

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam memenuhi kebutuhan daya listrik untuk kegiatan operasi pertambangan PT. Freeport Indonesia menggunakan beberapa jenis pembangkit listrik. Diantaranya Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) serta Pembangkit Listrik Tenaga Diesel-Gas (PLTMG) yang semuanya dioperasikan oleh departemen *Power Generation & Transmission*. Seiring berjalannya waktu dalam rangka meningkatkan kapasitas produksi, perusahaan melakukan ekspansi dalam komponen pendukung kegiatan produksi. Kawasan pemukiman karyawan di area Portsited juga direncanakan dilakukan peningkatan dalam rencana pengembangan area *Portsited* dan *Cargodock* yang diperkirakan membutuhkan daya sekitar 1,96 MW. Kenaikan kebutuhan listrik menuntut perusahaan untuk memperkuat kapasitas pembangkit yang ada sekaligus mencari sumber energi alternative yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Meningkatnya permintaan global akan energi, ditambah dengan meningkatnya masalah lingkungan, telah memacu peralihan signifikan menuju energi untuk memberikan peluang yang menjanjikan dalam memproduksi energi secara berkelanjutan dan menawarkan jalur menuju konsumsi listrik rendah karbon (Apurv et al, 2017., Al-Aboosi et al, 2021). Dalam usaha mempercepat pertambangan hijau, PT. Freeport Indonesia melakukan langkah strategis dalam mencapai tujuan mengurangi emisi karbon 30 persen pada tahun 2030. Ini sejalan dengan program Indonesia untuk mencapai transisi menuju energi bersih, yang juga dikenal sebagai *Net Zero Emission 2060*, Indonesia mempunyai komitmen dalam mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan beralih ke sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan. Sebagaimana tercantum dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) dan komitmen Indonesia untuk *Net Zero Emission* pada 2060.

Salah satu bentuk energi terbarukan yang memiliki potensi besar di Indonesia adalah energi surya. Indonesia merupakan negara yang terletak di garis khatulistiwa yang memberikan keuntungan dari segi intensitas paparan sinar matahari sepanjang tahun. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), saat ini menjadi salah satu yang banyak diterapkan di berbagai sektor, baik di perkotaan maupun di kawasan industri. Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi

tambahan dapat membantu mengurangi ketergantungan pada pembangkit listrik berbasis batubara dan mempercepat transisi menjadi energi yang lebih bersih.

Pemanfaatan sistem fotovoltaik (PV) menjadi salah satu upaya optimalisasi dalam mewujudkan *Net Zero Emission 2060*. Pemanfaatan sistem fotovoltaik di Indonesia memiliki prospek yang sangat baik, karena secara geografis sebagai negara tropis, yang dilintasi khatulistiwa, memiliki potensi surya yang cukup baik. Pemanfaatan energi surya diyakini lebih ramah lingkungan karena memanfaatkan sinar matahari yang diubah menjadi energi listrik sehingga proses kerjanya tidak membutuhkan energi fosil dan tidak menghasilkan emisi karbon (Mdallal et al, 2025).

PLTU Amamparae saat ini menggunakan batu bara sebagai bahan bakar. Batu bara ini disimpan di sebuah lokasi dengan atap Coal Field dengan luasan atap berkisar 18.825 m². Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Amampare merupakan salah satu fasilitas penyedia energi listrik penting yang menggunakan batu bara sebagai sumber energi utama. Meskipun mampu menyuplai energi dalam jumlah besar, penggunaan batu bara memiliki konsekuensi terhadap lingkungan, terutama terkait tingginya emisi karbon. Di sisi lain, pemerintah Indonesia terus mendorong percepatan transisi energi melalui peningkatan porsi energi terbarukan, dengan target bauran energi terbarukan mencapai 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 (Kementrian coordinator bidang perekonomian republic Indonesia, 2023).

