Rian Permana

CekTurnitin-2315374041 - TEL AYANI.pdf

Politeknik Negeri Bali

Document Details

Submission ID

trn:oid:::3618:108325082

Submission Date

Aug 14, 2025, 7:02 PM GMT+8

Download Date

Aug 14, 2025, 7:04 PM GMT+8

File Name

CekTurnitin-2315374041 - TEL AYANI.pdf

File Size

3.0 MB

46 Pages

8,421 Words

51,172 Characters

15% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Small Matches (less than 12 words)

Top Sources

13% Internet sources
6% Publications
12% Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

Replaced Characters
13 suspect characters on 6 pages
Letters are swapped with similar characters from another alphabet.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

13% Internet sources
6% Publications
12% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Submitted works	Badan PPSDM Kesehatan Kementerian Kesehatan on 2024-07-05	3%
2	Internet	repository.pnb.ac.id	2%
3	Internet	eprints.umm.ac.id	<1%
4	Publication	Prasannati Kulkarni, Suresh Deshmukh. "Comparative study of nature-inspired m...	<1%
5	Internet	docshare.tips	<1%
6	Internet	qspace.qu.edu.qa	<1%
7	Internet	siit.co	<1%
8	Internet	repository.ub.ac.id	<1%
9	Publication	Chua Kein Huat, Hau Lee Cheun, Albert Kow Kek Hing, Lim Kim Ten, Steven Chia, ...	<1%
10	Internet	lib.unnes.ac.id	<1%
11	Internet	repository.its.ac.id	<1%

12 Submitted works

unimal on 2025-06-10 <1%

13 Internet

pure.tue.nl <1%

14 Submitted works

Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya on 2017-05-31 <1%

15 Internet

ejournal3.undip.ac.id <1%

16 Internet

garuda.kemdikbud.go.id <1%

17 Internet

www.alihamdan.id <1%

18 Internet

digilib.unila.ac.id <1%

19 Submitted works

UIN Raden Intan Lampung on 2024-12-10 <1%

20 Internet

eprints.upj.ac.id <1%

21 Submitted works

School of Business and Management ITB on 2020-08-03 <1%

22 Submitted works

Universitas Brawijaya on 2023-08-02 <1%

23 Submitted works

Universitas Negeri Semarang on 2021-01-11 <1%

24 Internet

bedah.id <1%

25 Submitted works

American International School in Egypt on 2025-03-18 <1%

26 Internet

aperti.e-journal.id <1%

27 Internet

docplayer.info <1%

28 Submitted works

Institut Pertanian Bogor on 2024-12-18 <1%

29 Publication

Noer Arif Soedjarwanto, Syaiful Alam, Endah Komalasari, Muhammad Abdullah U... <1%

30 Submitted works

University of Pretoria on 2020-03-11 <1%

31 Internet

dspace.uii.ac.id <1%

32 Internet

repository.uhn.ac.id <1%

33 Internet

repository.umy.ac.id <1%

34 Submitted works

Universitas Diponegoro on 2022-01-17 <1%

35 Submitted works

Universitas Diponegoro on 2022-09-06 <1%

36 Internet

alpha.djk.esdm.go.id <1%

37 Internet

repositori.usu.ac.id <1%

38 Internet

repository.unas.ac.id <1%

39 Internet

repository.widyatama.ac.id <1%

40 Internet

www.coursehero.com <1%

41 Internet

123dok.com <1%

42 Submitted works

Badan PPSDM Kesehatan Kementerian Kesehatan on 2024-05-17 <1%

43 Publication

Herri Gusmedi, Rizki Pratama Putra, Ahmad Saudi Samosir. "DESAIN PEMBANGKI... <1%

44 Submitted works

UPN Veteran Jakarta on 2025-07-10 <1%

45 Submitted works

Universitas Mataram on 2025-06-30 <1%

46 Internet

ejournal.undiksha.ac.id <1%

47 Internet

ojs.unud.ac.id <1%

48 Internet

repositori.uin-alauddin.ac.id <1%

49 Internet

repository.atmaluhur.ac.id <1%

50 Internet

sunenergy.id <1%

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan fundamental dalam menunjang keberlangsungan hidup dan pembangunan suatu negara. Perkembangan teknologi, pertumbuhan penduduk, dan peningkatan aktivitas industri telah menyebabkan permintaan energi terus meningkat dari tahun ke tahun. Di Indonesia, sebagian besar kebutuhan energi masih dipenuhi oleh sumber energi fosil seperti minyak bumi, gas, dan batu bara [1]. Ketergantungan terhadap energi fosil ini menimbulkan dua permasalahan utama, yaitu krisis energi akibat keterbatasan sumber daya dan dampak lingkungan berupa emisi gas rumah kaca yang memicu pemanasan global [2].

Untuk mengatasi hal tersebut, pengembangan energi baru terbarukan (EBT) menjadi strategi penting dalam mencapai ketahanan energi nasional. Pemerintah Indonesia melalui Keputusan Menteri ESDM Nomor 143 Tahun 2019 tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) 2019–2038 menargetkan bauran EBT sebesar 23% pada tahun 2025 dan minimal 31% pada tahun 2050 [3].

Berdasarkan Panduan Pengelolaan Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang diterbitkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2020, energi surya menjadi salah satu sumber EBT yang memiliki potensi sangat besar di Indonesia, dengan rata-rata intensitas radiasi matahari sebesar 4,8 kWh/m² per hari yang setara dengan potensi terpasang hingga 112.000 GWp [4]. Meski demikian, pemanfaatan energi surya di Indonesia masih tergolong rendah, dengan kapasitas terpasang sekitar 10 MWp [4].

Salah satu teknologi pemanfaatan energi surya yang berkembang pesat adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terapung (Floating Photovoltaic). Teknologi tersebut memanfaatkan area permukaan air, seperti waduk, danau, atau bendungan, sebagai lokasi pemasangan modul *photovoltaic*. Keunggulan sistem ini antara lain mengurangi evaporasi air, memanfaatkan lahan yang tidak produktif, serta mendapatkan pendinginan alami dari air yang dapat meningkatkan efisiensi konversi daya hingga 10% [5].

Intensitas radiasi matahari yang diterima modul surya menjadi faktor utama yang memengaruhi efisiensi keluaran energi PLTS. Salah satu faktor penting yang menentukan intensitas radiasi yang diterima adalah sudut kemiringan panel surya (*tilt angle*). Panel yang dipasang dengan sudut kemiringan optimal akan menerima radiasi matahari lebih maksimal sehingga dapat meningkatkan produksi energi [6]. Sudut kemiringan yang tidak tepat dapat mengakibatkan berkurangnya energi yang dihasilkan [7].

Waduk Riam Kanan, yang berlokasi di Kalimantan Selatan pada koordinat -3.518499, 115.009202, merupakan salah satu lokasi yang memiliki potensi besar untuk penerapan PLTS terapung. Meski demikian, penelitian yang secara khusus menelaah pengaruh perubahan sudut kemiringan terhadap kinerja PLTS terapung dengan sistem *off-grid* di lokasi ini masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini akan melanjutkan eksplorasi mengenai pengaruh sudut kemiringan panel PLTS terapung dengan sistem *off-grid* di Waduk Riam Kanan, menggunakan perangkat lunak PVSyst untuk simulasi dan analisis data. Penelitian ini difokuskan untuk menganalisis pengaruh variasi sudut kemiringan panel (15°, 20°, 25°, dan 30°) terhadap keluaran energi PLTS. Dengan menggunakan perangkat lunak ini, diharapkan dapat diperoleh model yang lebih akurat mengenai performa panel surya dalam kondisi nyata, yang pada akhirnya dapat memberikan rekomendasi yang lebih baik untuk implementasi sistem PLTS di masa depan, khususnya untuk memanfaatkan sumber daya energi yang melimpah di Indonesia.

1.2. Perumusan Masalah

Merujuk pada penjelasan latar belakang yang telah dipaparkan, dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut kemiringan panel PLTS terhadap *output energy* dari PLTS Terapung dengan system *off-grid* di Waduk Riam Kanan?
2. Sudut kemiringan panel surya manakah yang menghasilkan output energi paling optimal pada PLTS terapung di Waduk Riam Kanan?
3. Berapa selisih *output energy* antara sudut kemiringan terendah dan tertinggi dari system PLTS Terapung tersebut?

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka ditetapkan batasan masalah pada penelitian ini agar penelitian ini lebih fokus dan terarah, meliputi :

1. Penelitian menggunakan data hasil simulasi sistem PLTS off-grid menggunakan perangkat lunak PVSyst.
2. Sudut kemiringan panel yang dibandingkan adalah 15°, 20°, 25°, dan 30°, berdasarkan standar desain floater PLTS terapung yang umum digunakan.
3. Penelitian tidak membahas merk, jenis, karakteristik material dan konstruksi *floating photovoltaic.*
4. Studi ini tidak mempertimbangkan pengaruh *force majeur*, tingkat kelembapan udara, kecepatan angin, kondisi cuaca, maupun elevasi.
5. Analisis keekonomian dari sistem PLTS tidak termasuk dalam cakupan penelitian ini.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini, sebagai berikut :

1. Menganalisis *output energy* dari variasi sudut kemiringan panel PLTS terapung *off-grid* di Waduk Riam Kanan.
2. Menentukan sudut kemiringan optimal yang menghasilkan *output energy* tertinggi.
3. Mengukur selisih *output energy* yang dihasilkan antara sudut kemiringan terendah dan tertinggi pada PLTS Terapung tersebut.

1.5. Manfaat Penelitian

Sejalan dengan tujuan penelitian, penulis berharap hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memperdalam wawasan teknis mengenai desain dan optimalisasi PLTS terapung.
2. Memperkenalkan serta mengasah keterampilan dalam pemanfaatan PVSyst sebagai perangkat simulasi sistem *photovoltaic*.
3. Mengembangkan kompetensi akademis dan teknis mahasiswa di bidang energi terbarukan.
4. Menyediakan rekomendasi teknis berbasis penelitian untuk penerapan PLTS terapung sistem *off-grid*.
5. Mendukung strategi diversifikasi energi nasional melalui optimalisasi pemanfaatan sumber daya lokal.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai sudut kemiringan panel PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) telah dilakukan oleh berbagai peneliti dengan fokus yang berbeda-beda. Pandria et al. (2021) melakukan studi mengenai pengaruh sudut kemiringan panel surya yang optimal terhadap besarnya energi yang dihasilkan di Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut kemiringan yang tepat dapat meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan, terutama pada lokasi dengan intensitas cahaya matahari yang tinggi [6]. Dalam konteks Indonesia, yang terletak di daerah tropis dengan sinar matahari yang melimpah, pemilihan sudut kemiringan menjadi sangat krusial. Sebagai contoh, di daerah dengan ketinggian tertentu, sudut kemiringan yang lebih curam dapat menangkap lebih banyak sinar matahari pada pagi dan sore hari, ketika matahari berada pada sudut rendah.

Selain itu, penelitian lain oleh Albahar dan Haqi (2020) juga menemukan bahwa variasi sudut kemiringan berpengaruh signifikan terhadap keluaran daya panel surya. Mereka melakukan eksperimen dengan mengubah sudut kemiringan panel dari 0° hingga 45° derajat dan menemukan bahwa pada sudut kemiringan tertentu, efisiensi energi meningkat secara signifikan [7]. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa sudut kemiringan yang sesuai memegang peranan penting dalam desain sistem PLTS. Hal ini penting, terutama ketika mempertimbangkan faktor-faktor seperti cuaca, lokasi geografis, dan waktu dalam sehari. Sebagai contoh, di daerah pesisir, di mana angin kencang dan hujan sering terjadi, sudut kemiringan yang lebih tinggi mungkin diperlukan untuk menghindari akumulasi air hujan pada panel.

Di sisi lain, penelitian oleh Pido et al. (2022) menganalisis variasi sudut kemiringan dan dampaknya terhadap optimasi daya panel surya [8]. Penelitian ini memberikan data empiris yang mendukung pentingnya penyesuaian sudut kemiringan untuk mencapai efisiensi maksimum dalam penggunaan panel surya. Mereka menggunakan data dari berbagai lokasi di Indonesia dan menemukan bahwa sudut kemiringan yang optimal bervariasi tergantung pada lokasi tertentu dan waktu dalam setahun. Misalnya, di daerah yang lebih dekat dengan ekuator, sudut kemiringan yang lebih rendah mungkin lebih efektif, sedangkan di daerah yang lebih jauh, sudut kemiringan yang lebih curam akan memberikan hasil yang lebih baik.

Selain itu, penelitian oleh Wirajati dan Natha (2021) menekankan bahwa selain sudut kemiringan, faktor lain seperti orientasi dan lokasi juga berkontribusi terhadap performa panel [9]. Mereka menunjukkan bahwa orientasi panel yang menghadap ke arah matahari, terutama pada siang hari, dapat meningkatkan jumlah energi yang dihasilkan secara signifikan. Hal tersebut menekankan bahwa perencanaan sistem PLTS tidak hanya berfokus pada sudut kemiringan, tetapi juga harus mengakomodasi variabel lingkungan yang memengaruhi kinerja efisiensi.

2.2. Energi Baru Terbarukan

Energi baru terbarukan (EBT) merupakan sumber energi yang berasal dari proses alami yang dapat diperbarui secara berkelanjutan. Konsep ini tidak hanya mencakup energi surya tetapi juga berbagai sumber lain seperti energi angin, biomassa, dan hidro. Energi terbarukan dapat berperan penting dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang terus berkurang, serta berkontribusi pada penurunan emisi gas rumah kaca. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), EBT diharapkan dapat memenuhi 23% dari kebutuhan energi nasional pada tahun 2025 [3]. Ini menunjukkan komitmen pemerintah terhadap transisi menuju sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Di antara berbagai jenis EBT, energi surya menjadi salah satu yang paling menjanjikan, terutama di Indonesia yang memiliki iklim tropis dengan intensitas sinar matahari yang tinggi. Menurut data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Indonesia memperoleh rata-rata radiasi matahari sekitar 4,8 kWh/m²/hari, sehingga sangat potensial untuk penerapan teknologi energi surya [10]. Dengan memanfaatkan potensi ini, Indonesia dapat mengembangkan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga dapat mengurangi biaya energi jangka panjang.

