Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Daerah Kepulauan

Dean Corio ▪ Indra Hartarto Tambunan ▪ Aminur ▪ Harry Yuliansyah
Rizki Wahyu Pratama ▪ Rosnita Rauf ▪ Muh. Setiawan Sukardin
Muhammad Ihsan Mukrim ▪ Rahmi Berlianti

Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Daerah Kepulauan

UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta/Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

a. penggunaan kutipan ungkian Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk kepentingan penyediaan informasi aktual;
b. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
c. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
d. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran/Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).

Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Daerah Kepulauan

Dean Corio, Indra Hartarto Tambunan, Aminur, Harry Yuliansyah
Rizki Wahyu Pratama, Rosnita Rauf, Muh. Setiawan Sukardin
Muhammad Ihsan Mukrim, Rahmi Berlianti

Penerbit Yayasan Kita Menulis

Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Daerah Kepulauan

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2023

Penulis:
Dean Corio, Indra Hartarto Tambunan, Aminur, Harry Yuliansyah
Rizki Wahyu Pratama, Rosnita Rauf, Muh. Setiawan Sukardin
Muhammad Ihsan Mukrim, Rahmi Berlianti

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

Dean Corio., dkk.
Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Daerah Kepulauan
Yayasan Kita Menulis, 2023
xiv; 138 hlm; 16 x 23 cm
ISBN: 978-623-113-085-3
Cetakan 1, Desember 2023
I. Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Daerah Kepulauan
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 rasa syukur yang mendalam, kami bersemangat untuk mempersembahkan buku "Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Daerah Kepulauan Panduan Komunal, Investasi, dan Keberlanjutan" sebagai sumber informasi yang berharga dan panduan praktis bagi para pembangun, investor, pengambil kebijakan, dan masyarakat umum yang berkepentingan dengan pembangunan berkelanjutan dan pemanfaatan energi terbarukan. Karya ini merupakan hasil dari kolaborasi intensif antara para ahli, praktisi, dan akademisi yang berdedikasi, yang masing-masing telah menyumbangkan keahlian dan pengalaman mereka untuk membahas peluang serta tantangan yang dihadapi dalam mengoptimalkan penggunaan tenaga surya di daerah kepulauan.

Bab 1 membuka dialog ini dengan pengantar mendalam tentang pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), menandai langkah pertama pembaca dalam memahami kompleksitas serta keindahan yang inheren dalam teknologi ini. Bab 2 menggali lebih dalam ke dasar-dasar teknologi tenaga surya, menyediakan fondasi yang kuat untuk konsep dan prinsip yang mendukung PLTS. Dengan memasuki Bab 3, kita mengeksplorasi aspek perencanaan dan desain sistem PLTS komunal, diikuti oleh Bab 4 yang menguraikan detail tentang strategi investasi dan pendanaan yang diperlukan untuk memobilisasi sumber daya. Bab 5 dan Bab 6 berturut-turut membahas pemasangan dan implementasi serta operasional dan monitoring dari sistem PLTS, memberikan wawasan praktis yang akan memandu pembaca melalui proses aktualisasi proyek tenaga surya.

Mengakui pentingnya perawatan untuk menjamin keberlanjutan, Bab 7 mendalami topik maintenance dan upkeep. Selanjutnya, Bab 8 menawarkan analisis komprehensif mengenai keuntungan dan dampak ekonomi yang diharapkan dapat memperkuat kasus bisnis untuk investasi dalam PLTS. Akhirnya, Bab 9 menutup narasi ini dengan membawa kita

ke cakrawala baru, memetakan masa depan PLTS di daerah kepulauan dalam konteks perubahan global dan inovasi teknologi.

Semoga buku ini menjadi jembatan pengetahuan yang memungkinkan kita semua untuk bergerak menuju masa depan yang lebih cerah, di mana energi bersih dan berkelanjutan menjadi pilar utama dalam memajukan kualitas hidup manusia dan menjaga keseimbangan ekosistem bumi kita yang berharga. Dengan kerendahan hati, kami mengajak Anda untuk turut serta dalam perjalanan inspiratif ini, menjelajahi halaman demi halaman yang telah dikurasi dengan cermat untuk memperkaya pemahaman dan menyalakan semangat aksi kolektif dalam rangka memaksimalkan potensi pembangkit listrik tenaga surya di daerah kepulauan.

Salam hangat dan berkelanjutan,

Dean Corio

Daftar Isi

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

Bab 1 Pengantar Pembangkit Listrik Tenaga Surya
1.1 Pengenalan Energi Terbarukan 1
1.2 Literature Review Dari Beberapa Kajian Terkait PV 2
1.3 Komponen Dan Prinsip Kerja PLTS 6
1.4 Potensi PLTS 7
1.5 Pemasangan PLTS 7
1.6 Pengelolaan Dan Perawatan PLTS 9
1.7 Investasi Dan Dukungan Regulasi Untuk PLTS 10

Bab 2 Dasar-Dasar Teknologi Tenaga Surya
2.1 Prinsip-Prinsip Tenaga Surya 13
2.1.1 Efek Fotovoltaik (Photovoltaic Effect) 14
2.1.2 Efisiensi Konversi 15
2.2 Penyimpanan Energi Listrik 17
2.2.1 Penyimpanan Energi Listrik Dalam Baterai 18
2.2.2 Penyimpanan Energi Dengan Flywheel 21

Bab 3 Perencanaan Dan Desain PLTS Sistem Komunal
3.1 PLTS Sistem Komunal 25
3.2 Tahapan Perencanaan PLTS Komunal 28
3.2.1 Penentuan Lokasi 28
3.2.2 Analisis Kebutuhan Energi 31
3.3 Desain Sistem PLTS Komunal 33
3.3.1 Kapasitas Sistem 33
3.3.2 Komponen Sistem 34
3.3.3 Sistem Monitoring Dan Kontrol PLTS 39

Bab 4 Investasi Dan Pendanaan
4.1 Investasi 42
4.1.1 Investasi Fisik 42
4.1.2 Investasi Non Fisik 52
4.2 Pendanaan 53

Bab 5 Pemasangan Dan Implementasi
5.1 Pemilihan Lokasi Pemasangan 57
5.2 Proses Pemasangan 59
5.3 Pemasangan PLTS Atap 61
5.4 Pemasangan PLTS Komunal 63
5.5 Implementasi Dan Regulasi 64
5.6 Pelatihan Dan Edukasi Masyarakat 66
5.7 Kendala Dan Solusi 67

Bab 6 Operasional Dan Monitoring
6.1 Operasional PLTS 71
6.2 Prosedur Pengoperasian 75
6.2.1 Instruksi Keselamatan Kerja 75
6.2.2 Prosedur Penyalaan Dan Pemutusan 77
6.2.3 Sistem Monitoring PLTS 80
6.2.4 Peranan Sistem Monitoring 81

Bab 7 Maintenance Dan Upkeep
7.1 Pendahuluan 85
7.2 Pemeliharaan Dan Perawatan 87
7.3 Tindakan Pemeliharaan Dan Perawatan PLTS Off-Grid 91

Bab 8 Analisis Keuntungan Dan Dampak Ekonomi
8.1 Keekonomian Listrik Tenaga Surya 99
8.2 Dasar Analisis Ekonomi Listrik Tenaga Surya 102
8.2.1 Penentuan Biaya Dan Manfaat PLTS 103
8.2.2 Tahapan Analisis Ekonomi 104
8.3 Keekonomian Beberapa Proyek PLTS Di Indonesia 106

Bab 9 Masa Depan PLTS Di Daerah Kepulauan
9.1 PLTS Di Daerah Kepulauan 109
9.1.1 Kebutuhan Energi Di Daerah Kepulauan 110
9.1.2 Pentingnya PLTS Di Daerah Kepulauan 110

9.2 Potensi Energi Matahari Di Daerah Kepulauan 111
9.2.1 Keunggulan Potensi Sinar Matahari..... 112
9.2.2 Manfaat Cuaca Tropis Dan Durasi Sinar Matahari Yang Tinggi ... 113
9.2.3 Kontribusi Terhadap Pasokan Energi Yang Berkelanjutan..... 114
9.3 Tantangan Dan Kendala..... 115
9.3.1 Investasi Awal Dan Biaya..... 115
9.3.2 Perawatan Dan Pemeliharaan Sistem PLTS..... 116
9.3.3 Ketersediaan Sumber Daya Manusia Terlatih..... 117
9.3.4 Integrasi Dengan Sumber Energi Lainnya..... 117
9.4 Manfaat PLTS Di Daerah Kepulauan..... 118
9.5 Peran Pemerintah Dan Pihak Terkait 119

Daftar Pustaka 123
Biodata Penulis 135

Daftar Gambar

Gambar 1.1: Ilustrasi PLTS Komunal 4
Gambar 1.2: Ilustrasi PLTS Terapung 4
Gambar 1.3: Solar Home System 5
Gambar 1.4: Inverter PLTS 8
Gambar 1.5: Ilustrasi Pembersihan Permukaan Solar Panel 10
Gambar 2.1: Efek Fotovoltaik 15
Gambar 2.2: Sel Galvani 19
Gambar 2.3: Sel Elektrolisis 20
Gambar 2.4: Siklus Pengisian dan Pengosongan Baterai 21
Gambar 2.5: Flywheel dengan full Mekanis 22
Gambar 3.1: Diagram PLTS Sistem Komunal off Grid 27
Gambar 3.2: Energi yang dihasilkan terhadap Sudut Kemiringan Modul Surya 30
Gambar 4.1: Panel Surya pada PLTS ITERA 42
Gambar 4.2: PLTS ITERA dengan Investor Swasta 54
Gambar 5.1: Proses Instalasi Panel Surya 59
Gambar 5.2: PLTS atap Terpasang di Rumah Warga (a,b).....62
Gambar 5.3: PLTS Komunal 63
Gambar 6.1: Prinsip Pengukuran Efek Fotolistrik 72
Gambar 6.2: Emisi Elektron dari Pelat Logam disebabkan oleh Kuanta-Foton Cahaya. 73
Gambar 6.3: Lensa Cembung 73
Gambar 6.4: Radiasi Elektromagnetik Sinar Putih dalam sebuah Prisma (optik) yang terurai menjadi beberapa Warna Cahaya yang Terpisah...74
Gambar 6.5: Skema Mesin Kalor 75
Gambar 6.6: Blok Diagram pada Pemantauan PLTS 77
Gambar 7.1: Energi Optimal yang dihasilkan PLTS terhadap Kemiringan Permukaan PV 86
Gambar 7.2: Cara Pembersihan Modul Surya dengan Kombinasi Air mengalir dan Penyikatan 92
Gambar 7.3: Bayangan Ranting Pohon yang mengurangi Intensitas Cahaya

Matahari ke Permukaan Modul Surya 92
Gambar 7.4: Modul Surya dan sekitarnya dipastikan Bersih dari Rumput Tinggi dan Tanaman Perdu Serta sampah 93
Gambar 7.5: Ventilasi Inverter / Solar Charge Controller dipastikan Bersih Tanaman Perdu serta Sampah 94
Gambar 7.6: Indikator Discharging 95
Gambar 7.7: Baterai Penyimpanan Daya Listrik 95
Gambar 7.8: Combiner Box 96
Gambar 7.9: Panel Distribusi DC 97
Gambar 8.1: Pemanfaatan Energi Surya di 2018-2022 100
Gambar 8.2: Produksi Listrik Tenaga Surya 1988-2018 dan Produksi hingga 2030 dalam Exajoule (EJ) 100
Gambar 8.3: Perbandingan Fluktuasi Harga Energi Surya per MWh dibandingkan Energi Angin dan Gas Alam yang setarakan ke Harga tahun 2018 101
Gambar 8.4: Harga Sel Fotovoltaik Silikon tahun 1977- 2015 101
Gambar 8.5: Harga Energi Surya per kWh di beberapa Negara 102
Gambar 8.6: CSP. LCOE versus Power Output 106

Daftar Tabel

Tabel 1.1: Emisi CO2 dari Masing Masing Pembangkit Listrik.....2
Tabel 3.1: Jenis-jenis PLTS 26
Tabel 3.2: Posisi Kemiringan Instalasi panel Surya 29
Tabel 4.1: Perbedaan Jenis Panel Surya.....44
Tabel 5.1: Analisa SWOT PLTS di Daerah Kepulauan.....68
Tabel 7.1: Contoh Formulir Perawatan Harian pada Sistem PLTS 87
Tabel 7.2: Formulir Pemeriksaan Pekanan PLTS 88
Tabel 7.3: Contoh Formulir Pemeriksaan Berkala setiap bulan 89
Tabel 7.4: Contoh Formulir Pemeriksaan berkala setiap Enambulanan 90

Bab 1

Pengantar Pembangkit Listrik Tenaga Surya

1.1 Pengenalan Energi Terbarukan

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan dan dapat diperbarui secara terus-menerus. Energi terbarukan mencakup energi surya, angin, air, biomassa, dan panas bumi. Pemanfaatan energi terbarukan menjadi semakin penting dalam konteks global dan nasional, terutama dalam upaya mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mengatasi perubahan iklim. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang melimpah, termasuk energi surya. Dengan kondisi geografis dan iklim yang mendukung, pemanfaatan energi surya di daerah kepulauan Indonesia dapat menjadi solusi yang efektif untuk memenuhi kebutuhan energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan (Sianturi, Y. 2021).

Pengembangan energi terbarukan, termasuk energi surya, didukung oleh berbagai kebijakan dan regulasi di Indonesia. Kebijakan Energi Nasional dan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 12 Tahun 2019 tentang Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik untuk Kepentingan Sendiri merupakan beberapa contoh regulasi yang mendukung pengembangan energi terbarukan (Karasoy, A. 2022). Energi terbarukan, khususnya energi surya,

memiliki berbagai manfaat, seperti mengurangi emisi gas rumah kaca, meningkatkan ketahanan energi, dan menciptakan lapangan kerja baru. Selain itu, energi terbarukan juga dapat membantu mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan dan mendukung upaya mitigasi perubahan iklim (Corio, D., et al. 2020). Dalam konteks daerah kepulauan Indonesia, pengenalan energi terbarukan, khususnya energi surya, menjadi penting untuk memahami potensi dan manfaat yang dapat diperoleh dari pemanfaatan sumber energi ini. Dengan pemahaman yang baik, masyarakat, pemerintah, dan sektor swasta dapat bekerja sama dalam mengoptimalkan penggunaan energi surya dan mendukung transisi energi menuju energi bersih dan berkelanjutan (Chen, G., & Ren, Z. 2015).

Tabel 1.1: Emisi CO2 dari Masing Masing Pembangkit Listrik, (Marhaini, M., Mardwita, M., & Suranda, A. 2022)

Jenis Pembangkit	**Emisi CO2 (kg/MWh)**
PLTU (Batu Bara)	820 - 1050
PLTG (Gas Alam)	450 - 550
PLTGU (Gas dan Uap)	350 - 400
PLTP (Panas Bumi)	120 - 130
PLTA (Air)	1 - 30
PLTS (Surya)	40 - 50
PLTB (Bayu/Angin)	3 - 15
PLTBm (Biomassa)	25 - 500
PLTBg (Biogas)	25 - 500

1.2 Literature Review dari Beberapa Kajian Terkait PV

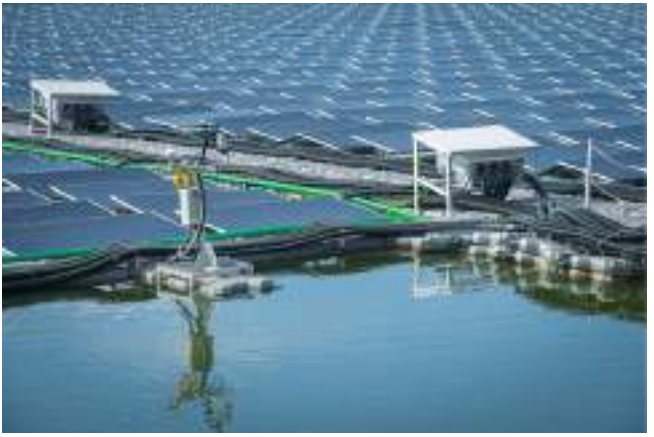
Berbagai studi telah dilakukan untuk memperdalam pemahaman tentang sistem fotovoltaik (PV). Sejumlah penelitian tersebut antara lain membahas perlunya menyesuaikan Kode Grid di Indonesia agar dapat mendukung peningkatan pemanfaatan sumber energi terbarukan yang fluktuatif, terutama tenaga surya. Artikel-artikel ilmiah ini juga mengkaji karakteristik dari sistem pembangkit listrik tenaga surya serta implikasinya terhadap operasional subsistem di Kupang (Makkulau, A., Samsurizal, S., & Kevin, S. 2020) .

Fokus penelitian tertentu ditujukan pada desain optimal sistem PV yang terintegrasi dengan jaringan listrik untuk pelanggan domestik di Indonesia, dengan tujuan untuk menggalakkan penggunaan energi matahari serta memberikan pandangan tentang keuntungan dan kelayakan instalasi sistem PV di atap rumah (Aslimeri, A. 2019).

Selanjutnya, terdapat studi yang mengulas optimisasi sistem PV yang terhubung ke jaringan. Artikel ini mengupas komponen-komponen dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya dan membandingkan efisiensi berbagai topologi inverter yang digunakan (Permata, D., N, H. Y., & Komalasari, E. 2020). Terdapat pula pembahasan mengenai metode-metode estimasi untuk generasi energi surya yang tidak termonitor oleh pengelola sistem tenaga, merujuk pada sistem PV yang tidak terpantau. Penelitian lain menginvestigasi feasibility serta potensi integrasi antara teknologi fotovoltaik terapung (FPV) dengan pembangkit listrik tenaga air (HPP) di Australia, analisis global mengenai potensi hibridisasi FPV dan HPP, serta evaluasi terhadap instalasi hibrid yang sudah ada (Effiom, S. O. 2023). Sejumlah artikel juga menyediakan review literatur tentang implementasi sistem PV pada bangunan residensial untuk mencapai target energi nol-netto, serta eksplorasi terhadap penggunaan pompa panas reversibel sebagai sistem pemanasan dan pendingin di ZEBs (Tashtoush, B., Alalul, K., & Najjar, K. 2023). Terdapat pula pembahasan mengenai perkembangan emulator PV untuk keperluan penelitian dan pengujian, menyoroti pentingnya emulator PV, kriteria emulator yang ideal, serta variannya.

Topik lain yang dibahas dalam rentang penelitian ini adalah aplikasi teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem manajemen energi untuk bangunan berkelanjutan, di mana studi ini mengembangkan algoritma untuk mengoptimalkan konsumsi dan produksi energi terbarukan di bangunan. Di Indonesia khususnya, terdapat analisis tentang potensi pemanfaatan energi surya serta tantangan dalam implementasinya. Studi lain mengeksplorasi pemanfaatan panel surya di pedesaan Indonesia, dengan fokus pada analisis finansial dan keuntungan penggunaannya (Hendrayana, H. 2017) .

Gambar 1.1: Ilustrasi PLTS Komunal, (canva.id, diakses 2023)



Gambar 1.2: Ilustrasi PLTS Terapung (canva. Id, 2023)

Selain itu, penelitian mengenai energi terbarukan dalam transportasi mengulas potensi energi surya untuk kendaraan listrik dan tantangan implementasinya. Di sektor industri, studi berfokus pada evaluasi keuangan dan manfaat energi terbarukan. Penelitian di sektor perumahan menilai potensi dan hambatan penggunaan energi surya di rumah tangga. Di sektor pertanian, analisis dikerjakan untuk menilai biaya dan manfaat dari energi terbarukan. Penelitian di sektor kesehatan membahas potensi energi surya di fasilitas-fasilitas kesehatan dan kesulitan yang dihadapi dalam penerapannya (Basken, B., & Galloni, P. 2014). Penelitian yang dilakukan terhadap penggunaan sistem

fotovoltaik (PV) di wilayah kepulauan menunjukkan hasil yang signifikan terkait efektivitas dan efisiensi penerapan teknologi ini. Para peneliti menemukan bahwa pemasangan PV di daerah kepulauan dapat meningkatkan kemandirian energi di lokasi tersebut, dengan potensi pengurangan ketergantungan pada sumber energi konvensional hingga 40%. Kajian ini menunjukkan bahwa rasio konversi energi surya mencapai 15-20%, sebuah peningkatan yang cukup berarti dibandingkan dengan performa teknologi sebelumnya (Gama Yoga, N. 2013) .

Gambar 1.3:. Solar Home System (Canva.id, 2023)

Selain itu, analisis biaya-manfaat mengindikasikan bahwa investasi awal untuk instalasi PV dapat terbayar kembali dalam waktu kurang dari 8 tahun, dengan asumsi efisiensi operasional yang tinggi dan pemeliharaan yang tepat.Integrasi sistem PV dengan teknologi penyimpanan energi, seperti baterai, juga menunjukkan hasil positif, dengan peningkatan ketersediaan energi hingga 99% di beberapa lokasi. Ini mengindikasikan bahwa walaupun terdapat fluktuasi sumber energi surya, penyimpanan energi yang efektif dapat memastikan pasokan listrik yang stabil untuk kebutuhan harian.

Ilustrasi PLTS komunal diperlihatkan pada Gambar 1.1. PLTS terapung pada Gambar 1.2 dan PLTS Atap pada Gambar 1.3. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa pemanfaatan PV di wilayah kepulauan tidak hanya teknis dan ekonomis layak, tetapi juga berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan dan pengurangan emisi karbon. Penelitian ini memberi rekomendasi bahwa penerapan kebijakan yang mendukung dan insentif

pemerintah dapat lebih meningkatkan adopsi sistem PV di wilayah kepulauan, mendorong transisi energi yang lebih hijau dan berkelanjutan.

1.3 Komponen dan Prinsip Kerja PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan suatu sistem yang didesain untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik, terdiri dari beberapa komponen utama, yakni panel surya, inverter, baterai, dan sistem pengendalian. Fungsionalitas panel surya terletak pada kemampuannya menangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik dalam bentuk arus searah (DC), dengan sel-sel surya terbuat dari semikonduktor seperti silikon. Proses ini terjadi ketika sinar matahari mengenai sel surya, mengaktifkan elektron dalam semikonduktor dan menciptakan arus listrik (Arumsari, N., & Pamuji, F. A. 2017).

Inverter berperan dalam mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh peralatan listrik di rumah tangga. Selain itu, inverter juga memiliki fungsi untuk mengatur dan memantau kinerja keseluruhan sistem PLTS. Baterai digunakan pada sistem PLTS off-grid untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya, sehingga dapat digunakan pada kondisi tanpa sinar matahari, seperti malam hari atau cuaca mendung. Sistem pengendalian berperan dalam mengatur dan memantau kinerja keseluruhan sistem PLTS, mencakup perangkat pengendalian dan pemantauan seperti controller dan meteran (Jelali, M. 2010). Prinsip kerja PLTS sendiri adalah mengubah energi matahari menjadi energi listrik, dengan proses dimulai dari penangkapan energi matahari oleh panel surya, diubah menjadi arus searah (DC), dan kemudian diubah menjadi arus bolak-balik (AC) oleh inverter. Dalam konteks sistem PLTS off-grid, energi listrik yang dihasilkan akan disimpan dalam baterai untuk digunakan saat dibutuhkan. Dengan demikian, PLTS memberikan solusi yang efisien dan berkelanjutan dalam menghasilkan listrik menggunakan sumber energi terbarukan (Daud, A., Rachbini, R., & Hernawan, K. 2022).

1.4 Potensi PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memiliki berbagai manfaat dan potensi yang signifikan, terutama dalam konteks Indonesia yang memiliki kondisi geografis dan iklim yang mendukung. Salah satu manfaat utama PLTS adalah kemampuannya untuk menghasilkan energi listrik yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Dengan menggunakan energi matahari sebagai sumber energi, PLTS dapat membantu mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu, PLTS juga memiliki potensi untuk membantu meningkatkan rasio elektrifikasi di daerah-daerah terpencil dan kepulauan di Indonesia. Dengan menggunakan sistem off-grid atau on-grid, PLTS dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah-daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik PLN (Alfanz, R., Maulana K, F., & Haryanto, H. 2016).

Dalam konteks investasi, PLTS juga menawarkan prospek yang menarik. Dengan dukungan kebijakan dan regulasi yang memadai, investasi dalam pengembangan PLTS dapat memberikan return on investment (ROI) yang menjanjikan. Selain itu, investasi dalam PLTS juga dapat berkontribusi terhadap perkembangan ekonomi nasional dan pembangunan infrastruktur energi yang berkelanjutan.Namun, untuk memaksimalkan manfaat dan potensi PLTS, diperlukan pengelolaan dan perawatan yang tepat. Hal ini mencakup pemeliharaan komponen-komponen PLTS, seperti panel surya, inverter, dan baterai, serta pengelolaan sistem PLTS secara keseluruhan. Selain itu, juga diperlukan dukungan dari berbagai pihak, termasuk pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat, untuk mempromosikan penggunaan dan pengembangan PLTS di Indonesia.

1.5 Pemasangan PLTS

Pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan proses yang memerlukan perencanaan dan pelaksanaan yang cermat. Ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam proses pemasangan PLTS, termasuk lokasi pemasangan, kondisi lingkungan, dan peraturan teknis. Lokasi pemasangan sangat memengaruhi efisiensi dan kinerja PLTS. Idealnya, panel surya harus dipasang di lokasi yang mendapatkan sinar matahari langsung

sepanjang hari. Selain itu, suhu lingkungan juga memengaruhi kinerja panel surya. Panel surya dapat beroperasi secara optimal pada suhu tertentu, dan peningkatan suhu dapat mengurangi efisiensi panel, Gambar 1.4 menunjukkan ilustrasi inverter panle surya.

Gambar 1.4: Inverter PLTS (canva.id, 2023)

Peraturan teknis juga perlu diperhatikan dalam proses pemasangan PLTS. Misalnya, setiap instalasi listrik yang beroperasi wajib memiliki Sertifikat Laik Operasi (SLO). Selain itu, instalasi PLTS harus memenuhi ketentuan administratif perizinan dan kaidah keselamatan dan kesehatan, baik dalam proses pemasangan maupun terkait interkoneksi PLTS ke jaringan PLN. Dalam konteks daerah kepulauan, pemasangan PLTS komunal dapat menjadi solusi untuk mencukupi kebutuhan listrik di daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik PLN. Misalnya, PLTS komunal terbesar di Indonesia saat ini terletak di Desa Wineru, Kecamatan Likupang Timur, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara. Namun, pengelolaan dan perawatan PLTS setelah pemasangan juga sangat penting untuk memastikan kinerja dan durabilitas sistem. Beberapa permasalahan yang mungkin muncul pada sistem perawatan dan pengelolaan PLTS antara lain perawatan yang tidak tepat dan kurangnya pemahaman masyarakat tentang cara kerja dan manfaat PLTS. Oleh karena itu, edukasi dan pelatihan bagi masyarakat lokal sangat penting untuk memastikan pengelolaan dan perawatan PLTS yang efektif.

1.6 Pengelolaan dan Perawatan PLTS

Pengelolaan dan perawatan yang baik merupakan faktor penting dalam memastikan kinerja dan durabilitas sistem PLTS. Beberapa langkah perawatan yang perlu dilakukan secara rutin meliputi:

1. Pembersihan panel surya: Panel surya harus dibersihkan secara berkala untuk menghilangkan debu, kotoran, dan partikel lain yang dapat mengurangi efisiensi penyerapan sinar matahari. Pembersihan ini dapat dilakukan dengan air dan kain lembut atau sikat dengan bulu halus, seperti terlihat pada Gambar 1.5.
2. Pengecekan kabel dan konektor: Kabel dan konektor yang menghubungkan panel surya, inverter, dan baterai harus diperiksa secara rutin untuk memastikan tidak ada kerusakan atau koneksi yang longgar. Kabel yang rusak atau koneksi yang longgar dapat mengurangi efisiensi sistem dan berpotensi menyebabkan kerusakan lebih lanjut.
3. Pemeriksaan inverter dan baterai: Inverter dan baterai harus diperiksa secara berkala untuk memastikan kinerja yang optimal. Inverter harus bekerja dengan baik dan menghasilkan arus bolak-balik (AC) yang stabil, sementara baterai harus mampu menyimpan dan melepaskan energi secara efisien.
4. Pemeriksaan sistem pengendalian: Sistem pengendalian, seperti controller dan meteran, harus diperiksa secara rutin untuk memastikan bahwa sistem PLTS berfungsi dengan baik dan sesuai dengan parameter yang ditetapkan.
5. Pemeriksaan struktur penyangga: Struktur penyangga panel surya harus diperiksa secara berkala untuk memastikan kestabilan dan kekuatan struktur. Struktur yang rusak atau tidak stabil dapat menyebabkan kerusakan pada panel surya dan mengurangi efisiensi sistem.

Gambar 1.5: Ilustrasi Pembersihan Permukaan Solar Panel (Canva.id, 2023)

Dalam konteks PLTS komunal, pengelolaan dan perawatan sistem menjadi tanggung jawab bersama antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat. Pelatihan dan edukasi bagi masyarakat lokal sangat penting untuk memastikan pengelolaan dan perawatan PLTS yang efektif. Dengan perawatan yang baik, sistem PLTS dapat beroperasi dengan optimal dan memberikan manfaat yang maksimal bagi masyarakat dan lingkungan.

1.7 Investasi dan Dukungan Regulasi untuk PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menawarkan potensi investasi yang signifikan sebagai bagian dari upaya mendukung peralihan ke energi bersih dan pencapaian target 23 persen energi bersih pada tahun 2025. Salah satu program pengembangan energi terbarukan yang menonjol adalah PLTS Atap, yang memberikan kesempatan bagi masyarakat untuk secara mandiri berinvestasi dalam pembangkit Solar PV. Peran krusial pemerintah dalam menciptakan regulasi yang stabil dan mendukung investasi dalam energi bersih menjadi faktor utama dalam menggalakkan perkembangan PLTS. Revisi Peraturan Menteri ESDM Nomor 26 tahun 2021 yang mengatur mekanisme dan pengawasan PLTS Atap, serta kegiatan ekspor impor listrik, diharapkan dapat mempercepat peningkatan porsi energi bersih.

Pemerintah juga memberikan insentif untuk merangsang investasi berkelanjutan, yang diantisipasi dapat merangsang pertumbuhan ekonomi, menciptakan peluang pekerjaan, menurunkan biaya listrik, dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Insentif ini diharapkan mampu meningkatkan daya tarik investasi dalam PLTS Atap, mengakselerasi pemasangan secara masif, serta memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pencapaian target Energi Baru Terbarukan (EBT) dan mengurangi emisi gas rumah kaca (Pramudiyanto, A. S., & Suedy, S. W. A. 2020) .

Dalam konteks investasi PLTS, Return On Investment (ROI) menjadi parameter penting untuk mengevaluasi keuntungan atau pengembalian dari investasi yang telah dilakukan. Formula sederhana ROI = ((Penghematan Tahunan - Biaya Awal) / Biaya Awal) x 100 digunakan untuk menghitung ROI. Faktor-faktor seperti tarif listrik, umur sistem, dan biaya awal investasi memengaruhi ROI, di mana tarif listrik yang tinggi dan umur sistem yang panjang akan mempercepat pencapaian ROI. Secara keseluruhan, investasi yang tepat dan dukungan regulasi yang solid menjadi elemen kunci dalam optimalisasi pembangkit listrik tenaga surya, terutama di daerah kepulauan. Dengan pendekatan investasi yang bijaksana dan regulasi yang mendukung, PLTS dapat menjadi solusi energi berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk Indonesia.