Potensi energi surya yang dimiliki Indonesia sangat besar karena intensitas radiasi matahari yang melimpah sepanjang tahun salah satu bentuk pemanfaatan energi surya yang paling efektif adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Namun, potensi energi surya pada atap bangunan industri tersebut selama ini masih terabaikan dan belum dimanfaatkan secara optimal. Apabila sistem fotovoltaik atap diintegrasikan pada atap *Coal Field* PLTU, maka dapat menghadirkan peluang unik dalam mengoptimalkan keluaran energi dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Wang et al, 2023), pemanfaatan PLTS atap di area coal field dapat membantu mengurangi beban konsumsi listrik berbasis batu bara, energi matahari yang tersedia secara gratis sepanjang hari merupakan peluang besar yang semestinya dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil jika dimaksimalkan dengan baik.

Dengan adanya rencana pembangunan permukiman di sekitar area coal field akan meningkatkan kebutuhan energi yang cukup signifikan. Pertumbuhan permukiman menghasilkan penambahan beban listrik, kenaikan kebutuhan energi ini berpotensi menambah tekanan pada

PLTU Amamapare, sehingga dapat menyebabkan peningkatan konsumsi batu bara dan bertambahnya emisi karbon ke atmosfer. Dengan memaksimalkan pemanfaatan **PLTS atap** di area coal field, PLTU Amamapare tidak hanya dapat **mengurangi konsumsi energi fosil**, tetapi juga dapat **menyediakan energi terbarukan** yang cukup untuk memenuhi sebagian kebutuhan listrik di area sekitar, termasuk permukiman yang sedang dibangun. Bahkan, potensi ini dapat mengurangi ketergantungan terhadap pembangkit berbahan bakar fosil dan mendukung upaya yang sedang direncanakan di Indonesia.

Pemasangan PV Surya *rooftop* ini juga diharapkan mampu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil sehingga akan lebih ramah lingkungan. Kelayakan dan efektivitas integrasi PV Surya *rooftop* dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk tingkat iradiasi surya, efisiensi modul, desain sistem, dan strategi integrasi jaringan. Penilaian terperinci terhadap sumber daya surya, pemodelan sistem yang tepat, dan teknik kontrol yang canggih diperlukan untuk memaksimalkan produksi energi dan menjamin operasi jaringan yang stabil (Wei et al, 2023). Integrasi PLTS atap pada coal field PLTU Amampare tidak hanya menawarkan peningkatan kapasitas suplai energi, tetapi juga menjadi langkah strategis dalam menurunkan emisi karbon yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara. Setiap energi listrik yang disubstitusi oleh energi surya secara langsung mengurangi konsumsi batubara, sehingga menurunkan intensitas emisi CO₂ pembangkit. Pengurangan emisi ini semakin penting mengingat target dekarbonisasi perusahaan dan komitmen nasional terhadap pengurangan emisi.

Pemanfaatan PLTS atap berpotensi mengurangi biaya operasional PLTU melalui penghematan bahan bakar, menurunkan biaya pemeliharaan akibat berkurangnya beban operasi unit, serta membuka peluang ekonomi baru melalui skema insentif energi terbarukan dan nilai ekonomi kredit karbon. Dengan demikian, pengembangan PLTS atap tidak hanya memberikan manfaat lingkungan tetapi juga mendukung peningkatan efisiensi biaya operasional jangka panjang bagi perusahaan.. Berdasarkan pemaparan tersebut, peneliti tertarik untuk menganalisis pemanfaatan atap *Coal Field* di PLTU Amamapare apabila dimanfaatkan sebagai PLTS serta besar output energi maksimum yang dapat dihasilkan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian ini menitik beratkan pada pembahasan:

1. Bagaimana potensi teknis pemanfaatan atap coal field PLTU Amampare sebagai lokasi pemasangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap dalam menghasilkan energi listrik

serta kontribusinya terhadap pemenuhan sebagian kebutuhan listrik kawasan permukiman yang direncanakan ?