Namun, meskipun potensi EBT, terutama energi surya, sangat besar, ada tantangan yang harus dihadapi dalam pengembangannya. Tingginya biaya awal instalasi merupakan salah satu tantangan besar dalam pengembangan PLTS. Meskipun biaya teknologi surya telah menurun secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir, perlunya insentif dan dukungan dari pemerintah untuk mendorong adopsi teknologi ini. Selain itu, terdapat juga tantangan dalam hal infrastruktur dan kebijakan yang mendukung pengembangan EBT. Faktor-faktor penting yang perlu diperhatikan meliputi ketersediaan lahan yang sesuai,

sistem penyimpanan energi yang efisien, dan kebijakan yang mendukung investasi dalam energi baru terbarukan.

Selain itu, keberhasilan pengembangan PLTS juga sangat bergantung pada partisipasi masyarakat. Peningkatan pemahaman dan kesadaran masyarakat mengenai manfaat energi baru terbarukan berperan penting dalam mendorong adopsi teknologi tersebut. Program-program pelatihan dan sosialisasi yang melibatkan masyarakat lokal dapat membantu mengurangi resistensi terhadap perubahan dan meningkatkan pemahaman tentang pentingnya beralih ke energi baru terbarukan.

2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi salah satu bentuk solusi energi terbarukan yang popularitasnya terus meningkat secara global. Sistem ini berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui teknologi *photovoltaic* (PV). Proses konversi memanfaatkan sel surya yang tersusun dari material semikonduktor, biasanya menggunakan silikon. Ketika cahaya matahari mengenai sel surya, energi foton yang terkandung dalam cahaya tersebut memicu gerakan elektron dalam bahan semikonduktor, sehingga menghasilkan energi listrik. Menurut penelitian oleh Wibowo (2022), efisiensi konversi energi dari panel surya saat ini berkisar antara 15% hingga 22%, yang bergantung pada jenis panel dan teknologi yang digunakan [11]. Ini menunjukkan bahwa meskipun ada kemajuan dalam teknologi, masih terdapat potensi untuk peningkatan efisiensi lebih lanjut.

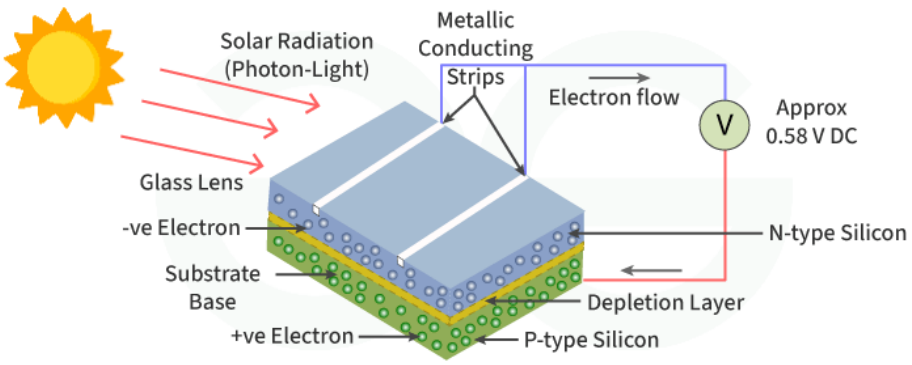
Sistem PLTS dapat dibedakan menjadi dua kategori utama yaitu *on-grid* dan *off-grid*. Sistem *on-grid* terhubung dengan jaringan listrik konvensional, memberikan keuntungan bagi pengguna untuk menjual kelebihan energi yang dihasilkan. Dalam konteks ini, pengguna tidak hanya menjadi konsumen listrik, tetapi juga produsen energi yang dapat memberikan kontribusi pada jaringan listrik. Di sisi lain, sistem *off-grid* berdiri sendiri dan tidak terhubung dengan jaringan listrik, sehingga sangat cocok untuk daerah terpencil yang tidak memiliki akses ke jaringan listrik konvensional. Sistem ini memungkinkan komunitas terisolasi mendapatkan akses ke energi listrik yang stabil dan terjangkau.

Keberlanjutan dan dampak lingkungan juga menjadi aspek penting dalam pengembangan PLTS. Dengan beralih ke sumber energi baru terbarukan seperti energi matahari, kita dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, PLTS memiliki jejak karbon yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional. Dengan karakteristiknya,

PLTS menjadi opsi yang lebih berkelanjutan dan memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah dalam memenuhi kebutuhan energi di masa mendatang.

2.3.1. Prinsip Kerja PLTS

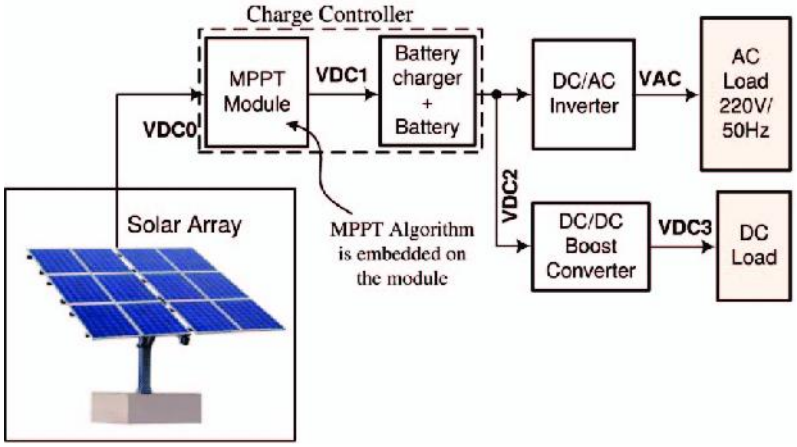
Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) beroperasi berdasarkan efek *photovoltaic*, di mana sel surya berfungsi sebagai konverter yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* adalah proses di mana interaksi spektrum cahaya dengan permukaan logam menyebabkan elektron terlepas. Proses ini merupakan prinsip dasar fisika dalam konversi energi *photovoltaic* yang mengubah energi sinar matahari menjadi listrik searah. Sinar matahari terdiri dari partikel-partikel yang dikenal sebagai foton. Masing-masing memiliki energi tertentu yang bergantung pada panjang gelombangnya, yang juga dikenal sebagai spektrum solar [12]. Ketika foton dari cahaya matahari mengenai sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor, energi foton tersebut menggerakkan elektron, menghasilkan energi listrik yang dapat dimanfaatkan.



Gambar 2.1 Proses *Photovoltaic* [12]

Penelitian oleh Tas dan van Sark (2023) menunjukkan bahwa penerapan teknologi terbaru dalam desain sel surya dan sistem pengontrol dapat meningkatkan efisiensi konversi energi secara signifikan [13]. Setelah energi listrik dihasilkan dalam bentuk arus searah (DC), arus ini perlu diubah menjadi arus bolak-balik (AC) untuk digunakan oleh peralatan listrik. Inverter merupakan komponen utama pada sistem PLTS yang berperan dalam menjalankan proses ini. Inverter tidak hanya mengubah jenis arus tetapi juga mengatur dan memantau kinerja sistem secara keseluruhan. Karuniawan (2021) menekankan pentingnya pemilihan inverter yang tepat, karena dapat mempengaruhi efisiensi sistem [14]. Inverter dengan fitur pelacakan daya maksimum (MPPT) dapat menyesuaikan kinerja untuk memastikan sistem beroperasi pada titik daya maksimum.

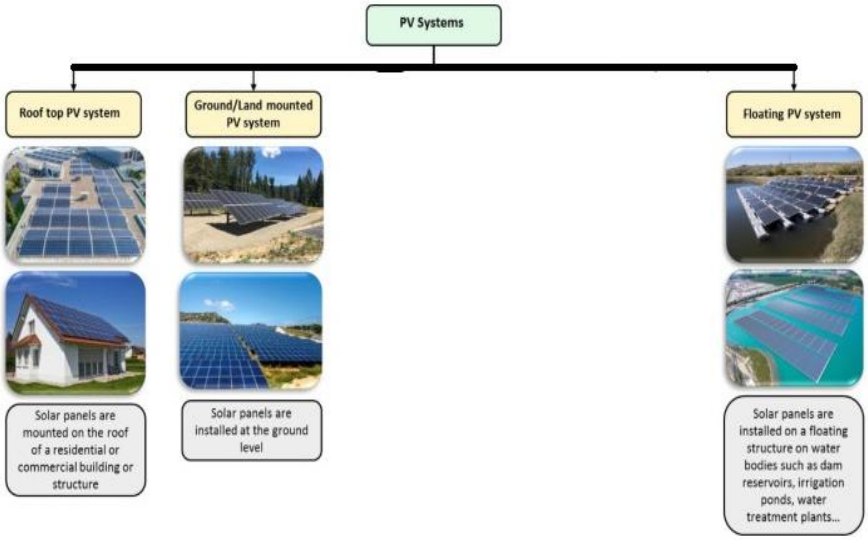
Teknologi MPPT berfungsi untuk mengoptimalkan daya keluaran panel surya dengan menyesuaikan kondisi operasional sesuai variasi intensitas cahaya matahari. Dengan demikian, sistem dapat mencapai output daya maksimum meskipun ada fluktuasi pencahayaan. Sebagai contoh, pada hari mendung, teknologi ini berperan dalam meningkatkan efisiensi operasional sistem dan mengurangi kehilangan daya [11].



Gambar 2.2 Konversi arus DC menjadi AC pada Panel Surya [13]

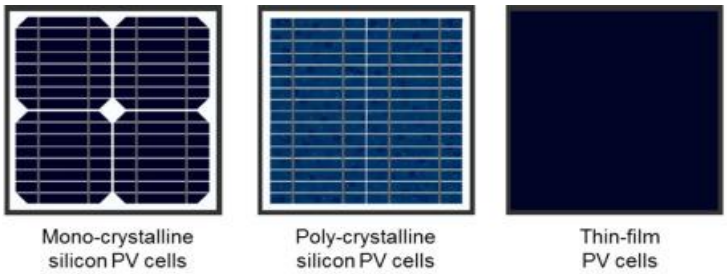
2.3.2. Jenis-jenis PLTS

PLTS dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan lokasi pemasangan, teknologi, dan konfigurasi sistem. Jenis yang paling umum adalah PLTS darat (*ground-mounted*), PLTS atap (*rooftop*), dan PLTS terapung (*floating*). PLTS darat biasanya dibangun di area luas dan dirancang untuk menghasilkan daya dalam skala besar, sedangkan PLTS atap dipasang di atap bangunan untuk memenuhi kebutuhan energi lokal [15]. PLTS terapung merupakan inovasi terbaru yang memanfaatkan waduk atau danau sebagai lokasi instalasi panel surya. Jenis ini tidak hanya mengurangi penggunaan lahan tetapi juga dapat meningkatkan efisiensi panel karena pendinginan alami dari air. Penelitian oleh Octavianti et al. (2018) menunjukkan bahwa intensitas radiasi matahari di wilayah tertentu dapat dioptimalkan dengan menggunakan panel terapung, yang menawarkan potensi besar untuk pengembangan energi surya di Indonesia [10].



Gambar 2.3 Sistem Instalasi PLTS [12]

Selain itu, PLTS juga dapat dibedakan berdasarkan teknologi sel surya yang digunakan, seperti sel monocrystalline, polycrystalline, dan thin-film. Setiap jenis memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing dalam hal efisiensi, biaya, dan aplikasi. Sel surya monokristal terdiri dari rangkaian p-n Junction, yang memiliki tingkat kemurnian yang sangat tinggi, yaitu 99,9%, sehingga menjadikan sel surya ini lebih mahal dibandingkan jenis lainnya. Selain itu, efisiensi unit silikon monokristal saat ini merupakan yang tertinggi di kelasnya, dengan nilai efisiensi berkisar antara 16 hingga 17% [12]. Di sisi lain, panel polycrystalline, yang terdiri dari beberapa kristal silikon, menawarkan biaya produksi yang lebih rendah tetapi dengan efisiensi yang sedikit lebih rendah, sekitar 13-16% [12]. Hal ini menjadikannya pilihan yang lebih ekonomis untuk proyek-proyek berskala besar. Sedangkan teknologi *photovoltaic* yang menggunakan lapisan tipis atau thin film menghasilkan jenis baru bernama Amorphous Silicon. Material ini memiliki ketebalan yang sangat tipis, yakni sekitar 10 µm saat digunakan sebagai modul surya, dengan efisiensi antara 6% hingga 9% [12]. Pemilihan jenis panel yang tepat sangat penting untuk mencapai tujuan efisiensi dan biaya dalam proyek PLTS.



Gambar 2.4 Jenis Teknologi Sel Surya [16]

2.3.3. Struktur Panel Surya (Solar Cell)

Panel surya (modul *photovoltaic*) tersusun atas beberapa lapisan yang dirancang untuk mengoptimalkan konversi radiasi matahari menjadi energi listrik sekaligus melindungi sel surya dari kerusakan. Setiap lapisan memiliki fungsi spesifik yang krusial.

a. Lapisan kaca depan (*Tempered Glass*), biasanya terbuat dari kaca tempered setebal ±3,2 mm, tidak hanya melindungi sel surya dari benturan dan debu, tetapi juga memastikan transmisi cahaya yang tinggi, sehingga memaksimalkan efisiensi konversi energi [16]. Kaca ini dirancang untuk tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem, termasuk paparan radiasi UV yang berpotensi merusak.
b. Lapisan *encapsulant* atau laminasi, yang terbuat dari EVA (Ethylene Vinyl Acetate), berfungsi untuk merekatkan sel surya dan memberikan perlindungan terhadap kelembapan dan guncangan. Kestabilan termal EVA sangat penting untuk menjaga kualitasnya dalam jangka panjang, mencegah penguningan atau retak yang dapat mengurangi efisiensi [16].
c. Lapisan *backsheet* berfungsi untuk melindungi bagian belakang panel dari kelembapan dan kerusakan mekanis. Material polimer yang tahan terhadap UV dan cuaca dipilih untuk memastikan daya tahan serta keandalan [16].
d. Sel surya (*Photovoltaic*) itu sendiri adalah inti dari sistem, yang mengubah cahaya menjadi listrik melalui efek fotovoltaik. Sel ini terbuat dari silikon monokristalin atau polikristalin, masing-masing dengan karakteristik efisiensi dan biaya yang berbeda. Pemilihan jenis silikon ini sangat mempengaruhi kinerja dan biaya keseluruhan dari panel surya.
e. Bingkai panel (*Frame*), umumnya terbuat dari aluminium anodized, memberikan struktur yang kuat dan mendukung pemasangan. Bingkai ini juga memberikan kontribusi signifikan terhadap daya tahan panel [16].
f. Kotak sambungan (*Junction Box*) di bagian belakang panel mengandung terminal sambungan listrik dan dioda bypass. Dioda ini sangat penting untuk mengurangi kerugian daya akibat bayangan parsial yang dapat terjadi pada panel surya [16].

