

Analisis Perbandingan Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada Lingkungan PT. RAPP

^{1)*Satria Darmawan, 2)Rahmaniar, 3)Pristisal Wibowo}

<sup>1,2,3)Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Panca Budi, Jl. Jend. Gatot Subroto
Km. 4,5 Sei Sikambing 20122, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia</sup>

<sup>*Email: satriaivk@gmail.com*, rahmaniar@dosen.pancabudi.ac.id,
pristisalwibowo@dosen.pancabudi.ac.id</sup>

^{Diterima: 29.09.2024, Disetujui: 20.10.2024, Diterbitkan: 25.10.2024}

ABSTRACT

This study compares the performance of Solar Power Plants (PLTS) and Steam Power Plants (PLTU) at PT. RAPP. The methods used include daily energy production data collection, environmental observation, and statistical analysis to assess the efficiency and performance of both systems. The analysis reveals that PLTS has high efficiency in converting solar energy into electricity but experiences reduced efficiency due to module PV and inverter malfunctions in Phase 3. Meanwhile, the Dual Fuel Line 2 PLTU achieves a thermal efficiency of 43.24%, with biomass as the primary fuel, which reduces carbon emissions but still requires natural gas for stability. PLTS excels in environmental sustainability and lower operational costs, whereas PLTU offers more stable and substantial production capacity. Recommendations include repairing the PLTS system, expanding the project, investing in technology, and managing PLTU emissions for a more efficient and sustainable energy solution at PT. RAPP.

Keywords: Solar Power Plant, Steam Power Plant, Conversion, Electricity, Energy

ABSTRAK

Penelitian ini membandingkan kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di PT. RAPP. Metode yang digunakan mencakup pengumpulan data produksi energi harian, pengamatan lingkungan, dan analisis statistik untuk menilai efisiensi dan kinerja kedua sistem. Hasil analisis menunjukkan bahwa PLTS memiliki efisiensi tinggi dalam mengonversi energi matahari menjadi listrik, namun mengalami penurunan efisiensi akibat kerusakan modul PV dan inverter pada Fase 3. Sementara itu, PLTU Dual Fuel Line 2 mencapai efisiensi termal 43,24% dengan biomassa sebagai bahan bakar utama, mengurangi emisi karbon tetapi masih memerlukan gas alam untuk stabilitas. PLTS unggul dalam keberlanjutan lingkungan dan biaya operasional, sedangkan PLTU menawarkan kapasitas produksi yang lebih stabil. Rekomendasi mencakup perbaikan sistem PLTS, ekspansi proyek, investasi teknologi, dan pengelolaan emisi PLTU untuk solusi energi yang lebih efisien dan berkelanjutan di PT. RAPP.

Kata Kunci: PLTS, PLTU, Konversi, Listrik, Energi

I. Pendahuluan

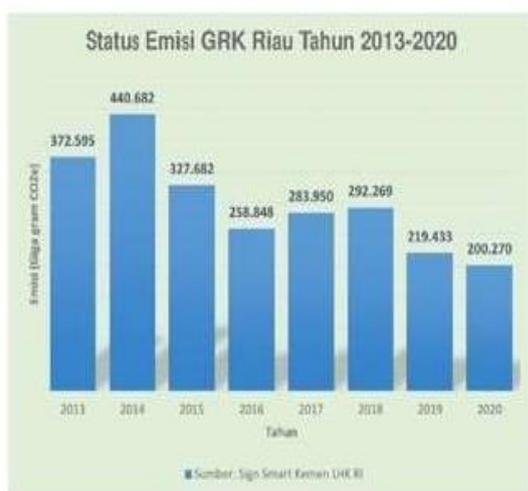
Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah sistem pembangkit listrik yang menghasilkan listrik dengan menggunakan energi terbarukan matahari (Rajagukguk et al., 2023) dan paling mudah untuk ditemukan (Tarigan et al., 2022). PLTS memanfaatkan teknologi panel surya yang terdiri dari sel surya fotovoltaik (PV) untuk menangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi listrik yang dapat digunakan (Lestari et al., 2021). Sumber energi dengan potensi tertinggi terletak pada energi matahari, dengan pasokan sebesar 3×10^{24}

Joule/tahun yang setara dengan 10.000 kali penggunaan energi di seluruh dunia (Rahmaniar et al., 2023). Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki tingkat radiasi matahari harian yang cukup tinggi rata-rata yaitu 4,5 kWh. Ketersediaan ini dapat dimanfaatkan sebagai modal utama pembangkitan Listrik (Harahap et al., 2024). Panel surya biasanya dipasang di atap bangunan atau di lahan terbuka dengan paparan sinar matahari yang optimal (Hidayatullah & Styawati, 2024). Pada Pembangkit listrik tenaga surya timbul setelah melalui proses konversi energi matahari dengan beberapa tahap yang pertama adalah adanya

Panel surya menangkap sinar matahari yang jatuh ke permukaannya. Setiap sel surya di dalam panel surya mengandung bahan semikonduktor yang menghasilkan arus listrik saat terkena sinar matahari (Panulisan et al., 2023). Kedua, Energi cahaya matahari diubah menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik di dalam sel surya.

Proses ini melibatkan perpindahan elektron di dalam bahan semikonduktor, menghasilkan arus listrik sepanjang sikuit terhubung. Selanjutnya, Arus yang muncul bisa digunakan untuk kebutuhan listrik saat itu atau disimpan dalam baterai untuk digunakan pada saat dibutuhkan. Beberapa sistem PLTS juga terhubung dengan jaringan listrik umum (Hasibuan et al., 2023), di mana listrik yang tidak digunakan dapat disalurkan ke grid untuk digunakan oleh orang lain dan bisa mendapatkan kompensasi dari penyedia listrik.

Wilayah Riau, di mana PT. RAPP beroperasi, mungkin memiliki potensi sinar matahari yang melimpah sepanjang tahun, membuatnya menjadi lingkungan yang cocok untuk pengembangan PLTS. Analisis kinerja PLTS dapat membantu perusahaan memahami potensi dan tantangan dari investasi ini. Kemajuan dalam teknologi PLTS dan penurunan biaya panel surya mungkin telah membuat opsi ini lebih menarik bagi PT. RAPP. Analisis kinerja PLTS dapat membantu perusahaan memahami potensi dan keterbatasan dari teknologi terkini dalam konteks operasional mereka.



Gambar 1. Sign Smart Kemen LHK RI

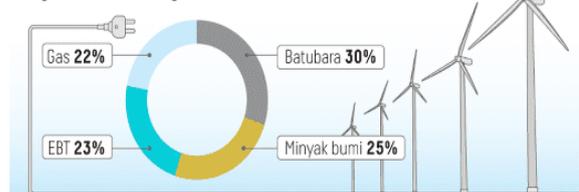
Peningkatan kesadaran akan masalah lingkungan dan perubahan iklim telah mendorong banyak negara dan daerah, termasuk Riau, untuk mengambil tindakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca.

