaga suhu tetap rendah. Penggunaan Pompa air juga dapat digunakan dengan cara mengalirkan air atau campuran air-glikol ke dalam pipa-pipa yang melewati panel surya. Air ini mengambil panas dari panel dan kemudian dialirkan ke

radiator atau penukar panas lainnya di mana panasnya dilepaskan ke lingkungan. (Bahaidarah, Baloch and Gandhidasan, 2016)

Perlu diperhatikan dalam penggunaan adalah kondisi iklim, perawatan rutin, pemantauan suhu, kontrol otomatis, keberlanjutan energi, proteksi terhadap kebocoran, biaya dan anggaran dan konsultasi ahli.

5.1.2 Thermography and electroluminescence

Thermography (termografi) dan Electroluminescence (elektroluminesensi) adalah dua teknik penting yang digunakan untuk inspeksi dan pemeliharaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

Berikut adalah fungsi masing-masing teknik:

1. Thermography (Termografi):
 - a. Mendeteksi Hotspots: Thermography digunakan untuk mengidentifikasi hotspot atau titik panas pada panel surya. Hotspot adalah daerah pada panel surya yang lebih panas dari yang seharusnya, dan ini bisa menjadi indikasi adanya masalah atau kerusakan pada panel tersebut.
 - b. Pemantauan Suhu: Thermography membantu dalam pemantauan suhu panel surya. Jika suhu panel naik di luar batas normal, ini dapat mengindikasikan adanya gangguan atau efisiensi yang menurun.
 - c. Pemantauan Kinerja: Dengan mengukur suhu panel, thermography dapat memberikan informasi tentang kinerja keseluruhan PLTS. Penurunan suhu panel yang tidak normal bisa menjadi tanda adanya masalah.
2. Electroluminescence (Elektroluminesensi):
 - a. Deteksi Cacat dan Kerusakan: Electroluminescence imaging memungkinkan deteksi cacat atau kerusakan pada panel surya dengan cara mendeteksi radiasi cahaya yang dihasilkan ketika muatan bergerak melalui sel surya. Ini memungkinkan identifikasi cacat seperti patah, retak, atau area yang rusak.
 - b. Pemantauan Integritas Sel Surya: Electroluminescence membantu memantau integritas setiap sel surya dalam panel,

memungkinkan untuk identifikasi masalah di tingkat sel individual.

- c. Evaluasi Kualitas Instalasi: Teknik elektroluminesensi dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas instalasi panel surya dan untuk memastikan bahwa mereka berfungsi seperti yang diharapkan.

Kedua teknik ini membantu dalam menjaga kinerja dan keandalan PLTS dengan mendeteksi masalah, cacat, atau gangguan yang mungkin muncul selama masa operasi. Ini memungkinkan pemilik PLTS untuk mengambil tindakan perbaikan sebelum masalah berkembang menjadi lebih serius, yang pada gilirannya membantu memperpanjang umur pakai dan efisiensi sistem fotovoltaik.

5.1.3 Debu

Akumulasi debu pada panel surya dapat mengurangi efisiensi dan kinerja sistem secara signifikan. Debu yang menumpuk pada permukaan panel surya menghalangi cahaya matahari untuk mencapai sel surya, mengakibatkan penurunan efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik. Hal ini dapat mengurangi daya yang dihasilkan oleh panel surya dan memerlukan perawatan rutin untuk menjaga efisiensi optimal. Selain itu, debu juga dapat menyebabkan peningkatan suhu operasi, yang dapat mengurangi efisiensi panel. Oleh karena itu, pemeliharaan dan pembersihan berkala sangat penting untuk menjaga kinerja panel surya dan memaksimalkan produksi energi. faktor akumulasi kotoran dan debu harus diperhitungkan, karena jika diabaikan, produksi akan memiliki perbedaan yang cukup besar antara hasil sebenarnya dan yang diperkirakan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa debu dapat mengurangi arus maksimum antara 6,9% hingga 16,4%, tergantung pada periode paparan panel fotovoltaik terhadap debu (hari dan bulan). (Abderrezek and Fathi, 2017)

Pemeliharaan panel surya dalam mengatasi debu adalah penting untuk memaksimalkan kinerja dan umur pakai sistem. Berikut adalah beberapa praktik pemeliharaan untuk mengurangi dampak debu pada panel surya:

1. Pembersihan Berkala: Lakukan pembersihan rutin panel surya untuk menghilangkan debu dan kotoran yang menumpuk. Gunakan air bersih, spons lembut, dan sabun ringan untuk membersihkannya.

Hindari penggunaan bahan-bahan abrasif yang dapat merusak permukaan panel.

2. **Monitoring Kinerja:** Pantau kinerja panel surya secara berkala untuk memastikan tidak ada penurunan produksi energi yang signifikan. Jika terjadi penurunan, pembersihan lebih intensif mungkin diperlukan.
3. **Teknologi Anti-Debu:** Pertimbangkan penggunaan teknologi anti-debu seperti pelapis anti-reflektif atau teknologi pemisahan diri untuk mengurangi akumulasi debu pada panel.
4. **Lokasi Pemasangan:** Pemilihan lokasi pemasangan yang tepat dapat membantu mengurangi paparan panel surya terhadap debu. Hindari pemasangan di dekat sumber debu seperti jalan berdebu atau daerah pertanian yang kering.
5. **Perawatan Rutin:** Selain pembersihan, pastikan perangkat keras dan koneksi elektrik panel surya dalam kondisi baik. Perawatan rutin ini akan membantu mencegah kerusakan akibat debu.
6. **Sumber Air Bersih:** Pastikan panel surya memiliki akses ke sumber air bersih untuk memudahkan pembersihan. Ini sangat penting dalam lingkungan yang kering atau berdebu.
7. **Analisis Dampak Lingkungan:** Pertimbangkan karakteristik lingkungan tempat panel surya dipasang, seperti jenis debu yang dominan. Ini dapat membantu merencanakan pemeliharaan yang lebih tepat.

5.1.4 Risiko Operasional dan Pemeliharaan

Risiko operasional dan pemeliharaan pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) melibatkan serangkaian potensi masalah dan tantangan yang harus diidentifikasi dan dinilai.

Metodologi tindakan meliputi langkah-langkah berikut (Kamenopoulos and Tsoutsos, 2015):

1. Temukan apa yang bisa berpotensi berbahaya.
2. Lakukan langkah-langkah untuk mengendalikannya.
3. Buat keputusan terkait risiko.

4. Evaluasi apa yang bisa berbahaya.
5. Pantau dan atur perubahan yang terjadi.

Operasi dan pemeliharaan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) memiliki sejumlah risiko yang perlu diperhatikan. Salah satu risiko utama adalah bahaya listrik saat bekerja dengan panel surya. Meskipun bukan risiko sangat serius, tetapi ini bisa menjadi masalah serius jika tidak ditangani dengan hati-hati. Oleh karena itu, pelatihan dan prosedur keamanan yang tepat sangat penting.

Selain itu, ada risiko kebakaran yang berkaitan dengan tindakan pemadaman yang mungkin diperlukan untuk mengatasi masalah di panel surya. Risiko ini perlu dikelola dengan baik untuk menghindari kebakaran yang berpotensi merusak sistem PLTS. Risiko moderat terkait cuaca buruk seperti petir yang bisa merusak sistem. Terutama saat melakukan pemeliharaan selama cuaca buruk, tindakan pencegahan harus diambil.

Ada beberapa risiko lebih rendah yang melibatkan tindakan manusia dan bahaya potensial untuk penerbangan. Untuk mengelola risiko ini, pemahaman dan langkah-langkah keamanan yang sesuai perlu diterapkan. Jadi, dalam menjalankan dan merawat PLTS, penting untuk memahami dan mengidentifikasi risiko-risiko ini serta mengambil tindakan yang sesuai untuk menjaga keselamatan, kinerja, dan ketahanan sistem. Kesadaran tentang risiko operasional ini membantu sistem PLTS berfungsi dengan baik dan aman dalam jangka waktu yang lama.

5.1.5 Identifikasi Kegagalan Sistem

Pembangkit listrik tenaga surya terdiri dari banyak bagian. Namun, kita bisa mengelompokkan bagian-bagian ini menjadi beberapa kelompok besar. Bagian-bagian ini mencakup generator fotovoltaik, inverter, stasiun transformator Tegangan Menengah (MV), alat pengukuran, sistem keamanan, sistem komunikasi, sistem pemantauan, hubungan dengan jaringan listrik, dan pekerjaan konstruksi.

Identifikasi kegagalan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan langkah krusial dalam menjaga kinerja optimal dan memastikan bahwa sistem beroperasi dengan baik sepanjang masa pakainya.

Beberapa jenis kegagalan yang perlu diperhatikan dalam pemeliharaan PLTS adalah:

1. **Penurunan Produksi Energi:** Penurunan tajam dalam produksi energi matahari dapat menjadi indikasi adanya masalah dalam sistem. Penumpukan debu yang berlebihan pada panel surya atau kehilangan efisiensi konversi energi dapat menyebabkan penurunan produksi.
2. **Kerusakan Fisik:** Pemeriksaan visual mendalam diperlukan untuk mendeteksi kerusakan fisik pada panel surya. Kerusakan seperti retak, goresan, atau struktur penyangga yang rusak harus segera diperbaiki.
3. **Kinerja Inverter:** Inverter yang tidak berfungsi dengan baik atau menghasilkan output yang tidak stabil dapat mengurangi efisiensi keseluruhan sistem PLTS. Penurunan kualitas daya konversi harus segera di atasi.
4. **Gangguan Koneksi Elektrik:** Gangguan dalam koneksi listrik, seperti sambungan kabel yang longgar atau korsleting, dapat memengaruhi aliran energi dari panel surya ke sistem. Ini dapat mengakibatkan potensi kegagalan.
5. **Masalah Pada Baterai:** Sistem PLTS dengan penyimpanan baterai dapat mengalami penurunan kapasitas baterai atau bahkan kegagalan baterai. Pemantauan dan pemeliharaan baterai sangat penting untuk menjaga kinerja sistem.

Dalam mengidentifikasi kegagalan ini, pemantauan dan inspeksi berkala sangat diperlukan untuk mendeteksi masalah sejak dini. Langkah-langkah pemeliharaan yang tepat waktu dan perbaikan yang cermat akan membantu memastikan bahwa PLTS tetap beroperasi dengan efisien dan menghasilkan energi yang maksimal. Kesadaran tentang potensi kegagalan ini adalah kunci untuk menjaga investasi dalam energi surya yang berkelanjutan.

5.2 Monitoring PLTS

Monitoring Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah komponen penting dalam menjaga kinerja optimal dan memaksimalkan manfaat dari investasi energi surya. Pentingnya pemantauan terletak pada kemampuannya untuk memberikan informasi yang akurat tentang kinerja sistem secara real-time. Dengan pemantauan yang baik, masalah pada sistem dapat diidentifikasi sejak dini, seperti penumpukan debu pada panel surya, kerusakan fisik, atau kerusakan inverter. Ini memungkinkan tindakan perbaikan yang tepat waktu dan mencegah penurunan produksi energi yang signifikan.

Komponen pemantauan meliputi sensor, perangkat pemantauan, dan perangkat lunak pemantauan. Sensor mengukur berbagai parameter seperti suhu, radiasi surya, dan produksi listrik, sementara perangkat pemantauan mengumpulkan data dari sensor dan menyediakan akses mudah ke informasi tersebut. Perangkat lunak pemantauan memproses data ini dan memberikan analisis yang tepat.

Sistem pemantauan yang baik melibatkan beberapa langkah. Ini memerlukan penggunaan sensor nirkabel atau berkabel untuk mencatat berbagai pengukuran lingkungan serta parameter listrik dan fisik dari berbagai komponen pada sistem. Data yang dicatat oleh perangkat elektronik dan sensor disimpan dalam Perekam Data dan kemudian dikirimkan ke pengguna, misalnya melalui komputer, perangkat cerdas, atau situs web. Sensor ini menghasilkan sejumlah besar data, yang kemudian diolah, disimpan, dan disajikan dalam bentuk laporan berkala agar mudah dimengerti.



Gambar 5.2.: Arsitektur Sistem Monitoring Panel Surya (Kamenopoulos and Tsoutsos, 2015)

Arsitektur monitoring panel surya adalah susunan komponen dan sistem yang digunakan untuk mengawasi dan memantau kinerja panel surya. Ini melibatkan beberapa tahap penting dalam proses pemantauan yang mencakup pengumpulan data, pengolahan informasi, dan penyajian hasil pemantauan.

Berikut adalah elemen-elemen utama dalam arsitektur monitoring panel surya:

1. **Sensor Lingkungan:** Sensor lingkungan adalah komponen awal dalam pemantauan panel surya. Sensor ini mengukur parameter lingkungan seperti suhu, radiasi surya, kelembaban, dan intensitas cahaya matahari. Data yang dihasilkan oleh sensor ini memberikan pemahaman tentang kondisi cuaca dan lingkungan yang memengaruhi kinerja panel surya.
2. **Sensor Listrik dan Fisik:** Selain sensor lingkungan, sensor listrik dan fisik digunakan untuk mengukur parameter-panel panel surya itu sendiri. Ini termasuk pengukuran arus listrik, tegangan, dan suhu panel. Data ini membantu dalam menilai kesehatan dan kinerja panel surya secara langsung.
3. **Data Logger:** Data yang diperoleh dari sensor lingkungan dan sensor listrik/fisik dikirim ke perangkat yang disebut Data Logger. Data Logger berfungsi sebagai pengumpul data yang mengorganisir dan menyimpan semua informasi yang diterima dari sensor. Perangkat ini juga mengatur waktu dan interval pengukuran.
4. **Koneksi Komunikasi:** Data Logger terhubung ke sistem komunikasi, yang dapat berupa koneksi nirkabel (seperti Wifi atau seluler) atau koneksi kabel. Ini memungkinkan data untuk dikirim ke pemantauan pusat atau perangkat pemilik secara real-time atau secara berkala.
5. **Perangkat Pemantauan Pusat:** Di sisi penerima, data dari Data Logger masuk ke perangkat pemantauan pusat. Ini bisa berupa komputer, perangkat cerdas, atau situs web yang dapat diakses oleh pemilik panel surya. Di sini, data diolah, disajikan dalam bentuk grafik atau laporan, dan dapat diakses oleh pemilik atau operator sistem PLTS.
6. **Laporan dan Pemberitahuan:** Pada tahap akhir, hasil pemantauan dipresentasikan dalam bentuk laporan atau pemberitahuan. Pemilik panel surya dapat melihat data kinerja dan menerima pemberitahuan

jika ada masalah atau penurunan kinerja. Laporan ini membantu pemilik untuk memahami kinerja PLTS mereka dan mengambil tindakan jika diperlukan.

Arsitektur pemantauan panel surya ini memungkinkan pemilik untuk mengawasi dan memahami kinerja sistem mereka, mendeteksi masalah sejak dini, dan memaksimalkan potensi energi matahari. Ini juga memberikan kemudahan akses data yang diperlukan untuk pemeliharaan dan pengoptimalan sistem.

Bab 6

Finansial Dan Aspek Ekonomi PLTS

6.1 Pendahuluan

6.1.1 Keuangan Berkelanjutan dan Pembiayaan Hijau

Keuangan berkelanjutan merupakan istilah yang mengacu pada perkembangan manajemen keuangan, di mana tujuan manajemen keuangan tidak lagi diorientasikan untuk memaksimalkan kesejahteraan pemilik modal (misalnya pemegang saham) dalam waktu jangka pendek, tetapi berorientasi untuk mempertahankan keberlanjutan usaha dalam jangka panjang yang dilakukan dengan memperhatikan dampak keputusan pendanaan terhadap lingkungan hidup dan masyarakat luas. Salah satu aspek khusus dari keputusan manajemen keuangan adalah pendanaan, yaitu pendanaan yang menganut prinsip keuangan berkelanjutan, yang disebut sebagai *green financing* atau pendanaan "hijau" (pinjaman yang ramah lingkungan). Pembiayaan berkelanjutan dapat diartikan sebagai penciptaan nilai ekonomi dan sosial melalui model keuangan, model produk, dan pasar yang berkesinambungan dari masa ke masa.

Bab ini akan membahas model keuangan untuk pembiayaan proyek pembangkit listrik tenaga surya sebagai salah satu proyek alternatif yang diharapkan dapat berkontribusi dalam menjaga Kelestarian tidak hanya manfaat ekonomi sekaligus berdampak pada aspek sosial dan lingkungan bagi masyarakat, khususnya para pengguna dan pelanggan. Pembiayaan hijau dapat diartikan sebagai kebijakan bank untuk menyediakan produk dan layanan pinjaman, penyertaan modal, hanya kepada pelanggan yang mempertimbangkan aspek lingkungan dan sosial dari aktivitas bisnisnya. Dari pengertian tersebut, dapat diketahui bahwa (ASRI) adalah bagian dari proses analisis kredit dan kontrol risiko. Pentingnya analisis ASRI dalam analisis kredit dalam green financing atau pinjaman yang berorientasi pada lingkungan dapat dilihat dari sisi teori, maupun dari sisi peraturan dan potensi. Secara teori, kredit untuk proyek yang ramah lingkungan memiliki tingkat keuntungan yang berbeda-beda dibandingkan dengan kredit untuk proyek yang tidak ramah lingkungan. Pengukuran keuntungan bagi proyek yang tidak ramah lingkungan adalah keuntungan finansial, yang hanya diperoleh dari pendapatan setelah dikurangi biaya-biaya komersial. Dalam arti lain, definisi keuntungan finansial ini sama seperti pengertian laba atau rugi yang terdapat pada laporan keuangan komersial.

Sementara itu, pengukuran laba untuk proyek hijau adalah laba ekonomi, yang mana tidak hanya mempertimbangkan pendapatan maupun pengeluaran komersial, tetapi juga biaya peluang. Contoh biaya peluang antara lain adalah biaya akibat kerusakan lingkungan dan biaya untuk penanggulangan dampak sosial, seperti biaya yang timbul akibat dari terganggunya operasional yang dipicu oleh faktor sosial dan lingkungan yang dapat mengganggu kehidupan sehari-hari.

6.2 Regulasi

Oleh sebab itu, proyek yang berdampak langsung dan tidak ramah lingkungan dapat memberikan keuntungan finansial yang lebih besar dibandingkan proyek yang ramah lingkungan, tetapi dengan biaya peluang yang lebih tinggi, proyek yang tidak ramah lingkungan akan memberikan keuntungan ekonomi yang lebih minim dibandingkan proyek yang memperhatikan dampak lingkungan atau ramah lingkungan. Sebaliknya, proyek yang ramah lingkungan dapat memiliki keuntungan finansial yang lebih kecil daripada proyek yang tidak

ramah lingkungan (misalnya karena biaya depresiasi yang lebih tinggi untuk pembangunan fasilitas pengelolaan limbah, biaya yang lebih besar untuk kewajiban tanggung jawab sosial perusahaan), tetapi dengan biaya peluang yang lebih kecil, proyek yang ramah lingkungan akan memiliki keuntungan ekonomi yang lebih besar daripada proyek yang tidak ramah lingkungan. Ini tentunya akan berpengaruh pada keberlanjutan proyek, di mana keberlangsungan proyek yang ramah lingkungan dalam jangka panjang dapat diharapkan lebih baik daripada proyek yang tidak ramah lingkungan. Selain itu, dari perspektif regulasi, analisa ASRI (lingkungan dan sosial) menjadi sangat penting agar dapat mematuhi persyaratan regulasi yang berlaku. Ada beberapa peraturan di Indonesia yang mewajibkan Bank untuk memperhatikan isu-isu sosial dan lingkungan sebagaimana diuraikan di bawah ini. Ketentuan mengenai tanggung jawab Bank untuk memperhatikan aspek lingkungan dan sosial telah diatur dalam peraturan perundang-undangan dan peraturan Bank Indonesia.

Adapun peraturan-peraturan mengenai aspek lingkungan hidup yang wajib diperhatikan oleh Bank adalah sebagai berikut, sebagaimana terangkum dalam Dokumen Lingkungan Hidup dan Energi Bersih, Pedoman bagi Lembaga Pembiayaan yang dikeluarkan oleh OJK yaitu

1. UU No. 7/1992
2. UU No. 10/1998 (perubahan UU No. 7/1992)
3. UU No. 21/1998 tentang Perbankan Syariah
4. PBI No. 14/15/PBI/2012 tentang Penilaian Kualitas Aset Bank Umum
5. SE BI No. 15/28/DPNP, 2013 tentang Bank Umum Konvensional dan SE BI No.13/10/DPBS.

Ditinjau dari segi potensi, teknik analisis ASRI (lingkungan dan sosial) adalah hal yang "wajib" dikuasai oleh para analis kredit bank dan lembaga pembiayaan sebagai salah satu bagian dari studi pembiayaan proyek di bidang energi terbarukan, karena potensi energi terbarukan di Indonesia sangat besar. Besarnya potensi listrik yang dapat dihasilkan dari energi terbarukan di Indonesia dalam satuan *Mega Watt* (MW) dan *Giga Watt* (GW) dapat dilihat pada Tabel 6.1 di bawah ini.

Tabel 6.1:. Potensi energi Listrik Energi terbarukan di Indonesia[6]

Energi baru terbarukan	Potensi
Pembangkit Tenaga Air	75.000 MW
Pembangkit Panas Bumi(geotermal)	29.164 MW
Pembangkit Biomassa	49.810Mw
Pembangkit Surya(Solar)	112.000GW _p =89.600G w

Keterangan: 1GW=1.000MW

Total kapasitas listrik terpasang pembangkit listrik nasional, baik yang menggunakan bahan bakar konvensional atau fosil maupun yang menggunakan sumber daya terbarukan, pada pertengahan 2015 sebesar 51.620 MW. Angka ini hanya 33,52% dari total total potensi listrik yang dapat diproduksi oleh energi terbarukan yang dihasilkan oleh panas bumi, tenaga air dan biomassa (sebesar 153.974 MW). Sementara untuk tenaga surya sendiri memiliki potensi untuk memproduksi listrik sampai dengan 112.000 GW_p atau sekitar 89.600.000 MW. Dengan jumlah potensi tersebut, jika 10% saja dari potensi tenaga surya di Indonesia dapat diberdayakan menjadi kapasitas terpasang PLTS, maka potensi penerimaan yang bisa diperoleh per jam operasional PLTS bisa mencapai per jam pengoperasian PLTS dapat memperoleh pendapatan sebesar USD 1.164.800.000 sampai dengan USD 2.240.000.000. Keuntungan yang dapat diperoleh PLTS bisa lebih besar lagi jika menggunakan komponen modul fotovoltaik dengan Tingkat Kandungan Dalam Negeri (TKDN) minimal 40%, karena akan disubsidi dengan harga pembelian listrik yang lebih tinggi menjadi USD0,30 per kWh. Permen ESDM No. 19/2016 menjelaskan, besaran harga yang harus dibayar pembelian listrik dari PLTS Fotovoltaik untuk semua kapasitas, dibagi berdasarkan wilayah di Indonesia seperti yang ditunjukkan pada Tabel6. 2 di bawah ini.

Tabel 6.2: Tarif Pembelian Listrik dari PLTS FV

No	Daerah /Wilayah	Harga Pengembangan(sen USD per kWh)
1	DKI	14.5
2	Jabar	14.5
3	Banten	14.5
4	DYI dan Jateng	14.5
5	Jatim	14.5
6	Bali	16.0

7	Lampung	16.0
8	Sumsel, Jambi dan Bengkulu	15.0
9	Aceh	17.0
10	Sumut	16.0
11	Sumbar	15.5
12	Riau dan Kepri	17.0
13	Babel	17.0
14	Kalbar	17.0
15	Kalsel dan Kalteng	16.0
16	Sulu, Sulteng dan Sulbar	16.0
17	Sulsel,, Sulawesi Tenggara, dan Sulbar	16.0
18	NTB	16.0
19	NTT	18.0
20	Maluku dan Malut	23.0
21	Papua dan Papua Barat	25.0

Sumber: Kementerian Energi dan sumber daya mineral , telah diolah kembali

Peraturan Pemerintah ESDM No. 19/2016 memutakhirkan ketentuan TKDN di mana harga jual energi listrik akan dikoreksi apabila tidak dapat mencukupi persentase TKDN minimum menurut Menteri yang mengatur urusan Pemerintahan di bidang Industri. Namun demikian, terbatasnya kapasitas keterpasangan PLTS yang bisa dibangun dapat terkompensasi dengan adanya peluang untuk membangun PLTS di sebagian besar wilayah Indonesia. Hal ini terkait dengan lokasi Indonesia yang berada di garis khatulistiwa, sehingga mempunyai penyebaran potensi energi surya yang luas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1.

Gambar 6.1 di bawah, memperlihatkan sebagian besar wilayah Indonesia memiliki durasi rata-rata intensitas sinar matahari yang berpotensi menghasilkan listrik yang setara lebih dari 1.600 kWh/m². Hal ini memperlihatkan bahwa potensi pengembangan energi surya di Indonesia sangat tinggi, terutama di wilayah Nusa Tenggara dan Jawa Timur, Khusus untuk wilayah Nusa Tenggara, pendirian PLTS dapat menjadi salah satu alternatif prioritas untuk menanggulangi kurangnya pasokan listrik di daerah tersebut. Dengan melihat potensi yang sangat besar dalam penggunaan tenaga

surya sebagai PLTS di wilayah Indonesia, berikut ini akan dipaparkan ulasan mengenai proyek-proyek PLTS.



Gambar 6.1.: Rata-rata Jangka Panjang Intensitas Cahaya Matahari di Indonesia

6.3 Aspek Finansial

Secara ringkas, aspek finansial dari proyek energi terbarukan dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar tersebut mendeskripsikan hal-hal yang memengaruhi produksi pembangkit listrik dan komponen biayanya. Di bagian pendapatan, terlihat bahwa produksi pembangkit listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti debit air yang didasarkan pada analisis hidrologi untuk pembangkit listrik tenaga air atau pasokan bahan bakar yang terjamin untuk pembangkit listrik tenaga biomassa/gas. Dalam kasus pembangkit listrik tenaga surya, faktor yang memicu produksi adalah intensitas cahaya matahari atau radiasi matahari (w/m^2). Sementara di bagian peralatan dan mesin, turbin listrik dan mesin gas merupakan mesin dan peralatan utama untuk pembangkit listrik tenaga air dan pembangkit listrik tenaga angin. Sementara itu, pada kasus pembangkit listrik tenaga surya, komponen mesin dan peralatan utama adalah panel surya dan inverter.



