

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi memainkan peran yang sangat krusial dalam mendukung pembangunan berkelanjutan di Indonesia, baik dari segi kesejahteraan sosial, ekonomi, maupun lingkungan. Pengelolaan energi yang tepat dan efisien dapat memberikan berbagai manfaat dalam kehidupan sehari-hari serta membantu mengurangi masalah lingkungan di masa mendatang. Sebaliknya, penyalahgunaan energi dapat menimbulkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan sumber energi itu sendiri.

Indonesia saat ini menghadapi berbagai tantangan dalam memenuhi kebutuhan energi nasional. Salah satu faktor penyebabnya adalah ketergantungan yang tinggi terhadap energi fosil, seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Mayoritas pembangkit listrik di Indonesia masih mengandalkan sumber energi fosil, terutama batu bara, yang berkontribusi sebesar 60 persen terhadap total produksi listrik di negara ini. Sebagai salah satu negara penghasil batu bara terbesar di dunia, mengurangi ketergantungan pada batu bara merupakan tantangan yang sangat signifikan.

Penggunaan bahan bakar fosil dalam pembangkit listrik menimbulkan dampak negatif berupa emisi karbon dioksida (CO_2) ke atmosfer sebagai gas rumah kaca selama proses pembakaran. Hal ini berkontribusi pada pemanasan global dengan menjebak radiasi inframerah yang seharusnya dipancarkan dari bumi ke luar angkasa. Selain itu, ketergantungan pada bahan bakar fosil juga menyebabkan ketidakseimbangan dalam pasokan energi. Oleh karena itu, untuk mencapai keseimbangan pasokan energi, penting untuk meningkatkan ketahanan energi dan mengembangkan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan guna memenuhi kebutuhan energi domestik (Anindhita et al., 2018).

Pemerintah Indonesia telah mengambil langkah untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan sebagai upaya menjaga ketahanan energi dan menurunkan emisi gas rumah kaca. Berdasarkan kebijakan energi nasional

ditargetkan bahwa penggunaan energi terbarukan akan mencapai minimal 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Langkah ini bertujuan untuk mempercepat transisi menuju energi bersih dengan mengurangi ketergantungan pada energi fosil, terutama batu bara, yang selama ini menjadi sumber utama penyediaan listrik di Indonesia. Program pensiun dini untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batu bara merupakan bagian dari strategi Indonesia dalam mencapai target netral karbon atau *net zero emission* (NZE) pada tahun 2060. Namun, seperti yang dinyatakan oleh Dirjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) Eniya Listiani Dewi, proses pensiun dini PLTU bukanlah hal yang mudah. Selain perlu menyiapkan alternatif yang tepat, pemerintah juga harus memastikan bahwa keputusan untuk memensiunkan PLTU tidak akan mengganggu pasokan listrik di tingkat nasional.

PLTU Mulut Tambang (MT) Sumsel-8 merupakan bagian dari program pemerintah untuk pembangunan pembangkit listrik 35 GW yang dikembangkan oleh Independent Power Producer (IPP) PT Bukit Asam dan China Huadian Hongkong Company Limited, sehingga proyek ini berstatus Proyek Strategis Nasional (PSN) yang mana masa konstruksi dimulai pada tahun 2018 dan direncanakan beroperasi komersial pada Maret 2021 namun dikarenakan pengaruh covid-19 dan kesiapan transmisi 500kV proyek ini selesai dan beroperasi komersil pada Oktober 2023. PLTU Mulut Tambang (MT) Sumsel-8 berkapasitas 2x660 MW ini memiliki perjanjian jual beli listrik dengan PLN selama 25 tahun melalui skema *Build, Operate, Own, Transfer* (BOOT).

PLTU MT Sumsel-8 beroperasi dengan konsumsi sekitar 5.000.000 MT batubara setiap tahunnya, menggunakan teknologi superkritikal yang dikenal sebagai teknologi batu bara bersih. Salah satu kesempatan untuk menerapkan teknologi superkritikal ini adalah dengan meningkatkan efisiensi pembangkit, yang dapat dilakukan melalui pengurangan rasio udara, pengaturan temperatur gas buang, peningkatan tekanan atau temperatur uap, penambahan *reheat*, serta penurunan tekanan kondenser (Beer, 2007). Aplikasi teknologi superkritikal telah menunjukkan peningkatan efisiensi pada pembangkit listrik, berdasarkan pengalaman dari beberapa PLTU superkritikal dan ultra superkritikal yang telah

beroperasi di berbagai negara, termasuk Amerika Serikat, Jepang, Jerman, Korea Selatan, India, Afrika Selatan, Malaysia, dan Indonesia. Tingginya efisiensi pembangkit ini berpotensi mengurangi biaya bahan bakar serta mengurangi beban pada alat kontrol polusi, yang pada gilirannya dapat menurunkan biaya investasi untuk peralatan kontrol polusi. Namun, tetap menghasilkan *Fly ash and bottom ash* (FABA).

