

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi Kelistrikan di Indonesia saat ini, terutama di pulau-pulau dan daerah Terdepan, Terpencil, Tertinggal (3T) adalah sebagian masih menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Tantangan utama PLTD adalah terkait harga Bahan Bakar Minyak (BBM) dan biaya transportasi ke lokasi-lokasi tersebut, sehingga Biaya Pokok Produksi (BPP) listrik di daerah tersebut rata-rata masih cukup tinggi (Tasrif, 2021).

Upaya-upaya telah dilakukan untuk meminimalkan BPP listrik termasuk untuk mendukung Program Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dengan rencana target 23% penetrasi EBT pada Bauran Energi Indonesia tahun 2025 (Tasrif, 2021). Berbagai proyek PLTS dengan kapasitas dan jenis yang beragam telah dibangun sejak tahun 2011 hingga sekarang, baik oleh Pemerintah (Kementerian ESDM), PLN, dan Swasta. PLTS yang sudah beroperasi hingga tahun 2020 adalah mencapai 79 MW (Tasrif, 2021).

PLTS direncanakan dapat bertahan hingga 20 tahun untuk meminimalkan penggunaan BBM oleh PLTD. Upaya besar ini tentu tidak berkelanjutan jika PLTS yang dibangun tidak dikelola secara baik. Pengelolaan yang kurang optimal menyebabkan *Performance Ratio* (PR) PLTS tidak optimal dan juga tingkat pengembalian modal investasi PLTS butuh waktu lama (Rodríguez-Gallegosa, et al., 2018).

PLTS merupakan pembangkit listrik yang mudah dalam proses pembangunan, namun beberapa sistem PLTS tidak bisa bertahan lama yang disebabkan oleh kerusakan komponen dan juga rendahnya *Performance Ratio* (PR) terutama pada daerah Kepulauan dan daerah 3T. Sehingga berdampak pada tidak optimalnya pemanfaatan PLTS dibandingkan terhadap manfaat keekonomian PLTS termasuk sisi biaya investasi (Veldhuis & Reinders, 2015).

PLTS merupakan teknologi yang relatif baru jika dibandingkan dengan pembangkit lain, kemudian adanya keterbatasan pengalaman dalam hal teknologi

PLTS, standar metode pengelolaan & pemecahan masalah PLTS khususnya di Indonesia dengan tantangan kondisi geografis daerah kepulauan, maka metode penelusuran penyebab masalah pada PLTS juga masih menjadi permasalahan tersendiri (Wirawan, et al., 2014). Lokasi yang tersebar dan kapasitas yang relatif kecil mengakibatkan tidak mudahnya menempatkan 1 orang Teknisi untuk menangani 1 (satu) Unit PLTS tersebut. Sehingga PLTS cenderung dioperasikan dan dikelola oleh Teknisi yang memiliki tingkat keahlian terbatas.

Upaya mengatasi permasalahan ini, dibutuhkan metodologi penelusuran penyebab akar masalah pada PLTS dengan pendekatan, yaitu:

- a. Metodologi penelusuran penyebab akar masalah mudah dipahami dan mudah dilakukan.
- b. Metodologi dapat diterapkan secara umum yaitu metodologi pencarian penyebab akar masalah bisa digunakan pada berbagai kapasitas maupun jenis PLTS dan tidak spesifik pada PLTS tertentu.

Beberapa penelitian terkait analisis kinerja PLTS telah dilakukan seperti pada Tabel 1.3, namun masih bersifat parsial (belum terintegrasi dari beberapa aspek asesmen). Penelitian ini dapat melengkapi penelitian-penelitian sebelumnya terkait upaya optimalisasi kinerja PLTS di mana masih bersifat parsial (belum terintegrasi dari beberapa aspek asesmen). Melalui penelitian ini dilakukan analisis kinerja PLTS melalui pendekatan pencarian akar masalah secara menyeluruh dan bersifat umum berikut rekomendasi tindak lanjut penyelesaiannya untuk optimalisasi kinerja PLTS.