Bab 2

Dasar-Dasar Teknologi Tenaga Surya

2.1 Prinsip-prinsip Tenaga Surya

Tenaga surya merupakan sumber energi yang paling menjanjikan dalam konversi energi di Indonesia. Indonesia, yang secara geografis berada di area khatulistiwa, sangat berpotensi dalam menghasilkan energi terbarukan dari tenaga surya yang melimpah. Potensi tenaga listrik yang dihasilkan melalui tenaga surya di Indonesia adalah 207.8 Gigawatts, hampir 50% dari total potensi energi terbarukan yang ada di Indonesia (Ian Kurniawan, 2022)

Selain menjadi sumber energi yang tidak terbatas, tenaga surya memiliki keunggulan besar dibandingkan dengan sistem pembangkit listrik konvensional karena sinar matahari dapat langsung diubah menjadi energi surya dengan bantuan sel surya. Meskipun diperoleh secara gratis, tenaga surya memerlukan perangkat keras dan perangkat lunak untuk dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Tenaga surya tercatat menjadi sumber energi terbarukan yang paling cepat berkembang dalam teknologinya (IRENA, 2019).

Karena perkembangan yang sangat pesat tersebut, penelitian-penelitian dalam pemanfaatan tenaga surya semakin marak dan semakin pesat. Indonesia harus

semakin siap untuk terlibat dalam proses perkembangan tersebut, bukan hanya sebagai pengguna teknologi, akan tetapi juga sebagai penghasil teknologi yang dapat diimplementasikan secara lokal maupun internasional. Indonesia dengan potensi yang sangat besar, negara kepulauan yang beribu pulau, dan sumber daya manusia terus bertumbuh, maka perlu dipahami secara mendasar teknologi-teknologi yang menjadi dasar pengembangan tenaga surya. Prinsip-prinsip dasar dalam konversi energi tenaga surya secara eksplisit dapat dijelaskan dalam beberapa aspek.

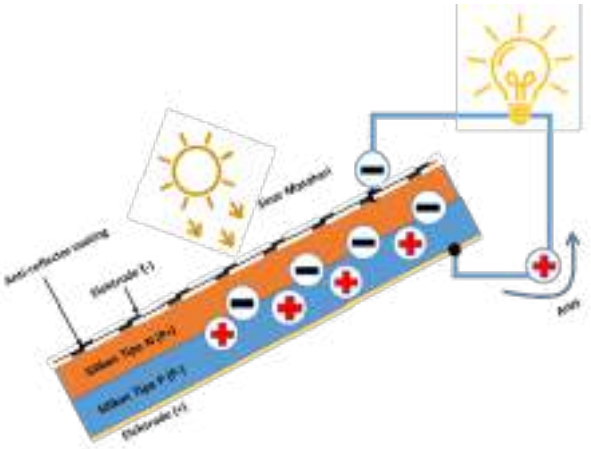
2.1.1 Efek Fotovoltaik (Photovoltaic Effect)

Prinsip pertama adalah konsep mengubah cahaya matahari menjadi sumber daya yang berharga adalah konsep fotovoltaik. Konsep fotovoltaik secara visual dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Fotovoltaik merupakan proses konversi langsung cahaya menjadi listrik pada tingkat atom. Beberapa bahan menunjukkan Efek Fotolistrik, di mana mereka dapat menyerap foton cahaya dan melepaskan elektron. Pada tahun 1954, Bell Laboratories berhasil membangun modul fotovoltaik pertama (P.C.Choubey, 12).

Efek fotovoltaik terjadi dalam sel surya yang terdiri dari dua jenis semikonduktor, yaitu tipe-p dan tipe-n, yang digabungkan membentuk pertemuan p-n. Dengan menggabungkan kedua jenis semikonduktor tersebut, terbentuklah medan listrik di wilayah persimpangan, mendorong elektron ke sisi positif (p) dan hole ke sisi negatif (n). Medan ini menghasilkan pergerakan partikel bermuatan negatif dan positif dalam arah yang berlawanan.

Cahaya terdiri dari foton, yang dapat diserap oleh sel fotovoltaik di panel surya. Saat cahaya dengan panjang gelombang yang sesuai mengenai sel-sel ini, energi foton ditransfer ke atom materi pada pertemuan p-n. Khususnya, energi tersebut dialihkan ke elektron dalam materi, mendorong elektron melompat ke tingkat energi yang lebih tinggi yang dikenal sebagai band konduksi. Ini menghasilkan hole di dalam band valensi yang sebelumnya diisi oleh elektron. Pergerakan tambahan elektron karena energi ini menciptakan sepasang pembawa muatan, yakni pasangan elektron dan hole. Dengan adanya medan listrik yang dihasilkan oleh pertemuan p-n, elektron bergerak ke sisi negatif (n) dan hole berpindah ke sisi positif (p). Ini merupakan hasil dari Efek Fotovoltaik, di mana pergerakan elektron dan hole dipicu oleh medan listrik yang terbentuk akibat perbedaan tipe semikonduktor dalam sel surya.



Gambar 2.1: Efek Fotovoltaik

2.1.2 Efisiensi Konversi

Prinsip selanjutnya adalah konsep efisiensi konversi tenaga surya menjadi tenaga listrik. Semakin tinggi efisiensi konversi maka semakin banyak energi listrik yang bisa dihasilkan dan digunakan. Selain memperhatikan struktur modul dari sel surya, perancangan sel surya harus melibatkan keterbatasan material, sehingga secara terintegrasi dapat diperoleh rancangan sel surya yang optimal. Dalam konsep konversi ada dua hal utama yang sangat menjadi faktor tinggi rendahnya efisiensi konversi tenaga surya menjadi tenaga listrik yakni desain sel surya dan inovasi material sel surya.

Dalam hal merancang sel surya, beberapa hal yang menjadi perhatian antara lain:

1. Bahan semiconductor
   Ada beberapa jenis semikonduktor yang digunakan dalam fabrikasi fotovoltaik antara lain: silikon, gallium arsenide, atau perovskite. Setiap jenis semikonduktor masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda sehingga efisiensi konversi menjadi berbeda (Rashmi A. Deshpande, 2021)
2. Struktur P-N junction
   Konfigurasi pertemuan antara lapisan tipe-p dan tipe-n dalam sel surya akan memengaruhi efisiensi transfer muatan dan kinerja

keseluruhan sel surya. Konfigurasi ini juga nantinya akan menjadi penentu kontak dan jumlah elektron n dan p yang akan berinteraksi dalam proses fotovoltaik seperti yang telah disebutkan di Gambar 2.1.

3. Ketebalan sel surya

   Ketebalan bahan semikonduktor yang digunakan akan menentukan jumlah foton yang diserap oleh sel surya dalam proses fotovoltaik. Ketebalan elektrode dari sel surya yang digunakan juga sangat memengaruhi kinerja sel surya. Pada umumnya elektrode yang digunakan pada silikon solar cell berukuran kurang dari 100 nanometer (Indra et al, 2013).

4. Material penyerap sel surya

   Material penyerap cahaya dalam sel surya memainkan peran kunci dalam menentukan seberapa efisien sel surya tersebut dalam mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Material penyerap cahaya harus memiliki karakteristik optik yang memungkinkan penyerapan optimal cahaya matahari. Pilihan material penyerap cahaya dapat memengaruhi sejumlah faktor yang berkontribusi pada efisiensi sel surya. Semakin tinggi kemampuan material menyerap cahaya pada rentang panjang gelombang yang luas, semakin efisien sel surya tersebut. Bahan-bahan yang umum digunakan antara lain: silikon, Cadmium Telloride (CdTe), organic solar cell, Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC). (Taesoo D. Lee, 2016)

5. Material penutup sel surya

   Material penutup atau encapsulation pada sel surya berperan penting dalam melindungi sel surya dari kondisi lingkungan yang dapat merusak serta memperpanjang umur pakai sel surya. Selain itu, material penutup berfungsi sebagai lapisan pelindung fisik yang melindungi sel surya dari kerusakan fisik yang mungkin disebabkan oleh benturan, goresan, atau tekanan eksternal. Material penutup harus dapat mencegah penetrasi kelembaban ke dalam sel surya. Kelembaban dapat menyebabkan korosi pada bagian logam, merusak sirkuit internal, dan mengurangi kinerja sel surya secara keseluruhan.

Transparansi material penutup juga akan memengaruhi penyerapan cahaya yang terserap oleh sel surya, sehingga dapat menjadi penentu tinggi rendahnya efisiensi dari sel surya.

2.2 Penyimpanan Energi Listrik

Penyimpanan energi listrik merupakan komponen krusial dalam evolusi sistem tenaga yang lebih efisien, berkelanjutan, dan dapat diandalkan. Seiring dengan pertumbuhan teknologi energi terbarukan dan peningkatan kebutuhan akan fleksibilitas dalam penyediaan daya, penyimpanan energi listrik menjadi semakin penting. Pengantar ini akan menjelaskan mengapa penyimpanan energi listrik menjadi aspek kunci dalam transformasi sektor energi.

Penyimpanan energi listrik merujuk pada kemampuan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan dalam suatu sistem untuk digunakan di masa depan. Ini melibatkan konversi dan penyimpanan energi pada saat produksi berlebihan, untuk kemudian dilepaskan kembali ketika dibutuhkan, menciptakan keseimbangan antara pasokan dan permintaan energi.

Teknologi penyimpanan energi listrik yang dikonversi dari tenaga surya memiliki peranan penting dalam konteks:

1. Integrasi Sumber Energi Terbarukan:
   Penyimpanan energi listrik memungkinkan penyeimbangan fluktuasi pasokan dan permintaan energi dari sumber energi terbarukan yang tidak selalu dapat menghasilkan listrik secara konsisten, seperti tenaga surya dan angin. (Suhendar, 2022)
2. Pengelolaan Beban Puncak
   Dengan menyimpan energi saat produksi melimpah dan melepaskannya selama beban puncak, penyimpanan energi membantu mengatasi tantangan pengelolaan beban listrik yang tinggi pada waktu-waktu tertentu. (Fian Hidayat, 2018)
3. Fleksibilitas Jaringan Listrik

Sistem penyimpanan energi memungkinkan jaringan listrik menjadi lebih fleksibel dan responsif terhadap perubahan-perubahan mendadak dalam konsumsi energi atau gangguan pada jaringan.

4. Penyediaan Daya Cadangan
   Penyimpanan energi berperan sebagai sumber daya cadangan yang dapat diaktifkan secara cepat dalam kasus kegagalan pasokan atau situasi darurat, menjaga keandalan sistem tenaga.
5. Optimasi Kinerja Sistem Energi
   Dengan memberikan cadangan energi saat dibutuhkan, penyimpanan energi membantu mengoptimalkan kinerja sistem energi secara keseluruhan, meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan.

Atas dasar peran konteks tersebut, dalam pembahasan terkait dasar-dasar teknologi tenaga surya, teknologi penyimpanan energi yang banyak digunakan yakni penyimpanan energi dalam baterai, menggunakan flywheel, pompa udara cair dan penyimpanan sistem thermal. Akan tetapi dalam pembahasan kali ini hanya akan membahas penyimpanan energi dengan baterai dan juga flywheel.

2.2.1 Penyimpanan Energi Listrik dalam Baterai

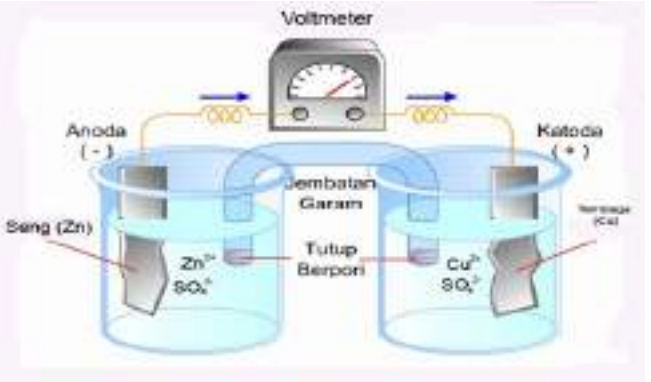
Penyimpanan energi dalam baterai merupakan suatu proses di mana energi kimia dikonversi menjadi energi listrik dan disimpan dalam bentuk elektrokimia. Baterai adalah perangkat yang dapat menyimpan energi secara efisien dan mengeluarkannya kembali ketika diperlukan.

Berikut adalah penjelasan tentang bagaimana penyimpanan energi dalam baterai berlangsung:

1. Sel Galvanik
   Baterai terdiri dari satu atau lebih sel galvanik. Setiap sel galvanik terdiri dari dua elektrode (katoda dan anoda) yang terendam dalam elektrolit. Elektrode dan elektrolit ini dapat terbuat dari berbagai bahan tergantung pada jenis baterai. Dalam suatu sel galvani, transfer elektron terjadi secara tidak langsung melalui kawat, karena kedua setengah reaksi dipisahkan ke dalam dua lokasi yang terhubung oleh

jembatan garam atau pembatas partisi berpori. Jembatan garam umumnya terbuat dari pipa yang berisi elektrolit seperti KCl atau KNO3 yang terikat dengan agar-agar, bertujuan untuk menjaga netralitas muatan pada setiap setengah sel.

2. Setiap sel galvani terdiri dari sebuah elektroda dan suatu elektrolit. Elektroda yang digunakan merupakan konduktor listrik yang tidak bereaksi dengan larutan elektrolit. Anoda, elektroda dengan kutub negatif, adalah tempat di mana reaksi oksidasi terjadi, sementara katoda, elektroda dengan kutub positif, adalah tempat di mana reaksi reduksi terjadi.

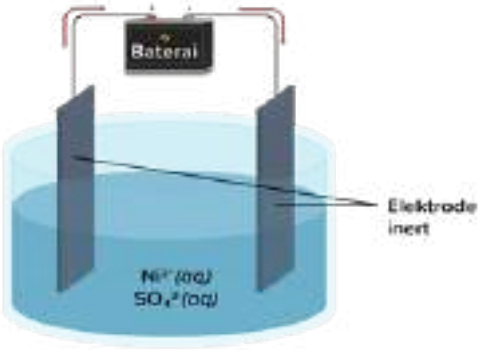


Gambar 2 2: Sel Galvani

3. Reaksi Elektrolisis

Ketika baterai diisi atau diberikan energi, reaksi elektrokimia terjadi di dalamnya. Pada saat ini, elektrode mengalami oksidasi (di anoda) dan reduksi (di katoda). Misalnya, dalam baterai lithium-ion, litium bergerak dari katoda ke anoda selama pengisian, dan sebaliknya selama pengosongan. Sel elektrolisis terdiri dari dua elektroda yang terhubung dengan kutub-kutub sumber arus dan ditempatkan dalam wadah yang berisi zat elektrolit. Elektroda yang umumnya digunakan adalah elektroda inert, seperti platina, karbon (grafit), dan emas, yang memiliki sifat sulit bereaksi. Elektroda yang terhubung dengan kutub negatif sumber arus disebut sebagai katoda (—), sementara elektroda yang terhubung dengan kutub positif sumber arus disebut sebagai

anoda (+). Saat proses elektrolisis berlangsung, ion-ion bermuatan positif (kation) mengalami oksidasi dan melekat pada elektroda yang terhubung dengan katoda, sehingga massa katoda bertambah. Di sisi lain, ion-ion bermuatan negatif (anion) mengalami reduksi pada elektroda yang terhubung dengan anoda, sehingga massa elektroda pada anoda tetap. Proses elektrolisis umumnya terbagi menjadi dua tipe, yakni elektrolisis leburan (lelehan) dan elektrolisis larutan.



Gambar 2.3: Sel Elektrolisis

4. Pemisahan Elektron dan Ion

   Elektron yang dihasilkan selama reaksi elektrokimia tidak dapat langsung bergerak melalui elektrolit. Sebagai gantinya, mereka mengalir melalui sirkuit eksternal, menciptakan arus listrik yang dapat digunakan untuk melakukan kerja.

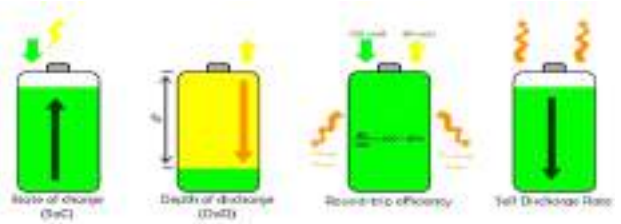
5. Pengosongan Baterai

   Saat baterai digunakan untuk menyediakan daya (mengosongkan), reaksi elektrokimia terbalik. Elektron dihasilkan di anoda dan bergerak melalui sirkuit eksternal, melewati beban, dan kembali ke katoda melalui elektrolit.

6. Siklus Pengisian dan Pengosongan

   Baterai dapat diisi ulang dan dikosongkan berulang kali melalui siklus pengisian dan pengosongan. Kapasitas baterai, yang dinyatakan dalam ampere-hour(Ah) atau watt-hour (Wh), mengukur seberapa banyak energi dapat disimpan dan dilepaskan selama satu siklus. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam siklus

pengisian dan pengosongon baterai yakni State of Charge (SoC), Depth of Discharge (DoD), Round Trip Efficiency dan Self Discharge Rate. (Kevin W dkk, 2018



Gambar 2.4: Siklus Pengisian dan Pengosongan Baterai

7. Jenis Baterai

   Ada berbagai jenis baterai dengan teknologi yang berbeda, termasuk baterai timbal-asam, baterai ion litium, baterai nikel-kadmium, dan banyak lagi. Setiap jenis baterai memiliki karakteristik unik yang memengaruhi kapasitas, keberlanjutan, dan aplikasi khususnya. (Xue H, 2022)

Penyimpanan energi dalam baterai memiliki peran krusial dalam menyediakan daya listrik portabel, menyimpan energi dari sumber energi terbarukan, dan menyediakan cadangan daya pada saat dibutuhkan. Dengan terus berkembangnya teknologi baterai, peningkatan efisiensi, kapasitas, dan umur pakai menjadi fokus utama untuk mendukung transformasi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan.

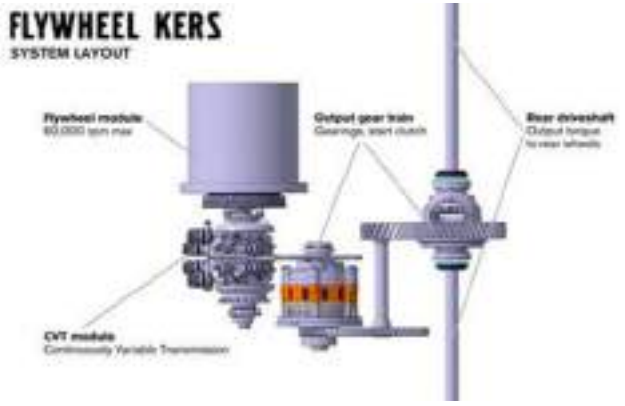
2.2.2 Penyimpanan Energi dengan Flywheel

Penyimpanan energi dengan menggunakan flywheel atau roda gila adalah inovasi yang menjanjikan dalam memenuhi kebutuhan akan penyimpanan energi yang efisien dan responsif. Flywheel merupakan suatu perangkat mekanis yang memanfaatkan energi kinetik untuk menyimpan dan melepaskan energi. Konsep ini memungkinkan pengelolaan energi listrik dengan cara yang lebih fleksibel dan dapat diandalkan.

Prinsip Kerja Flywheel

Flywheel bekerja dengan prinsip dasar keberlanjutan energi kinetik. Saat sumber daya listrik berlebih, energi digunakan untuk memutar flywheel dengan kecepatan tinggi, menyimpan energi kinetik dalam putarannya. Saat

dibutuhkan, flywheel dapat dihubungkan ke generator untuk mengubah energi kinetik menjadi energi listrik.



Gambar 2.5: Flywheel dengan Full Mekanis (motorauthority.com)

Beberapa keunggulan flywheel dibandingkan dengan penyimpanan energi lainnya antara lain:

1. Respons Cepat
   Flywheel dapat merespons dengan sangat cepat terhadap perubahan permintaan energi, memberikan daya tambahan dalam hitungan detik.
2. Umur Pemakaian yang Panjang
   Flywheel memiliki umur pemakaian yang panjang karena tidak mengalami degradasi seperti baterai yang terkait dengan siklus pengisian dan pengosongan.
3. Efisiensi Tinggi
   Proses konversi energi pada flywheel memiliki tingkat efisiensi yang tinggi, dengan sedikit kerugian energi dalam proses penyimpanan dan pelepasan.
4. Ramah Lingkungan
   Flywheel tidak menggunakan bahan beracun atau bahan kimia yang berbahaya, membuatnya lebih ramah lingkungan daripada beberapa opsi penyimpanan energi lainnya.

Meskipun flywheel memiliki keunggulan, beberapa tantangan masih perlu di atasi, termasuk hambatan terhadap gesekan udara dan perlawanan mekanis.

Namun, dengan penelitian dan inovasi terus-menerus, flywheel menjadi semakin menjanjikan sebagai solusi penyimpanan energi yang handal dan berkelanjutan. Penyimpanan energi dengan flywheel menjadi komponen yang menarik dalam evolusi sistem tenaga global, menawarkan solusi yang responsif dan efisien untuk mendukung transformasi ke arah masa depan yang lebih berkelanjutan.

Bab 3

Perencanaan dan Desain PLTS Sistem Komunal

3.1 PLTS Sistem Komunal

Energi listrik nasional mengalami peningkatan secara signifikan seiring pertumbuhan laju pembangunan ekonomi dan bertambahnya jumlah penduduk setiap tahunnya. Konsumsi energi final dalam data sepuluh tahun terakhir (2010-2020), mengalami peningkatan dari 134 juta TOE menjadi 258 juta TOE atau tumbuh rata rata sebesar 8,5% per tahun. Sejalan dengan meningkatnya konsumsi energi tersebut, maka penyediaan energi primer juga mengalami kenaikan. Karena ketersediaan sumber energi primer yang berasal dari fosil semakin menipis maka diperlukan diversifikasi energi yaitu dengan jalan meningkatkan pemanfaatan energi baru terbarukan seperti tenaga surya, biomassa, angin, energi air skala kecil (mikrohidro) dan panas bumi (Kristyadi & Arfianto, 2021).

Pemanfaatan PLTS komunal merupakan suatu penerapan Energi Baru Terbarukan (EBT) menjadi energi listrik dengan konsep teknologi ramah lingkungan. Dalam pengoperasiannya EBT tanpa menggunakan bahan bakar fosil seperti bahan bakar minyak. PLTS tersebut dapat dijadikan sebagai penyuplai energi listrik saat jaringan PLN terputus atau mengalami gangguan.

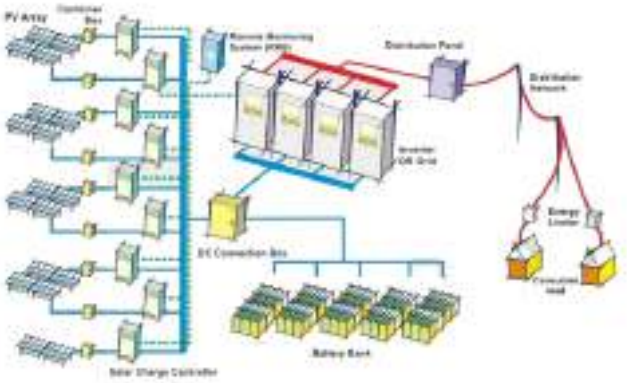
Dalam perencanaan PLTS terpusat, beberapa tahapan yang harus dilakukan, yaitu pemilihan lokasi dan penentuan kebutuhan listrik dilakukan dengan survei data primer, pengukuran intensitas sinar matahari di lokasi, pemodelan sistem dan optimasi PLTS, penentuan spesifikasi teknis komponen PLTS dan perencanaan struktur PLTS serta perhitungan biaya (Kristyadi & Arfianto, 2021).

Tabel 3.1: 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 terhuung dengan jaringan listrik PLN	Bisa beroperasi tanpa baterai karena output listriknya disalurkan ke jaringan distribusi yang telah disuplai pembangkit lainnya (missal: 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) atao 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	

Terdapat tiga jenis PLTS yang sering ditemui, yaitu PLTS *off-grid*, PLTS *on-grid*, dan PLTS *Hybrid*, yang membedakan adalah penyimpanan dayanya. Selain itu, PLTS juga dibedakan berdasarkan ada atau tidaknya jaringan distribusi untuk menyalurkan daya listriknya yang meliputi PLTS terpusat/komunal dan PLTS tersebar/terdistribusi. Sistem PLTS tersebar (SHS, *solar home system*) lebih umum digunakan karena relatif murah dan desainnya yang sederhana. PLTS tersebar dapat menjadi pilihan ketika persebaran rumah penduduk yang berjauhan satu sama lain. Namun saat ini, PLTS terpusat dan PLTS hibrida juga banyak diterapkan karena untuk mendapatkan daya dan

penggunaan energi yang lebih tinggi serta mencapai keberlanjutan sistem yang lebih baik melalui kepemilikan secara kolektif (komunal). PLTS terpusat adalah pembangkit listrik tenaga surya yang dipasang di suatu lokasi, untuk kemudian ditransmisikan dan didistribusikan ke pelanggan. PLTS terpusat bisa berdiri sendiri melalui jaringan mandiri yang didistribusikan ke pelanggan atau bisa juga interkoneksi dengan jaringan PLN.



Gambar 3.1: Diagram PLTS Sistem Komunal off grid

1. *Photovoltaic Array* adalah rangkaian dari beberapa modul surya, yang merupakan energi terbarukan (renewable energy) yang ramah lingkungan. PV Array ini pada siang hari akan menghasilkan energi listrik yang kemudian disimpan dalam baterai sehingga sewaktu-waktu dapat dipergunakan.
2. *Solar Charge controller* merupakan peralatan yang berfungsi mengatur pengisian dari PV Array ke baterai agar tidak terjadi overcharge (pengisian berlebih) dan overdischarge (pembebanan berlebih).
3. *Bidirectional Inverter* merupakan peralatan yang berfungsi untuk merubah arus searah (DC) dari modul surya dan Baterai menjadi arus bolak-balik (AC) pada sisi beban. Disamping itu jika diperlukan, alat ini bisa dihubungkan dengan diesel generator untuk mendukung pengisian baterai dan mensuplai beban.
4. *Battery Bank* merupakan peralatan penyimpan energi yang dihasilkan dari modul surya yang berfungsi sebagai cadangan energi.

3.2 Tahapan Perencanaan PLTS Komunal

Penentuan lokasi yang tepat sangat penting dalam perencanaan PLTS sistem komunal. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi adalah:

3.2.1 Penentuan Lokasi

Pemilihan lokasi untuk pembangunan EBT dilakukan berdasarkan pertimbangan:

Tingkat rasio elektrifikasi wilayah. Wilayah yang diutamakan adalah desa dengan rasio elektrifikasi rendah. Dengan menggunakan sumber data potensi desa dari Badan Pusat Statistik (BPS), rasio elektrifikasi desa dapat dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$\boldsymbol{Rasio\ Elektrifikasi}\ (\%) = \frac{\boldsymbol{Jumlah\ KK\ berlistrik}\ (\boldsymbol{PLN + Non\ PLN}))}{(\boldsymbol{Jumlah\ KK\ total})} \quad (\mathbf{1})$$

Penghitungan KK berlistrik tidak hanya KK yang telah dilayani oleh jaringan listrik PLN, tetapi juga KK yang telah memiliki listrik melalui sumber lain, misalnya diesel genset, dilayani oleh pemegang IUPTL, atau upaya mandiri lainnya

1. Evaluasi sinar matahari
   Memilih lokasi yang menerima sinar matahari yang cukup sepanjang tahun adalah kunci keberhasilan PLTS sistem Komunal. Indonesia, sebagai Negara tropis dengan rerata penyinaran matahari 12 jam per hari, mempunyai potensi energi surya yang luar biasa melimpah (Suhendar, 2022). Dalam catatan RUEN (Rencana Umum Energi Nasional), Indonesia diperkirakan memiliki potensi energi surya sebesar 207.898 MW (4,80 kWh/m2/hari), atau setara dengan 112.000 GWp. Berdasarkan data yang dihimpun oleh BPPT dan BMG diketahui bahwa intensitas radiasi matahari di Indonesia berkisar antara 2.5 hingga 5.7 kWh/m2. Beberapa wilayah Indonesia, seperti: Lampung, Jawa Tengah, Sulawesi Tengah, Papua, Bali, NTB,

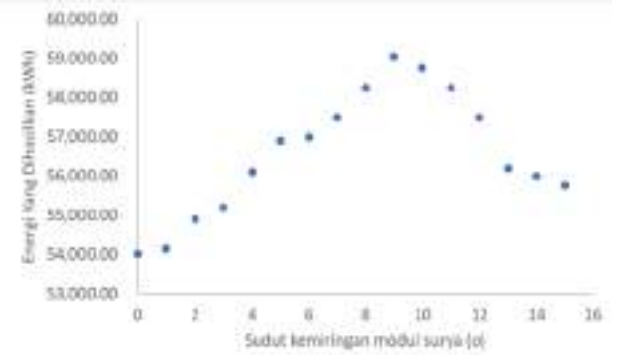
dan NTT mempunyai intensitas radiasi di atas 5 kWh/m2. Sedangkan di Jawa Barat, khususnya di Bogor dan Bandung mempunyai intensitas radiasi sekitar 2 kWh/m2 dan untuk wilayah Indonesia lainnya besarnya rata-rata intensitas radiasi adalah sekitar 4 kWh/m2 (RUEN, 2015).

Di Indonesia, energi listrik yang optimum akan didapat apabila modul surya diarahkan dengan sudut kemiringan sebesar lintang lokasi PLTS tersebut berada (Rahayuningtyas, et al., 2014).

Tabel 3.2: Posisi kemiringan instalasi panel surya (Rahayuningtyas, et al., 2014)

Garis lintang (°)	Sudut kemiringan (°)
0-15	15°
15-25	25°
25-30	30°
30-35	40°
35-40	45°
40-90	65°

Sudut kemiringan yang datar menyebabkan keterserapan sinar matahari sepanjang hari tidak optimal walaupun tidak ada shading antar modul, sedangkan kemiringan yang besar keterserapan sinar matahari semakin baik tetapi ada waktu-waktu tertentu terdapat shading sehingga secara keseluruhan tingkat keterserapan sinar juga berkurang. Secara detail hasil optimasi energi yang dihasilkan oleh PLTS terhadap sudut kemiringan modul surya dapat dilihat pada Gambar 3.1. Pada gambar tersebut terlihat bahwa dengan kemiringan 9° diperoleh energi yang dihasilkan PLTS tertinggi.



Gambar 3.2: Energi yang dihasilkan terhadap Sudut Kemiringan Modul surya (Anon., 2021)

Sudut kemiringan optimal modul surya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut: (Juliawan, et al., 2022).

$$\boldsymbol{\alpha = 90^o + l_{at} - \sigma\ (S\ hemisphere)\ (2)}$$

$$\boldsymbol{\beta = 90^o - \alpha\ (3)}$$

Di mana:

α = Sudut tertinggi matahari

lat= Sudut latitude pada lokasi

σ = Sudut deklanasi matahari (23,45o)

β = Sudut optimal kemiringan modul

Jumlah modul surya yang digunakan ditentukan dari kapasitas (*Wattpeak*) yang dibangkitkan PLTS. Adapun persamaan yang dipakai untuk menentukan jumlah modul surya yaitu sebagai berikut:

$$\boldsymbol{Jumlah\ modul = \frac{Kapasitas\ PLTS\ (Wp)}{Kapasitas\ modul\ (Wp)}\ (4)}$$

2. Ketersediaan lahan

   Perencanaan perlu mempertimbangkan ketersediaan lahan yang cukup untuk menginstal panel surya dan infrastruktur pendukung lainnya. Lahan yang luas dapat menempatkan posisi yang ideal dan mempermudah proses pemasangan PLTS.

   Berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021-2030 yang telah diterbitkan, pembangunan PLTS ditargetkan

sebesar 4,7 GW demi mencapai target Energi Baru Terbarukan (EBT) 23% pada tahun 2025. Dengan perkembangan teknologi saat ini, pengembangan PLTS juga ditargetkan berada di semua lokasi, tidak hanya di daratan (ground-mounted) dan atap (rooftop) tetapi bahkan di atas air (mengapung di area perairan).

Salah satu kendala dalam mengembangkan PLTS di Indonesia adalah kendala lahan. Lahan yang luas untuk pemasangan PLTS skala besar umumnya tersedia di daerah dengan kepadatan penduduk lebih rendah, di mana kebutuhan listrik di daerah tersebut tidak tinggi. Sebaliknya, di daerah padat penduduk yang kebutuhan listriknya tinggi, lahan yang tersedia untuk pembangunan PLTS sangatlah terbatas. Kalaupun dapat menggunakan PLTS Atap, tidak semua atap dapat dipasangi PLTS. Sebagai alternatif untuk mengatasi kendala lahan dalam pengembangan PLTS, dapat dibuat PLTS Terapung.

3.2.2 Analisis Kebutuhan Energi

Sebelum merencanakan ukuran dan kapasitas PLTS komunal, analisis kebutuhan energi masyarakat harus dilakukan. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan adalah:

1. Konsumsi energi saat ini

   Melakukan survei dan menganalisis data konsumsi energi saat ini di wilayah yang dituju akan membantu dalam memperkirakan kebutuhan energi yang tepat.

   Kebutuhan energi di Indonesia dibedakan atas beberapa sektor pengguna akhir energi (end users) seperti sektor industri, rumah tangga, transportasi, komersial, dan sektor lainnya. Beberapa energi final di pengguna akhir, seperti sektor industri, juga menggunakan energi primer (batubara dan gas alam) sebagai kebutuhan energi finalnya. Oleh karena itu, batu bara dan gas alam dianggap sebagai bahan utama energi ketika digunakan untuk menghasilkan listrik, tetapi diperhitungkan sebagai energi akhir ketika digunakan oleh pengguna akhir. Energi final dikonsumsi oleh berbagai pengguna

akhir energi, yaitu sektor rumah tangga, komersial, industri, transportasi, dan sektor lainnya.

2. Keberlanjutan

   Pertimbangkan juga potensi pengurangan konsumsi energi melalui langkah-langkah efisiensi dan peningkatan kesadaran masyarakat.

   a. 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.

   b. 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.

Pemerintah berupaya meningkatkan pemanfaatan energi matahari untuk pembangkit listrik dengan membangun PLTS terpusat maupun PLTS Hibrid di wilayah-wilayah yang belum terjangkau listrik di seluruh pelosok Indonesia. Upaya Pemerintah ini turut mendukung berkembangnya industri surya nasional (Mauriraya, et al., 2020) .

3.3 Desain Sistem PLTS Komunal

Setelah menentukan lokasi dan kebutuhan energi, tahap selanjutnya adalah merancang sistem PLTS Komunal yang tepat. Beberapa aspek desain yang perlu dipertimbangkan di dalam desain sistem PLTS Komunal meliputi:

3.3.1 Kapasitas Sistem

Berdasarkan analisis kebutuhan energi, tentukan kapasitas sistem yang memadai untuk memenuhi permintaan listrik yang ada dan masa depan.

Kebutuhan kapasitas (kWp) panel surya ditentukan oleh besar energi (kWh) yang dibutuhkan beban dalam satu periode dan tingkat radiasi matahari di lokasi. Beberapa faktor dapat memenngaruhi efisiensi panel seperti temperatur, koneksi kabel, inverter, baterai, dan lain-lain, sehingga secara praktek hasil perhitungan yang diperoleh dikoreksi dengan faktor derating yang umumnya sekitar 0,67%. Kapasitas kWp dihitung dengan rumus [5].

$$\boldsymbol{kWp = \frac{I_o}{H_o}.\frac{E_o}{\eta_{sm}}.C_f = \frac{E_o}{PSH.\eta_{sm}}.C_f} \ (\mathbf{5})$$

Di mana:

Eo = energi yang ingin diproduksi (kWh)

H = tingkat radiasi matahari di lokasi (kWh/m2/hari)

Io = standard iradiasi (1 kW/m2)

Ho = efisiensi sistem modul (%)

Cf = faktor koreksi temperatur (1,1 – 1,5)

PSH = peak sun hour (jam/hari) minimum dalam periode

ηsm = efisiensi total sistem (0,67 – 0,75)

Untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan, modul surya disusun secara

berderet yang disebut string. Untuk mendapatkan daya/arus yang diinginkan, string modul surya disusun secara paralel. Besarnya tegangan string disesuaikan dengan tegangan masukan inverter.

3.3.2 Komponen Sistem

Pilih panel surya, inverter, baterai, dan komponen lainnya yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi lingkungan setempat.

Charge controller berfungsi memastikan agar baterai tidak mengalami kelebihan pelepasan muatan *(over discharge*) atau kelebihan pengisian muatan (*over charge*) yang dapat mengurangi umur baterai. *Charge controller* mampu menjaga tegangan dan arus keluar masuk baterai sesuai kondisi baterai. *Charge controller* sering disebut dengan solar *charge controller atau battery charge controller*. Jika charge controller menghubungkan panel surya ke baterai atau peralatan lainnya seperti inverter maka disebut solar charge controller. Jika bagian ini terhubung dari inverter ke baterai lazim disebut battery charge controller, namun hal tersebut tidak baku. Walaupun kedua alat ini berfungsi sama, berbeda dengan SCC, BCC tidak diperlengkapi oleh PWM-MPPT (*Pulse Width Modulation-Maximum Power Point Tracking*), yaitu kemampuan untuk mendapatkan daya listrik dari panel surya pada titik maksimumnya.

1. Inverter

   Inverter adalah jantug dalam sistem suatu PLTS. Inverter berfungsi mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak balik (AC). Tegangan DC dari panel surya cenderung tidak konstan sesuai dengan tingkat radiasi matahari. Tegangan masukan DC yang tidak konstan ini akan diubah oleh inverter menjadi tegangan AC yang konstan yang siap digunakan atau disambungkan pada sistem yang ada, misalnya jaringan PLN. Parameter tegangan dan arus pada keluaran inverter pada umumnya sudah disesuaikan dengan standar baku nasional/internasional. Saat ini, seluruh inverter menggunakan komponen elektronika di bagian dalamnya. Teknologi terkini suatu inverter telah menggunakan IGBT (*Insulated-Gate Bipolar Transistor*) (Patel, 1984) sebagai komponen utamanya menggantikan komponen lama BJT, MOSFET, J-FET, SCR dan lainnya. Karaktersitik IGBT adalah kombinasi keunggulan antara MOSFET dan BJT. Pemilihan jenis inverter dalam merencanakan PLTS disesuaikan dengan desain PLTS yang akan dibuat (Maskvart & Castaner, 2003). Jenis inverter untuk PLTS disesuaikan apakah PLTS *On Grid* atau *Off Grid* atau *Hybrid. Inverter* untuk sistem *On Grid* (*On Grid Inverter*) harus memiliki kemampuan melepaskan hubungan (*islanding system*) saat grid kehilangan tegangan. Inverter untuk sistem PLTS hibrid harus mampu mengubah arus dari kedua arah yaitu dari DC ke AC dan sebaliknya dari AC ke DC. Oleh karena itu inverter ini lebih populer disebut bi-directional inverter. Kelengkapan suatu inverter belum memiliki standard, sehingga produk yang satu dengan lain tidak sepenuhnya kompatibel. Ada inverter yang telah dilengkapi fungsi SCC dan atau BCC dan fungsi lainnya secara terintegrasi. Alat ini lazim disebut juga PCS (*Power Conditioner System*) atau Power Conditioner Unit (PCU). Dibutuhkannya SCC atau BCC tergantung dari kelengkapan inverter tersebut. Jika inverter telah dilengkapi dengan charge controller (SCC dan BCC) dibagian internalnya, maka charge controller eksternal sangat mungkin tidak diperlukan lagi.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan inverter (Roberts, 1991) adalah:

a. Kapasitas/daya inverter
   Daya inverter harus mampu melayani beban pada kondisi daya rata-rata, tipikal dan surja. Secara praktis, kapasitas inverter dihitung sebesar 1,3 x beban puncak.
b. Tegangan masukan inverter
   Pada kondisi beban naik turun, tegangan keluaran panel surya dapat mencapai tegangan tanpa beban (VOC). Untuk menghindarkan kerusakan akibat kenaikan tegangan, tegangan masukan inverter dihitung 1,1 – 1,15 *Voc string* PV.
c. Arus masukan inverter
   Pada kondisi sinar matahari sangat terik, panel surya dapat menghasilkan arus seolah-olah pada kondisi tanpa beban (ISC). Untuk menghindarkan kerusakan akibat kenaikan tegangan, secara praktek kapasitas arus input inverter dihitung 1,1 – 1,15 *Isc string* PV.
d. *Inverter* memiliki beberapa kualitas berdasarkan mutu daya keluarannya. Ada yang sinus murni, *modified square* wave atau *square wave*. Pilihlah yang memiliki kualitas sinus murni agar mampu memberikan suplai bagi seluruh jenis beban.
e. Pilih inverter yang menggunakan sistem komutasi elektronik dengan *Insulated-Gate Bipolar Transistor* (IGBT).
f. Memiliki sistem pengaturan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) dengan metoda PWM (*Pulse Width Modulation*).
g. Mampu bekerja pada temperatur sampai dengan 45 oC.

2. Baterai
   Mengingat PLTS sangat tergantung pada kecukupan energi matahari yang diterima panel surya, maka diperlukan media penyimpan energi sementara bila sewaktu-waktu panel tidak mendapatkan cukup sinar matahari atau untuk penggunaan listrik malam hari. Baterai harus ada pada sistem PLTS terutama tipe off Grid. Beberapa teknologi baterai yang umum dikenal adalah lead acid, alkalin, Ni-Fe, Ni-Cad dan Li-

ion. Masing-masing jenis baterai memiliki kelemahan dan kelebihan baik dari segi teknis maupun ekonomi (harga). Baterai lead acid dinilai lebih unggul dari jenis lain jika mempertimbangkan kedua aspek tersebut. Baterai lead acid untuk sistem PLTS berbeda dengan baterai lead acid untuk operasi starting mesin-mesin seperti baterai mobil. Pada PLTS, baterai yang berfungsi untuk penyimpanan (storage) juga berbeda dari baterai untuk buffer atau stabilitas. Baterai untuk pemakaian PLTS lazim dikenal dan menggunakan deep cycle lead acid, artinya muatan baterai jenis ini dapat dikeluarkan (discharge) secara terus menerus secara maksimal mencapai kapasitas nominal. Baterai adalah komponen utama PLTS yang membutuhkan biaya investasi awal terbesar setelah panel surya dan inverter. Namun, pengoperasian dan pemeliharaan yang kurang tepat dapat menyebabkan umur baterai berkurang lebih cepat dari yang direncanakan, sehingga meningkatkan biaya operasi dan pemeliharaan. Atau dampak yang paling minimal adalah baterai tidak dapat dioperasikan sesuai kapasitasnya.

Kapasitas baterai yang diperlukan tergantung pada pola operasi PLTS (Patel, 1984); (Maskvart & Castaner, 2003). Besar kapasitas baterai juga harus mempertimbangkan seberapa banyak isi baterai akan dikeluarkan dalam sekali pengeluaran. Kapasitas baterai dinyatakan dalam Ah atau Ampere hours. Jika suatu PLTS menggunakan baterai dengan kapasitas 2000MAh dengan tegangan sekitar 2 Volt. Maka baterai tersebut memiliki kemampuan menyimpan muatan sekitar 2000 Ah x 2 V atau 4 kWh. Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam menentukan jenis dan kapasitas baterai untuk suatu PLTS dan pengaruhnya pada umur baterai [9, 6, 3] antara lain: DoD (Depth of Discharge), jumlah siklus, efisiensi baterai, discharge/charge rate dan temperatur.

Depth of disharge adalah jumlah muatan/energi yang dikeluarkan atau dipakai dari baterai. DoD dinyatakan dengan persentase dari kapasitas nominal baterai. DoD 80% artinya bahwa baterai tersebut telah melepaskan muatannya 80% dari 100% ratingnya. Pada kondisi

ini baterai tinggal memiliki muatan sekitar 20% yang disebut juga dengan SOC atau stated of charge. Semakin besar DoD suatu baterai semakin pendek umur baterai tersebut. Dalam perhitungan, baterai dinyatakan dengan 2 (dua) angka DoD yaitu DoD maksimal dan DoD harian. DoD maksimal adalah DoD terbesar yang dapat dicapai baterai. Jika DoD maksimal dicapai, charge controller akan memutus hubungan baterai dengan beban (cut-off). Sedangkan DoD harian adalah batas DoD rata-rata yang akan dicapai dalam setiap siklus normalnya. Umumnya baterai sistem PLTS direncanakan untuk DOD 25% hingga 30% sehingga umur baterai sekitar 5 tahun. Ini berarti, kapasitas baterai harus beberapa kali jumlah energi yang akan dilepas dalam satu siklus. Umur baterai berpengaruh langsung dengan DoD dalam setiap siklusnya. Baterai dengan DoD 50% akan memiliki umur lebih panjang dua kali. Jika DoD 10%, maka umurnya akan bertambah 5 kali dari DoD 50%. Konsekuensinya adalah tingginya biaya baterai.

Satu kali proses lengkap dari satu kali proses pengeluaran (discharge) dan satu kali proses pengisian kembali (charge) disebut 1 cycle. Umur baterai biasanya dinyatakan dengan jumlah siklus baterai. Jika suatu baterai dinyatakan memiliki umur siklus 1800 cycle, dan dioperasikan sebanyak 1 cycle perhari, maka umur baterai relatif 1.800/(1 x 365 hari) sama dengan 4,9 tahun. Tapi jika 2 cycle/hari maka umur baterai turun menjadi 2,5 tahun.

Dalam menentukan kapasitas operasi, spesifikasi dan pengaturan pengoperasian baterai untuk PLTS Terpusat (komunal) beberapa faktor yang harus dipertimbangkan secara teknis antara lain sebagai berikut:

a. Baterai adalah jenis Deep Cycle
b. Baterai memiliki sistem ventilasi atau katup pengatur *valve regulated lead acid (vrla) battery*
c. Media elektrolit jenis cair, gel atau agm (*absorbed glass mat*),
d. Elektroda positif jenis tubular,
e. Tegangan per sel (VPC) 2 volt DC,

f. Kapasitas per sel baterai minimal 1800 ah pada C20 discharge,
g. Jumlah *cycle* baterai minimal 2.000 cycle pada dod 80%, C20,
h. Kapasitas baterai harus mampu untuk *days of autonomy* selama 2 (dua) kali periode operasi
i. DoD maksimal 80%,
j. DoD harian maksimal 50% untuk *off grid* dan 60% untuk hibrid,
k. Mampu bekerja pada temperatur sampai dengan 45 oC.

Untuk menghitung kapasitas baterai (battery bank) digunakan persamaan baterai (Maskvart & Castaner, 2003); (Patel, 1984):

$$\boldsymbol{kWp = DoA \frac{E_o}{DoD_{maks} \cdot \eta_{disc}} . C_{fbatt}} \quad (6)$$

Di mana:

Eo = energy yang siap suplai oleh baterai (kWh),

DoA = days of autonomy/hari berawan (hari)

DoD = kapasitas yang boleh dikeluarkan (%)

ηdisc: = discharge eficiency/efisiensi discharge (%)

Cfbatt = faktor koreksi baterai

Setelah kapasitas baterai, selanjutnya ditentukan kapasitas dan tegangan persatuan baterai untuk mendapatkan jumlah baterainya.

3.3.3 Sistem Monitoring Dan Kontrol PLTS

Pastikan sistem dilengkapi dengan sistem pemantauan dan kontrol yang memadai untuk memantau kinerja PLTS Komunal dan mendeteksi masalah potensial.

Monitoring sistem PLTS merupakan hal penting dalam menjaga kinerja optimal dan memaksimalkan komponen-komponen energi surya. Pentingnya pemantauan untuk memberikan informasi yang akurat tentang kinerja sistem secara *real-time*. Pemantauan yang baik, memberikan informasi secara dini terhadap masalah pada sistem sehingga dapat diidentifikasi sejak dini. Beberapa hal yang dapat didapatkan dari pemantauan seperti penumpukan debu pada panel surya, kerusakan fisik, atau kerusakan inverter. Hal ini

memungkinkan tindakan perbaikan yang tepat waktu dan mencegah penurunan produksi energi yang signifikan.

Dalam sistem PLTS ada beberapa 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 *memory card* 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.

Bab 4

Investasi dan Pendanaan

PLTS atau pembangkit listrik tenaga surya merupakan suatu sistem yang menggunakan energi cahaya matahari untuk menghasilkan energi listrik. PLTS biasanya terdiri dari panel surya yang menangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaik.

Prosesnya dimulai saat sinar matahari menabrak panel surya, yang terbuat dari banyak sel fotovoltaik. Setiap sel ini terdiri dari bahan semikonduktor yang menghasilkan arus listrik saat terkena cahaya matahari melalui efek fotovoltaik. Arus listrik yang dihasilkan kemudian disatukan dan diolah oleh Inverter menjadi listrik arus bolak-balik yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan listrik.

PLTS biasanya digunakan baik secara individu, seperti di rumah atau bisnis kecil, maupun dalam skala besar, seperti pembangkit listrik komersial yang terhubung ke jaringan listrik utama. Gambar 4.1 merupakan gambar udara susunan panel surya yang terpasang pada PLTS kampus Institut Teknologi Sumatera (ITERA) dengan kapasitas 1 MWp. Salah satu keunggulan PLTS adalah sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi karbon saat menghasilkan listrik.

Penggunaan PLTS semakin populer karena teknologi panel surya terus berkembang dan biayanya semakin terjangkau. Meskipun demikian, ada beberapa faktor yang memengaruhi efisiensi PLTS, seperti kondisi cuaca dan

lokasi geografis, namun perkembangan teknologi terus memperbaiki kinerja dan efisiensi sistem PLTS.

Gambar 4.1: Panel Surya Pada PLTS ITERA

Pembangunan PLTS di daerah kepulauan memerlukan perencanaan investasi dan pendanaan yang tepat. Perencanaan ini merupakan tahap kunci dalam pembangunan PLTS. Tahap ini memiliki peran yang sangat penting dalam memastikan keberhasilan, keefisienan, dan ketahanan jangka panjang dari sistem PLTS.

4.1 Investasi

Pada pembangunan PLTS, investasi memegang peranan penting akan keberhasilan sistem PLTS. Investasi yang tepat dapat menghindari kegagalan atau kerugian sistem PLTS. Secara garis besar investasi pada pembangunan PLTS ini dapat dibagi menjadi dua bagian yakni investasi fisik dan investasi non fisik

4.1.1 Investasi Fisik

Investasi fisik pada pembangunan PLTS meliputi seluruh perangkat keras dan infrastruktur yang diperlukan untuk menghasilkan listrik dari energi cahaya matahari. Investasi fisik dalam PLTS memerlukan pemilihan perangkat yang

tepat, instalasi yang benar, dan pemeliharaan yang teratur untuk memastikan bahwa sistem tersebut dapat beroperasi secara optimal dan menghasilkan nilai investasi yang diharapkan melalui penghematan energi atau potensi penghasilan dari energi yang dijual kembali ke jaringan listrik.

Adapun investasi fisik meliputi:

1. Panel Surya:
   Modul Surya: Pembelian panel surya yang terdiri dari sel fotovoltaik yang mengubah energi matahari menjadi listrik. Secara garis besar, terdapat dua jenis panel surya yang dapat ditemui dipasaran. Kedua jenis panel surya tersebut adalah monocrystalline dan polycrystalline. Perbedaan mendasar dari kedua jenis panel surya tersebut adalah dalam hal struktur sel dan efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik.
   a. Monocrystalline:
      - Struktur Sel: Dibuat dari potongan tunggal kristal silikon. Proses ini menghasilkan sel yang lebih seragam dengan warna lebih gelap.
      - Efisiensi: Lebih tinggi efisiensinya dibandingkan dengan panel polycrystalline, biasanya mencapai sekitar 15-20%.
      - Biaya: Lebih mahal karena proses pembuatan yang lebih rumit.
   b. Polycrystalline:
      - Struktur Sel: Terbentuk dari kristal silikon yang terdiri dari beberapa potongan, sehingga memiliki tampilan yang mirip dengan mozaik.
      - Efisiensi: Sedikit lebih rendah daripada panel monocrystalline, biasanya berkisar antara 13-16%.
      - Biaya: Lebih murah karena proses produksi yang lebih sederhana.

      Sekarang, panel monocrystalline umumnya dianggap lebih efisien dalam menghasilkan daya dari area yang sama dibandingkan dengan panel polycrystalline. Namun, panel polycrystalline seringkali

memiliki harga yang lebih terjangkau. Pilihan antara keduanya sering tergantung pada kebutuhan energi, anggaran, dan area yang tersedia untuk panel surya.

Tabel 4.1: Perbedaan Jenis Panel Surya

Kriteria	*monocrystalline*	*polycrystalline*
Warna	Hitam	Biru
Harga	$1-$1.5 per watt	$0.75 - $1 per watt
Efisiensi	Lebih efisien	Kurang efisien
Masa pakai	25-30 tahun	25-30 tahun
Daya tahan	Lebih tahan	Kurang tahan

Sumber: (Wallender & Tynan, 2023)

Tabel 4.1 memperlihatkan perbedaan dua jenis panel surya. Monocrystalline unggul dari segi efisiensi dan daya tahan, akan tetapi harga lebih mahal. Sedangkan polycrystalline memiliki kelebihan harga yang lebih murah, namun efisiensi dan daya tahan lebih rendah. Kualitas dan Kapasitas: Memilih panel surya dengan kualitas dan kapasitas yang sesuai dengan kebutuhan energi. Khususnya pada Pembangunan PLTS di wilayah kepulauan panel surya monocrystalline lebih diutamakan dibandingkan dengan polycrystalline.

2. Inverter:

   Inverter: Perangkat yang mengubah listrik searah dari panel surya menjadi listrik bolak-balik yang dapat digunakan di rumah atau bisnis. Pada PLTS, Inverter adalah komponen kunci yang mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh rumah tangga atau grid listrik.

   Beberapa hal tentang Inverter pada PLTS:

   a. Fungsi Utama: Inverter mengkonversi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dari bentuk DC menjadi AC. Hal ini diperlukan karena sebagian besar peralatan rumah tangga dan sistem listrik dihubungkan dengan AC.

b. Inverter String atau Central: Ada dua jenis utama Inverter, yaitu Inverter string dan Inverter central (Leva et al., 2023). Inverter string mengelola beberapa panel surya sekaligus, sementara Inverter sentral menangani seluruh sistem PLTS.
c. MicroInverter: Jenis Inverter lain yang disebut microInverter terpasang di setiap panel surya. Ini memungkinkan setiap panel untuk menghasilkan AC secara independen, meningkatkan efisiensi dan kinerja keseluruhan sistem.
d. Maximum Power Point Tracking (MPPT): Sebagian besar Inverter PLTS dilengkapi dengan teknologi MPPT yang membantu menyesuaikan tegangan dan arus yang masuk ke Inverter dari panel surya untuk memaksimalkan produksi daya.
e. Monitoring dan Kontrol: Inverter sering dilengkapi dengan sistem monitoring yang memungkinkan pengguna untuk melacak kinerja PLTS secara real-time, termasuk produksi energi dan kondisi Inverter.
f. Kehandalan: Kualitas Inverter sangat penting karena Inverter dapat menjadi titik kelemahan dalam sistem PLTS. Kehandalan, efisiensi, dan kepatuhan terhadap standar keselamatan listrik sangat penting dalam pemilihan Inverter.
g. Pemilihan Inverter yang Tepat: Memilih Inverter yang sesuai dengan kapasitas panel surya dan kebutuhan daya.

3. Baterai Penyimpanan (Opsional):

   Sistem Penyimpanan: Jika diinginkan atau diperlukan, investasi dalam baterai penyimpanan untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya untuk digunakan pada malam hari atau saat cuaca buruk. Baterai ini menjadi salah satu investasi yang sifatnya opsional. Jika sistem PLTS on grid yang terhubung dengan jaringan listrik PLN, maka baterai penyimpanan tidak dibutuhkan (Kananda & Nazir, 2013). Namun, jika sistem PLTS off grid yang berdiri sendiri atau terpisah dengan jaringan PLN, maka baterai penyimpanan menjadi salah satu kebutuhan yang wajib ada.

   Berikut adalah beberapa hal tentang baterai penyimpan pada PLTS:

a. Fungsi: Baterai penyimpan digunakan untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya saat sinar matahari melimpah untuk digunakan pada saat yang dibutuhkan, seperti saat sinar matahari minim atau di malam hari.
b. Penggunaan Energi Cadangan: Saat produksi energi surya melebihi kebutuhan, baterai akan menyimpan sisa energi tersebut. Kemudian, saat produksi surya tidak mencukupi, baterai akan memberikan energi yang tersimpan.
c. Memaksimalkan Penggunaan Energi Surya: Dengan baterai, PLTS dapat memaksimalkan penggunaan energi surya yang dihasilkan. Tanpa baterai, jika energi yang dihasilkan berlebih, energi tersebut mungkin akan terbuang atau diarahkan ke jaringan listrik umum.
d. Siklus Pengisian dan Pengosongan: Baterai memiliki siklus pengisian dan pengosongan. Dalam PLTS, baterai harus mampu mengisi ulang dan mengosongkan energi dengan efisien dan tahan lama.
e. Tipe Baterai: Ada beberapa jenis baterai yang digunakan dalam PLTS, seperti baterai timbal-asam (aki), lithium-ion (Li-ion), atau baterai redox flow. Baterai lithium-ion sering dipilih karena ukuran yang lebih kecil, masa pakai yang lebih panjang, dan tingkat efisiensi yang lebih tinggi.
f. Kapasitas dan Keamanan: Kapasitas baterai penting untuk memutuskan berapa banyak energi yang dapat disimpan. Keamanan juga menjadi faktor kunci karena baterai memiliki risiko overcharging atau overheating yang dapat berbahaya.
g. Biaya: Baterai penyimpanan dapat menjadi komponen yang mahal dalam sistem PLTS, sehingga perlu dipertimbangkan dengan matang dalam perencanaan sistem.

   Baterai penyimpanan pada PLTS memberikan fleksibilitas dan kemandirian energi yang lebih besar, memungkinkan penggunaan energi surya sepanjang waktu, bahkan saat kondisi lingkungan tidak mendukung produksi energi surya secara maksimal. Namun

penggunaan baterai penyimpanan akan meningkatkan biaya investasi dan biaya perawatan PLTS.

4. Pemilihan Lokasi dan Instalasi:

   Pemilihan Lokasi yang tepat: Memilih lokasi yang optimal untuk pemasangan panel surya, mempertimbangkan orientasi, kemiringan, dan pencahayaan matahari(Halim, n.d.). Berikut adalah beberapa poin penting yang perlu dipertimbangkan:

   a. Radiasi Surya: Lokasi dengan paparan sinar matahari yang optimal sangat penting. Area dengan sinar matahari yang cukup sepanjang tahun akan meningkatkan produktivitas PLTS. Penilaian potensi sinar matahari dengan menggunakan peta radiasi surya dapat membantu menentukan lokasi yang tepat.
   b. Orientasi dan Kemiringan: Panel surya harus diorientasikan dengan benar (ke arah matahari) dan ditempatkan pada kemiringan yang tepat untuk menangkap sinar matahari sebaik mungkin. Biasanya, orientasi ke arah selatan dan kemiringan sekitar 15 hingga 40 derajat dari permukaan tanah adalah yang ideal, tergantung pada lokasi geografis.
   c. Daerah bayangan: Perhatikan bahwa panel surya tidak boleh ternaungi oleh bangunan, pohon, atau struktur lainnya yang dapat mengurangi efisiensi produksi energi.
   d. Kapasitas Ruang: Sediakan area yang cukup besar untuk instalasi panel surya sesuai dengan kebutuhan energi yang diinginkan. Ruang terbuka yang tidak terhalangi akan meningkatkan efisiensi.
   e. Keamanan dan Izin: Pastikan lokasi memungkinkan instalasi yang aman dan sesuai dengan peraturan setempat. Mendapatkan izin dan mematuhi regulasi terkait sangat penting dalam proses instalasi.
   f. Jarak ke Pemakai Energi: Reduksi jarak antara PLTS dan pemakai energi dapat mengurangi kerugian energi selama transfer.

g. Pemeliharaan Akses: Pastikan akses untuk pemeliharaan dan perbaikan panel surya mudah diakses untuk memastikan kinerja yang optimal.
h. Kondisi Lingkungan: Perhatikan faktor-faktor lingkungan seperti curah hujan, suhu ekstrem, dan kelembapan. Panel surya biasanya memiliki toleransi terhadap kondisi eksternal, tetapi mempertimbangkan faktor-faktor ini dapat membantu dalam perawatan dan pemeliharaan.

Pemilihan lokasi yang tepat dan instalasi yang cermat akan berkontribusi besar pada produktivitas dan efisiensi PLTS Anda. Konsultasi dengan profesional atau insinyur yang berpengalaman dalam energi terbarukan dapat membantu dalam proses perencanaan dan instalasi yang lebih baik.

Biaya Instalasi: Biaya instalasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) bisa bervariasi secara signifikan tergantung pada beberapa faktor yang mencakup:

a. Ukuran Sistem: Biaya instalasi akan sangat dipengaruhi oleh ukuran sistem PLTS yang diinginkan. Semakin besar sistemnya, semakin banyak panel surya, Inverter, baterai (jika digunakan), dan komponen lainnya yang diperlukan, yang akan memengaruhi biaya keseluruhan.
b. Kualitas dan Jenis Panel Surya: Panel surya terbaik umumnya memiliki harga yang lebih tinggi. Panel monokristalin cenderung lebih mahal daripada panel polikristalin. Selain itu, teknologi panel surya terbaru dan berkualitas tinggi bisa memiliki biaya instalasi yang lebih tinggi.
c. Tipe Inverter dan Baterai (jika digunakan): Pemilihan Inverter dan baterai juga berdampak pada biaya instalasi. Inverter yang lebih canggih atau jenis baterai yang memiliki kapasitas penyimpanan yang besar mungkin memiliki biaya instalasi yang lebih tinggi.
d. Biaya Tenaga Kerja: Biaya tenaga kerja untuk instalasi juga merupakan faktor yang signifikan. Biaya ini bisa bervariasi

berdasarkan lokasi, kesulitan instalasi, serta keahlian dan pengalaman teknisi yang melakukan pemasangan.

e. Persyaratan Lokal dan Izin: Kadang-kadang, izin dari pemerintah setempat diperlukan untuk memasang PLTS, dan ini dapat menambah biaya instalasi.
f. Biaya Pemeliharaan dan Garansi: Perlu dihitung juga biaya pemeliharaan rutin serta garansi yang mungkin ditawarkan oleh penyedia sistem PLTS.
g. Aksesibilitas Lokasi: Jika lokasi instalasi sulit dijangkau atau memerlukan persiapan khusus, biaya instalasi bisa meningkat.