Energi Baru Terbarukan (EBT)

Jenis EBT Tahun 2020 (Mega Watt)	Target EBT Per Sumber Pembangkit		
	2020	2025	2035
Air	6.121 (58,48%)	11.719	13.811
Panas bumi	2.130,7 (20,36%)	3.576	9.300
Bioenergi*	1.903,5 (18,19%)	2.635	3.089
Surya	153,5 (1,47%)	5.403	17.559
Angin	154,3 (1,47%)	1.278	3.786
Hybrid	3,6 (0,03%)		
Total	10.466,6		

*Biomassa, biogas, dan sampah

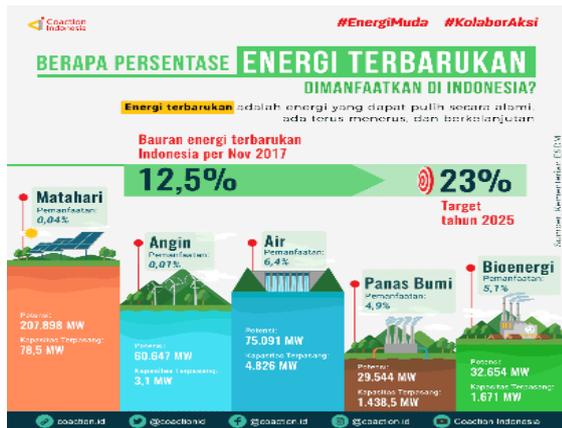
Target Bauran Energi Nasional Tahun 2025



Sumber: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral; Diolah Litbang Kompas/RTA
 INFOGRAFIK: LUTHER

Gambar 2. Energi Baru Terbarukan (EBT) 2020

Penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT) yang terus meningkat setiap tahun merupakan indikasi positif dalam pergeseran menuju sumber energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Dengan terus berkembang jaman dari tahun ke tahun membuat energi terus ikut berkembang dan terus diperbaharui demi menjaga lingkungan yang aman dan asri. Teknologi untuk pembangkit listrik dari sumber EBT semakin berkembang dan menjadi lebih efisien dari waktu ke waktu. Inovasi dalam penyimpanan energi, konversi, dan distribusi memungkinkan pemanfaatan EBT menjadi lebih praktis dan terjangkau. Kesadaran bersama akan bakar fosil yang sudah mulai habis dan sulit untuk digapai sehingga mendorong permintaan akan sumber energi yang bersih dan berkelanjutan seperti energi surya, angin, dan hidro. Dengan berbagai faktor ini bekerja sama, penggunaan EBT terus meningkat setiap tahun, membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mempercepat transisi menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.



Gambar 3. Persentase Pemanfaatan Energi Terbarukan di Indonesia

Group PT APRIL mengelola hutan tanaman industri dan menjalankan produksi di Provinsi Riau, Sumatra, dan Indonesia. Ini adalah produsen serat terbarukan dan produk berbasis bio terkemuka. Grup bisnis ini adalah bagian dari Royal Golden Eagle (RGE), sebuah perusahaan sumber daya global yang berkantor pusat di Singapura. PT. Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP) adalah bagian dari Royal Golden Eagle (RGE) Group, yang merupakan salah satu produsen pulp dan kertas terkemuka di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja dan efektivitas pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di PT. Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP). Dengan membandingkan kedua jenis pembangkit listrik ini, diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai potensi penggunaan energi terbarukan seperti PLTS dibandingkan dengan metode konvensional seperti PLTU dalam konteks operasional perusahaan. Analisis ini akan mempertimbangkan berbagai faktor termasuk efisiensi, biaya, dampak lingkungan, dan keberlanjutan jangka panjang, sehingga dapat membantu PT. RAPP dalam membuat keputusan yang lebih informatif terkait investasi energi mereka.

II. Bahan dan Metode

1. Jenis penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian deskriptif yang bertujuan untuk membahas dan menganalisis kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data, pengamatan, dan

analisis statistik untuk mengevaluasi efisiensi konversi energi surya menjadi listrik dan menentukan sejauh mana PLTS memenuhi kebutuhan energi PT. RAPP. Penelitian ini juga mencakup studi literatur untuk mendapatkan data mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) karena keterbatasan observasi langsung.

2. Populasi dan sampel

Sampel dalam penelitian ini adalah seluruh data yang terkait dengan sistem PLTS dan PLTU yang digunakan oleh PT. RAPP. Sampel penelitian meliputi data produksi energi harian dari PLTS dan PLTU, catatan operasional perusahaan, pengukuran langsung dari sistem PLTS dan PLTU, serta wawancara dengan staf operasional yang bertanggung jawab atas sistem tersebut.

3. Pengumpulan data

Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data produksi energi harian PLTS, pengamatan kondisi lingkungan, dan analisis statistik untuk mengevaluasi kinerja sistem. Data yang dikumpulkan selama periode tertentu digunakan untuk mengevaluasi efisiensi konversi energi surya menjadi listrik dan menentukan sejauh mana PLTS memenuhi kebutuhan energi PT. RAPP. Data yang diperlukan untuk analisis kinerja PLTS dapat dikumpulkan dari berbagai sumber, termasuk catatan operasional perusahaan, pengukuran langsung dari sistem PLTS, dan data cuaca historis. Survei dan wawancara dengan staf operasional yang bertanggung jawab atas PLTS dapat memberikan wawasan tentang pengalaman praktis mereka dengan sistem, tantangan yang dihadapi, dan perubahan yang diinginkan (LPPM-IPB, 2015). Untuk data mengenai PLTU, peneliti melakukan studi literatur karena keterbatasan kemampuan observasi dalam penelitian langsung.

4. Analisis data

Analisis data yang dilakukan dengan menggunakan metode statistik deskriptif untuk mengevaluasi efisiensi konversi energi surya menjadi listrik dan menilai sejauh mana PLTS memenuhi kebutuhan energi perusahaan. Data dikumpulkan dari berbagai sumber termasuk catatan operasional, pengukuran langsung, dan wawancara. Studi literatur digunakan untuk melengkapi informasi mengenai PLTU.

III. Hasil dan Pembahasan

Hasil Penelitian

1. Profil Riau Andalan Pulp & Paper

Sebagai salah satu inisiatif PT APRIL, panel surya berdaya 20MW merupakan salah satu instalasi panel surya terbesar oleh perusahaan swasta di Indonesia. Waktu terus berpacu dalam upaya pengurangan emisi gas rumah kaca dan polusi udara, sehingga ketergantungan pada sumber daya energi tak terbarukan harus segera dikurangi. PT APRIL menargetkan pada tahun 2030, 90% energi yang digunakan di operasional PT APRIL berasal dari sumber energi yang terbarukan. RAPP telah membangun solar panel di kawasan operasionalnya di Pangkalan Kerinci, Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau. dimana langkah ini merupakan salah satu proyek ambisius dalam memasang sebesar 20MW panel surya sebelum tahun 2025. Dalam pembentukan panel surya guna mengurangi emisi karbon dari proses produksi hingga 25%. Panel surya ini nantinya akan membantu kami mencapai salah satu komitmen PT APRIL 2030 untuk memanfaatkan kebutuhan energi untuk proses operasional dari sumber terbarukan dan energi bersih.

Berdasarkan informasi yang didapatkan dari responden, PT APRIL melalui unit operasionalnya, PT Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP), sedang melaksanakan proyek pembangunan solar panel dengan kapasitas hingga 50 MW. Proyek ini bertujuan untuk menjadi instalasi energi surya terbesar yang dilakukan oleh sektor swasta di Indonesia hingga tahun 2030. Hingga saat ini, PT APRIL telah berhasil membangun solar panel dengan kapasitas 11 MW sebagai sumber energi operasional pabrik mereka.



Gambar 4. Riau Andalan Pulp & Paper

Melalui inisiatif ini, PT APRIL menargetkan untuk memenuhi kebutuhan energi pabrik sebesar 90 persen dari sumber energi terbarukan. Realisasi target ini hingga saat ini telah mencapai 87 persen, menunjukkan komitmen dan langkah nyata PT APRIL dalam penggunaan energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Pembangunan solar panel ini juga merupakan bagian dari upaya PT APRIL untuk berkontribusi dalam perjalanan menuju Net Zero Emission. Dengan memanfaatkan energi surya, PT APRIL tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil tetapi juga mengurangi emisi karbon, mendukung tujuan keberlanjutan global, dan memberikan contoh kepada industri lainnya tentang pentingnya investasi dalam teknologi energi terbarukan. Proyek ini mencakup pemasangan panel surya di berbagai lokasi operasional pabrik, dengan harapan dapat memperluas kapasitas energi surya dalam beberapa tahun ke depan. Selain itu, PT APRIL juga berencana untuk terus meningkatkan efisiensi energi dan mengadopsi inovasi teknologi terbaru untuk memastikan bahwa mereka tetap berada di garis depan dalam penggunaan energi terbarukan di industri pulp dan kertas.