PLTU MT Sumsel-8 dapat menghasilkan FABA sekitar 400.000 ton per tahun. Jumlah yg cukup banyak ini memerlukan lahan yang luas untuk menampung FABA tersebut selama 25 tahun. Dalam perjanjian jual beli batubara, PT Bukit Asam Tbk, sebagai penyedia batubara PLTU Sumsel-8, memiliki kewajiban untuk menyediakan tempat penyimpanan abu hasil pembakaran batu bara. Mengingat PLTU Sumsel-8 dikelilingi oleh Izin Usaha Pertambangan (IUP) dengan kandungan batubara yang melimpah, lokasi penyimpanan FABA (Ash Yard) dipilih di lokasi yang jauh dari PLTU Sumsel-8, yaitu sekitar 8 km di dalam area perkebunan sawit yang jauh dari pemukiman.

Untuk memenuhi kebutuhan listrik di area *Ash Yard* tersebut, PLTU Sumsel-8 memilih untuk memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi alternatif untuk dikonversi menjadi Listrik melalui instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap sistem *off grid*. Hal tersebut bertujuan untuk memudahkan dalam memenuhi kebutuhan listrik, mendukung program pemerintah dalam transisi energi menuju energi hijau, yang bertujuan mengurangi konsumsi energi fosil untuk kebutuhan sendiri.

Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia telah memiliki landasan kebijakan yang cukup kuat. Namun, dalam pelaksanaannya, potensi yang tersedia belum dimanfaatkan secara maksimal, meskipun energi surya memiliki potensi terbesar di antara sumber energi baru terbarukan (EBT), yaitu mencapai 3.294 gigawatt (GW). Saat ini, pemanfaatan energi surya baru mencapai 675,1 megawatt (MW) per Juni 2024 (Kompas, 2024). Pembangkit Listrik Tenaga Surya atap dengan sistem *off grid* menjadi salah satu alternatif menarik untuk memenuhi kebutuhan energi bersih dan berkelanjutan, terutama di wilayah yang belum terhubung dengan jaringan listrik nasional. Meskipun energi surya memiliki

potensi yang sangat besar di Indonesia, penerapan teknologi ini sering kali terhambat oleh tingginya biaya investasi awal, terutama untuk sistem *off grid* yang memerlukan perangkat tambahan seperti baterai penyimpanan.

Meskipun penggunaan PLTS atap *off grid* menawarkan sejumlah manfaat, seperti pengurangan ketergantungan pada energi fosil, peningkatan efisiensi energi, dan kontribusi terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca, masih terdapat tantangan besar dalam hal biaya yang harus dikeluarkan oleh konsumen. Modul surya lokal yang masih relatif mahal dan kapasitas produksi yang terbatas menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya biaya investasi.

Pada sisi lain, sebelum memutuskan untuk melanjutkan atau merekomendasikan penggunaan PLTS atap *off grid* secara luas, penting untuk melakukan kajian evaluasi yang menyeluruh dari berbagai aspek, antara lain: aspek teknis, lingkungan, dan ekonomi. Kajian ini akan memberikan gambaran mengenai apakah investasi yang besar pada pemasangan PLTS atap *off grid* sebanding dengan manfaat yang diperoleh, baik dari segi penghematan energi jangka panjang, pengurangan emisi, maupun potensi pengembalian investasi yang dapat dicapai.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan investasi dalam pemasangan PLTS atap sistem *off grid* setelah dipasang selama 1 (satu) tahun, dengan mempertimbangkan faktor-faktor teknis terkait kinerja sistem, dampak lingkungan yang dapat dihasilkan dari penggunaan energi terbarukan, serta aspek ekonomi yang meliputi biaya pemasangan, pemeliharaan, potensi penghematan energi dan potensi pengembalian investasi. Hasil dari kajian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang lebih jelas bagi masyarakat dan pemangku kepentingan terkait penggunaan PLTS atap *off grid* di di kawasan PLTU Sumsel-8 serta eksplorasi opsi cadangan untuk meningkatkan keandalan sistem.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan. Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana kinerja teknis PLTS atap sistem *off grid* yang terpasang di lokasi *Ash Yard* PLTU MT Sumsel-8 dalam periode satu tahun?
2. Bagaimana pemanfaatan PLTS atap sistem *off grid* ini mendukung transisi energi dari energi fosil ke energi terbarukan di *Ash Yard* PLTU Sumsel-8 dalam periode satu tahun?
3. Berapa besar pengurangan emisi GRK yang dapat dicapai dengan penggunaan PLTS atap sistem *off grid* di Kantor *Ash Yard* PLTU Sumsel-8 dalam periode satu tahun?
4. Apakah pembangunan dan operasionalisasi sistem PLTS atap ini secara ekonomi layak dan menguntungkan dibandingkan dengan metode lain?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut. Tujuan peneliti melakukan penelitian ini sebagai berikut.