Memperkirakan biaya instalasi PLTS sebaiknya dilakukan setelah melakukan kajian menyeluruh yang mencakup berbagai faktor di atas. Harga PLTS dapat sangat bervariasi, mulai dari ribuan hingga puluhan ribu dolar atau lebih, tergantung pada kebutuhan spesifik, ukuran, dan kualitas sistem yang dipilih. Konsultasi ke ahli energi terbarukan atau penyedia layanan PLTS dapat membantu dalam menentukan perkiraan biaya yang lebih akurat sesuai dengan kebutuhan dan lokasi spesifik pembangunan PLTS.

5. Pemeliharaan dan Perawatan:

   Pemeliharaan dan perawatan yang baik adalah kunci untuk memastikan kinerja optimal dari PLTS. Berikut adalah beberapa langkah penting dalam menjaga PLTS:

   a. Pembersihan Panel Surya: Panel surya harus dibersihkan secara teratur dari debu, kotoran, dan endapan lainnya yang dapat mengurangi efisiensi (Devasagayam et al., 2023). Membersihkan panel surya dengan air bersih dan lembut serta menghindari penggunaan bahan pembersih yang abrasif sangat disarankan.
   b. Pemantauan Kinerja: Memantau kinerja PLTS secara teratur penting untuk mendeteksi masalah potensial. Sistem pemantauan yang terhubung dapat membantu dalam melacak produksi energi serta memperhatikan adanya potensi kegagalan pada komponen.
   c. Pemeriksaan Teratur: Lakukan pemeriksaan rutin terhadap komponen-komponen utama seperti Inverter, kabel, sambungan,

dan baterai (jika ada). Pastikan tidak ada kerusakan atau keausan yang dapat memengaruhi kinerja.

d. Pemeliharaan Inverter: Inverter adalah komponen yang penting. Pastikan Inverter terlindungi dari elemen-elemen lingkungan, memiliki ventilasi yang baik, dan tidak terpapar kelembaban yang berlebihan.
e. Perawatan Baterai (jika ada): Jika PLTS dilengkapi dengan baterai, perhatikan keadaan baterai, cek tegangan, serta pastikan baterai di-charge secara teratur untuk menjaga masa pakai dan kinerjanya.
f. Periksa Sistem Penyaluran dan Kabel: Pastikan tidak ada kebocoran pada kabel, dan sambungan terpasang dengan baik. Kondisi ini penting untuk menjaga efisiensi transfer energi.
g. Pemeliharaan Rutin oleh Profesional: Secara berkala, disarankan untuk mendapatkan layanan pemeliharaan dan pemeriksaan oleh profesional yang berpengalaman dalam PLTS. Mereka dapat mendeteksi masalah yang tidak terlihat pada pemeriksaan biasa.
h. Catatan dan Dokumentasi: Menyimpan catatan tentang pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan akan membantu dalam melacak kinerja PLTS dari waktu ke waktu. Ini juga membantu dalam mendiagnosis masalah yang mungkin muncul di masa depan.
i. Pencegahan kebakaran: Pada PLTS dengan kapasitas yang cukup besar perlu dipersiapkan sistem pencegahan kebakaran. Jarak antar panel surya perlu diatur agar jika terjadi kegagalan sistem, maka bisa dilokalisir (Wu et al., 2020).

Memiliki rencana pemeliharaan dan perawatan yang teratur dan terinci akan membantu memastikan bahwa PLTS beroperasi dengan efisien, memaksimalkan produksi energi dan umur pakainya.

6. Koneksi ke Grid (Opsional):
   Jika sistem PLTS terhubung ke jaringan listrik publik, akan ada biaya untuk mengatur koneksi dan izin yang diperlukan dari pengelola

jaringan listrik publik, dalam hal ini biaya investasi ke grid bersifat opsional.

7. Monitoring dan Pengendalian:
   Perangkat Monitoring: Investasi dalam sistem monitoring yang memungkinkan pemantauan kinerja dan produksi energi dari jarak jauh. Berikut adalah beberapa aspek tentang investasi ini:
   a. Monitoring Kinerja Sistem: Sistem monitoring memungkinkan pengguna untuk melacak produksi energi dari PLTS secara real-time. Ini mencakup informasi tentang produksi energi harian, mingguan, bulanan, dan bahkan tahunan. Hal ini membantu dalam memantau kinerja sistem dan mengetahui jika ada penurunan yang signifikan dalam produksi energi.
   b. Pengawasan Konsumsi Energi: Selain memantau produksi energi dari PLTS, sistem monitoring dapat memberikan informasi tentang konsumsi energi pada titik pemakaian. Ini membantu dalam menyesuaikan pemakaian energi dengan produksi energi yang tersedia, membantu pengguna untuk menggunakan energi dengan lebih efisien.
   c. Deteksi Masalah Secara Dini: Sistem monitoring dapat membantu dalam mendeteksi masalah atau kerusakan pada komponen PLTS dengan cepat. Jika ada penurunan produksi energi yang tiba-tiba, sistem ini dapat memberikan peringatan dini sehingga pemeliharaan atau perbaikan dapat dilakukan sebelum masalah memburuk.
   d. Pemantauan Kualitas dan Efisiensi: Monitoring sistem juga dapat memantau efisiensi konversi energi dari panel surya ke dalam listrik, serta memantau kondisi baterai jika ada. Hal ini membantu dalam mengidentifikasi area di mana perbaikan atau peningkatan dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi.
   e. Remote Access dan Kontrol: Sistem monitoring sering kali memungkinkan akses jarak jauh untuk memantau dan mengontrol sistem dari jarak jauh. Ini memungkinkan untuk melakukan

perubahan pada pengaturan sistem atau mematikan/ menyalakan sistem sesuai kebutuhan, bahkan dari jarak jauh.

Investasi dalam sistem monitoring dan pengendalian pada PLTS merupakan langkah proaktif yang membantu dalam memaksimalkan kinerja sistem, mengurangi downtime, menghemat biaya pemeliharaan, dan memungkinkan pengguna untuk mengambil tindakan yang diperlukan dengan cepat jika terjadi masalah. Hal ini juga membantu dalam memastikan penggunaan energi yang lebih efisien dan optimal.

4.1.2 Investasi Non Fisik

Investasi non-fisik dalam PLTS melibatkan beberapa aspek yang tidak langsung terkait dengan perangkat keras fisik. Beberapa dari investasi ini mencakup:

1. Pengetahuan dan Pendidikan:
   a. Peningkatan Pengetahuan: Investasi waktu dan upaya untuk memahami teknologi, manfaat, dan cara kerja PLTS.
   b. Pendidikan Publik: Mendukung program pendidikan atau kampanye publik untuk meningkatkan kesadaran masyarakat akan energi terbarukan dan keberlanjutan.
2. Dukungan Regulasi dan Kebijakan:
   a. Advokasi Kebijakan: Menggunakan sumber daya dan pengaruh untuk mendukung kebijakan publik yang mendorong penggunaan energi terbarukan seperti PLTS.
   b. Partisipasi dalam Perencanaan Kota: Mendorong penggunaan PLTS dalam perencanaan pembangunan kota yang berkelanjutan.
3. Komunitas dan Kemitraan:
   a. Pemberdayaan Komunitas: Melalui investasi sosial, bekerja dengan komunitas lokal untuk memperkenalkan PLTS, memberikan pelatihan, atau mendukung proyek energi terbarukan.
   b. Kemitraan Bisnis: Berkolaborasi dengan perusahaan atau organisasi lain untuk mempromosikan dan memasang PLTS di berbagai lingkungan.

4. Inovasi dan Riset:
   a. Riset dan Pengembangan: Mendukung penelitian dan inovasi dalam teknologi PLTS untuk meningkatkan efisiensi, daya tahan, atau biaya.
   b. Investasi pada Startup atau Teknologi Terbaru: Mendukung startup atau perusahaan yang berfokus pada pengembangan teknologi terkait energi terbarukan.
5. Kesadaran Lingkungan:
   a. Branding dan Kesadaran Merek: Mengintegrasikan komitmen terhadap energi terbarukan ke dalam citra dan budaya perusahaan.
   b. Kesadaran Lingkungan Karyawan: Menyediakan pelatihan atau program untuk meningkatkan kesadaran lingkungan karyawan terkait energi terbarukan.

Investasi non-fisik ini penting dalam membangun kesadaran, dukungan, dan infrastruktur yang mendukung penggunaan PLTS dan energi terbarukan secara lebih luas. Meskipun tidak terkait secara langsung dengan perangkat keras fisik, investasi ini dapat memiliki dampak jangka panjang yang signifikan dalam mendorong adopsi energi terbarukan untuk masa depan yang lebih berkelanjutan.

4.2 Pendanaan

Pendanaan untuk pembangunan PLTS bisa berasal dari beberapa sumber:

1. Pendanaan Pribadi atau Perusahaan:
   a. Investasi Langsung: Dana dari kantong pribadi atau perusahaan untuk membeli dan memasang sistem PLTS.
   b. Pembiayaan sendiri: Memanfaatkan tabungan atau dana dari laba perusahaan untuk membiayai pembangunan PLTS.

2. Pembiayaan dari Leasing atau Pinjaman:
   a. Leasing: Melalui perusahaan leasing energi terbarukan untuk menyewa atau menyewa beli sistem PLTS dengan pembayaran berkala.
   b. Pinjaman: Mendapatkan pinjaman dari bank atau lembaga keuangan untuk mendanai pembelian dan instalasi PLTS.
3. Subsidi Pemerintah dan Insentif Fiskal:
   a. Subsidi Pemerintah: Bantuan langsung atau subsidi dari pemerintah lokal, nasional, atau internasional untuk mendorong penggunaan energi terbarukan.
   b. Kredit Pajak: Insentif fiskal dalam bentuk kredit pajak atau pengurangan biaya untuk penggunaan PLTS.
4. Investasi Swasta atau Kemitraan:

Gambar 4.2: PLTS ITERA dengan Investor Swasta

Salah satu upaya dalam mendapatkan dana investasi pembangunan PLTS yakni dengan menggandeng investor swasta. Gambar 4.2 memperlihatkan PLTS di ITERA yang dibangun dengan pendanaan bersumber dari investor swasta. Kemitraan dapat juga dilakukan dengan perusahaan energi terbarukan atau pengembang proyek untuk mendanai dan mengelola instalasi PLTS.

5. Program Hibah atau Donasi:
   a. Program Hibah: Mendapatkan dana hibah dari yayasan, organisasi nirlaba, atau program bantuan energi terbarukan untuk mendukung pembangunan PLTS.
   b. Donasi dari Masyarakat: Melalui kampanye atau inisiatif sosial untuk mengumpulkan dana dari masyarakat yang peduli terhadap energi terbarukan.
6. Skema Pembiayaan Berbasis Kinerja:
   Pembiayaan Berbasis Kinerja (P4): Skema di mana biaya instalasi PLTS dibayarkan dengan menggunakan sebagian dari penghematan biaya listrik yang dihasilkan dari penggunaan PLTS tersebut.

Pemilihan sumber pendanaan yang tepat dapat tergantung pada situasi finansial, tujuan jangka panjang, dan struktur perusahaan atau proyek. Memahami opsi pendanaan yang tersedia dan mempertimbangkan faktor-faktor seperti biaya modal, pengembalian investasi, dan insentif pajak/regulasi adalah langkah penting dalam merencanakan pendanaan untuk pembangunan PLTS.

Bab 5

Pemasangan dan Implementasi

5.1 Pemilihan Lokasi Pemasangan

Pemilihan lokasi yang tepat untuk pemasangan panel surya adalah kunci untuk optimalisasi pembangkit listrik tenaga surya. Beberapa faktor perlu dipertimbangkan dalam menentukan lokasi terbaik, di antaranya:

1. Intensitas sinar matahari. Semakin tinggi intensitas sinar matahari yang mengenai panel surya, semakin banyak energi listrik yang dapat dihasilkan, (Yusiana, V., & Matalata, H. 2018). Oleh karena itu, lokasi dengan intensitas sinar matahari tinggi dan sedikit bayangan ideal untuk panel surya.
2. Orientasi panel surya. Panel surya idealnya menghadap ke arah matahari terbit atau terbenam untuk mengoptimalkan penyerapan sinar matahari sepanjang hari, (Sholihuddin, A. 2016). Hindari pemasangan panel surya menghadap utara atau selatan.
3. Kemiringan atap. Atap dengan kemiringan sekitar 15-40 derajat paling cocok untuk pemasangan panel surya karena dapat mengoptimalkan sudut datang sinar matahari, (Kurniawan, A., dkk 2019). Atap datar juga dapat digunakan asalkan panel surya diberi tilt mount.

4. Beban bayangan. Pohon, bangunan, cerobong asap, dan objek tinggi lainnya dapat menimbulkan bayangan yang menghalangi sinar matahari ke panel surya. Meminimalisir bayangan dengan memastikan tidak ada penghalang sinar matahari di sekitar lokasi, (Koesmarijanto, 2021).
5. Aksesibilitas. Pastikan lokasi mudah diakses untuk memudahkan pemasangan, perawatan, dan perbaikan panel surya. Hindari lokasi yang sulit dijangkau, (Saputra, O. A., 2023).
6. Keamanan. Pertimbangkan lokasi yang terhindar dari pencurian dan vandalisme untuk menjaga keamanan sistem panel surya.
7. Kondisi cuaca dan iklim. Lokasi dengan cuaca dan iklim yang stabil dan tidak ekstrem lebih disukai karena dapat meminimalkan risiko kerusakan pada panel surya. Misalnya, lokasi dengan angin kencang atau hujan es dapat merusak panel surya.
8. Ketersediaan lahan. Lahan yang cukup luas diperlukan untuk pemasangan panel surya, terutama untuk proyek skala besar. Pastikan lahan tersedia cukup untuk pemasangan panel surya dan peralatan pendukung lainnya.
9. Kebijakan dan regulasi setempat. Beberapa daerah mungkin memiliki kebijakan atau regulasi tertentu yang memengaruhi pemasangan panel surya. Misalnya, ada batasan tinggi bangunan atau aturan tentang jarak antara panel surya dan bangunan lainnya.
10. Biaya dan ketersediaan infrastruktur. Biaya pemasangan dan ketersediaan infrastruktur seperti jaringan listrik dan akses jalan juga perlu dipertimbangkan. Lokasi yang jauh dari jaringan listrik atau akses jalan dapat menambah biaya pemasangan.

Gambar 5.1: Proses Instalasi Panel Surya (Canva.id, diakses 2023)

Dengan mempertimbangkan semua faktor ini, pemilihan lokasi pemasangan panel surya dapat dilakukan dengan lebih efektif dan efisien. Dengan demikian, pembangkit listrik tenaga surya dapat beroperasi dengan optimal dan memberikan manfaat maksimal bagi komunitas dan investor, sebagai ilustrasi pemasangan panel surya diperlihatkan pada Gambar 1.

5.2 Proses Pemasangan

Proses pemasangan panel surya merupakan tahapan penting dalam implementasi pembangkit listrik tenaga surya. Proses ini melibatkan serangkaian langkah yang harus dilakukan dengan hati-hati dan presisi untuk memastikan panel surya berfungsi dengan optimal dan aman. Berikut adalah langkah-langkah umum dalam proses pemasangan panel surya yaitu:

Persiapan lokasi pemasangan. Ini melibatkan pembersihan dan penyiapan lahan atau atap tempat panel surya akan dipasang. Lahan atau atap harus rata dan bebas dari penghalang seperti pohon atau bangunan tinggi yang bisa menimbulkan bayangan. Pemasangan struktur penyangga atau mounting system. Struktur ini berfungsi untuk menopang panel surya dan mengarahkannya ke matahari. Struktur penyangga harus kuat dan tahan cuaca untuk memastikan panel surya tetap stabil dan aman. Pemasangan panel surya. Panel surya dipasang pada struktur penyangga dan diarahkan ke matahari.

Pemasangan harus dilakukan dengan hati-hati untuk mencegah kerusakan pada panel surya. Pemasangan sistem kelistrikan. Ini melibatkan pemasangan inverter, penghubung kabel, dan sistem proteksi. Inverter berfungsi untuk mengubah arus listrik DC dari panel surya menjadi AC yang bisa digunakan oleh peralatan rumah tangga. Sistem proteksi berfungsi untuk melindungi panel surya dan peralatan listrik lainnya dari lonjakan listrik atau kerusakan. Pengujian dan penyetelan. Setelah semua komponen dipasang, sistem harus diuji untuk memastikan semua komponen bekerja dengan baik. Penyetelan mungkin diperlukan untuk mengoptimalkan penyerapan sinar matahari dan produksi listrik, (Yogianto, A. A. 2021).

Proses pemasangan panel surya membutuhkan pengetahuan dan keterampilan khusus, sehingga seringkali melibatkan profesional atau kontraktor berlisensi. Selain itu, proses ini juga harus mematuhi standar dan regulasi setempat untuk memastikan keamanan dan efisiensi sistem. Dengan proses pemasangan yang tepat, pembangkit listrik tenaga surya dapat beroperasi dengan optimal dan memberikan manfaat maksimal bagi pengguna.

Sebagai contoh pemasangan panel surya di kepulauan di Indonesia, PT Deltamas Solusindo telah menyelesaikan proyek pemasangan panel surya dengan kapasitas 550 ribu watt di pulau-pulau kecil di Sulawesi Utara dan 3,3 megawatt di pulau-pulau kecil di Sulawesi Selatan pada tahun 2023. Proyek ini dilakukan dalam kerjasama dengan PLN dan menjadi solusi dalam pemenuhan kebutuhan listrik di daerah terpencil di Indonesia. Diharapkan dalam waktu 8 bulan, pemasangan panel surya ini sudah bisa selesai dan sudah bisa dinikmati oleh masyarakat di pulau kecil tersebut, (Farizal, & Angelina, J. 2018).

Selain itu, produk Solar Quest dari PT Deltamas Solusindo juga menawarkan solusi pemasangan panel surya untuk retail dengan kapasitas 2000 watt, 3000 watt, dan 5000 watt. Produk ini mampu menghasilkan listrik yang stabil dan dapat diandalkan, serta tidak menyebabkan polusi udara atau suara.

Pemasangan panel surya ini merupakan bagian dari upaya pemerintah dan sektor swasta dalam mengoptimalkan pemanfaatan energi surya di Indonesia, yang memiliki potensi energi surya sebesar 4.8 KWh/m2 atau setara dengan 112.000 GWp. Saat ini, pemanfaatan energi surya di Indonesia baru mencapai sekitar 10 MWp, dan pemerintah menargetkan kapasitas PLTS terpasang hingga tahun 2025 adalah sebesar 0.87 GW atau sekitar 50 MWp/tahun[1]. Dengan pemanfaatan energi surya ini, diharapkan dapat meningkatkan

penggunaan energi bersih terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada energi fosil, (Ferdyson, F., & Windarta, J. 2023).

5.3 Pemasangan PLTS Atap

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap merupakan solusi energi terbarukan yang semakin populer di Indonesia. Pemasangan PLTS Atap didukung oleh Kementerian ESDM dan Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (Ditjen EBTKE) sebagai upaya untuk memanfaatkan energi surya yang berlimpah di Indonesia. Sebelum memasang PLTS Atap, ada beberapa persiapan yang harus dilakukan. Pertama, pastikan atap rumah cocok untuk pemasangan PLTS, yaitu atap yang menghadap ke arah matahari dan tidak terhalang oleh bayangan bangunan atau pohon. Kedua, tentukan ukuran PLTS yang dibutuhkan berdasarkan konsumsi listrik harian. Ketiga, siapkan anggaran yang cukup untuk investasi awal. Keempat, pilih merek dan tipe PLTS yang sesuai dengan kebutuhan dan reputasinya di pasaran.

Pemasangan PLTS Atap melibatkan beberapa langkah penting. Pertama, pasang struktur penyangga, (Tarigan, E. 2020). Kemudian, pasang panel surya, inverter, dan baterai. Inverter berfungsi mengubah arus listrik dari panel surya menjadi arus listrik yang dapat digunakan di rumah, sementara baterai menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya untuk digunakan pada malam hari atau saat cuaca buruk. Setelah semua komponen terpasang, sambungkan sistem PLTS ke jaringan listrik rumah (Libra, M. dkk, 2016). Pemasangan PLTS Atap memiliki beberapa kelebihan, seperti ramah lingkungan, menghemat biaya pemakaian listrik PLN, memungkinkan pemantauan penggunaan listrik, tahan lama, dan proses pemasangan yang mudah. Namun, ada beberapa syarat dan regulasi yang harus dipenuhi, seperti memiliki izin operasi dan Sertifikat Laik Operasi (SLO) untuk kapasitas yang melebihi 500 kW, dan kapasitas daya PLTS Atap tidak boleh melebihi 90% dari daya PLN yang tersambung, Malik, P. Dkk, 2021).

Pemerintah Indonesia terus berupaya untuk mengoptimalkan penggunaan PLTS Atap dan energi terbarukan lainnya. Misalnya, melalui revisi Peraturan Menteri ESDM Nomor 26 Tahun 2021 tentang PLTS Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik

untuk Kepentingan Umum. Dengan demikian, pemasangan PLTS Atap diharapkan dapat semakin optimal dan berkontribusi pada upaya transisi energi di Indonesia. Contoh PLTS atap terpasang diperlihatkan pada Gambar 2.

Gambar 5.2: PLTS Atap Terpasang di rumah warga (a,b) (Canva.id, diakses 2023)

Selain itu, pemasangan PLTS Atap juga memerlukan pemeliharaan dan perawatan rutin untuk memastikan kinerja optimal, (Inwanna, W., dkk, 2019). Pemeliharaan ini meliputi pembersihan panel surya dari debu dan kotoran, pengecekan kondisi kabel dan konektor, serta pengecekan kinerja inverter dan baterai. Jika diperlukan, layanan profesional dapat diandalkan untuk melakukan pemeliharaan dan perbaikan. Pemasangan PLTS Atap juga memberikan manfaat ekonomi dan lingkungan. Dari segi ekonomi, PLTS Atap dapat mengurangi biaya listrik bulanan dan memberikan penghematan jangka panjang. Dari segi lingkungan, PLTS Atap membantu mengurangi emisi karbon dan berkontribusi pada upaya mitigasi perubahan iklim, (Satpathy, R., & Pamuru, V. 2021) .

Pemasangan PLTS Atap di Indonesia masih menghadapi beberapa tantangan, seperti kurangnya pemahaman masyarakat tentang manfaat dan cara kerja PLTS, hambatan regulasi, dan biaya investasi awal yang tinggi. Namun, dengan dukungan pemerintah dan sektor swasta, serta peningkatan kesadaran masyarakat tentang pentingnya energi terbarukan, diharapkan pemasangan PLTS Atap akan semakin meningkat di masa depan (Boonseng, C. Dkk, 2019).

5.4 Pemasangan PLTS Komunal

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Komunal, diperlihatkan pada Gambar 3, merupakan solusi energi terbarukan yang efektif untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah kepulauan dan terpencil di Indonesia. Pemasangan PLTS Komunal melibatkan koordinasi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi surya yang melimpah di Indonesia. Beberapa contoh pemasangan PLTS Komunal di kepulauan Indonesia meliputi proyek PT Deltamas Solusindo yang telah menyelesaikan pemasangan panel surya dengan kapasitas 550 ribu watt di pulau-pulau kecil di Sulawesi Utara dan 3,3 megawatt di pulau-pulau kecil di Sulawesi Selatan pada tahun 2023. Proyek ini dilakukan dalam kerjasama dengan PLN dan menjadi solusi dalam pemenuhan kebutuhan listrik di daerah terpencil di Indonesia.

Dalam pemasangan PLTS Komunal, beberapa langkah penting perlu dilakukan, seperti mengevaluasi kebutuhan energi komunitas, memilih lokasi yang sesuai, merancang sistem PLTS, memperoleh perizinan dan izin yang diperlukan, serta memilih peralatan dan komponen yang tepat. Selanjutnya, proses pemasangan meliputi persiapan lahan, pemasangan struktur penyangga, panel surya, sistem kelistrikan, dan pengujian serta penyetelan sistem. Pemeliharaan dan perawatan rutin juga penting untuk memastikan kinerja optimal PLTS Komunal. Pemeliharaan ini meliputi pembersihan panel surya dari debu dan kotoran, pengecekan kondisi kabel dan konektor, serta pengecekan kinerja inverter dan baterai, (Abdel Dayem, A. M., & Al-Ghamdi, A. S. 2016).

Gambar 5.3:. PLTS Komunal (Canva.id, diakses 2023)

Pemasangan PLTS Komunal di Indonesia masih menghadapi beberapa tantangan, seperti kurangnya pemahaman masyarakat tentang manfaat dan cara kerja PLTS, hambatan regulasi, dan biaya investasi awal yang tinggi. Namun, dengan dukungan pemerintah dan sektor swasta, serta peningkatan kesadaran masyarakat tentang pentingnya energi terbarukan, diharapkan pemasangan PLTS Komunal akan semakin meningkat di masa depan.

Selain pemasangan PLTS Komunal, ada juga inisiatif untuk mengembangkan model bisnis dan skema pembiayaan yang inovatif dalam rangka meningkatkan akses masyarakat terhadap energi terbarukan. Beberapa model bisnis yang telah diterapkan di Indonesia meliputi kemitraan antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat, seperti skema konsesi, kerjasama operasi, dan skema bagi hasil (Ika Samudra, J. 2023). Skema pembiayaan yang inovatif, seperti pinjaman lunak, hibah, dan dana bergulir, juga dapat membantu masyarakat untuk memperoleh akses ke PLTS Komunal dengan biaya yang lebih terjangkau. Pendidikan dan pelatihan juga menjadi faktor penting dalam meningkatkan adopsi PLTS Komunal di Indonesia. Program pelatihan dan sertifikasi bagi tenaga kerja lokal dapat membantu meningkatkan keterampilan dan pengetahuan masyarakat tentang pemasangan, operasi, dan pemeliharaan PLTS. Selain itu, kampanye edukasi dan sosialisasi tentang manfaat dan cara kerja PLTS dapat meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya energi terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada energi fosil.

Dalam jangka panjang, pemasangan PLTS Komunal di daerah kepulauan Indonesia diharapkan dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat, mengurangi emisi karbon, dan mendukung upaya transisi energi nasional menuju energi bersih dan berkelanjutan. Dengan dukungan pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat, serta inovasi dalam teknologi, model bisnis, dan skema pembiayaan, pemasangan PLTS Komunal di Indonesia memiliki potensi besar untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan dan menjadi contoh bagi negara-negara lain di kawasan Asia Tenggara.

5.5 Implementasi dan Regulasi

Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia, khususnya di daerah kepulauan, memerlukan kerangka regulasi yang jelas dan konsisten. Regulasi ini mencakup aspek teknis dan fiskal yang berhubungan

dengan pengembangan dan operasional PLTS. Dalam konteks ini, regulasi teknis mencakup standar dan persyaratan teknis untuk peralatan dan instalasi PLTS, sementara regulasi fiskal mencakup insentif dan mekanisme pendanaan untuk pengembangan PLTS. Beberapa regulasi penting yang berlaku di Indonesia meliputi Undang-Undang Republik Indonesia No. 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 12 Tahun 2019 tentang Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik untuk Kepentingan Sendiri, dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, (Telaumbanua, D. 2019) .

Regulasi ini memberikan kerangka hukum yang jelas untuk pengembangan PLTS, baik untuk skala rumah tangga (on-grid dan off-grid) maupun skala komunal. Misalnya, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 12 Tahun 2019 memungkinkan masyarakat untuk membangun dan mengoperasikan pembangkit listrik tenaga surya untuk kepentingan sendiri, dengan kapasitas tertentu. Selain itu, regulasi juga memfasilitasi kerjasama antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat dalam pengembangan PLTS (Syariffuddin. 2021). Misalnya, skema sharing energi atau perhitungan ekspor dan impor energi listrik PLTS memungkinkan pemilik PLTS untuk menjual energi listrik berlebih ke jaringan PLN.

Namun, implementasi dan regulasi PLTS di Indonesia masih menghadapi beberapa tantangan, seperti kurangnya pemahaman masyarakat tentang regulasi dan prosedur, hambatan birokrasi, dan kurangnya insentif fiskal untuk investasi di sektor energi terbarukan. Oleh karena itu, perlu adanya upaya lebih lanjut untuk memperbarui dan menyederhanakan regulasi, meningkatkan sosialisasi dan pendidikan tentang PLTS, dan mengembangkan mekanisme pendanaan dan insentif yang lebih menarik untuk pengembangan PLTS.

Dari sisi masyarakat, implementasi PLTS di daerah kepulauan Indonesia dapat memberikan dampak positif dalam meningkatkan akses terhadap listrik yang terjangkau dan berkelanjutan. Dengan adanya PLTS, masyarakat di daerah terpencil dapat memperoleh akses listrik yang sebelumnya sulit dijangkau melalui jaringan listrik konvensional. Hal ini dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat, mendukung kegiatan ekonomi lokal, dan memberikan akses terhadap layanan publik yang lebih baik. Selain itu, pemasangan PLTS juga dapat menciptakan lapangan kerja lokal dalam proses instalasi, pemeliharaan, dan operasional PLTS, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat setempat.

Dari sisi investor/swasta, pemasangan PLTS di daerah kepulauan Indonesia dapat menjadi peluang investasi yang menarik. Dengan kondisi Indonesia yang memiliki potensi energi surya yang melimpah, pemasangan PLTS di daerah kepulauan dapat menjadi investasi yang menguntungkan. Selain itu, kerjasama antara pemerintah dan sektor swasta dalam pengembangan PLTS komunal dapat menciptakan peluang investasi yang berkelanjutan dan berdampak positif bagi pembangunan infrastruktur energi terbarukan di Indonesia. Dukungan dari pemerintah dalam menciptakan regulasi yang kondusif dan memberikan insentif bagi investasi di sektor energi terbarukan juga dapat mendorong partisipasi investor/swasta dalam pengembangan PLTS di daerah kepulauan Indonesia.

5.6 Pelatihan dan Edukasi Masyarakat

Pelatihan dan edukasi masyarakat merupakan elemen penting dalam upaya optimalisasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di daerah kepulauan Indonesia. Pemahaman yang baik tentang teknologi PLTS dan manfaatnya dapat mendorong adopsi dan penggunaan energi surya di masyarakat. Pelatihan dapat ditujukan kepada berbagai pihak, termasuk masyarakat umum, tenaga kerja lokal, dan pemangku kebijakan. Pelatihan untuk masyarakat umum dapat berfokus pada pengetahuan dasar tentang energi surya dan cara kerja PLTS, serta manfaat dan keuntungan penggunaan energi surya. Pelatihan ini dapat dilakukan melalui berbagai cara, seperti seminar, workshop, dan pelatihan langsung di lapangan.