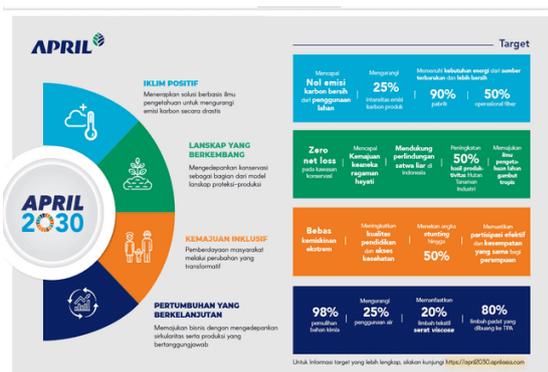
Dengan memanfaatkan panas matahari yang telah diberikan pencipta membuat negara Indonesia menjadi tempat terbaik dalam pembentukan pemasangan panel surya. PT APRIL mengakui bahwa telah memanfaatkan suatu limbah organik dari proses produksi sebagai sumber energi terbarukan, dengan memenuhi >80% kebutuhan listrik di pabrik. PT APRIL Group menargetkan untuk terus meningkatkan menjadi 90% sebelum mencapai tahun 2030. Diiringi dengan mengurangi emisi karbon dari proses produksi hingga 25%. Energi terbarukan, juga dikenal sebagai energi terbarukan, adalah sumber energi yang berasal dari alam dan dapat diperbarui tanpa batas. Jenis tenaga ini tidak menimbulkan polutan, membuatnya aman bagi manusia dan lingkungan sekitar. Oleh karena itu, dapat digunakan dalam berbagai aktivitas manusia (Wulandari, 2017). Bisnis dalam PLTS lebih menguntungkan daripada solar panel bagi lingkungan yang menjadi sumber energi bersih yang ideal yang dikarenakan minim emisi (Kadang & Windarta, 2021).

Panel surya 20 MW pada tahun 2025, realisasi yang akan dicapai dalam waktu dekat yaitu

Sebagai bagian dari komitmen kami untuk mengurangi emisi karbon, PT APRIL akan memasang 20 MW panel surya di pabrik dan operasi serat kami mulai tahun 2021. Instalasi ini akan rampung di tahun 2025 dan akan menjadi salah satu instalasi terbesar di Indonesia yang dibangun oleh sektor swasta. Group PT APRIL Analisis menunjukkan bahwa efisiensi konversi energi surya menjadi listrik pada PLTS PT. RAPP berkisar antara 1MW. Meskipun efisiensi ini relatif tinggi, masih terdapat ruang untuk peningkatan melalui perbaikan teknis dan pemeliharaan yang lebih teratur. Efisiensi konversi ini merupakan rasio antara energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS dengan energi matahari yang diterima oleh panel surya selama periode waktu tertentu. Efisiensi konversi yang lebih tinggi menunjukkan bahwa PLTS mampu mengubah lebih banyak energi matahari menjadi energi listrik, yang menghasilkan kinerja yang lebih baik dan lebih efisien dari sistem.

MW AC, sementara fase keempat direncanakan untuk ekspansi pada Mei 2023 di atap gedung BMR dengan tambahan kapasitas 1,5 MW AC. Informasi teknis mengenai modul PV dan inverter untuk masing-masing fase disediakan, seperti penggunaan modul First Solar FS-6 Plus 455 Wp dan inverter Huawei SUN2000-100KTL-M1 pada fase pertama, serta modul Canadian Solar HiKu7 Mono PERC dan inverter Sungrow SG350HX pada fase kedua. Proses alur kerja dari instalasi hingga operasional juga ditunjukkan, meliputi pemasangan modul PV, inverter, hingga sistem monitoring cuaca dan parameter lainnya.

Efisiensi dan kinerja sistem perlu dievaluasi untuk memahami perbedaan antara kapasitas terpasang dan produksi energi aktual, seperti yang terlihat di Fase 3 yang mengalami masalah produksi. Strategi pemeliharaan dan perbaikan harus dikembangkan untuk mengurangi downtime dan memperpanjang umur peralatan. Rencana ekspansi untuk Fase 3 dan 4 menunjukkan komitmen terhadap peningkatan kapasitas produksi energi terbarukan, yang memerlukan analisis dampak infrastruktur tambahan, biaya, dan manfaat lingkungan. Keberlanjutan lingkungan dari proyek ini juga harus dianalisis, termasuk pengurangan emisi karbon dan dampak pada ekosistem lokal. Selain itu, evaluasi ekonomi proyek, termasuk biaya investasi, operasional, dan pemeliharaan dibandingkan dengan hasil produksi energi, akan membantu menentukan keberlanjutan finansial proyek dalam jangka panjang. Analisis ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih baik tentang efektivitas, efisiensi, dan keberlanjutan proyek, serta memberikan rekomendasi untuk perbaikan dan peningkatan di masa mendatang.

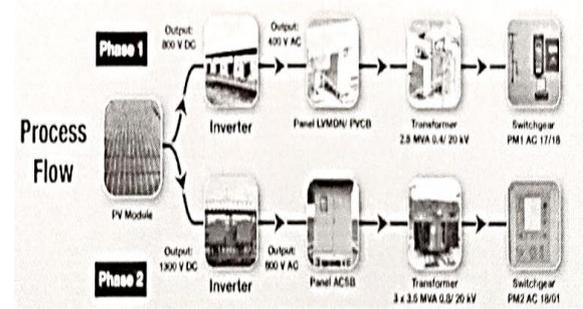


Gambar 5. Target RAPP

2. Rincian Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Surya RAPP

Rincian proyek pembangkit listrik tenaga surya yang dikelola oleh Riau Prima Energi dan PT APRIL mencakup empat fase instalasi dan rencana ekspansi di masa depan. Fase pertama dimulai pada 17 Agustus 2021 dengan kapasitas terpasang sebesar 1,350 MWp DC / 1 MW AC, menggunakan 2.966 unit modul dan 10 unit inverter yang dipasang dengan sistem ground mount di atas lahan seluas 1,12 hektar. Fase kedua dimulai pada 10 November 2022 dengan kapasitas terpasang sebesar 12,754 MWp DC / 10 MW AC, menggunakan 19.474 unit modul dan 40 unit inverter yang mencakup area seluas 14 hektar. Fase ketiga dijadwalkan untuk ekspansi pada Maret 2023 di sektor Pelalawan North Estate dengan kapasitas tambahan 0,5

3. Process Flow dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya RAPP



Gambar 6. Process Flow dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya RAPP

Berikut adalah urutan proses aliran energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di PT. RAPP:

1. Penangkapan Energi Matahari oleh Modul PV (Photovoltaic). Modul PV menangkap sinar matahari dan menggunakan teknologi fotovoltaik untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik dalam bentuk arus searah (DC). Spesifikasi Modul PV yang digunakan adalah:
 - Fase 1 menggunakan modul First Solar FS-6 Plus 455 Wp dengan kapasitas terpasang sebesar 1,430 MWp DC.
 - Fase 2 menggunakan modul Canadian Solar HiKu7 Mono PERC dengan kapasitas terpasang sebesar 13,748 MWp DC.
2. Konversi Energi dari DC ke AC oleh Inverter. Setelah energi matahari diubah menjadi listrik DC, arus ini kemudian dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC) oleh inverter agar dapat digunakan oleh jaringan listrik. Inverter juga mengelola keluaran daya dan memastikan arus yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan jaringan. Spesifikasi Inverter yang digunakan adalah:
 - Fase 1 menggunakan inverter Huawei SUN2000-100KTL-M1 dengan kapasitas 1,000 kVA.
 - Fase 2 menggunakan inverter Sungrow SG350HX dengan kapasitas 10,000 kVA.
3. Peningkatan Tegangan oleh Transformator. Setelah dikonversi menjadi arus AC, tegangan listrik perlu ditingkatkan agar dapat disalurkan melalui jaringan transmisi ke konsumen. Transformator digunakan untuk meningkatkan tegangan dari output inverter sebelum disalurkan ke jaringan distribusi. Spesifikasi Transformator yang digunakan adalah:
 - Fase 1 menggunakan transformator dengan kapasitas 1.2 MVA 0.3/20 kV.
 - Fase 2 menggunakan transformator dengan kapasitas 12.5 MVA 0.3/20 kV.
4. Distribusi Energi melalui Switchgear. Setelah melalui transformator, energi listrik diteruskan ke switchgear, yang berfungsi sebagai perangkat pengamanan

dan pengendali aliran listrik. Switchgear memastikan listrik yang dihasilkan dapat disalurkan dengan aman ke jaringan listrik. Spesifikasi Switchgear yang digunakan adalah:

- Fase 1 menggunakan PM1 AC 17 / S1.
 - Fase 2 menggunakan PM2 AC 16 / S1.
5. Pemantauan dan Pengendalian Sistem. Proses aliran energi dipantau secara real-time melalui sistem monitoring yang mencakup berbagai parameter seperti cuaca, kinerja modul PV, inverter, dan komponen lainnya. Sistem ini memungkinkan pengendalian optimal dan pemeliharaan preventif untuk memastikan kinerja maksimal dan meminimalisir downtime.

Process flow dari PLTS di PT. RAPP menunjukkan langkah-langkah utama dalam konversi energi surya menjadi listrik yang dapat digunakan. Dari penangkapan sinar matahari oleh modul PV, konversi energi oleh inverter, peningkatan tegangan oleh transformator, hingga distribusi energi oleh switchgear, setiap komponen berperan penting dalam memastikan efisiensi dan keandalan sistem. Proses ini juga dilengkapi dengan sistem monitoring yang canggih untuk pengendalian dan pemeliharaan yang optimal.

4. Laporan Pembangkit Listrik Tenaga Surya RAPP

Tabel 1. Laporan Pembangkit Listrik Tenaga Surya RAPP

PLANT	AREA	PV MODULE (pcs)		INVERTER (pcs)		GENERATION (MWH)		REMARK
		TOTAL	NOT WORKING	TOTAL	NOT WORKING	TARGET	ACTUAL	
PH ASE 1	LF3	2966	0	10	0	5	1/36	
PH ASE 2	LF1, 2, 3	19474	0	40	0	50	12.67	
PH ASE 3	BM1 & PD5	27770	1659	71	4	72	27.54	-4 of 72 invers ters OOS
PH ASE 4	Pelalawan	900	0	5	0	1.75	0.97	

Laporan harian pembangkit listrik tenaga surya pada tanggal 2 Juli 2024 menunjukkan data yang mendetail mengenai kinerja setiap fase dalam proyek ini. Terdapat empat fase yang masing-masing memiliki jumlah modul PV dan inverter yang berbeda serta target dan pencapaian produksi energi yang beragam. Secara keseluruhan, terdapat 51.110 modul PV yang terpasang dengan 1.659 di antaranya tidak

berfungsi. Dari 126 inverter yang terpasang, semuanya berfungsi kecuali 4 inverter di Phase 3 yang mengalami kerusakan. Analisis mendalam menunjukkan bahwa Phase 3 memiliki masalah terbesar dengan jumlah modul PV yang tidak berfungsi sebanyak 1.659 unit dari total 27.770 unit. Ini berpotensi mengurangi efisiensi produksi energi, yang terlihat dari produksi aktual 27.54 MWh dibandingkan dengan target 72 MWh. Kerusakan 4 dari 72 inverter di fase ini juga menjadi faktor signifikan yang berkontribusi pada pencapaian produksi yang lebih rendah dari target. Phase 1, 2, dan 4 menunjukkan kinerja yang lebih baik dengan semua modul PV dan inverter berfungsi, namun produksi aktual juga masih jauh di bawah target yang ditetapkan, terutama di Phase 1 dan 4.

Temuan ini menunjukkan perlunya tindakan segera untuk memperbaiki modul PV yang rusak di Phase 3 dan inverter yang tidak berfungsi untuk meningkatkan produksi energi. Pengurangan efisiensi di Phase 3, yang merupakan fase dengan jumlah modul PV terbesar, memberikan dampak signifikan pada total produksi energi keseluruhan proyek. Perlu dilakukan investigasi lebih lanjut untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan modul PV dan inverter serta penerapan strategi pemeliharaan yang lebih efektif. Selain itu, meskipun tidak ada masalah operasional di Phase 1, 2, dan 4, target produksi yang tidak tercapai mengindikasikan kemungkinan adanya faktor lain seperti kondisi cuaca, penyimpangan instalasi, atau efisiensi sistem yang perlu dievaluasi. Peningkatan efisiensi operasional dan pemeliharaan sistem secara keseluruhan sangat penting untuk memastikan pencapaian target produksi energi yang telah ditetapkan, mengoptimalkan investasi, dan memastikan keberlanjutan proyek tenaga surya ini. Secara keseluruhan, data ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk intervensi teknis dan manajerial guna memastikan optimalisasi kinerja semua fase dalam proyek ini. Dengan melakukan perbaikan dan evaluasi yang tepat, diharapkan dapat meningkatkan produksi energi sesuai target yang diharapkan, sehingga berkontribusi lebih signifikan terhadap penyediaan energi terbarukan yang bersih dan efisien.

5. Laporan Aktual dan Kumulatif Produksi Energi RAPP

Laporan aktual dan kumulatif produksi energi dari pembangkit listrik tenaga surya untuk beberapa fase, termasuk Phase 1, Phase 2, Phase 3, dan Pelalawan menunjukkan informasi data harian mulai dari Mei hingga Juni 2024. Tabel mencantumkan kapasitas terpasang total (DC dan AC) untuk setiap fase, target produksi energi dalam USD, dan produksi energi per hari dalam kWh. Misalnya, Phase 1 memiliki kapasitas terpasang total 1,350 kWp (DC) dan 1,000 kWh (AC), dengan target produksi energi harian 5,303 kWh. Data tengah tabel mencakup produksi energi aktual harian (dalam MWh) untuk masing-masing fase dan total kumulatif dari produksi tersebut.

Tabel 2. Laporan Aktual dan Kumulatif Produksi Energi RAPP

		PHA SE 1	PHA SE 2	PHAS E 3	PELALAWAN
TOTAL INSTALLED CAPACITY (OC)	KW P	1.350	12.754	18.446,43	500 + 500
TOTALLED INSTALLED CAPACITY (AC)	KW H	1.000	10.000	14.400	500
TARGET Pe	USD	7.182			
CIP POWER GENERATION/ DAY	KW H	5.303	44.549	72.000	1.750

Contoh data harian menunjukkan produksi aktual per tanggal 1 Juni, di mana Phase 1 menghasilkan 2.93 MWh, Phase 2 menghasilkan 27.37 MWh, Phase 3 menghasilkan 53.28 MWh, dan Pelalawan menghasilkan 1.71 MWh. Data kumulatif hingga 23 Juni menunjukkan total produksi energi masing-masing fase, seperti Phase 1 dengan 86.14 MWh, Phase 2 dengan 911.64 MWh, Phase 3 dengan 1,396.09 MWh, dan Pelalawan dengan 39.92 MWh.