Gambar 6.2: Gambar Rangkuman Komponen dan Aspek Keuangan Proyek Energi Terbarukan[3]

Yang utama yang harus dievaluasi dalam aspek keuangan pembiayaan PV surya adalah ketepatan asumsi yang digunakan. Adapun asumsi umum dari sebuah proyek PLTS dapat dijabarkan sebagai berikut. Asumsinya adalah bahwa tanah tempat pembangkit listrik tenaga surya dibangun akan diperoleh melalui sewa jangka panjang.

Biaya pembangunan struktur PLTS berkisar antara USD2,500,000-USD3,000,000 per MWp (tidak termasuk tanah) yang dapat dibagi menjadi:

1. Biaya panel surya senilai USD 0,46 per Wp
2. Inverter berkisar antara USD0,06- USD0,08 per Wp.
3. Peralatan Tambahan yang memiliki nilai biaya yang sama dengan Panel dan inverter.

Asumsi Debt to Equity Ratio yang masuk akal untuk sebuah proyek PLTS adalah 70:30. Pembagian ini dapat disesuaikan menjadi 50:50 jika investor memilih untuk mempergunakan peralatan dan komponen dengan tingkat kualitas tier 2. Jangka waktu pembiayaan proyek dengan skema pembiayaan proyek maksimal 10 tahun, sedangkan umur ekonomis PLTS diestimasikan mencapai 20-25 tahun. Nilai standard dari Levelled Cost of Energy adalah USD 0,04 per kWh (untuk kapasitas antara 1 MW dan 100 MW). Nilai standar biaya operasi dan perawatan adalah USD12-USD15 per tahun per kWp terinstal. Namun, untuk kondisi di Indonesia, nilai ini bisa lebih tinggi antara 10% - 20%.

Evaluasi dari pendapatan tidak hanya memperhitungkan penjualan dari listrik yang dihasilkan, tetapi dapat juga memperhitungkan penghematan dari biaya bahan bakar yang lebih tinggi (seperti diesel) dan penghasilan dari

perdagangan karbon (jika ada). Sedangkan evaluasi biaya mencakup biaya operasional dan biaya persiapan proyek, konstruksi sipil, serta mesin dan peralatan yang merupakan bagian dari komponen pengeluaran awal. Hal ketiga dalam mengevaluasi aspek finansial dari pembiayaan PLTS adalah melakukan uji tuntas finansial.

Hal-hal yang perlu mendapat sorotan lebih saat melakukan uji kelayakan finansial adalah:

1. Rincian biaya proyek harus mencakup jaminan kontingensi dan penyelesaian dengan nilai standar 5% dari total biaya yang dicadangkan minimal 1% untuk kerugian struktur pemasangan dan 3% untuk kerugian panel surya. sebagai loss in solar panel.
2. Laporan keuangan harus merefleksikan penanggulangan terhadap kelebihan biaya berdasarkan hasil perhitungan sensitivitas dan skenario dan mengakomodasi kemungkinan kebutuhan modal kontinjensi. Perencanaan pendanaan harus memperhatikan waktu setoran modal dari pemilik dan perjanjian utang.
3. Asumsi yang dipakai, termasuk di dalamnya asumsi ekonomi makro, sebaiknya realistis dan diperoleh dari sumber yang dapat dipercaya. Asumsi suku bunga pinjaman, kapitalisasi Interest During Construction (IDC), dan tingkat pengembalian merupakan asumsi fokus yang diperlukan bagi perbankan. Dalam melaksanakan pengujian tuntas keuangan, bank perlu memeriksa kelayakan komponen-komponen dari model keuangan yang digunakan oleh pengembang.

Komponen model keuangan yang lebih lengkap dari sebuah proyek PLTS adalah sebagai berikut:

1. Nilai investasi awal dan belanja modal selanjutnya
2. Asumsi operasional, dengan minimal efisiensi operasi sebesar 80%
3. Penjualan energi listrik dan pendapatan lain
4. Biaya operasional, pemeliharaan, admin dan sewa
5. Pajak dan retribusi
6. Depresiasi
7. Suku bunga dan IDC

8. Asuransi
9. Rasio keuangan (profitabilitas, likuiditas, solvabilitas)
10. Dividen
11. Cash flow schedule Ilustrasi rincian biaya sebuah proyek PLTS dengan skala kapasitas 1 MW dan sekitar 5 MW diberikan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 6.3: Cash flow schedule Ilustrasi rincian biaya untuk sebuah Proyek PLTS dengan Kapasitas 1 MW dan sekitar 5 MW

Cost Item	1 MW System		5 MW System	
	USD/Watt	USD/MW	USD/Watt	USD/5MW
Developer Cost	\$ 0.15	\$ 150.000	\$ 0.05	\$ 250.000
Engineering	\$ 0.50	\$ 500.000	\$ 0.20	\$ 1.000.000
Permitting	\$ 0.09	\$ 90.000	\$ 0.04	\$ 200.000
Site Preparation/Civil/Fencing	\$ 0.10	\$ 100.000	\$ 0.08	\$ 400.000
Pannel Procurment	\$ 0.85	\$ 850.000	\$ 0.85	\$ 4.250.000
Inverter/Transformer procurement	\$ 0.30	\$ 300.000	\$ 0.30	\$ 1.500.000
Racking procurement and instalation	\$ 0.30	\$ 300.000	\$ 0.30	\$ 1.500.000
Electrical Instalation(Panel/Inverter, transformers DC andAC System/SCADA	\$ 0.45	\$ 450.000	\$ 0.40	\$ 2.000.000
Commissioning	\$ 0.05	\$ 50.000	\$ 0.030	\$ 150.000
Total System	\$ 2.79	\$ 2.790.000	\$ 2.250	\$ 11.250.000

Selain dari itu, pada aspek finansial proyek-proyek pembangkit listrik di Indonesia, ada beberapa masalah yang perlu di atasi. Penagihan yang tidak efisien, biaya yang tidak dapat dipertanggungjawabkan, dan cost overrun

merupakan sebagian dari tantangan tersebut. Selanjutnya tantangan bagi lembaga keuangan, khususnya perbankan, adalah minimnya akses terhadap skema pendanaan proyek, yang mana perbankan lebih memilih skema pendanaan korporasi yang tergantung dari sisi neraca keuangan pihak sponsor, sedangkan proyek pembangkit listrik tenaga surya atau proyek pengembangan energi baru lainnya seharusnya dapat dibiayai dengan skema pembiayaan proyek.

6.4 Aspek Ekonomis

6.4.1 Gambaran Garis Besar Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Umumnya ada dua jenis pembangkit listrik tenaga surya, yaitu fotovoltaik (PV) dan panas matahari. Gambar 6.3 memperlihatkan penerapan pemanfaatan energy Surya.



Potovoltaik

Solar Water Heater

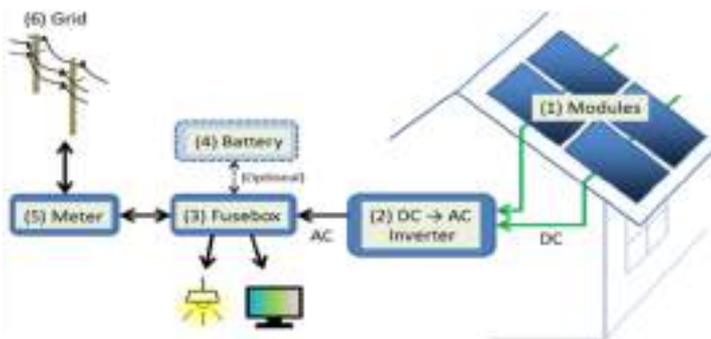
Gambar 6.3: Potovoltaik dan Solar Water Heater

Instalasi PLTS Solar Water Heater menggunakan panel surya yang secara langsung dapat mengubah tenaga surya menjadi listrik, sementara Solar Water Heater memanfaatkan panas dari matahari untuk memanaskan fluida kerja seperti air yang mengalir, untuk menghasilkan uap kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin yang disambung dengan generator untuk menghasilkan listrik. Secara sederhana mekanisme kerja PLTS termal surya digunakan pada peralatan pemanas air rumah tangga (biasanya dipasang di atap rumah dan

digunakan untuk memanaskan air mandi). Secara umum, PV termal surya sekarang ini menjadi lebih umum digunakan dengan ukuran pasar yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan Solar Water Heater. Hal ini terutama disebabkan karena keterbatasan teknis dari Solar Water Heater PV, yaitu harus diinstalasi di tempat tertentu yang terkena sinar matahari langsung dan secara ekonomis hanya dapat diinstalasi dalam skala besar di atas 20 MW (tidak dapat diinstalasi dengan sistem terdistribusi ala PLTS pada umumnya). Oleh karena itu, cakupan pembahasan pada bab ini adalah untuk PLTS PV. Tinjauan umum sistem PV dapat dibaca pada Gambar 6.4 dan 6.5.



Gambar 6.4: Residential grid-tied solar PV system diagram [4]



Gambar 6.5: Sistem Fotovoltaik

Tahap Pertama, panel surya mengubah energi surya menjadi listrik arus Searah (DC). Selanjutnya, inverter mengubah DC menjadi arus bolak-balik (AC) agar arus listrik dapat disalurkan dan dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan rumah tangga atau skala industri. Ketiga, kotak sekering sebagai alat untuk proteksi memutuskan dan menyambungkan arus yang mengalir DC maupun AC.

Keempat, sistem ini dapat dilengkapi dengan baterai untuk menyimpan daya yang dihasilkan panel surya yang belum terpakai atau digunakan.

Kelima, meteran merekam besaran listrik dari pembangkit listrik tenaga surya yang disalurkan ke jaringan listrik. Keenam, apabila pembangkit listrik tenaga surya menggunakan jaringan sendiri untuk menyalurkan listrik ke rumah tangga, maka jaringan tersebut disebut off-grid, sedangkan jika pembangkit listrik tenaga surya menggunakan jaringan perusahaan listrik lain, seperti PT PLN (Persero) di Indonesia, maka jaringan tersebut disebut on-grid. Jumlah listrik yang didistribusikan tercatat dalam meteran menjadi dasar untuk menghitung penjualan listrik dari pembangkit listrik tenaga surya, di mana hasil penjualan didapatkan dengan mengalikan jumlah listrik yang didistribusikan dalam meteran dengan FIT. Harus diperhatikan bahwa meteran tersebut biasanya dipasang semaksimal mungkin dengan jaringan (on-grid), sehingga sebuah PLTS perlu memperhatikan jarak antara area pembangkitannya dengan titik jaringan di mana meteran tersebut dipasang atau disebut dengan point of it, maka akan semakin besar pula nilai investasi yang harus disediakan oleh PLTS tersebut. Semakin besar pula biaya yang dibutuhkan untuk membangun koneksi dari pusat pembangkit ke POC dan semakin besar pula risiko "penguapan" listrik yang dihasilkan oleh pusat pembangkit selama proses pengiriman ke POC (susut jaringan). Pedoman umum untuk "penyusutan" atau "penguapan" listrik ini adalah 5% untuk jarak dari pembangkit ke POC sekitar 10 kilometer (km). PLTS adalah sistem pembangkit listrik energi terbarukan yang paling banyak digunakan di dunia.

Penggunaan pembangkit listrik tenaga surya memiliki beberapa keuntungan yang telah diakui secara internasional, antara lain:

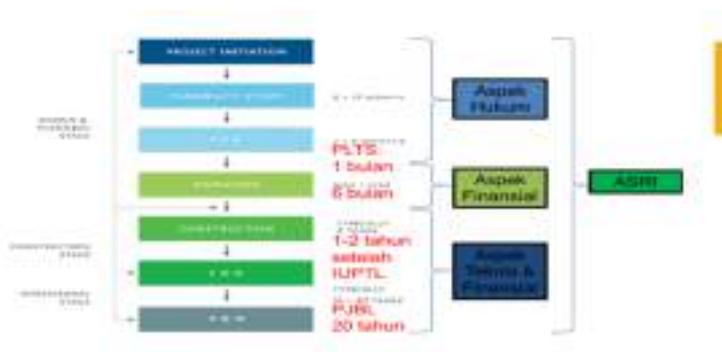
1. Terdapat banyak produsen yang dapat memberikan produk berkualitas mulai dari panel surya, inverter, sistem penyeimbangan listrik, sistem pemantauan, hingga jasa konstruksi dan pengadaan.
2. Semakin banyaknya produk yang terhubung dengan PLTS.
3. Pengembangan protokol dan standar pengujian internasional yang berkelanjutan.
4. Tren penurunan harga komponen utama.
5. Meningkatnya pengertian secara teknis dari para penyedia layanan.
6. Pengembangan pemodelan yang dapat dipercaya dan jumlah sumber data tenaga surya.

7. Peningkatan kepercayaan lembaga jasa keuangan internasional terhadap kelayakan proyek tenaga surya.

Data yang disediakan mencakup harga komponen utama PLTS berikut daftar penyedia komponen dengan kategori tingkat 1. Pengembangan sistem PLTS PV di Indonesia memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan pengembangan sistem pembangkit listrik lainnya.

Keuntungan-keuntungan tersebut antara lain:

1. Indonesia memiliki penyinaran sepanjang
2. Tidak membutuhkan bahan Bakar atau air.
3. Kebutuhan perawatan yang relatif minimal.
4. Pengawasan bisa dilakukan jarak jauh.
5. Daerah yang tidak memiliki interkoneksi dengan jaringan listrik tetap dapat menggunakan sistem yang berdiri sendiri. Tahapan pengembangan proyek energi terbarukan, mulai dari inisiasi proyek hingga operasi dan pemeliharaan (O&M). Secara lebih rinci, seluruh tahapan pengembangan proyek energi terbarukan dapat dilihat pada Gambar 6.6.



Gambar 6.6: Proses Pengembangan Proyek Energi Terbarukan

Proyek energi yang dapat diperbaharui dimulai dari tahap perancangan dan perencanaan, yang diawali dengan tahap permulaan proyek. Berikutnya, dilakukan studi kelayakan yang biasanya menghabiskan waktu 6 - 12 bulan, tergantung dari besar kecilnya proyek. Apabila studi kelayakan menyatakan bahwa proyek tersebut layak, maka tahap selanjutnya adalah tahap

penandatanganan Power Purchase Agreement (PPA). Tahap PPA/PPA dapat memakan waktu antara 7 - 8 bulan. Namun, untuk proyek PLTS, seperti yang tertera dalam Permen ESDM No.19/2016, PT PLN (Persero) dan pengembang PLTS harus menandatangani PPA dalam jangka waktu paling lama 1 bulan setelah ditetapkan sebagai penerima lelang kuota PLTS. Jadi untuk sebuah proyek PLTS, tahapan PPA/PJBL ini seharusnya hanya memakan waktu tidak lebih dari satu bulan. Dalam hal PPA tidak dapat ditandatangani oleh PT PLN (Persero) dan pengembang PLTS dalam jangka waktu 1 bulan, maka Menteri ESDM melalui Direktur Jenderal EBTKE akan melakukan fasilitasi penandatanganan PPA. Jika PPA tidak ditandatangani dalam waktu 3 bulan, maka tender alokasi listrik tenaga surya akan dicabut. Dengan berbekal PPA/PJBL yang telah disetujui, pengembang kemudian mencari pembiayaan yang dibatasi maksimal 1 tahun. Akan tetapi, untuk proyek PLTS, pengembang PLTS diwajibkan untuk melakukan financial close untuk keperluan pembangunan konstruksi fisik PLTS dalam jangka waktu paling lama 6 bulan sejak ditandatanganinya PJBL. Apabila setelah jangka waktu 6 bulan sejak penandatanganan PJBL, Pengembang PLTS tidak berhasil mencapai financial close, maka penunjukan sebagai Pengembang PLTS dicabut. Memasuki tahap konstruksi, pembangkit listrik energi terbarukan biasanya membutuhkan waktu sekitar 2 tahun untuk dibangun. Namun untuk proyek PLTS, pelaksanaan pembangunan PLTS harus mencapai commercial operation date (COD) dalam jangka waktu paling lambat 12 bulan untuk kapasitas sampai dengan 10 MW dan 24 bulan untuk kapasitas lebih dari 10 MW, sejak Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPTL) diterbitkan. Implementasi pembangunan PLTS yang tidak mencapai COD (mengalami keterlambatan), dikenakan penurunan biaya harga pembelian tenaga listrik untuk mendapatkan harga pembelian tenaga listrik dengan ketentuan sebagai berikut: keterlambatan hingga 3 bulan dikenakan penurunan harga sebesar 3%; - keterlambatan lebih dari 3 bulan sampai dengan 6 bulan dikenakan penurunan harga sebesar 5%; - keterlambatan lebih dari 6 bulan sampai dengan 12 bulan dikenakan penurunan harga sebesar 8%; dan - keterlambatan lebih dari 12 bulan, penunjukan sebagai pengembang PLTS akan dicabut.

Apabila penunjukan pengembang PLTS dibatalkan karena tidak memenuhi persyaratan financial close atau COD, maka pengembang tersebut dilarang mendaftar sebagai pengembang PLTS untuk jangka waktu 2 tahun berturut-turut sejak pencabutan tersebut. Tahap operasi mulai dilakukan sejak konstruksi selesai dan COD tercapai. Pada tahap ini, kegiatan utama yang dilakukan adalah kegiatan operasi dan pemeliharaan (O&M). Tahap operasi

dari sebuah proyek pembangkit listrik bisa 15-30 tahun, tergantung dari perjanjian terutama PPA/PJBL.V Namun untuk proyek PLTS, PPA berlaku untuk jangka waktu 20 tahun sejak COD dan dapat diperpanjang. ASRI (Analisis Sosial dan Lingkungan) harus menjadi aspek yang diperhatikan pada semua fase pembangunan proyek energi terbarukan. Aspek legal, finansial, dan teknis juga perlu dipertimbangkan dalam pengembangan proyek energi terbarukan dengan bobot penekanan yang berbeda di setiap fase. Aspek legal dan finansial memiliki porsi yang cukup besar pada tahap desain dan perencanaan. Sedangkan aspek teknis dan finansial memiliki porsi yang cukup besar pada tahap konstruksi dan operasi. Misalnya, Aspek Legal terkait dengan perizinan, struktur organisasi perusahaan, dan koordinasi dengan Pemerintah. Aspek Keuangan, misalnya, berkaitan dengan kecukupan Model, alternative sumber pendanaan, pengelolaan risiko, dan struktur transaksi. Aspek teknis terkait dengan kelayakan data, kelaikan operasi, analisis aspek lingkungan dan aspek sosial, serta rancangan teknikal, sebagaimana digambarkan pada Gambar 6.7.



Gambar 6.7: Aspek Penting Dalam Analisis Pembiayaan PLTS

Tidak dapat dipungkiri pengembangan proyek energi terbarukan memiliki potensi yang sangat besar untuk dapat dimanfaatkan oleh Lembaga Pembiayaan, namun hal ini juga menyimpan berbagai tantangan yang perlu diwaspadai.

Ada beberapa kendala yang menjadi tantangan bagi Lembaga Pembiayaan, khususnya perbankan, dalam membiayai proyek energi terbarukan, antara lain:

1. Kurang tersedianya data dan fakta mengenai proyek energi bersih. Hal ini mungkin disebabkan karena proyek-proyek pengembangan proyek energi bersih masih dalam tahap awal pengembangan.
2. Keterbatasan proyek energi bersih yang telah dibiayai secara komersial atau telah berhasil dilaksanakan sebagai referensi.
3. Kurangnya konsistensi dalam penyebaran informasi di antara para stakeholder (pengembang proyek, penyedia teknologi, pemerintah, PLN, lembaga pembiayaan).

Bagian berikut ini akan menjelaskan secara lebih rinci aspek-aspek penting yang harus dipertimbangkan dalam membiayai VPLTS. Aspek-aspek tersebut meliputi aspek legal, finansial, dan spesifikasi teknis.

Bab 7

Teknologi PLTS Terbaru

7.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan sinar matahari melalui sel surya (fotolistrik) untuk mengubah radiasi foton matahari menjadi listrik. Sel surya merupakan lapisan tipis bahan semikonduktor silikon (Si) murni dan semikonduktor lainnya. PLTS memanfaatkan sinar matahari untuk menghasilkan listrik arus searah, yang dapat diubah menjadi listrik arus bolak-balik bila diperlukan. PLTS bisa menghasilkan listrik pada cuaca mendung asalkan ada penerangan.

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan perangkat pembangkit listrik yang mengubah energi matahari menjadi listrik. PLTS juga sering disebut solar cell atau fotovoltaiik atau energi surya. PLTS memanfaatkan sinar matahari untuk menghasilkan listrik. DC (arus searah), yang dapat diubah menjadi listrik arus bolak-balik (alternating current) jika diperlukan. Oleh karena itu, meski mendung, PLTS bisa menghasilkan listrik asalkan ada cahaya. Pembangkit listrik tenaga surya pada dasarnya merupakan sumber energi (energy source) dan dapat dirancang untuk memenuhi kebutuhan energi kecil hingga besar baik secara mandiri maupun hybrid (dengan sumber energi lain seperti PLTS-Genset, PLTS-Wind).

Dengan pembangunan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), pemerintah berharap dapat meningkatkan penggunaan energi terbarukan sebesar 23 persen dari distribusi energi negara pada tahun 2025. Pasalnya, sinar matahari datang dari mana-mana. Selain itu, tingkat pemanfaatan PLTS pada tahun 2019 masih kurang dari 0,05 persen dari total potensi lebih dari 200 gigawatt (GW). Namun memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi ibarat pedang bermata dua. Pasalnya PLTS hanya memanfaatkan 20% radiasi matahari sebagai listrik, sisanya terbuang sebagai panas. Tak hanya radiasi yang menjadi pemborosan, peningkatan suhu panel surya juga dapat menurunkan efisiensi PLTS. Studi menunjukkan bahwa pada suhu 65 derajat Celcius, kinerja panel surya dapat berkurang 1,6-2,6% dibandingkan pada suhu 25 derajat Celcius. Risiko ini semakin meningkat bagi PLTS yang dipasang di wilayah dengan tingkat radiasi tinggi, seperti wilayah khatulistiwa. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, listrik dapat dihasilkan dari sinar matahari dengan menggunakan kombinasi teknologi fotovoltaik dan sistem termal (photoelectric thermal system/PVT). Listrik tenaga surya adalah proses mengubah sinar matahari menjadi listrik. Pada saat yang sama, listrik dihasilkan langsung dari panas matahari di sistem pemanas. Jadi dengan kedua teknologi ini, kita dapat mengubah energi sinar matahari dan energi panas menjadi energi listrik secara optimal. Teknologi pengumpulan panas Penulis mengembangkan teknologi hybrid PVT dengan mengintegrasikan perangkat thermoelectric generator (TEG) dan perangkat penyimpanan panas yaitu Phase Change Material (PCM). TEG adalah perangkat yang mengubah energi panas langsung menjadi listrik. Tujuan dari penyambungan keduanya adalah untuk menyerap limbah energi matahari menjadi listrik. Rakitan PVT terdiri dari panel surya dan slot saluran (saluran PVT) di belakang modul PVT. Perangkat pengumpul panas dan pendingin diintegrasikan ke dalam bukaan saluran ini untuk meningkatkan konversi energi listrik. Gambar sistem termal PV/PVT dengan TEG dan PCM. Proses konversi terjadi melalui perbedaan suhu antara pelat panas dan pelat dingin TEG yang dikenal dengan efek Seebeck. Semakin besar perbedaan suhu antara pelat pemanas dan pelat dingin, maka semakin banyak listrik yang dihasilkan. Untuk menciptakan efek ini, dalam penelitian ini kami menambahkan lensa yang meningkatkan perpindahan panas yang diserap pada pelat panas. Untuk menemukan konversi optimal, kami meningkatkan kekuatan lensa hingga 10 kali lipat.

Pada saat yang sama, PCM terintegrasi di sisi pelat dingin TEG untuk mencapai pendinginan dan suhu yang seragam. Hal ini dilakukan untuk mencegah fluktuasi suhu pada TEG yang menjadi permasalahan pada hasil

penelitian sebelumnya. Berdasarkan penelitian penulis tahun 2017, peningkatan efisiensi dapat meningkatkan output daya hingga 5%. Misalnya, model pengelolaan panas dalam penelitian ini dapat menyediakan sekitar 1,3 kilowatt listrik tambahan per 300 meter persegi area panel surya, yang setara dengan menerangi sekitar enam lampu jalan protokol. Sementara itu, hasil penelitian yang dimuat di majalah *Applied Energy* pada tahun 2019 menunjukkan, berkat teknologi thermal, pertumbuhan produksi listrik PLTS lebih tinggi - 9,5%. Meningkatkan Riset, Memajukan Kinerja PLTS Riset dan inovasi panel surya dengan kombinasi teknologi BAT dapat meningkatkan produksi listrik PLTS. Setelah dilakukan penelitian, dapat dilakukan penelitian untuk mengembangkan material TEG dan PCM agar kedua perangkat ini dapat memperoleh listrik lebih banyak dari energi surya. Salah satu tantangannya adalah perangkat keras PCM yang tidak stabil dan permasalahan titik leleh (melting point) yang dapat mengganggu produksi PLTS, terutama jika digunakan dalam jangka panjang. Jika kinerja kedua perangkat ini memadai, maka penggunaan PLTS dapat meningkatkan porsi sumber energi ramah lingkungan dalam produksi listrik di dalam negeri.

Sistem PLTS dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis. Berdasarkan penerapan dan konfigurasinya, PLTS secara umum dapat dibedakan menjadi dua, yaitu PLTS sistem yang tersambung ke jaringan listrik (on-grid PV system) dan PLTS yang tidak tersambung ke jaringan listrik (off-grid PV system) atau PLTS yang bersifat non-grid. tunggal (terpisah). sendiri). Selain beroperasi secara mandiri, PLTS yang berdiri sendiri ini juga dapat didukung oleh sumber daya lain seperti tenaga angin, genset atau hidro dan mikrohidro yang dikenal dengan sistem PLTS hybrid (Kumara et al., 2018)

Pembangkit listrik tenaga surya atau PLTS merupakan pembangkit listrik yang menghasilkan listrik dari sinar matahari atau tenaga surya. Dengan kata lain, pembangkit listrik ini menggunakan sumber energi alternatif terbarukan sehingga ramah lingkungan. Hal ini tentunya sangat berguna bagi negara-negara yang wilayahnya terletak di garis khatulistiwa. Bagaimana dengan pembangkit listrik tenaga surya di Indonesia? Negara-negara khatulistiwa dengan iklim tropis yang sering terkena sinar matahari, seperti Indonesia, memiliki banyak potensi energi surya. Di Indonesia sendiri, banyak PLTS yang dibangun pemerintah sebagai sumber listrik untuk beberapa daerah. Pembangkit listrik tenaga surya dengan rata-rata energi surya sebesar 4,8 kWh/m² (data LAPAN) per hari merupakan pilihan terbaik sebagai sumber listrik di Indonesia. Beberapa daerah di Indonesia seperti Bali, NTB, NTT,

Sulawesi Selatan, dan Sulawesi Utara sudah membangun PLTS. Bagaimana cara kerja generator Anda sendiri? Apa kelebihan dan kekurangannya? Baca artikel berikut untuk mengetahuinya. Cara kerja pembangkit listrik tenaga surya Pengoperasian PLTS terdiri dari dua metode, yaitu langsung menggunakan sel surya (solar cell) dan tidak langsung menggunakan metode pemusatan energi surya. Berikut ini penjelasan cara kerja masing-masing metode.