Penelitian dilakukan pada PLTS di PLN UPDL Makassar (*On Grid*, 50 kWp), PLTS di PLN UP3 Masohi (Pulau Tiore-Maluku, *Off Grid*, 100 kWp), dan PLTS di PEMDA Kabupaten Daruba-ESDM (Pulau Wamama, *On Grid*, 350 kWp). Adapun maksud penelitian dilaksanakan pada beberapa lokasi PLTS di Indonesia yang terletak pada daerah kepulauan dan daerah 3T yang terdiri dari berbagai jenis dan kapasitas yang berbeda dengan tantangan keterbatasan kapabilitas pengelolaan PLTS adalah agar hasil penelitian ini bisa digunakan secara umum pada berbagai jenis maupun kapasitas PLTS yang berbeda dan tidak spesifik pada PLTS tertentu. Selain itu, juga sebagai upaya untuk mengoptimalkan rencana tindak lanjut

perbaiki kinerja PLTS secara efektif dan efisien serta mendukung keberlanjutan dari PLTS tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Optimalisasi Kinerja PLTS adalah upaya bagaimana membuat PLTS berada pada kondisi optimal sesuai desain, bukan pada upaya bagaimana meningkatkan output produksi setinggi mungkin (Wirawan, et al., 2014). Kondisi optimal PLTS adalah terjadi pada kondisi tidak terdapat masalah yang menyebabkan terjadinya *Loss of Production* pada PLTS tersebut. Inti dari optimalisasi PLTS adalah bagaimana mencari akar masalah pada PLTS. Penyebab masalah pada PLTS bisa dari desain dan enjiniring, karakteristik peralatan, pemeliharaan yang kurang optimal, pengoperasian yang kurang optimal, dan eksternal (Wirawan, et al., 2014). Dengan demikian, permasalahan yang dibahas pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana menganalisis penyebab akar permasalahan kinerja PLTS di Indonesia secara menyeluruh pada peralatan dan operasional PLTS ?
2. Bagaimana melakukan evaluasi permasalahan kinerja PLTS secara mudah dan sederhana serta bisa diterapkan secara umum sehubungan dengan keterbatasan kapasitas dan kapabilitas pemeliharaan PLTS terutama tantangan pada PLTS yang terletak pada daerah kepulauan dan daerah 3T ?
3. Bagaimana mengoptimalkan rencana tindak lanjut perbaikan kinerja PLTS secara efektif dan efisien serta mendukung keberlanjutan dari PLTS tersebut ?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja PLTS melalui pendekatan pencarian akar masalah secara menyeluruh/terintegrasi dan bisa digunakan secara umum pada berbagai jenis maupun kapasitas PLTS yang berbeda serta tidak spesifik pada PLTS tertentu. Lingkup dari tujuan penelitian ini adalah:

1. Membandingkan antara energi aktual dengan output optimal yang seharusnya dari PLTS, dimana dilakukan analisis *Performance Ratio* (PR) yang menggambarkan Kinerja PLTS (optimal atau belum optimal).

2. Melakukan penelusuran berupa analisis akar masalah (*Root Cause Analysis*) hingga ditemukan penyebab utama masalah yang mempengaruhi kinerja PLTS.
3. Melakukan agregasi penyebab losses energi PLTS.
4. Menyusun *Action Plan* untuk mengatasi masalah yang telah dianalisis sebelumnya.
5. Menentukan rekomendasi skala prioritas tindak lanjut terhadap *Action Plan* tersebut dengan menggunakan metode *Cost Benefit & Risk Analysis* melalui penilaian dampak, biaya, risiko.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat jangka pendek penelitian ini adalah dapat berguna untuk lebih mengoptimalkan kinerja PLTS di PLN UPDL Makassar dan PLTS di PLN Unit Induk Maluku & Maluku Utara dan tentunya bermanfaat bagi upaya optimalisasi kinerja PLTS yang dikelola PLN terutama kepada Pegawai PLN yang mengelola PLTS pada daerah Terdepan, Terpencil, Tertinggal (3T).

Jangka panjangnya, yaitu penelitian ini bisa menjadi referensi dalam melakukan analisis kinerja PLTS pada berbagai jenis maupun tipe PLTS khususnya pada pemanfaatan PLTS yang tersebar pada berbagai lokasi di Indonesia. Di mana metode yang digunakan adalah bersifat umum melalui pendekatan pencarian akar masalah dan penyelesaiannya untuk optimalisasi Kinerja PLTS.