Jika struktur dirancang dengan baik, panel surya dapat bertahan lebih dari 25 tahun dengan penurunan kinerja tahunan yang minimal, menjadikannya investasi yang berkelanjutan dalam energi terbarukan [12]. Analisis mendalam terhadap setiap komponen ini menunjukkan betapa pentingnya desain dan pemilihan material yang tepat.

Gambar 2.5 Struktur *Solar Cell* [13]

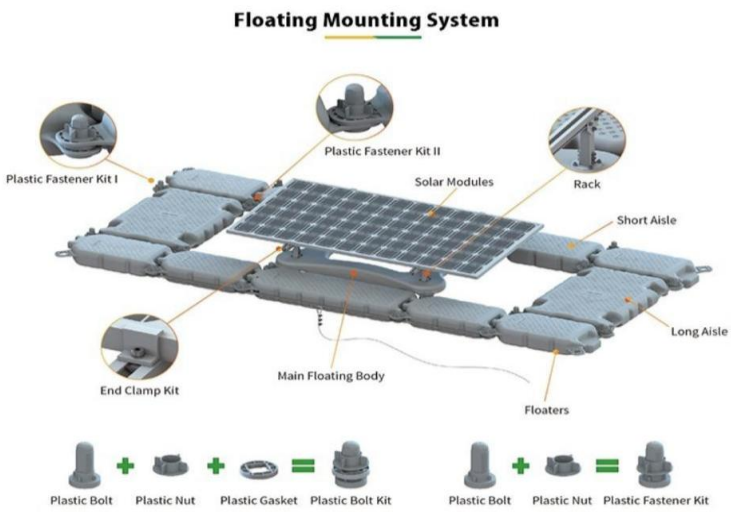
2.3.4. *Floating PV Mounting System*

Sistem penopang PV (*PV mounting system*) memainkan peran penting dalam menjaga efisiensi dan keberlanjutan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terapung. Desain struktur penopang harus mampu menahan beban yang dihasilkan oleh faktor-faktor lingkungan seperti angin, gelombang, dan variasi permukaan air. Misalnya, penggunaan bahan HDPE untuk floaters memberikan ketahanan terhadap UV dan kelembapan, yang sangat penting dalam penggunaan diatas permukaan air [17].

Rail dan clamp tidak hanya berfungsi sebagai alat pemasangan, tetapi juga sebagai pengaman yang memastikan panel tetap stabil dalam berbagai kondisi cuaca. Pemilihan jenis *clamp* yang tepat, baik untuk posisi tengah maupun ujung, sangat mempengaruhi kekuatan ikatan [18]. Penelitian menunjukkan bahwa sistem *rail* yang lebih ringan tetapi tetap kokoh dapat mengurangi beban struktural tanpa mengorbankan keamanan.

Sistem penyesuaian sudut yang memungkinkan perubahan kemiringan panel, merupakan inovasi penting dalam meningkatkan efisiensi konversi energi. Perubahan yang dilakukan berdampak pada Performance Ratio (PR) sekaligus memengaruhi jumlah total energi yang diproduksi [7]. Mekanisme yang dapat diatur, secara manual maupun otomatis, memberi kemampuan PLTS terapung untuk beradaptasi terhadap perbedaan musim dan intensitas cahaya.

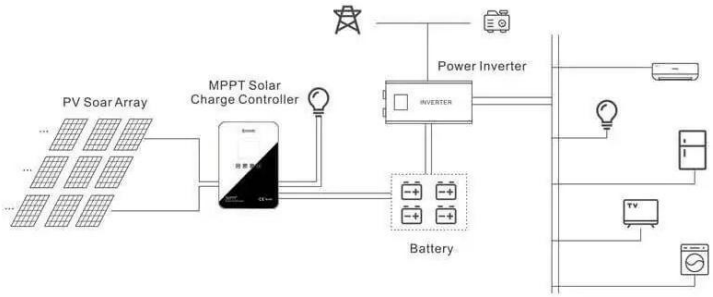
Mooring (tambatan) dan *anchoring* (penahan) menjadi aspek penting dalam memastikan stabilitas PLTS terapung. Oleh karena itu, desain yang mempertimbangkan arah angin dominan dan variasi permukaan air sepanjang tahun sangat penting untuk mencegah pergerakan yang berlebihan. Pemilihan material yang tahan korosi, seperti pelapisan anodizing atau galvanizing, sangat penting untuk memperpanjang umur komponen logam [17].



Gambar 2.6 *Floating PV Mounting System* [17]

2.3.5. Inverter

Inverter berperan mengonversi arus searah (DC) yang dihasilkan panel surya (PV) menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh peralatan listrik atau, pada sistem on-grid, disalurkan ke jaringan listrik. Dalam sistem off-grid, inverter juga sering digunakan untuk mengelola interaksi dengan baterai inverter/charger (fungsi dua arah) serta memberikan kontrol prioritas beban, perlindungan, dan komunikasi pemantauan. Inverter secara langsung dapat mempengaruhi efisiensi, keandalan, dan skala system [19].



Gambar 2.7 Konfigurasi Inverter PV Sistem *Off-Grid* [19]

Jenis inverter terbagi dalam 3 kategori, antara lain :

- String Inverter
- Central Inverter
- Hybrid Inverter

Dalam sistem PLTS terapung *off-grid*, *string inverter* ideal digunakan pada desain tersegmentasi, sementara *central inverter* menawarkan efisiensi tinggi untuk kapasitas besar tetapi berpotensi mengalami titik kegagalan tunggal. *Hybrid inverter* menjadi

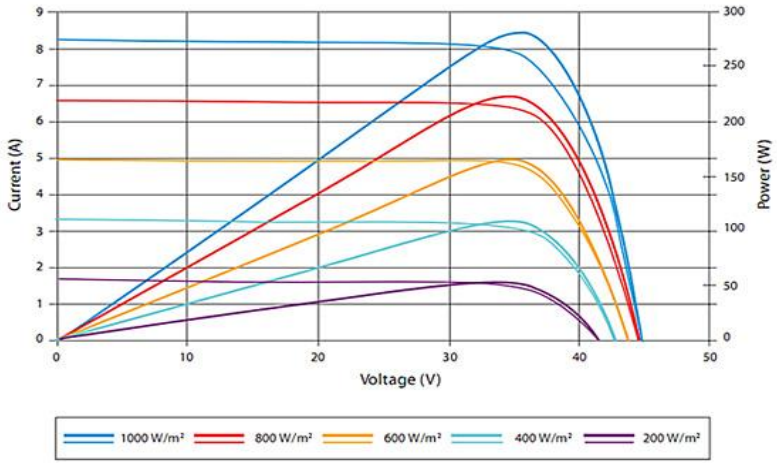
pilihan tepat pada proyek *off-grid* karena dapat mengintegrasikan pengelolaan DC array, baterai, dan beban AC dalam satu unit [19].

Gambar 2.8 Tipe PV Inverter [19]

Penentuan kapasitas panel surya, konfigurasi seri atau paralel antar panel, serta pengaturan orientasi dan sudut kemiringannya perlu dilakukan secara cermat. Ketelitian dalam proses ini sangat penting untuk memastikan tegangan nominal yang dihasilkan oleh sistem panel surya sesuai dengan karakteristik optimal tegangan input yang diperlukan oleh inverter. Tegangan nominal yang diperoleh dari inverter ini berperan penting dalam menentukan efisiensi inverter, yang akan memengaruhi efisiensi keseluruhan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang direncanakan atau dipasang.

2.3.6 *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*

MPPT adalah teknik optimisasi yang bertujuan untuk memaksimalkan daya keluaran dari panel surya dengan mengatur titik operasi (tegangan dan arus) pada nilai yang paling efisien. Algoritma MPPT seperti Perturb and Observe (P&O) dan Incremental Conductance (IncCond) memungkinkan sistem untuk menanggapi perubahan radiasi matahari dan suhu secara langsung [20]. Penerapan MPPT dalam sistem off-grid pada PLTS terapung sangat penting, mengingat fluktuasi suhu permukaan air dan tingkat radiasi dapat memengaruhi titik daya maksimum dari panel surya tersebut, untuk memastikan efisiensi optimal dalam pengoperasian panel surya.



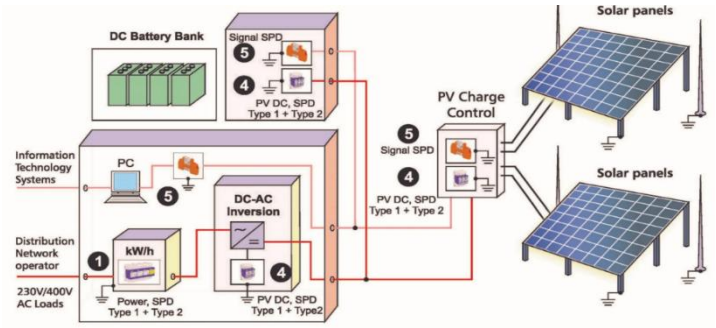
Gambar 2.9 Contoh Algoritma MPPT [20]

2.3.7. *Surge Protection Device (SPD)*

Surge Protection Device (SPD) adalah alat perlindungan yang sangat penting dalam system PLTS. Fungsi utama SPD adalah untuk melindungi sistem dari lonjakan tegangan yang dapat terjadi akibat sambaran petir, baik yang mengenai secara langsung maupun melalui induksi [21]. Selain itu, SPD juga berperan dalam melindungi sistem dari gangguan *switching* yang mungkin terjadi pada jaringan listrik.

Pada kondisi terjadi lonjakan tegangan, SPD akan mengalirkan arus kelebihan ke tanah melalui mekanisme pembumian. Hal ini sangat penting karena dapat mencegah kerusakan pada inverter dan komponen elektronik lainnya yang ada dalam sistem PLTS. Pada daerah dengan tingkat kerawanan petir yang tinggi, SPD dapat menjadi komponen vital dalam PLTS untuk menghindari kerusakan yang dapat menyebabkan pengeluaran perbaikan signifikan.

Penempatan SPD yang strategis pada jalur DC dan AC juga memiliki dampak yang besar terhadap umur peralatan. Dengan mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan serius, SPD tidak hanya melindungi investasi awal tetapi juga memperpanjang masa pakai sistem PLTS secara keseluruhan [21]. Misalnya, dalam sebuah studi kasus, sebuah PLTS terapung yang dilengkapi dengan SPD mengalami penurunan frekuensi kerusakan komponen hingga 40% dibandingkan dengan sistem yang tidak menggunakan SPD.

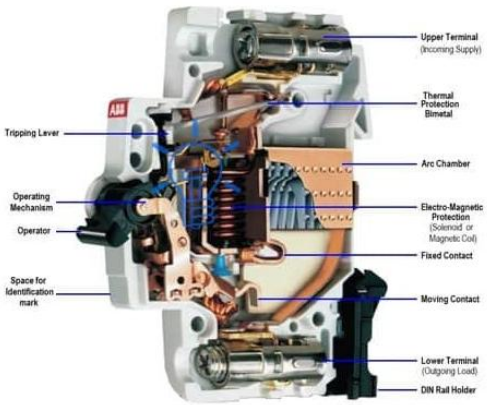


Gambar 2.10 Diagram Instalasi *SPD* [21]

2.3.8. *Miniature Circuit Breaker (MCB)*

Miniature Circuit Breaker (MCB) merupakan sakelar otomatis yang memiliki peran penting dalam sistem kelistrikan, khususnya pada PLTS. Fungsi utamanya adalah memutus aliran listrik saat terjadi kondisi berbahaya seperti *overload* atau *short circuit*. Ketika arus melebihi kapasitas yang dapat dikendalikan, MCB secara otomatis akan memutus aliran tersebut, mencegah kerusakan pada peralatan dan mengurangi risiko kebakaran [22]. Dalam PLTS, MCB melindungi jalur distribusi listrik dari panel surya ke inverter dan dari inverter ke beban.

Pemilihan rating MCB harus disesuaikan dengan kapasitas arus nominal sistem. Misalnya, jika sistem dirancang untuk arus maksimum 10 ampere, MCB sebaiknya memiliki rating sedikit lebih tinggi, seperti 12 ampere, untuk menghindari arus terputus akibat I nominal MCB dibawah atau setara dengan I maksimum sistem. Selain itu, perlu mempertimbangkan *derating* akibat suhu lingkungan. Dalam suhu tinggi, kinerja MCB dapat menurun, sehingga rating lebih tinggi mungkin diperlukan untuk keamanan system [22].



Gambar 2.11 Mekanisme MCB [22]

2.3.9. Kabel

Kabel adalah elemen penting dalam sistem PLTS karena berfungsi sebagai penghantar energi listrik dari panel surya ke *combiner box*, inverter, dan beban. Pada PLTS terapung, kabel harus menghadapi kondisi lingkungan yang lebih berat dibanding instalasi darat, seperti paparan radiasi UV tinggi, kelembapan, gerakan gelombang, dan risiko korosi oleh air [23]. Oleh karena itu, pemilihan kabel harus memperhatikan klasifikasi, nomenklatur, dan spesifikasi teknis yang sesuai dengan standar.

1. Kabel pada PLTS terapung dibagi menjadi:
   a. Kabel DC: Menghubungkan modul surya ke combiner box atau MPPT/inverter dengan karakteristik isolasi ganda, tahan UV, dan korosi.
   b. Kabel AC: Menyalurkan daya dari inverter ke panel distribusi dengan isolasi tahan cuaca.
   c. Kabel Data dan Kontrol: Untuk sistem monitoring menggunakan kabel STP atau fiber optik.
2. Nomenklatur Kabel untuk PLTS Terapung

Mengacu pada standar IEC 62930 atau TÜV 2PfG 1169/08.2007, contoh kabel umum untuk PLTS terapung, antara lain :

   a. PV1-F: Konduktor tembaga bertimah, tegangan nominal 1,5 kV DC, dengan isolasi XLPO yang tahan terhadap radiasi UV
   b. H1Z2Z2-K: EN 50618, 1,5 kV DC, tahan kelembapan.
   c. NYAF/NYA: SNI 04-6629.3-2007, konduktor tembaga, isolasi PVC.
3. Pertimbangan Khusus Pemilihan Kabel untuk PLTS Terapung

Kabel yang digunakan pada PLTS terapung wajib memiliki ketahanan air dengan rating IP68, fleksibel terhadap pembelokan, serta dipasang menggunakan *cable ties* tahan UV dengan pelindung tambahan seperti *flexible conduit* untuk menghindari abrasi [23].