1. Untuk mengevaluasi performa teknis dan kontribusi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS atap *off grid*
2. Untuk mengevaluasi dampak lingkungan terutama pada penurunan emisi gas rumah kaca (GRK)
3. Untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi dan investasi

1.4 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Studi kelayakan ini dibatasi pada PLTS atap offgrid yang dipasang di *Ash Yard* PLTU Sumsel-8.
2. Data realisasi jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS dibatasi melalui pencatatan pada sistem pemantauan inverter selama periode 1 (satu) tahun setelah instalasi.

3. Evaluasi difokuskan pada beberapa aspek, yaitu kontribusi energi listrik yang dihasilkan, kinerja teknis sistem PLTS atap, dampak lingkungan terkait pengurangan emisi gas rumah kaca, serta aspek ekonomi yang berkaitan dengan kelayakan investasi.
4. Sistem PLTS yang diteliti adalah PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan PLN (*off grid*) dan menggunakan baterai penyimpanan.
5. Dalam penelitian ini digunakan data meteorologi dan klimatologi yang bersumber dari NASA *Prediction of Worldwide Energy Resource* tahun 2022.
6. Pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan pemahaman yang mendalam mengenai pemanfaatan sistem *off grid* PLTS atap di kawasan PLTU, baik untuk pihak PLTU maupun masyarakat, sebagai bagian dari inisiatif transisi menuju energi yang lebih ramah lingkungan.
2. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap literatur ilmiah di dunia akademik, khususnya dalam bidang energi terbarukan. Fokus utama penelitian ini adalah pada pemanfaatan sistem *off grid* PLTS atap, yang mencakup berbagai aspek seperti teknis, lingkungan, dan ekonomi

1.6 Orisinalitas Penelitian

Tabel 1.1. Ringkasan penelitian terdahulu

No.	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
1.	Jaka Windarta, Susatyo Handoko, Khilmi Nafadinanto Irfani, Sunan Muqtasida Masfuha, Candra Halim Itsnareno (2021)	Analisis Teknis dan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-grid Menggunakan Software PVSyst untuk Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) Coffeshop Remote Area	Melakukan perbandingan dengan menggunakan desain 2 merk panel surya kapasitas 720Wp dan 2 merk baterai kapasitas 160Ah menggunakan software PVSyst 7.0. Dari hasil simulasi didapatkan jumlah energi tersuplai paling banyak pada variasi 3 sebesar 674,51 kWh/tahun. Selain itu dilakukan analisis ekonomi dengan tujuan untuk membandingkan sisi ekonomis PLTS dengan alternatif sumber listrik lain seperti genset dan penggunaan baterai dengan charging dari PLN	Pembahasan hanya terbatas pada evaluasi pemanfaatan PLTS dari aspek ekonomi dan teknis
2.	Renaldi rahman, saiful karim, irfan (2020)	Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Offgrid untuk Rumah Tinggal di Kota Banjarbaru	Metode penelitian menggunakan metode analisis kuantitatif, dengan menggunakan teknik pengumpulan data literatur dan pengukuran yang selanjutnya diperhitungkan dengan rumus. Dengan total kebutuhan daya perharinya sebesar 8.108 W. Panel surya yang digunakan tipe Monocrystalline 300 Wp sebanyak 8 buah. Jumlah hari otonomi selama 3 hari, maka diperoleh biaya investasi awal sebesar Rp. 139.862.500 dan biaya pemeliharaan tahunan selama periode 25 tahun sebesar Rp. 13.986.250	Pembahasan hanya pada evaluasi pemanfaatan PLTS dari aspek ekonomi
3.	Aas Wasri Hasanah, Rahmad febryan (2021)	Perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya Offgrid 6,4 kWp untuk 1 unit rumah tinggal	Perancangan Pembangkitan Listrik Tenaga Surya pada rumah dengan jumlah daya 1 unit rumah 6,4 kW dan luas bangunan 55 m2. Dengan perolehan perhitungan Performance Ratio sebesar 80% maka, dapat di implementasikan secara maksimal	Pembahasan hanya pada evaluasi pemanfaatan PLTS dari aspek teknis

