

Identifikasi Permasalahan Pengoperasian PLTS Offgrid

Umar Muhammad^{*1,2}

¹Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Bosowa

Jl. Kapasa Raya No. 23 Kota Makassar

²Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin Makassar

Jalan Poros Malino Km. 6, Bontomarannu. Gowa, Sulawesi Selatan.

*Email: umar.muhammad@politeknikbosowa.ac.id

Abstrak

PLTS dengan Sistem Terpusat (Off-Grid) digunakan di daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan distribusi PLN karena output sistem ini terhubung dengan baterai penyimpanan atau langsung ke beban sesuai kebutuhan. Pada saat pengoperasian PLTS mengalami beberapa masalah sehingga pada penelitian ini mengkaji masalah-masalah yang terjadi pada PLTS berdasarkan literatur dari penelitian sebelumnya maupun dari media-media online. Hasil kajian menunjukkan bahwa ada 4 komponen utama penyusun PLTS yaitu panel surya, Solar Charge Controlled, baterai dan inverter dan 3 diantaranya perlu mendapat pemeriksaan rutin pada saat pengoperasian PLTS. Masalah – masalah yang selalu dipantau yaitu hot spot, kerusakan fisik dan wiring pada panel surya, kemudian penurunan tegangan secara cepat, resistansi dalam tinffi pada baterai, serta sistem grounding, pembebanan berlebih pada inverter. Pemantauan rutin pada PLTS dapat dilakukan oleh operator dan teknologi sistem monitoring.

Kata Kunci: PLTS, Panel Surya, Baterai, Inverter

Abstract

Off-Grid Photovoltaic Power Systems (PLTS) are used in areas that are not accessible by the main power grid due to their output being connected to storage batteries or directly to loads as needed. During the operation of PLTS, there are several issues that can arise. This study examines the problems that occur in PLTS based on literature from previous research and online sources. The study results indicate that there are four main components in PLTS, namely solar panels, solar charge controllers, batteries, and inverters, and three of them require regular inspections during PLTS operation. The monitored issues include hot spots, physical damage, and wiring problems in solar panels, rapid voltage decline, internal resistance of batteries, and grounding systems, as well as excessive loading on inverters. Routine monitoring of PLTS can be carried out by operators and through the use of system monitoring technology

1. Pendahuluan

Indonesia, sebagai negara kepulauan yang dilintasi garis khatulistiwa dan memiliki iklim tropis, memiliki potensi yang sangat besar dalam pemanfaatan energi matahari. Potensi sumber daya matahari di Indonesia sangatlah luas. Dengan menggunakan teknologi solar cell atau panel surya, energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik yang dapat digunakan sebagai sumber alternatif di daerah-daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik nasional. Indonesia memiliki sekitar 17.508 pulau dengan garis pantai sepanjang 810.000 km dan luas wilayah mencapai 3,1 juta km². Terdapat lebih dari 65.000 desa yang tersebar di puluhan ribu pulau tersebut. Sayangnya, hanya sebagian kecil dari desa-desa tersebut yang telah terhubung ke jaringan listrik. Banyak penduduk di Indonesia, terutama di daerah-daerah terpencil, pegunungan, pulau-pulau terpencil, dan daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik, masih mengandalkan lampu minyak tanah atau

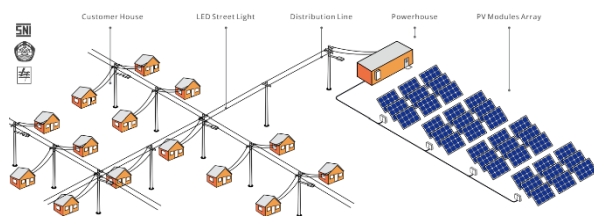
petromak sebagai sumber penerangan mereka [1], [2].