Laporan ini menunjukkan tren produksi energi setiap hari dan bagaimana setiap fase berkontribusi terhadap total produksi kumulatif. Dari data yang ada, kita dapat melihat bahwa Phase 3 consistently menghasilkan energi dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan fase lain, yang sejalan dengan kapasitas instalasi yang lebih tinggi.

Namun, masalah dengan modul PV dan inverter di Phase 3 yang terlihat dalam laporan sebelumnya mungkin telah mempengaruhi produksi harian mereka. Implikasi dari laporan ini mencakup pentingnya pemantauan kinerja harian untuk memastikan target produksi tercapai, perlunya pemeliharaan dan perbaikan modul PV dan inverter yang rusak di Phase 3, serta evaluasi sistem secara keseluruhan untuk meningkatkan efisiensi produksi. Dengan melakukan tindakan yang tepat berdasarkan data ini, diharapkan dapat meningkatkan produksi energi sesuai target yang diharapkan, sehingga berkontribusi lebih signifikan terhadap penyediaan energi terbarukan yang bersih dan efisien.

Pembahasan Hasil Penelitian

1. Potensi dan Efisiensi Energi Matahari di PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memanfaatkan energi matahari sebagai sumber utama untuk menghasilkan listrik. Potensi energi matahari di lingkungan PT. Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP) sangat signifikan mengingat intensitas sinar matahari yang tinggi di wilayah tersebut. Panel surya pada PLTS dirancang untuk menyerap energi matahari dan mengonversinya menjadi listrik. Durasi penyimpanan energi yang dihasilkan sangat bergantung pada efisiensi panel surya dan kapasitas baterai yang digunakan. Dalam kondisi ideal, energi yang disimpan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik selama beberapa jam bahkan ketika matahari tidak bersinar.

Namun, kinerja PLTS juga dipengaruhi oleh kondisi cuaca (Seran et al., 2022). Cuaca yang cerah dan langit yang bersih akan meningkatkan produksi energi secara maksimal. Sebaliknya, cuaca buruk seperti hujan, awan tebal, atau kabut dapat mengurangi jumlah energi yang dihasilkan. Variabilitas cuaca ini dapat menyebabkan fluktuasi dalam produksi listrik, sehingga penting bagi PT. RAPP untuk memiliki sistem penyimpanan energi yang memadai. Iradiasi pada sumber matahari adalah energi radiasi matahari yang diterima oleh suatu permukaan per satuan luas dan waktu. Faktor terpenting pada PLTS adalah iradiasi. Namun mesti diingat bahwa iradiasi tidak selalu dapat konsisten. Variabilitas dalam produksi harian dari sistem pembangkit listrik tenaga surya di lingkungan PT. RAPP memiliki tantangan

dimana kondisi cuaca yang awalnya dengan awan yang tebal, hujan atau cuaca yang berkabut sangat mempengaruhi jumlah sinar matahari yang mencapai panel surya.

Pada saat cuaca tidak panas atau tidak cerah, intensitas cahaya matahari yang diterima panel surya akan berkurang. Musim yang berubah-ubah juga dapat mempengaruhi produksi energi harian PLTS (Hermawan & Nurpulaela, 2024). Misalnya, musim hujan dapat menghasilkan lebih banyak awan dan curah hujan, yang dapat mengurangi jumlah sinar matahari yang mencapai panel surya dibandingkan dengan musim kemarau. Seiring waktu, panel surya dapat mengalami penurunan kinerja atau keausan yang mengurangi efisiensinya dalam mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Penggantian panel surya yang tua atau rusak dengan yang baru dapat meningkatkan produksi energi. Jika PLTS dilengkapi dengan sistem penyimpanan baterai, kapasitas dan kondisi baterai juga dapat mempengaruhi produksi energi harian. Baterai yang rusak atau bermasalah dapat mengurangi kemampuan sistem untuk menyimpan dan menyediakan energi saat dibutuhkan.

2. Rincian Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Uap RAPP

Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Dual Fuel Line 2 di PT Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP) memiliki kapasitas 100 MW dan merupakan salah satu upaya signifikan dalam pemanfaatan energi terbarukan serta meningkatkan efisiensi energi dalam proses produksi listrik. Berdasarkan hasil analisis energi pada PLTU ini, efisiensi termal sistem mencapai 43,24%. Ini berarti bahwa dari total energi panas yang masuk ke sistem, 43,24% dikonversi menjadi energi listrik yang berguna. Efisiensi ini diperoleh melalui perhitungan komponen utama dalam siklus PLTU, seperti kerja pompa, kerja turbin, serta panas yang masuk dan keluar dari sistem (Siregar et al., 2019). Dalam proyek PLTU Dual Fuel Line 2 PT Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP), beberapa komponen utama berperan penting dalam proses produksi listrik. Kerja pompa I tercatat sebesar 0,0047 MW, sementara kerja pompa II mencapai 1,35 MW. Turbin uap memiliki peran signifikan dengan kerja sebesar 87,09 MW. Dari segi panas, sistem ini menerima panas sebesar 198,27 MW, namun juga kehilangan panas sebesar 53,79 MW.

Dengan demikian, kerja bersih yang dihasilkan oleh sistem ini adalah 85,73 MW. Efisiensi ini menunjukkan bahwa komponen-komponen utama bekerja secara efektif dalam mengonversi energi panas menjadi energi listrik yang berguna.

PLTU ini menggunakan bahan bakar yang dapat diperbaharui (renewable energy), yaitu biomassa dan gas alam. Namun, dalam prakteknya, penggunaan biomassa tidak mencapai 100% karena masih ada sedikit penggunaan gas alam. Biomassa yang digunakan meliputi bark (kulit kayu), serat buah kelapa sawit, tandan kosong, dan cangkang. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai-nilai kerja aktual yang dihasilkan cukup tinggi dan efisien. Proyek PLTU Dual Fuel Line 2 di PT Riau Andalan Pulp and Paper menunjukkan kinerja yang baik dengan efisiensi termal mencapai 43,24%. Penggunaan energi terbarukan seperti biomassa memberikan kontribusi yang signifikan dalam mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan meningkatkan keberlanjutan energi. Evaluasi kinerja menunjukkan bahwa komponen-komponen utama dalam sistem bekerja secara efektif, menghasilkan kerja bersih sebesar 85,73 MW.

3. Perbandingan PLTS dan PLTU Boiler

PLTS dan PLTU memiliki karakteristik berbeda dalam hal kapasitas dan produksi energi. PLTS Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP) memiliki kapasitas terpasang yang bervariasi sesuai dengan fase pembangunan. Fase pertama memiliki kapasitas 1,350 MWp DC / 1 MW AC, sedangkan fase kedua mencapai 12,754 MWp DC / 10 MW AC. Dalam proyek PLTS, energi yang dihasilkan sangat bergantung pada intensitas sinar matahari dan efisiensi modul surya. Sebaliknya, PLTU Dual Fuel Line 2 RAPP memiliki kapasitas 100 MW, yang dapat diandalkan untuk menghasilkan energi listrik secara kontinu menggunakan bahan bakar biomassa dan gas alam. Dari segi daya, PLTU biasanya mampu memberikan daya yang lebih stabil dan besar dibandingkan PLTS yang sangat tergantung pada kondisi cuaca.