Gambar 2.12 Kabel Untuk PV System [18]

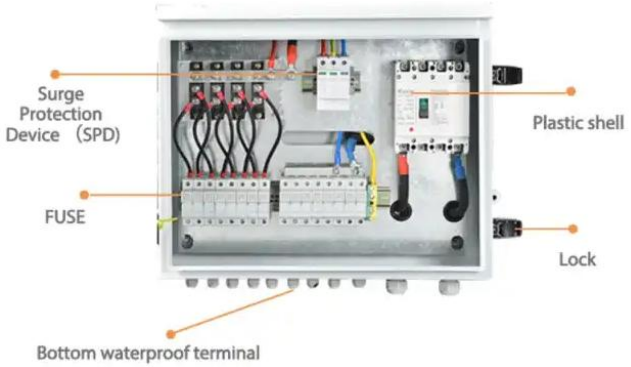
2.3.10. *Combiner Box*

Kotak penggabung (*combiner box*) adalah panel listrik yang berfungsi untuk menyatukan output dari beberapa string panel surya menjadi satu keluaran positif dan negatif yang lebih besar sebelum disalurkan ke inverter atau panel distribusi DC. Pada sistem PLTS terapung, fungsi kotak penggabung memegang peranan penting karena:

1. Mengurangi jumlah kabel yang panjang — keluaran beberapa string digabungkan sehingga kabel utama ke inverter lebih sedikit dan lebih rapi.
2. Memberikan proteksi listrik karena dilengkapi perangkat proteksi seperti fuse, MCB atau DC circuit breaker, serta Surge Protection Device (SPD) untuk melindungi sistem dari arus lebih, hubungan singkat dan lonjakan tegangan akibat petir.
3. Memudahkan pemeliharaan, menyediakan titik akses untuk *troubleshooting* bila ada string yang bermasalah.

Combiner Box biasanya terdiri dari :

a. Terminal blok DC yang berfungsi untuk menghubungkan kabel positif dan negatif dari tiap string.
b. Sekering (Fuse) DC berfungsi melindungi masing-masing string dari arus balik (*reverse current*).
c. MCB/DC *isolator switch* berfungsi untuk memutus arus DC secara manual saat perawatan.
d. SPD (*Surge Protection Device*) berfungsi melindungi dari lonjakan tegangan transien akibat petir atau switching.
e. Grounding bar bekerja dengan menghubungkan sistem ke pembumian (*earthing system*) untuk keselamatan dan proteksi peralatan.



Gambar 2.13 *Combiner Box* [23]

2.4. Perhitungan Sistem PLTS

2.4.1. Perhitungan Sudut Optimal dan Sudut Kemiringan

Menghitung sudut optimal dan sudut kemiringan panel perlu memperhatikan rumus fisika dan geometri matahari, serta menghitung *irradiance* pada bidang miring, bagaimana menentukan sudut optimal secara teori dan praktis (menggunakan simulasi). Hitungan geometri matahari untuk tiap jam/menit:

1) Deklinasi matahari δ (derajat), rumus aproksimasi:

$$\delta = 23{,}45° \sin\left[360° x \frac{284 + N}{365}\right] \quad (2.1)$$

dimana :

n = hari ke-…. dalam tahun

2) Hour angle (ω) (derajat) :

$$\omega = 15^{\circ} \times (t_s olar - 12^{\circ}) \quad (2.2)$$

dimana :

ω = sudut jam

t_{solar} = waktu matahari (jam decimal), pada tengah hari lokal $t_{solar} = 12 \rightarrow \omega = 0^o$

3) Sudut zenit (θ_z)

30 $$\cos\theta_z = \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \cos\omega \quad (2.3)$$

dimana ϕ = lintang lokasi (positif utara, negatif selatan)

4) Sudut azimuth

5 $$\cos\theta = \sin\delta \sin\phi \cos\beta - \sin\delta \cos\phi \sin\beta \cos\gamma s + \cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos\omega + \cos\delta \sin\phi \sin\beta \cos\gamma s \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma s \sin\omega \quad (2.4)$$

Jika permukaan menghadap equator, azimuth $\gamma s = 0^o$, menghadap selatan di belahan selatan, rumusnya disederhanakan menjadi :

25 $$\cos\theta = \sin\delta \sin(\phi - \beta) + \cos\delta \cos(\phi - \beta) \cos\omega \quad (2.5)$$

5) Irradiasi langsung pada permukaan miring

Jika tersedia data beam horizontal I_b,h atau beam normal I_b,n, maka :

$$I_{b,tilt}(t) = I_{b,n}(t) \cdot \cos\theta(t) \quad (2.6)$$

atau jika pakai $I_{b,h}$:

$$I_{b,tilt}(t) = I_{b,h}(t) \cdot \cos\theta(t) \cos\theta_z(t) \quad (2.7)$$

6) Energi harian/bulanan/tahunan

$$E_{month}(\beta) = \sum_{hari \in bulan} \sum_{t=jam} G_{POA}(t,\beta) \cdot \Delta t \quad (2.8)$$

2.4.2. Perhitungan Kapasitas PLTS

1) Kapasitas PV yang dibutuhkan (Wp)

Kapasitas PLTS dihitung untuk memastikan sistem mampu menyediakan energi harian sesuai kebutuhan beban. Persamaan yang digunakan Adalah

$$P_{PV} = \frac{EHarian}{PSH \ x \ \eta Sistem} \quad (2.9)$$

dimana:

P_{PV} = kapasitas PV yang diperlukan (Wp).

E_{harian} = energi yang dibutuhkan per hari (Wh/day).

PSH = Peak Sun Hours (jam ekuivalen penuh, h/day).

η_{sistem} = efisiensi keseluruhan sistem (fraksi, mis. 0{,}75–0{,}90)

2) Jumlah Modul

Untuk mencapai kapasitas total yang telah ditentukan, jumlah modul diperhitungkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$N_{Modul} = \frac{\lceil Ppv \rceil}{Pmodul} \quad (2.10)$$

dimana :

P_{modul} = daya tertera modul (Wp).

$\lceil \cdot \rceil$ = pembulatan ke atas ke integer terdekat

3) Daya Nominal

$$P_{inv} \geq P_{AC,peak} \times safety_factor \quad (2.11)$$

dimana :

$P_{AC,peak}$ = total beban AC puncak (W)

safety factor = 1,1–1,3 (umumnya 1,25)

2.4.5. Perhitungan Output Daya PLTS

Berikut rumus yang dapat digunakan untuk menentukan daya yang dihasilkan oleh PLTS (Watt Peak) :

$$PV\ Area = \frac{EL}{Gav \ x \ \eta PV \ x \ TCF \ x \ \eta out} \quad (2.12)$$

$$P_{WattPeak} = PV\ Array \times PSI \times \eta PV \quad (2.13)$$

PSI = Peak Solar Insolation 1000w/m^2

ηPV = Efisiensi Panel Surya

2.4.7. Perhitungan Nilai Arus dan Tegangan String

Arus dan tegangan string diperoleh dari hasil penjumlahan seri/paralel modul, dengan koreksi suhu :

$$V_{oc,temp} = V_{oc,STC}\,[1 + \alpha_{Voc}\,(Toper - 25)] \quad (2.14)$$

$$I_{sc,temp} = I_{sc,STC}\,[1 + \beta_{Isc}\,(Toper - 25)] \quad (2.15)$$

Tegangan string :

$$V_{oc,string} = Ns \times V_{oc,temp} \quad (2.16)$$

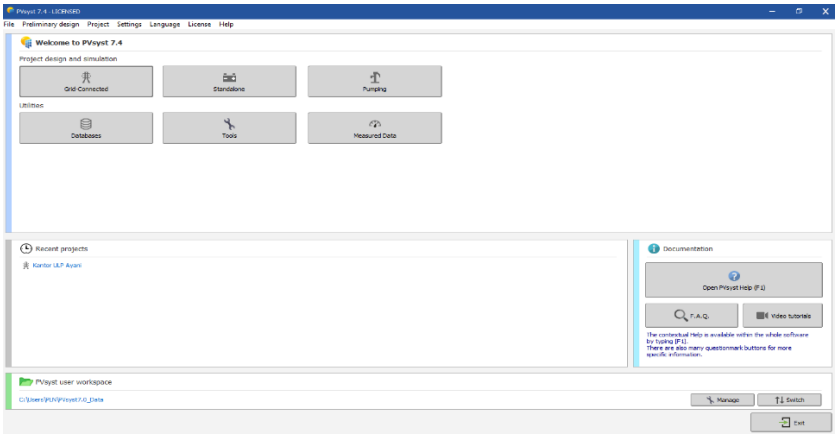
Arus string :

$$I_{sc,string} = N_p \times I_{sc,temp} \quad (2.17)$$

2.5. PVSyst

PVSyst adalah perangkat lunak yang khusus untuk analisis dan simulasi sistem *photovoltaic* (PV), termasuk sistem *off-grid* yang dapat diterapkan pada panel PLTS terapung. Perangkat ini memungkinkan pengguna untuk menghitung secara akurat produksi energi, efisiensi sistem, dan dampak berbagai parameter desain, seperti sudut kemiringan panel.

Kelebihan utama PVSyst adalah kemampuannya untuk memasukkan berbagai faktor yang mempengaruhi kinerja panel surya ke dalam perhitungannya. Penelitian menunjukkan bahwa sudut kemiringan optimal dapat meningkatkan efisiensi penangkapan sinar matahari, sehingga meningkatkan produksi energi [24]. PVSyst juga memodelkan dampak bayangan dan suhu, penting untuk sistem di Waduk Riam Kanan yang memiliki kondisi lingkungan yang dinamis. Penggunaan PVSyst dalam perancangan sistem PLTS terapung tidak hanya mendukung perhitungan teknis, tetapi juga memberikan wawasan tentang penghematan biaya dan pengurangan emisi karbon, sejalan dengan tujuan keberlanjutan global.



Gambar 2.14 Tampilan *Interface* PVSyst

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1. Tempat Penelitian

Lokasi penelitian yaitu di Waduk Riam Kanan yang ada di Kecamatan Aranio, Kabupaten Banjar, Provinsi Kalimantan Selatan yang terletak pada titik koordinat -3.518499, 115.009202.

Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.2. Metode Penelitian

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif, yaitu suatu pendekatan ilmiah yang terstruktur untuk menganalisis bagian-bagian serta fenomena beserta hubungan-hubungannya. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengembangkan dan menerapkan model matematis, teori, dan hipotesis yang berkaitan dengan fenomena alam [25]. Pendekatan kuantitatif umumnya melibatkan sejumlah variabel yang telah ditentukan. Penelitian kuantitatif ini dilakukan dengan mengumpulkan data dari variabel terikat melalui wawancara dengan *Person In Charge* (PIC) yang memiliki pengetahuan relevan tentang objek penelitian, serta memperoleh estimasi data yang diperlukan. Sementara itu, data untuk variabel bebas diperoleh melalui studi literatur dan analisis dari penelitian sebelumnya untuk memastikan hasil yang relevan.

3.3. Sumber Data

Data primer merupakan informasi yang dihimpun secara langsung melalui interaksi dengan sumbernya. Dalam konteks penelitian kuantitatif, metode yang paling umum digunakan untuk mengumpulkan data primer adalah melalui survei dan eksperimen [25]. Dalam penelitian ini, data primer diolah dengan melakukan wawancara dan observasi langsung terhadap subjek yang diteliti.

Data sekunder adalah informasi yang telah tersedia sebelumnya, yang diperoleh dari sumber tidak langsung atau tangan kedua, seperti dokumen resmi lembaga terkait atau referensi yang tersedia di perpustakaan. Pemilihan jenis data yang akan digunakan dalam penelitian sangat bergantung pada beberapa faktor, termasuk tujuan penelitian, serta batasan waktu dan sumber daya yang ada [26]. Secara umum, memperoleh data primer memakan waktu lebih banyak dan menuntut biaya yang relatif besar. Dalam penelitian ini, data sekunder dikumpulkan melalui pendekatan literatur, termasuk buku, jurnal penelitian sebelumnya yang relevan, serta data simulasi yang dihasilkan oleh perangkat lunak atau publikasi yang terkait.

3.4. Jenis Data

Data kualitatif memiliki karakteristik induktif, yaitu analisis yang didasarkan pada informasi yang dikumpulkan dan kemudian dikembangkan menjadi hipotesis [27]. Dalam penelitian ini, data kualitatif berupa analisis komponen yang diperoleh melalui metode observasi, wawancara dan dokumentasi yang terfokus. Sedangkan data kuantitatif bersifat deduktif, verifikatif, dan mengikuti alur yang linier [26]. Data kuantitatif didapatkan dari sumber-sumber seperti buku, jurnal, dan publikasi lain yang relevan dengan tujuan penelitian yang sedang dilakukan.

3.5. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang akan diterapkan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan yang melibatkan data dari variabel terikat dan variabel bebas. Tujuannya adalah untuk menghitung potensi energi yang dapat dihasilkan oleh PLTS terapung dari rancangan PLTS terapung system *off-grid*. Melalui metodologi yang digunakan, diharapkan dapat dihitung potensi energi listrik yang dapat dioptimalkan dari PLTS terapung di Waduk Riam Kanan.

Dalam proses pengumpulan data, penulis memanfaatkan sumber data primer, di mana data primer ini diperoleh langsung dari sumbernya melalui metode pengukuran dan

perhitungan yang dilakukan sendiri, baik dalam bentuk observasi, wawancara, maupun metode lainnya. Untuk menyelesaikan tugas akhir ini, penulis mengimplementasikan empat metode, yaitu :

1. Teknik Observasi

Teknik Observasi adalah metode pengumpulan data yang dilakukan dengan cara mengamati kegiatan yang sedang berlangsung. Observasi ini dilakukan karena memberikan manfaat yang signifikan untuk mendukung penelitian, sehingga dapat memperkuat data yang terkumpul. Dalam penelitian ini, penulis memperoleh data melalui observasi di lokasi Waduk Riam Kanan.