Sementara itu, pelatihan untuk tenaga kerja lokal dapat berfokus pada keterampilan teknis yang diperlukan untuk instalasi, operasi, dan pemeliharaan PLTS. Pelatihan ini dapat mencakup berbagai aspek, seperti pemilihan dan penanganan peralatan, teknik instalasi dan pengkabelan, serta prosedur keselamatan kerja. Pelatihan ini dapat membantu menciptakan lapangan kerja baru dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat lokal. Selain pelatihan, edukasi masyarakat juga penting untuk meningkatkan kesadaran dan pemahaman masyarakat tentang pentingnya energi terbarukan dan manfaat penggunaan PLTS. Edukasi ini dapat dilakukan melalui berbagai cara, seperti kampanye sosialisasi, pameran, dan publikasi media.

Selain itu, edukasi dan pelatihan juga dapat ditujukan kepada pemangku kebijakan, untuk membantu mereka memahami potensi dan manfaat energi

surya, serta tantangan dan hambatan dalam pengembangan PLTS. Dengan pemahaman yang baik, pemangku kebijakan dapat merumuskan dan menerapkan kebijakan yang mendukung pengembangan dan penggunaan PLTS di daerah kepulauan Indonesia. Secara keseluruhan, pelatihan dan edukasi masyarakat merupakan elemen penting dalam upaya optimalisasi pembangkit listrik tenaga surya di daerah kepulauan Indonesia. Dengan pengetahuan dan keterampilan yang baik, masyarakat dapat berperan aktif dalam transisi energi menuju energi bersih dan berkelanjutan.

5.7 Kendala dan Solusi

Kendala dan solusi dalam implementasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di daerah kepulauan Indonesia merupakan hal yang penting untuk dipahami. Salah satu kendala utama adalah kurangnya pemahaman masyarakat tentang manfaat dan cara kerja PLTS. Hal ini dapat menghambat adopsi PLTS di masyarakat. Selain itu, hambatan regulasi dan birokrasi juga dapat menjadi kendala dalam pengembangan PLTS. Di sisi lain, tantangan lainnya adalah biaya investasi awal yang tinggi, terutama di daerah terpencil. Namun, terdapat solusi untuk mengatasi kendala-kendala tersebut. Salah satunya adalah melalui pelatihan dan edukasi masyarakat tentang manfaat dan cara kerja PLTS. Dengan pemahaman yang baik, diharapkan masyarakat dapat lebih terbuka terhadap penggunaan PLTS. Selain itu, penyederhanaan regulasi dan perbaikan birokrasi juga dapat membantu mengurangi hambatan dalam pengembangan PLTS. Dari sisi finansial, pemerintah dapat memberikan insentif atau skema pembiayaan yang mendukung untuk mengurangi beban investasi awal. Dukungan dari sektor swasta juga dapat membantu dalam mengatasi kendala finansial dan teknis dalam implementasi PLTS di daerah kepulauan Indonesia. Dengan mengidentifikasi kendala-kendala tersebut dan mencari solusi yang tepat, diharapkan implementasi PLTS di daerah kepulauan Indonesia dapat berjalan dengan lebih lancar dan memberikan manfaat yang maksimal bagi masyarakat setempat.

Tabel 5.1: Analisa SWOT PLTS di Daerah Kepulauan

Kekuatan (Strengths)	**Kelemahan (Weaknesses)**
1. Sumber energi terbarukan yang melimpah di daerah kepulauan Indonesia	1. Kurangnya pemahaman masyarakat tentang manfaat dan cara kerja PLTS
2. Potensi untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan emisi karbon	2. Hambatan regulasi dan birokrasi dalam pengembangan PLTS
3. Dukungan dari pemerintah dan sektor swasta dalam pengembangan PLTS	3. Biaya investasi awal yang tinggi, terutama di daerah terpencil
Peluang (Opportunities)	**Ancaman (Threats)**
1. Potensi untuk meningkatkan akses terhadap listrik yang terjangkau dan berkelanjutan bagi masyarakat di daerah kepulauan	1. Fluktuasi harga komponen PLTS dan ketergantungan pada impor komponen PLTS
2. Peluang investasi yang menarik bagi sektor swasta	2. Ketidakpastian kebijakan dan regulasi terkait energi terbarukan
3. Peluang untuk menciptakan lapangan kerja lokal dalam proses instalasi, pemeliharaan, dan operasional PLTS	3. Tantangan dalam pemeliharaan dan pengelolaan PLTS di daerah terpencil

Analisis SWOT *(Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) terhadap pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di daerah kepulauan Indonesia, pada Tabel 1 menunjukkan sejumlah faktor yang perlu dipertimbangkan. Kekuatan utama yang dimiliki oleh PLTS di daerah kepulauan adalah ketersediaan sumber energi terbarukan yang melimpah, memberikan potensi untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mengurangi emisi karbon. Dukungan kuat dari pemerintah dan sektor swasta juga menjadi kekuatan utama dalam mengembangkan PLTS. Namun,

kelemahan PLTS di daerah kepulauan mencakup kurangnya pemahaman masyarakat tentang manfaat dan cara kerja PLTS, serta hambatan regulasi dan birokrasi yang dapat menghambat pengembangan proyek PLTS. Biaya investasi awal yang tinggi, terutama di daerah terpencil, juga menjadi kelemahan yang signifikan.

Adapun peluang yang dapat dimanfaatkan melalui pengembangan PLTS melibatkan potensi untuk meningkatkan akses terhadap listrik yang terjangkau dan berkelanjutan bagi masyarakat di daerah kepulauan. Selain itu, terdapat peluang investasi yang menarik bagi sektor swasta, serta peluang untuk menciptakan lapangan kerja lokal dalam proses instalasi, pemeliharaan, dan operasional PLTS. Di sisi lain, terdapat beberapa ancaman yang perlu diperhatikan, seperti fluktuasi harga komponen PLTS dan ketergantungan pada impor komponen PLTS. Ketidakpastian dalam kebijakan dan regulasi terkait energi terbarukan juga menjadi ancaman serius. Selain itu, tantangan dalam pemeliharaan dan pengelolaan PLTS di daerah terpencil dapat menghambat keberlanjutan proyek. Dalam rangka merancang strategi yang efektif untuk pengembangan PLTS di daerah kepulauan, penting untuk memahami dan mengelola faktor-faktor tersebut dengan bijaksana, sekaligus mencari solusi inovatif untuk mengatasi tantangan yang mungkin timbul.

Analisis SWOT ini dapat menjadi dasar untuk merumuskan strategi yang tepat dalam mengoptimalkan implementasi PLTS di daerah kepulauan Indonesia. Dengan memanfaatkan kekuatan dan peluang yang ada, serta mengatasi kelemahan dan ancaman yang mungkin timbul, diharapkan implementasi PLTS dapat berjalan dengan lebih efektif dan memberikan manfaat maksimal bagi masyarakat dan lingkungan.

Bab 6

Operasional dan Monitoring

6.1 Operasional PLTS

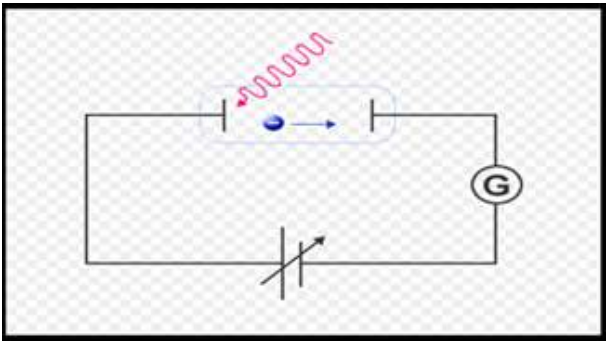
Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan alat yang digunakan untuk mengubah surya atau cahaya matahari menjadi listrik. Penggunaannya cocok di wilayah Indonesia karena sepanjang tahun negara ini selalu disinari matahari. Wilayah Indonesia beriklim tropis dan mendapatkan sinar matahari setiap harinya. Oleh karena itu, PLTS yang menggunakan tenaga surya tentu bisa dioperasikan di negara ini. Bahkan, ada data yang menyebut bahwa keseluruhan Indonesia punya potensi surya sebanyak 207.898 MWp.

Menurut catatan situs Kemdikbud, pembangkit listrik tenaga surya bisa beroperasi dengan dua cara. Di antaranya, ada cara langsung (sering disebut fotovoltaik) dan tidak langsung (kerap diistilahkan pemusatan energi surya) (Prinada, 2022).

Pada prinsipnya monitoring secara langsung atau dengan fotovoltaik, dapat dijelaskan di bawah ini:

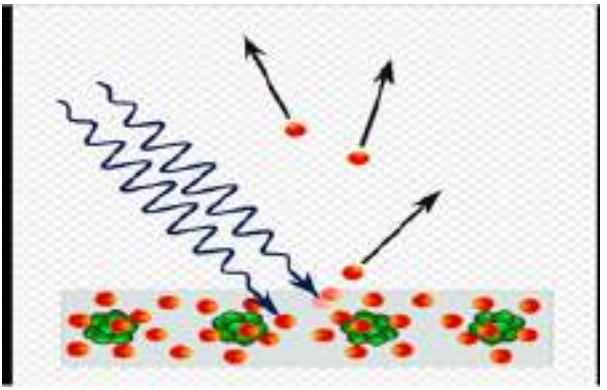
1. Fotovoltaik
   Fotovoltaik mengubah secara langsung energi surya menjadi energi listrik menggunakan menggunakan efek fotolistrik.

2. Efek fotolistrik adalah pengeluaran elektron dari suatu permukaan (biasanya logam) ketika permukaan itu dikenai dan menyerap radiasi elektromagnetik (seperti cahaya tampak dan radiasi ultra ungu) yang berada di atas frekuensi ambang tergantung pada jenis permukaan. Elektron yang dipancarkan dengan cara ini disebut fotoelektron. Fenomena ini dipelajari dalam fisika benda terkondensasi, dan keadaan padat dan kimia kuantum untuk menarik kesimpulan tentang sifat-sifat atom, molekul, dan padatan



Gambar 6.1: Prinsip Pengukuran Efek Fotolistrik

Efek ini digunakan pada perangkat elektronik yang khusus mendeteksi cahaya dan memancarkan elektron pada waktu yang tepat. Istilah lama untuk efek fotolistrik adalah efek Hertzian (tidak lagi digunakan). Dr. Hertz mengamati, dan kemudian menunjukkan, bahwa elektroda yang disinari dengan sinar ultraviolet lebih mudah menghasilkan percikan listrik. Efek fotolistrik memerlukan foton dengan energi dari beberapa elektron volt hingga lebih dari 1 MeV dari unsur-unsur dengan nomor atom tinggi. Studi tentang efek fotolistrik memberikan langkah penting dalam memahami sifat kuantum cahaya dan elektron serta memengaruhi munculnya konsep dualitas gelombang-partikel. Fenomena optik yang memengaruhi pergerakan muatan termasuk efek fotokonduktif (juga dikenal sebagai fotokonduktivitas atau fotoresistensi), efek fotovoltaik, dan efek fotoelektrokimia.



Gambar 6.2: Emisi Elektron Dari Pelat Logam disebabkan oleh kuanta-foton cahaya.

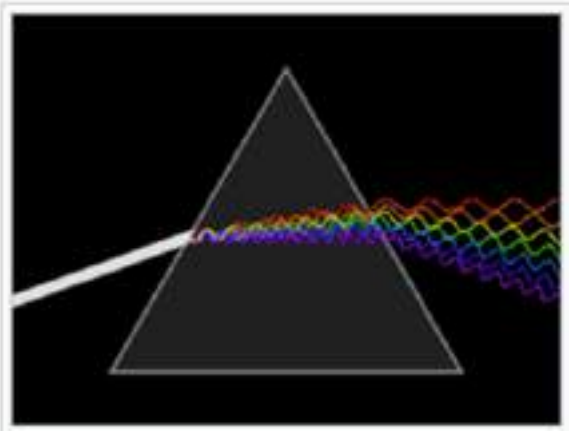
3. Pemusatan Energi Matahari

   Pemusatan energi matahari menggunakan sistem lensa atau cermin bersama dengan sistem pelacakan untuk memusatkan energi matahari ke satu titik untuk menggerakkan mesin kalor.

   Lensa adalah suatu alat untuk mengumpulkan atau menyebarkan cahaya, biasanya terbuat dari kaca berbentuk. Perangkat serupa yang digunakan pada jenis radiasi elektromagnetik lain juga disebut lensa. Misalnya, lensa microwave dapat dibuat dari *paraffin wax*.(“Lensa,” 2023)

Gambar 6.3: Lensa cembung

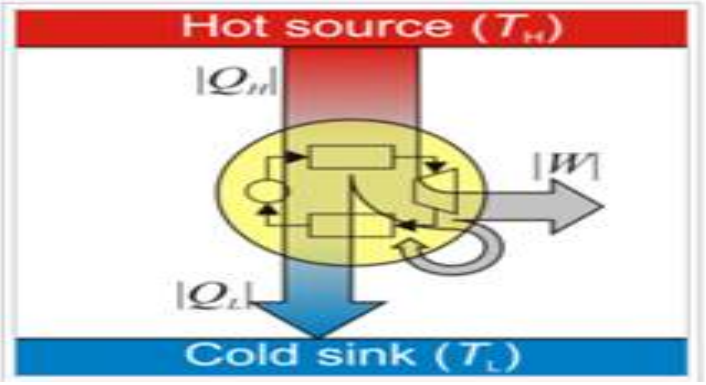
Radiasi elektromagnetik adalah kombinasi medan listrik dan medan magnet yang berosilasi dan merambat melewati ruang dan membawa energi dari satu tempat ke tempat yang lain. Cahaya tampak adalah salah satu bentuk radiasi elektromagnetik. ("Radiasi elektromagnetik," 2022)



Gambar 6.4: RADIASI ELEKTROMAGNETIK SINAR PUTIH
Dalam sebuah Prisma (optik) yang terurai menjadi beberapa warna Cahaya yang Terpisah

Mesin kalor adalah nama alat yang mengubah energi panas menjadi energi mekanik.

Misalnya, pada mesin mobil, energi panas yang dihasilkan ketika bahan bakar dibakar diubah menjadi energi kinetik mobil. Namun diketahui bahwa pada semua mesin kalor, konversi energi panas menjadi energi mekanik selalu disertai dengan pelepasan gas buang yang mengangkut sejumlah energi panas. Artinya hanya sebagian energi panas yang dihasilkan selama pembakaran bahan bakar diubah menjadi energi mekanik. Contoh lainnya adalah mesin untuk pembangkit listrik. Ia membakar batu bara atau bahan bakar lainnya dan menggunakan energi panasnya untuk mengubah air menjadi uap. Uap ini diarahkan ke bilah turbin, menyebabkannya berputar. Terakhir, energi mekanik dari putaran ini digunakan untuk menggerakkan generator.("Mesin kalor," 2022)



Gambar 6.5:. Skema Mesin Kalor

Komponen utama pembangkit listrik tenaga surya antara lain modul surya, inverter, dan baterai yang memerlukan penanganan khusus selama pengoperasiannya.

6.2 Prosedur Pengoperasian

Pada prinsipnya PLTS beroperasi secara otomatis selama pengoperasian terus menerus tanpa perlu menghidupkan dan mematikan. Namun perputaran daya PLTS diperlukan untuk pemeliharaan, perbaikan, dan dalam kondisi tertentu. Prosedur yang relevan juga berlaku untuk instruksi mengenai keselamatan kerja.

6.2.1 Instruksi Keselamatan Kerja

Menurut Simanjuntak (1994), keselamatan kerja adalah kondisi aman di mana tidak terjadi kecelakaan dan kerusakan di tempat kerja, termasuk kondisi bangunan, kondisi mesin, peralatan keselamatan, dan kondisi kerja.(wpadmisokon, 2023)

Keselamatan operator sangat penting dalam pengoperasian PLTS:

1. Gunakan peralatan berinsulasi untuk mengurangi risiko sengatan listrik.

2. Lepaskan semua perhiasan dan benda logam lainnya, seperti cincin, kalung, gelang, dan jam tangan, saat mengoperasikan perangkat.
3. Jangan bekerja sendiri jika terjadi situasi kelistrikan yang berbahaya.
4. Untuk mengurangi risiko sengatan listrik, putuskan sambungan semua sumber listrik sebelum menyambungkan atau melepas baterai atau beban, atau menyervis peralatan.

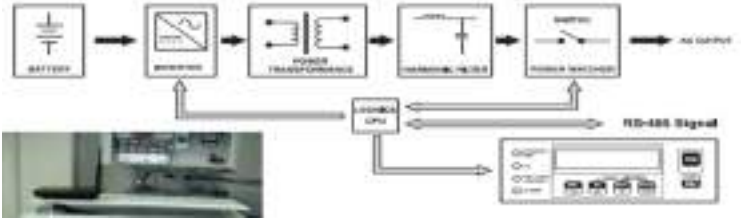
Tindakan pencegahan untuk keselamatan kerja berikut juga berlaku juga pada modul surya.

1. Bacalah buku petunjuk atau petunjuk pengoperasian modul dan sistem surya sebelum pemasangan.
2. Jika sistem PV terkena sinar matahari, terdapat risiko sengatan listrik dari kabel keluaran atau konektor yang terbuka.
3. Untuk mengurangi risiko sengatan listrik, lepaskan susunan atau tutupi dengan kain buram atau bahan lain sebelum membuat sambungan listrik atau menyervis sistem.
4. Perhatikan koneksi polaritas modul PV yang benar.

Tindakan pencegahan keselamatan kerja berikut harus diperhatikan terkait pekerjaan pengoperasian baterai:

1. Pastikan terdapat ventilasi yang memadai di sekitar baterai. Jangan merokok atau menimbulkan percikan api di dekat baterai.
2. Jangan menjatuhkan perkakas logam ke atas baterai. Hal ini dapat menyebabkan korsleting listrik pada baterai atau komponen lainnya, yang dapat mengakibatkan ledakan.
3. Lepaskan semua benda logam seperti cincin, gelang, dan jam tangan saat memegang baterai.
4. Jika Anda memerlukan bantuan saat menangani baterai, bekerjalah dekat dengan seseorang agar seseorang dapat membantu dengan cepat.
5. Memakai pelindung mata dan pakaian pelindung secara lengkap.
6. Hindari menyentuh mata saat bekerja di dekat baterai.
7. Jika asam baterai mengenai kulit atau pakaian Anda, segera cuci dengan sabun dan air.

8. Jika asam terkena mata, segera bilas dengan air dingin selama minimal 20 menit dan segera dapatkan bantuan medis.
9. Selalu perhatikan polaritas tegangan yang benar saat menyambungkan baterai.



Gambar 6.6: Blok Diagram pada Pemantauan PLTS

6.2.2 Prosedur Penyalaan dan Pemutusan

Masing-masing prosedur yang harus dilakukan diuraikan sebagai berikut:

1. Penyalaan (Start Up)
   a. Nyalakan panel penggabung
   b. dan nyalakan setiap panel penggabung (dari urutan panel penggabung pertama hingga panel penggabung terakhir). Menyalakan panel penggabung MCB keluar dan sambungkan PV ke SCC (dari rangkaian panel penggabung pertama).
   c. Menghidupkan ketiga SCC secara berurutan, menyalakan masing-masing SCC (dari SCC pertama hingga SCC terakhir).
   d. Proses penyalaan. Tekan dan tahan tombol hijau "Precharge" dengan ibu jari kiri Anda selama 10 detik hingga lampu LED hijau di sebelahnya menyala. Sambil menahan tombol, hidupkan pemutus arus baterai dengan ibu jari Anda. di sebelah kanan. Lakukan langkah serupa untuk dua SCC lainnya.
   e. Hubungkan baterai ke SCC dengan cara menghubungkan sekring NH yang ada di kotak sambungan baterai ke dudukan sekring dan hidupkan masing-masing sekring NH (dari sekring NH pertama hingga sekring NH terakhir).

f. Menghidupkan masing-masing inverter (dari rangkaian inverter pertama hingga inverter terakhir).
g. Nyalakan panel AC (dari rangkaian MCB pertama hingga rangkaian MCB terakhir).
h. Nyalakan panel distribusi keluaran MCB.
i. Hidupkan COS (sakelar transfer) pada posisi I (Otomatis)

Menyalakan Inverter

a. Buka pintu depan inverter, anda akan menemukan tutup kuning dan tombol hijau di kanannya.
b. Tekan dan tahan tombol hijau “precharge” dengan jempol kanan selama 10 detik. Lampu LED Battery Correct Polary akan menyala sebentar lalu mati, lampu LED “precharge” tetap menyala selama ditekan. Sambil menahan tombol “precharge” nyalakan battery breaker dengan jempol tangan kiri.
c. Tutup pintu inverter depan.
d. Tekan dan tahan tombol “ON” sampai bunyi “beep” 3 kali lalu lepaskan.
e. Lakukan langkah serupa untuk ke-2 Inverter yang lain. (Lihat petunjuk di tutup warna kuning)
f. Berikan waktu inverter “warming-up” selama kurang lebih 2 menit.
g. Periksa indikator inverter. Lampu LED menyala hijau pada STANDBY/RUN, AC, FULL BAT/LOW BATT.
h. Bila lampu led ALARM inverter menyala buka buku petunjuk LEONICS inverter S-219C.

Menyalakan AC Panel dan Panel Distribusi

a. On kan MCB AC Panel (dari urutan pertama ke urutan terakhir).
b. Panel Distribusi. Putar handle COS berlawanan arah jarum jam dari “0” ke posisi “I”

c. Hidupkan MCB outgoing Inv 1, Inv 2, Inv 3, dan 2 MCB cadangan (bila digunakan) Periksa meter Panel distribusi. Jarum menunjuk V = 220 volt, Arus = tergantung beban, Hz = 50 Hz

2. Pemutusan (Shut-Down)

Pada prinsipnya prosedur mematikan PLTS adalah kebalikan dari prosedur penyalaan (star-up).

Langkah-langkahnya sebagai berikut;

a. Pada Panel Distribusi yang dilakukan:
   - Matikan Semua MCB outgoing ke beban.
   - Putar Handle COS searah jarum jam dari posisi “I” ke “0” Di AC Panel.
   - Matikan Semua MCB outgoing ke panel distribusi (urutan dari yang terakhir ke yang pertama)

b. Pada Inverter yang dilakukan:
   - Tekan dan tahan tombol “OFF/Fault Reset” sampai berbunyi “beep.... beep... beep”. Lakukan langkah serupa untuk ke-2 inverter yang lain.
   - Buka pintu inverter, matikan battery circuit breaker di tutup warna kuning. Lakukan langkah serupa untuk ke-2 inverter yang lain (urutan dari yang terakhir ke yang pertama)

c. Pada Solar Charge Controller yang dilakukan:

   Matikan Battery Circuit Breaker di dalam tutup kuning SCC. Lakukan langkah yang sama pada ke-2 SCC yang lain (urutan dari yang terakhir ke yang pertama)

d. Pada NH Fuse Battery:

   Cabut / matikan NH Fuse pada Battery Connection Box. (urutan yang terakhir ke yang pertama)

e. Pada Panel Combiner

   Matikan MCB outgoing Panel Combiner PV. (urutan dari yang terakhir ke yang pertama)

6.2.3 Sistem Monitoring PLTS

Sistem monitoring PLTS merupakan suatu perangkat yang dirancang untuk memantau variabel-variabel suatu unit PLTS serta memberikan informasi dan masukan untuk perbaikan guna memastikan distribusi tenaga listrik dari PLTS tetap berfungsi dengan baik.

Pemantauan adalah kegiatan yang dirancang untuk mengevaluasi kinerja sistem dan memperoleh masukan untuk perbaikan sistem di masa depan. Pemantauan juga dapat diklasifikasikan sebagai pemeliharaan prediktif, yang melibatkan pengukuran kinerja sistem secara terus-menerus selama pengoperasian.

Pemantauan sistem dapat dilakukan melalui inspeksi di tempat dan/atau inspeksi jarak jauh menggunakan perangkat penyimpanan dan transmisi data.

Monitoring PLTS, bisa dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Monitoring secara manual
2. Monitoring secara online

Indonesia merupakan negara seribu pulau atau sering disebut dengan negara kepulauan. Oleh karena itu, pembangunan Indonesia cenderung tidak merata karena banyak daerah yang terpencil. Lokasi terpencil seringkali cocok untuk penggunaan sumber energi surya. Energi surya digunakan untuk menyuplai energi listrik, namun biaya penyediaan energi listrik tradisional di berbagai bidang seperti transportasi, distribusi, pengoperasian dan pemeliharaan sangat tinggi, sehingga energi surya memegang peranan yang sangat penting dalam pembangunan.

Penggunaan sumber tenaga surya, khususnya PLTS, dapat memberikan manfaat jangka panjang seperti menurunkan biaya operasional dan mengurangi dampak lingkungan.

Pemantauan online pembangkit listrik tenaga surya jarak jauh sangat penting untuk memastikan kondisi pengoperasian yang andal. Pemantauan lokasi yang dikunjungi tidak mudah dan mahal, sehingga pemantauan melalui transmisi data nirkabel atau berbasis web (pemantauan online) praktis dan efisien, namun kondisi pengoperasian dan kinerja PLTS bergantung pada konfigurasi sistem dan kondisi cuaca. Ciri-ciri utama tegangan operasi modul surya (Va) PLTS adalah, selain arus operasi modul surya, arus hubung singkat (L sc), tegangan rangkaian terbuka (V oc), arus maksimum (I mp), dan tegangan

maksimum (V mp) adalah.). Sifat tersebut dipengaruhi oleh radiasi matahari/Gi dan suhu sel surya/Tc. Karakteristik ini merupakan parameter awal untuk evaluasi pemanfaatan dan efisiensi. Efisiensi adalah kemampuan suatu PLTS dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik, dan pemanfaatannya adalah perbandingan energi yang dihasilkan dengan energi maksimal yang dihasilkan PLTS tersebut.

Informasi mengenai kerugian efisiensi dan deteksi dini kegagalan sistem meningkatkan ketersediaan dan keandalan PLTS. Salah satu cara untuk meningkatkan ketersediaan dan keandalan adalah pemantauan online.

6.2.4 Peranan Sistem Monitoring

Pemantauan adalah proses mengukur, mencatat, mengumpulkan, mengolah, dan mengkomunikasikan informasi untuk mendukung keputusan manajemen program atau proyek. Pemantauan dilakukan dengan memantau data pengukuran di setiap titik komponen PLTS seperti PV, baterai, inverter, dan beban. Rangkaian sensor digunakan untuk mengumpulkan data arus, tegangan, suhu, dan kelembaban di lokasi yang dipantau.

buah data dari sensor dikumpulkan dan diproses oleh mikrokontroler, dan data serta perhitungannya ditampilkan pada LCD. Fungsi utama sistem pemantauan PLTS adalah menilai apakah produksi PLTS memenuhi permintaan konsumen.(“Sistem Monitoring PLTS | PDF,” 2023)

Salah satu jenis sistem monitoring online adalah sistem monitoring online berbasis dashboard yang mudah dan cepat diakses. Dashboard online ini berbentuk website yang dapat dibuka di layar laptop atau smartphone Anda. Dashboard memungkinkan Anda menangkap data dalam jumlah besar dalam bentuk presentasi yang menarik dan mudah dipahami. Visualisasi yang sederhana dan mudah dipahami memberikan pengalaman nyaman saat memantau sistem PLTS secara online. Semua pelanggan CEE dapat mengakses dashboard ini kapan saja, di mana saja hanya dengan ID pelanggan dan kata sandi mereka.(Carla, 2022)

Dashboard PLTS menyajikan data yang cukup lengkap, mulai dari berapa energi yang dibutuhkan, dihasilkan hingga dikonsumsi dari PLTS.

Data yang terdapat pada dashboard PLTS tersebut adalah:

1. Aliran Energi Listrik yang Diproduksi dan Dikonsumsi oleh PLTS

Salah satu tujuan pemantauan sistem PLTS adalah untuk mengetahui kinerja PLTS dalam pembangkitan listrik. Laporan pembangkitan listrik dan konsumsi daya dapat diterima dari dashboard. Data ini juga memungkinkan Anda mengetahui apakah PLTS Anda berproduksi terlalu banyak, cukup, atau tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik Anda.

2. Status Baterai Inverter
   Baterai merupakan komponen penting yang dapat menyimpan kelebihan daya untuk digunakan pada saat listrik PLN padam. Dengan memantau sistem PLTS, Anda dapat memantau apakah baterai penyimpan dalam kondisi baik atau perlu perbaikan.
3. Status Kesehatan Sistem Panel Surya
   Selain mengetahui daya yang dihasilkan, Anda juga dapat memantau kesehatan sistem melalui dashboard. Jika sistem dalam kondisi buruk dan memerlukan perbaikan segera, pemilik PLTS akan mendapat peringatan di dashboardnya agar bisa segera melakukan perbaikan sebelum terjadi kerusakan besar.
4. Jumlah Karbon Dioksida yang Dihindari
   Salah satu tujuan kita beralih ke PLTS adalah mengurangi emisi karbon yang dilepaskan ke lingkungan melalui pembakaran bahan bakar fosil. Pemantauan sistem PLTS online ini memberikan informasi seberapa besar produksi gas karbon dioksida yang dapat dikurangi dengan memanfaatkan energi surya sebagai pembangkit.(Carla, 2022)

Berikut beberapa kemudahan dan manfaat yang bisa Anda dapatkan dari sistem monitoring PLTS online.

1. Kemudahan akses kapan saja di berbagai perangkat
   Monitoring online sistem PLTS memberikan akses real-time kapan saja. Data yang ditampilkan akan terus berjalan secara langsung. Selain itu, Anda dapat mengakses dashboard PLTS dari smartphone atau komputer Anda. Manfaat ini membuat pemantauan PLTS menjadi mudah dan cepat.

2. Tampilan Data Dashboard yang Mudah Dibaca dan Menarik
   Data disajikan dalam bentuk grafik dan gambar yang lebih mudah dilihat dan dibaca, bukan dalam bentuk tabel yang membosankan. Ini menyajikan data grafis dengan penjelasan ringkas dan bahasa sederhana, sehingga mudah dipahami siapa pun.
3. Menjamin kerahasiaan data PLTS
   Data keadaan PLTS hanya dapat diakses oleh pelanggan yang memiliki ID dan password sehingga tidak perlu khawatir akan terbongkar kepada orang lain. Selain itu, setiap pengguna PLTS yang mengakses dashboard hanya dapat melihat data PLTS mereka sendiri. Sistem ini memungkinkan sistem menjaga kerahasiaan data keadaan PLTS.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, pengembangan dapat dilakukan dengan mengganti atau menambah beberapa spesifikasi alat yang digunakan. yaitu

1. Untuk mempercepat pemrosesan data, kita harus mengupgrade perangkat keras pengontrol dengan prosesor yang lebih mumpuni.
2. Perlu dikembangkan dan diterapkan di masyarakat agar tidak terus-menerus bergantung pada PLN, terutama dalam penyediaan listrik rumah tangga yang sederhana.(Pratama, 2021., p. 59)

Bab 7

Maintenance dan Upkeep

7.1 Pendahuluan

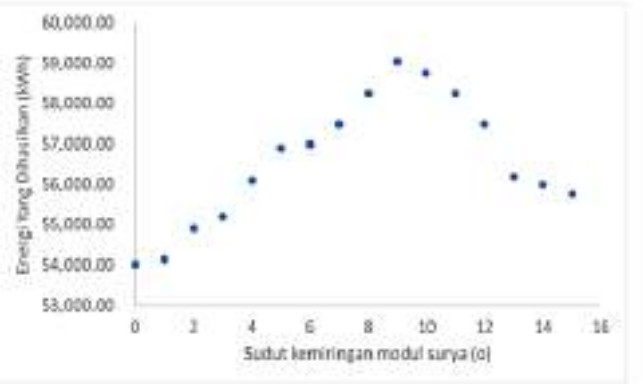
Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menggunakan fotovoltaik untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik. PLTS merupakan pembangkit listrik yang menjadi alternatif sumber energi listrik di kepulauan di Indonesia. Penggunaan dan optimalisasi PLTS di daerah kepulauan dapat meningkatkan kemandirian energi nasional.