Investasi awal untuk membangun PLTS dan PLTU juga berbeda. Pembangunan PLTS cenderung memerlukan investasi yang lebih besar per megawatt dibandingkan dengan PLTU karena teknologi fotovoltaik yang relatif mahal dan biaya instalasi yang signifikan.

Namun, PLTS memiliki keunggulan dalam hal biaya operasional yang lebih rendah karena tidak memerlukan bahan bakar. Pembangunan awal PLTS RAPP mencakup beberapa fase dengan rincian investasi yang berbeda. Fase pertama misalnya, menggunakan 2.966 unit modul dan 10 unit inverter yang dipasang di area seluas 1,12 hektar. Sementara itu, pembangunan PLTU melibatkan instalasi komponen utama seperti turbin uap, pompa, dan boiler, yang juga membutuhkan investasi besar, namun lebih terkonsentrasi pada infrastruktur dan peralatan yang tahan lama.

Kondisi lingkungan di sekitar PLTS dan PLTU berbeda secara signifikan. PLTS, yang memanfaatkan energi matahari, tidak menghasilkan emisi karbon selama operasi, sehingga lebih ramah lingkungan. Namun, kondisi cuaca yang berubah-ubah dapat mempengaruhi efisiensi produksi energi dari PLTS. Selain itu, PLTS membutuhkan lahan yang cukup luas untuk instalasi panel surya, yang dapat mempengaruhi ekosistem lokal jika tidak dikelola dengan baik. Sebaliknya, PLTU yang menggunakan bahan bakar biomassa dan gas alam cenderung menghasilkan emisi gas rumah kaca dan polutan lainnya meskipun menggunakan bahan bakar terbarukan. Proses pembakaran pada boiler PLTU menghasilkan CO₂ dan partikel lain yang dapat mencemari udara sekitar. Oleh karena itu, PLTU biasanya memerlukan sistem pengelolaan emisi yang ketat untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Tabel 3. Perbandingan PLTS dan PLTU Boiler

Kriteria	PLTS	PLTU
Biaya investasi	Tinggi	Tinggi
Biaya operasional	Rendah	Tinggi
Stabilitas daya	Sedang (tergantung cuaca)	Stabil (tidak tergantung cuaca)
Dampak lingkungan	Rendah (energi bersih)	Tinggi (emisi karbon)
Ketergantungan pada cuaca	Tinggi (perlu sinar matahari)	Rendah
Kapasitas daya	Bervariasi (kapasitas terbatas)	Besar dan stabil
Skala Pembangunan	Membutuhkan lahan luas	Lebih kompak

Sumber bahan bakar	Matahari (energi terbarukan)	Biomassa/gas alam (terbarukan dan fosil)
Masa operasi	Panjang (sedikit perawatan)	Panjang (perawatan intensif)
Emisi polutan	Tidak ada	Tinggi (CO2 dan partikel)
Penyimpanan energi	Perlu sistem penyimpanan	Tidak perlu penyimpanan
Keandalan	Kurang saat malam atau hujan	Tinggi, 24/7 operasi

Secara keseluruhan, PLTS dan PLTU memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. PLTS unggul dalam hal keberlanjutan lingkungan dan biaya operasional yang lebih rendah, tetapi tergantung pada kondisi cuaca dan memerlukan investasi awal yang besar. PLTU, meskipun memiliki potensi emisi yang lebih tinggi dan dampak lingkungan yang negatif, menawarkan kapasitas produksi energi yang lebih stabil dan besar, serta biaya pembangunan awal yang lebih terfokus pada infrastruktur utama. Dalam konteks PT Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP), kombinasi kedua jenis pembangkit listrik ini dapat memberikan solusi energi yang berkelanjutan dan efisien untuk memenuhi kebutuhan energi jangka panjang.

Dalam mempertimbangkan opsi pembangkit listrik, penting untuk membandingkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbasis boiler. Salah satu aspek utama yang perlu diperhatikan adalah investasi awal pembangunan. PLTS biasanya memerlukan investasi awal yang cukup tinggi (Hasan, 2012) yang biasanya digunakan untuk pembelian dan instalasi panel surya, inverter, dan sistem penyimpanan energi. Meskipun demikian, biaya operasional dan pemeliharaan PLTS cenderung lebih rendah dibandingkan dengan PLTU. Sebaliknya, PLTU boiler juga membutuhkan investasi awal yang besar (Ilham & Suedy, 2022), termasuk biaya untuk pembelian boiler, turbin, dan infrastruktur pendukung. Selain itu, biaya bahan bakar fosil untuk PLTU boiler menambah beban operasional yang berkelanjutan.

Kapasitas daya yang dihasilkan oleh PLTS dan PLTU juga perlu diperbandingkan. PLTS

menghasilkan daya yang bergantung pada intensitas sinar matahari dan kondisi cuaca, dengan efisiensi yang dapat berfluktuasi. Sementara itu, PLTU boiler dapat menghasilkan daya yang lebih stabil dan terprediksi, karena tidak bergantung pada kondisi cuaca. Namun, PLTU boiler membutuhkan pasokan bahan bakar yang kontinu untuk operasi yang konsisten. Selain aspek ekonomi, dampak lingkungan dan emisi yang dihasilkan oleh kedua jenis pembangkit listrik ini sangat berbeda. PLTS merupakan sumber energi bersih yang tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca selama operasinya, sehingga lebih ramah lingkungan (Rahmadani, 2024). Di sisi lain, PLTU boiler menggunakan bahan bakar fosil (Sidiq, 2022) yang menghasilkan emisi karbon dan polutan lainnya, berkontribusi terhadap pencemaran udara dan perubahan iklim. Oleh karena itu, meskipun PLTS memerlukan investasi awal yang tinggi, manfaat jangka panjangnya dalam hal pengurangan emisi dan keberlanjutan lingkungan membuatnya menjadi pilihan yang menarik bagi PT. Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP).

4. Keandalan dan Kendala Sistem Penyaluran Energi

Koordinasi perlindungan dalam sistem tenaga listrik penting untuk melindungi peralatan dari kerusakan akibat gangguan (Naibaho et al., 2024) sehingga keandalan sistem penyaluran energi terjaga. Keandalan sistem penyaluran energi merupakan aspek krusial dalam operasi pembangkit listrik, termasuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbasis boiler. Keandalan sistem ini dapat diukur dan dihitung menggunakan berbagai rumus dan metode perhitungan yang memperhitungkan faktor-faktor seperti waktu operasi, frekuensi gangguan, dan durasi pemulihan. Salah satu metode yang umum digunakan adalah Mean Time Between Failures (MTBF) dan Mean Time To Repair (MTTR). MTBF mengukur rata-rata waktu antara kegagalan, sementara MTTR mengukur rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kegagalan tersebut. Dengan menggunakan rumus-rumus ini, keandalan sistem penyaluran energi dapat dievaluasi dan ditingkatkan untuk memastikan pasokan listrik yang stabil dan konsisten.

Selain perhitungan keandalan, ada berbagai kendala teknis dan operasional yang dapat mempengaruhi penyaluran energi listrik dari PLTS dan PLTU. Salah satu kendala utama dalam penyaluran energi dari PLTS adalah variabilitas cuaca (Wimatra, 2021). Hujan, awan tebal, atau kondisi cuaca buruk lainnya dapat mengurangi efisiensi panel surya (Windasari et al., 2023), sehingga mempengaruhi stabilitas penyaluran energi. Di sisi lain, PLTU boiler menghadapi kendala dalam hal penyediaan bahan bakar fosil yang kontinu dan stabil. Gangguan dalam rantai pasokan bahan bakar dapat menyebabkan gangguan operasional dan penurunan keandalan sistem.