2. Teknik Wawancara

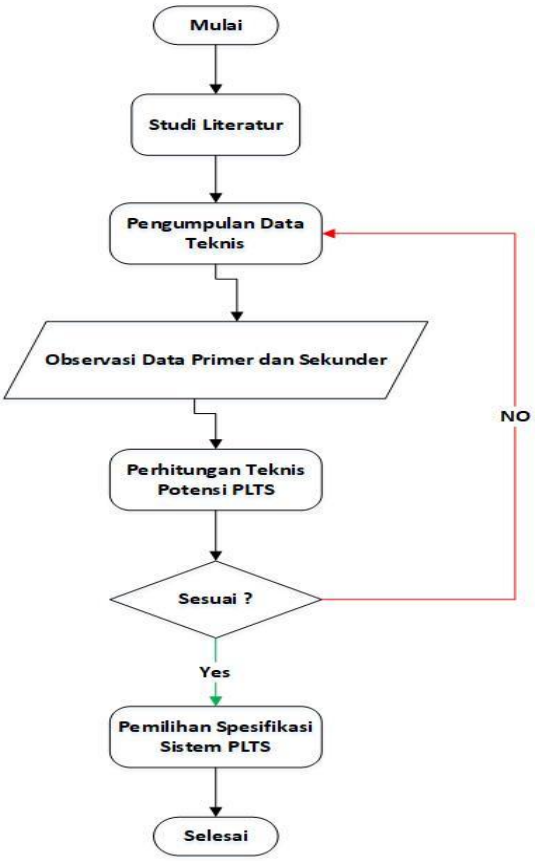
Teknik Wawancara adalah metode pengumpulan data yang dilakukan secara lisan dalam bentuk pertemuan tatap muka secara individual, dengan tujuan untuk menggali informasi mengenai permasalahan yang sedang diteliti. Dalam penelitian ini, wawancara digunakan untuk memperoleh data yang berhubungan dengan pihak *team leader* yang terkait dengan topik penelitian, guna mendapatkan informasi yang relevan di lapangan.

3. Teknik Dokumentasi

Teknik Dokumentasi merupakan proses pengumpulan dan pengambilan data yang berbentuk catatan, buku, foto, dan dokumen lainnya. Dokumen yang relevan dengan penelitian ini berupa gambar yang bertujuan untuk mengabadikan informasi yang diperlukan dalam proses pengumpulan data.

4. Teknik Studi Pustaka

Teknik ini melibatkan pembelajaran dari buku-buku, jurnal, dan sumber-sumber lain yang berkaitan dengan masalah yang ingin dipecahkan. Penulis melakukan pembacaan pustaka yang relevan dengan penelitian ini, baik dalam bentuk teks, angka, maupun gambar, untuk memperoleh data yang akan mendukung analisis yang dilakukan.



Gambar 3.2 Alur Penelitian

Berdasarkan diagram alir diatas, penelitian ini akan dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Melakukan studi literatur untuk mencari informasi serta referensi yang relevan dengan penelitian ini, baik dari sumber tertulis maupun tidak tertulis seperti buku, jurnal, dan data lainnya. Tujuan dari langkah ini adalah untuk memperoleh data mengenai variabel bebas yang akan digunakan dalam perancangan teknis pembuatan PLTS terapung, serta untuk menyusun langkah-langkah sistematis dalam menghitung potensi energi yang dapat dihasilkan.
2. Mengumpulkan data teknis dari objek penelitian guna mendapatkan data kualitatif. Data ini akan diperoleh melalui teknik wawancara dan observasi. Teknik wawancara dilakukan dengan cara berinteraksi secara mendalam melalui tanya jawab dengan pihak-pihak yang memiliki relevansi dengan penelitian, sedangkan teknik observasi melibatkan pengamatan yang sistematis dan pencatatan terhadap fenomena yang sedang diteliti.
3. Data yang diperoleh dari studi literatur akan berfungsi sebagai data sekunder, sementara pengumpulan data teknis akan menjadi data primer. Kedua jenis data ini kemudian akan diproses untuk memastikan PLTS yang dirancang dan disimulasikan

akan memiliki pendekatan yang tepat terhadap rumusan masalah yang ada dalam penelitian.

4. Dari hasil pemrosesan yang dilakukan pada poin ketiga, selanjutnya dilakukan perancangan desain simulasi PLTS menggunakan *software* PVSyst.
5. Perancangan teknis sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini disusun berdasarkan rumusan masalah yang ada, dengan pendekatan angka yang mempertimbangkan batasan masalah.
6. Setelah seluruh alur pelaksanaan penelitian selesai, kesimpulan dan saran dapat ditarik berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.

JADWAL KEGIATAN

No	Kegiatan	Juni				Juli				Agustus			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pengarahan Skripsi												
2	Pengajuan Judul												
3	Penentuan Rumusan Masalah												
4	Bimbingan I												
5	Seminar Proposal												
6	Bimbingan & Revisi												
7	Studi Literatur, Data Lapangan												
8	Analisa Data												
9	Bimbingan II												
10	Penyusunan akhir Skripsi												
11	Bimbingan III												
12	Ujian Skripsi												
13	Revisi Sripsi												

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perencanaan PLTS

Lokasi perencanaan PLTS terapung dengan system *off-grid* ini yaitu di Waduk Riam Kanan, Kecamatan Aranio, Kabupaten Banjar, Provinsi Kalimantan Selatan yang terletak pada koordinat -3.518499, 115.009202. Waduk ini memiliki luas daerah aliran hujan sebesar 1.043.000 m^2, dengan luas permukaan air waduk 92 m^2. Namun luas waduk yang dapat dimanfaatkan untuk media instalasi PLTS Terapung tidak lebih dari 3.076 m^2 agar tetap memenuhi regulasi yang diatur dalam Peraturan Menteri PUPR Nomor 6 Tahun 2020 dimana batas maksimum pemanfaatan area waduk untuk pembangkit listrik EBT Adalah 5% dari total luas muka air.

Gambar 4.1 Waduk Riam Kanan

Dalam perencanaan PLTS terapung system *off-grid* di Waduk Riam Kanan ini, analisis potensi energi surya dilakukan dengan memanfaatkan data radiasi matahari yang diperoleh dari perangkat lunak PVsyst 7.4.0 yang terintegrasi dengan basis data Meteonorm 8.1.

Site **Riam Kanan (Indonesia)**

Data source Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100%

	Global horizontal irradiation	Horizontal diffuse irradiation	Temperature	Wind Velocity	Linke turbidity	Relative humidity
	kWh/m²/mth	kWh/m²/mth	°C	m/s	[-]	%
January	154.6	82.5	27.0	1.61	3.590	83.7
February	142.8	75.9	27.2	1.59	3.636	83.6
March	148.4	83.5	27.3	1.59	3.446	83.0
April	149.5	71.2	27.2	1.50	3.313	84.2
May	147.4	63.5	28.0	1.50	3.354	80.4
June	129.6	69.9	27.0	1.39	3.523	81.9
July	145.8	70.4	27.1	1.40	3.591	78.0
August	154.8	75.5	27.5	1.71	3.824	72.9
September	150.1	77.8	27.6	1.80	4.168	73.2
October	152.9	83.5	28.1	1.70	4.276	74.7
November	152.2	83.2	27.2	1.60	3.917	82.9
December	152.4	81.1	27.0	1.71	3.498	84.2
Year	**1780.5**	**917.9**	**27.4**	**1.6**	**3.678**	**80.2**

Global horizontal irradiation year-to-year variability 5.5%

Gambar 4.2 Kondisi Iklim di Waduk Riam Kanan

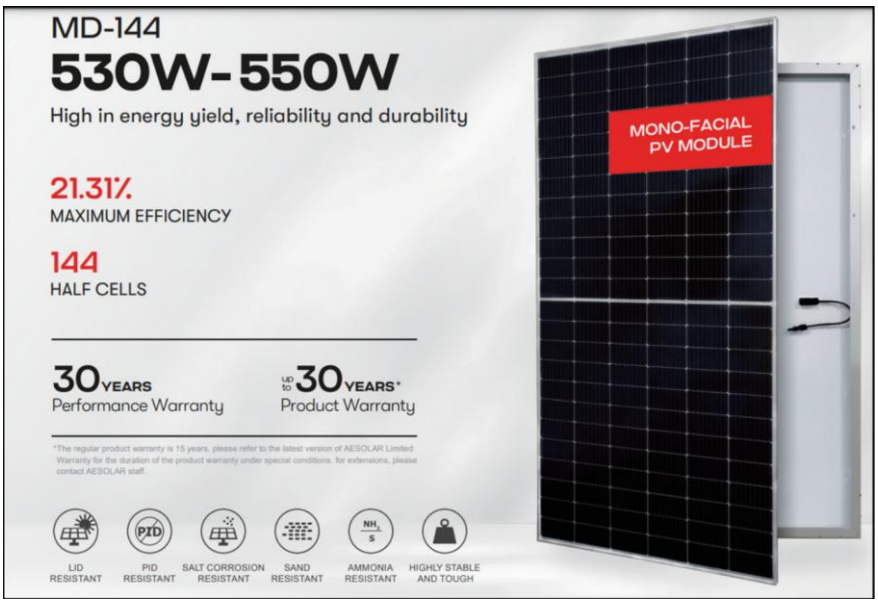
Parameter *Global Horizontal Irradiation* (GHI) menunjukkan total intensitas radiasi matahari yang diterima permukaan horizontal di bumi. Sementara itu, *Horizontal Diffuse Irradiation* menggambarkan radiasi difus yang berasal dari cahaya matahari yang dihamburkan oleh atmosfer. Temperatur merepresentasikan tingkat panas udara di lokasi penelitian, sedangkan kecepatan angin (*wind velocity*) mengindikasikan laju pergerakan udara dari daerah bertekanan tinggi menuju daerah bertekanan rendah.

Berdasarkan data pada Gambar 4.2, nilai intensitas radiasi matahari terendah tercatat pada bulan Juni, yaitu sebesar 129,6 kWh/m²/bulan, sedangkan nilai tertingginya terjadi pada bulan Agustus dengan intensitas mencapai 154,8 kWh/m²/bulan. Rata-rata intensitas radiasi matahari sepanjang tahun berada pada kisaran 148,4 kWh/m²/bulan. Untuk parameter suhu lingkungan, nilai terendah terjadi pada bulan Januari, Juni dan Desember dengan suhu 27,0°C, sementara nilai tertinggi terukur pada bulan Oktober sebesar 28,1°C. Secara umum, suhu rata-rata tahunan di lokasi penelitian adalah 27,4°C.

4.2. Perhitungan Energi

Pada perancangan ini digunakan modul surya jenis *monocrystalline* merk AE Solar model AE 550MD-144. Modul berukuran 227,8 cm x 113,3 cm x 3 cm ini terdiri dari 315 sel surya tipe *monocrystalline* dengan konfigurasi rangkaian 35 × 9 dirangkai seri dan

27 memiliki daya nominal 550 Wp. Tampilan dan spesifikasi teknis modul surya ditunjukkan pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5.



Gambar 4.3 Modul PV AE Solar MD-144

Mechanical and design specification	
Cell type	Gallium-doped Mono c-Si PERC, Half-cut cells, 182 mm
No. of cells	144
Front cover	3.2 mm glass, high transmission, AR coated, tempered
Encapsulation	EVA
Back cover	White backsheet
Junction box	IP68 rated, 3 Bypass Diodes
Frame	30 mm anodized Aluminium alloy
Cable	1 x 4 mm², 350 mm length or customized
Connectors	MC 4 / MC 4 compatible
Dimension	2278 mm x 1133 mm x 30 mm
Weight	26.5 kg
Hail resistance	Max. Ø 25 mm at 23 m/s
Wind load	2400 Pa or 244 kg/m²
Snow load	5400 Pa or 550 kg/m²

Gambar 4.4 Detail Mekanikal dan Desain Modul

Electrical specifications (STC*):		AE530MD-144	AE535MD-144	AE540MD-144	AE545MD-144	AE550MD-144
Nominal Max. Power	P_{max} (Wp)	530	535	540	545	550
Maximum operating voltage	V_{MPP} (V)	41.70	41.93	42.15	42.38	42.57
Maximum operating current	I_{MPP} (A)	12.71	12.76	12.81	12.86	12.92
Open-circuit voltage	V_{oc} (V)	49.65	49.78	49.90	50.01	51.44
Short-circuit current	I_{sc} (A)	13.47	13.52	13.57	13.62	13.67
Module efficiency	η (%)	20.53	20.73	20.92	21.12	21.31
Power tolerance	(W)			0~+5		
Maximum system Voltage	(V)			1500		
Maximum series fuse rating	(A)			25		

*STC: Standard test conditions (Irradiance 1000 W/m², Cell temperature 25°C and air mass of AM1.5), measurement tolerance P_{max}: ±3%

Electrical specifications (NMOT*):		AE530MD-144	AE535MD-144	AE540MD-144	AE545MD-144	AE550MD-144
Nominal Max. Power	P_{max} (Wp)	400	403	407	410	414
Maximum operating voltage	V_{MPP} (V)	39.30	39.50	39.70	39.90	40.10
Maximum operating current	I_{MPP} (A)	10.17	10.21	10.25	10.29	10.34
Open-circuit voltage	V_{oc} (V)	47.00	47.20	47.40	47.60	47.80
Short-circuit current	I_{sc} (A)	10.78	10.82	10.86	10.90	10.94

*NMOT: Normal Module Operating Temperature (Irradiance 800 W/m², Ambient temperature 20°C, air mass of AM1.5 and wind speed of 1 m/s)

Gambar 4.5 Spesifikasi Teknis Modul PV

Dengan konfigurasi tersebut, total daya yang dapat dibangkitkan sebesar 173 kWp, dengan luas area instalasi modul 813 m^2 dan *PV area* 751 m^2.