1. Penggunaan sel fotovoltaik atau sel surya Sel surya merupakan semikonduktor yang dapat mengubah sinar matahari menjadi listrik. Elemen-elemen ini biasanya digunakan pada panel surya berbentuk persegi atau persegi panjang di pembangkit listrik. Sinar matahari yang mengenai tanah kemudian ditangkap oleh sel surya. Sel surya ini sebenarnya menangkap foton, yang merupakan kuantum terkecil/satuan cahaya terkecil. Foton yang mengenai permukaan sel surya menghasilkan listrik. Rangkaian proses ini merupakan penggunaan efek fotolistrik atau fotolistrik. Efek ini terjadi ketika foton menumbuk sel surya dan menyebabkan sel surya melepaskan elektron. Selama proses ini, proton diproduksi dan mengalir sedemikian rupa sehingga perpindahan aliran proton menyebabkan munculnya arus listrik. Mengapa sel surya bisa menangkap cahaya? Sel fotovoltaik, atau sel surya, terbuat dari bahan yang peka terhadap cahaya. Komponen utamanya adalah dioda pemancar cahaya atau fotodioda. Komponen ini menangkap cahaya dan mentransfer energi yang dihasilkan ke sistem berikutnya, yang kemudian menjadi energi listrik.
2. Penggunaan sistem konsentrasi energi surya Metode ini, juga dikenal sebagai CSP atau tenaga surya terkonsentrasi, memanfaatkan energi matahari yang tidak terkonsentrasi ke satu titik menggunakan lensa dan sistem pelacakan. Energi panas yang dihasilkan pada fase ini digunakan sebagai sumber utama produksi listrik. Pada contoh penerapannya, PLTS menggunakan komponen CSP untuk menghasilkan listrik dari uap. PLTS memanfaatkan sinar matahari untuk memanaskan dan menghasilkan listrik untuk menggerakkan generator turbin uap. Kedua mode operasi ini mengacu pada penggunaan aktif energi matahari. Untuk lebih jelasnya, ada dua jenis energi matahari, yaitu energi matahari aktif dan energi matahari pasif. Energi pasif matahari ini biasa kita rasakan setiap hari, misalnya saat kita menjemur pakaian di bawah sinar matahari maka pakaian pun menjadi kering. Kita tidak memerlukan perangkat untuk mengumpulkan energi matahari. Ketika energi matahari aktif, diperlukan komponen dan metode untuk mengumpulkan dan menyimpan energi matahari.

Kelebihan dan Kekurangan PLTS Jika Anda ingin memanfaatkan energi surya pada bangunan Anda, sebaiknya Anda sendiri mengetahui kelebihan dan kekurangan PLTS. Keunggulan PLTS 1.

Gunakan sumber energi terbarukan Energi surya atau sinar matahari merupakan sumber energi terbarukan, terdapat di berbagai daerah dan selalu tersedia setiap hari. Energi ini tersedia untuk semua orang dan para ilmuwan memperkirakan akan tersedia setidaknya selama 5 miliar tahun ke depan. 2. Perawatan yang mudah dan murah Saat Anda menggunakan tata surya, Anda tidak memerlukan banyak perawatan. Pembersihan rutin beberapa kali dalam setahun sudah cukup. Selain itu, biaya pemeliharaannya rendah. Produk sel surya biasanya memiliki garansi 20-25 tahun. Jika ada bagian yang perlu diganti, itu hanya inverter. Inverter ini hanya boleh diganti setelah 5-10 tahun digunakan. 3. Dapat diterapkan pada berbagai fungsi Energi matahari dapat menghasilkan listrik yang dapat membantu dalam kehidupan sehari-hari. Misalnya saja di daerah terpencil yang jauh dari pasokan listrik pemerintah. Sel surya dapat digunakan untuk menyimpan energi listrik dan panas di malam hari. Selain itu, energi ini dapat digunakan untuk menggerakkan penyulingan air guna meningkatkan pasokan air bersih di wilayah tersebut. Kekurangan PLTS 1. Memakan banyak ruang Tergantung pada seberapa banyak listrik yang ingin Anda hasilkan, semakin banyak listrik yang Anda inginkan, semakin banyak sel surya yang Anda perlukan untuk mengumpulkan sinar matahari. Panel surya biasanya ditempatkan pada area outdoor yang luas, seperti lapangan, dan area yang terkena sinar matahari langsung. 2. Tergantung cuaca Pada cuaca mendung dan hujan, penggunaan sel surya kurang efektif karena jumlah sinar matahari yang ditangkap juga sedikit. Hal ini tentunya akan membuat Anda memikirkan cara lain untuk menghemat energi tersebut saat musim hujan. 3. Biaya penyimpanan energi yang mahal Berbeda dengan biaya perawatannya, penyimpanan energi surya cukup mahal karena harus disimpan dalam baterai berukuran besar. Baterai ini mampu menyimpan panas dan listrik untuk penggunaan semalaman. Demikian informasi tentang pembangkit listrik tenaga surya mulai dari pengertiannya, cara kerjanya, kelebihan dan kekurangannya. Pembangkit listrik tenaga surya sendiri menawarkan alternatif pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan mudah didapat karena letak Indonesia yang berada di garis khatulistiwa. Namun di sisi lain, ada beberapa pertimbangan lain saat memasang panel surya, seperti biaya dan ruangan.

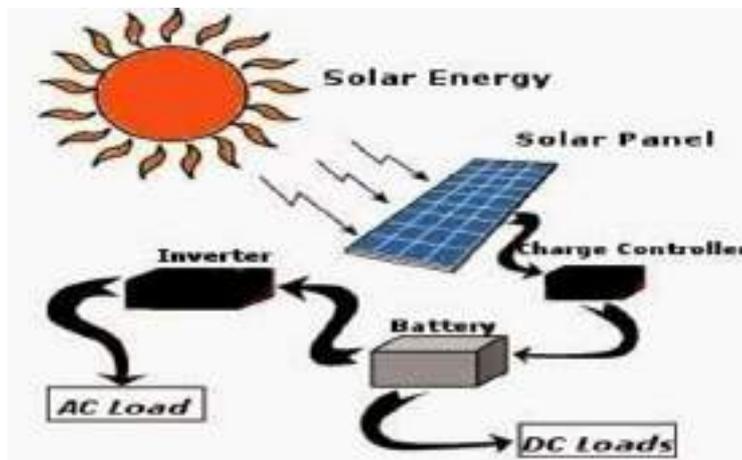
7.2 Cara Kerja PLTS

Ide di balik pembangkit listrik tenaga surya sederhana saja, yaitu mengubah sinar matahari menjadi listrik. Sinar matahari merupakan salah satu bentuk energi yang diperoleh dari sumber daya alam. Energi matahari alami ini telah banyak digunakan untuk menggerakkan satelit komunikasi dengan sel surya. Sel surya ini dapat menghasilkan listrik dalam jumlah tak terbatas langsung dari matahari tanpa bagian yang berputar dan tidak memerlukan bahan bakar. Inilah sebabnya mengapa sistem sel surya sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan. untuk membandingkan

Generator listrik memiliki bagian-bagian yang berputar dan membutuhkan bahan bakar untuk menghasilkan listrik. Suaranya berisik, selain itu gas yang dihasilkan dapat menimbulkan efek rumah kaca yang dampaknya dapat merusak ekosistem planet kita. Sistem baterai surya berbasis darat terdiri dari panel surya, rangkaian pengontrol muatan, dan baterai 12 volt dengan biaya perawatan. Panel surya merupakan suatu modul yang terdiri dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri dan paralel sesuai dengan ukuran dan daya yang dibutuhkan. Rangkaian pengontrol pengisian baterai pada sistem sel surya merupakan rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian baterai. Regulator ini dapat mengatur tegangan baterai pada tegangan 12 volt. Ketika tegangan turun menjadi 10,8 volt, artinya sisa tegangan baterai menjadi 2,2 volt, kemudian pengontrol mengisi panel surya dengan menggunakan baterai sebagai sumber listrik. Tentu saja proses pengisian daya akan terjadi jika dilakukan di bawah sinar matahari. Jika tegangan turun pada malam hari, pengontrol mematikan catu daya. Setelah proses pengisian memakan waktu beberapa jam, tegangan baterai akan naik ketika tegangan baterai mencapai 12 volt, setelah itu pengontrol akan menghentikan pengisian baterai. Rangkaian pengontrol pengisian daya baterai sangat mudah untuk dirakit sendiri. Namun biasanya kit pengontrol ini sudah tersedia di pasaran. Padahal, harga controller tersebut cukup mahal jika dibeli secara terpisah. Kebanyakan tata surya hanya dijual dalam bentuk paket lengkap, yang jelas lebih murah daripada merakitnya sendiri. Panel surya biasanya diletakkan langsung menghadap matahari. Faktanya, Bumi bergerak mengelilingi Matahari sedemikian rupa sehingga menyerap cahaya sebanyak mungkin Matahari harus selalu terbenam tegak lurus.

Bahan solar cell sendiri terdiri dari kaca pelindung dan bahan perekat transparan untuk melindungi bahan solar cell dari kondisi lingkungan,

kemudian bahan anti reflektif untuk menyerap lebih banyak cahaya dan mengurangi jumlah cahaya yang dipantulkan, semikonduktor tipe P dan tipe N (dibuat dari paduan silikon) medan listrik, saluran awal dan saluran akhir (yang terbuat dari logam tipis) terbentuk untuk mengirim elektron ke perangkat listrik. Cara kerja sel surya sebenarnya identik dengan semikonduktor dioda. Ketika cahaya mengenai sel surya dan diserap oleh bahan semikonduktor, elektron dilepaskan. Ketika elektron-elektron ini lepas pada lapisan bahan semikonduktor yang berbeda, terjadi perubahan sigma pada kekuatan bahan tersebut. Gaya tolak menolak antara bahan semikonduktor menyebabkan medan elektromagnetik mengalir. Dan menyebabkan elektron tersalurkan ke saluran awal dan akhir yang digunakan pada perangkat listrik. gambar di bawah ini



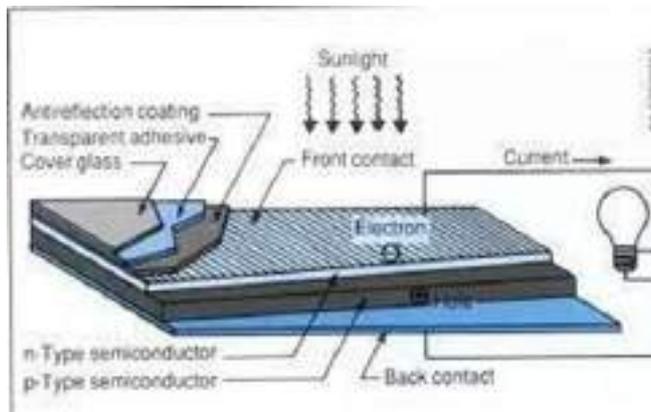
Gambar 7.1: Sistem Instalasi Dengan Sistem Surya

7.3 Struktur Umum Sel Surya

Bahan kimia khusus berbahan dasar sel surya. Sel surya biasanya memiliki ketebalan minimal 0,3 mm dan terbuat dari bahan semikonduktor dengan terminal positif dan negatif. Setiap sel surya biasanya terbuat dari sepotong kecil silikon yang dilapisi dengan tegangan 0,5 volt. Sel surya merupakan sel aktif (konduktor) menggunakan efek fotovoltaiik untuk mengubah energi matahari menjadi listrik (Wulandari Handini, 2008). Struktur inti sel surya

biasanya terdiri dari satu atau lebih semikonduktor dengan dua wilayah berbeda, yaitu wilayah positif dan negatif. Kedua sisi yang berbeda bertindak sebagai elektroda. Dopan dengan golongan periodik berbeda sering digunakan untuk menghasilkan dua daerah muatan berbeda. Hal ini dirancang sedemikian rupa sehingga pengotor di daerah negatif bertindak sebagai donor elektron, sedangkan pengotor di daerah positif bertindak sebagai akseptor elektron (Wulandari Handini, 2008). Selain itu, sel surya memiliki lapisan anti pantulan dan substrat logam tempat arus mengalir melalui lapisan tipe-n (elektron) dan tipe-p (lubang). Diagram sederhana struktur sel surya ditunjukkan pada Gambar

7.2:



Gambar 7.2: Susunan lapisan solar cell secara umum (Wulandari Handini, 2008)

7.3.1 STC (Standar Tes Condition)

Keluaran listrik dari silikon kristal dan modul surya biasanya diukur dalam kondisi pengujian standar (STC), yang memberikan perbandingan relatif dan evaluasi keluaran berbagai modul panel surya. STC adalah standar industri untuk mengukur kinerja modul panel dan menetapkan suhu sel 25°C dan daya radiasi 1000 W/m^2 dengan spektrum massa udara 1,5 (AM1.5). Hal ini sesuai dengan penyinaran dan spektrum sinar matahari yang mengenai suatu permukaan pada hari cerah yang menghadap matahari dengan sudut 37° dan matahari berada $41,81^{\circ}$ di atas ufuk. Kondisi ini secara kasar mewakili siang hari menjelang ekuinoks musim semi dan musim gugur di benua Amerika

Serikat, ketika permukaan sel langsung menghadap matahari. Namun mode ini jarang ditemui di dunia nyata. Pengukuran kinerja berbasis STC diterapkan dalam uji flash oleh banyak produsen.

7.3.2 Klasifikasi Sumber Listrik Tenaga Surya

Ada tiga jenis PLTS berdasarkan teknologi yaitu sistem energi surya terapung berbasis atap, berbasis darat, dan berbasis tangki/danau.

Penjelasan ketiga teknik dan PLTS adalah sebagai berikut

1. Roof-Mounted

Cara pemasangan plafon adalah pemasangan PLTS yang menggunakan tanah aksesibel pada atap bangunan. Atapnya berfungsi sebagai struktur pendukung fasilitas PLTS, namun perlu persiapan untuk mengatasi kendala cuaca. Metode teknologi yang dipasang di atap efektif untuk kapasitas produksi kecil, penghematan tagihan listrik dengan sistem ekspor-impor, penerapan energi terbarukan yang modern dan membantu mengurangi dampak perubahan iklim (ICED, 2020). Metode teknologi pemasangan atap



Gambar 7.3: PLTS Roof-Mounted atau PLTS Rooftop (Adyasolar, 2018)

2. Ground-Mounted

Cara pemasangan di tanah menggunakan lahan kosong, tidak terhalang, rata dan stabil. Kolom dan balok baja diperlukan sebagai struktur pendukung dan dianalisis untuk mengetahui stabilitas tanah jangka panjang. Metode pemasangan di darat efektif untuk kapasitas produksi besar. Keunggulan panel surya tanah adalah suhu rata-rata panel surya lebih stabil karena adanya pendinginan tanah yang dapat menyerap panas. Kelemahan sistem grounding adalah harus memiliki lahan yang cukup luas, serta terdapat debu dan kotoran, karena letaknya yang lebih rendah sehingga dekat dengan permukaan tanah, jika debu menutupi seluruh bagian panel surya maka produksinya panel surya akan berkurang sebesar 20%. Solusi dari permasalahan tersebut adalah dengan melakukan pembersihan panel surya setiap empat bulan sekali (Fauzi Wibowo dan Rokhmat, 2019). Teknologi yang dipasang di tanah seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.2.4



Gambar 7.4: PLTS Ground-Mounted (ESDM, 2019)

3. Reservoir / lake based floating solar system

Metode instalasi tenaga surya terapung adalah dengan memanfaatkan permukaan air dengan sistem terapung. Tata surya terapung dapat dipasang di perairan seperti laut, kolam, danau, dll. Penggunaan sistem PV terapung berbasis penyimpanan/danau memiliki potensi yang besar karena sistem pendingin evaporatif alami di permukaan air, yang menjaga suhu panel lebih rendah dan meningkatkan

efisiensi panel hingga 11% dibandingkan sistem PV berbasis darat; . Metode pemasangan ini juga memiliki lebih sedikit penghalang yang menyebabkan hilangnya bayangan dan lebih sedikit efek debu yang dapat menurunkan kinerja panel (Golroodbari dan van Sark, 2020).

4. koneksi sistem terhadap grid

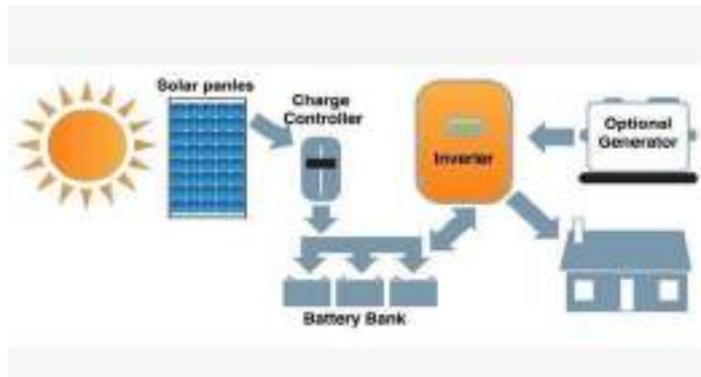
Berdasarkan teknologinya, PLTS secara umum dibedakan menjadi dua, yaitu koneksi jaringan dan koneksi jaringan. Penjelasan mengenai kedua jenis PLTS berdasarkan teknologinya adalah sebagai berikut:

a. Grid Connection System

PLTS On Grid merupakan model instalasi yang terdiri dari dua sumber energi listrik yaitu jaringan listrik PLN dan panel surya yang dihubungkan menjadi satu. Pemanfaatan panel surya/PLTS yang terhubung ke jaringan untuk menyuplai listrik ke rumah tangga atau industri. Sistem ini menggunakan panel surya sebagai pembangkitnya yang bebas emisi atau ramah lingkungan. Sistem Grid Connection juga tetap terhubung dengan jaringan PLN dengan tujuan untuk mengoptimalkan penggunaan energi panel surya sehingga menghasilkan energi yang maksimal dan juga mengurangi tagihan listrik (Anggara, 2018).

b. Off – Grid System

Sistem off-grid atau yang sering disebut sistem stand-alone adalah sistem yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai sumber energi utama untuk menghasilkan listrik. Sistem Off Grid menggunakan rangkaian modul surya untuk menghasilkan listrik sesuai kebutuhan beban tanpa tersambung ke jaringan listrik PLN. Ada sistem off-grid yang bekerja secara paralel dengan generator lain atau disebut sistem hybrid. Tujuan dari sistem hybrid sama seperti ketika dia terhubung ke jaringan, yaitu menjaga keseimbangan produksi listrik. Sistem PLTS off-grid biasanya digunakan di tempat/wilayah yang terpencil/tidak terjangkau melalui jaringan listrik PLN (Asy dan Purnama, 2011). Teknologi PLTS offline ditunjukkan pada Gambar 7.2.5



Gambar 7.5: Skema Konfigurasi PLTS Off – Grid (ICED, 2020)

Bab 8

PLTS Dalam Skala Komunitas dan Industri

8.1 Pendahuluan

Indonesia berada pada kawasan ‘Sabuk Sinar Matahari’ (Sunshine Belt), yaitu kawasan yang terletak antara 35 derajat Lintang Utara dan 35 derajat Lintang Selatan. Letak Indonesia yang berada pada daerah khatulistiwa, maka wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10-12 jam dalam sehari (Suhendar, 2022). Kawasan yang mendapat pancaran sinar matahari terbanyak sepanjang tahun. Kawasan sunshine belt dihuni lebih dari 70% populasi penduduk dunia. Potensi sinar matahari yang dinikmati Indonesia tersedia sepanjang tahun (Silalahi, 2020). Potensi sinar matahari harian yang diterima Indonesia (Global Horizontal Irradiance) sebesar sebesar 207.898 MW (4,8 kWh/m²), atau setara dengan 112.000 GWp, lebih tinggi dari empat negara negara seperti Jepang sebesar 3,9 kWh/m²/day, Tiongkok sebesar 3,8 kWh/m², Jerman yang hanya 2,9 kWh/m² dan Singapura sebesar 4,5 kWh/m² (RUEN, 2015). Meskipun demikian potensi sinar matahari yang tinggi namun pada tahun 2019 kapasitas PLTS di Indonesia baru mencapai 0,23 GW.

Energi surya merupakan salah satu sumber EBT yang memiliki potensi yang cukup besar dan tersebar secara merata di Indonesia (Mayasari, et al., 2022)

(Rumokoy, et al., 2016). Energi surya merupakan sumber energi yang paling bersih dan sangat melimpah dibandingkan sumber EBT lainnya (H, et al., 2017). Energi terbarukan diperkirakan akan melampaui batu bara pada tahun 2030 dan menjadi sumber energi listrik terbesar yang mewakili sekitar 35% dari total pembangkitan energi pada tahun 2040 (Malinowski & Leon, 2019). Energi terbarukan merupakan keniscayaan yang harus kita usahakan bersama dengan sebaik-baiknya, khususnya energi surya yang melimpah karena kita berada di khatulistiwa. Sayangnya, untuk sistem Pembangkit Listrik Tenaga Suryan (PLTS), hingga saat ini kita baru bisa merakit dan membuat instalasinya, namun belum mampu membuat komponen utamanya, yakni sel surya, di dalam negeri. Meskipun demikian sesungguhnya teknologi pembuatan sel surya bukanlah sesuatu yang sulit untuk Indonesia (Budiarso, et al., 2017). Dalam upaya mengatasi tantangan energi terbarukan, PLTS telah menjadi solusi terbaik bagi banyak negara di dunia, termasuk Indonesia. Dalam perkembangannya PLTS dibangun dalam skala komunitas dan skala industri.

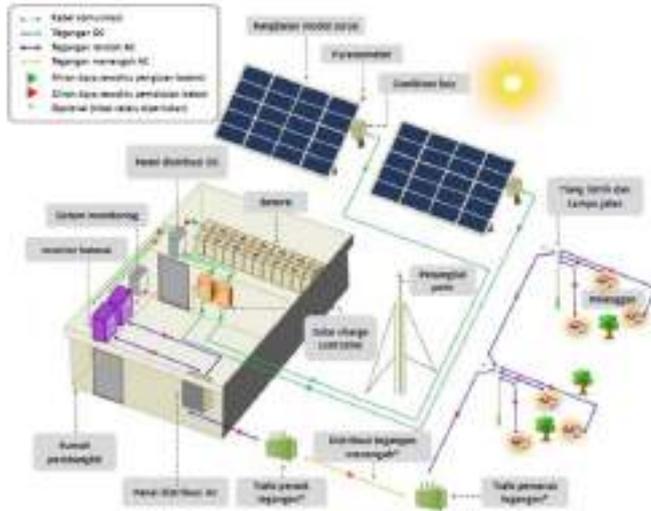
Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah teknologi yang memanfaatkan sinar matahari untuk menghasilkan listrik. PLTS ada dua kategori, yaitu untuk pembangkit listrik fotovoltaik power sistem dan pembangkit listrik tenaga panas matahari (Juachang, et al., 2008); (Alam & Anatolevich, 2023); (Malinowski & Leon, 2019);(Li, et al., 2020). Pembangkit listrik fotovoltaik (PV) mengalami laju pertumbuhan yang paling tinggi disebabkan karena jenis EBT ini aman, bersih, dan ramah lingkungan (Malinowski & Leon, 2019). Alasan lainnya PV adalah ketersediaan yang luas, visibilitas yang baik, dan penggunaan yang aman di sektor perumahan, komersial, dan aplikasi skala utilitas. Dalam aplikasinya PLTS saat ini digunakan di berbagai skala, mulai dari rumah tangga hingga pembangkit listrik besar. Penggunaan PLTS sangat populer karena menghasilkan energi bersih dan ramah lingkungan (Malinowski & Leon, 2019). Selain itu, biaya instalasi PLTS semakin terjangkau, sehingga semakin banyak orang yang beralih ke teknologi ini.

Para peneliti di berbagai negara mengklasifikasikan penerapan PLTS berdasarkan tempat meletakkan panel surya. Ada PLTS dengan panel surya diletakkan di atas permukaan tanah (solar park), ada PLTS dengan panel surya diletakkan di atas atap gedung (rooftop photovoltaic system) (Narwadan, et al., 2022). Berdasarkan instalasinya PLTS juga dapat dibedakan menjadi sistem off grid dan on grid connected serta PLTS Hybrid dengan teknologi lainnya ; yang membedakan berdasarkan karakteristik penyimpanan dayanya. Perbedaan

utama PLTS off grid yang dikenal juga dengan sistem stand alone dengan on grid adalah PLTS on grid terhubung ke grid utility, dalam hal ini untuk di Indonesia terhubung ke jala-jala listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN), sedangkan PLTS off grid berdiri sendiri. Selain itu, PLTS juga dibedakan berdasarkan ada atau tidaknya jaringan distribusi untuk menyalurkan daya listriknya; yang meliputi PLTS terpusat dan PLTS tersebar/terdistribusi. Adapun dari sisi pemasangan, PLTS dibagi menjadi PLTS di atas tanah (ground mounted), PLTS Atap, dan PLTS terapan (ESDM, 2020).