Kendala teknis lainnya termasuk kebutuhan untuk perawatan dan pemeliharaan rutin, baik untuk PLTS maupun PLTU. Sistem penyaluran energi harus selalu dalam kondisi optimal untuk menghindari gangguan yang tidak terduga. Selain itu, infrastruktur penyaluran energi, seperti jaringan listrik dan transformator, harus dirawat dengan baik untuk mengurangi risiko kegagalan teknis yang dapat mengganggu penyaluran energi. Dengan memahami dan mengatasi kendala-kendala ini, keandalan sistem penyaluran energi dapat ditingkatkan, sehingga mendukung operasi yang lebih efisien dan stabil bagi PT. Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP).

5. Masa Pakai dan Ketersediaan Baterai

Dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), baterai memainkan peran penting dalam menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya untuk digunakan saat matahari tidak bersinar, seperti pada malam hari atau saat cuaca buruk. Durasi penggunaan baterai tergantung pada kapasitas dan teknologi yang digunakan. Harapan hidup baterai lithium-ion yang digunakan untuk penyimpanan tenaga surya adalah lebih dari 10 tahun (Beltran et al., 2020), bahkan dengan pengembangan baterai baru, tergantung pada kualitas dan kondisi penggunaannya. Ketersediaan baterai juga menjadi faktor penting yang mempengaruhi keandalan dan kontinuitas pasokan energi dari PLTS.

Selain durasi penggunaan, ketersediaan baterai juga melibatkan aspek logistik dan manajemen persediaan. Baterai yang digunakan harus mudah tersedia dan dapat diandalkan untuk menggantikan yang lama ketika sudah

mencapai akhir masa pakainya. Ini memerlukan perencanaan yang baik dalam hal pengadaan dan pengelolaan stok baterai agar tidak terjadi kekurangan yang dapat mengganggu operasional PLTS. Namun, terdapat batasan dan kendala alat yang harus dihadapi dalam penggunaan baterai pada PLTS. Salah satu kendala utama adalah biaya investasi awal yang cukup tinggi untuk membeli dan memasang baterai berkualitas. Selain itu, perawatan dan pemeliharaan baterai juga memerlukan perhatian khusus untuk memastikan kinerjanya tetap optimal. Baterai harus disimpan dalam kondisi yang tepat dan dilindungi dari suhu ekstrem serta kelembaban yang berlebihan untuk mencegah kerusakan. Cara lain untuk memastikan pemeliharaan dan perawatan baterai adalah dengan beberapa metode pengujian, yaitu pengujian tegangan, berat jenis elektrolit, temperatur elektrolit, efisiensi, dan kapasitas baterai (Hardhika & Rizal, 2022).

Batasan lain adalah keterbatasan kapasitas penyimpanan energi. Baterai memiliki kapasitas terbatas yang bisa menyimpan energi hanya dalam jumlah tertentu. Pada saat permintaan energi melebihi kapasitas penyimpanan baterai, sistem PLTS mungkin tidak mampu menyediakan pasokan listrik yang cukup. Oleh karena itu, penting bagi PT. RAPP untuk melakukan evaluasi berkala terhadap kebutuhan energi dan kapasitas penyimpanan baterai agar dapat mengoptimalkan kinerja sistem PLTS secara keseluruhan.

6. Keuntungan dan Kerugian PLTS

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menawarkan berbagai keuntungan bagi PT. RAPP. Salah satu keuntungan utama adalah penggunaan energi matahari sebagai sumber utama, yang merupakan energi terbarukan dan tidak akan habis. Hal ini membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang terbatas dan mengurangi emisi gas rumah kaca, sehingga berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim. Dengan memanfaatkan panas matahari, lingkungan sekitar tidak dirugikan, menjadikan penggunaan sumber energi alam pilihan yang tepat demi menjaga kelestarian bumi. Selain itu, PLTS juga dapat meningkatkan ketersediaan energi di lokasi-lokasi terpencil atau yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik umum, memberikan manfaat bagi masyarakat setempat dan mendukung

pengembangan sosial ekonomi di daerah tersebut (Riawan et al., 2022). Kemandirian energi yang diperoleh dari PLTS meningkatkan stabilitas operasional perusahaan dan mengurangi ketergantungan pada penyedia listrik eksternal.

Meskipun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memiliki banyak keuntungan, ada beberapa tantangan atau kerugian yang mungkin dihadapi oleh PT. RAPP. Salah satu tantangan utama adalah investasi awal yang tinggi, karena pembangunan PLTS membutuhkan biaya besar untuk pembelian dan instalasi sistem panel surya, inverter, dan peralatan lainnya (Riafinola & Puspita, 2022). Selain itu, meskipun PLTS umumnya memerlukan perawatan yang lebih sedikit dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional, masih diperlukan pemantauan dan perawatan rutin untuk menjaga kinerja sistem, yang membutuhkan sumber daya manusia dan waktu. Tantangan lainnya adalah variabilitas cuaca yang dapat mempengaruhi produksi energi PLTS. Cuaca buruk seperti hujan atau awan tebal dapat mengurangi produksi energi, sehingga berdampak pada keandalan pasokan listrik perusahaan. Keterbatasan ruang dan lokasi yang cocok untuk instalasi PLTS juga bisa menjadi kendala, terutama jika lahan yang tersedia terbatas atau terhalang oleh vegetasi atau struktur lainnya.

7. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja

Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di lingkungan PT. Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP) meliputi beberapa aspek penting. Salah satu faktor utama adalah intensitas sinar matahari yang diterima oleh panel surya. Kondisi cuaca seperti kecerahan, keberlanjutan, dan keberagaman cahaya matahari sangat mempengaruhi produksi energi. Cuaca cerah dengan langit bersih akan meningkatkan produksi energi secara signifikan, sementara cuaca buruk seperti hujan atau awan tebal akan menguranginya (Salis, 2017). Selain itu, tingkat pemeliharaan dan perawatan PLTS juga berperan penting dalam kinerjanya. Panel surya yang bersih dan terawat dengan baik akan memiliki efisiensi konversi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel yang kotor atau rusak.

Faktor lainnya adalah umur dan kondisi panel surya. Panel surya yang baru dan dalam kondisi baik cenderung memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel yang sudah tua atau mengalami kerusakan. Adanya bayangan pada panel surya juga merupakan faktor yang signifikan dalam mengurangi produksi energi. Bayangan dapat disebabkan oleh rintangan seperti bangunan, pohon, atau struktur lainnya yang menghalangi sinar matahari mencapai panel surya. Dengan mengelola dan meminimalkan faktor-faktor ini, kinerja PLTS di PT. RAPP dapat dioptimalkan untuk menghasilkan energi secara lebih efisien dan efektif.