PV Array Characteristics

PV module		**Battery**	
Manufacturer	AE Solar	Manufacturer	BYD
Model	AE 550MD-144	Model	Battery Box Premium HVM 13.8
(Original PVsyst database)		Technology	Lithium-ion, LFP
Unit Nom. Power	550 Wp	Nb. of units	195 in parallel
Number of PV modules	315 units	Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	173 kWp	Stored energy	2246.4 kWh
Modules	35 Strings x 9 In series	**Battery Pack Characteristics**	
At operating cond. (50°C)		Voltage	256 V
Pmpp	158 kWp	Nominal Capacity	9750 Ah (C10)
U mpp	348 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	454 A		
Controller		**Battery Management control**	
Universal controller		Threshold commands as	SOC calculation
Technology	MPPT converter	Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Converter			
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	173 kWp		
Total	315 modules		
Module area	813 m²		
Cell area	751 m²		

Gambar 4.6 Detail *PV Array Characteristics*

8 Energi yang diterima modul surya berdasarkan intensitas radiasi matahari tidak sepenuhnya dapat disalurkan ke beban, karena terdapat rugi-rugi (*losses*) baik dari komponen maupun sistem. Berdasarkan hasil simulasi pada software PVsyst 7.4.0, total rugi-rugi sistem PLTS tertinggi pada rangkaian PV dengan konfigurasi sudut kemiringan 15° dengan persentase rugi-rugi system sebesar 18,41%, sedangkan untuk rugi-rugi system PLTS terendah pada rangkaian PV dengan konfigurasi susut kemiringan 30° dengan persentase rugi-rugi system sebesar 18,22%. Rugi-rugi terbesar rata-rata disebabkan oleh temperature di lokasi penelitian yang menyumbang rugi-rugi system rata-rata 9,38%. Penjelasan lengkap tentang rugi-rugi system PLTS tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 *Losses PV System*

Jenis Losses	Losses							
	%				kW			
	15	20	25	30	15	20	25	30
Irradiance	1,03%	1,06%	1,11%	1,18%	1,78	1,83	1,92	2,04
Temperature	9,58%	9,46%	9,32%	9,15%	16,57	16,37	16,12	15,83
Modules & Strings	2,15%	2,15%	2,15%	2,15%	3,72	3,72	3,72	3,72
Wiring	1,20%	1,19%	1,18%	1,16%	2,08	2,06	2,04	2,01
MPPT	4,45%	4,48%	4,52%	4,58%	7,7	7,75	7,82	7,92
Total Losses	***18,41 %***	***18,34 %***	***18,28 %***	***18,22 %***	***31,85***	***31,73***	***31,62***	***31,52***

Pada tahap ini, dilakukan analisis potensi energi yang dihasilkan modul surya berdasarkan lama penyinaran matahari yang dikenal dengan istilah *peak sun hour* (PSH). PSH digunakan untuk merepresentasikan durasi penyinaran maksimum harian yang setara dengan intensitas radiasi standar 1 kW/m², dinyatakan dalam satuan jam. Berdasarkan data intensitas radiasi bulanan yang ditampilkan pada Gambar 4.2, nilai PSH bulanan dihitung dengan membagi total intensitas radiasi bulanan (kWh/m²) dengan nilai acuan 1 kW/m², sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 *Peak Sun Hour*

Peak Sun Hour

	HSol	GlobHor	E_Avail
	°	kWh/m²	kWh
January	15601	154.6	22933
February	14872	142.8	20113
March	16828	148.4	19823
April	15271	149.5	18766
May	14430	147.4	16657
June	13276	129.6	14914
July	14072	145.8	17052
August	15273	154.8	18748
September	15979	150.1	19066
October	16643	152.9	20692
November	15295	152.2	22235
December	15264	152.4	22821
Year	182804	1780.5	233821

Hasil pengamatan pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa produksi energi tertinggi sistem PLTS terjadi pada bulan Januari. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya nilai PSH pada bulan tersebut. Nilai daya keluaran akhir, setelah dikoreksi terhadap rugi-rugi sistem, ditunjukkan pada table 4.3 yang dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$P_{Out} = P_{PV\ STC} - PV_{Losses}$

dimana :

P_{Out} = Energi Keluaran PV

$P_{PV\ STC}$ = Kapasitas Daya PV

PV_{Losses} = Rugi Sistem PV

Tabel 4.3 Energi Keluaran PV

Tilt Angle	Daya PV (kW)		
	Pin	Losses	Pout
15	173	31,85	141,15
20	173	31,73	141,27
25	173	31,62	141,38
30	173	31,52	141,48

4.3. Performance Ratio

Dalam studi kelayakan PLTS, *Performance Ratio* (*PR*) digunakan sebagai indikator utama yang menunjukkan perbandingan energi keluaran sistem setelah dikurangi rugi-rugi dengan energi yang dihasilkan pada kondisi ideal tanpa rugi-rugi. Nilai PR memberikan gambaran efisiensi kinerja tahunan PLTS. Untuk menghitung energi ideal tanpa rugi-rugi digunakan persamaan :

E_{ideal} = 550 x 148,4 x 365

dimana :

550 = daya panel PV

148,4 = PSH

365 = jumlah hari dalam 1 tahun

sehingga E_{ideal} dalam 1 tahun Adalah 29.791.300 kWh/tahun.

Selanjutnya untuk menghitung PR digunakan persamaan :

$$PR = \frac{ESistem}{Eideal}$$

Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan PR

Tilt Angle	Daya PV (kW)				
	Pin	Losses	Pout	Esistem	PR
15	173	31,85	141,15	7.645.531	0,74
20	173	31,73	141,27	7.652.031	0,74
25	173	31,62	141,38	7.657.989	0,74
30	173	31,52	141,48	7.663.406	0,74

4.4. Simulasi PLTS *Off-Grid* Menggunakan PVSyst 7.4.0

Simulasi merupakan tahap penting dalam proses perencanaan PLTS, karena memberikan gambaran performa sistem sebelum implementasi di lapangan. Pada penelitian ini, seluruh data teknis dan parameter lingkungan dimasukkan ke dalam PVsyst, termasuk konfigurasi modul surya, kapasitas penyimpanan energi, serta pengaturan inverter dan pengendali beban. PVsyst kemudian memproses data tersebut untuk menghasilkan proyeksi energi tahunan dan efisiensi sistem. Dengan mempertimbangkan hasil analisis ini, dapat dilakukan penilaian konfigurasi yang tepat untuk pengembangan PLTS terapung. Berdasarkan simulasi dengan PVSyst V7.4.0, diperoleh spesifikasi sistem PLTS yang akan digunakan sebagaimana dijelaskan berikut ini:

Project summary

Geographical Site	Situation		Project settings	
Riam Kanan	Latitude	-3.52 °S	Albedo	0.20
Indonesia	Longitude	115.01 °E		
	Altitude	79 m		
	Time zone	UTC+8		

Meteo data
Riam Kanan
Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100% - Synthetic

System summary

Standalone system		Standalone system with batteries	
PV Field Orientation		**User's needs**	
Fixed plane		Daily household consumers	
Tilt/Azimuth	15 / -140 °	Constant over the year	
		Average	530 kWh/Day

System information

PV Array		Battery pack	
Nb. of modules	315 units	Technology	Lithium-ion, LFP
Pnom total	173 kWp	Nb. of units	49 units
		Voltage	256 V
		Capacity	2450 Ah

Results summary

Useful energy from solar	183667 kWh/year	Specific production	1060 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	61.42 %
Missing Energy	9798 kWh/year	Available solar energy	245041 kWh/year	Solar Fraction SF	94.94 %
Excess (unused)	55075 kWh/year				

Gambar 4.7 *Project Summary Tilt 15°*

Project summary

Geographical Site	Situation		Project settings	
Riam Kanan	Latitude	-3.52 °S	Albedo	0.20
Indonesia	Longitude	115.01 °E		
	Altitude	79 m		
	Time zone	UTC+8		

Meteo data
Riam Kanan
Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100% - Synthetic

System summary

Standalone system		Standalone system with batteries	
PV Field Orientation		**User's needs**	
Fixed plane		Daily household consumers	
Tilt/Azimuth	20 / -140 °	Constant over the year	
		Average	530 kWh/Day

System information

PV Array		Battery pack	
Nb. of modules	315 units	Technology	Lithium-ion, LFP
Pnom total	173 kWp	Nb. of units	49 units
		Voltage	256 V
		Capacity	2450 Ah

Results summary

Useful energy from solar	182847 kWh/year	Specific production	1055 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	62.37 %
Missing Energy	10618 kWh/year	Available solar energy	240164 kWh/year	Solar Fraction SF	94.51 %
Excess (unused)	51063 kWh/year				

Gambar 4.8 *Project Summary Tilt 20°*

Project summary

Geographical Site	Situation		Project settings	
Riam Kanan	Latitude	-3.52 °S	Albedo	0.20
Indonesia	Longitude	115.01 °E		
	Altitude	79 m		
	Time zone	UTC+8		

Meteo data
Riam Kanan
Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100% - Synthetic

System summary

Standalone system		Standalone system with batteries	
PV Field Orientation		**User's needs**	
Fixed plane		Daily household consumers	
Tilt/Azimuth	25 / -140 °	Constant over the year	
		Average	530 kWh/Day

System information

PV Array		Battery pack	
Nb. of modules	315 units	Technology	Lithium-ion, LFP
Pnom total	173 kWp	Nb. of units	49 units
		Voltage	256 V
		Capacity	2450 Ah

Results summary

Useful energy from solar	181375 kWh/year	Specific production	1047 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	63.46 %
Missing Energy	12090 kWh/year	Available solar energy	234094 kWh/year	Solar Fraction SF	93.75 %
Excess (unused)	46546 kWh/year				

Gambar 4.9 *Project Summary Tilt 25°*

Project summary

Geographical Site	Situation		Project settings	
Riam Kanan	Latitude	-3.52 °S	Albedo	0.20
Indonesia	Longitude	115.01 °E		
	Altitude	79 m		
	Time zone	UTC+8		

Meteo data
Riam Kanan
Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100% - Synthetic

System summary

Standalone system		Standalone system with batteries	
PV Field Orientation		**User's needs**	
Fixed plane		Daily household consumers	
Tilt/Azimuth	30 / -140 °	Constant over the year	
		Average	530 kWh/Day

System information

PV Array		Battery pack	
Nb. of modules	315 units	Technology	Lithium-ion, LFP
Pnom total	173 kWp	Nb. of units	49 units
		Voltage	256 V
		Capacity	2450 Ah

Results summary

Useful energy from solar	179123 kWh/year	Specific production	1034 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	64.60 %
Missing Energy	14342 kWh/year	Available solar energy	227007 kWh/year	Solar Fraction SF	92.59 %
Excess (unused)	41849 kWh/year				

Gambar 4.10 *Project Summary Tilt 30°*

Berdasarkan simulasi yang dilakukan pada perangkat lunak PVSyst V7.4.0, dengan rincian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7, Gambar 4.8, Gambar 4.9 dan Gambar 4.10, terlihat bahwa sistem ini terdiri dari 315 unit modul surya dengan total kapasitas 173 kWp, dipasang pada sudut kemiringan 15°, 20°, 25°, dan 30° serta orientasi azimuth -140°. Dalam simulasi ini, tidak digunakan pemodelan adegan 3D atau analisis bayangan, sehingga diasumsikan modul PV menerima radiasi matahari penuh sepanjang tahun.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem ini mampu menghasilkan energi listrik rata-rata sebesar 181,75 MWh per tahun dengan produksi spesifik 1.049 kWh/kWp/tahun, dengan nilai Performance Ratio (PR) rata-rata sebesar 63%.

Tabel 4.5 Produksi Energy PLTS

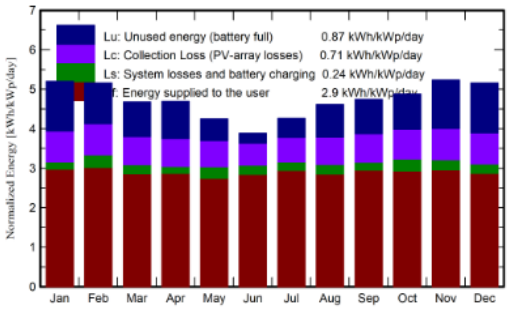
Tilt Angle	Prod. Energy (kWh/year)	Spec. Prod. Energy (kWh/kWp/year)	PR
15	183.667	1.060	61,42
20	182.847	1.055	62,37
25	181.375	1.047	63,46
30	179.123	1.034	64,6

Main results

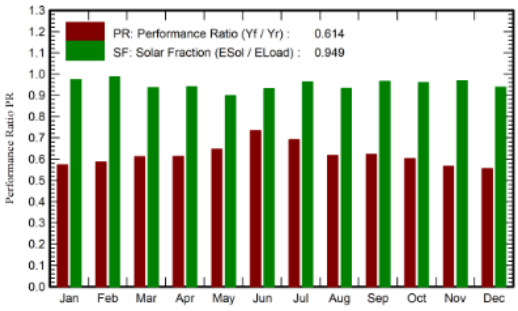
System Production

Useful energy from solar	183667 kWh/year	Perf. Ratio PR	61.42 %
Available solar energy	245041 kWh/year	Solar Fraction SF	94.94 %
Excess (unused)	55075 kWh/year		
Loss of Load		**Battery aging (State of Wear)**	
Time Fraction	5.4 %	Cycles SOW	96.0 %
Missing Energy	9798 kWh/year	Static SOW	90.0 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	154.6	157.6	22966	6732	434	15998	16431	0.974
February	142.8	141.1	20513	4991	185	14657	14841	0.988
March	148.4	141.6	20616	4742	1057	15375	16431	0.936
April	149.5	137.2	19986	4851	954	14947	15901	0.940
May	147.4	127.8	18586	2982	1666	14765	16431	0.899
June	129.6	112.6	16539	1267	1093	14808	15901	0.931
July	145.8	128.1	18847	2583	585	15847	16431	0.964
August	154.8	139.3	20372	4449	1118	15313	16431	0.932
September	150.1	138.8	20186	4525	536	15365	15901	0.966
October	152.9	147.8	21364	4787	652	15780	16431	0.960
November	152.2	153.6	22339	6372	503	15398	15901	0.968
December	152.4	156.5	22728	6794	1016	15415	16431	0.938
Year	1780.5	1682.1	245041	55075	9798	183667	193465	0.949

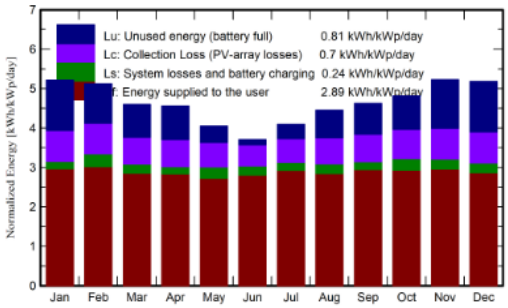
Gambar 4.11 Simulasi PVSyst *Tilt Angle 15°*