1.5. Orisinalitas Penelitian

Beberapa penelitian terkait analisis kinerja PLTS telah dilakukan namun masih bersifat parsial (belum terintegrasi dari beberapa aspek asesmen). Pada penelitian ini dilakukan analisis kinerja PLTS melalui pendekatan pencarian akar masalah secara menyeluruh bersifat umum berikut tindak lanjut penyelesaiannya untuk optimalisasi kinerja PLTS. Peluang penelitian dan perbandingan penelitian-penelitian sebelumnya, serta posisi penelitian yang terkait analisis kinerja PLTS dapat dilihat dalam Tabel 1.1, Tabel 1.2, dan Tabel 1.3.

Tabel 1.1. Peluang penelitian

Penelitian PLTS yang sudah ada			Peluang Penelitian	
Analisis	Penyebab <i>Losses</i>	Lingkup Penelitian	Penyebab <i>Losses</i>	Lingkup Penelitian
Kinerja PLTS	Shading Modul Surya	parsial	Analisis akar permasalahan penyebab <i>losses</i> pada Kinerja PLTS belum ada.	Lingkup penelitian secara menyeluruh meliputi Input (potensi Energi Matahari), Modul Surya, Distribusi DC, Inverter, Baterai, Distribusi AC, Output (Energi Listrik PLTS) belum ada.
	Suhu Modul Surya	parsial		
	Teknologi Modul Surya	parsial		
	Lokasi & Orientasi Modul PLTS	parsial		
	Konstruksi Modul PLTS	parsial		
	Kebersihan Modul	parsial		

Tabel 1.2. Ringkasan penelitian terdahulu

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Fokus Penelitian
1.	(Bansal, et al., 2021)	<i>Comparative Investigation Of Performance Evaluation, Degradation Causes, Impact and Corrective Measures for Ground Mount and Rooftop Solar PV Plants – A Review</i>	Menyajikan kinerja dan analisis degradasi pembangkit surya fotovoltaik (PV) skala kecil, menengah dan besar dengan tujuh teknologi PV yang berbeda di iklim yang berbeda di dunia	Pembahasan hanya terbatas pada kinerja modul PLTS, belum menyeluruh pada sistem kinerja PLTS.
2.	(Zulkifli, et al., 2020)	<i>An Analysis of Energy Production of Rooftop on Grid Solar Power Plant on A Government Building (A Case Study of Setjen KESDM Building Jakarta)</i>	Mengetahui tingkat produksi PLTS dengan membandingkan hasil nyata dengan hasil simulasi menggunakan software SAM. Produksi tertinggi pada bulan September, Oktober, dan Maret setiap tahun akibat radiasi matahari maksimum. PLTS di rooftop lantai 11 lebih maksimal dalam menghasilkan energi untuk semua posisi matahari dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga surya pada carport T1, T2, T3, dan L karena bebas dari naungan bangunan dan pepohonan	Pembahasan hanya terbatas pada pengaruh tingkat radiasi matahari dan efek shading pada produksi PLTS
3.	(Wibowo, et al., 2019)	Efek Penempatan Modul surya Terhadap Energi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Cirata 1 MW	Faktor utama yang mempengaruhi <i>output</i> produksi modul surya adalah iradiasi atau intensitas cahaya matahari. Perbedaan <i>output</i> produksi energi antara <i>ground mounted</i> , <i>parking shade</i> , dan <i>rooftop</i> terjadi karena adanya faktor lingkungan dalam instalasi modul surya yaitu karena adanya perbedaan temperatur modul surya, debu atau kotoran, dan <i>shading</i> .	Pembahasan hanya terbatas pada efek penempatan modul surya terhadap produksi energi PLTS
4.	(Gunawan, et al., 2019)	Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 26,4 kWp Pada Sistem <i>Smart Microgrid</i> UNUD	Membandingkan produksi energi riil dari PLTS dengan hasil simulasi <i>software HelioScope</i> , diperoleh produksi riil lebih rendah sebesar 9.53% dibandingkan hasil simulasi yang disebabkan oleh faktor benda-benda yang berada di sekitar PLTS yang menyebabkan <i>shading</i> , tingkat kebersihan modul, perbedaan orientasi PLTS dengan orientasi optimal.	Belum adanya sistem (<i>Cost Benefit and Risk Analysis</i>) yang digunakan untuk menentukan skala prioritas rencana tindak lanjut optimasi kinerja PLTS

Tabel 1.2. (lanjutan)