Implementasi PLTS di daerah kepulauan diharapkan dapat berkelanjutan dan bermanfaat dalam mendukung kebutuhan rumah tangga serta usaha masyarakat kepulauan. Keterpenuhan kebutuhan listrik di kepulauan berkontribusi dalam peningkatan ekonomi dan kebutuhan dasar penduduk kepulauan. Faktor utama keberlanjutan penerapan PLTS adalah perawatan (Maintennance) dan pemeliharaan (Upkeep) PLTS. Hal ini menjadi sangat penting dalam memastikan keberlangsungan dan keberlanjutan sumber tenaga listrik PLTS.

Beberapa pulau telah menggunakan PLTS. Pulau Panjang telah dipasok oleh tenaga PLTS dengan 12 jam waktu operasi dilakukan dengan mengkombinasi penggunaan PLTS sebagai pembangkit listrik alternatif pada pembangkit listrik tenaga hybrid PLTS-PLTD. Sistem PLTS dioptimalkan dengan mengurangi durasi penggunaan diesel. kombinasi pembangkit listrik tenaga

hybrid PLTS-PLTD dicapai perbandingan penggunaan PLTS-PLTD sebesar 33% sampai 67%, dan mengurangi emisi karbon 85,93%. (Wiryadinata1, Imron, &Munarto, 2013).

PLTS terpusat di Desa Air Glubi Kepulauan Riau telah dilakukan dengan mengoptimalkan layout dan kemiringan modul surya sehingga energi listrik yang dihasilkan semakin tinggi. Pengaruh bayangan (shading) dapat meningkatkan internsitas matahari yang diubah menjadi energi listrik sepanjang hari dan sepanjang tahun. Demikian pula kemiringan 9o menjadi kemiringan optimal yang menghasilkan energi listrik tertinggi sepanjang tahun.



Gambar 7.1: Energi Optimal yang dihasilkan PLTS terhadap Kemiringan Permukaan PV. (Kristyadi, & Arfianto, 2021)

Salah satu kendala dalam keberlanjutan pemanfaatan PLTS di kepulauan adalah usia pakai PLTS yang relatif singkat. Hal ini terjadi karena tidak adanya atau minimnya pemeliharaan dan perawatan pada keseluruhan sistem PLTS yang ada. Pembangkit listrik PLTS di kepulauan diharapkan beroperasi secara berkelanjutan dengan pendekatan pemeliharaan, dan perawatan secara konsisten. (Liman, et.al., 2020)

7.2 Pemeliharaan dan Perawatan

Sistem PLTS *off-grid* banyak di terapkan di kepulauan. Pengoperasian yang yang optimal dan berkelanjutan menjadi tuntutan masyarakat pengguna. Pemeliharaan dan perawatan menjadi mutlak dibutuhkan untuk menjaga konsistensi suplai listrik. Pemeliharaan dilakukan dengan pendekatan preventif maintenance, yakni upaya meminimalkan dan mencegah terjadinya kerusakan dan penurunan kinerja sistem PLTS. *Preventif maintenance* dilakukan dengan melakukan pemeriksaan secara berkala. Tabel berikut menunjukkan contoh formulir daftar pemeriksaan komponen yang dilakukan secara berkala, baik pemeriksaan harian, mingguan, bulanan, maupun enam bulanan.

Tabel 7.1: Contoh Formulir Perawatan Harian pada sistem PLTS (Esdm, 2017)

No	**Frekuensi**	**Aktivitas**	**Lokasi**
	Harian	Durasi Pemeriksaan - Pagi (06.00-07.00)	
1		Pemeriksaan energi keluar pada panel distribusi AC [kWH] - pagi	Panel Distribusi AC
2		Menghitung energi luaran selama 24 jam [kWH] -pagi	Perhitungan
3		Pemeriksaan tegangan sistem baterai [V] - pagi	Inverter baterai
4		Pemeriksaan indikator pengisian baterai (charger) “on” – pagi	Solar charge controller/ inverter
		Durasi pemeriksaan – Malam (19.00 -20.00)	
5		Pemeriksaan energi masuk pada modul surya [kWH] - malam	Solar charge controller/ inverter
6		Pemeriksaan tegangan sistem baterai [V] -	Inverter

		malam	baterai
7		Pemeriksaan penggunaan beban menyala atau indikator discharging - malam	Inverter baterai
8		Pemeriksaan *solar charge controller*, inverter baterai, dan inverter jaringan beroperasi dengan baik (lampu oranye atau merah tidak menyala)	Solar charge controller/ inverter baterai
9		Pelaporan cuaca pada siang hari, jika cerah = "C", berawan = "B", hujan = "H"	Solar charge controller/ inverter

Tabel 7.2: Formulir Pemeriksaan Pekanan PLTS (Esdm, 2017)

No	Frekuensi	Aktivitas	Lokasi
1	**Pekanan**	Pemeriksaan kebersihan permukaan dan sekitar modul surya	Modul Surya
2		Pemeriksaan kebersihan dan memastikan tertutup rapat ventilasi rumah pembangkit	Rumah pembangkit
3		Pemeriksaan temperatur ruangan baterai	Rumah pembangkit
4		Pemeriksaan lubang kabel rumah pembangkit tertutup rapat	Rumah pembangkit
5		Pemeriksaan lubang kabel rumah pembangkit tertutup rapat	Rumah pembangkit

Tabel 7.3: Contoh Formulir Pemeriksaan berkala setiap bulan (Esdm, 2017)

No	Frekuensi	Aktivitas	Lokasi
1	**Bulanan**	Pemeriksaan bayangan (*shading*) permukaan modul surya	Modul Surya
2		Pemeriksaan fisik Modul Surya dalam kondisi normal	Modul Surya
3		Pemeriksaan kebersihan rumah pembangkit dan di bawah Modul Surya	Rumah pembangkit
4		Pemeriksaan tidak ada lubang, tidak berair, tidak ada sarang binatang atau serangga pada *combiner box*	Combiner box
5		Pemeriksaan kondisi MCB, sekring, dan proteksi tegangan surya (SPD) pada *combiner box* dalam kondisi normal	Combiner box
6		Pemeriksaan sambungan kabel dalam keadaan aman, bersih dan kering di *combiner box*	Combiner box
7		Pemeriksaan semua MCB atau sekering beroperasi normal pada panel distribusi DC	Panel Distribusi DC
8		Pemeriksaan Semua MCB, Sekring, SPD, dan energi Meter beroperasi normal pada panel Distribusi AC	Panel Distribusi DC
9		Pemeriksaan Kebocoran Elektrolit baterai	Baterai
10		Pemeriksaan Terminal Baterai kencang, dan tidak berkarat (terjadi oksidasi yang ditunjukkan dengan timbulnya kerak berwarna putih), terlindungi Bahan Isolator,	Baterai

11		Pemeriksaan semua kabel termasuk kabel jaringan distribusi dalam kondisi normal & jika terdapat goresan, insulasi yang terkelupas, atau tersentuh ranting dan tumbuhan liar	Jaringan Distribusi
12		Pemeriksaan lampu jalan beroperasi norma	Lampu Jalan
13		Pembersihan permukaan modul surya dengan air mengalir (semprotan air) dan alat pembersih yang lembur (spons), hindari penggunaan detergen	Modul Surya
14		Pemeriksaan permukaan generator (PV Modul) tekanan mekanis yang dapat menyebabkan permukaan melengkung	Modul Surya
15		Pemeriksaan pagar pembangkit dalam keadaan normal.	Rumah pembangkit
16		Pemeriksaan pagar pembangkit tidak dapat dilalui oleh hewan ternak.	Rumah pembangkit

Tabel 7.4: Contoh Formulir Pemeriksaan berkala setiap enambulanan (Esdm, 2017)

No	Frekuensi	Aktivitas	Lokasi
1	Enam Bulanan	Pemeriksaan dan pengencangan semua baut Modul Surya, ganti jika ada yang hilang	Modul Surya
2		Pemeriksaan baterai saling berdekatan satu sama lain	Baterai
3		Pemeriksaan sambungan yang tidak standar	Jaringan Distribusi

4		Pemeriksaan untuk memastikan tidak ada serangga, dan peralatan basah atau lembab	PV Combiner / Junction Box (jika ada)
5		Pemeriksaan tiang jaringan berdiri tegak lurus dan kokoh	Jaringan Distribusi
6		Pemeriksaan energi limiter, pembumian, dan instalasi kabel rumah tangga terpasang dengan normal.	Rumah Pelanggan

Pastikan penggunaan alat pelindung diri (APD) sebelum melakukan pemeriksaan. Tidak merokok di area pembangkit. Hindari penggunaan cincin/ gelang/ perhiasan dari logam.

7.3 Tindakan Pemeliharaan dan Perawatan PLTS Off-Grid

Sebelum melakukan tindakan perawatan, personil perawatan terlebih dahulu menggunakan alat pelindung diri (APD) serta mempersiapkan alat ukur sesuai dengan jenis pekerjaan yang akan dilakukan. Alat pelindung diri digunakan sesuai dengan standar K3. Bahan kerja disediakan di lokasi kerja. Memastikan power PLTS telah di-off-kan sebelum melakukan perawatan di area terindikasi terdapat tegangan listrik. (Esdm, 2006).

Keberadaan debu, ranting, daun, sampah atau kotoran yang menutupi permukaan modul surya berpengaruh terhadap intensitas cahaya matahari yang mengarah ke permukaan modul surya. Semakin rendah penetrasi intensitas cahaya matahari ke permukaan modul surya, semakin rendah pula kinerja modul surya. Pembersihan modul surya bermanfaat menjaga keberlangsungan keluaran energi dari modul surya tetap optimal (GIZ, 2018). Langkah-langkah Pemeliharaan diantaranya; (1) Pembersihan permukaan modul surya dari debu menggunakan kain berpermukaan halus, (2) Bila kotoran sulit dibersihkan, pakai air bersih dan sikat. (3) Hindari penggunaan air pada siang hari, terutama

ketika intensitas cahaya matahari cukup tinggi, karena dapat menyebabkan permukaan modul surya menjadi retak (crack).

Gambar 7.2: Cara Pembersihan Modul Surya dengan Kombinasi Air Mengalir dan Penyikatan (Esdm, 2017)

Pemeriksaan bayangan modul surya untuk menghindari adanya bayangan yang memungkinkan berkurangnya intensitas cahaya matahari ke permukaan modul surya. Bayangan ditimbulkan dari bangunan atau ranting pepohonan disekitar modul surya. Pastikan dilakukan pemangkasan atau penebangan pohon hingga tidak ada bayangan yang menghalangi permukaan modul surya. Hindari ranting atau batang pohon yang ditebang tidak menerpah pekerja atau modul surya. (GIZ, 2018)

Gambar 7.3: Bayangan ranting Pohon yang Mengurangi Intensitas Cahaya Matahari ke Permukaan Modul Surya (Esdm, 2017)

Pemeriksaan kebersihan wilayah di sekitar modul surya. Rumput dan tanaman perdu di sekitar modul surya yang semakin tinggi dapat menghalangi dan menutupi permukaan modul surya. Lakukan pemotongan rumput dan tanaman perdu yang tumbuh di bawah dan sekitar modul surya. Bersihkan sampah yang ada di wilayah modul surya. Pada saat proses pembersihan, waspadalah terhadap serangga dan reptil berbisa. Pembersihan ini berguna untuk menghindari bersarangnya binatang yang dapat merusak sistem kabel PLTS. Menghindari akar tanaman liar yang tumbuh dapat merusak pondasi dan sistem kabel PLTS. Menghindari hewan pemakan rumput tertarik untuk masuk ke dalam area PLTS yang memungkinkan merusak konstruksi PLTS. Pastikan jalur kabel power dan kabel data tidak terdapat celah yang memungkinkan hewan penggerak masuk ke dalam kontainer. Jika terdapat celah, segera tutup dengan sealant.

Gambar 7.4: Modul Surya dan sekitarnya dipastikan Bersih dari Rumput Tinggi dan Tanaman Perdu serta Sampah (Esdm, 2017)

Pemeriksaan kondisi modul surya akan memastikan energi listrik yang dihasilkan modul surya tetap optimal. Teliti secara seksama permukaan modul surya yang pecah, laminasi rusak atau terdapat gelembung udara, terjadi perubahan warna sel. Cermati *hotspot* pada permukaan modul surya. Pastikan kabel – kabel di konstruksi modul surya tidak terkelupas, terputus dan longgar. Pastikan semua baut pada modul surya tidak hilang dan tetap kencang. Langkah-langkah perbaikan yang direkomendasikan yakni; (1) Bila terjadi gangguan saat ada cahaya matahari, pastikan mematikan titik pengaman

jaringan terdekat yang ada di panel combinier, seperti MCB individual incoming dan/atau outgoing (2) Matikan sistem PLTS sesuai prosedur (3) Ganti modul surya yang rusak. Bila belum siap diganti, biarkan dan tetap terpasang di array, karena berfungsi menjaga stabilitas tegangan di array (4) Pastikan kabel – kabel yang longgar segera dikencangkan, yang terkelupas segera diisolasi listrik. (5) Pastikan baut tetap kencang dan ganti baut yang hilang. (GIZ, 2018). Hati-hati terhadap tegangan-tinggi, pastikan menggunakan peralatan keselamatan.

Pemeriksaan kebersihan ventilasi inverter dan solar charge controller bermanfaat agar temperatur perangkat inverter dan solar charge controller tetap terjaga. Pastikan ventilasi inverter dan solar charge controller tidak tersumbat.

Gambar 7.5: Ventilasi Inverter / Solar Charge Controller dipastikan Bersih Tanaman Perdu serta Sampah (Esdm, 2017)

Lakukan pemeriksaan tegangan (V) *Solar Charge Controller* /Inverter Baterai pada pukul 7-8 pagi dan pukul 18.30-20.00 malam. Langkah pencatatan yang dilakukan setiap hari yakni: (1) Cermati cuaca sekitar catat "C" jika cuaca cerah, "B" bila berawan dan "H" pada saat cuaca hujan. (2) Periksa dan catat tegangan keluar pada masing-masing Solar Charge Controller / Inverter baterai. Bila layar tampilan tidak terbaca atau sementara terganggu, lakukan pengukuran tegangan (V) langsung dengan memakai *clamp meter*. Periksalah kabel yang terhubung dengan *Solar charge controller*/Inverter baterai tidak terkelupas sehingga mencegah kehilangan tegangan yang dihasilkan.

Pemeriksaan indikator discharging atau penggunaan beban menyala pada malam hari. Periksa indikator masing-masing inverter baterai/ *Solar Charge Controller*. Pastikan *Solar Charge Controller*/ Inverter baterai, beroperasi dengan baik yang diindikasikan dengan lampu orange menyala dan lampu merah padam.

Gambar 7.6: Indikator Discharging (Esdm, 2017)

Pemeriksaan kebersihan baterai dilakukan dengan memastikan ruang baterai dalam keadaan bersih. Pembersihan debu direkomendasikan memakai kuas kering. Pastikan tidak terdapat kebocoran cairan pada koneksi terminal dan baterai. Periksa terminal baterai terproteksi dari bahan isolator, tidak korosi, baut tetap kencang dan tidak terjadi oksidasi berupa kerak putih. (GIZ, 2018). Bila ditemukan kebocoran dan oksidasi, segera dilaporkan ke pihak teknisi. Waspada terhadap bahaya cairan kimia dan udara beracun akibat kebocoran pada baterai. Lengkapi diri dengan alat pelindung diri seperti masker dan sepatu safety.

Gambar 7.7: Baterai Penyimpanan Daya Listrik (Esdm, 2017)

Pemeriksaan suhu baterai dengan alat ukur temperatur pada masing-masing baterai. Direkomendasikan temperatur baterai tidak menyimpang jauh satu sama yang lain, sekitar 30oC. Lakukan pengukuran kelembaban di ruangan baterai yang tidak jauh berbeda dengan kelembaban di luar ruangan. Bila terjadi perbedaan temperatur yang menyimpang cukup jauh antar baterai, segera periksa masing-masing baterai dan pastikan tidak ada kebocoran. Bila terjadi kebocoran, segera lapor ke teknisi. Pastikan tampilan fisik baterai tidak gembung atau retak. Bila terjadi perubahan fisik, segera laporkan ke teknisi.

Pemeriksaan kondisi combiner box dilakukan untuk mencari lubang, air, atau sarang binatang pada combiner box. Pastikan kondisi MCB, sekering, dan proteksi tegangan listrik pada combiner box dalam kondisi normal (GIZ, 2018). Pastikan sambungan kabel di combiner box kencang, kering dan bersih. Bila ditemukan lubang pada *combiner box*, segera tutup dengan sealent panel. Jika MCB atau sekering rusak, segera ganti sesuai spesifikasinya. Pastikan kondisi PLTS off sebelum melakukan penggantian MCB atau sekering.

Gambar 7.8: Combiner Box (Esdm, 2017)

Pemeliharaan panel distribusi AC dan DC bermanfaat dalam memonitor kinerja PLTS setiap hari. Pemeriksaan dan pembersihan panel distribusi AC dan DC dari kotoran dan serangga. Bersihkan menggunakan kuas kering. Periksa dan catat energi keluaran pada panel distribusi AC (kWh) pada pukul 06.00 -07.00 pagi. Hitunglah selisih energi keluaran hari ini dengan membandingkan energi keluaran sehari sebelumnya (kWh). Lakukan

pemeriksaan MCB, sekering, tegangan proteksi surya, dan energi meter pada panel distribusi AC dalam kondisi normal. Periksa dan pastikan komponen-komponen tidak terkupas atau terbakar. Bila ditemukan komponen terbakar atau terkupas, segera isolasi listrik dan lakukan penggantian komponen sesuai spesifikasinya.

Pemeliharaan panel distribusi DC dengan memastikan semua MCB, sekering pada panel distribusi DC beroperasi secara normal. Periksa dan pastikan komponen-komponen tidak terbakar atau terkupas. Bila terdapat kabel yang terbakar atau terkupas, segera diisolasi listrik dan melakukan penggantian komponen sesuai spesifikasinya.

Gambar 7.9: Panel Distribusi DC (Esdm, 2017)

Pemeliharaan sambungan jaringan distribusi dilakukan dengan memeriksa semua kabel jaringan distribusi dalam keadaan baik dan tidak terdapat bekas goresan pada insulasi. Pastikan tidak ada ranting pohon yang mengganggu kabel jaringan distribusi. Hindari adanya sambungan-sambungan liar. Pastikan tiang berdiri tegak lurus. Segera perbaiki jika terdapat kabel yang tergores. Pangkas dan bersihkan ranting dan pohon yang melintang sepanjang jaringan distribusi. Jika ditemukan sambungan liar, segera putus dan dilaporkan ke pihak pengelola setempat untuk mendapatkan sanksi sesuai aturan yang berlaku. Bila terdapat tiang jaringan distribusi yang miring, segera lakukan perbaikan.

Pemeriksaan kebersihan ventilasi rumah pembangkit dilakukan secara periodik. Pastikan kasa ventilasi rumah pembangkit tertutup rapat dan bersih. Periksa kebersihan semua ventilasi rumah pembangkit termasuk, dan exhaust fan berfungsi dengan normal. Hindari pembersihan dengan menyemprot/siram dengan air. Sebaiknya menggunakan kuas kering, kain lab kering. Hindari kemungkinan bersentuhan dengan kabel bertegangan. Pastikan menggunakan alat pelindung diri (APD)(Esdm, 2006). Pastikan tidak terdapat lubang pada rumah pembangkit yang memungkinkan masuknya hewan pengerat yang dapat merusak kabel atau perangkat elektrikal lainnya di dalam rumah pembangkit. Pemeriksaan atap rumah pembangkit saat hujan dapat terlihat dari rembesan air pada plafon rumah pembangkit.

Pemeriksaan rumah konsumen dengan cara memastikan energi limiter, grounding, dan instalasi kabel rumah tangga terpasang dengan normal dan aman. Pastikan kemungkinan pencurian listrik dengan pemasangan jumper, pengrusakan segel, penggantian MCB. Jika sambungan grounding putus atau lepas, segera lakukan perbaikan. Jika terjadi pencurian listrik, koordinasi dengan pengelola untuk tindakan selanjutnya.

Pemasangan penangkal petir dengan sistem grounding berguna untuk melindungi sistem panel surya dari sambaran petir. (Liman, et al. , 2020). Pemeriksaan sistem grounding. Periksa apakah semua sistem pembumian terpasang dengan baik. Periksa apakah setiap kabel pembumian berwarna kuning pada setiap peralatan elektrikal yang ada di area rumah pembangkit seperti inverter, solar charge controller, panel distribusi, combiner box dan lainnya tidak ada terkupas dan masih tersambung dengan baik dan terpusat ke box kontrol(GIZ, 2018). Sambungkan kabel pembumian yang tidak terpasang, kabel yang terkelupas segera diisolasi listrik.

Bab 8

Analisis Keuntungan dan Dampak Ekonomi

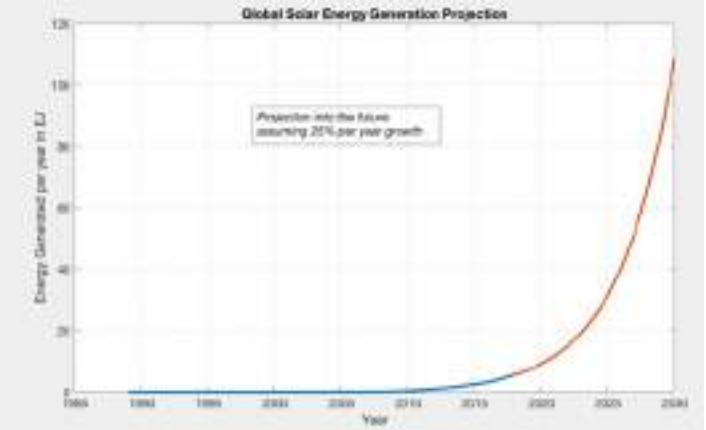
8.1 Keekonomian Listrik Tenaga Surya

Semua kegiatan pembangunan sarana atau prasarana tidak bisa dilepaskan dari keharusan adanya pertimbangan ekonomi. Ini menjadi dasar bagi layak tidaknya kegiatan tersebut untuk dilakukan, dan pembangunan atau penyediaan pembangkit listrik termasuk yang menggunakan tenaga surya bukan pengecualian (Siagian et al., 2023). Seluruh biaya dan manfaat penyediaan pembangkit tenaga, akan dikuantifikasi sebagai nilai mata uang dan dianalisis untuk mencari nilai optimal manfaat dan biaya (Purba et al., 2023).

Dengan potensi yang cukup besar di Indonesia yakni lebih dari 3.200 Giga Watt (GW) dengan penyerapan yang masih sekitar 200 MWp, PLTS merupakan peluang bisnis yang cukup menarik bagi pelaku bisnis energi maupun bagi masyarakat untuk memenuhi kebutuhan energi listrik secara mandiri terutama di wilayah yang tidak dilayani oleh jaringan kelistrikan utama, seperti di pulau-pulau kecil atau wilayah terpencil. Gambar 8.1 berikut memberi gambaran pemanfaatan energi surya di Indonesia dari tahun 2018-2022 (Corio et al., 2023).

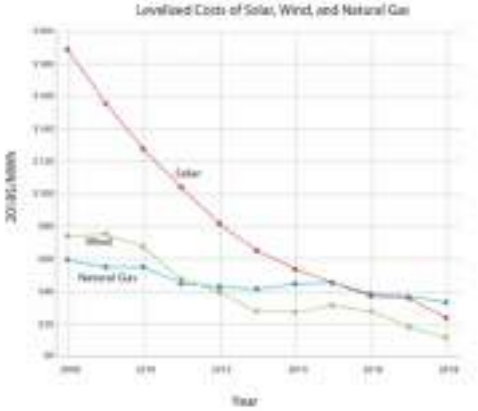
Gambar 8.1: Pemanfaatan Energi Surya di 2018-2022 (Corio et al., 2023)

Penyediaan PLTS memang tergolong baru jika dibandingkan dengan jenis pembangkit energi lain. Ini tidak lain akibat teknologi panel surya dan baterai yang cenderung lebih belakangan hadir dibandingkan pembangkitan lain. Jika ditinjau dari sisi ekonomi, maka yang paling sederhana untuk dikaji adalah biaya penyediaan teknologi PLTS. Secara umum harga listrik yang diproduksi memang semakin kecil dari tahun ke tahun, dan karena itu pemanfaatan teknologi surya sebagai penghasil listrik meningkat secara eksponensial sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 8.2 (Alley, 2018)



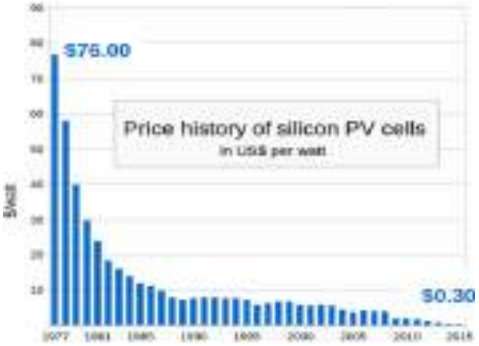
Gambar 8.2: Produksi Listrik Tenaga Surya 1988-2018 dan Produksi hingga 2030 dalam Exajoule (EJ) (Alley, 2018)

Dalam empat dekade belakangan harga energi surya per kWh memang menurun drastis. Gambar 8.3 memperlihatkan grafik harga energi surya per MWh jika dibandingkan dengan listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga angin dan dari pembangkit listrik tenaga gas alam, yang jika setarakan ke harga tahun 2018 atau ditinjau dari net present valuenya di tahun 2018(Alley, 2018).



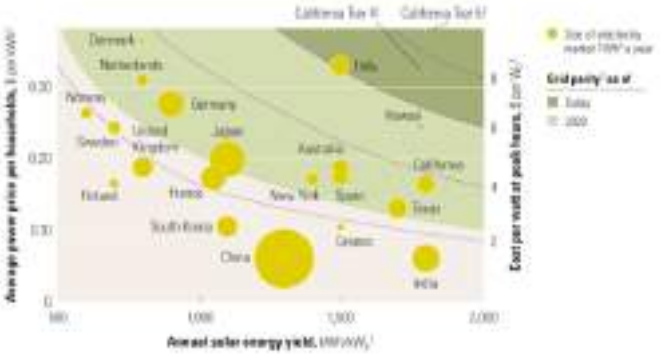
Gambar 8.3: Perbandingan Fluktuasi Harga Energi Surya per MWh dibandingkan Energi Angin dan Gas Alam yang Setarakan ke harga tahun 2018 (Alley, 2018)

Sebagai ilustrasi, harga dari salah satu komponen utama PLTS yakni sel fotovoltaik, terus menurun dari tahun ke tahun seperti yang ditunjukkan dalam gambar 8.4.



Gambar 8.4: Harga Sel Fotovoltaik Silikon tahun 1977- 2015 (Alley, 2018)

Studi lain memaparkan disparitas harga energi surya di beberapa negara. Gambar 8.5 memperlihatkan perbandingan harga energi listrik di beberapa negara yang digabungkan dengan besaran pasar listrik dalam setahun (Lorenz et al., 2008).



Gambar 8.5:. Harga Energi Surya per kWh di beberapa Negara (Lorenz et al., 2008)

8.2 Dasar Analisis Ekonomi Listrik Tenaga Surya

Analisis ekonomi listrik tenaga surya mempertimbangkan beberapa faktor yang membedakan antara listrik tenaga surya dari pembangkit listrik tenaga panas konvensional.

Hal-hal tersebut adalah (Baker et al., 2013)

1. Bahwa bahan bakar yang berupa sinar matahari bersifat gratis. Sebagai konsekuensi, biaya variabel yang terkait dengan pembangkit listrik tenaga surya mendekati nol.
2. Kedua, meningkatkan tingkat kapasitas tenaga surya yang terhubung ke jaringan listrik biasanya menggantikan pembangkitan bahan bakar fosil dan dengan demikian mengurangi biaya operasional, emisi gas rumah kaca, dan juga polusi lain. Oleh karena itu, manfaat ekonomi

dan lingkungan yang terkait dengan penyediaan listrik tenaga surya bergantung pada karakteristik operasi dan intensitas emisi dari unit-unit yang disediakan baik dalam tahap operasi maupun pembangunan.

3. Ketiga, pembangkit listrik tenaga surya bersifat non-dispatchable: tidak dapat dinyalakan dan dimatikan saat diperlukan namun bekerja ketika matahari bersinar. Sifat *non-dispatchability* menimbulkan dua masalah: Pembangkitan tenaga surya bersifat variabel, dengan perubahan yang dapat diprediksi selama siklus harian dan musiman, dan intermiten, dengan perubahan yang tidak dapat diprediksi akibat tutupan awan. Mengingat karakter *non dispatch ability* ini, variabilitas ini dapat bermanfaat karena sumber daya tenaga surya paling produktif pada jam-jam dengan permintaan tinggi ketika nilai energi paling besar. Namun, sumber daya surya yang terputus-putus dapat menambah biaya sistem, karena cadangan sistem tambahan dan pembangkitan cadangan mungkin diperlukan untuk menjaga keandalan sistem.

8.2.1 Penentuan biaya dan Manfaat PLTS

Manfaat dan biaya dari PLTS sangat bergantung kepada jenis PLTS dan hubungannya dengan jaringan kelistrikan utama, apakah on-grid atau off-grid. Manfaat dan biaya tersebut akan dimasukkan ke dalam arus berdasarkan waktu mutasi yang biasanya disederhanakan dalam tahun. Perbedaan antara analisis keuangan dan ekonomi terletak pada dihitung atau tidaknya biaya dan manfaat yang secara langsung atau tidak akan diterima oleh investor atau pihak yang melakukan pembangunan PLTS.

Dalam analisis ekonomi teknik, biaya dari suatu pembangunan proyek atau proses produksi dapat digolongkan ke dalam tiga jenis biaya, yaitu:.

1. Biaya investasi
2. Biaya operational
3. Biaya penggantian alat dan biaya perawatan.

Sebagai tambahan, untuk analisis ekonomi, akan dimasukkan biaya-biaya yang tidak dibebankan secara langsung kepada pemilik proyek atau investor.

Biaya-biaya tersebut biasanya berupa biaya yang akan dipikul oleh pihak lain, bisa dianggap akan dipikul oleh masyarakat umum. Biaya seperti biaya polusi akibat pembuangan limbah baterai atau panel surya yang rusak bisa dimasukkan dalam jenis biaya ini. Biaya semacam ini dikenal sebagai externalitas.

Demikian pula dalam penentuan manfaat. Manfaat dalam analisis ekonomi akan lebih besar dibanding manfaat finansial. Banyak hal ikutan yang bisa terwujud (tangible) dalam manfaat ekonomi ataupun tidak secara nyata (intangible), seringkali manfaat ini sangat sulit bahkan hampir tidak mungkin untuk disetarakan dalam nilai uang.