Tabel 8.1: Jenis-jenis PLTS (ES, 2018)

	PLTS Off-grid	PLTS on-grid	PLTS Hybrid
Deskripsi	Sistem PLTS yang output daya listriknya secara mandiri mensuplai listrik ke jaringan distribusi pelanggan atau tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN	Bisa beroperasi tanpa baterai karena output listriknya disalurkan ke jaringan distribusi yang telah disuplai pembangkit lainnya (misal: jaringan PLN)	Gabungan dari sistem PLTS dengan pembangkit yang lain (mis, PLTD/ Pusat Listrik Tenaga Diesel), PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu)
Baterai	Dibutuhkan. Agar bisa memberikan suplai sesuai kebutuhan beban	Tidak dibutuhkan	Bisa off-grid (dengan baterai) atau on-grid (tanpa baterai)
Manfaat	Menjangkau daerah yang belum ada jaringan PLN	Berbagi beban atau mengurangi beban pembangkit lain yang terhubung pada jaringan yang sama	Memaksimalkan penyediaan energy dan berbagai potensi sumber daya yang ada
PLTS Terpusat	PLTS yang memiliki sistem jaringan distribusi untuk menyalurkan daya listrik ke beberapa rumah pelanggan. Keuntungan dari PLTS terpusat adalah penyaluran daya listrik dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban yang berbeda-beda di setiap hunian pelanggan		
PLTS Tersebar/ Terdistribusi	PLT yang tidak memiliki sistem jaringan distribusi sehingga setiap rumah pelanggan memiliki sistem PLTS tersendiri		
	Contoh PLTS off-grid tersebar: Solar Home System (SHS)	Contoh PLTS on-grid tersebar: Solar PV Rooftop	



Gambar 8.1: Blok Diagram Sistem PLTS

8.1.1 PLTS di Rumah Tangga

Pada skala rumah tangga, PLTS seringkali digunakan sebagai sumber energi cadangan atau sebagai pengganti sumber energi utama. PLTS di rumah tangga biasanya terdiri dari panel surya yang terpasang di atap rumah dan terhubung ke sistem baterai yang digunakan untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya. Sistem baterai ini kemudian dapat digunakan untuk memasok listrik ke rumah tangga ketika sumber listrik utama terputus atau ketika biaya listrik dari sumber utama terlalu tinggi. Keuntungan dari penggunaan PLTS di rumah tangga adalah pengurangan biaya listrik dan kemandirian energi. Penggunaan PLTS di rumah tangga dapat mengurangi biaya listrik hingga 80 persen, tergantung pada ukuran sistem dan penggunaannya. Selain itu, dengan menggunakan PLTS, rumah tangga dapat menjadi lebih mandiri dari sistem energi utama yang sering terbatas atau tidak stabil.

8.1.2 PLTS pada Gedung Komersial

PLTS juga dapat digunakan pada gedung komersial seperti kantor dan gedung apartemen. Pada gedung komersial, PLTS biasanya dipasang pada atap gedung dan digunakan untuk memasok kebutuhan energi gedung. PLTS pada

gedung komersial juga terdiri dari panel surya, inverter, dan sistem baterai. Keuntungan dari penggunaan PLTS di gedung komersial adalah pengurangan biaya listrik dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Selain itu, penggunaan PLTS dapat membantu meningkatkan citra gedung yang ramah lingkungan dan mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh gedung.

Penggunaan PLTS di gedung komersial juga dapat membantu memenuhi persyaratan pemerintah terkait dengan energi terbarukan. Beberapa negara atau daerah mewajibkan gedung-gedung komersial untuk menggunakan energi terbarukan sebagai bagian dari upaya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mempromosikan energi terbarukan. Penggunaan PLTS di gedung komersial dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen energi gedung yang terpusat. Dengan integrasi ini, penggunaan energi dapat dikontrol dan diatur lebih efisien, sehingga dapat menghemat biaya dan meningkatkan efisiensi energi. Selain itu, penggunaan PLTS dapat membantu mengurangi beban pada jaringan listrik publik pada jam sibuk atau saat musim puncak, sehingga dapat mengurangi risiko pemadaman listrik atau peningkatan biaya listrik.

8.1.3 PLTS untuk Bisnis dan Industri

PLTS juga digunakan di skala bisnis dan industri. PLTS di bisnis dan industri dapat digunakan untuk memasok kebutuhan energi untuk operasional sehari-hari, seperti pencahayaan, pendingin udara, dan peralatan listrik lainnya. Di beberapa negara, seperti Jepang, bisnis dan industri diwajibkan untuk menggunakan energi terbarukan seperti PLTS untuk sebagian besar kebutuhan listrik mereka. Keuntungan dari penggunaan PLTS di bisnis dan industri adalah pengurangan biaya operasional dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Dalam beberapa kasus, penggunaan PLTS di bisnis dan industri dapat mengurangi biaya listrik hingga 50 persen atau lebih. Selain itu, dengan menggunakan PLTS, bisnis dan industri dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan citra perusahaan yang ramah lingkungan.

8.1.4 PLTS pada Pembangkit Listrik Besar

PLTS dapat digunakan pada pembangkit listrik besar untuk memenuhi kebutuhan energi negara. PLTS pada pembangkit listrik besar biasanya terdiri dari ribuan panel surya yang dipasang di lahan yang luas. Energi listrik yang dihasilkan dari PLTS pada pembangkit listrik besar dapat memasok energi listrik ke ribuan rumah tangga dan industri. Penggunaan PLTS pada

pembangkit listrik besar juga dapat mengurangi penggunaan bahan bakar fosil, yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca.

8.2 PLTS Dalam Skala Komunitas

Pembangkit Listrik Tenaga Surya Komunitas adalah pembangkit listrik tenaga surya yang dimiliki dan dioperasikan secara bersama oleh sekelompok masyarakat atau komunitas. Konsep ini bertujuan untuk memanfaatkan potensi energi matahari secara kolektif, sehingga lebih banyak orang dapat menikmati manfaat dari sumber energi terbarukan ini. Dalam PLTS komunitas, panel surya dan peralatan pendukungnya dipasang di lokasi yang dapat diakses oleh anggota komunitas tersebut, seperti atap rumah, gedung umum, atau lahan terbuka (Tiger, 2023).

Energi komunitas (community energy) merupakan pilihan yang berkembang di beberapa tempat di dunia. Masyarakat menerima dan memanfaatkan teknologi energi berkelanjutan dengan berbagai strategi yang terkait dengannya (energi terbarukan dan efisiensi energi) dalam suatu kelompok atau komunitas tertentu. Hal ini tentu berbeda dengan cara adopsi teknologi oleh individu. Prakarsa energi komunitas ini dapat ditinjau dari berbagai sudut pandang, antara lain partisipasi publik, cara tata kelola, porsi energi lokal yang dikonsumsi secara lokal, struktur kepemilikan, dan teknologi yang diadopsi. Keadaan proyek komunitas yang ideal dapat diraih jika suatu kelompok warga komunitas mengorganisasikan dan mengoperasikan proyek serta menerima manfaat dari proyek tersebut. Proyek energi komunitas yang ideal menuntut berlangsungnya proses partisipatoris terbuka yang menghasilkan manfaat lokal dan kolektif (Klein & Coffey, 2016).

Keuntungan PLTS skala komunitas adalah sebagai berikut:

1. Ramah Lingkungan

PLTS skala kecil merupakan sumber energi terbarukan yang tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polusi udara lainnya. Dengan menggunakan teknologi ini, kita dapat mengurangi jejak karbon dan membantu melindungi lingkungan serta kesehatan masyarakat.

2. Biaya Operasional Rendah

Setelah instalasi awal, PLTS skala komunitas memiliki biaya operasional yang rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional. Sinar matahari sebagai sumber energi utama adalah sumber daya yang gratis dan tidak terbatas. Selain itu, biaya pemeliharaan dan perawatan PLTS skala komunitas juga relatif murah, sehingga dapat menjadi pilihan yang ekonomis dalam jangka panjang.

3. Keandalan Pasokan Listrik Stabil

PLTS skala komunitas dirancang untuk memberikan pasokan listrik yang stabil dan handal. Meskipun sinar matahari bervariasi sepanjang hari, teknologi terbaru dalam PLTS skala komunitas mampu mengoptimalkan pengumpulan energi matahari dan menyimpannya dalam baterai untuk digunakan saat sinar matahari tidak tersedia.

Beberapa tantangan yang harus di atasi untuk keberlanjutan PLTS, adalah sebagai berikut:

1. Regulasi, Dukungan dan Pemihakan dari Pemerintah

Kontinuitas penyediaan energi listrik berbasis energi baru dan terbarukan seperti surya, saat ini sangat ditentukan pada dukungan pemerintah dalam bentuk regulasi dan kebijakan yang memihak serta aktif bertindak sebagai penyambung antara penyedia listrik (komunitas) dengan PLN sebagai perusahaan milik negara. PLN sebagai pemilik jaringan distribusi listrik (grid) mempersyaratkan adanya suplai listrik yang terus-menerus dan stabil dengan minimal daya yang dihasilkan tertentu. Disaat yang sama, daya beli listrik oleh PLN seringkali lebih rendah dari harga produksi listrik oleh instalasi PLTS milik masyarakat atau komunitas. Kedua hal ini tentu sangat memberatkan dan seringkali tidak dapat dipenuhi oleh penyedia listrik PLTS tingkat komunitas. Maka dengan demikian instalasi listrik PLTS berbasis komunitas pada akhirnya kurang diminati.

2. Tantangan Teknis dan Teknologi

Sebagian wilayah di Indonesia, seperti di Karangasem (Bali) dan Merauke (Papua), kegagalan instalasi PLTS komunitas diakibatkan oleh masalah-masalah yang berkaitan hal teknis perawatan dan penggantian komponen yang rusak. Masyarakat belum siap dengan SDM yang paham dan terampil merawat, mengganti komponen dan menangani kerusakan di instalasi PLTS, baik yang terkait dengan modul PV-cell, jaringan listrik maupun baterai. Tanpa adanya SDM yang menguasai masalah PLTS dan terampil memelihara dan memperbaiki, masalah yang sederhana di PLTS dapat mengakibatkan mangkraknya instalasi. Tantangan lain adalah masih lemahnya pengetahuan dan akses komunitas terhadap tenaga ahli dan penyedia komponen yang dapat dihubungi. Saat ada kerusakan yang tidak dapat di atasi sendiri, komunitas kebingungan untuk mencari tenaga ahli yang dapat membantu menyelesaikan dan kebingungan mencari penyedia komponen yang dibutuhkan. Di samping itu, pengelolaan instalasi PLTS dilakukan oleh kelembagaan komunitas. Hal ini menyulitkan tumbuhnya budaya profesional dalam pengelolaan instalasi. Pengelolaan instalasi secara lebih profesional, dengan memandang instalasi sebagai sebuah entitas bisnis dengan kepemilikan bersama perlu ditumbuhkan untuk keberlanjutan PLTS.

8.2.1 Komunitas PLTS di Indonesia

Beberapa PLTS komunitas yang terbangun di Indonesia, diantaranya (MCA, 2016):

1. PLTS di Sumba Timur, Nusa Tenggara Timur.

Pembangunan PLTS berkapasitas total sekitar 300 kWp di Sumba Timur, tempat di mana sekitar 30% penduduknya tidak memiliki akses terhadap listrik. PLTS ini akan menerangi hampir 900 rumah tangga di desa Lailunggi, Tawui, Tandula Jangga, Praimadita, dan Praiwitu. Menggunakan sistem 1.000 tiang (pole) panel surya yang tersebar di desa-desa lokasi proyek, lahan yang dibutuhkan hanya 0,15 hektar, jauh lebih sedikit ketimbang sistem panel surya biasa.

Tiap tiang hanya perlu lahan sekitar 1 m². Total lahan dari 4 desa (Kahianga, Kulati, Dete, dan Lamanggau) yang diperlukan untuk pembangunan panel surya dan PLTS adalah 1.440 m²,

2. PLTS di Pulau Tomia, Sulawesi Tenggara

Proyek ini membangun empat PLTS berkapasitas 520 kWp di empat desa di Pulau Tomia, Kepulauan Wakatobi, memberikan penerangan lebih handal bagi sekitar 1000 rumah tangga di sana. Sejauh ini pasokan listrik bagi mereka sangat terbatas, meski jaringan PLN telah ada di mayoritas desa di Tomia, namun listrik hanya tidak sepenuhnya menyala.

3. PLTS di Pulau Karampuang

Sulawesi Barat, Proyek ini membangun empat PLTS di Pulau Karampuang dengan total kapasitas 598,4 kWp, memberikan penerangan kepada sekitar 3.300 orang di 784 keluarga yang tinggal di pulau seluas 6 km². Untuk saat ini, awalnya listrik hanyalah sembilan generator diesel berkapasitas total 150 kW. Total lahan yang digunakan untuk pembangunan PLTS ialah 10.750 m².

8.2.2 Lembaga Pengelola Komunitas

Manfaat-manfaat dari sistem PLTS dan segala teknis yang berhubungan dengannya akan bisa berlanjut dari masa ke masa bila mempunyai suatu lembaga pengelola. Lembaga ini perlu dibangun atas dasar komunitas karena terkait sifat program inklusif milik Konsorsium. Keterlibatan komunitas dirasa penting selain menyatukan keseluruhan masyarakat secara partisipatif, PLTS yang dibangun adalah skala kecil sehingga menuntut kepengurusan secara mandiri. Banyak kegagalan program PLTS di tempat-tempat lain karena tidak ada proses sosial atau pengelolaan oleh komunitas. Perangkat PLTS yang dibiarkan saja sedemikian rupa menjadi tidak terurus dan masyarakat pun juga tidak mempunyai rasa memiliki. Untuk itu para kader hijau sebagai komunitas menjadi motor penggerak masyarakat sebagai lembaga legal dari masyarakat sendiri yang terorganisir untuk mengelola PLTS.

8.3 PLTS Dalam Skala Industri

Sektor industri merupakan pengguna energi terbesar kedua setelah sektor rumah tangga, yaitu 35% dari total pemakaian energi. Dengan potensi energi surya yang melimpah dan meningkatnya kebutuhan energi khususnya pada sektor industri tersebut, merupakan peluang bagi sektor industri untuk mengembangkan PLTS sehingga dapat meningkatkan daya saing suatu industri.

Saat ini PLTS menjadi pilihan sumber energi terbarukan yang sangat mudah pengaplikasiannya. Sektor industri adalah sektor yang paling berpengaruh dalam membantu pemerintah mencapai target bauran energi 23% pada 2025 (Kepres, 2006). Beberapa industri besar di Indonesia seperti Coca cola, Danone-Aqua, Astra, Uni-chram dan Arwana Citramulia telah merealisasikan penggunaan energi terbarukan PLTS pada pabrik mereka (HME, 2022). Tahun 2050 diproyeksikan permintaan energi listrik pada sektor industri di Indonesia akan mencapai kisaran 660 TWh atau 10 kali lipat dari penggunaan tahun 2015 (Malinowski & Leon, 2019). Pemanfaatan EBT di sektor industri memiliki peran yang strategis menuju modern sustainable energy service atau layanan energi berkelanjutan yang lebih modern dan mempunyai peluang untuk meningkatkan keuntungan finansial serta meningkatkan daya saing. Untuk mencapai itu caranya adalah dengan pemilihan sumber EBT yang potensial, semakin murah harga energinya dan pola penggunaan energi yang lebih efisien. Caranya adalah dengan mengimplementasikan teknologi PLTS atap (PV Rooftop) pada sektor industri. Pemanfaatan PLTS atas dengan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 25% (IESR, 2021).

Penggunaan PLTS atap didasari sebagai upaya Pemerintah dalam mencapai target energi baru dan terbarukan (EBT) sebesar 23% pada tahun 2025. Melalui ESDM, pemerintah menerbitkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 26 Tahun 2021 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap yang Terhubung Pada Jaringan Tenaga Listrik sebagai Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum (IUPTLU). Peraturan Menteri ini merupakan penyempurnaan dari peraturan sebelumnya sebagai upaya memperbaiki tata kelola dan keekonomian PLTS Atap. Peraturan ini juga sebagai langkah untuk merespon dinamika yang ada dan memfasilitasi keinginan masyarakat untuk mendapatkan listrik dari sumber energi terbarukan, serta berkeinginan berkontribusi menurunkan emisi gas rumah kaca.

Empat faktor yang mendasari pemilihan PLTS pada skala industri:

1. Konsumsi energi listrik di sektor industri pada siang hari tinggi daripada pagi dan sore hari, kondisi ini sesuai dengan siklus matahari (Suhendar, 2022). Lamanya sinar matahari yang dapat menghasilkan energi listrik maksimum di wilayah Indonesia berkisar antara 4 sampai 5.5 jam sehari yaitu berkisar dari pukul 9.30 pagi sampai pukul 2 siang. Hal ini menunjukkan bahwa ada porsi konsumsi industri pada siang hari yang dapat disuplai dari PLTS atap. Dilihat dari lokasi pusat kawasan industri di Indonesia yang pada umumnya terletak di Pulau Jawa dan Batam, mempunyai sudut kemiringan panel surya antara 5 sampai 10 derajat. Sudut kemiringan panel merupakan salah satu parameter lingkungan yang memengaruhi kinerja sel surya (Sugiono, et al., 2022). Wilayah ini pun kecepatan angin yang relatif kecil, mengakibatkan biaya pembangunan PLTS atap menjadi murah karena tidak memerlukan struktur penyangga panel surya yang mahal, serta area yang dibutuhkan juga tidak terlalu besar. Berbeda dengan negara sub tropis, dibutuhkan sudut kemiringan panel surya tinggi karena lokasinya jauh dari garis khatulistiwa dan terpaan angin yang lebih kencang, sehingga biaya pemasangan panel surya jauh lebih mahal.
2. Kesiapan infrastruktur dan tenaga ahli, kawasan industri pada umumnya terdiri dari area pabrik, lahan parkir, kantor dan rumah karyawan yang memiliki atap yang luas, didukung dengan bentuk, material dan sudut kemiringan atap yang relatif seragam. Pembangunan sarana dan prasarana di kawasan industri, pemasangan instalasi listrik, serta sistem proteksi petir dan pertahanannya juga telah memenuhi standar keamanan yang tinggi. Kondisi infrastruktur kelistrikan di kawasan industri biasanya stabil, handal dan kualitas dayanya pun baik. Semua kondisi ini menjadi syarat mutlak masuknya sistem PLTS ke dalam jaringan listrik utilitas/perusahaan listrik negara. Kawasan industri didukung oleh sumber daya manusia yang profesional, adanya staf/karyawan yang bertanggung jawab untuk mengatasi teknis kelistrikan bilamana terjadi gangguan.

3. Dampak lingkungan dan sosial pemanfaatan energi surya secara masih di kawasan industri akan mengurangi penggunaan bahan bakar minyak, kadar polutan di udara dan tingkat kebisingan di sekitar tempat kerja dapat ditekan, sehingga akan terwujud lingkungan industri yang lestari dan terangkatnya citra positif bagi pelaku industri yang melakukannya.
4. Potensi penghematan, pemasangan PLTS atap di sektor industri dapat memberikan keuntungan finansial jangka panjang, mengingat kecenderungan tarif listrik PLN yang terus meningkat, sedangkan biaya energi dari PLTS semakin murah. Biaya pembangunan sistem PLTS atap untuk skala besar dapat lebih rendah 35% daripada skala kecil. Dari tahu ke tahun biaya investasi PLTS mengalami penurunan yang signifikan yaitu berkisar 18% sampai 22%.

Bab 9

Aspek Lingkungan dan Keberlanjutan Energi Surya

Indonesia, yang secara geografis terletak di garis khatulistiwa, memegang potensi substansial dalam pengembangan energi surya. Dengan keberadaannya di zona tropis, negara ini mengalami pencahayaan matahari yang konsisten dan intens sepanjang tahun, menjadikannya kandidat utama untuk adopsi teknologi energi surya. Sesuai dengan estimasi dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia memiliki kemungkinan untuk menciptakan sekitar 207 GWp (Gigawatt peak) dari energi surya. Tetapi, sampai dengan tahun 2020, realisasi pengembangan energi surya di Indonesia masih terbatas, dengan kapasitas instalasi hanya mencapai sekitar 0,15 GW, menunjukkan bahwa masih ada ruang yang luas untuk ekspansi dan optimalisasi. Pada tahun 2021 distribusi potensi matahari di Indonesia diperlihatkan pada Gambar 1. Dalam lanskap energi global, IRENA (International Renewable Energy Agency) mencatat bahwa adopsi energi terbarukan, termasuk energi surya, adalah imperatif untuk pencapaian keberlanjutan lingkungan dan sosial ekonomi. Dalam konteks Indonesia, pemanfaatan sumber energi terbarukan ini sejalan dengan visi pemerintah yang tertuang dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), yang mencanangkan pengembangan energi surya sebagai salah satu pilar utama diversifikasi energi. Upaya-upaya konkret, seperti inisiasi program solar rooftop dan elektrifikasi desa berbasis surya, telah

diluncurkan untuk mengakselerasi integrasi energi surya dalam sistem energi nasional (Whiteman, A., 2022).

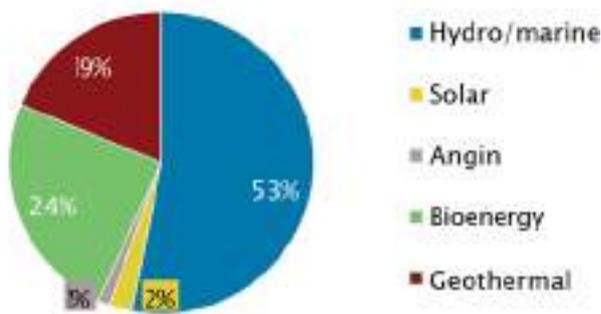
Namun, Indonesia menghadapi serangkaian tantangan dalam merealisasikan potensi penuh dari energi surya. Isu-isu seperti ketidakmerataan infrastruktur jaringan listrik, investasi awal yang tinggi, dan kekurangan pengetahuan dan pemahaman masyarakat mengenai nilai dan manfaat energi surya merupakan penghalang signifikan. Menanggapi ini, inovasi dan penelitian yang dilakukan oleh institusi akademik dan penelitian seperti Institut Teknologi Bandung (ITB) dan Universitas Gadjah Mada (UGM), mengarah pada pengembangan teknologi surya yang lebih efisien dan ekonomis.



Gambar 9.1: Distribusi Potensi Matahari (Whiteman, A., 2022)

Dalam rangka pencapaian target energi terbarukan sebesar 23% dari total bauran energi pada tahun 2025, pemerintah Indonesia, bersama dengan pemangku kepentingan lainnya, dihadapkan dengan urgensi untuk membangun fondasi yang kokoh untuk energi surya. Peningkatan koordinasi antara sektor pemerintah, swasta, dan akademisi, serta pemasyarakatan teknologi surya, akan menjadi kunci dalam menjadikan Indonesia sebagai pemain utama dalam pengembangan energi surya di kawasan regional. Perbandingan kapasitas energi terbarukan di tahun 2022 diperlihatkan pada Gambar 9.2. Secara keseluruhan, meskipun terdapat berbagai tantangan, perkembangan progresif dalam sektor energi surya di Indonesia dapat diharapkan dengan perpaduan kebijakan yang mendukung, investasi dalam penelitian dan inovasi, serta edukasi dan advokasi masyarakat. Terintegrasi dengan panduan dan rekomendasi dari IRENA, optimasi energi surya di

Indonesia bisa menjadi pilar keberlanjutan dan diversifikasi energi di masa mendatang.



Gambar 9.2: Kapasitas Energi Terbarukan di 2022 (Whiteman, A., 2022)

9.1 Dampak Lingkungan Produksi Panel Surya

Produksi panel surya, meskipun menjanjikan solusi energi yang ramah lingkungan, membawa beban ekologis yang harus diperhitungkan dalam analisis keberlanjutan. Pada tahap awal, energi dan sumber daya yang diperlukan untuk produksi memerlukan pertimbangan mendalam. Proses pembuatan sel fotovoltaik melibatkan penggunaan bahan seperti silikon, perak, dan aluminium (Chen, T. et.all, 2015). Ekstraksi dan pengolahan bahan-bahan ini memerlukan konsumsi energi yang signifikan, baik dari pemakaian bahan bakar fosil maupun energi listrik. Energi ini, sebagian besar, masih berasal dari sumber yang tidak terbarukan, yang paradoksal dengan tujuan utama panel surya sebagai solusi energi hijau.

Selain itu, ekstraksi dan pengolahan bahan baku untuk produksi panel surya memiliki dampak langsung pada lingkungan dan sumber daya alam, (Mphande, B.C., 2014). Penambangan untuk mendapatkan mineral dan bahan lainnya sering kali menyebabkan degradasi habitat, gangguan pada ekosistem, dan polusi air. Dalam beberapa kasus, teknik penambangan yang tidak bertanggung jawab bisa menyebabkan kerusakan permanen pada lingkungan dan mengancam keberlanjutan sumber daya alam di lokasi penambangan.

Polusi air, erosi, dan fragmentasi habitat adalah beberapa dari masalah ekologi yang mungkin timbul (Didham, R.K., 2010).

Namun, industri panel surya telah menyadari dampak ekologis dari proses produksinya dan berupaya untuk mengurangi beban tersebut. Salah satu inisiatif utama adalah dengan meningkatkan efisiensi dalam proses produksi sehingga mengurangi konsumsi energi dan sumber daya. Inovasi teknologi juga dilakukan untuk mencari bahan alternatif yang lebih ramah lingkungan atau yang dapat diperoleh dengan metode ekstraksi yang lebih berkelanjutan. Selain itu, upaya daur ulang komponen panel surya yang sudah tidak efisien atau rusak juga semakin digalakkan. Pendekatan siklus hidup, di mana setiap tahap produksi dianalisis untuk potensi dampak lingkungan, menjadi acuan untuk memastikan bahwa produksi panel surya benar-benar meminimalkan jejak ekologisnya (Mappangara, D. and Kartini, D., 2019).

Meski teknologi panel surya telah menunjukkan potensi besar dalam mengurangi beban karbon global, penting untuk memahami bahwa transisi ke energi surya bukanlah tanpa tantangan. Dalam konteks produksi, perlu ada keseimbangan antara kebutuhan eksploitasi sumber daya dan kewajiban untuk melindungi ekosistem. Salah satu masalah yang sering muncul adalah dilema di mana sumber daya yang diperoleh untuk produksi panel surya, seperti tanah yang digunakan untuk penambangan bahan baku atau lahan untuk instalasi panel skala besar, bisa berkonflik dengan kebutuhan konservasi lingkungan dan sosial. Misalnya, instalasi panel surya skala besar di daerah yang sebelumnya merupakan habitat satwa liar dapat menyebabkan gangguan pada kehidupan hewan. Di sisi lain, penambangan bahan baku sering kali dikaitkan dengan konflik sosial, di mana masyarakat lokal mungkin terpinggirkan atau kehilangan akses ke sumber daya mereka.