2. Berapa kapasitas terpasang PLTS atap yang optimal dan estimasi produksi energi listrik tahunan yang dapat dihasilkan dengan mempertimbangkan kondisi radiasi matahari, karakteristik atap, serta pengaruh lingkungan coal field terhadap kinerja system dengan permodelan menggunakan PVSyst?
3. Bagaimana dampak penerapan PLTS atap di area coal field PLTU Amamapare terhadap pengurangan konsumsi batubara, penurunan emisi karbon dan kelayakan ekonomi pembangkit ditinjau dari parameter Net present value (NPV) dan Payback period (PBP)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kelayakan teknis pemanfaatan atap *Coal Field* PLTU Amamapare dalam menghasilkan energi dari sistem PLTS
2. Menganalisis kontribusi PLTS atap terhadap peningkatan output pembangkit dan pengurangan emisi karbon
3. Menghitung kelayakan ekonomi dan estimasi dampak lingkungan apabila memanfaatkan atap *Coal Field* PLTU Amamapare sebagai PLTS

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari hasil tesis ini, yaitu:

1. Manfaat Teoritis
 - Menambah literature mengenai pemanfaatan sistem fotovoltaik atap pada fasilitas industri berat, khususnya pada area coal field PLTU
 - Memberikan kontribusi ilmiah dalam kajian implementasi energi terbarukan pada sektor pertambangan dan pembangkitan listrik berbasis fosil.
 - Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya terkait integrasi PLTS pada lokasi industri berskala besar
2. Memberikan wawasan mengenai peningkatan energi terbarukan dengan pemanfaatan energi matahari ke energi listrik di PLTU Amamapare dengan memanfaatkan atap *Coal Field*
3. Dapat meningkatkan efisiensi energi PLTU dengan memanfaatkan atap *Coal Field* PLTU Amamapare dalam menghasilkan energi tambahan.

4. Dapat menurunkan biaya operasional PLTU melalui penghematan penggunaan listrik grid/ biaya bahan bakar fosil.
5. Dapat mengurangi emisi karbon, mendukung komitmen ESG dan meminimalkan dampak polusi dengan mengganti sebagian energi fosil menggunakan PLTS.

1.5 Pembatasan Masalah

1. Penelitian dibatasi pada analisis pemanfaatan coal field PLTU Amampare sebagai lokasi pemasangan PLTS atap dengan sistem terhubung jaringan (grid-connected) menggunakan simulasi perangkat lunak PVsyst.
2. Analisis dampak lingkungan dibatasi pada pengurangan konsumsi batubara dan emisi CO₂ berdasarkan energi listrik yang dihasilkan PLTS, tanpa mencakup kajian daur hidup komponen (LCA) maupun pengujian degradasi modul secara eksperimental.
3. Analisis keekonomian dibatasi pada perhitungan biaya investasi awal, penghematan biaya energi, net present value (NPV), dan payback period (PBP), tanpa mempertimbangkan eskalasi harga, inflasi, perubahan kebijakan, serta sistem penyimpanan energi.

1.6 Orisinilitas Penelitian

Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai pemanfaatan energi matahari serta pemanfaatan energi panas dan gas buangan dari PLTMG, berikut ringkasan daftar penelitian dapat dilihat pada Tabel I.1.

Tabel I. 1 Penelitian Sebelumnya Mengenai Pemanfaatan Energi Matahari serta Pemanfaatan Energi Panas dan Gas Buangan dari PLTMG

No	Peneliti (tahun)	Judul Penelitian	Metodologi Penelitian	Gap Penelitian
1	(Rizkasari et al., 2020)	Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Untuk PLTS di Kantor Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral (PUP-ESDM) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta	1. Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif 2. Penelitian ini menghitung luasan atap menggunakan HelioScope untuk menentukan banyaknya modul surya	Penelitian ini fokus pada perancangan PLTS dan jumlah energi yang diperoleh bukan pada daerah industri dan menggunakan aplikasi HelioScope dalam perancangannya.