IV. Kesimpulan

Analisis menunjukkan bahwa PLTS di PT. RAPP memiliki efisiensi tinggi dalam mengubah energi matahari menjadi listrik, terutama pada fase awal. Namun, kerusakan pada modul PV dan inverter di Fase 3 mengurangi produksi energi dan efisiensi keseluruhan. Walaupun target produksi energi belum sepenuhnya tercapai, PLTS menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan kapasitas energi terbarukan. Di sisi lain, PLTU Dual Fuel Line 2 di PT. RAPP menunjukkan efisiensi termal yang baik sebesar 43,24%. Penggunaan biomassa sebagai bahan bakar utama mengurangi emisi karbon, meski gas alam tetap diperlukan untuk stabilitas produksi. PLTS unggul dalam hal keberlanjutan lingkungan dan biaya operasional yang lebih rendah, sedangkan PLTU menawarkan kapasitas produksi yang lebih stabil dan besar. Untuk meningkatkan kinerja, perbaikan modul PV dan inverter di Fase 3 harus diprioritaskan, diiringi dengan strategi pemeliharaan yang efektif dan pemantauan kinerja harian. Rencana ekspansi untuk Fase 3 dan 4 perlu dilanjutkan dengan analisis dampak dan biaya. Investasi dalam teknologi fotovoltaik dan sistem penyimpanan energi juga penting. Pengelolaan emisi PLTU perlu diperhatikan meskipun menggunakan bahan bakar terbarukan, dengan teknologi pengurangan emisi dan pemantauan berkelanjutan. Kombinasi PLTS dan PLTU dapat memberikan solusi energi yang efisien dan berkelanjutan, memenuhi kebutuhan jangka panjang PT. RAPP. Evaluasi terus-menerus akan meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan proyek.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak terkait dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Beltran, H., Ayuso, P., & Pérez, E. (2020). Lifetime Expectancy Of Li-Ion Batteries Used For Residential Solar Storage. *Energies*, 13(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/en13030568>
- Harahap, Y. P., Tharo, Z., & Rahmaniar, R. (2024). Studi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Pembangunan Pancabudi. *IntecomS: Journal Of Information Technology And Computer Science*, 7(4), 1306–1314. <https://doi.org/10.31539/intecomS.V7i4.11322>
- Hardhika, H. D. A., & Rizal, R. F. (2022). Analisis Checkup Pemeliharaan Batteray Capacity Test (Bct)110 Vdc Di Pt. Pln (Persero) Gardu Induk 150 Kv Jatigedong Jombang. *Alinier: Journal Of Artificial Intelligence & Applications*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.36040/alinier.V3i2.5510>
- Hasibuan, A., Siregar, W. V., & Sayuti, M. (2023). Pemanfaatan Energi Angin Untuk Pembangkit Energi Listrik Di Daerah Kepulauan Menggunakan Kincir Angin Skala Kecil. Feniks Muda Sejahtera.
- Hermawan, S., & Nurpulaela, L. (2024). Penilaian Produktivitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Terhadap Variabilitas Cuaca: Simulasi Pvsyst. *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.35308/jmkn.V10i1.9232>
- Hidayatullah, S. A., & Styawati, S. (2024). Rancang Bangun Single-Axis Solar Tracker Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Kecil. *Jurnal Pepadun*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.23960/pepadun.V5i1.163>
- Ilham, M. F., & Suedy, S. W. A. (2022). Effect Of Cofiring Using Sawdust On Steam Coal Power Plant Heat Rate Value. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(2), 121–127. <https://doi.org/10.14710/JeBt.2022.13828>
- Kadang, J. M., & Windarta, J. (2021). Optimasi Sosial-Ekonomi Pada Pemanfaatan Plts Pv Untuk Energi Berkelanjutan Di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(2), 74–83. <https://doi.org/10.14710/JeBt.2021.1113>
- Lestari, A., Robbia, A. Z., & Patech, L. R. (2021). Optimalisasi Pemanfaatan Limbah Rumah Tangga Sebagai Bahan Pupuk Organik Cair Untuk Menumbuhkan Sikap Dan Perilaku Peduli Lingkungan Pada Siswa Mts. Haudhul Ulum Gegutu Telaga. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan Ipa*, 4(2), 0–5. <https://doi.org/10.29303/jpmpi.V4i2.656>
- Lppm-Ipb. (2015). *Penilaian Nilai Konservasi Tinggi Pt. Riau Andalan Pulp And Paper*.
- Naibaho, S. K., Lesmana, D., & Rahmaniar, R. (2024). An Analysis Of Reliability Protection Systems At Pltu Pt. Indah Pontjan. *Jurnal Scientia*, 13(03), Article 03.
- Panulisan, B. S., Suzanti, W., Handayani, Y. S., Permana, B. R. S., Khaerudin, D., Rini, A. S., & Rahmatullah, A. (2023). Kelayakan Potensi Sumber Daya Energi Terbarukan Sebagai Solusi Keterbatasan Daya Listrik Di Pedesaan Dengan Metode Sel Surya | *Indonesian Journal Of Thousand Literacies*. <https://ijtl.nindikayla.com/index.php/home/article/view/38>
- Rahmadani, O. D. T. (2024). Matahari Sebagai Sumber Energi Utama Kehidupan Serta Pemanfaatan Energi Matahari. *Kohesi: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 3(7), Article 7. <https://doi.org/10.3785/kohesi.V3i7.3763>
- Rahmaniar, Prayogo, A., Pratama, R., & Siswanto, R. F. (2023). Study Of The Potential Utilization Of Solar Energy At Village Head Office Paluh Manis Langkat. *International Journal Of Computer Sciences And Mathematics Engineering*, 2(2), 123–129.

- <https://doi.org/10.61306/Ijecom.V2i2.30>
- Rajagukguk, E., Tarigan, A. S. P., & Rahmانيar, R. (2023). Enhance Adjustment Mass Position Based On A Solar Panel Tracking System. *Jurnal Scientia*, 12(04), Article 04.
- Riafinola, H., & Puspita, W. R. (2022). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Penggunaan Listrik Rumah Tangga. 6(2).
- Riawan, I. P. G., Kumara, I. N. S., & Ariastina, W. G. (2022). Analisis Performansi Dan Ekonomi Plts Atap 10 Kwp Pada Bangunan Rumah Tangga Di Desa Batuan Gianyar. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 21(1), 63.
- Salis, F. R. (2017). Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Pemenuhan Kebutuhan Listrik Pada 8 Desa Periode Tahun 2015 [Universitas Gadjah Mada]. <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/129990>
- Seran, Y., Nursalim, N., & Kurniati, S. (2022). Analisis Penurunan Kinerja Daya Keluaran Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) 5 Mwp Oelpuah Kupang Dengan Menggunakan Software Pvsyst. *Jurnal Media Elektro*, 87-96.
<https://doi.org/10.35508/Jme.V0i0.8131>
- Sidiq, A. N. (2022). Pengaruh Co-Firing Biomassa Terhadap Efisiensi Boiler Pltu Batubara. *Kilat*, 11(1), 21-31.
<https://doi.org/10.33322/Kilat.V11i1.1553>
- Siregar, S., Romy, R., & Martin, A. (2019). Analisis Energi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Dual Fuel Line 2 Pt Riau Andalan Pulp And Paper (Rapp) 100 Mw Pangkalan Kerinci. *Jurnal Online Mahasiswa (Jom) Bidang Teknik Dan Sains*, 6(0), Article 0.
- Tarigan, A. D., Wibowo, P., & Tarigan, A. S. (2022). Perancangan Otoped Listrik Menggunakan Panel Surya Sebagai Media Transportasi. *Rele (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, 5(1), Article 1.
<https://doi.org/10.30596/Rele.V5i1.10793>
- Wimatra, A. (2021). Peningkatan Daya Keluaran Plts Dengan Menggunakan Pendingin Pada Permukaan Panel. *Jurnal Teknik Elektro Dan Telekomunikasi*, 8(2), 69-75.
- Windasari, N., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Analisis Efisiensi Mobil Listrik Berbasis Panel Surya Sebagai Upaya Pemanfaatan Energi Terbarukan. *Journal Of Health, Education, Economics, Science, And Technology (J-Hest)*, 6(1), Article 1.
<https://doi.org/10.36339/139>
- Wulandari, E. (2017). Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Komunal Untuk Pemenuhan Kebutuhan Listrik Pada Lima Desa Di Indonesia Periode Tahun 2015 [Universitas Gadjah Mada]. <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/115227>