Tantangan lainnya adalah upaya daur ulang dan pengelolaan limbah panel surya. Meski teknologi daur ulang telah berkembang, masih ada kebutuhan untuk metode yang lebih efisien dan ekonomis untuk mendaur ulang panel surya yang telah mencapai akhir masa pakainya. Dengan perkiraan lonjakan jumlah panel surya yang akan "pensiun" dalam dekade mendatang, solusi untuk pengelolaan limbah ini menjadi semakin mendesak. Namun, ada optimisme bahwa dengan riset dan inovasi yang berkelanjutan, industri panel surya dapat mengatasi hambatan-hambatan ini. Sudah ada banyak inisiatif penelitian yang berfokus pada pengembangan bahan alternatif untuk panel surya yang lebih ramah lingkungan, efisien, dan mudah didaur ulang. Selain itu, pendekatan multipihak dalam pengambilan keputusan, yang melibatkan

pemerintah, industri, komunitas ilmiah, dan masyarakat, dapat memastikan bahwa transisi ke energi surya terjadi dengan cara yang benar-benar berkelanjutan dan adil (Eager, B. 2019).

Berbicara tentang konsumsi energi dalam produksi panel surya, sebuah studi oleh National Renewable Energy Laboratory (NREL) menemukan bahwa energi pembalikan waktu (EPBT) waktu yang dibutuhkan untuk sebuah panel surya menghasilkan energi sebanyak yang digunakan untuk produksinya untuk teknologi panel surya saat ini berkisar antara 0,5 hingga 2 tahun, tergantung pada teknologi dan lokasi instalasi (Cabuk, M. and Naraghi, M.H. 2014). Namun, penting untuk dicatat bahwa panel surya biasanya memiliki umur kerja antara 25 hingga 30 tahun, yang berarti selama 90% masa hidupnya, panel surya net positif dalam hal produksi energi. Dalam konteks dampak terhadap lingkungan dan sumber daya alam, sebuah laporan oleh IRENA pada tahun 2016 menunjukkan bahwa produksi panel surya menghasilkan sekitar 1% dari total emisi karbon dioksida industri. Meskipun angka ini tampak kecil, dengan perkiraan pertumbuhan tahunan industri surya sekitar 20% hingga 2025, manajemen dampak ini menjadi krusial (Elghamry, R., Hassan, H. and Hawwash, A.A., 2020).

Untuk upaya mengurangi dampak lingkungan produksi, IRENA juga mencatat bahwa pada tahun 2019, sekitar 70% limbah dari panel surya di Eropa didaur ulang, menunjukkan potensi yang signifikan dalam mengurangi jejak karbon dari produksi panel surya. Tantangan dalam daur ulang panel surya, sebuah laporan dari World Energy Council pada tahun 2020 menunjukkan bahwa diperkirakan akan ada kenaikan limbah panel surya antara 60-78 juta ton global pada tahun 2050. Namun, teknologi daur ulang yang lebih baik dan inovasi dalam desain panel surya dapat memastikan bahwa sebagian besar dari limbah ini dapat didaur ulang atau digunakan kembali. Jadi, meskipun panel surya diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca, penting untuk mempertimbangkan dan mengatasi dampak lingkungan yang muncul dari proses produksinya sendiri. Dengan inovasi berkelanjutan dan praktek industri yang bertanggung jawab, panel surya dapat lebih mendekati visinya sebagai solusi energi yang sepenuhnya berkelanjutan.

9.2 Pengelolaan Limbah Panel Surya

Dalam era transisi energi yang cenderung bergerak menuju sumber energi terbarukan, panel surya telah mendapatkan tempat penting sebagai solusi energi ramah lingkungan. Namun, salah satu tantangan yang muncul adalah bagaimana mengelola limbah dari panel surya ketika mereka mencapai akhir masa pakai. Menurut IRENA, masa pakai standar panel surya adalah antara 25 hingga 30 tahun. Setelah periode ini, efisiensinya berkurang dan perlu pertimbangan untuk daur ulang atau pengelolaan limbah.

Dalam konteks metode pengelolaan, sebagian besar panel surya terbuat dari silikon, kaca, plastik, dan logam, yang semuanya dapat didaur ulang dalam berbagai kapasitas. Sebuah studi oleh NREL menemukan bahwa hingga 96% dari material utama dalam panel surya dapat didaur ulang kembali menjadi bahan baku baru. Eropa, sebagai contoh, telah mengimplementasikan regulasi melalui Direktif Limbah Peralatan Elektronik dan Elektrik (WEEE), yang memandu pengumpulan dan daur ulang panel surya.

Namun, meskipun potensinya besar, daur ulang panel surya belum sepenuhnya dioptimalkan. Salah satu alasan adalah biaya daur ulang yang masih tinggi dibandingkan dengan pembuatan panel baru. Dalam mengatasi tantangan ini, banyak penelitian dan inovasi sedang dilakukan. Misalnya, peneliti di University of New South Wales telah mengembangkan teknik baru yang menggunakan pelarut organik untuk memisahkan sel silikon dari kaca dalam panel surya, yang berpotensi mengurangi biaya daur ulang secara signifikan.

Dalam kesimpulannya, sementara panel surya menawarkan solusi energi yang berkelanjutan, ada kebutuhan mendesak untuk mengatasi tantangan pengelolaan limbah mereka. Dengan inovasi dan kerjasama antara industri, akademisi, dan pemerintah, ada harapan bahwa pengelolaan limbah panel surya dapat dikelola dengan cara yang benar-benar berkelanjutan dan ramah lingkungan.

9.3 Kontribusi terhadap Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca

Energi surya, dalam beberapa dekade terakhir, telah mendapat perhatian sebagai salah satu solusi paling menjanjikan dalam upaya global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK). Perbandingannya dengan sumber energi lain, khususnya sumber energi fosil, memberikan gambaran yang mencolok tentang kontribusi positifnya dalam mitigasi perubahan iklim. Menurut sejumlah laporan ilmiah, pembangkit listrik berbahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, dan gas alam menghasilkan emisi GRK yang signifikan, yang berkontribusi langsung terhadap pemanasan global. Sebaliknya, panel surya, setelah dipasang, menghasilkan listrik tanpa mengemisikan GRK, menjadikannya alternatif yang lebih ramah lingkungan (Boedoyo, M.S. 2011).

Selanjutnya, potensi pengurangan emisi global dengan meningkatkan penerapan energi surya diperkirakan signifikan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa transisi cepat ke energi terbarukan, dengan energi surya sebagai komponen utamanya, dapat mengurangi emisi GRK global hingga 20-25% dalam dekade mendatang. Ini merupakan langkah signifikan dalam mencapai tujuan kesepakatan iklim internasional, seperti yang ditetapkan dalam Perjanjian Paris, untuk membatasi kenaikan suhu global menjadi di bawah 2°C (Hu, T., Sun, Y. and Zhang, X. 2017).

Sebagai ilustrasi dari kontribusi energi surya dalam pengurangan emisi, kita dapat meninjau studi kasus tertentu. Ambil contoh sebuah proyek PLTS skala besar di daerah terpencil Indonesia. Proyek tersebut, dengan kapasitas terpasang sekitar 50 MW, mampu menggantikan konsumsi bahan bakar fosil yang sebelumnya digunakan sebagai sumber energi utama di daerah tersebut. Analisis siklus hidup menunjukkan bahwa, sepanjang masa operasionalnya, proyek tersebut dapat mengurangi emisi GRK hingga sekitar 1,5 juta ton CO₂ setara, setara dengan mengurangi 300.000 mobil dari jalan setiap tahunnya (IRENA, accessed 2 October 2023).

Berdasarkan laporan dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), kapasitas terpasang PLTS di Indonesia telah mencapai sekitar 6 GW pada tahun 2020. Dengan menggunakan metrik IRENA, ini berarti Indonesia

sendiri telah mengurangi emisi sekitar 14,4 juta ton CO₂ setiap tahun, setara dengan menghilangkan sekitar 3 juta mobil dari jalanan.

Namun, meskipun pencapaiannya mengesankan, masih ada potensi besar untuk pertumbuhan lebih lanjut. Jika Indonesia dapat memanfaatkan sebagian kecil dari potensi energi surya yang diperkirakan mencapai 207 GWp, maka pengurangan emisi yang dapat dicapai akan sangat signifikan, mendukung upaya global dan nasional untuk mencapai target emisi dan perubahan iklim yang ambisius.

Penerapan energi surya memiliki dampak dua sisi dalam upaya pengurangan emisi GRK. Pertama, sebagai sumber energi bersih yang menghasilkan listrik tanpa emisi selama operasionalnya. Kedua, dengan menggantikan atau mengurangi kebutuhan akan sumber energi berbasis fosil yang memiliki jejak karbon tinggi. Ini menunjukkan potensi besar dari energi surya dalam memainkan peran kunci dalam upaya global untuk memerangi perubahan iklim dan memastikan masa depan planet kita yang lebih berkelanjutan (Zamparas, M. 2021).

9.4 Peran Energi Surya dalam Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)

Energi surya memiliki peran integral dalam upaya global untuk mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) yang diusung oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa. Tujuan ketujuh dari SDGs, yakni "Energi Bersih dan Terjangkau", secara langsung berkaitan dengan adopsi energi surya. Menurut laporan PBB tahun 2020, sekitar 789 juta orang di seluruh dunia masih hidup tanpa akses ke listrik, dan energi surya, terutama melalui solusi off-grid dan mini-grid, menjadi alat penting untuk mengatasi kesenjangan tersebut. Lebih lanjut, energi surya berkontribusi terhadap pencapaian beberapa tujuan SDGs lainnya, seperti inovasi industri, infrastruktur (Tujuan 9), tindakan iklim (Tujuan 13), dan kemitraan global (Tujuan 17) (Mukherjee, J.S. 2017).

Dalam konteks inisiatif global, berbagai forum internasional seperti IRENA dan Aliansi Energi Terbarukan Internasional (ISA) telah memposisikan energi surya sebagai pilar sentral dalam strategi mereka. Misalnya, ISA, sebuah kemitraan antara lebih dari 120 negara, berkomitmen untuk memobilisasi lebih

dari \$1 triliun dana hingga 2030 untuk memajukan instalasi kapasitas energi surya hingga 1 TW di seluruh dunia. Inisiatif semacam ini mencerminkan penerimaan global tentang pentingnya energi surya dalam agenda pembangunan berkelanjutan.

Sementara itu, dampak sosial ekonomi dari implementasi energi surya sangat signifikan. Berdasarkan data dari World Bank pada tahun 2019, sektor energi surya telah menciptakan lebih dari 4,4 juta lapangan pekerjaan di seluruh dunia, dan angka ini diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan industri ini. Di banyak negara berkembang, pembangunan infrastruktur energi surya juga merangsang pertumbuhan ekonomi lokal melalui penciptaan pekerjaan, pelatihan keterampilan, dan penyediaan energi yang andal untuk usaha mikro dan kecil. Dalam jangka panjang, investasi dalam energi surya tidak hanya mendorong pertumbuhan ekonomi tetapi juga mendukung pembangunan yang inklusif dan berkelanjutan.

Adopsi energi surya di berbagai belahan dunia juga menunjukkan bagaimana teknologi ini dapat berfungsi sebagai katalis untuk mencapai target-target lainnya dalam SDGs. Misalnya, dengan Tujuan 6 yang menargetkan "Air Bersih dan Sanitasi", panel surya digunakan untuk memfasilitasi sistem pengolahan air di daerah terpencil atau untuk pompa air dalam skala komunitas, memastikan pasokan air yang lebih andal bagi masyarakat yang sebelumnya kesulitan mendapatkan akses ke sumber air bersih.

Selain itu, energi surya juga berdampak positif terhadap pendidikan, sejalan dengan Tujuan 4 mengenai "Pendidikan Berkualitas". Di banyak daerah terpencil, terutama di negara-negara berkembang, sekolah-sekolah seringkali kekurangan pasokan listrik yang stabil. Dengan penerapan solusi energi surya, sekolah-sekolah ini mampu memiliki akses listrik yang lebih andal, memungkinkan penggunaan teknologi dalam proses belajar mengajar, dan memperpanjang jam belajar dengan penerangan yang lebih baik setelah matahari terbenam. Energi surya juga memiliki dampak yang mendalam terhadap Tujuan 5: "Kesetaraan Gender". Proyek-proyek energi surya di banyak komunitas telah memberdayakan perempuan, baik melalui peluang pekerjaan di sektor ini maupun dengan memberikan akses energi yang memudahkan pekerjaan rumah tangga dan kegiatan ekonomi lain yang dikelola oleh perempuan.

Dalam kerangka kerja kemitraan global, penting untuk mengakui bahwa kolaborasi antar negara, organisasi internasional, sektor swasta, dan

masyarakat sipil merupakan kunci sukses dalam memaksimalkan dampak positif dari energi surya. Dalam hal ini, Tujuan 17, "Kemitraan untuk Tujuan", memainkan peran penting dalam mengkatalisis tindakan dan investasi yang diperlukan. Untuk meraih manfaat penuh dari energi surya dalam konteks SDGs, akan diperlukan pemikiran yang inovatif, strategi pelaksanaan yang efektif, dan terutama, komitmen kolektif dari semua pemangku kepentingan. Energi surya, dengan potensinya yang luar biasa, menawarkan peluang emas bagi dunia untuk mencapai pembangunan yang berkelanjutan, inklusif, dan berdampak positif bagi semua lapisan masyarakat.

Energi surya bukan hanya sekedar alat untuk menghasilkan listrik. Ini adalah katalis untuk pertumbuhan ekonomi, inovasi, dan, yang terpenting, untuk menciptakan masa depan yang lebih berkelanjutan dan inklusif. Adopsi energi surya dalam skala yang lebih besar akan mendukung upaya global untuk mencapai SDGs, menekankan pentingnya kemitraan global, dan menghasilkan dampak sosial ekonomi yang positif di berbagai lapisan masyarakat.

9.5 Inovasi dan Penelitian untuk Keberlanjutan

Di era teknologi yang bergerak cepat, inovasi dan penelitian dalam bidang energi surya telah menciptakan revolusi dalam efisiensi dan keberlanjutan. Menurut laporan tahun 2020 dari International Energy Agency (IEA), efisiensi panel surya telah meningkat hampir 22% dalam dekade terakhir saja. Hal ini disebabkan oleh beragam penelitian yang berfokus pada pengembangan sel surya berbasis perovskite dan tandem, yang berjanji untuk meningkatkan efisiensi panel surya di atas 30%. Penelitian ini menekankan pentingnya menemukan material baru yang tidak hanya efisien tetapi juga berkelanjutan dalam produksi dan daur ulang (General Principles of the Agency, 2009).

Seiring dengan peningkatan efisiensi, ada pula dorongan yang kuat untuk pengembangan teknologi yang ramah lingkungan. Misalnya, proses produksi panel surya tradisional memerlukan banyak air dan bahan kimia. Namun, berkat inovasi terbaru, metode produksi berkelanjutan yang meminimalkan penggunaan sumber daya ini mulai diterapkan. Selain itu, penelitian juga berfokus pada penggunaan bahan yang dapat didaur ulang dan memiliki jejak karbon yang lebih rendah, mengurangi dampak lingkungan dari seluruh siklus

hidup panel surya. Mengenai tren masa depan, keberlanjutan energi surya tampaknya bergerak ke arah integrasi dengan teknologi lain untuk menciptakan solusi energi holistik. Misalnya, kombinasi panel surya dengan teknologi penyimpanan energi, seperti baterai lithium-ion atau baterai berbasis zat cair, sedang dalam tahap penelitian dan uji coba untuk meningkatkan reliabilitas dan fleksibilitas sumber energi surya. Selain itu, konsep "smart grid", di mana energi surya diintegrasikan ke dalam jaringan listrik yang cerdas dengan kapabilitas manajemen beban dan respons permintaan, diperkirakan akan menjadi norma dalam dekade mendatang.

Ketika melihat lebih jauh ke dalam paradigma energi surya, terdapat sejumlah faktor penting yang dapat memengaruhi keberlanjutan teknologi ini. Salah satu pertimbangan utama adalah biaya produksi dan pemasangan panel surya. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa biaya terus menurun, dengan perkiraan dari Bloomberg New Energy Finance (BNEF) pada tahun 2021 yang menunjukkan bahwa biaya pembangkitan tenaga surya telah turun lebih dari 80% dalam sepuluh tahun terakhir. Penurunan biaya ini diharapkan mempercepat adopsi energi surya di seluruh dunia, terutama di negara-negara berkembang yang memiliki potensi sumber daya matahari yang besar namun belum sepenuhnya dimanfaatkan.

Selain itu, isu daur ulang dan pengelolaan limbah panel surya telah menjadi fokus utama dalam riset dan inovasi. Dengan perkiraan bahwa sekitar 78 juta ton limbah panel surya akan dihasilkan pada tahun 2050, menurut laporan yang diterbitkan oleh IRENA, penelitian ke arah pengembangan metode daur ulang yang efisien dan efektif menjadi penting. Beberapa inovasi terkini termasuk teknologi yang memungkinkan pemisahan bahan dasar panel, seperti kaca, plastik, dan logam, untuk didaur ulang dan digunakan kembali. Konsep "surya plus" atau integrasi energi surya dengan teknologi lain juga mendapat perhatian besar (Bin, L. 2018). Misalnya, penelitian terbaru mengeksplorasi integrasi panel surya dengan teknologi hidroponik, memungkinkan produksi sayuran di bawah panel surya, mengoptimalkan penggunaan lahan dan meningkatkan keberlanjutan sistem makanan.

Terakhir, pengembangan skema pembiayaan dan insentif untuk investasi energi surya telah menjadi topik panas di kalangan peneliti dan pembuat kebijakan. Pemberian insentif kepada perusahaan dan individu untuk berinvestasi dalam teknologi surya, melalui mekanisme seperti kredit pajak atau subsidi, dapat meningkatkan adopsi energi surya dan mendukung transisi global menuju energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Inovasi dan

penelitian dalam dunia energi surya terus berkembang, mendorong industri ini menuju keberlanjutan yang lebih besar. Dengan tantangan lingkungan dan ekonomi yang semakin meningkat, energi surya, didukung oleh inovasi terbaru, muncul sebagai salah satu solusi paling menjanjikan untuk masa depan yang lebih cerah dan berkelanjutan.

9.6 Aspek Hukum dan Kebijakan

Dalam era transisi energi global, aspek hukum dan kebijakan menjadi unsur krusial dalam pembentukan landasan untuk pengembangan dan penerapan energi surya. Regulasi dan kebijakan yang mendukung keberlanjutan telah menjadi salah satu faktor pendorong utama pertumbuhan sektor energi surya. Sebagai contoh, menurut laporan World Bank pada tahun 2021, lebih dari 130 negara telah mengimplementasikan atau sedang merencanakan kebijakan tarif pembelian (feed-in tariffs, FITs) atau lelang untuk proyek energi terbarukan, termasuk energi surya. Kebijakan seperti ini bertujuan untuk memberikan insentif kepada produsen energi surya dengan harga jual yang menjamin ROI (Return on Investment) bagi investor (Charles, J.M., Jones, A. and Lloyd-Williams, H. 2019).

Dampak dari kebijakan ini pada pengembangan energi surya telah terbukti signifikan. Data dari IRENA menunjukkan bahwa kapasitas instalasi tenaga surya global meningkat dari kurang dari 10 GW pada tahun 2010 menjadi lebih dari 700 GW pada tahun 2020. Adopsi kebijakan yang mendukung, seperti FITs, kredit pajak, atau insentif fiskal, berkontribusi besar terhadap pertumbuhan eksponensial ini. Namun, kebijakan saja tidak cukup. Inisiatif konkret dari pemerintah dan stakeholder lainnya adalah kunci untuk memastikan keberhasilan transisi ini. Banyak negara telah meluncurkan program nasional untuk meningkatkan adopsi energi surya. Sebagai contoh, program "Solar Rooftop" di India bertujuan untuk menginstal panel surya di jutaan atap di seluruh negara tersebut, dengan target kapasitas terpasang sekitar 40 GW pada tahun 2022. Selain itu, organisasi internasional, NGO, dan sektor swasta juga telah berkolaborasi dalam berbagai inisiatif berskala besar untuk meningkatkan kapasitas produksi, pendanaan, dan pelatihan dalam sektor energi surya.

Selain dari pertumbuhan kapasitas yang pesat, dampak regulasi dan kebijakan juga mencerminkan kualitas dan standar operasi dalam industri energi surya.

Untuk menjamin keselamatan, kualitas, dan kinerja optimal dari sistem tenaga surya, berbagai negara telah menerapkan standar teknis dan sertifikasi khusus. Misalnya, di Eropa, regulasi seperti IEC 61215 dan IEC 61730 telah ditetapkan untuk menilai kinerja dan keandalan modul fotovoltaik. Dengan peningkatan ambisi global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, kebijakan yang mendukung energi surya bukan lagi sekadar pilihan, melainkan kebutuhan mendesak. Sebagai bukti, menurut data dari United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), lebih dari 70% kontribusi NDCs (Nationally Determined Contributions) dari berbagai negara mencakup pengembangan energi surya sebagai salah satu strategi utama dalam upaya pengurangan emisi (Benedek, S. 2023).

Namun, tantangan masih ada. Dalam banyak kasus, kebijakan yang ada masih belum sepenuhnya sinkron dengan realitas lapangan, terutama dalam hal akses ke pembiayaan, teknologi, dan keahlian. Oleh karena itu, dialog konstan antara pemerintah, industri, masyarakat akademik, dan masyarakat sipil menjadi penting. Berbagai forum, seperti pertemuan tahunan IRENA dan Clean Energy Ministerial, telah menjadi ajang diskusi produktif mengenai perbaikan dan adaptasi kebijakan yang lebih mendukung. Selain itu, kerjasama regional dan internasional juga menjadi kunci. Sebagai contoh, inisiatif seperti International Solar Alliance (ISA) telah mendorong kerjasama lintas batas untuk pertukaran pengetahuan, best practices, dan solusi inovatif dalam pengembangan energi surya. ISA, yang merupakan aliansi antara lebih dari 120 negara, fokus pada tujuan untuk memobilisasi lebih dari \$1000 miliar investasi dalam energi surya pada tahun 2030.

Jelas bahwa kebijakan dan regulasi bukan hanya alat untuk mendukung pengembangan energi surya, tetapi juga sebagai instrumen penting untuk mendorong inovasi, kerjasama, dan pertumbuhan inklusif. Sebagai sektor yang terus berkembang, energi surya membutuhkan panduan hukum yang fleksibel namun kuat untuk menavigasi tantangan masa depan dan memaksimalkan potensinya sebagai tulang punggung energi global yang berkelanjutan. Harmonisasi antara regulasi, kebijakan, dan inisiatif nyata dari semua pemangku kepentingan adalah kunci untuk memastikan bahwa energi surya tidak hanya menjadi solusi energi yang berkelanjutan, tetapi juga menjadi pendorong utama pertumbuhan ekonomi dan kemajuan sosial di seluruh dunia.

Bab 10

Studi Kasus Pemanfaatan PLTS

10.1 Pendahuluan

10.1.1 Kontribusi Meteorologi Energi

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dianggap memiliki memiliki kepentingan yang signifikan untuk transisi dari produksi energi konvensional ke produksi energi yang berkelanjutan PLTS menggunakan metode direct menipisnya persediaan bahan bakar fosil yang akan datang, yang mengarah ke meningkatnya ketergantungan produksi energi kami pada sumber energi terbarukan. Hal ini menimbulkan tantangan baru bagi sistem distribusi dan terdistribusi dan sistem terdesentralisasi. Salah satu masalahnya adalah ketersediaan sumber energi terbarukan seperti angin dan matahari tidak tersedia secara terus menerus karena dipengaruhi oleh faktor meteorologi, yang energi menyebabkan pola produksi energi sangat bervariasi dalam ruang dan waktu. Di sinilah bidang penelitian meteorologi energi berada: di antara segitiga ekonomi, sumber daya, dan lingkungan, di mana aspek meteorologi, serta aspek fisik-teknis, dipertimbangkan. Sejauh ini, informasi radiasi sebagian besar telah tersedia sebagai rangkaian waktu yang panjang dan retrospektif, yang digunakan oleh industri energi surya untuk audit lokasi dan pemantauan fasilitas. Namun, untuk integrasi menyeluruh dari sumber daya alternatif yang sangat bervariasi ini ke dalam sistem catu daya konvensional

yang ada, efektivitas produksi energi terbarukan perlu ditingkatkan ditingkatkan. Untuk sektor energi surya, hal ini hanya mungkin dilakukan jika prediksi jangka pendek yang dapat diandalkan dari radiasi matahari langsung dan global jangka pendek dan global yang dapat diandalkan dapat diperoleh. Dimungkinkan untuk menggunakan vektor gerakan awan berbasis satelit untuk bidang awan dan, oleh karena itu, prediksi jangka pendek penyinaran permukaan dengan cakrawala prakiraan hingga sekitar 6 jam [2]. Pendekatan seperti itu dapat digunakan di pasar intraday di masa depan, memungkinkan pembaruan prakiraan sepanjang hari. Untuk prakiraan produksi satu hari ke depan prakiraan produksi, kombinasi prediksi cuaca numerik dan pemodelan kualitas udara lebih cocok, misalnya, seperti pendekatan yang dibahas dalam [3] di mana meteorologi dan prakiraan kimia mengandalkan berbasis satelit dan darat asimilasi data bab ini akan menganalisis kasus uji coba berdasarkan meteorologi dan prakiraan bahan kimia sehubungan dengan operasi yang dioptimalkan strategi operasi optimal dari STPP ketika berpartisipasi pada tarif premium. Dalam kenyataannya, model perkiraan harga listrik dan jenis penyimpanan yang terintegrasi memiliki pengaruh lebih lanjut terhadap optimalisasi strategi operasi. Namun, untuk menilai dampak dari perkiraan radiasi yang sebenarnya di sini, keduanya diasumsikan ideal.