			dan menghitung hasil produksi energi yang diperoleh.	
2	(Kual et al., 2022)	<i>Designing a Rooftop Solar Power Plant at the Faculty of Engineering University of Papua using PVSyst and EasySolar Software</i>	1. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif 2. Penelitian ini menghitung luasan atap yang dapat digunakan sebagai tempat pemasangan modul PV, penentuan komponen PLTS, mensimulasikan menggunakan software PVsyst serta menghitung output PLTS	Penelitian ini fokus pada perancangan PLTS, jumlah energi yang diperoleh serta kajian ekonominya. Namun penelitian ini dilaksanakan bukan pada daerah industri sehingga tidak membahas mengenai dampak debu pada modul PV.
3	(Dedi Wiriastika et al., 2022)	Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga surya di Tempat Olah Sampah Setempat Werdi Guna Desa Gunaksa Kabupaten Klungkung	1. Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif 2. Penelitian ini menghitung luasan PLTS yang dapat dipasang, penentuan desain PLTS, serta biaya investasi	PLTS ini fokus pada perancangan PLTS <i>Ground-Mounted</i>, sehingga modul PV tidak dipasang pada atap
4	(Latupono et al., 2023)	Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya <i>On-grid</i> di Atap Gedung Jurusan	1. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif	Penelitian ini fokus pada perancangan PLTS dan jumlah energi yang

		Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon	2. Penelitian ini merencanakan PLTS <i>on grid</i>	diperoleh bukan pada daerah industri sehingga tidak membahas mengenai dampak debu pada modul PV.
5	(Qiang <i>et al</i> , 2021)	The nexuses between energy investments, technological innovations, emission taxes, and carbon emissions in China	Penelitian ini menggunakan analisis tekno- ekonomi serta pengurangan emisi karbon sebagai dampak positif penerapan teknologi terbaharukan.	Fokus penelitian pada energi terbaharukan yang pengaplikasiannya di dataran Tiongkok yang tentunya memiliki kondisi iklim berbeda.
6	(Desai <i>et al</i> , 2022)	Exploration of degradation pathways resulting in reduction in volume resistivity in photovoltaic backsheets under sand erosion and aging in desert conditions	Penelitian ini mengkaji mengenai bagaimana dampak partikel pasir/debu terhadap ketahanan dan kualitas PV.	Penelitian ini tidak bersifat spesifik pada pemanfaatan atap sebagai tempat pemasangan PV serta tidak spesifik pada dampak debu batubara PLTU terhadap kualitas PV.

Gap penelitian sebelumnya terhadap penelitian yang dilakukan yaitu penelitian ini memanfaatkan area *Coal Stockpile Cover* PLTU yang umumnya belum dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Berbeda dengan penelitian PLTS atap konvensional pada gedung industri atau perkantoran, penelitian ini menggunakan struktur atap *coal field* yang memiliki karakteristik khusus seperti bentang lebar, bentuk cylindrical dome, lingkungan berdebu, dan temperatur tinggi. Berbeda dengan penelitian PLTS atap konvensional tipe *flat roof* atau *gable roof*, penelitian ini melakukan analisis penempatan modul pada struktur lengkung *coal stockpile cover*. Kebaruan lainnya adalah konsep integrasi PLTS sebagai pendukung energi output pembangkit PLTU, bukan sekadar sebagai sistem independen. Energi PLTS digunakan untuk membantu suplai daya beban pemakaian sendiri (*auxiliary power*) PLTU sehingga konsumsi energi dari unit utama berbahan bakar batubara dapat dikurangi. Pendekatan ini mendukung

konsep transisi energi dan co-firing energi bersih pada pembangkit eksisting. Penelitian ini dapat menjadi model awal implementasi hybrid system antara PLTU batubara dan PLTS atap di kawasan pembangkit eksisting Indonesia. Konsep ini masih relatif baru dibanding studi PLTS industri umum dan memiliki potensi replikasi pada PLTU lain yang memiliki area *stockpile* luas.