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Fokus Penelitian
5.	(Knežević, et al., 2017)	<i>Comparison of the Shading Influence on PV Modules of Different Technologies</i>	<ul style="list-style-type: none"> Pengaruh bayangan terhadap <i>output</i> PLTS dipengaruhi oleh luasan bayangan dan konfigurasi optimal dari berbagai teknologi Modul Surya. Kerugian lain disebabkan oleh pencemaran permukaan Modul Surya yang disebabkan oleh debu menunjukkan bahwa, terutama di daerah dengan curah hujan rendah, kerugian ini mencapai 15% dalam kasus luar biasa. Untuk meningkatkan efisiensi sistem, modul perlu dibersihkan secara teratur. 	Pembahasan hanya terbatas pada efek shading terhadap berbagai teknologi PLTS yang berbeda.
6.	(Vidyanandan, 2017)	<i>An Overview of Factors Affecting the Performance of Solar PV Systems</i>	Daya keluaran yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik dan masa pakainya tergantung pada banyak aspek. Beberapa faktor ini meliputi: jenis bahan PV, intensitas radiasi matahari yang diterima, suhu sel, awan dan efek bayangan lainnya, efisiensi Inverter, debu, orientasi modul, kondisi cuaca, lokasi geografis.	Belum membahas terkait pencarian akar masalah pada sistem PLTS PV
7.	(Fouada, et al., 2017)	<i>An Integrated Review Of Factors Influencing The Performance Of Photovoltaic Panels</i>	Tinjauan/review terhadap berbagai faktor yang mempengaruhi kinerja panel fotovoltaik, yaitu lingkungan, sistem PV, instalasi, faktor biaya serta faktor lain-lain. Masing-masing faktor ini selanjutnya diklasifikasikan ke dalam subkategori baru bersama dengan pengurangan/peningkatan efek dari beberapa faktor pada output sistem.	<p>a. Belum dilakukan penelitian mendalam mengenai faktor yang mempengaruhi kinerja panel Fotovoltaik (<i>Root Cause Analysis</i>) dan bagaimana memecahkan masalah yang terkait dengan faktor-faktor yang secara negatif mempengaruhi kinerja panel PV.</p> <p>b. Belum adanya model/sistem (<i>Cost Benefit dan Risk Analysis</i>) yang dapat digunakan untuk menentukan skala prioritas rencana pemeliharaan.</p>
8.	(Ekici, et al., 2017)	<i>Investigating the Effect Of Dust and Dirt on PV Output Energy</i>	Akumulasi kotoran pada permukaan PV menurunkan keluaran sistem energi secara signifikan. Selain itu, penelitian ini memberikan beberapa petunjuk pengguna PV tentang periode waktu pembersihan PV modul	Penelitian hanya terbatas pada dampak kebersihan panel PV
9.	(Nathawibawa, et al., 2016)	Analisis Produksi Energi dari Inverter pada <i>Grid-connected</i> PLTS I MWp di Desa Kayubih Kabupaten Bangli	Unjuk kerja Inverter serta pengaruh posisi string array terhadap produksi energi PLTS, diperoleh dengan memetakan persentase produksi energi dari setiap Inverter. Seluruh Inverter di PLTS Kayubih sesuai keluaran energi optimum string array. Hanya saja PLTS Kayubih bagian selatan perlu mendapat perhatian lebih karena <i>string array</i> tertutup oleh bayangan semak belukar dan pepohonan.	Pembahasan hanya terbatas pada Analisis Produksi Energi dari Inverter di PLTS.
10.	(Amelia, et al., 2016)	<i>Investigation of The Effect Temperature on Photovoltaic (PV) Panel Output Performance</i>	<ul style="list-style-type: none"> Daya keluaran panel PV menurun dengan bertambahnya suhu kerjanya diikuti oleh efisiensi. Parameter STC tidak mewakili kondisi operasi sebenarnya dari panel PV untuk kondisi luar ruangan. <p>Peningkatan suhu panel PV berkontribusi pada dampak negatif terhadap kinerja keluaran panel.</p>	Penelitian hanya terbatas pada analisis efek suhu terhadap kinerja panel PV