Main results

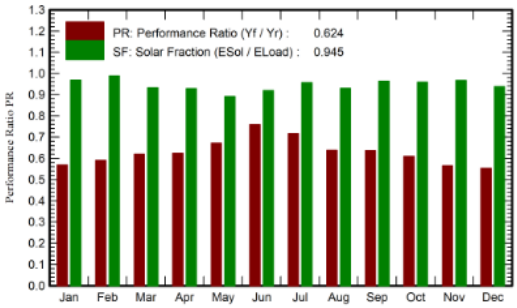
System Production

Useful energy from solar	182847 kWh/year	Perf. Ratio PR	62.37 %
Available solar energy	240164 kWh/year	Solar Fraction SF	94.51 %
Excess (unused)	51063 kWh/year		
Loss of Load		**Battery aging (State of Wear)**	
Time Fraction	5.7 %	Cycles SOW	96.1 %
Missing Energy	10618 kWh/year	Static SOW	90.0 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	154.6	158.2	23021	6836	509	15922	16431	0.969
February	142.8	140.2	20369	4836	164	14677	14841	0.989
March	148.4	139.2	20279	4465	1110	15321	16431	0.932
April	149.5	133.2	19427	4434	1130	14771	15901	0.929
May	147.4	121.4	17685	2236	1782	14649	16431	0.892
June	129.6	107.3	15761	692	1286	14615	15901	0.919
July	145.8	122.4	18022	1916	704	15728	16431	0.957
August	154.8	134.2	19661	3764	1151	15281	16431	0.930
September	150.1	135.3	19679	4051	566	15335	15901	0.964
October	152.9	145.9	21089	4546	668	15763	16431	0.959
November	152.2	153.6	22347	6398	526	15375	15901	0.967
December	152.4	157.4	22825	6888	1022	15409	16431	0.938
Year	1780.5	1648.4	240164	51063	10618	182847	193465	0.945

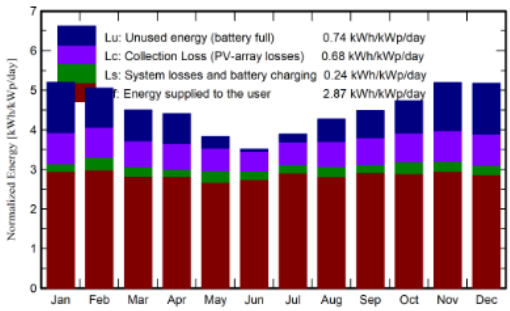
Gambar 4.12 Simulasi PVSyst *Tilt Angle 20°*

Main results

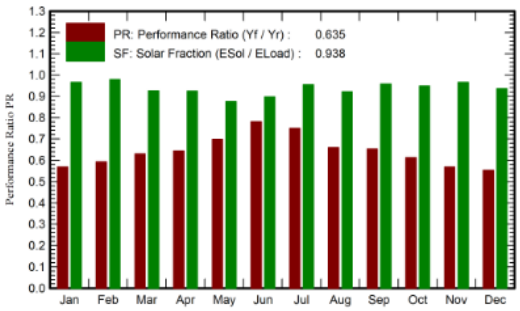
System Production

Useful energy from solar	181375 kWh/year	Perf. Ratio PR	63.46 %
Available solar energy	234094 kWh/year	Solar Fraction SF	93.75 %
Excess (unused)	46546 kWh/year		
Loss of Load		**Battery aging (State of Wear)**	
Time Fraction	6.6 %	Cycles SOW	96.1 %
Missing Energy	12090 kWh/year	Static SOW	90.0 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	154.6	157.8	22943	6794	548	15884	16431	0.967
February	142.8	138.4	20130	4754	313	14529	14841	0.979
March	148.4	136.2	19857	4132	1208	15223	16431	0.926
April	149.5	128.5	18762	3838	1186	14715	15901	0.925
May	147.4	114.8	16733	1566	2057	14374	16431	0.875
June	129.6	101.7	14937	283	1638	14264	15901	0.897
July	145.8	116.3	17108	1048	749	15683	16431	0.954
August	154.8	128.5	18838	3059	1278	15154	16431	0.922
September	150.1	130.9	19056	3533	675	15226	15901	0.958
October	152.9	143.2	20710	4350	851	15580	16431	0.948
November	152.2	152.8	22224	6295	542	15359	15901	0.966
December	152.4	157.3	22796	6894	1047	15384	16431	0.936
Year	1780.5	1606.3	234094	46546	12090	181375	193465	0.938

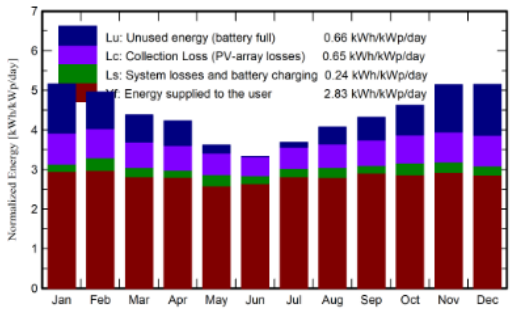
Gambar 4.13 Simulasi PVSyst *Tilt Angle 25°*

Main results

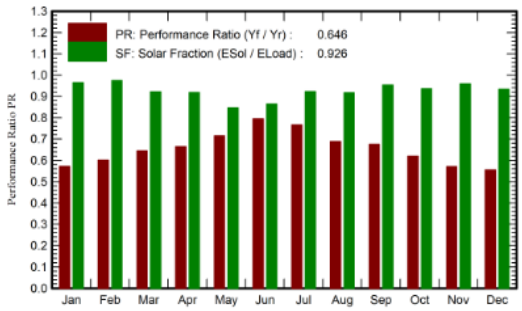
System Production

Useful energy from solar	179123 kWh/year	Perf. Ratio PR	64.60 %
Available solar energy	227007 kWh/year	Solar Fraction SF	92.59 %
Excess (unused)	41849 kWh/year		
Loss of Load		**Battery aging (State of Wear)**	
Time Fraction	7.8 %	Cycles SOW	96.2 %
Missing Energy	14342 kWh/year	Static SOW	90.0 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	154.6	156.6	22738	6628	573	15858	16431	0.965
February	142.8	136.0	19782	4480	388	14454	14841	0.974
March	148.4	132.5	19321	3682	1282	15149	16431	0.922
April	149.5	123.2	18006	3215	1298	14603	15901	0.918
May	147.4	108.0	15769	1083	2518	13913	16431	0.847
June	129.6	95.9	14075	0	2147	13754	15901	0.865
July	145.8	109.9	16180	606	1264	15167	16431	0.923
August	154.8	122.3	17953	2249	1362	15069	16431	0.917
September	150.1	125.9	18347	2944	735	15167	15901	0.954
October	152.9	139.7	20207	3982	1045	15386	16431	0.936
November	152.2	151.1	21984	6157	645	15256	15901	0.959
December	152.4	156.4	22644	6824	1085	15347	16431	0.934
Year	1780.5	1557.3	227007	41849	14342	179123	193465	0.926

Gambar 4.14 Simulasi PVSyst *Tilt Angle 30°*

38

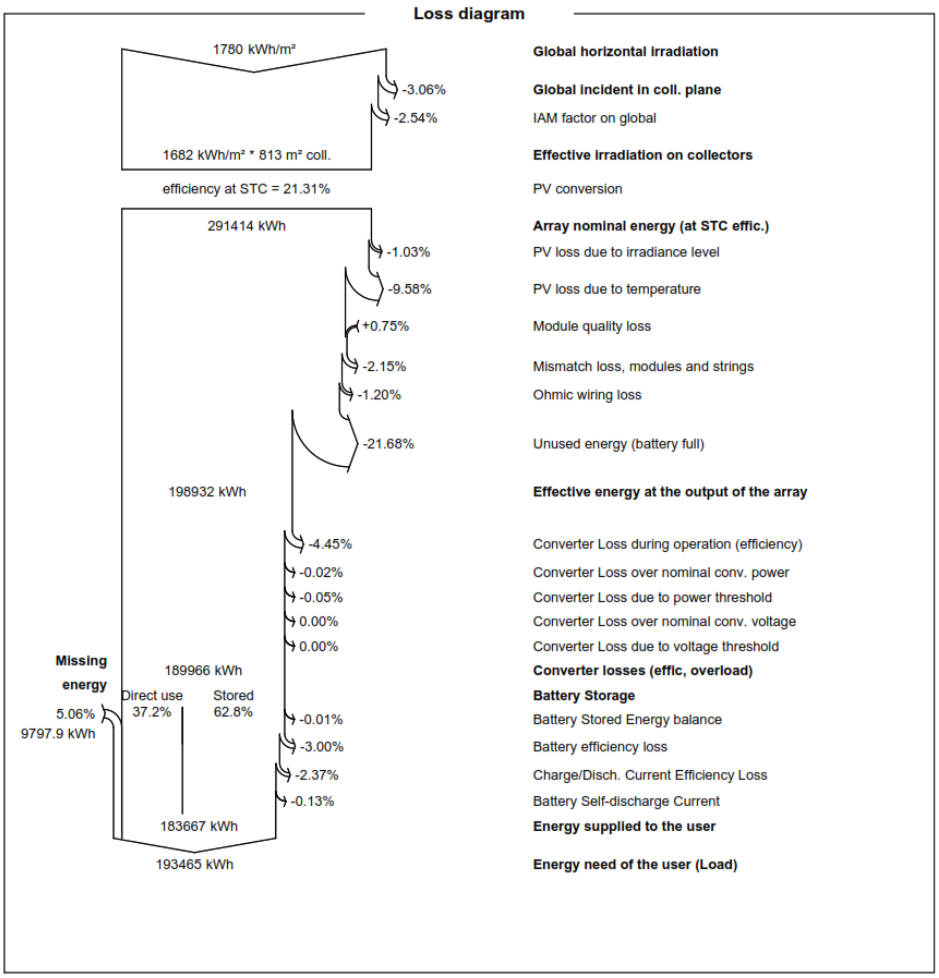
Gambar 4.11, Gambar 4.12, Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 memperlihatkan distribusi produksi energi yang dinormalisasi per kWp terpasang, beserta kerugian yang dialami sistem PLTS pada setiap bulan selama satu tahun pengamatan. Grafik tersebut memisahkan tiga komponen utama kinerja sistem, yaitu:

1. Lc (Collection Loss / PV-array losses) – Ditampilkan dalam warna ungu pada grafik, komponen ini mewakili kerugian pada tingkat array PV, termasuk penurunan output akibat efisiensi modul yang tidak ideal, pengaruh suhu operasi, serta faktor teknis lainnya.
2. Ls (System Loss / inverter Gesolar) – Ditunjukkan dengan warna hijau, komponen ini menggambarkan kerugian pada tingkat sistem, termasuk inverter dan peralatan

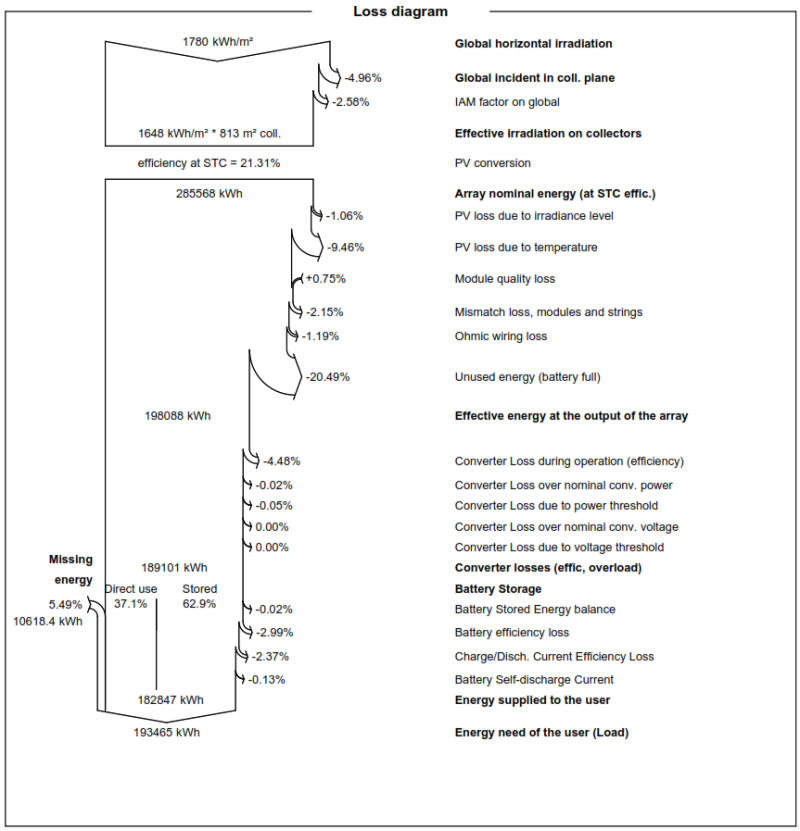
pendukung lainnya, yang relatif rendah, mengindikasikan kinerja inverter dan perangkat sistem lainnya berada pada tingkat efisiensi tinggi.

3. Yf (Produced Useful Energy / inverter output) – Direpresentasikan dengan warna merah, bagian ini menunjukkan energi bersih yang berhasil dihasilkan sistem setelah mempertimbangkan seluruh kerugian.