10.2 Studi Kasus Deskripsi Model Pasar Spanyol

10.2.1 Model-Model Remunerasi

Model Tarif Tetap: Model Tarif Tetap dicirikan oleh remunerasi seragam yang tidak bergantung pada waktu dan hari dalam seminggu. Per kWh listrik yang disalurkan 26,9375 -ct dibayarkan. Penting untuk diperhatikan bahwa Operator STPP memiliki hak yang dijamin untuk memasok semua listrik kapanpun listrik tersebut diproduksi. Model ini hanya dapat dipilih oleh pembangkit listrik dengan daya terpasang maksimum 50 MW) Model Premium: Model premium terdiri dari jumlah dari harga listrik yang dinegosiasikan, ditambah premi tambahan. Keduanya dibayarkan per kWh listrik yang disalurkan. Preminya adalah saat ini adalah 25,4 -ct/kWh dan tidak tergantung pada waktu. Harga listrik dinegosiasikan dalam kontrak bilateral atau di pasar listrik

OMEL. Dalam studi ini, listrik dianggap diperdagangkan di bursa saham listrik, seperti seperti yang direalisasikan oleh proyek PS10 Spanyol. Harga listrik yang diperdagangkan di OMEL bervariasi menurut waktu; dengan demikian, seluruh pembayaran listrik juga tergantung pada waktu. Karena tujuan dari model premium adalah untuk memperlakukan operator pembangkit listrik terbarukan seperti produsen konvensional, model ini juga mengandung beberapa kelemahan. Sebagai contoh, operator kehilangan hak mereka untuk memasok semua listrik yang mereka hasilkan, karena mereka hanya diizinkan untuk melakukan feed-in ketika mereka dapat mengatur untuk sebuah kontrak. Selain itu, mereka diwajibkan untuk mendukung operator sistem dalam upaya stabilisasi jaringan. Hal ini dapat mengakibatkan dalam penolakan hak feed-in meskipun ada tawaran penjualan yang dikonfirmasi, karena operator sistem dapat membatasi jumlah tertentu dari listrik terjadwal ketika diperlukan untuk sistem stabilisasi. Namun, partisipasi pada layanan jaringan tidak dipertimbangkan dalam bahasan ini. Kontrak Berbasis Lelang Pasar Berjangka (Day-Ahead Market): Setiap hari, biaya marjinal dan jumlah produksi energi untuk hari berikutnya ditentukan oleh operator pasar listrik Spanyol, OMEL. Untuk ini, setiap produsen dan konsumen listrik mengajukan penjualan dan penawaran pembelian, yang kemudian dicocokkan oleh OMEL untuk menyeimbangkan penawaran dan permintaan. 1. Tawaran penjualan dengan harga yang lebih tinggi dari harga marjinal tidak dipertimbangkan. Untuk mengambil bagian dalam lelang harian ini, setiap peserta di pasar harus menetapkan jadwalnya satu hari sebelum feed-in. Untuk sumber yang berfluktuasi seperti energi surya, ini berarti bahwa penjadwalan berbasis prakiraan diperlukan untuk mengidentifikasi jumlah yang wajar dan dapat diperdagangkan produksi listrik dan juga untuk menentukan operasi penyimpanan strategi.

Pasar Spanyol juga menawarkan kemungkinan untuk memperdagangkan energi di enam pasar intraday. Jika aset yang diasumsikan cukup, pasar-pasar tambahan ini digunakan untuk menyesuaikan energi yang dijadwalkan, mis, ketika terjadi perubahan dalam perkiraan. Dalam bahasan ini, operasi didasarkan pada satu perkiraan saja, yang berarti bahwa operator hanya berpartisipasi pada pasar satu hari sebelumnya. 2. Denda Penyimpangan: Denda penyimpangan harus dibayarkan ketika terjadi penyimpangan dari jumlah listrik yang dijadwalkan dan yang disalurkan.

Di bawah landasan hukum Spanyol saat ini, denda tergantung pada beberapa aspek, misalnya partisipasi pasar atau koneksi jaringan [4]. Untuk studi kasus

ini, model denda yang disederhanakan digunakan: penyimpangan denda ditetapkan sebesar 10% dari harga pasar yang sesuai. Perlu dicatat bahwa denda didefinisikan sebagai simetris, yang berarti bahwa penyimpangan positif dinilai sama dengan penyimpangan negatif penyimpangan. Terlepas dari penyimpangan, premi yang kecil adalah dibayarkan untuk setiap kWh listrik yang disalurkan.

10.3 Perlunya Prakiraan Radiasi

Untuk menghitung radiasi langsung dan radiasi global di permukaan permukaan, diperlukan informasi yang tepat mengenai awan, aerosol, uap air, dan ozon diperlukan. Untuk langit mendung, pengetahuan tentang tutupan awan dan jenisnya adalah yang paling penting dalam menentukan nilai penyinaran. Informasi tutupan awan juga penting untuk membedakan antara situasi mendung dan cerah. amun, dalam kasus langit yang cerah, informasi aerosol yang tepat sangat diperlukan untuk menyediakan prakiraan penyinaran yang akurat karena hingga 20% -30% tambahan

kepunahan radiasi langsung telah dilaporkan untuk kasus-kasus yang tinggi kejadian artikel [5], [6] Fakta bahwa ada fokus dari industri energi surya pada daerah yang relatif bebas awan, seperti seperti daerah Mediterania, menjelaskan mengapa perhitungan langit cerah sangat relevan untuk prakiraan radiasi.

10.3.1 Konsep Model

Sebuah model prakiraan berbasis aerosol dari radiasi matahari untuk aplikasi energi energi (sistem AFSOL, lihat [3]) telah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan komunitas energi surya terkait radiasi prakiraan: tidak hanya global, tetapi juga informasi radiasi langsung tersedia, dengan resolusi temporal tinggi yang mencakup Eropa dan wilayah Mediterania. Fokus telah ditempatkan pada prakiraan radiasi dalam kondisi langit cerah karena hal ini meliputi situasi yang paling menarik untuk operasi yang efisien dari pembangkit listrik tenaga surya. pembangkit listrik tenaga surya. Ini berarti bahwa prakiraan aerosol yang akurat adalah sangat relevan - sebuah parameter yang sering diabaikan sepenuhnya atau digantikan oleh nilai klimatologi global ketika penyinaran di permukaan tanah dinilai. Semua perhitungan radiasi dari sistem AFSOL

dilakukan dengan program lib Radtran (perpustakaan untuk transfer radiatif) kode. Rutinitas utamanya, uvspec, menghitung langsung dan radiasi spektral global pada tingkat permukaan, dengan mempertimbangkan atmosfer hamburan dan penyerapan ganda serta permukaan properti. Berbagai pemecah masalah tersedia, memungkinkan untuk memilih sesuai untuk berbagai aplikasi atau akurasi yang dibutuhkan, misalnya, antara perhitungan yang memakan waktu yang sangat tepat atau lebih banyak parameter rutinitas yang berlaku untuk layanan operasional. Untuk studi kasus yang disajikan di sini, aerosol, uap air dan informasi awan diambil dari model Polusi Udara Eropa Dispersi (EURAD) model, sedangkan ozon dan data albedo tanah telah diperoleh dari satelit berbasis pengukuran. Resolusi temporal dari penyinaran langsung dan global perkiraan adalah satu jam, resolusi spasial menyumbang setengah derajat grid di seluruh Eropa dan pesisir Afrika Mediterania Wilayah. Setiap prakiraan berlangsung selama 72 jam.pasar, jangka waktu dari 24 hingga 48 jam digunakan untuk penjadwalan feed-in.

10.3.2 Data Masukan Model EURAD

Menggabungkan proses fisika, kimia dan dinamika proses yang terkait dengan emisi, transportasi dan deposisi zat-zat di atmosfer. Elemen utama dari sistem ini terdiri dari tiga sub-model yang mengolah masukan meteorologi (model skala mesoscale NCAR- MM5 data emisi, dan model transportasi bahan kimia Informasi mengenai parameter awan (tinggi puncak dan dasar awan, air cair awan, dan fraksi awan) diperoleh dari bagian meteorologi dari model EURAD, serta total uap air.

Proses aerosol diperhitungkan dalam sub-sistem tambahan Sub-sistem MADE (modal aerosol dynamic model), yang meliputi emisi partikel, koagulasi dan pertumbuhan, transportasi, basah, basah, dan pengendapan kering [10]. Sistem yang lengkap menghasilkan konsentrasi massa dari semua spesies yang diolah dalam tiga mode ukuran yang berbeda (nukleasi, akumulasi dan kasar), membedakan di antara 23 troposfer tingkat ketinggian. Bahan organik primer dan unsur karbon, sulfat, ammonium, nitrat, materi partikulat antropogenik, dan air cair aerosol dipertimbangkan dalam akumulasi dan mode nukleasi. Aerosol antropogenik juga termasuk dimasukkan sebagai partikel mode kasar. Integrasi partikel mode kasar alami - garam laut dan debu - masih dalam persiapan. Ini adalah hal yang sangat penting, terutama karena, di daerah Mediterania, badai debu berbasis Sahara dapat sering terjadi yang menyebabkan kepunahan besar penyinaran langsung. Akibatnya, integrasi informasi debu eksternal ke dalam

model aerosol memiliki prioritas tinggi dari sudut pandang energi matahari. energi surya. Salah satu pendekatannya adalah asimilasi berbasis satelit berbasis satelit ke dalam model prakiraan kualitas udara EURAD, yang sedang diikuti dalam proyek AERA milik Yayasan Penelitian Jerman (DFG), proyek AERO-AM (lapisan batas AEROSol). karakteristik dari luar angkasa dengan asimilasi data tingkat lanjut ke dalam model transportasi kimia troposfer. Konsentrasi massa partikel dari spesies aerosol yang berbeda adalah biasanya digabungkan untuk menghasilkan nilai tunggal (massa total konsentrasi partikel yang lebih kecil dari 10 mikron di permukaan, didedikasikan untuk pengguna kualitas udara) sebagai keluaran standar. Dalam kasus ini studi yang disajikan, bagaimanapun, nilai konsentrasi massa yang terpisah dari semua zat yang dimodelkan digunakan untuk menghitung secara vertikal nilai ketebalan optik aerosol terintegrasi yang memungkinkan permukaan perhitungan radiasi. Data albedo permukaan tanah diperoleh dari instrumen MODIS milik NASA (Moderate resolution Imaging Spectro-Radiometer) milik NASA yang terdapat pada satelit Terra dan Aqua. Komposit dua bulanan dengan resolusi 1 km digabungkan agar sesuai dengan setengah derajat grid setengah derajat dari EURAD. Untuk informasi mengenai kandungan ozon di atmosfer, Total Ozone Pemetaan Spektrometer (TOMS) dari NASA Earth Probe Satellite digunakan. Data tersebut tersedia di <http://wdc.dlr.de>, pada cakupan global dan dengan resolusi. Untuk studi ini, nilai rata-rata harian kolom ozon digunakan digunakan, karena variabilitas antar harian ozon tidak terlalu tinggi dan karena pengaruh ozon dibatasi hingga kurang dari 1% Ketika berurusan dengan radiasi yang terintegrasi secara spectral.

10.3.3 Prakiraan Penyinaran ECMWF

Data dari Pusat Prakiraan Cuaca Jangka Menengah Eropa (European Center of Medium-Range Weather Prakiraan Cuaca Jangka Menengah Eropa (ECMWF) digunakan sebagai sumber kedua prakiraan. Prakiraan radiasi global matahari secara rutin diarsipkan di arsip operasional. Namun, radiasi langsung langsung tidak tersedia. Untuk waktu proses, minimalisasi komputasi dari transmisivitas gelombang pendek dilakukan hanya setiap 3 jam, dengan menggunakan nilai suhu, kelembaban spesifik, cairan/tes kadar air dan fraksi awan pada langkah waktu ini, dan klimatologi untuk aerosol, serta untuk karbon dioksida di atmosfer dan kandungan ozon. Untuk penelitian ini, bidang atmosfer dari parameter permukaan matahari radiasi ke bawah (SSRD) diperoleh pada kisi-kisi model Nilai-nilai radiasi diintegrasikan secara spektral

dari 200 hingga 4000 nm. Setiap prakiraan dimulai pada tengah malam dan berlangsung selama 72 jam. Semua parameter iradiasi di ECMWF diakumulasikan sejak awal prakiraan (dalam J/m). Untuk menghasilkan tiga prakiraan instan nilai rata-rata tiga jam untuk setiap langkah waktu yang diberikan, nilai radiasi untuk setiap langkah waktu harus diisolasi dan dinormalisasi ke interval waktu. Ketiga nilai per jam ini diinterpolasi untuk mendapatkan nilai rata-rata penyinaran per jam. Sebagai interpolasi linier menyebabkan perkiraan yang terlalu rendah untuk ketinggian matahari yang tinggi dan perkiraan yang terlalu tinggi untuk matahari rendah, metode interpolasi menggunakan rasio dari perkiraan penyinaran global terhadap penyinaran langit cerah yang dimodelkan (indeks langit cerah) untuk situasi yang sama diimplementasikan di sini. Sebuah model tambahan diperlukan untuk memisahkan komponen langsung dan komponen yang menyebar karena ECMWF hanya menawarkan penyinaran global global. Tergantung pada ketinggian matahari dan rasio radiasi global yang diperkirakan dengan radiasi global langit cerah yang dimodelkan, hal ini memungkinkan penentuan penyinaran normal langsung yang merupakan parameter yang diperlukan untuk mengelola konsentrasi pembangkit listrik tenaga surya. Perlu dicatat bahwa ada sedikit distorsi dalam siklus diurnal radiasi global ECMWF, yang disebabkan oleh fakta bahwa data radiasi perlu diinterpolasi dari nilai tiga jam di mana tidak ada informasi tambahan mengenai variabilitas sub-jam yang tersedia. Penyimpangan-penyimpangan ini cenderung berlipat ganda ketika ditransfer ke penyinaran langsung, yang mengarah ke kurva harian yang sedikit terkompresi dari nilai radiasi langsung yang diturunkan dari ECMWF langsung yang berasal dari ECMWF. Pengukuran di lapangan terhadap radiasi langsung dan global digunakan untuk menilai keakuratan ECMWF dan Data prakiraan AFSOL. Data lapangan diukur oleh Solar Millennium AG pada 37,21 U dan 3,07 BT (dekat Guadix, Spanyol selatan) dengan pyranometer bayangan berputar, yang memungkinkan untuk penentuan penyinaran matahari global dan menyebar. Untuk analisis yang disajikan, pengukuran 1 menit dirata-ratakan untuk menghasilkan nilai per jam. D. Performa Model untuk studi (bahasan ini), lokasi Guadix di Spanyol selatan (37.21 LU, 3.07 BT) untuk bulan Juli 2003 telah dianalisis. Selama analisis berikut ini, semua momen siang hari dari prakiraan 72 jam dipertimbangkan. Jika hanya situasi langit yang cerah yang diperiksa-kasus-kasus yang paling menarik untuk operasi pabrik strategi - prakiraan radiasi global AFSOL terlalu tinggi pengukuran berbasis lapangan sekitar% (atau 29 W/m), sedangkan prakiraan radiasi global ECMWF meremehkan sekitar %

(lihat Tabel I). Variabilitas akurasi prakiraan (root mean square error RMSE) jauh lebih besar untuk radiasi global ECMWF (12,4%) dibandingkan dengan Prakiraan AFSOL (5,2%). Sedangkan untuk komponen penyinaran langsung, di sini sekali lagi Prakiraan AFSOL memperkirakan pengukuran di lapangan secara berlebihan sebesar%, sedangkan prakiraan berbasis ECMWF meremehkan dengan rata-rata %. Menurut fakta bahwa ketidakakuratan dalam prakiraan penyinaran global umumnya meningkat ketika hanya komponen langsung yang dipertimbangkan, variabilitas untuk komponen langsung prakiraan penyinaran meningkat menjadi 17,4% (AFSOL) dan 28,6% (ECMWF). (ECMWF). Ini berarti bahwa untuk situasi langit yang cerah, baik global

BIAS AND RMSE OF AFSOL AND ECMWF FORECASTS (ONLY CLEAR SKY)

	rel. bias [%]	rel. RMSE [%]	abs. bias [W/m ²]	abs. RMSE [W/m ²]
AFSOL global	3,9	5,2	28,6	37,9
ECMWF global	-11,9	12,4	-86,1	89,8
AFSOL direct	11,7	17,4	71,7	107,1
ECMWF direct	-25,5	28,6	-157,1	175,7

July 1-31 2003, 31 forecast runs with 72 hours duration each, hourly values, only daytime, at test location

TABLE II

BIAS AND RMSE OF AFSOL AND ECMWF FORECASTS (ALL SITUATIONS)

	rel. bias [%]	rel. RMSE [%]	abs. bias [W/m ²]	abs. RMSE [W/m ²]
AFSOL global	-2,2	25,1	-12,7	148,0
ECMWF global	-11,1	18,5	-65,6	109,0
AFSOL direct	15,6	47,0	69,4	208,6
ECMWF direct	-23,3	41,7	-103,2	184,9

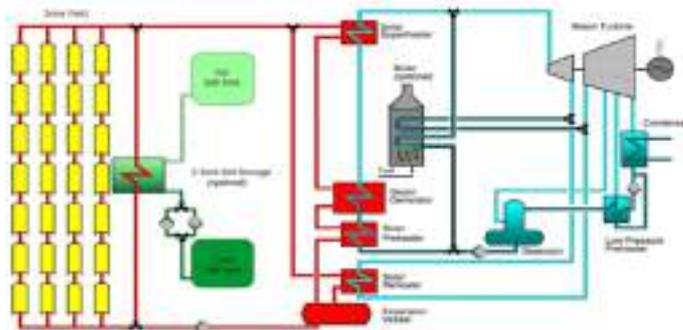
July 1-31 2003, 31 forecast runs with 72 hours duration each, hourly values, only daytime, at test location

dan prakiraan penyinaran langsung dari sistem AFSOL lebih akurat daripada prakiraan CMWF operasional dan turunannya penyinaran langsung. Jika semua situasi awan - termasuk sebagian dan seluruhnya mendung - dimasukkan ke dalam analisis, prakiraan variabilitas meningkat secara signifikan, terutama untuk penyinaran langsung (lihat Tabel II): di sini, AFSOL dan CMWF menunjukkan Nilai RMSE masing-masing sebesar 47 dan 42%, sementara nilai bias tetap kurang lebih sama dengan kondisi tanpa awan. Ini berarti bahwa menurut hasil dari periode penelitian kami data ECMWF lebih

cocok digunakan untuk meramalkan penyinaran untuk situasi berawan dan mendung sebagian.

10.4 Definisi Model Pembangkit Listrik Tenaga Panas Surya

Pltp terdiri dari blok pembangkit konvensional dan sistem penerima tenaga surya dan sistem penerima tenaga surya yang menggantikan generator uap konvensional. Berbagai jenis sistem penerima dapat dikelompokkan menjadi penerima linier dan penerima fokus titik. Dua linier utama sistem penerima fokus diberikan oleh palung parabola sistem dan peredam Fresnel. Biasanya uap hilir siklus hilir digunakan untuk menghasilkan listrik. Teknologi mutakhir yang digunakan oleh sebagian besar dari STPP yang diproyeksikan dan dibangun adalah sistem parabola parabola. Pada Gbr. 1, konfigurasi skematik dari Proyek Andosol-1 ditunjukkan. Andosol-1 terletak di dataran tinggi dataran tinggi Guadix (Provinsi Granada) dan dimiliki oleh Solar Millennium Dan grup ACS/Cobra. Bidang surya mengumpulkan radiasi matahari langsung radiasi matahari langsung dan memanaskan fluida transfer panas dingin (HTF). Energi ditransfer oleh HTF ke siklus uap secara berurutan untuk menghasilkan listrik. Penyimpanan terintegrasi dapat digunakan untuk menyeimbangkan penurunan iradiasi matahari karena pergerakan awan atau untuk memperpanjang waktu produksi listrik hingga malam hari. Setiap hari, listrik yang listrik yang dihasilkan dijual ke pasar listrik.



Gambar. 10.1: Konfigurasi skematik dari Proyek Andosol-1

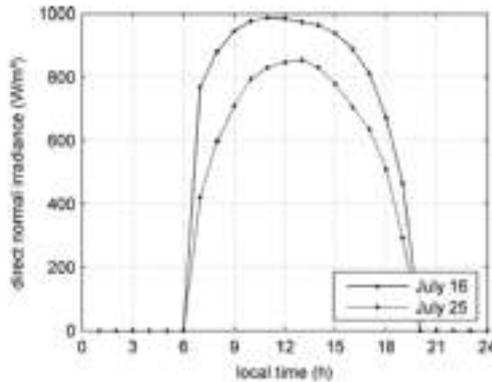


Fig. 2. Ground measurements of DNI at a clear day (2003-07-16) and a day with high aerosol concentration (2003-07-25) over local time, i.e., UTC + 7.

Gambar 10.2: Pengukuran DNI di darat pada hari cerah

10.4.1 Batasan

Model Pasar Saham Listrik Untuk studi kasus ini, beberapa periode waktu yang berbeda pada bulan Juli 2003 telah dianalisis, dengan menggunakan harga riil yang dilelang di pasar saham Spanyol. Harga-harga ini diperdagangkan di pasar satu hari ke depan dengan resolusi temporal 1 jam. Untuk operasi riil pembangkit listrik, jadwal untuk hari berikutnya didasarkan pada perkiraan harga listrik dan kondisi meteorologi. Namun, untuk menganalisis potensi ekonomi dari perkiraan radiasi matahari, prakiraan listrik yang sempurna harga listrik diasumsikan sempurna. Model Pembangkit Listrik tenaga surya Andasol-I, yang direncanakan akan terhubung ke jaringan listrik nasional Spanyol pada bulan Juli 2008, digunakan sebagai referensi pembangkit listrik yang digunakan dalam penelitian ini. Saat ini, proyek pembangkit listrik Andasol-I adalah satu-satunya yang memiliki kapasitas penyimpanan yang signifikan, yang memungkinkan transfer sejumlah besar energi surya dalam jumlah yang signifikan pada periode dengan harga saham yang tinggi. Blok pembangkit listrik terdiri dari turbin 49,9 MW dengan parameter uap hidup 100 bar dan 370 C. Dalam konfigurasi ini, desain kotor efisiensi gross dari blok pembangkit mencapai 38%. Selama simulasi, diasumsikan bahwa parameter uap hidup dan suhu superheating dijaga konstan, serta suhu

air umpan. Aliran energi ke blok daya perlu melebihi ambang batas 20% untuk menyediakan yang cukup aliran massa untuk operasi turbin. Perilaku beban bagian dari turbin telah diperhitungkan dan daya tambahan adalah dipertimbangkan

10.5 Studi kasus: Pembangunan PLTS pada Rumah sakit

Perkembangan pembangunan rumah subsidi rakyat di Indonesia memiliki kemajuan yang sangat tinggi baik dari jumlah rumah yang dibangun maupun dana subsidi yang dianggarkan pemerintah. Berdasarkan data dari kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat tahun 2021 jumlah rumah subsidi yang dibangun selama tahun 2021 adalah sebanyak 157.500 unit dengan jumlah anggaran yang dihabiskan sebanyak Rp.19,57 triliun rupiah. Sumatera selatan sendiri memiliki jumlah pembangunan rumah subsidi khususnya di kota Palembang yang cukup besar tahun 2021 yaitu sebanyak 9780 unit. Pembangunan perumahan subsidi memiliki peran yang penting dalam menciptakan akses perumahan yang terjangkau bagi masyarakat dengan pendapatan rendah. Upaya ini tidak hanya melibatkan sektor pemerintah, tetapi juga sektor swasta yang berperan dalam mengembangkan proyek-proyek perumahan subsidi yang efektif dan berkelanjutan. Oleh karena itu penelitian untuk mendapatkan potensi kontribusi dalam pengembangan baik dari segi kualitas maupun optimalisasi biaya pembangunan dalam proyek pembangunan rumah subsidi tersebut. Dari data internal yang didapatkan diketahui jika perusahaan kontraktor pembangunan rumah subsidi ini telah memiliki beberapa track record yang baik dalam proses pembangunan rumah subsidi di kota Palembang khususnya. Sejak tahun 2012 sampai tahun 2021 perusahaan sudah berhasil membangun rumah subsidi sebanyak 1.135 unit rumah yang sudah habis terjual. Namun baru dalam pembangunan perumahan jakabaring permai Palembang ini, perusahaan berencana membuat rumah dengan instalasi PLTS sebagai listrik tambahan selain dari PLN penambahan ini dilakukan dengan tidak merubah nilai jual rumah. PLTS adalah singkatan dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya. PLTS merupakan suatu sistem yang menggunakan energi matahari untuk menghasilkan listrik. Sistem ini umumnya terdiri dari panel surya (atau modul surya) yang mengubah energi

matahari menjadi energi listrik, inverter yang mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan di rumah atau bangunan, dan sistem penyimpanan baterai jika diperlukan. Panel surya dalam PLTS terdiri dari kumpulan sel surya fotovoltaik yang terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Ketika sinar matahari mengenai panel surya, partikel cahaya (foton) diserap oleh sel surya dan menghasilkan aliran elektron, yang kemudian menghasilkan arus listrik. Arus listrik tersebut kemudian diarahkan ke inverter untuk dikonversi menjadi arus bolak-balik yang dapat digunakan oleh peralatan elektronik di rumah atau bangunan. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca dan tidak memerlukan bahan bakar fosil. Keuntungan utama dari PLTS adalah bahwa energi matahari yang digunakan sebagai sumber daya utamanya tersedia secara melimpah dan gratis. PLTS banyak digunakan baik dalam skala kecil (seperti di rumah tangga atau bangunan komersial) maupun dalam skala besar (seperti pembangkit listrik tenaga surya komersial atau proyek PLTS skala besar). Dalam konteks pembangunan perumahan subsidi, penerapan PLTS dapat membantu mengurangi biaya energi dan memberikan akses listrik yang terjangkau bagi masyarakat dengan pendapatan rendah. Berdasarkan data dari bahwa Sumatera Selatan memiliki potensi pembangunan PLTS sebanyak 296,6 MW di tahun 2025 dan dengan jumlah konsumsi listrik per tahun mencapai 5.308 GWh [20]. Potensi sumber terbarukan ini sangatlah besar untuk diaplikasikan selain mengurangi potensi subsidi listrik maupun energi hijau yang dipakai. Sesuai dengan roadmap Dewan Energi Nasional atau DEN yang menjelaskan jika penggunaan pembangkit listrik dari energi matahari menjadi salah satu pilar utama pemerintah Indonesia dalam menyongsong kebijakan energi terbarukan. Oleh karena itu dalam studi ini penulis ingin berkontribusi akan melakukan suatu analisa kelayakan instalasi PLTS ini dalam proyek rumah subsidi Tipe 36 yang ada di kota Palembang sebelum proyek ini dilaksanakan dengan menggunakan dua pendekatan financial feasibility serta analisa SWOT (Strength, Weakness, Opportunity dan Threats) untuk lebih melihat kelebihan dan kekurangan baik dari faktor internal perusahaan maupun faktor eksternal perusahaan untuk lebih menyakinkan jika investasi yang dilakukan bisa tercapai atau tidak dengan memperhatikan kedua faktor dari dalam dan luar tersebut.