8.2.2 Tahapan Analisis Ekonomi

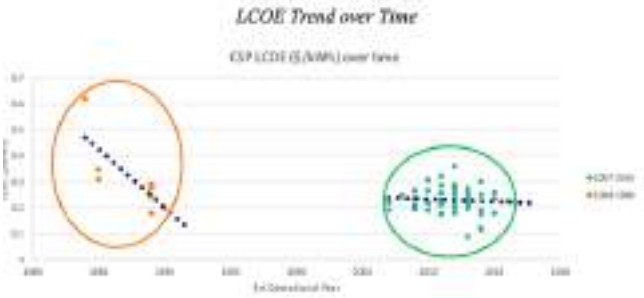
Analisis data yang dilakukan dengan mengolah data berdasarkan aspek teknis dan aspek biaya sebagai berikut:

1. Perhitungan energi listrik yang akan disuplai dari PLTS, perhitungan ini dapat mempertimbangkan rasio energi PLTS yang direncanakan terhadap pemakaian beban listrik dari grid atau PLN. Dalam kasus penyediaan di kepulauan di mana grid belum tersedia, maka asumsi kebutuhan dianggap 100%.
2. Perhitungan daya yang dapat dibangkitkan oleh PLTS, yang meliputi:
   a. Perhitungan Area Array Panel Surya
   b. Perhitungan daya yang dibangkitkan
3. Perhitungan kapasitas komponen meliputi:
   a. Perhitungan jumlah panel surya
   b. Perhitungan kapasitas inverter
4. Perhitungan energi yang dihasilkan PLTS
5. Perhitungan performace ratio
6. Perhitungan biaya energi PLTS meliputi:
   a. Perhitungan biaya investasi awal
   b. Perhitungan biaya pemeliharaan dan operasional
   c. Perhitungan biaya siklus hidup
   d. Faktor pemulihan modal
   e. Biaya energi PLTS

7. Analisa kelayakan investasi PLTS dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain:
   a. Net Present Value (NPV) / Net Present Worth (NPW)
      Dengan metode ini kelayakan suatu investasi awal atau pemilihan berbagai alternatif, semua proyeksi cashflow pada masa depan diharuskan dinyatakan pada nilai sekarang yang disetarakan, dengan besar tingkat suku bunga untuk dijadikan perbandingan. Analisis ini paling sering digunakan untuk menentukan nilai tunai pemasukan dan pengeluaran uang di masa depan. Jika pendapatan masa depan dan biaya diketahui, menggunakan tingkat bunga yang sesuai, nilai sekarang dapat dihitung. Kriteria penerimaan atau penolakan proposal investasi dapat dilakukan antara lain dengan kriteria net present value (NPV), dengan membandingkan IRR dengan tingkat bunga yang disyaratkan (*required rate of return*). Jika didapatkan IRR yang lebih besar dari tingkat bunga yang disyaratkan maka proyek dapat diterima.
   b. Discounted Payback Period (DPP)
      Payback period adalah periode yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui pemasukan yang dihasilkan oleh investasi proyek atau pengadaan. Discounted payback period (DPP) adalah periode pengembalian uang yang dihitung dengan menggunakan faktor diskonto (discount factor). DPP dapat dicari dengan menghitung dalam berapa tahunkah alur kas bersih nilai sekarang kumulatif yang ditaksir akan sama dengan nilai investasi awal. Kriteria pengambilan keputusan apakah proyek yang ingin dijalankan layak atau tidak layak untuk metode ini adalah investasi proyek dianggap layak apabila DPP memiliki periode waktu lebih pendek dari umur proyek, dan sebaliknya investasi proyek dianggap belum layak jika DPP memiliki periode waktu lebih panjang dari umur rencana proyek.

Dalam kajian ekonomi untuk investasi pembangkit listrik, lazim disandingkan antara biaya energi yang diratakan (Levelized Cost of Energy-LCOE) versus Output Daya. Levelized Cost of Energy (LCOE) cenderung menurun dengan

bertambahnya ukuran, meski tidak selalu demikian. Pengembang dapat dibatasi pada keluaran daya tertentu berdasarkan persyaratan tender atau pembiayaan dalam kasus tertentu, output daya yang berbeda dapat menyebabkan LCOE proyek yang lebih rendah. Terdapat kecenderungan bahwa nilai LCOE ini memiliki tren yang berubah sepanjang waktu sebagaimana diperlihatkan dalam gambar 8.6 (Musi et al., 2017).



Gambar 8.6: CSP. LCOE versus Power Output (Musi et al., 2017)

8.3 Keekonomian Beberapa Proyek PLTS di Indonesia

Beberapa penelitian terkait pemanfaatan energi surya telah cukup banyak dilakukan baik di Indonesia, terlebih lagi di negara-negara maju yang lebih dulu mengembangkan teknologi pembangkitan listrik tenaga surya. Sebuah penelitian mengenai keekonomian untuk penerapan pembangkit listrik tenaga surya pada sistem kelistrikan di Pulau Nias mendapatkan hasil bahwa biaya untuk menghasilkan listrik dengan tenaga surya yang direncanakan di pulau tersebut adalah lebih murah Rp. 307,02/kWh dari biaya bahan bakar dari PLTD yang beroperasi di lokasi. Dengan memperkirakan bahwa energi dapat diperoleh 20% dari PLTS, maka akan diperoleh penghematan sebesar Rp. 2,16 miliar per tahun dengan asumsi terjadi penghematan bahan bakar sebesar 1,95 juta liter per tahun (Fama and Setiabudy, 2018)

Sebuah kajian ekonomi untuk penerapan PLTS secara on-grid pada sistem kelistrikan di Pulau Biak, Papua Barat, menyatakan kelayakan penerapan PLTS secara on-grid yang dapat menghasilkan daya sebesar 2370 kWp

seharga Rp 1.496/kWh (setara dengan US$ 11 sen per kWh), yang harganya di bawah harga tarif listrik yang ditetapkan dalam Permen ESDM No. 17 Tahun 2013 yaitu di bawah US$ 25 – 30 sen per kWh dengan nilai NPV positif sebesar Rp. 45.035.236.938. Dengan masa pengembalian modal selama selama 16 tahun, dengan arus kas kumulatif yang lebih cepat dari asumsi awal investasi PLTS yakni 25 tahun (Nafis et al., 2015).

Salah satu kampus di Lampung, yakni Institut Teknologi Sumatera (ITERA) dalam suatu penelitian tentang desain dan analisis kelayakan PV-Diesel-Grid sistem hibrid mengungkapkan kesimpulan bahwa penerapan sistem PV-Grid tanpa generator mampu menyumbang penetrasi energi terbarukan sebesar 18.5% dan dianggap sangat layak secara ekonomi (Asri and Kananda, 2018). Penelitian lain di Kota Sabang, memaparkan hasil di mana diperoleh pendapatan produksi per tahun mencapai rata-rata per tahun Rp 103.744.632.042, dengan total penghematan sebesar Rp. 307.328.175 yang digunakan untuk memasok listrik pada *integrated cold storage* dengan penerapan PLTS sistem hibrid PLTS (Kurniawan et al., 2018). Analisis kelayakan rekondisi PLTS 400 kW di Pulau Kodingareng menyimpulkan analisis kelayakan finansial untuk penyediaan PLTS rekondisi berdasarkan analisis *Net Present Value* (NPV) dan Internal Rate of Return (IRR) di mana keuntungan yang diperoleh dapat menutupi biaya investasi yang dikeluarkan pada dua jenis skema dua skema, di man skema 1 dilakukan penggantian komponen yang mengalami kerusakan sesuai dengan spesifikasi yang ada pada saat studi, sedang skema 2 adalah dengan mengganti komponen yang mengalami kerusakan berdasarkan perhitungan ulang dari kebutuhan pembangkit yang tersedia (Shemina et al., 2020).

Sebuah penelitian tentang perencanaan dan analisis ekonomi PLTS terpusat Desa Mandiri menunjukkan bahwa potensi energi yang dihasilkan oleh PLTS dengan kapasitas 2,85kWp adalah sebesar 4987,13 kWh per tahun. Dengan biaya total investasi yang dikeluarkan untuk investasi peralatan sistem fotovoltaik sebesar Rp 433.125.000 di mana biaya investasi modal peralatan sebesar Rp 412.500.000 dan biaya operasional dan pemeliharaan sebesar Rp 20.625.000 dan pendapatan sebesar Rp 14.961.400,- tiap tahun, didapatkan nilai net present value sebesar Rp -266.351.000 dan benefit-cost ratio sebesar 0,3850, dengan waktu pengembalian investasi selama 29 tahun, dan dengan asumsi akan terjadi kenaikan tarif listrik sebesar 5%/tahun, maka waktu pengembalian modal akan terjadi tahun ke 20 (Winardi et al., 2019) .

Bab 9

Masa Depan PLTS di Daerah Kepulauan

9.1 PLTS di Daerah Kepulauan

Pemanasan global dan krisis energi menjadi dua tantangan utama yang dihadapi manusia pada abad ke-21 ini. Salah satu solusi yang telah muncul untuk mengatasi tantangan ini adalah penggunaan energi terbarukan, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS adalah salah satu bentuk energi terbarukan yang telah menunjukkan potensi besar untuk memberikan energi bersih dan berkesinambungan di berbagai daerah, termasuk daerah kepulauan.

Di Indonesia yang merupakan negara kepulauan, pemerintah sudah mulai menerapkan program penggunaan energi terbarukan dengan target sebesar 23% pada tahun 2025, di mana 35.000 MW dari 23% tersebut adalah PLTS (A. F. Gusnanda,2019)

Daerah kepulauan memiliki karakteristik geografis yang unik. Mereka seringkali terisolasi dari jaringan energi nasional, sulit dijangkau, dan memiliki keterbatasan dalam pasokan bahan bakar fosil. Sebagai hasilnya, mereka rentan terhadap fluktuasi harga energi dan pasokan yang tidak stabil. Selain itu,

ekosistem alam yang rapuh di daerah kepulauan juga harus dijaga. Inilah mengapa pengembangan PLTS di daerah kepulauan menjadi semakin penting.

Seiring dengan perkembangan teknologi dan penurunan biaya panel surya,dan komitmen dari pemerintah PLTS telah menjadi solusi yang lebih terjangkau dan efisien untuk memenuhi kebutuhan energi di daerah kepulauan.

9.1.1 Kebutuhan Energi Di Daerah Kepulauan

Kebutuhan energi di daerah kepulauan sangat bervariasi tergantung pada sejumlah faktor, termasuk jumlah penduduk, tingkat perkembangan ekonomi, dan struktur industri. Dalam beberapa kasus, daerah kepulauan menghadapi tantangan tersendiri terkait dengan aksesibilitas dan ketergantungan pada sumber daya energi konvensional. Kebutuhan energi ini mencakup penerangan, transportasi, industri, dan pelayanan publik.

Untuk memenuhi kebutuhan dasar masyarakat, seperti penyediaan listrik rumah tangga, sekolah, dan fasilitas kesehatan sangatlah penting. Selain itu transportasi juga menjadi sektor kunci yang membutuhkan energi, terutama di daerah kepulauan yang mungkin mengandalkan transportasi laut atau udara yang terhubung ke suatu tempat. Pengembangan sektor industri di daerah kepulauan juga memerlukan pasokan energi yang stabil dan berkelanjutan.

Dalam beberapa situasi, daerah kepulauan mungkin membutuhkan lebih banyak energi daripada daerah daratan karena tantangan logistik yang meningkat dan keterbatasan sumber daya lokal. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan energi daerah kepulauan secara berkelanjutan, diperlukan peningkatan efisiensi energi dan pemanfaatan sumber daya terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Dengan memahami dan memenuhi kebutuhan energi ini, daerah kepulauan harus belajar menggunakan sumber daya terbarukan seperti PLTS untuk memastikan kesejahteraan masyarakatnya.

9.1.2 Pentingnya PLTS di Daerah Kepulauan

Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di daerah kepulauan memiliki banyak keunggulan yang sangat penting. Pertama-tama, PLTS adalah sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Untuk daerah kepulauan di mana akses ke sumber daya energi konvensional seperti listrik dari pembangkit listrik tenaga fosil atau pembangkit listrik tenaga air sering kali sulit, sehingga PLTS menjadi solusi yang sangat relevan.

Dengan mengandalkan energi matahari yang melimpah di daerah tropis, keberlanjutan dan ketersediaan energi dapat ditingkatkan tanpa merusak ekosistem lokal.

PLTS juga dapat memainkan peranan penting dalam meningkatkan akses listrik di daerah kepulauan yang terisolasi. Pasokan listrik yang stabil dan terjangkau dapat mendukung kehidupan sehari-hari masyarakat, termasuk pendidikan, kesehatan, dan pertumbuhan ekonomi. PLTS memungkinkan pemerintah lokal untuk menyediakan layanan dasar seperti pencahayaan jalan, penerangan umum, dan dukungan listrik untuk infrastruktur penting.

Pentingnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di daerah kepulauan juga terkait dengan ketahanan energi. Dengan mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi yang tidak dapat diperbaharui, daerah kepulauan dapat mencapai kemandirian energi yang lebih besar. Hal ini dapat mengurangi risiko gangguan pasokan energi yang terjadi akibat faktor eksternal seperti keterbatasan pasokan bahan bakar atau cuaca yang buruk. Sebagai tambahan, PLTS dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, mendukung tujuan mitigasi perubahan iklim, dan menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan bersih.

Dengan demikian, PLTS di daerah kepulauan bukan hanya merupakan solusi energi yang efektif, tetapi juga berperan penting dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat, membangun ketahanan energi, dan menjaga lingkungan alam. Keberlanjutan ini sangat penting untuk memastikan bahwa daerah kepulauan dapat berkembang secara berkesinambungan dan tetap terhubung dengan dunia modern.

9.2 Potensi Energi Matahari di Daerah Kepulauan

Potensi energi matahari di daerah-daerah kepulauan merupakan sumber daya alam yang sangat melimpah dan berharga. Daerah kepulauan cenderung menerima sinar matahari dengan intensitas tinggi sepanjang tahun, terutama jika mereka terletak di dekat garis khatulistiwa atau di wilayah subtropis. Ini berarti bahwa daerah kepulauan memiliki potensi yang besar untuk memproduksi listrik dari energi matahari secara efisien. Selain itu, daerah

kepulauan sering menghadapi tantangan dalam menyediakan akses listrik yang stabil, terutama di pulau-pulau terpencil. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) bisa menjadi solusi ideal untuk memenuhi kebutuhan energi di daerah ini, dan memberikan akses listrik yang andal bagi komunitas yang tersebar di pulau-pulau terpencil.

Potensi matahari di daerah kepulauan Indonesia sangat bervariasi tergantung pada lokasi, iklim, dan kondisi lahan. Secara umum, potensi matahari di daerah kepulauan lebih tinggi daripada di daerah daratan karena ada lebih banyak permukaan air yang dapat memantulkan sinar matahari. Namun, ada juga faktor-faktor lain yang dapat memengaruhi potensi matahari, seperti awan, kabut, polusi, dan vegetasi.

Menurut laporan IESR, potensi teknis energi surya fotovoltaik (PV) di Indonesia berkisar antara 3.396 GWp hingga 19.835 GWp. Potensi ini dihitung dengan menggunakan alat analisis GIS yang mempertimbangkan faktor-faktor seperti radiasi matahari, kemiringan atap, orientasi atap, dan ketersediaan lahan.(IESR, 2023)

Dengan tingginya tingkat sinar matahari, potensi energi matahari yang dihasilkan di daerah kepulauan tidak hanya mampu memberikan penyediaan listrik untuk rumah tangga, sekolah, pusat kesehatan, dan bisnis kecil, akan tetapi juga mendukung pertumbuhan ekonomi lokal. PLTS dapat mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil yang mahal dan meningkatkan otonomi energi daerah kepulauan. Bahkan, penggunaan energi matahari sebagai sumber energi bersih yang berkesinambungan membantu melindungi lingkungan alam yang rentan terhadap perubahan iklim dan kenaikan permukaan laut, ini menjadikannya pilihan yang tepat untuk mencapai keberlanjutan di kepulauan dan di seluruh dunia.

9.2.1 Keunggulan Potensi Sinar Matahari

Salah satu keunggulan utama potensi sinar matahari sebagai sumber energi terbarukan adalah sifatnya yang tak terbatas dan berkelanjutan. Sinar matahari tersedia secara luas di seluruh dunia, menjadikannya sumber energi yang dapat diakses hampir di mana saja. Tidak seperti bahan bakar fosil yang memiliki keterbatasan dan dapat habis, energi matahari tidak akan habis selama jangka waktu yang sangat panjang. Hal ini menjadikan energi matahari sebagai pilihan yang berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi global, membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang terbatas.

Selain keberlanjutannya, potensi sinar matahari juga menonjol dalam hal ramah lingkungan. Energi matahari tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polusi udara, sehingga berkontribusi pada upaya global dalam mengurangi dampak perubahan iklim dan menjaga lingkungan. Pada instalasi PLTS, tidak menghasilkan emisi karbon dioksida karena tidak adanya pembakaran bahan bakar. Ini tidak hanya mengurangi efek lingkungan yang berbahaya, tetapi juga membantu meningkatkan kualitas udara dan kesehatan masyarakat secara keseluruhan.

Keunggulan lain dari potensi sinar matahari adalah sifatnya yang dapat diandalkan. Meskipun ada variasi sepanjang hari atau musim, berkembangnya teknologi panel surya memungkinkan pengumpulan dan penyimpanan energi matahari agar bisa digunakan saat diperlukan, termasuk di malam hari atau saat cuaca buruk. Ini memungkinkan penyediaan listrik yang andal, terutama di daerah yang tidak memiliki akses yang stabil ke jaringan listrik konvensional. Berkat kemajuan dalam bidang penyimpanan energi, maka energi matahari menjadi pilihan yang lebih mudah dan handal untuk memenuhi kebutuhan energi di tingkat rumah tangga, bisnis, dan komunitas.

9.2.2 Manfaat Cuaca Tropis dan Durasi Sinar Matahari Yang Tinggi

Cuaca tropis dan durasi sinar matahari yang tinggi memiliki manfaat signifikan dalam pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di daerah kepulauan. Pertama-tama, cuaca tropis yang umumnya ditemukan di kepulauan cenderung memiliki sedikit gangguan cuaca ekstrem seperti musim dingin yang panjang atau badai salju. Ini berarti bahwa panel surya yang dipasang di daerah ini dapat beroperasi secara konsisten sepanjang tahun dan memaksimalkan potensi energi matahari yang dihasilkan.

Durasi sinar matahari yang tinggi di daerah kepulauan menjadi aset berharga untuk PLTS. Kepulauan biasanya terletak di dekat garis khatulistiwa atau di wilayah subtropis, yang berarti mereka menerima cahaya matahari dengan intensitas yang tinggi sepanjang tahun. Ini memungkinkan PLTS untuk menghasilkan energi listrik yang lebih banyak dibandingkan dengan daerah-daerah dengan durasi sinar matahari yang lebih pendek. Durasi yang panjang juga berarti bahwa energi matahari dapat dikumpulkan sepanjang hari dan, dengan teknologi penyimpanan yang tepat, maka bisa digunakan ketika matahari tenggelam.

Cuaca tropis dan durasi sinar matahari yang tinggi membantu mengoptimalkan penggunaan PLTS untuk memenuhi kebutuhan energi di kepulauan, termasuk menyediakan listrik bagi rumah tangga, sekolah, pusat kesehatan, dan bisnis kecil. Hal ini berkontribusi pada peningkatan akses listrik yang andal, meningkatkan kualitas hidup masyarakat, dan mendukung perkembangan ekonomi yang berkelanjutan di kepulauan. Dengan memanfaatkan potensi sinar matahari dan kondisi iklim yang menguntungkan ini, PLTS bisa menjadi pilihan yang efektif dan ramah lingkungan dalam memenuhi kebutuhan energi di daerah kepulauan.

9.2.3 Kontribusi Terhadap Pasokan Energi Yang Berkelanjutan

Kondisi cuaca tropis dan durasi sinar matahari yang tinggi di daerah kepulauan memiliki kontribusi besar terhadap pasokan energi yang berkelanjutan. Dengan memanfaatkan potensi energi matahari yang melimpah, PLTS memberikan sumber energi bersih dan terbarukan yang dapat menggantikan atau mendukung pasokan energi konvensional, seperti bahan bakar fosil.

Penggunaan PLTS di daerah kepulauan bisa menghemat biaya karena tidak perlu mengandalkan bahan bakar fosil yang mahal dan harganya yang fluktuatif. Bahan bakar fosil biasanya harus didatangkan dari luar pulau dengan biaya operasional yang besar. Dengan demikian, PLTS dapat membantu meningkatkan kemandirian dan otonomi energi di kepulauan dalam jangka panjang.

Selain itu, kontribusi PLTS terhadap pasokan energi yang berkelanjutan adalah mengurangi dampak lingkungan yang berbahaya. Dengan menggunakan energi matahari sebagai sumber energi bersih, PLTS dapat mengurangi polusi udara dan emisi gas rumah kaca. Ini mendukung upaya global dalam mengurangi perubahan iklim dan menjaga lingkungan alam yang rentan terhadap dampak perubahan iklim.

Selanjutnya, PLTS dapat menjadi kunci dalam meningkatkan kualitas hidup masyarakat di kepulauan dengan menyediakan akses listrik yang andal untuk rumah tangga, sekolah, pusat kesehatan, dan bisnis kecil. Dengan kontribusi ini, PLTS membantu mendorong pembangunan ekonomi berkesinambungan, meningkatkan kesempatan kerja, dan memperbaiki kualitas hidup masyarakat setempat.

Secara keseluruhan, kontribusi PLTS terhadap pasokan energi yang berkesinambungan di daerah kepulauan adalah mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, dan meningkatkan akses listrik yang andal untuk mendukung pertumbuhan ekonomi dan kualitas hidup yang lebih baik bagi masyarakat setempat. Hal ini menjadi langkah yang penting dalam mencapai keberlanjutan di kepulauan dan di seluruh dunia.

9.3 Tantangan dan Kendala

9.3.1 Investasi Awal dan Biaya

Investasi awal dan biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di daerah kepulauan adalah faktor penting yang harus diperhitungkan ketika merencanakan proyek energi terbarukan ini. Pertama-tama, investasi awal PLTS mencakup biaya perolehan dan pemasangan panel surya, inverter, baterai penyimpanan energi, kabel, struktur penopang, serta biaya pekerjaan dan pemeliharaan. Faktor biaya juga dipengaruhi oleh ukuran sistem yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan energi, teknologi yang digunakan, dan aksesibilitas lokasi instalasi. Misalnya, jika daerah kepulauan tersebut memiliki akses yang sulit atau memerlukan transportasi material yang mahal, biaya investasi awal mungkin lebih tinggi.

Kedua, biaya perawatan dan pemeliharaan PLTS juga merupakan pertimbangan penting. Meskipun PLTS memiliki biaya operasional yang relatif rendah, perlu diperhitungkan biaya pemeliharaan rutin seperti pembersihan panel surya, penggantian komponen yang aus, dan pemantauan kinerja sistem. Di daerah kepulauan yang mungkin memiliki kondisi cuaca ekstrem atau cuaca yang sulit, biaya pemeliharaan ini bisa menjadi faktor penentu dalam anggaran jangka panjang.

Terakhir, penting untuk dicatat bahwa biaya investasi awal PLTS di daerah kepulauan dapat bervariasi secara signifikan tergantung pada dukungan dan insentif dari pemerintah lokal atau nasional. Bantuan pajak, subsidi, atau program insentif lainnya dapat mengurangi biaya investasi awal dan menjadikan PLTS lebih terjangkau. Ini adalah contoh bagaimana kebijakan pemerintah dapat memengaruhi ekonomi PLTS di daerah kepulauan. Dalam

jangka panjang, investasi dalam PLTS di kepulauan dapat menghasilkan penghematan biaya energi, mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional yang mahal, dan memberikan manfaat lingkungan yang signifikan, sehingga menjadikannya pilihan yang berkelanjutan dan ekonomis.

9.3.2 Perawatan dan Pemeliharaan Sistem PLTS

Sistem perawatan dan pemeliharaan PLTS di daerah kepulauan adalah langkah kunci dalam memastikan kinerja yang optimal dan umur pakai yang panjang dari sistem energi terbarukan ini. Pertama, pembersihan panel surya secara teratur sangat penting. Daerah kepulauan cenderung terkena debu, pasir, dan salinitas tinggi, sehingga panel surya sering terkena kotoran yang dapat mengurangi efisiensi mereka. Pembersihan berkala dengan air dan sikat lembut membantu menjaga panel surya tetap bersih dan memungkinkan penangkapan sinar matahari yang maksimal.

Selanjutnya , pemantauan dan pemeliharaan inverter adalah langkah penting. Inverter berfungsi mengubah listrik DC yang dihasilkan oleh panel surya menjadi listrik AC yang digunakan dalam rumah tangga atau bisnis. Pemantauan kinerja inverter secara rutin diperlukan untuk mendeteksi masalah atau kerusakan yang mungkin terjadi. Selain itu, komponen dalam inverter, seperti kapasitor atau transistor, dapat aus dan perlu diganti sesuai dengan umur pakai mereka.

Kemudian, perawatan sistem baterai, jika digunakan, harus diperhatikan. Baterai penyimpanan energi pada PLTS di kepulauan sering digunakan untuk menyimpan kelebihan energi matahari yang dihasilkan siang hari untuk digunakan di malam hari. Pemantauan kondisi baterai dan siklus pengisian ulang mereka adalah langkah penting dalam menjaga sistem baterai dalam kondisi optimal.

Selain itu, pemantauan kinerja umum sistem PLTS harus dilakukan secara rutin untuk memastikan bahwa sistem tersebut menghasilkan energi sesuai dengan kapasitas yang terpasang. Untuk mendeteksi masalah dengan cepat maka diperlukan perangkat pemantauan jarak jauh yang dapat mengirimkan data ke pusat kontrol. Dalam cuaca ekstrem atau badai, perlindungan tambahan harus dipertimbangkan untuk melindungi sistem PLTS.

Dengan perawatan dan pemeliharaan sistem PLTS yang tepat, kepulauan dapat memaksimalkan potensi energi matahari mereka dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional yang mahal. Selain itu,

sistem PLTS yang terawat dengan baik berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan, memberikan energi bersih dan andal bagi masyarakat setempat, dan menjadi bagian penting dalam upaya menghadapi tantangan energi di daerah kepulauan.

9.3.3 Ketersediaan Sumber Daya Manusia Terlatih

Ketersediaan sumber daya manusia terlatih dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di daerah kepulauan adalah aspek kunci dalam mendorong pengembangan dan penerapan teknologi energi terbarukan. Untuk mencapai hal ini, langkah-langkah penting perlu diambil seperti menyediakan program pendidikan dan pelatihan yang khusus disesuaikan dengan PLTS, baik di lembaga pendidikan lokal maupun perguruan tinggi. Dengan program-program ini, sumber daya manusia terutama lokal dapat memperoleh pengetahuan dan keterampilan yang diperlukan untuk merencanakan, menginstal, melakukan perawatan dan perbaikan sistem PLTS. Selain itu, kemitraan erat antara lembaga pendidikan dan industri energi terbarukan sangat penting. Ini memungkinkan pertukaran pengetahuan dan pengalaman yang berguna dan memberikan kesempatan magang atau praktek kerja kepada siswa atau peserta pelatihan. Melalui sertifikasi dan standar yang ketat, kompetensi pekerja PLTS dapat diukur dengan jelas, sehingga meningkatkan kepercayaan pemilik proyek terhadap tenaga kerja mereka. Program-program magang dan praktek kerja juga memberikan pengalaman lapangan yang berharga, membantu siswa atau peserta pelatihan mengaplikasikan pengetahuan mereka dalam situasi nyata. Pendanaan dan dukungan dari pemerintah daerah atau nasional dapat mendorong minat dan partisipasi dalam program pendidikan dan pelatihan. Kampanye kesadaran masyarakat juga memainkan peran penting dalam meningkatkan minat terhadap PLTS dan menciptakan kesempatan karir dalam bidang energi terbarukan. Dengan langkah-langkah ini, ketersediaan sumber daya manusia terlatih dalam PLTS di daerah kepulauan dapat ditingkatkan, yang pada akhirnya akan mendukung perkembangan ekonomi berkelanjutan dan penggunaan energi matahari yang lebih luas dan efisien.

9.3.4 Integrasi Dengan Sumber Energi Lainnya

Pentingnya integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan sumber energi lainnya di daerah kepulauan tidak dapat diabaikan. Kepulauan seringkali menghadapi tantangan tersendiri dalam memastikan pasokan energi

yang andal dan berkelanjutan untuk kebutuhan penduduk, industri, dan infrastruktur mereka. Integrasi PLTS dengan sumber energi lainnya, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) atau Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu (PLTB), biomass, hidro menjadi kunci dalam mengatasi beberapa masalah utama.

Pertama, PLTS menawarkan keberlanjutan dan ramah lingkungan yang sangat dibutuhkan. Di Daerah kepulauan, sumber daya alam seringkali terbatas, dan penggunaan bahan bakar fosil dapat merusak lingkungan serta bergantung pada impor. PLTS merupakan pilihan yang ramah lingkungan yang dapat diperbaharui, dan berkontribusi dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

Kedua, integrasi PLTS dengan sumber energi lainnya meningkatkan keandalan pasokan listrik. Sumber energi seperti PLTS bersifat variabel, tergantung pada cuaca dan waktu. Dengan mengintegrasikannya dengan sumber energi lainnya, seperti pembangkit listrik diesel yang bisa beroperasi terus-menerus, kita dapat memastikan pasokan listrik yang stabil dan terjamin sepanjang waktu, bahkan saat kondisi cuaca tidak mendukung. (PLN,2020.IRENA,2019)

Ketiga, integrasi PLTS membantu mengurangi biaya operasional dan pemeliharaan sumber energi konvensional. Dengan mengandalkan PLTS untuk memenuhi sebagian dari kebutuhan energi, biaya bahan bakar dan pemeliharaan untuk pembangkit diesel dapat dikurangi, sehingga menghemat anggaran dan sumber daya yang berharga.

Secara keseluruhan, integrasi PLTS dengan sumber energi lainnya di daerah kepulauan membawa manfaat ekonomi, lingkungan, dan keandalan. Ini adalah langkah penting menuju transformasi energi yang lebih berkelanjutan dan dapat memberikan dampak positif yang signifikan pada masyarakat dan ekosistem di kepulauan.

9.4 Manfaat PLTS di Daerah Kepulauan

Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di daerah kepulauan memberikan sejumlah manfaat yang signifikan. Pertama-tama, PLTS merupakan sumber energi terbarukan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Di daerah kepulauan, yang seringkali memiliki akses terbatas ke

sumber daya energi konvensional, PLTS dapat menjadi solusi yang andal dan berkesinambungan untuk memenuhi kebutuhan listrik. Pemanfaatan energi matahari yang melimpah di daerah tropis dapat mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi fosil dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Kedua, PLTS membantu meningkatkan akses listrik di daerah kepulauan yang mungkin sulit dijangkau oleh jaringan listrik konvensional. Dengan memanfaatkan energi matahari, PLTS dapat diimplementasikan secara terdesentralisasi untuk menyediakan listrik kepada komunitas yang terpencil atau terisolasi. Ini memberikan manfaat langsung bagi penduduk setempat dengan membuka akses terhadap penerangan, pemeliharaan kesehatan, dan pengembangan ekonomi lokal.