Rencana pemerintah Indonesia untuk tahun 2025 dalam pengembangan energi surya adalah memasang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebesar 0,87 GW. Pengembangan ini mencerminkan potensi pasar PLTS Off-Grid dan On-Grid di masa depan. PLTS dengan Sistem Terpusat (Off-Grid) digunakan di daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan distribusi PLN karena output sistem ini terhubung dengan baterai penyimpanan atau langsung ke beban sesuai kebutuhan [3].

Pembangkit listrik tenaga surya atau PLTS merupakan sebuah sistem pembangkit listrik yang mengubah energi dari matahari menjadi energi listrik. Ada dua cara yang dapat digunakan dalam pembangkitan listrik surya, yaitu menggunakan fotovoltaiik secara langsung dan dengan menggunakan pemusatan energi surya secara tidak langsung. Dalam fotovoltaiik, energi cahaya langsung diubah menjadi energi listrik melalui efek fotoelektrik. Sedangkan dalam

pemusatan energi surya, sistem lensa atau cermin digunakan untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan mesin kalor [4].

Kata "photovoltaic" terdiri dari dua kata, yaitu "photo" dan "volta". "Photo" berarti cahaya dalam bahasa Yunani (phos, photos: cahaya), sedangkan "volta" merujuk pada unit tegangan listrik yang diambil dari nama fisikawan Italia bernama Alessandro Volta, yang hidup antara tahun 1745-1827. Dengan demikian, "photovoltaic" memiliki arti konversi langsung cahaya matahari menjadi energi listrik. Istilah "photovoltaic" sering disingkat menjadi "PV" [2].



Gambar 1. Sistem PLTS Offgrid [5]

Pada pengoperasian PLTS OFFGRID, operator umumnya merupakan tenaga kerja *non-skill*. Tugas-tugas yang dilakukan oleh operator dalam pengoperasian termasuk pemeliharaan pembangkit dengan membersihkan sampah dari sisa bahan habis pakai atau komponen yang rusak seperti kertas, plastik, kabel, modul, dan sebagainya. Operator juga bertanggung jawab dalam memelihara pembangkit dari fauna di sekitar lokasi PLTS dengan melakukan pembersihan sampah atau pohon yang tumbuh, serta melakukan pemeriksaan atau pembersihan setiap seminggu sekali dan juga bertugas dalam membersihkan modul surya dan memotong rumput atau vegetasi yang tumbuh di sekitar modul surya [6]. Selain itu, baterai juga merupakan komponen penting dalam sistem PLTS (off-grid) yang memerlukan perawatan rutin, termasuk penambahan air aki dan penggantian baterai yang rusak atau telah melewati masa pakainya (siklus hidup). Kerusakan pada baterai dapat terjadi karena beberapa faktor, salah satunya adalah pengelolaan dan pemeliharaan sistem baterai yang tidak tepat, seperti beban yang terlalu berat,

gangguan pada proses pengosongan dan pengisian, dan sebagainya [6]

Masalah-masalah pada pengoperasian PLTS perlu untuk mendapatkan kajian lebih lanjut sehingga penelitian ini bertujuan mengkaji literature yang ada dalam rangka mengidentifikasi permasalahan PLTS OFFGRID pada masa pengoperasian.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan tinjauan literatur dari jurnal-jurnal dan ulasan laporan terkait studi dalam sepuluh tahun terakhir dilakukan untuk mendapatkan hasil yang baik tentang permasalahan dalam pengoperasian PLTS Offgrid.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