Gambar 10.3: Sistem PLTS Off-Grid



Gambar 10.4: Design dan cara kerja PLTS pada rumah subsidi

Definisi Sistem PLTS dengan teknologi Hybrid adalah di mana sumber listrik yang dihasilkan oleh Panel surya dapat digabungkan dengan sumber listrik dari PLN. Dengan demikian secara berganti kedua system ini akan saling membackup ketika terjadi kekurangan daya listrik atau pemadaman. Dalam sistem ini, Sumber Energi Utama adalah dari Panel Surya yang dikonversikan dan ditampung ke baterai, dan ketika pemakaian listriknya melebihi dari kapasitas baterainya, maka secara otomatis listrik dari PLN akan masuk. Di mana pada pagi dan siang hari Energi listrik yang dihasilkan oleh Panel Solar digunakan untuk mengoptimalkan semua penggunaan listrik di rumah. Kelebihan dari energi listrik, digunakan untuk mengisi ulang baterai. Dan saat di sore hari saat matahari telah terbenam, sistem secara otomatis akan beralih ke energi listrik yang tersimpan di baterai dan pada malam harinya Jika

kapasitas baterai tidak cukup untuk memenuhi penggunaan listrik di rumah, inverter secara otomatis mengalihkan dengan penggunaan listrik dari PLN. Pada gambar 1 di atas adalah bentuk dari konsep rumah dengan menggunakan listrik dari PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya).

10.5.1 Analisis Teknik PLTS

Dalam studi kasus ini contoh yang diambil adalah produk jurnal yang di tulis oleh: Analisa Deri Maryadi dkk. Pada bulan Mei 2023, dari Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tridnanti. Metode Penelitian Penelitian ini metodologi penelitian yang dilakukan adalah dimulai dengan melakukan analisa dengan analisis finansial dengan melakukan pengumpulan data primer dan data sekunder yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan tersebut. Salah satunya melakukan wawancara dengan pihak pengembang perumahan. Kemudian setelah itu dilakukan analisa SWOT dengan cara melakukan wawancara langsung dengan pihak perusahaan pengembang serta calon customer perusahaan dengan kategori sebagai kepala keluarga penerima bantuan rumah subsidi oleh pemerintah. Dengan metode melakukan pengumpulan data kuesioner atau tanya jawab. terkait seberapa paham terkait dengan PLTS serta kemauan mereka dalam pembangunan perumahan dengan supply listrik dari PLN serta melalui PLTS ini. Dalam jurnal ini, kami akan melakukan analisis metode SWOT pada sebuah studi kasus pembangunan perumahan subsidi. Kami akan mengidentifikasi kekuatan internal yang dapat mendukung keberhasilan proyek, kelemahan yang perlu diperbaiki, peluang yang dapat dimanfaatkan, dan ancaman yang mungkin dihadapi. Analisis SWOT ini akan memberikan wawasan yang mendalam tentang faktor-faktor yang memengaruhi kelayakan dan keberlanjutan proyek perumahan subsidi, serta memberikan rekomendasi strategis untuk meningkatkan keberhasilan proyek. Di mana identifikasi masalah dimulai dengan melakukan direct observation ke perusahaan dan melakukan tanya-jawab atau interview dengan personal yang ada di gudang perusahaan tersebut. Dengan melakukan kajian literatur penelitian terdahulu dengan penelitian sejenis atau sama untuk mendukung penelitian ini. Tujuan akhir penelitian ini untuk mengetahui kelayakan dari investasi yang akan dilakukan perusahaan dengan menganalisis *Strength*, *Weakness*, *Opportunity* dan *Threats* yang akan menjadi saran untuk perusahaan dalam melanjutkan investasi pembangunan perumahan tersebut.

10.5.2 Analisis dan Kelayakan bisnis (Beberapa Program Bisnis)

Kelayakan Bisnis Kemajuan suatu perusahaan sangatlah ditentukan oleh keberhasilan perusahaan dalam mengambil langkah bisnis yang tepat, dan dalam proses studi pendahuluan tersebut sering disebut dengan Analisa Kelayakan Bisnis. Analisa kelayakan bisnis suatu investasi sangat berguna sebagai suatu instrumen awal menentukan keberlangsungan dari proyek tersebut akan dilakukan atau tidak. Dengan analisa baik dengan menggunakan analisa ekonomi teknik maupun analisa keputusan lainnya, bisnis tersebut menjadi lebih meyakinkan bagi investor untuk meletakkan uangnya ke dalam suatu proyek.

Beberapa penelitian terdahulu yang sudah dikaji oleh penulis terkait dengan analisis kelayakan bisnis diantaranya: 1. Penelitian yang melihat kelayakan bisnis dari suatu UMKM batik tulis lasem, berdasarkan hasil analisa batik tulis lasem yang memiliki potensi bisnis yang sangat baik namun dengan catatan mengembangkan strategi marketing yang baik. Kelayakan bisnis usaha pertanian cabai merah di daerah Deli Serdang tidak memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan pemerintah berdasarkan analisa Benefit Cost Ratio (B/C Ratio). 3. Dari penelitian [26]. ditemukan jika analisa kelayakan bisnis suatu perusahaan yang ingin membangun tempat service baru untuk peralatan mesin pertanian memiliki potensi keuntungan yang besar yang dilihat dari hasil rasio $R/C > 1.52$ dan rasio $B/C > 0.52$ jika tempat service yang akan dibangun memiliki kelayakan bisnis yang baik. 4. Analisa kelayakan bisnis usaha roti ceriwis penting dilakukan untuk mengetahui seberapa besar peluang bisnis untuk dikembangkan ke depannya dengan menggunakan pendekatan SWOT dan analisis keuangan.

Selanjutnya, selain analisa kelayakan financial analysis dalam penelitian ini juga menggunakan analisa SWOT di mana dalam analisa ini bertujuan untuk melihat kelemahan dan keuntungan dari pembangunan rumah dengan PLTS. Analisa SWOT pertama kali diperkenalkan oleh Albert S. Humphrey pada tahun 1960 dengan tujuan untuk mengetahui kekurangan dan kelebihan dari suatu proyek penelitian yang akan dikerjakan. Dari beberapa jurnal terdahulu didapatkan jika analisa SWOT ini dapat berperan sebagai suatu alat pengambilan keputusan suatu bisnis dalam perusahaan seperti dalam penelitian dalam menguji apakah akan diambil keputusan tentang mengintegrasikan gas ke power plant yang ada di Jerman yang dilihat dari aspek kekurangan dan

kelebihan jika proyek ini dikerjakan. Kemudian dalam studi juga diketahui jika analisa SWOT ini digunakan sebagai suatu instrumen untuk mendukung keputusan yang akan diambilkan yaitu pemindahan basis produksi kapal yang ada di Surabaya Indonesia, dengan hasil analisa pemindahan basis lokasi ini feasible dengan beberapa persyaratan yang harus dipenuhi agar memiliki efektifitas dan efisiensi dalam biaya prosesnya. Tidak hanya sebagai suatu teknik pendukung sebagai pengambilan keputusan analisa SWOT ini juga digunakan untuk mengetahui suatu aktivitas atau bisnis yang sudah berjalan yang sedang mengalami suatu permasalahan dengan tujuan untuk mengetahui permasalahan dan *opportunity* atau kesempatan untuk melakukan perbaikan dalam suatu aktivitas tersebut.

Seperti dalam penelitian analisa SWOT digunakan sebagai alat untuk mengukur kesiapan rantai pasok baterai di masa depan untuk mobil listrik yang ada di Inggris Raya, di mana dalam hasil disebutkan jika rantai pasok akan lebih memiliki kekuatan dengan memanfaatkan Kerjasama dengan region rantai pasok yang lain. Sedangkan dalam penelitian selanjutnya analisa SWOT digunakan untuk menilai kesiapan penerapan telemedicine yang ada di Bangladesh terutama Ketika masa pandemi Covid -19. Untuk mengembangkan proses bisnis PEMPEK yang ada di kota Palembang analisa SWOT digunakan untuk mengidentifikasi kelebihan serta kesempatan yang ada untuk memperbesar peluang kemajuan usaha UMKM pempek tersebut [32]. Lalu dalam penelitian selanjutnya, analisa SWOT ini digunakan untuk mengukur kemampuan proses kargo yang ada di China terutama selama pandemic Covid-19.

10.6 Program SWOT

Analisa SWOT adalah analisa yang digunakan untuk melihat sejauh mana kekuatan serta kelemahan yang ada dalam proyek pembangunan perumahan ini. Dalam analisa SWOT ini terdiri dari 4 tahap yaitu: Strength, Weakness, Opportunity and Threats. Yang didapatkan dari faktor internal dan faktor eksternal dari perusahaan. Di mana dalam proses ini dilakukan proses tanya jawab dengan berbagai sumber diantaranya: pihak perusahaan yang diwakilkan oleh direktur perusahaan dan manajer proyek perusahaan serta beberapa orang konsumen yang telah melakukan proses kredit perumahan di proyek pembangunan yang sebelum proyek dengan PLTS ini.

10.6.1 Strength

Pada tahap strength ini menjadi sebuah landasan awal untuk melihat kekuatan dari sebuah sistem yang akan dilakukan analisa, di mana kekuatan yang dilihat akan dilihat dari sisi kemampuan sumberdaya, keterampilan yang dimiliki oleh suatu sistem atau faktor internal perusahaan pengembang perumahan tersebut. Setelah dilakukan pengumpulan data dengan cara interview kepada beberapa konsumen dan calon konsumen perusahaan maka didapatkan jika: 1. Menawarkan keuntungan yang signifikan dalam hal keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi emisi gas rumah kaca dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. 2. Harga perumahan dengan tambahan PLTS masih sangat terjangkau (masih sama dengan harga rumah KPR subsidi) 3. Kualitas perumahan sangat baik, ini bisa dilihat dari rekam jejak pada proyek sebelumnya. 4. Rumah subsidi dengan tawaran pembangkit listrik sendiri dengan PLTS. 5. Adanya penawaran pelayanan After Sales setelah rumah tersebut dilakukan serah terima ke pelanggan.

10.6.2 Weakness

Selain kekuatan atau strength yang didapatkan dari dalam faktor internal ada weakness atau kelemahan yang didapatkan. Dalam weakness didapatkan dari kekurangan dari dalam perusahaan terutama terkait dengan proyek pembangunan perumahan dengan PLTS baik dari segi sumberdaya, skills dan kemampuan manajemen dalam perusahaan. Berdasarkan hasil interview yang telah dilakukan oleh penulis kepada beberapa pimpinan perusahaan didapatkan point kekurangan atau weakness yaitu: 1. Investasi awal yang diperlukan untuk membangun dan menginstal sistem PLTS bisa menjadi kendala. Biaya perangkat keras dan instalasi yang tinggi mungkin membatasi akses ke teknologi ini bagi masyarakat dengan pendapatan rendah (di bawah upah minimum). 2. Teknik Pemasaran perusahaan masih sangat konvensional dan belum menggunakan media sosial yang sering digunakan. 3. Cakupan daerah pemasaran masih sangat kecil dan terbatas di beberapa kecamatan di kota Palembang saja dan belum menyebar ke seluruh kecamatan lain atau keluar kota selain Palembang. 4. Customer service perusahaan masih belum tersedia dengan maksimal. 5. Perusahaan belum memiliki banyak teknisi yang menguasai pelayanan after sales untuk PLTS perumahan tersebut, meskipun ini menjadi “tagline” strategi marketing dengan pelayanan service after sales. Sehingga dapat memungkinkan kurang percayanya konsumen akan kualitas dari pelayanan after sales yang ditawarkan

10.6.3 Opportunity

Tahap analisa Opportunity merupakan tahap untuk melihat peluang bagi suatu sistem untuk bisa mengembangkan sistem untuk mendapatkan suatu keuntungan [35]. Dalam pembangunan proyek ini analisa ini akan melihat peluang apa saja yang bisa menjadi keuntungan bagi perusahaan yang dilihat dari faktor luar perusahaan (eksternal) diantaranya: 1. Kebutuhan manusia akan perumahan semakin tahun akan semakin meningkat. 2. Biaya penggunaan listrik atau tarif dasar listrik (TDL) setiap tahun akan ada koreksi untuk dilakukan penyesuaian kenaikan. 3. Banyaknya curah sinar matahari di provinsi sumatera selatan khususnya di kota Palembang. 4. Ikut berkontribusi dalam pembangunan perumahan rakyat yang berwawasan lingkungan yang berkelanjutan atau Green Construction, yang akan bisa meningkatkan image baik bagi perusahaan dimasa yang akan datang.

10.6.4 Threats

Tahap terakhir dalam analisa SWOT adalah Threats atau ancaman bagi perusahaan. Di mana ancaman ini termasuk dalam faktor eksternal dari perusahaan yang dapat mengganggu tercapainya tujuan dari perusahaan (Maghsoud Amiri et al., 2018). Beberapa point ancaman bagi perusahaan yang perlu diperhatikan: 1. Banyak pembangunan perumahan subsidi di kota Palembang namun tidak memiliki PLTS sebagai listrik tambahan tetapi banyak perusahaan tersebut memiliki cara marketing yang sangat baik. 2. Adanya isu kenaikan harga BBM menjadi alasan lain bagi masyarakat untuk melakukan kredit perumahan. 3. Kurangnya support seperti insentif dari pihak pemerintah terkait dengan perusahaan yang mengembangkan pembangunan perumahan dengan konsep Green

Daftar Pustaka

- 'BUKU-PLTS-DAN-BIODISEL.pdf' (no date). Available at: <https://energiterbarukan.org/assets/2020/10/BUKU-PLTS-DAN-BIODISEL.pdf> (Accessed: 20 October 2023).
- 'Indonesia Solar Energy Outlook 2023 – IESR' (no date). Available at: <https://iesr.or.id/pustaka/indonesia-solar-energy-outlook-2023> (Accessed: 13 October 2023).
- "General Principles of the Agency". (2009), The History of the International Energy Agency, OECD, pp. 115–120.
- "IRENA – International Renewable Energy Agency". (n.d.). , available at: <http://irena.org> (accessed 2 October 2023).
- A. Bachtiar and W. Hayattul, (2018) "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras," J. Tek. Elektro Itp, vol. 7, no. 1, pp. 35–45,
- A. Rachman, (2012) "Analisis dan Pemetaan Potensi Energi Angin di Indonesia,".
- A. Skartveit, J. A. Olseth, and M. E. Tuft, (1998) "An hourly diffuse fraction model with correction for variability and surface albedo," Sol. Energy, vol. 63, no. 3, pp. 173–183, 1998, doi: [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(98\)00067-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(98)00067-X).
- Abderrezek, M. and Fathi, M. (2017) 'Experimental study of the dust effect on photovoltaic panels' energy yield', Solar Energy, 142, pp. 308–320. doi: 10.1016/j.solener.2016.12.040.
- Adyasolar, (2018). Adyasolar. <https://adyasolar.com/shop/plts/> Diakses 12 Oktober 2023.

- Alam, A. A. & Anatolevich, D. A., (2023). Hybrid Solar Thermal Power Plant Potential in Bangladesh. 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, 23 Maret, pp. 1-7.
- Amalia Yunia Rahmawati, (2020) "Reformasi Birokrasi," no. July, pp. 1–23,.
- Anggara, I.W.G.A, Kumara, I.N.S., Giriantari, I.A.D, (2014), Studi Terhadap Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1,9 Kw Di Universitas Udayana Bukit Jimbaran, Spektrum, 1(1): 118- 122
- Arya, P. Chithra, R. (2015). Phase Shifted Full Bridge DC-DC Converter. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)
- Atmam. (2017). Penggunaan Filter Kapasitif pada Rectifier Satu Fasa dan Tiga Fasa Menggunakan Power Simulator. SainETIn(Jurnal sains, Energi, Teknologi & Industri).
- Atmojo, K.T. (2017). Inverter Full Bridge Satu Fasa Berbasis IC SG3524. Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
- B. Mayer and A. Kylling, (2005) "Technical note: The libRadtran software package for radiative transfer calculations - description and examples of use," Atmos. Chem. Phys., vol. 5, no. 7, pp. 1855–1877, 2005, doi: 10.5194/acp-5-1855-2005.
- Bachitiar, Muhammad. (2006). Prosedur Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Perumahan. Jurnal SMARTek, Vol. 4, No. 3 : 176 – 182
- Bahaidarah, H. M. S., Baloch, A. A. B. and Gandhidasan, P. (2016) 'Uniform cooling of photovoltaic panels: A review', Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57, pp. 1520–1544. doi: 10.1016/J.RSER.2015.12.064.
- Bell, S. (2007). Tesla Coil Design, Theory and Construction. Swindon, England: deepfriedneon.com.
- Benedek, S. (2023), "VALIDATION OF NON-STANDARD PV (SOLAR) PANELS BY IEC 61215", Proceedings of the IMEKO TC11 Conference on Measurement in Testing, Inspection and Certification, IMEKO, Budapest, available at: <http://dx.doi.org/10.21014/tc11-2022.12> (accessed 2 October 2023).

- Bin, L. (2018), "Integration of Solar Systems with Heat Pumps and Other Technologies", *Handbook of Energy Systems in Green Buildings*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 1371–1408.
- Boedoyo, M.S. (2011), "PENERAPAN TEKNOLOGI UNTUK MENGURANGI EMISI GAS RUMAH KACA", *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol. 9 No. 1, available at: <https://doi.org/10.29122/jtl.v9i1.438>.
- Budiarto, R. et al., (2017). *Energi Surya Untuk Komunitas*. In: R. K. Arruzzi & R. A. Mahardika, eds. *Meningkatkan Produktivitas Masyarakat Pedesaan Melalui Energi Terbarukan*. Jakarta-Yogyakarta: KEMALA-Konsorsium Energi Mandiri Lestari, pp. 1-243.
- C. A. Aneira Ghaisani P, Armelinda Morina, (2017) "Perancangan Turbin Angin Tipe Horizontal 3 Sudu,"
- C. B. Schaaf et al., (2002) "First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS," *Remote Sens. Environ.*, vol. 83, no. 1, pp. 135–148, 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00091-3).
- C. Jacovides, M. Steven, and D. Asimakopoulos, (2000) "Spectral Solar Irradiance And Some Optical Properties For Various Polluted Atmospheres," *Sol. Energy*, vol. 69, pp. 215–227, Dec. 2000, doi: [10.1016/S0038-092X\(00\)00062-1](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00062-1).
- Cabuk, M. and Naraghi, M.H. (2014), "Solar Panel Orientation Based on Building Power Consumption", *Volume 6B: Energy*, American Society of Mechanical Engineers, available at: <http://dx.doi.org/10.1115/imece2014-37643> (accessed 30 September 2023).
- Castaner, L. & Maskavart, T., (2003). *Practical Handbook of Photovoltaics*. UK: Elsevier Science.
- Charles, J.M., Jones, A. and Lloyd-Williams, H. (2019), "Return on investment, social return on investment, and the business case for prevention", *Applied Health Economics for Public Health Practice and Research*, Oxford University Press, pp. 279–300.
- Chen, G., & Ren, Z. (2015). *Concentrated solar thermoelectric power*. Office of Scientific and Technical Information (OSTI). <http://dx.doi.org/10.2172/1191490>

- Chen, T.-S., Hsueh, Y.-C., Chiou, S.-E. and Shiue, S.-T. (2015), "The effect of the native silicon dioxide interfacial layer on photovoltaic characteristics of gold/p-type amorphous boron carbon thin film alloy/silicon dioxide/n-type silicon/aluminum solar cells", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 137, pp. 185–192.
- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, (2022) "Procedimientos de operación adaptados a la programación cuarto-horaria de la operación del sistema eléctrico español," pp. 41169–41213, 2022, [Online]. Available: <https://www.boe.es>
- Corio, D., Ramadian, A., Sahlendar Asthan, R., & Maria Ulfah, M. (2020). Comparison of solar tracking and solar fix mode on the efficiency electric energy generation based on microcontroller. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 537(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/537/1/012030>
- D. A. Windarto, J, Sudjadi, Sukmadi T, Santoso I, (2018) "Effect Of Geometry Generator Variation Design 12 Slot 8 Pole on Power Efficiency Design," *Electr. Eng. Electron. Technol.*,
- D. Heinemann, E. Lorenz, and M. Girodo, (2006) "Forecasting of solar radiation," *Sol. Energy Resour. Manag. Electr. Gener. from Local Lev. to Glob. Scale*, Jan. 2006.
- D. J. K. E. (2017) *Ketenagalistrikan*, "Statistik Ketenagalistrikan 2016,".
- D. Meloni, A. di Sarra, F. Monteleone, G. Pace, S. Piacentino, and D. M. Sferlazzo, (2008) "Seasonal transport patterns of intense Saharan dust events at the Mediterranean island of Lampedusa," *Atmos. Res.*, vol. 88, no. 2, pp. 134–148, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2007.10.007>.
- D. Purnamasari and B. Hendrawan, (2013) "Usaha Roti Ceriwis Sebagai Oleh-Oleh," pp. 1–5, 2013.
- D. Y. Manurung, I. N. S. Kumara, W. G. A. W.G. Ariastina, and J. Pangaribuan, (2022) "Analisis Perkembangan Plts Di Provinsi Sumatera Selatan Menuju Target 296,6 Mw Pada Tahun 2025," *J. SPEKTRUM*, vol. 9, no. 1, p. 54, 2022, doi: 10.24843/spektrum.2022.v09.i01.p7.
- DEWAN PERWAKILAN RAKYAT REPUBLIK INDONESIA, *PERUMAHAN DAN KAWASAN PERMUKIMAN*. Indonesia, 2011,

- p. 3. [Online]. Available:
[https://disperakim.jatengprov.go.id/foto/1526984261950-UU-01-2011 PERUMAHAN DAN KAWAAN PERMUKIMAN.pdf](https://disperakim.jatengprov.go.id/foto/1526984261950-UU-01-2011-PERUMAHAN%20DAN%20KAWAAN%20PERMUKIMAN.pdf)
- Didham, R.K. (2010), "Ecological Consequences of Habitat Fragmentation", eLS, available at:<https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0021904>.
- Direktorat Jendral Pembiayaan Infrastruktur Pekerjaan Umum dan Perumahan, (2018) "Kebijakan dan Program Bidang Pembiayaan Perumahan,".
- Eager, B. (2019), *Combining Quantitative Data Obtained From Convenience and Panel Sampling: A Case for Avoiding Waste in Data Collection Efforts in Entrepreneurship Research*, SAGE Publications Ltd, 1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1SP United Kingdom, available at: <http://dx.doi.org/10.4135/9781526468093> (accessed 30 September 2023).
- Ekawati, Ellyta, and S. Sugiardi, (2021) "Economic feasibility analysis of service business of agricultural equipment and machinery in Kubu Raya Regency, Indonesia," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 637, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/637/1/012059.
- Elghamry, R., Hassan, H. and Hawwash, A.A. (2020), "A parametric study on the impact of integrating solar cell panel at building envelope on its power, energy consumption, comfort conditions, and CO2 emissions", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 249, p. 119374.
- Endecon, E., (2001). Consultant Report. https://www.energy.ca.gov/reports/2001-09-04_500-01-020.PDF
Diakses 11 Oktober 2023.
- ES, T. T., (2018). *Panduan Studi Kelayakan PLTS Terpusat*, Jakarta: Inc.
- ESDM, (2019). *Penggunaan-Sistem-PLTSA-oleh-Konsumen-PLN. Panduan Perencanaan PLTS Terapung*.
- ESDM, (2020). *Panduan Pengelolaan Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*, Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- F. A. dkk Huwito, (2012) "Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya," *J. Semesta Tek.*, vol. 15, no. 1, pp. 22–34,.

- F. Trieb, T. Fichter, and M. Moser, (2014) "Concentrating solar power in a sustainable future electricity mix," *Sustain. Sci.*, vol. 9, Sep., doi: 10.1007/s11625-013-0229-1.
- G. Grell, J. Dudhia, and D.R.Stauffer, (1994) A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), vol. NCAR/TN-398+STR. 1994. doi: 10.5065/D60Z716B.
- G. Leonzio, (2017) "Design and feasibility analysis of a Power-to-Gas plant in Germany," *J. Clean. Prod.*, vol. 162, pp. 609–623, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.168>.
- G. N. Tiwari and Swapnil Dubey, *Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications*, Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology (IIT) Delhi, New Delhi, India.
- Golroodbari, S. Z. & van Sark, W., (2020). Simulation of performance differences between offshore and land-based photovoltaic systems. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*.
- H, B., Shimy, E. & K., M. S., (2017). *Renewable Energy – Background, Economics of Variable Renewable Sources for Electrical Power Production.*, Germany: Lambert Academic Publishing.
- H. Aisyah, (2020) "Pengembangan Industri Pengolahan Karet Berbasis UIKM di Kabupaten Dharmasraya," *J. AKUNTANSI, Ekon. dan Manaj. BISNIS*, vol. 8, no. 1, pp. 74–81, 2020, doi: 10.30871/jaemb.v8i1.1601.
- H. Asy'ari, Jatmiko, and A. Ardiyatmoko, (2012) "Desain generator magnet permanen kecepatan rendah untuk pembangkit listrik tenaga angin atau bayu (PLTB)," *Proceeding SNATI (Seminar Nas. Apl. Teknol. Informasi)*, vol. 12, no. 1, pp. 59–67,
- H. Hass, H. J. Jakobs, and M. Memmesheimer, (1995) "Analysis of a regional model (EURAD) near surface gas concentration predictions using observations from networks," *Meteorol. Atmos. Phys.*, vol. 57, no. 1, pp. 173–200, 1995, doi: 10.1007/BF01044160.
- Ha Pham N, (2017), *New Design Concept of a Bidirectional Wireless Power Transfer System using Dual Active Bridge Topology*, IEEE.
- Hernández-Callejo, L., Gallardo-Saavedra, S. and Alonso-Gómez, V. (2019) 'A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance',

- Solar Energy, 188(March), pp. 426–440. doi: 10.1016/j.solener.2019.06.017.
- Hidayat, R.,(2016). Sumber Daya Wireless Untuk Menghasilkan Energi Listrik Terbaru, ISSN: 1410-2331
- HME, E., (2022). Keuntungan Menggunakan PLTS Untuk Pabrik, Klaten: HME.
- Hu, T., Sun, Y. and Zhang, X. (2017), “Temperature and precipitation projection at 1.5 and 2°C increase in global mean temperature”, Chinese Science Bulletin, Vol. 62 No. 26, pp. 3098–3111.
- Hulaimi, M. B. (2016), Perancangan Transfer Daya Listrik Tanpa Kabel Menggunakan Osilator Sebagai Pembangkit Frekwensi.
- I. J. Ackermann, H. Hass, M. Memmesheimer, A. Ebel, F. S. Binkowski, and U. Shankar, (1998) “Modal aerosol dynamics model for Europe: development and first applications,” *Atmos. Environ.*, vol. 32, no. 17, pp. 2981–2999, 1998, doi: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(98\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00006-5).
- I. N. Sutarto, (2020) “Identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi daya saing dan posisi strategik KUB Batik Banyumasan,” *Oper. Excell. J. Appl. Ind. Eng.*, vol. 12, no. 1, p. 131, 2020, doi: 10.22441/oe.v12.1.2020.052.
- I. N. Zahra, (2016) “Dasar-dasar Perancangan Bilah,” Lentera Bumi Nusant.,
- IESR, (2021). Indonesia International Energy Agency 2020, Net Zero by 2050, Jakarta: A Roadmap for the Global.
- J. Martin, (2007) “Andasol 1&2-50 MW, 7hrs molten salt storage,” in NREL Trough Technology Workshop, Denver, CO.,
- J. S. Henzing et al., (2004) “Effect of aerosols on the downward shortwave irradiances at the surface: Measurements versus calculations with MODTRAN4.1,” *J. Geophys. Res. D Atmos.*, vol. 109, no. 14, pp. 1–19, 2004, doi: 10.1029/2003JD004142.
- Juachang, S. et al.,(2008). Anqing to The Development of Solar Thermal Power Generation Industry, Anhui Anqing: Distributed power generation and integration technology.
- Kamenopoulos, S. N. and Tsoutsos, T. (2015) ‘Assessment of the safe operation and maintenance of photovoltaic systems’, *Energy*, 93, pp. 1633–1638. doi: 10.1016/j.energy.2015.10.037.