Ketiga, PLTS dapat meningkatkan ketahanan energi di daerah kepulauan. Dengan mengandalkan sumber daya energi yang dapat diperbaharui, daerah ini dapat mengurangi risiko gangguan pasokan energi yang disebabkan oleh keterbatasan pasokan bahan bakar atau faktor-faktor eksternal lainnya. Ini memberikan keamanan energi yang lebih besar dan memastikan kelangsungan kegiatan sehari-hari serta pengembangan berkelanjutan di daerah tersebut.

Keempat, penerapan PLTS dapat menciptakan lapangan kerja lokal dan mendukung pertumbuhan ekonomi. Proyek PLTS, mulai dari instalasi hingga pemeliharaan, menciptakan peluang pekerjaan bagi masyarakat setempat, meningkatkan keterampilan, dan merangsang ekonomi lokal.

Dengan demikian, PLTS di daerah kepulauan tidak hanya memenuhi kebutuhan energi, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap lingkungan, sosial, dan ekonomi. Mendorong penggunaan energi terbarukan seperti PLTS menjadi langkah penting dalam membangun masyarakat yang berkesinambungan dan mengatasi tantangan energi di daerah kepulauan.

9.5 Peran Pemerintah Dan Pihak Terkait

Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan suatu bentuk energi terbarukan yang dapat memberikan dampak positif pada aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial. PLTS memiliki potensi untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil, menghemat biaya operasional, serta

menurunkan emisi gas rumah kaca. Khususnya di wilayah kepulauan, PLTS dapat menjadi solusi untuk menyediakan listrik di daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik nasional. Meski demikian, pengembangan PLTS di daerah kepulauan menghadapi sejumlah tantangan, termasuk biaya investasi, kondisi cuaca, keterbatasan lahan, perizinan, dan kesadaran masyarakat.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, perlu adanya keterlibatan aktif dari pemerintah dan pemangku kepentingan terkait. Beberapa peran yang dapat dijalankan antara lain:

1. Pemerintah sebagai regulator, yang memiliki tanggung jawab merumuskan kebijakan yang mendukung pengembangan PLTS di daerah kepulauan. Ini melibatkan pemberian insentif fiskal, kemudahan perizinan, penetapan harga beli listrik dari PLTS, serta subsidi bagi pengembang dan pengguna PLTS. Pemerintah juga diharapkan menyediakan anggaran yang memadai melalui APBN, APBD, atau melalui kerjasama dengan sektor swasta dan lembaga donor.
2. PLN sebagai operator, yang berkewajiban menyediakan infrastruktur dan jaringan listrik yang mendukung integrasi PLTS dengan sistem tenaga listrik nasional. PLN juga perlu meningkatkan fleksibilitas dan reliabilitas sistem tenaga listrik, khususnya untuk mengatasi variasi dan intermittency dari PLTS. Kolaborasi antara PLN, pemerintah, pengembang, dan masyarakat di sektor perencanaan, pembangunan, dan pengoperasian PLTS sangat penting.
3. Pihak industri sebagai produsen, bertanggung jawab menyediakan produk dan layanan berkualitas untuk pengembangan PLTS di daerah kepulauan. Industri juga perlu berinovasi dan melakukan penelitian untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja PLTS, serta mengembangkan teknologi sesuai dengan kondisi geografis dan iklim di daerah kepulauan. Kolaborasi dengan pemerintah, PLN, dan masyarakat dalam pemasaran, distribusi, dan instalasi PLTS juga menjadi kunci.
4. Masyarakat sebagai konsumen, memiliki peran penting dalam memanfaatkan PLTS sebagai sumber listrik yang ramah lingkungan di daerah kepulauan. Kesadaran masyarakat tentang manfaat PLTS

sebagai energi terbarukan dan cara mengakses serta memanfaatkannya perlu ditingkatkan. Partisipasi masyarakat dalam pemeliharaan PLTS, serta memberikan masukan untuk perbaikan, juga sangat diharapkan.

Melalui kolaborasi antara pemerintah dan pemangku kepentingan terkait, diharapkan pengembangan PLTS di daerah kepulauan dapat dipercepat, memaksimalkan potensi energi surya di Indonesia, dan mewujudkan transisi energi yang berkelanjutan untuk manfaat lingkungan, ekonomi, dan sosial.

Daftar Pustaka

A. F. Gusnanda, Sarjiya, and L. M. Putranto, (2019) “Effect of distributed photovoltaic generation installation on voltage profile: A case study of rural distribution system in Yogyakarta Indonesia,” Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICOIACT 2019, pp. 750–755, 2019, doi: 10.1109/ICOIACT46704.2019.8938534

Abdel Dayem, A. M., & Al-Ghamdi, A. S. (2016). Transient performance of direct steam generation solar power plants. International Journal of Energy Research, 41(7), 1070–1078. https://doi.org/10.1002/er.3693

AHK, (2023). Solar Energy in Indonesia: Opportunities and Challenges. [online] AHK Indonesien.

Alfanz, R., Maulana K, F., & Haryanto, H. (2016). Rancang bangun penyedia energi listrik tenaga hibrida (PLTS-PLTB-PLN) Untuk Membantu pasokan listrik rumah tinggal. Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer, 4(2), 78. https://doi.org/10.36055/setrum.v4i2.456

Alley, R.B., (2018). The Changing Economics of Solar Energy | EARTH 104: Earth and the Environment (Development) [WWW Document]. URL https://www.e-education.psu.edu/earth104/node/1245 (accessed 11.25.23).

Anon., (2021). Optimasi Perencanaan PLTS Terpusat Di Wilayah Pulau Terluar. Jurnal Infotekmesin, 12(2), Pp. 167-174.

Arumsari, N., & Pamuji, F. A. (2017). Peramalan Irradiance Cahaya Matahari pada Sel Surya untuk Memenuhi Kebutuhan Energi Listrik dengan

Metode Support Vector Regression (SVR). JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO, 6(1). https://doi.org/10.20449/jnte.v6i1.367

Aslimeri, A. (2019). Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel. JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional), 5(1.1), 163. https://doi.org/10.24036/jtev.v5i1.1.107374

Asri, R., Kananda, K., (2018). Desain dan Analisa Kelayakan PV-Diesel-Grid Sistem Hibrid di Institut Teknologi Sumatera (ITERA). Jurnal JE-UNISLA: Electronic Control, Telecomunication, Computer Information and Power System 3, 67–72.

Baker, E., Fowlie, M., Lemoine, D., Reynolds, S.S., (2013). The Economics of Solar Electricity. Annu. Rev. Resour. Econ. 5, 387–426. https://doi.org/10.1146/annurev-resource-091912-151843

Bank Dunia,(2023). Potensi Energi Surya di Indonesia. [online] World Bank.

Basken, B., & Galloni, P. (2014). Successful low-cost energy management implementation in healthcare facilities. Energy Engineering, 111(5), 35–50. https://doi.org/10.1080/01998595.2014.10877000

Bayu Kusuma, K., Indra Partha, C.G. dan Sukerayasa, I.W, (2020). Perancangan sistem pompa air DC dengan PLTS 20 kWp Tianyar Tengah sebagai suplai daya untuk memenuhi kebutuhan air masyarakat Banjar Bukit Lambuh. Jurnal Spektrum, 7(2), hal.46-56. DOI: [10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i02.p7]

Boonseng, C., Boonseng, R., Manee, A., & Kularhpettong, K. (2019, July). Passive power filter for grid-connected solar rooftop applications for power quality improvement in industrial plants. 2019 IEEE 13th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS). http://dx.doi.org/10.1109/peds44367.2019.8998941

Carla, (2022). Kemudahan Monitoring Sistem PLTS Secara Online. Catur Elang Energi. URL https://cee.co.id/kemudahan-monitoring-sistem-plts-secara-online/ (accessed 11.10.23).

Chen, G., & Ren, Z. (2015). Concentrated solar thermoelectric power. Office of Scientific and Technical Information (OSTI). http://dx.doi.org/10.2172/1191490

Corio, D., dkk (2023). Energi Indonesia: Masalah dan Potensi Pembangkit Listrik dalam Mewujudkan Kemandirian Energi. Yayasan Kita Menulis, Medan.

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

Daud, A., Rachbini, R., & Hernawan, K. (2022). PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) TERHUBUNG JARINGAN DI LABORATORIUM ENERGI TERBARUKAN MENGGUNAKAN PVSYST. Jurnal Teknik Energi, 11(2), 1–6. https://doi.org/10.35313/energi.v11i2.3515

Desphande, R. A., (2021). Advances in Solar Cell Technology: An Overview. Journal of Scientific Research. Volume 65, Issue 2.

Devasagayam, D., Masal, J., Mendonce, J., Singh, A. K., & Patil, S. (2023). Solar Panel Cleaning Robot. 2023 5th Biennial International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE), 1–5. https://doi.org/10.1109/ICNTE56631.2023.10146723

Effiom, S. O. (2023). Feasibility of floating solar photovoltaic systems (FSPVs) development in Nigeria: An economic cost appraisal case study. Applied Engineering and Technology, 2(2), 60–74. https://doi.org/10.31763/aet.v2i2.1012

ES, T. T., (2018). Panduan Studi Kelayakan PLTS Terpusat, Jakarta: Inc.

Esdm, (2006), Standar Kompetensi Tenaga Teknik Ketenagalistrikan Bidang Pembangkitan Energi Baru Dan Terbarukan, Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral

Esdm, (2017), Panduan pengoperasian dan pemeliharaan PLTS off-grid, Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Fama, N.J.A., Setiabudy, R., (2018). Analisis Tekno Ekonomi Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid Pada Sistem Kelistrikan Biak Papua.

Farizal, & Angelina, J. (2018, November). Designing the installation of solar panel plant in Sunda Strait Bridge Mega Project. 2018 IEEE 5th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS). http://dx.doi.org/10.1109/icetas.2018.8629195

Ferdyson, F., & Windarta, J. (2023). Overview Pemanfaatan dan Perkembangan Sumber Daya Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan di Indonesia. Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan, 4(1), 1–6. https://doi.org/10.14710/jebt.2023.15714

Gama Yoga, N. (2013). ANALISA KOLEKTOR SURYA TIPE PELAT DATAR MENGGUNAKAN PIPA KALOR SEBAGAI PENGAMBIL PANAS PADA PENYERAP(ABSORBER). Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur, 1(1), 67–71. https://doi.org/10.21009/jkem.1.1.8

Giz., (2018), This Annual Report provides a summary of achievements and lessons learned as annual reviews, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Energising Development (EnDev) Indonesia

Halim, L. (n.d.). Analisis Teknis dan Biaya Investasi Pemasangan PLTS On Grid dan Off Grid di Indonesia. 5(2).

Hamdani, L., Muchtar, E. H. ., & Possumah, B. T. (2022). WAQF Based Waste Energy Management: Case Study On PLTS. Journal of Asian and African Social Science and Humanities, 7(4),67–76. https://doi.org/10.55327/jaash.v7i4.250

Hendrayana, H. (2017). Simulasi Sistem Hibrid Pembangkit Energi Surya, Angin, dan Generator Untuk Mengoptimalkan Pemanfaatan Daya Energi Terbarukan. CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro, 1(1). https://doi.org/10.22373/crc.v1i1.1381

Hidayat, F., Winardi, B. and Nugroho, A., (2019). Analisis Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro. Transient, 7(4), p.875.

IESR, (2023). Indonesia Solar PV Market Assessment. [online] Institute for Essential Services Reform.

Ika Samudra, J. (2023). Recovery Economy antara Pemerintah China dan Indonesia Melalui Kerjasama di Sektor Perdagangan dan Investasi

Setelah Pandemik. Syntax Idea, 5(11). https://doi.org/10.46799/syntax-idea.v5i11.2694

Inwanna, W., Boonseng, C., Boonseng, R., & Kularbphettong, K. (2019, October). Field experience for passive power filter for grid-connected solar rooftop applications at industrial plants. 2019 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI). http://dx.doi.org/10.1109/icpei47862.2019.8944955

IRENA (2019), Renewable Energy Statistics 2019, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

IRENA, (2019) 'Grid-Connected Solar Photovoltaic Systems: A Handbook for Technical Staff of Distribution Network Operators'. [Online]. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Grid-connected_Solar_PV_Systems_2019.pdf]. [Accessed: 22-Nov-2023].

Jang Y. H., Tambunan, I. H., Tak H. W., Nguyen, V.D., Kang, T.S., Byun, D.Y., (2013). Non-contact printing of high aspect ratio Ag electrodes for polycrystalline silicone solar cell with electrohydrodynamic jet printing. Applied Physics Letters, 102(12).

Jelali, M. (2010). Control system performance monitoring. Auto, 58(05), 286–288. https://doi.org/10.1524/auto.2010.0841

Juliawan, I. P., Setiawan, I. N. & Sukera, I. W., (2022). Analisa Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Energi Penggerak Pompa Minyak Pada Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum Di Kota Denpasar. Jurnal SPEKTRUM, 9(1), Pp. 84-93.

Kananda, K., & Nazir, R. (2013). KONSEP PENGATURAN ALIRAN DAYA UNTUK PLTS TERSAMBUNG KE SISTEM GRID PADA RUMAH TINGGAL. 2(2).

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

Koesmarijanto, Muzakhim Imammudin, A., & Darmono, H. (2021). PEMANFAATAN INTENSITAS SINAR MATAHARI UNTUK PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER DAYA MENGGUNAKAN

POWER INVERTER DC KE AC DAYA RENDAH. Jurnal Teknik Ilmu Dan Aplikasi, 2(1), 24–28. https://doi.org/10.33795/jtia.v2i1.58

Kristyadi T, Arfianto T, (2021), Optimasi Perencanaan PLTS Terpusat Di Wilayah Pulau Terluar, Jurnal Infotekmesin Vol.12, No.02, Juli 2021 p-ISSN: 2087-1627, e-ISSN: 2685-9858 DOI: 10.35970/ infotekmesin. v12i2.672, pp.167-174

Kristyadi, T. & Arfianto, T., (2021). Optimasi Perencanaan PLTS Terpusat Di Wilayah Pulau Terluar. Jurnal Infotekmesin, 12(2), Pp. 167-174.

Kurniawan, A., Yoserizal, Y., & Putra, F. A.-I. A. (2019). ANALISA EFEK KEMIRINGAN PEMASANGAN TERHADAP LUARAN DAYA RANGKAIAN PANEL SURYA. SISTEM Jurnal Ilmu Ilmu Teknik, 15(3), 36–42. https://doi.org/10.37303/sistem.v15i3.199

Kurniawan, E.R., Supriyadi, I., Sasongko, N.A., (2018). Analisis Biaya Manfaat Energi Surya Untuk Mendukung Pasokan Energi Integrated Cold Storage Di SKPT Kota Sabang. Ketahanan Energi 4.

Kurniawan, I., Ichwani, R., Fionasari, R., Aryansyah, Huda, A., (2022). Renewable Energy Outlook: What to Expect in The Future Renewable Energy of Indonesia. Journal of Islamic Science and Technology Vol. 8, No. 2. doi: 10.22373/ekw.v8i2.18738

Lee, T.D. and Ebong, A.U., (2017). A review of thin film solar cell technologies and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70, pp.1286-1297.

Lensa, (2023) . Wikipedia Bhs. Indones. Ensiklopedia Bebas.

Leva, S., Yu Hu, F. P., & Lamanna, E. (2023). Performance and Economic Comparison of String and Central Inverter Systems. 2023 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2023 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), 1–6. https://doi.org/10.1109/EEEIC/ICPSEurope57605.2023.10194870

Libra, M., Beránek, V., Sedláček, J., Poulek, V., & Tyukhov, I. I. (2016). Roof photovoltaic power plant operation during the solar eclipse. Solar Energy, 140, 109–112. https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.10.040

Liman J., Djohan N., Harsono B., Karnadi I., Tanra I., (2020), Perbaikan, Pemeliharaan Dan Perawatan Pembangkit Listrik Sistem Hybrid Di

Kawasan Desa Picung, Kabupaten Bogor, Jurnal Pengabdian Masyarakat Teknik, Jakarta

Lorenz, P., Pinner, D., Seitz, T., (2008). The economics of solar power. The McKinsey Quarterly 4, 66–78.

Luckett, R. and Needham, C. (2021) Marketing Strategies to Use Solar Energy in Homes. Open Journal of Business and Management, 9, 2950-2976. doi: 10.4236/ojbm.2021.96165.

Makkulau, A., Samsurizal, S., & Kevin, S. (2020). Karakteristik temperatur pada permukaan sel surya polycrystalline terhadap efektifitas daya keluaran pembangkit listrik tenaga surya. SUTET, 10(2), 69–78. https://doi.org/10.33322/sutet.v10i2.1291

Malik, P., Chandel, R., & Chandel, S. S. (2021). A power prediction model and its validation for a roof top photovoltaic power plant considering module degradation. Solar Energy, 224, 184–194. https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.06.015

Marhaini, M., Mardwita, M., & Suranda, A. (2022). Analisa efesiensi bahan bakar dan dampak lingkungan emisi gas buang pembangkit listrik tenaga diesel (pltd) terhadap pembangkit listrik mesin gas (PLTMG). JURNAL SURYA ENERGY, 6(2), 57. https://doi.org/10.32502/jse.v6i2.4215

Maskvart, T. & Castaner, L., (2003). Practical Handbook Of Photovoltaics. Three Ed. UK: Elseiver Science, Ltd.

Mauriraya, K. T. Et Al., (2020). Edukasi Pemanfaatan PLTS Untuk Penerangan Jalan Umum Di Desa Cilatak Kecamatan Ciomas Kabupaten Serang Banten. Terang: Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat Menerangi Negeri, 3(1), Pp. 92-99.

Mesin kalor, (2022) . Wikipedia Bhs. Indones. Ensiklopedia Bebas.

Musi, R., Grange, B., Sgouridis, S., Guedez, R., Armstrong, P., Slocum, A., Calvet, N., (2017). Techno-economic analysis of concentrated solar power plants in terms of levelized cost of electricity. Presented at the SOLARPACES 2016: International Conference on Concentrating Solar Power and Chemical Energy Systems, Abu Dhabi, United Arab Emirates, p. 160018. https://doi.org/10.1063/1.4984552

P. C. Choubey, A. Oudhia and R. Dewangan, (2012). A review: Solar cell current scenario and future trends. Recent Research in Science and Technology 2012, 4(8): 99-101.

Patel, M., (1984). Wind And Solar Power System. Second Ed. Washington, DC: CRC Press.

Permata, D., N, H. Y., & Komalasari, E. (2020). Analisis Arus Bocor pada Sistem PLTS Terhubung ke Jaringan Tanpa Transformator Terhadap Keselamatan Manusia. Electrician, 14(3), 95–99. https://doi.org/10.23960/elc.v14n3.2161

PLN, (2020) 'PLTS Terhubung Jaringan (Grid-Connected)'. [Online]. Available: [https://www.pln.co.id/pelanggan-bisnis/pembangkit-listrik-tenaga-surya/plts-terhubung-jaringan-grid-connected]. [Accessed: 22-Nov-2023].

Pramudiyanto, A. S., & Suedy, S. W. A. (2020). Energi Bersih dan Ramah Lingkungan dari Biomassa untuk Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca dan Perubahan Iklim yang Ekstrim. Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan, 1(3), 86–99. https://doi.org/10.14710/jebt.2020.9990

Pratama, M.F., n.d. PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG 202.

Prinada, Y., (2022). Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Komponen PLTS [WWW Document]. tirto.id. URL https://tirto.id/cara-kerja-pembangkit-listrik-tenaga-surya-dan-komponen-plts-gxHg (accessed 11.23.23).

Purba, B., Rahmadana, M.F., Patiung, M., Leilasariyanti, Y., Amruddin, A., Mukrim, M.I., Simarmata, M.M., Krisnawati, A., Faried, A.I., Syam, M.A., (2023). Pengantar Ekonomi Sumber Daya Alam dan Lingkungan. Yayasan Kita Menulis.

Pv magazine, (2023). Remote islands in Indonesia increasingly turn to solar-plus-storage. [online] pv magazine International.

R., (2015). Rencana Umum Energi. Jakarta: Kementerian Energi Sumber Daya Mineral.

Radiasi elektromagnetik, (2022) . Wikipedia Bhs. Indones. Ensiklopedia Bebas.

Rahayuningtyas, A., Kuala, S. I. & Apriyanto, I. 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. Bandung, Unisba – Universitas Islam Bandung.

Roberts, S., (1991). Solar Electricity: A Practical Guide to Designing and Installing Small Photovoltaic Systems. Cambridge, UK: Prentice Hall International Ltd.

Saputra, O. A., Puspitasari, N., Sudiro, S., Irnawan, R., Mulia, E. P., & Ramadan, G. I. (2023). Pembuatan, Pelatihan Perawatan, dan Perbaikan Panel Surya Cell di Proklim Karangmojo Weru Sukoharjo. Jurnal Surya Masyarakat, 5(2), 151. https://doi.org/10.26714/jsm.5.2.2023.151-154

Satpathy, R., & Pamuru, V. (2021). Rooftop and BIPV solar PV systems. In Solar PV Power (pp. 317–364). Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-817626-9.00008-3

Shemina, S., Suryanto, S., Mulyadi, M., (2020). Analisis Kelayakan Rekondisi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kodingareng 400 kW. PoliGrid 1, 8–13. https://doi.org/10.46964/poligrid.v1i1.342

Sholihuddin, A. (2016). PENDETEKSI OTOMATIS ARAH SUMBER CAHAYA MATAHARI PADA SEL SURYA. Jurnal Qua Teknika, 6(2), 1. https://doi.org/10.35457/quateknika.v6i2.339

Siagian, P., Kuswandi, S., Mukrim, M.I., Tongeng, A.B., Alyah, R., Saidah, H., Asmeati, A., Widarman, A., Siagian, L., Rosytha, A., (2023). Ekonomi Teknik. Yayasan Kita Menulis.

Siagian, W.K., Purba, D.F., Sipahutar, A. and Tambunan, I.H., (2018). Design and implementation of battery management system for on-grid system. In 2018 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC) (pp. 179-183). IEEE.

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

Sistem Monitoring PLTS | PDF [WWW Document], 2023. . Scribd. URL https://id.scribd.com/document/669388757/SISTEM-MONITORING-PLTS (accessed 11.24.23).

Suhendar, (2022). Dasar-Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Media Edukasi Indonesia.

Suhendar, S., (2022). Dasar-Dasar Perencanaan Pembangkit: Listrik Tenaga Surya. Pertama ed. Tangerang: Media Edukasi Indonesia (Anggota IKAPI).

Syariffuddin. (2021). ANALISIS PELAKSANAAN PASAL 2 HURUF B PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL NOMOR 28 TAHUN 2016 TENTANG TARIF TENAGA LISTRIK YANG DISEDIAKAN OLEH PT PERUSAHAAN LISTRIK NEGARA. JURNAL HUKUM DAS SOLLEN, 5(1). https://doi.org/10.32520/das-sollen.v5i1.1647

Tarigan, E. (2020). SIMULASI OPTIMASI KAPASITAS PLTS ATAP UNTUK RUMAH TANGGA DI SURABAYA. MULTITEK INDONESIA, 14(1). https://doi.org/10.24269/mtkind.v14i1.2600

Tashtoush, B., Alalul, K., & Najjar, K. (2023). Designing sustainable Living: Optimizing on/off-Grid PV systems for Carbon-Reduced residential buildings in Jordan. Energy and Buildings, 297, 113441. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113441

Telaumbanua, D. (2019). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2019 tentang Ekonomi Kreatif. Center for Open Science. http://dx.doi.org/10.31219/osf.io/9xvnb

Wallender, L., & Tynan, C. (2023, August 1). Monocrystalline vs Polycrystalline Solar Panels: What's The Difference? Https://Www.Forbes.Com/Home-Improvement/Solar/Monocrystalline-vs-Polycrystalline-Solar-Panels/.

Winardi, B., Nugroho, A., Dolphina, E., (2019). Perencanaan Dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Untuk Desa Mandiri. Jurnal Tekno 16, 1–11.

Wiryadinata R, Imron A, Munarto R, (2013) Studi Pemanfaatan Energi Matahari di Pulau Panjang Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif, SETRUM – Volume 2, No. 1, Juni 2013.

wpadmisokon, (2023). Pengertian dan Definisi K3 [WWW Document]. isokonsultindo. URL https://isokonsultindo.com/smk3/ (accessed 11.23.23).

Wu, Z., Hu, Y., Wen, J. X., Zhou, F., & Ye, X. (2020). A Review for Solar Panel Fire Accident Prevention in Large-Scale PV Applications. In IEEE Access (Vol. 8, pp. 132466–132480). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3010212

Xue, H., Gong, H., Yamauchi, Y., Sasaki, T. and Ma, R., 2022. Photo-enhanced rechargeable high-energy-density metal batteries for solar energy conversion and storage. Nano Research Energy, 1(1), p.e9120007.

Yogianto, A. A. (2021). Sosialisasi Pemasangan, Pengoperasian Dan pemeliharaan panel Surya Fotovoltaik di pondok pesantren khoiru ummah, Sumedang. TERANG, 3(2), 192–199. https://doi.org/10.33322/terang.v3i2.1088

Yusiana, V., & Matalata, H. (2018). PERANCANGAN PANEL SURYA MENGGUNAKAN TRANSISTOR (2N3055 & MJ2955) DENGAN EFEK PANTUL SINAR MATAHARI UNTUK OPTIMASI ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN. Jurnal Civronlit Unbari, 2(2), 47. https://doi.org/10.33087/civronlit.v2i2.22

Biodata Penulis

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).

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

Indra Hartarto Tambunan, saat ini adalah dosen tetap di Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Del. Menyelesaikan program sarjana dari Teknik Elektro ITB, dan program Magister serta Doktoral dari Konkuk University pada tahun 2015. Memulai karir sebagai dosen sejak tahun 2016 dan telah terlibat dalam berbagai riset menyangkut perancangan dan implementasi energi terbarukan dalam berbagai penelitian.

E-mail: indra.tambunan@del.ac.id, tambunan.indra@gmail.com

Aminur, lahir di Puulemo-Bombana Sulawesi Tenggara pada tanggal 05 Februari 1981. Ia memperoleh gelar Sarjana Muda Teknik bidang Teknik Mesin di Universitas Halu Oleo tahun 2005, gelar Sarjana Teknik bidang Konversi Energi di Universitas Hasanuddin tahun 2007 dan Master of Enigineering bidang Rekayasa Mekanika Material di Universitas Gadjah Mada tahun 2011.

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.

E-mail: aminur@uho.ac.id dan aminur.eng81@gmail.com

Harry Yuliansyah. Saat ini sedang menyelesaikan Program Doktor Ilmu Teknik Elektro di Universitas Gadjah Mada. Sebelumnya telah menyelesaikan studi S1 Teknik Elektro di Universitas Bengkulu dan S2 Teknik Elektro di Universitas Gadjah Mada. Ia merupakan dosen tetap di Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sumatera (ITERA). Saat ini ia merupakan kepala pusat riset material dan energi yang salah satu tugasnya dalam operasional Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 1 MWp di ITERA.

Mengampu mata kuliah Sistem Instrumentasi, Perancangan Embedded System, Sistem Digital, Struktur Diskrit, Pengolahan Citra Digital, Pemecahan Masalah dengan C, Sistem Kendali, Robotika. Pengantar Komputer dan Software 1 dan 2, Material Teknik Elektro.

Selama ini telah terlibat secara aktif dalam pelaksanaan tri dharma perguruan tinggi. Telah menerbitkan jurnal dan artikel internasional maupun nasional yang telah disitasi dari belbagai kalangan.

E-mail: harry@el.itera.ac.id

Rizki Wahyu Pratama lahir di Bukittinggi, Sumatera Barat, Indonesia pada tahun 1986. Ia memperoleh gelar Sarjana Teknik dan Magister Teknik dalam bidang Teknik Elektro dari Universitas Andalas dan Institut Teknologi Bandung, Indonesia, pada tahun 2011 dan 2014, masing-masing. Sejak tahun 2019, ia menjadi dosen di Universitas Andalas, Indonesia. Minat penelitiannya adalah energi listrik dan aplikasi tegangan tinggi.

Muh. Setiawan Sukardin lahir di Makassar, pada 28 Mei 1976. Dosen Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro Politeknik ATI Makassar Kementerian Perindustrian sejak tahun 2001. Pendidikan S1, S2, S3 di Teknik Mesin Universitas Hasanuddin. Ketua Komite Skema Sertifikasi Kompetensi Lembaga Sertifikasi Profesi Teknik Industri Politeknik ATI Makassar 2013-sekarang). Asesor Kompetensi LSP Teknik Industri Politeknik ATI Makassar 2013-sekarang) Ketua Asosiasi Pengelasan Indonesia API-IWS Sulawesi Selatan (2017-sekarang). email : setiawan_mkz@yahoo.co.id

Ir. Muhammad Ihsan Mukrim, ST., M.Eng., M.Sc. Lahir di Watampone, 20 Pebruari 1977. Memperoleh gelar sarjana teknik di Universitas Hasanuddin, tahun 2001. Tahun 2019, mengikuti program profesi Insinyur di Universitas Hasanuddin. Tahun 2008-2010, mengikuti program magister dual-degree pada Universitas Gadjah Mada dan Asian Institute of Technology, Thailand. Sejak 2001, bekerja pada beberapa perusahaan konsultan dan kontraktor, serta pada beberapa lembaga pendidikan tinggi di Sulsel. Bekerja pada Dinas Pekerjaan Umum Kota Makassar, tahun 2004 hingga 2014. Sejak 2015, bekerja sebagai Dosen DPK pada Sekolah

Tinggi Teknik Baramuli. Penulis ikut terlibat dalam penulisan buku Energi Indonesia dan Energi Terbarukan terbitan Yayasan Kita Menulis.

Rahmi Berlianti. Saat ini merupakan dosen tetap Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang. Sebelumnya Ia mengikuti Pendidikan Program S2 di Institut Sains Teknologi Nasional Jakarta.

Mengampu mata kuliah Praktek Perancangan Listrik, Instalasi Listrik, Programmable Logic Control, Praktek Sistem Proteksi, dan Ilmu Bahan Listrik. Selain itu Ia juga aktif dalam melakukan penelitian dan pengabdian masyarakat didalam ataupun diluar kampus.

E-mail: rahmiberlianti@gmail.com , rahmi berlianti@pnp.ac.id

Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Daerah Kepulauan

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan dan dapat diperbarui secara terus-menerus. Energi terbarukan mencakup energi surya, angin, air, biomassa, dan panas bumi. Pemanfaatan energi terbarukan menjadi semakin penting dalam konteks global dan nasional, terutama dalam upaya mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mengatasi perubahan iklim. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang melimpah, termasuk energi surya.

Buku ini membahas:

Bab 1 Pengantar Pembangkit Listrik Tenaga Surya
Bab 2 Dasar-Dasar Teknologi Tenaga Surya
Bab 3 Perencanaan Dan Desain PLTS Sistem Komunal
Bab 4 Investasi Dan Pendanaan
Bab 5 Pemasangan Dan Implementasi
Bab 6 Operasional Dan Monitoring
Bab 7 Maintenance Dan Upkeep
Bab 8 Analisis Keuntungan Dan Dampak Ekonomi
Bab 9 Masa Depan PLTS Di Daerah Kepulauan

YAYASAN KITA MENULIS
press@kitamenulis.id
www.kitamenulis.id

ISBN 978-623-113-085-3
9 786231 130853