Tabel 1.3. Posisi penelitian

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Jenis PLTS	Obyek Penelitian								Metode Penelitian	Lingkup Penelitian
				PR	RAD	PVA	DC	INV	BAT	AC	GRID		
1.	(Bansal, et al., 2021)	<i>Comparative Investigation Of Performance Evaluation, Degradation Causes, Impact and Corrective Measures for Ground Mount and Rooftop Solar PV Plants - A Review</i>	<i>Off Grid, On Grid</i>	Y	N	Y	N	N	N	N	N	Review Paper	Kinerja dan analisis degradasi pembangkit surya fotovoltaik (PV) skala kecil, menengah dan besar dengan tujuh teknologi PV yang berbeda di iklim yang berbeda di dunia. (parsial)
2.	(Zulkifli, et al., 2020)	<i>An Analysis of Energy Production of Rooftop on Grid Solar Power Plant on A Government Building (A Case Study of Setjen KESDM Building Jakarta)</i>	<i>On Grid</i>	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Studi Kasus	Tingkat radiasi matahari dan efek shading pada produksi PLTS. (parsial)
3.	(Wibowo, et al., 2019)	Efek Penempatan Modul surya Terhadap Produksi Energi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Cirata 1 MW	<i>Off Grid</i>	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Studi Kasus	Efek penempatan modul surya (<i>ground mounted, parking shade, dan rooftop</i>) terhadap produksi energi PLTS. (parsial)
4.	(Gunawan, et al., 2019)	Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 26,4 kWp Pada Sistem <i>Smart Microgrid</i> UNUD	<i>On Grid</i>	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Studi Kasus	Efek <i>shading</i> , tingkat kebersihan modul, perbedaan orientasi PLTS dengan orientasi optimal terhadap produksi energi PLTS secara aktual dan simulasi. (parsial)
5.	(Knežević, et al., 2017)	<i>Comparison of the Shading Influence on PV Modules of Different Technologies</i>	Lab	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Studi Kasus	Efek <i>shading</i> pada berbagai jenis dan teknologi Modul Surya. (parsial)
6.	(Vidyandan, 2017)	<i>An Overview of Factors Affecting the Performance of Solar PV Systems</i>	<i>Off Grid, On Grid</i>	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	Review Paper	Tinjauan faktor yang mempengaruhi kinerja PLTS: jenis bahan PV, intensitas radiasi matahari, suhu sel, awan dan efek bayangan lainnya, efisiensi Inverter, debu, orientasi modul, kondisi cuaca, lokasi geografis. (parsial)

Tabel 1.3. (lanjutan)

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Jenis PLTS	Obyek Penelitian								Metode Penelitian	Lingkup Penelitian
				PR	RAD	PVA	DC	INV	BAT	AC	GRID		
7.	(Fouada, et al., 2017)	<i>An Integrated Review Of Factors Influencing The Performance Of Photovoltaic Panels</i>	<i>Off Grid, On Grid</i>	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Review Paper	Tinjauan terintegrasi terhadap berbagai faktor yang mempengaruhi kinerja Panel fotovoltaik. (parsial)
8.	(Ekici, et al., 2017)	<i>Investigating the Effect Of Dust and Dirt on PV Output Energy</i>	<i>Off Grid</i>	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Studi Kasus	Efek akumulasi kotoran terhadap produksi energi dari PV. (parsial)
9.	(Nathawibawa, et al., 2016)	Analisis Produksi Energi dari Inverter pada <i>Grid-connected</i> PLTS 1 MWp di Desa Kayubihi Kabupaten Bangli	<i>On Grid</i>	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Studi Kasus	Unjuk kerja Inverter serta pengaruh posisi string array terhadap produksi energi PLTS. (parsial)
10.	(Amelia, et al., 2016)	<i>Investigation of The Effect Temperature on Photovoltaic (PV) Panel Output Performance</i>	<i>Off Grid</i>	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Studi Kasus	Efek peningkatan suhu panel PV terhadap kinerja keluaran panel. (parsial)
	Penelitian ini	Optimalisasi Kinerja PLTS secara Terintegrasi melalui Pendekatan <i>Root Cause Analysis</i>	<i>On Grid, Off Grid,</i>	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Studi Kasus	Menyeluruh pada PLTS <i>On Grid</i> dan PLTS <i>Off Grid</i> (menyeluruh)

Keterangan :

PR : *Performance Ratio*

RAD : Radiasi Matahari

PVA : *PV Array*

DC : Instalasi sisi DC

INV : *Inverter*

BAT : Baterai

AC : Instalasi sisi AC

GRID : Jaringan Listrik

Y : *Yes*N : *No*