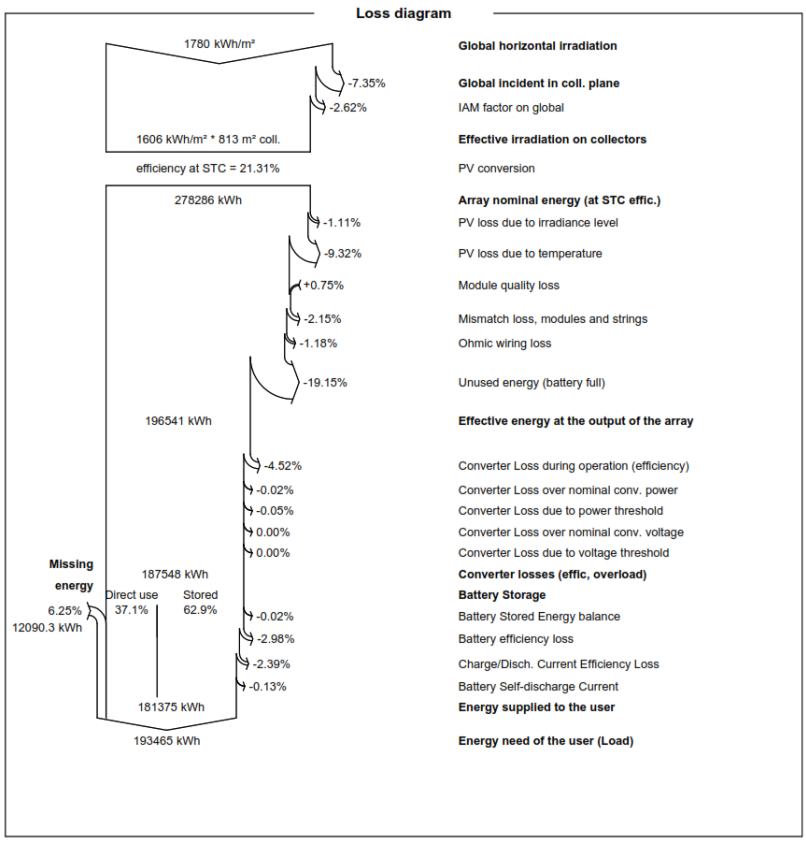
Berdasarkan pola grafik, produksi energi mengalami variasi musiman sepanjang tahun. Produksi tertinggi terjadi pada periode dengan intensitas radiasi matahari optimal, seperti bulan Agustus. Sebaliknya, penurunan produksi diamati pada bulan Juni, yang diduga disebabkan oleh penurunan radiasi matahari, perubahan kondisi cuaca, atau sudut datang sinar matahari yang kurang optimal.



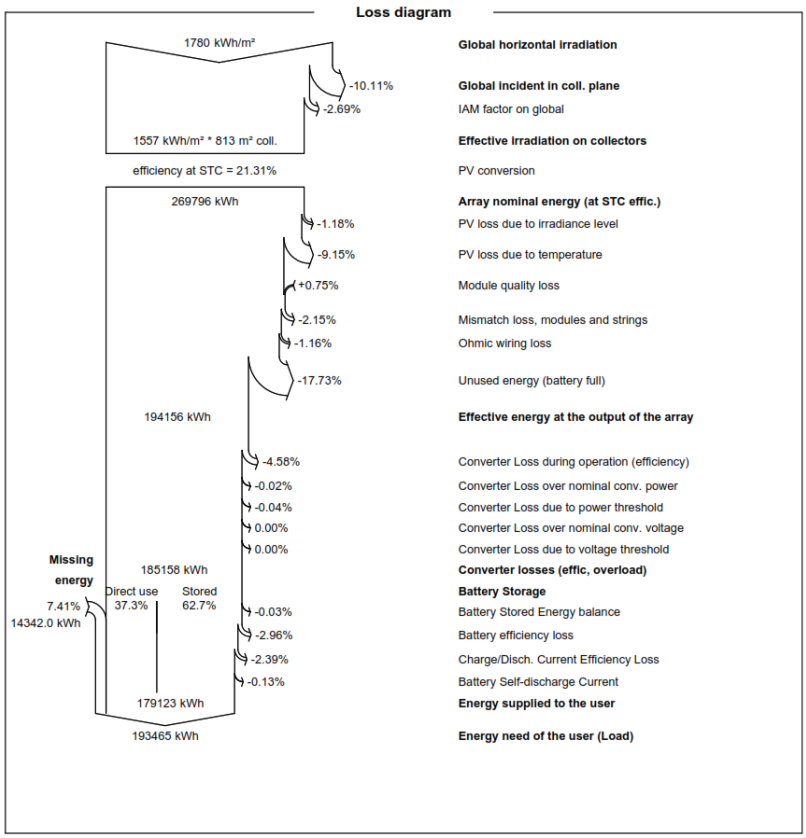
Gambar 4.15 *Loss Diagram Tilt Angle 15°*



Gambar 4.16 *Loss Diagram Tilt Angle 20°*



Gambar 4.17 *Loss Diagram Tilt Angle 25°*



Gambar 4.18 *Loss Diagram Tilt Angle 30°*

Gambar 4.15, Gambar 4.16, Gambar 4.17, dan Gambar 4.18 menggambarkan alur energi pada sistem PLTS, dimulai dari radiasi matahari yang diterima hingga energi listrik yang dapat disalurkan ke jaringan. Sistem menerima radiasi tahunan sebesar 1.780 kWh/m², namun tidak seluruhnya dapat dimanfaatkan secara langsung oleh modul PV. Setelah mempertimbangkan sudut datang cahaya dan efisiensi penangkapan radiasi, energi efektif yang diterima kolektor menjadi 1.682 kWh/m² (*tilt angle 15°*), 1.648 kWh/m² (*tilt angle 20°*), 1.606 kWh/m² (*tilt angle 25°*), dan 1.557 kWh/m² (*tilt angle 30°*) dengan luas permukaan kolektor 813 m².

Energi yang tertangkap selanjutnya dikonversi menjadi listrik oleh modul PV dengan efisiensi konversi 21,31% pada kondisi standar (STC), menghasilkan energi nominal sebesar 291.414 kWh (*tilt angle 15°*), 285.568 kWh (*tilt angle 20°*), 278.286 kWh (*tilt angle 25°*), 269.796 kWh (*tilt angle 30°*). Nilai ini merepresentasikan potensi teoritis sebelum memperhitungkan kerugian sistem. Setelah proses konversi, terjadi kerugian tambahan akibat faktor suhu, mismatch antar modul, dan resistansi kabel. Energi ini kemudian melewati inverter, di mana sebagian kecil kerugian kembali terjadi, sebelum akhirnya didapatkan nilai energi yang dapat disalurkan ke jaringan listrik.

49

BAB V
PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Sistem PLTS *off-grid* yang telah dirancang dan disimulasikan menggunakan perangkat lunak PVSyst di Waduk Riam Kanan, Kecamatan Aranio, Kabupaten Banjar, Provinsi Kalimantan Selatan menghasilkan konfigurasi optimal sebanyak 315 modul surya berkapasitas total 173 kWp. Modul AE Solar 550 Wp dipasang dengan kemiringan 15°, 20°, 25° dan 30° serta azimuth -140°, tersusun dalam konfigurasi 35 x 9 string seri.
2. Berdasarkan hasil simulasi PVSyst, disimpulkan bahwa perbedaan sudut kemiringan panel PLTS dapat mempengaruhi *output energy* dari PLTS terapung system *off-grid* di Waduk Riam Kanan, dengan nilai energi keluaran pada setiap masing-masing sudut kemiringan panel seperti dijelaskan pada Tabel 4.5.
3. *Output energy* paling optimal yang dihasilkan oleh PLTS terapung system *off-grid* di Waduk Riam Kanan yang telah disimulasikan menggunakan PVSyst 7.4.0 adalah PLTS yang menggunakan konfigurasi sudut kemiringan panel 15°, yang menghasilkan energi sebesar 183.667 kWh/tahun dengan *performance ratio* 61,42.
4. Deviasi *output energy* yang dihasilkan oleh konfigurasi sudut kemiringan panel terendah 15° dengan sudut kemiringan panel tertinggi 30° yaitu 4.544 kWh/tahun atau 2,47% dengan nilai PR tertinggi dihasilkan oleh PLTS dengan sudut kemiringan panel 30° yaitu sebesar 64,6.

5.2. Kesimpulan

1. Perlu dilakukan kajian lapangan secara lebih komprehensif untuk mengevaluasi kinerja dan efisiensi PLTS Terapung, mengingat terdapat banyak faktor yang mempengaruhi performa sistem. Langkah ini penting untuk memastikan bahwa hasil analisis benar-benar merepresentasikan kondisi nyata di lapangan.
2. Disarankan untuk menggunakan data pengukuran langsung terkait intensitas iradiasi matahari dan suhu lingkungan di lokasi penelitian, sehingga perencanaan sistem dapat disesuaikan secara akurat dengan kondisi aktual.

3. Dalam perencanaan PLTS Terapung dengan sistem o*ff-grid* di Waduk Riam Kanan, perlu dilakukan optimalisasi pemanfaatan potensi daya berdasarkan luas muka air serta pengolahan data yang tepat berdasarkan kebutuhan energi. Hal ini bertujuan agar sistem yang dirancang mampu memenuhi target daya yang telah ditentukan.
4. Jika proyek PLTS Terapung diimplementasikan, proses operasi dan pemeliharaan harus dilaksanakan sesuai dengan Standar Operasional Prosedur (SOP) yang berlaku, guna menjaga keandalan, umur pakai, dan kinerja sistem secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Azhar and D. A. Satriawan, "Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional," 2018. [Daring]. Tersedia pada : https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/alj/article/view/3837/2153

[2] K. Apriliyanti and D. Rizki, "Kebijakan Energi Terbarukan: Studi Kasus Indonesia Dan Norwegia Dalam Pengelolaan Sumber Energi Berkelanjutan," J. Ilmu Pemerintahan Widya Praja, vol. 49, no. 2, pp. 186–209, 2023.

[3] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Keputusan Menteri ESDM Nomor 143 Tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional Tahun 2019–2038," 2019. [Daring]. Tersedia pada : https://jdih.esdm.go.id/

[4] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Panduan Pengelolaan Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)," Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, vol. 1, p. 84, 2020.

[5] I. G. Ngurah and A. Dwijaya, "Draft Buku Ajar Pembangkit Listrik Tenaga Surya," 2019. [Daring]. Tersedia pada : https://www.scribd.com/document/692016384/

[6] T. M. A. Pandria, M. Muzakir, E. Mawardi, S. Samsuddin, M. Munawir, and M. Mukhlizar, "Penentuan Sudut Kemiringan Optimum Berdasarkan Energi Keluaran Panel Surya," J. Serambi Eng., vol. 6, no. 1, 2021.

[7] A. K. Albahar and M. F. Haqi, "Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya (PV) Terhadap Keluaran Daya," J. Elektro, vol. 8, no. 2, pp. 115–122, 2020.

[8] R. Pido, R. H. Boli, M. Rifal, W. Rauf, N. S. Dera, and R. R. Day, "Analisis pengaruh variasi sudut kemiringan terhadap optimasi daya panel surya," RADIAL: Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi, vol. 10, no. 2, pp. 234–240, 2022.

[9] I. Wirajati and I. Natha, "Pengaruh sudut kemiringan dan arah penempatan terhadap daya keluaran pada modul panel surya," Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology, vol. 2, no. 1, pp. 5–9, 2021.

[10] A. Octavianti, M. Muliadi, dan A. Apriansyah, "Estimasi intensitas radiasi matahari di wilayah Kota Makassar," Prisma Fisika, vol. 6, no. 3, 2018.

[11] A. Wibowo, "Instalasi Panel Listrik Surya," Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik, pp. 1–185, 2022.

[12] N. S. Politeknik dan N. Lhokseumawe, Buku Teknologi Photovoltaic. 2019. [Daring]. Tersedia pada : https://www.researchgate.net/publication/341909134

[13] M. P. M. Tas and W. G. van Sark, "Experimental repair technique for glass defects of glass-glass photovoltaic modules–A techno-economic analysis," Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 257, p. 112397, 2023.

[14] E. A. Karuniawan, “Analisis Perangkat Lunak PVSYST, PVSOL dan HelioScope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic,” Jurnal Teknologi Elektro, vol. 12, no. 3, p. 100, Oct. 2021, doi: 10.22441/jte.2021.v12i3.001.

[15] M. T. C. Wicaksono dan I. A. Bangsa, “Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Photovoltaic Rooftop Pada Gedung Gardu Induk Kantor Pusat Pt Pembangkit Jawa Bali,” Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering, pp. 107–115, 2022.

[16] M. A. Green, et al., "Solar cell efficiency tables (Version 57)," Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 29, no. 1, pp. 3–15, 2021.

[17] B. Ramadhani, “Instalasi pembangkit listrik tenaga surya Dos & Don’ts,” Jakarta: GIZ, 2018.

[18] K. Energi and S. D. Mineral, “Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS atap di Indonesia,” Jakarta: KESDM, 2020.

[19] K. Zeb, W. Uddin, M. A. Khan, Z. Ali, M. U. Ali, N. Christofides, dan H. J. Kim, “A comprehensive review on inverter topologies and control strategies for grid connected photovoltaic system,” Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 94, hlm. 1120–1141, 2018. doi:10.1016/j.rser.2018.06.053.

[20] M. L. Katche, A. B. Makokha, S. O. Zachary, dan M. S. Adaramola, “A Comprehensive Review of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Techniques Used in Solar PV Systems,” Energies, vol. 16, no. 5, p. 2206, 2023. doi:10.3390/en16052206.

[21] Y. Zhang, H. Chen, dan Y. Du, “Lightning protection design of solar photovoltaic systems: Methodology and guidelines,” Electric Power Syst. Res., vol. 174, p. 105877, 2019. doi:10.1016/j.epsr.2019.105877.

[22] D. Feriyanto, “Perlindungan Terhadap Bahaya Hubung Singkat (Short Circuit) Pada Instalasi Listrik,” Aisyah J. of Informatics and Electrical Engineering, vol. 1, no. 1, hlm. 23–29, 2019. doi:10.30604/JTI.V1I1.7.

[23] T. Koerniawan, Aas, W. Hasanah, T. Elektro, and S. Tinggi Teknik -Pln, “KAJIAN SISTEM KINERJA PLTS OFF-GRID 1 kWp DI STT-PLN,” 2018.

[24] N. Arifin, “Unjuk Kerja Desain Perencanaan Dan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya on-Grid Sistem Dc Coupling Kapasitas 17 Kwp Pada Gedung Hunian Graha Cendekia Yogyakarta Menggunakan Pvsyst 6.8.4, "the Performance of on-Grid Solar Power Plant Dc Couplin,” 2019.

19 [25] R. A. F. Hardani, Helmina Andriani, Jumari Ustiawaty, Evi Fatmi Utami, Ria Rahmatul Istiqomah, Buku Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif, no. March. 2022.

[26] H. Hardani, D. Juliana Sukmana, dan R. Fardani, Buku Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif. 2020. [Daring]. Tersedia pada: https://www.researchgate.net/publication/340021548

[27] K. Abdullah dkk., Metodologi Penelitian Kuantitatif, no. May. 2017