- Karasoy, A. (2022). HOW DO CONSUMING ALTERNATIVE ENERGY SOURCES AND REMITTANCE INFLOWS IMPACT EGYPT'S ECOLOGICAL FOOTPRINT? *Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(1), 8–28. <https://doi.org/10.18221/bujss.1060051>
- Kepres, N. 5., (2006). *Kebijakan Energi Energi Nasional 2006-2025*, Jakarta: Kepres.
- Klein, S. J. & Coffey, S., (2016). Building a sustainable energy future, one community at a time. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60(C), p. 867–880.
- Konagai, M. & Takahashi, K., (1986). *Amorphous Silicon Solar Cells*. Academic.
- Kshatsari, D.B. Shrestha, S. Bhanu, S. (2015). *A Brief Overview of Wireless Power Transfer Techniques*. Department of Electronics and Computer Engineering, Institute of Engineering, Central Campus, Pulchowk, Tribhuvan University.
- Kumaran, S. U. , Alamelu, N. (2018). Voltage-fed Full Bridge Inverter Topology for Inductive Wireless Power Transfer Application. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*.
- L. A. Nusantara, (2014) “Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin.”.
- L. Nieradzik and H. Elbern, (2006) “Variational assimilation of combined satellite retrieved and in situ aerosol data in an advanced chemistry transport model.”.
- Li, F. et al., (2020). Capacity Configuration of Hybrid CSP/PV Plant for Economical Application of Solar Energy. *Chinese Journal of Electrical Engineering*, 6(2), pp. 21-29.
- Liu, X. Jianhua, L. Wang, J. Wang, C. Yuan, X. (2018). Design Method for the Coil-System and the Soft Switching Technology for High-Frequency and High-Efficiency Wireless Power Transfer Systems. *Journal Energies MDPI*
- Luque, A. & Hegedus, S., (2002). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Chichester West Sussex England John Wiley Sons: s.n.

- M. Girodo, (2006) "Solarstrahlungsvorhersage auf der Basis numerischer Wettermodelle," Arbeit, 2006, [Online]. Available: http://oops.uni-oldenburg.de/frontdoor.php?source_opus=101
- M. Mehos, A. Meier, R. Meyer, C. Richter, and W. Weiss, (2006) "Edited by M. Geyer in cooperation with,".
- M. Rashid, (2022) "Strength, Weakness, Opportunity, and Threats (SWOT) Analysis of Telemedicine in Healthcare: Bangladesh Perspective," Aug. 2022.
- M. Sari, A. Nurmaydha, and D. U. M. Rohmah, (2019) "Financial feasibility analysis of Pineapple carrot juice business," J. Phys. Conf. Ser., vol. 1381, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1381/1/012034.
- M. Wittmann, H. Breikreuz, M. Schroedter-Homscheidt, and M. Eck, (2008) "Case Studies on the Use of Solar Irradiance Forecast for Optimized Operation Strategies of Solar Thermal Power Plants," Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sensing, IEEE J., vol. 1, pp. 18–27, Apr. 2008, doi: 10.1109/JSTARS.2008.2001152.
- Malinowski, M. & Leon, J. I., (2019). Power Electronics in Renewable Energy Systems and Smart Grid: Technology and Applications, . In: B. K. Bose, ed. Photovoltaic Energy System . USA: John Wiley & Sons, Inc., pp. 347-389.
- Mappangara, D. and Kartini, D. (2019), "THE COMPETITIVE DETERMINANTS STRATEGY AND ITS IMPACT ON COMPETITIVE ADVANTAGE (STUDY OF SOLAR PANEL INDUSTRY IN INDONESIA)", International Review of Management and Marketing, Vol. 9 No. 3, pp. 117–126.
- Mayasari, F. et al., (2022). Pengenalan Panel Surya sebagai Salah Satu Sumber Energi Terbarukan untuk Pembelajaran di SMA Negeri 1 Takalar. Jurnal Tepat (Teknologi Terapan Untuk Pengabdian Masyarakat), 5(2), pp. 147-374.
- MCA, I., (2016). Hibah Energi Terbarukan Untuk Komunitas: Gambaran Ringkas Proyek. [Online] Available at: <https://pengetahuanhijau.batukarinfo.com/en/node/1348> [Accessed Rabu Oktober 2023].

- Michael, B., (2012). *The Solar Electricity Handbook: A Simple, Practical Guide to Solar Energy - Designing and Installing Photovoltaic Solar Electric Systems*, 6 penyunt. Warwickshire UK: Greenstream.
- Mohammad Tauquir Iqbal, Mohd Tariq, Ali Iftekhhar Maswood, Pratik Biswas, C. Bharatiraja and Vimlesh Verma, (2016), *Performance Analysis and Modeling of High Efficiency Medium Power Resonant Dual Active Bridge Converter for Wireless Power Transfer*, IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES-2016)
- Mphande, B.C. (2014), "Impact of Extraction Methods upon Light Absorbance of Natural Organic Dyes for Dye Sensitized Solar Cells Application", *Journal of Energy and Natural Resources*, Vol. 3 No. 3, p. 38.
- Mukherjee, J.S. (2017), *The Millennium Development Goals and Sustainable Development Goals*, Oxford University Press, available at: <http://dx.doi.org/10.1093/oso/9780190662455.003.0003> (accessed 2 October 2023).
- Narwadan, F. L., Sari, D. W., Setiawan, H. & Muchasabah, K. T., (2022). *Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Gedung Serba Guna SMA Negeri 8 Surabaya*, Yogyakarta: Universitas Proklamasi 45.
- Navapara, Gautam (2018), *Project Report on Wireless Power Transfer*, Department of Electronics and Communication Faculty of Technology, Nadiad Perumal, V., Ali, A., Hashim, U., Adam, T., *Development of Circuit Structure for Near Field Wireless Power Transmission using Resonant Coupling*, *Far East Journal of Electronics and Communications*, Vol. 9, No. 2, 2012, pp.99-110. 79
- Nepal Fareq, M. Fitra, M. Gomesh N. (2014). *Wireless Power Transfer by Using Solar Energy*. Centre of Excellent for Renewable Energy (CERE), School of Electrical System Engineering, Universiti Malaysia Perlis.
- Nugraha, I.M.A. (2020) 'Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Sumber Energi Pada Kapal Nelayan: Suatu Kajian Literatur', *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 4(2), pp. 101–110. Available at: <https://doi.org/10.46252/jsai-fpik-unipa.2020.Vol.4.No.2.76>.
- P. K. Bhartia, "OMI Algorithm Theoretical Basis Document," NASA-OMI, Washington, DC, ATBD-OMI-02, version 2.0, vol. II, no. August, pp. 1–91,.

- P. Turbin and A. Savonius, (2011) “Analisa pengaruh perbedaan variasi jumlah sudu untuk optimalisasi daya listrik pada turbin angin savonius bertingkat,”no. 1,.
- P. Yogi, (2017) “Feasibility Analysis of Naval Base Relocation Using SWOT and AHP Method to Support Main Duties Operation,” J. Def. Manag., vol. 07, Jan. 2017, doi: 10.4172/2167-0374.1000160.
- Patel, M. R., (1984). Wind and Solar Power System. Washington: DC CRC Press.
- Patel, Mukund. R, (1999). Wind and Solar Power Systems,CRC Press, BocaRaton, Florida, USA
- PERDANA, A.P. (2023) Pemanfaatan Energi Surya di Indonesia Masih Sulit Berkembang, kompas.id. Available at: <https://www.kompas.id/baca/ekonomi/2023/03/23/energi-surya-masih-sulit-berkembang> (Accessed: 16 October 2023).
- Permadi, A., (2008). Membuat Kebun Tanaman Obat. Jakarta: Pustaka Bunda.
- Prosiding SnAPP 2014 Sains, Teknologi, dan Kesehatan, pp. 223-230 Rashid, M. H. (2011). Power Electronics Handbook (Third Edition). Burlington: Butterworth-Heinemann.
- Putra, T. G. V. S., (2015). Analisa Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 15 KW Di Dusun Asah Teben Desa Datah Karangasem. Bali: Universitas Udayana.
- R. Hilmansyah1, Risty Jayanti Yuniar, (2017) “Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Kendali Pi,” vol. 3, no. 1, pp. 1–5,.
- R. Nindiyasari, T. Khotimah, and N. Ermawati, (2021) “Decision support system to provide business feasibility analysis for batik entrepreneur in Lasem,” J. Phys. Conf. Ser., vol. 1943, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1943/1/012106.
- R. S. Pirngadi, D. N. Sukapiring, K. Utami, and N. R. S. Depari, (2022) “Feasibility Analysis of Red Chili Farming in Sidodadi Ramunia, Beringin Sub-District,” J. Ilm. Teunuleh, vol. 3, no. 1, pp. 31–40, 2022, doi: 10.51612/teunuleh.v3i1.87.
- R. W. Mueller et al., (2004) “Rethinking satellite-based solar irradiance modelling: The SOLIS clear-sky module,” Remote Sens. Environ., vol.

- 91, no. 2, pp. 160–174, 2004, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.009>.
- R., (2015). Rencana Umum Energi. Jakarta: Kementerian Energi Sumber Daya Mineral.
- Rafael, S., (2014). DASAR PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA. JETri.
- Rahayuningtyas, A., Kuala, S.I., dan Apriyanto, F., (2014), Studi Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Skala Rumah Sederhana Di Daerah Pedesaan Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Untuk Mendukung Program Ramah Lingkungan Dan Energi Terbarukan,
- Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik 2012 -2021, PT PLN (Persero), Jakarta, 2012.
- Rokhmat, M. & Fauzi, F. W., (2019). Efek penempatan panel surya terhadap produksi energi pembangkit listrik tenaga surya Cirata 1 MW effect of solar panel place energy production of solar photovoltaic power plant Cirata 1 MW, s.l.: s.n.
- Rumokoy, S. N., Hamonangan, C., Atmaja, I. G. G. P. & Mappadang, J. L., (2016). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Mandiri Untuk Rumah Tinggal. Manado, Politeknik negeri Manado, pp. 1-7.
- Sahu, A., Yadav, N. & Sudhakar, K., (2016). Floating photovoltaic power plant: A review. In Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- Sianturi, Y. (2021). Pengukuran dan Analisa Data Radiasi Matahari di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi. Megasains, 12(1), 40–47. <https://doi.org/10.46824/megasains.v12i1.45>
- Silalahi, D. F., (2020). Peluang Besar Energi Surya Sebagai Masa Depan Energi Indonesia, Jakarta: Komisi Energi PPI Dunia, PPI Brief.
- Simon, R., (1991). Solar Electricity: A Practical Guide to Designing and Installing Small Photovoltaic Systems. Prentice Hall International.
- Sistem On dan Off grid serta TDR, <http://www.google.com>. Diakses pada tanggal 02 Maret 2014 pukul 22.00 WIB.
- Statistik PLN (2011), PT PLN (Persero), Jakarta, 2012.

- Sugiono, F. A. F., Larasati, P. D. & Karuniawan, E. A., (2022). PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN PANEL SURYA TERHADAP POTENSI PEMANFAATAN PLTS ROOFTOP DI BENGKEL TEKNIK MESIN, POLITEKNIK NEGERI SEMARANG. *Jurnal Rekayasa Energi (JRE)*, 1(1), pp. 1-8.
- Suhendar, S., (2022). *Dasar-Dasar Perencanaan Pembangkit: Listrik Tenaga Surya*. Pertama ed. Tangerang: Media Edukasi Indonesia (Anggota IKAPI).
- Sujay, P. S. M. W. M. & N. S. N., (2017). A Review on Floating Solar Photovoltaic Power Plants. *International Journal of Scientific & Engineering Research*.
- Supriyadi, S. Rakhman, E. (2017). Transfer Daya Nirkabel dengan Kopling Induksi. *Seminar Nasional Teknoka Vol. 2, 2017*
- T. Kenjo and S. Nagamore, (1985) Permanent-nagnet and brushless DC motors..
- Tegar Mahardika, N. (2014). Analisis Perangkat Transmisi Untuk Wireless Energi Transfer, Skripsi. Surabaya: Sistem Komputer, Sekolah Tinggi Manajemen Informatika & Teknik Komputer.
- Tiger, T., (2023). atonergi.com. [Online] Available at: <https://atonergi.com/apa-itu-plts-komunal/>[Accessed Rabu Oktober 2023].
- V. E. Dudley et al., “Test results: SEGS LS-2 solar collector”, doi: 10.2172/70756.
- Whiteman, A. (2022), “ENERGY PROFILE Indonesia”, IRENA, available at: (accessed 2 October 2023).
- Wiranto (2014), Integrasi Solar Home System Dengan Jaringan Listrik PLN Menggunakan Kendali Relay Dan Kontaktor Magnet, Program Studi Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia.
- Y. Daryanto, (2007) “Kajian Potensi angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu,” *Blueprint*, no. April,
- Y. Zhang, L. Rysiecki, Y. Gong, and Q. Shi, (2020) “A swot analysis of the uk ev battery supply chain,” *Sustain.*, vol. 12, no. 23, pp. 1–18, 2020, doi: 10.3390/su12239807.

Zamparas, M. (2021), “The role of resource recovery technologies in reducing the demand of fossil fuels and conventional fossil-based mineral fertilizers”, *Low Carbon Energy Technologies in Sustainable Energy Systems*, Elsevier, pp. 3–24.

Biodata Penulis



Rosnita Rauf merupakan seorang akademisi di Universitas Ekasakti. Ia lahir pada 5 September 1974 dan menempati posisi sebagai anak ke-11 dalam keluarga yang terdiri dari dua belas bersaudara. Sebagai salah satu anak termuda, Rosnita senantiasa berambisi untuk mengimbangi prestasi kakak-kakaknya yang telah menorehkan berbagai keberhasilan.

Setelah menyelesaikan studi sarjananya di Universitas Ekasakti pada September 1997, Rosnita kemudian diberi kepercayaan untuk bergabung sebagai dosen di universitas yang sama. Dalam rangka meningkatkan kompetensinya, ia melanjutkan pendidikan magisternya di Universitas Andalas dengan mengambil spesialisasi Teknik Elektro. Ia berhasil meraih gelar magisternya pada September 2015.

Sebagai dosen, Rosnita tidak hanya berfokus pada pengajaran tetapi juga aktif dalam pelaksanaan Tridharma Perguruan Tinggi. Ia terlibat dalam berbagai penelitian dan pengabdian masyarakat, khususnya di bidang energi. Salah satu kegiatan yang menjadi fokusnya adalah transformasi energi primer menjadi energi alternatif.



Dr. Ir. Ritnawati, ST., MT. Lahir di Kota Samarinda Kalimantan Timur pada tanggal 24 Maret 1979. Menyelesaikan studi pada tahun 2003 di UVRI Makassar. Tahun 2008, melanjutkan studi di Universitas Hasanuddin (Unhas) pada Program Studi Teknik Sipil di tahun 2010. Kemudian melanjutkan studi Program Doktor Teknik Sipil pada tahun 2013 di Universitas Hasanuddin (Unhas) dan telah meraih Gelar Doktor pada tahun 2019. Telah menyelesaikan Program Profesi Insinyur (PPI) di UNHAS sejak tahun 2020. Saat ini bertugas sebagai Dosen Prodi Teknik Sipil Universitas Fajar sejak tahun 2022. Aktif dalam

berbagai kegiatan penelitian dan kegiatan mulai baik pada jurnal ilmiah nasional maupun internasional dari tahun 2008-sekarang.

email: ritnawati@unifa.ac.id HP/wa: 085255350257.



Fatmawaty Rachim, ST., MT lahir di Kota Ujung Pandang Sulawesi Selatan pada tanggal 19 November 1979. Ia melanjutkan studi pada tahun 1998 di Universitas Hasanuddin (Unhas Makassar) dan meraih gelar Sarjana Teknik (S.T) pada tahun 2002. Kemudian tahun 2007 diangkat sebagai dosen Universitas Pepabri Makassar dan ditempatkan di Program Studi Teknik Arsitektur Fakultas Teknik. Tahun 2009, melanjutkan studi di Universitas Hasanuddin (Unhas) dengan beasiswa BPPDN dan telah mendapat gelar Magister Teknik (M.T) pada Program Studi Teknik Sipil di tahun 2011. Tahun 2017, bergabung ke Universitas Fajar dan di tahun 2019-sekarang dipercaya sebagai Ka.Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar. Serta melakukan berbagai kegiatan baik sebagai Peneliti Mandiri/TIM bidang Rekayasa Infrastruktur dan Teknologi Lingkungan Pertambangan, Peserta/Pemateri Seminar Nasional maupun Internasional bidang Rekayasa Infrastruktur dan Teknologi Lingkungan Pertambangan maupun sebagai Moderator. Email: fatmawatyrachim1@gmail.com HP/wa: 08124179262.



Ir. Ahmad Thamrin Dahri, ST., MT., IPM. Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Fajar. Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Teknik(Mesin Fakultas Teknik Universitas Fajar. Penulis menyelesaikan Studi S1 - Sarjana Teknik (S.T.) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (Unhas) pada Tahun 2005 Konsentrasi Konversi Energi dan melanjutkan Studi S2 - Magister Teknik (M.T.) Program Strata Magister (S2) Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (Unhas) Tahun 2012 dengan Konsentrasi Konversi Energi dan menyelesaikan Program Profesi Insinyur (Ir) Universitas Hasanuddin Tahun

2022 serta mendapat gelar Insinyur Profesional Madya (IPM) dari Persatuan Insinyur Indonesia (PII) BK Teknik Mesin pada Januari 2023. Bergabung menjadi Dosen Yayasan Pendidikan Fajar dan aktif mengajar pada Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Fajar sejak Tahun 2010 – sekarang. Mengampuh beberapa mata kuliah yaitu mesin-mesin fluida, perancangan mesin dan lainnya.



Hanalde Andre. Saat ini sedang menyelesaikan Program Doktor Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Andalas. Sebelumnya mengikuti Pendidikan Program S1 dan S2 di Universitas Andalas dan Institut Teknologi Bandung. Ia adalah dosen tetap Program Studi Teknik elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas.

Mengampu mata kuliah Sistem Internet of Things, Teknologi Informasi dan Multimedia, Jaringan Sensor Nirkabel. Selama ini terlibat aktif sebagai dosen pembimbing mahasiswa Desain Teknik Elektro.

E-mail: hanalde.andre@eng.unand.ac.id



Richard A.M. Napitupulu lahir di kota Enrekang Kab. Enrekang Propinsi Sulawesi Selatan pada tanggal 26 Agustus 1973. Menyelesaikan pendidikan Sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara pada tahun 1997, dan pendidikan Magister di Jurusan Teknik Mesin Program Studi S2 Teknik Mesin Universitas Indonesia pada tahun 2000. Kemudian melanjutkan Pendidikan Doktor di Program Studi S3 Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia pada Agustus 2007 dan lulus pada bulan Februari tahun 2012. Pada tahun 1998-2003 bekerja sebagai dosen tidak tetap pada Prodi S1 Teknik Mesin dan Prodi S1 Teknik Industri di beberapa universitas di Jakarta (UKI, UKRIDA, UNKRIS, IT Al-Kamal). Sejak tahun 2003 bekerja sebagai dosen tetap di Prodi S1 Teknik Mesin Universitas HKBP Nommensen, dan merupakan Editor in Cief dari OJS SJoME (Sprocket Journal of Mechanical

Engineering) dan CISat (Citra Sains Teknologi). Selama bertugas sebagai dosen, aktif sebagai narasumber maupun chairman pada beberapa international conference baik yang diadakan di dalam maupun di luar negeri, dan juga aktif sebagai reviewer di beberapa OJS Nasional dan Jurnal Internasional.



Dr. Erdawaty, ST., MT. adalah anak ke empat dari pasangan Alm. A.M.noer Ar. Amd dan A. Suryati. Penulis lahir di Ujung Pandang , 21 April 1978. Penulis menikah dengan Lettu Czi Sirajuddin tahun 2009 dan Penulis telah memiliki 3 putra 1 putri yaitu Muh. Al-Aqsha, Muh. Mulya Al-siraj , Muh. Rafay Al-Siraj dan Aisyah Humaerah. Penulis menyelesaikan Studinya S1–Sarjana Teknik (S.T) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia (UMI) tahun 2002, S2 –Magister Teknik (M.T) Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik Univeristas Hasanuddin (Unhas) Tahun 2011, S3–Program Doktor (Dr) Program studi ilmu Teknik sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (UNHAS) tahun 2021. Bergabung jadi Dosen Tetap pada Universitas Fajar sejak tahun 2015 -sekarang. Penulis mengampuh mata kuliah Mekanika Tanah& Pondasi. Penulis sangat tertarik tentang penelitian mengenai Studi Eksprimental Kapasitas Dukung Kolom Beton Granular Asphalt Buton Aktivasi Alkalin Pada tanah Lunak. Penulis telah menulis beberapa jurnal nasional dan internasional dan buku. email: rafayerdawaty@gmail.com. HP/wa: 082187648701



Aminur, memperoleh gelar Sarjana Muda Teknik Bidang ilmu Teknik Mesin di Universitas Halu Oleo, gelar Sarjana Teknik bidang Konversi Energi di Universitas Hasanuddin dan Master of Enigineering bidang Rekayasa Mekanika Material di Universitas Gadjah Mada.

Sejak tahun 2011 sampai saat ini menjadi dosen tetap Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo. Sampai saat ini telah menulis dan mempublikasikan lebih dari 40 karya ilmiah.

Selain aktif menulis, ia juga terlibat sebagai tenaga ahli di bidang Mechanical of Engineering pada proyek BUMN dan Pemerintah Daerah.

Telah menulis 1 Buku referensi yang ditulis sendiri, yakni Teknik Rekayasa Material.

E-mail: aminur@uho.ac.id



Dean Corio adalah seorang akademisi yang tengah meniti karir di dunia pendidikan dan penelitian. Saat ini, ia sedang mengejar gelar Doktor di bidang Teknik Elektro dan Informatika di Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung (STEI ITB). Sebelumnya, Dean telah menempuh pendidikan sarjana dan magister di Universitas Andalas, Padang. Dalam karir akademiknya, ia telah mengambil peran sebagai dosen tetap di Program Teknik Elektro, Jurusan Teknologi Industri dan Produksi di Institut Teknologi Sumatera (ITERA). Di samping mengajar, Dean juga aktif dan terlibat dalam beberapa penelitian internal ITERA dan program Simlitabmas, memperkaya wawasan dan kontribusinya dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Ia memiliki keahlian dalam mengampu berbagai mata kuliah seperti Rangkaian Elektrik I dan II, Analisis Sistem Tenaga, Penggerak Motor Listrik, Elektronika Daya, Pembangkit Energi Terbarukan, Medan Elektromagnetik, dan Material Teknik Elektro. Kiprahnya yang aktif dalam pendidikan dan penelitian mencerminkan komitmen Dean dalam mengembangkan ilmu pengetahuan dan mempersiapkan generasi muda yang kompeten di bidang Teknik Elektro.

Email: dean.corio@el.itera.ac.id atau 33220310@mahasiswa.itb.ac.id

MATAHARI SEBAGAI ENERGI MASA DEPAN

Panduan Lengkap Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Matahari dianggap sebagai salah satu sumber energi masa depan yang sangat potensial. Energi matahari, atau energi surya, merujuk pada penggunaan sinar matahari untuk menghasilkan listrik, panas, dan energi lainnya.

Energi matahari memiliki berbagai keunggulan, termasuk sumber daya yang tak terbatas, ramah lingkungan, dan kemandirian energi. Namun, ada tantangan seperti biaya awal investasi dan ketergantungan pada cuaca dan lokasi geografis. Meskipun begitu, dengan teknologi yang terus berkembang dan komitmen global untuk berpindah ke sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan, energi matahari menjadi semakin penting sebagai bagian dari portofolio energi masa depan.

Buku ini membahas:

Bab 1 Pengenalan Energi Surya

Bab 2 Komponen Utama Sistem PLTS

Bab 3 Desain Dan Perencanaan Sistem PLTS

Bab 4 Instalasi Dan Integrasi Sistem

Bab 5 Pemeliharaan Dan Monitoring PLTS

Bab 6 Finansial Dan Aspek Ekonomi PLTS

Bab 7 Teknologi PLTS Terbaru

Bab 8 PLTS Dalam Skala Komunitas Dan Industri

Bab 9 Aspek Lingkungan Dan Keberlanjutan Energi Surya

Bab 10 Studi Kasus Pemanfaatan PLTS



YAYASAN KITA MENULIS

press@kitamenulis.id

www.kitamenulis.id

ISBN 978-623-113-032-7



9

786231

130327