No.	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
4.	Maulana Sechan, Dava Valubia Ramadhan, Wisudanto Mas Soeroto (2024)	Analisis Kelayakan Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Dengan Sistem Off-grid Pada Indekos di Kota Surabaya	Hasil penelitian menunjukkan bahwa investasi PLTS atap off-grid pada sebuah indekos di Kota Surabaya dengan menggunakan metode perhitungan DPP, NPV, IRR, dan PI dalam kategori layak untuk dilaksanakan. Kesimpulan menunjukan pemasangan sistem PLTS ini merupakan pilihan yang baik untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya operasional pada indekos di Kota Surabaya	Pembahasan hanya terbatas pada evaluasi pemanfaatan PLTS dari aspek ekonomi
5.	Naufal Yogo Pujianoro, Agus Supardi (2023)	<i>Rancang Bangun Sistem PLTS Offgrid untuk perkebunan daerah Bengkulu Utara</i>	Pada penelitian ini didapatkan lampu penerangan pondok pada perkebunan menggunakan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) membutuhkan 1 PV 120 Wp dan baterai 100 Ah, kemudian SCC 10A, dan inverter 500 Watt. Inverter digunakan mengubah arus DC menjadi arus AC, dan daya yang dihasilkan dari beban adalah 460 W maka dari itu membutuhkan inverter dengan kapasitas maksimum yang dimiliki adalah 500 W agar daya yang keluar dapat berjalan dengan lancar, disaat perhitungan sudah dilaksanakan maka dari itu dapat melihat juga perbandingan arus dan tegangan serta daya yang dihasilkan dari PV, baterai dan beban ketika melakukan uji coba pada perkebunan	Pembahasan hanya pada evaluasi pemanfaatan PLTS dari aspek teknis
6	Alejandro Ibáñez- Rioja*, Lauri Järvinen, Pietari Puranen, Antti Kosonen, Vesa Ruuskanen, Katja	<i>Off-grid solar PV–windpower–battery–waterelectrolyzer plant: Simultaneous optimization of component capacities and system control</i>	Makalah ini menyelidiki konsep pabrik elektroliser air alkali off-grid yang terintegrasi dengan fotovoltaik surya (PV), tenaga angin, dan sistem penyimpanan energi baterai (BESS). Pengoperasian pabrik disimulasikan selama 30 tahun dengan resolusi waktu 5 menit berdasarkan data pembangkitan daya terukur yang dikumpulkan dari instalasi fotovoltaik surya dan ladang angin yang terletak di Finlandia tenggara	Pembahasan hanya terbatas pada evaluasi pemanfaatan PLTS dari aspek ekonomi

No.	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
	Hynynen, Jero Ahola, Pertti Kauranen (Finland, 2023)			
7	Daniel Nkwata Katongole, James Mubiru, Karidewa Nyeinga , Yeeko Kisira (2024)	<i>Empowering the solar energy landscape: The techno-economic analysis of grid-connected PV power plants in Uganda</i>	Didapatkan data dari 56 lokasi untuk penilaian tekno-ekonomi dan lingkungan dari fasilitas tenaga fotovoltaik di Uganda. Ini didasarkan pada ketersediaan data cuaca dan aksesibilitas ke jaringan listrik nasional. Analisis pembangkitan energi dan berbagai faktor input dilakukan dengan menggunakan PVsyst 7.2. Pendekatan tiga tahap terhadap kerugian diadopsi: penyerapan sinar matahari, konversi ke DC dan konversi DC ke AC. Temuan menunjukkan bahwa sebagian besar pedesaan cocok untuk pembangunan fasilitas tenaga fotovoltaik skala besar yang terhubung ke jaringan	Pembahasan hanya terbatas pada evaluasi pemanfaatan PLTS dari aspek teknis dan ekonomi
8	Sanjoy Kumar Saha (2025)	<i>Empowering rural South Asia: Off-grid solar PV, electricity accessibility, and sustainable agriculture</i>	Penelitian menggunakan metodologi data panel: pendekatan variabel dummy kuadrat terkecil (LSDV) dan variabel instrumental Lewbel (IV). Temuan tersebut menunjukkan hubungan positif yang kuat antara adopsi PV surya dan peningkatan akses listrik, bahkan ketika memperhitungkan faktor-faktor individu dan periode tertentu. Peningkatan akses listrik berkontribusi secara signifikan terhadap nilai tambah pertanian yang lebih tinggi per pekerja, tetapi tidak selalu terhadap keseluruhan pangsa pertanian dalam perekonomian. Analisis ini juga mengungkapkan dampak positif dan signifikan dari PV surya (SPV) terhadap nilai tambah pertanian per pekerja, terlepas dari tingkat elektrifikasi pedesaan	Pembahasan hanya terbatas pada evaluasi pemanfaatan PLTS dari aspek teknis dan ekonomi

BAB II