Hasil penelusuran literatur diperoleh bahwa pada sistem pembangkit listrik tenaga surya, terdapat empat komponen penting yang harus terpasang agar PLTS dapat berfungsi secara optimal, yaitu:

a. Panel Surya

Radiasi matahari (global irradiance) yang juga dikenal sebagai radiasi sinar matahari merupakan energi yang dipancarkan dari proses reaksi fusi di dalam matahari dan diterima oleh permukaan bumi dalam satuan waktu pada posisi tegak lurus terhadap permukaan tersebut. Energi ini dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui penggunaan sel surya atau *solar cell*. sel surya ini biasanya terbuat dari bahan silikon dengan ketebalan sekitar 0,3 mm. *Solar cell* merupakan komponen utama dalam panel surya dan mampu menghasilkan tegangan sekitar 0,5 volt. Namun, tegangan keluaran dari solar cell dapat dipengaruhi oleh suhu di sekitarnya [4],[7]. Sel ini pertama kali diciptakan oleh Charles Fritts pada tahun 1880. Pembangkit listrik tenaga surya tipe fotovoltaik menggunakan perbedaan tegangan yang dihasilkan oleh efek

fotoelektrik untuk menghasilkan listrik. Panel surya terdiri dari tiga lapisan, yaitu lapisan panel P di bagian atas, lapisan pembatas di tengah, dan lapisan panel N di bagian bawah. Efek fotoelektrik terjadi ketika sinar matahari menghasilkan elektron yang terlepas dari lapisan panel P, sehingga menyebabkan aliran proton ke lapisan panel N di bagian bawah. Arus perpindahan proton tersebut menghasilkan arus listrik [4]. Sel surya kemudian dirakit menjadi panel surya yang menjadi komponen utama yang diperlukan dalam sebuah sistem PLTS. Terdapat dua jenis panel surya yang umum digunakan, yaitu Modul *Crystalline* (kristal) dan Modul *Thin Film* (film tipis). Tabel 1. Menunjukkan efisiensi dari masing-masing jenis panel surya berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Latasya pada Tahun 2019 di [2].

Tabel 1. Efisiensi Panel Surya

Jenis Panel Surya	Efisiensi
Monocrystalline	15% - 18%
Polycrystalline	13% - 16%
Amorphous Silicon	6% - 9%
Cadmium Teluride	9% - 11%
Copper Indium Galium Dieslinide (CIGS)	10% - 12%

Efisiensi modul surya menunjukkan sejauh mana modul tersebut mampu mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Semakin tinggi persentase efisiensi, semakin efisien modul surya dalam menghasilkan energi listrik dari cahaya matahari

	Mono-Crystalline	Poly-Crystalline
Ilustrasi Modul surya		
Biaya	Lebih mahal	Lebih murah
Efisiensi	15-20%	1-2% lebih rendah dari mono-crystalline

Gambar 2. Solar cell [8]

b. SCC

Solar Charge Controller disingkat SCC juga dikenal sebagai pengontrol pengisian surya,

adalah perangkat yang digunakan untuk mengatur proses pengisian daya listrik dari panel surya ke aki dan inverter. Terdapat minimal dua jenis pengontrol surya, yaitu yang menggunakan teknologi *PWM* (*pulse width modulation*) dan *MPPT* (*maximum power point tracking*). Pengontrol surya dengan teknologi PWM akan mengisi daya listrik ke aki dengan arus yang tinggi saat aki dalam keadaan kosong, dan kemudian mengurangi secara bertahap arus pengisian saat aki semakin terisi. Teknologi ini memastikan bahwa aki terisi sepenuhnya tanpa menimbulkan tekanan berlebih pada aki. Ketika aki telah terisi penuh, pengontrol surya ini akan menjaga aki tetap terisi dengan tegangan float yang tetap [9].

c. Baterai

Baterai merupakan salah satu metode yang umum digunakan untuk menyimpan energi. Baterai menjadi komponen penting yang mempengaruhi kinerja keseluruhan dari sistem PLTS terpusat. Perawatan baterai, masa pakai, daya, dan efisiensi adalah faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja PLTS terpusat. Jenis baterai yang paling cocok untuk sistem PLTS adalah tipe Deep Discharge. Jenis baterai ini memiliki kemampuan untuk mengeluarkan energi listrik hingga sekitar 20% dari kapasitas penyimpanan baterai. Sebagai perbandingan, baterai yang digunakan untuk menghidupkan kendaraan umumnya hanya boleh dikeluarkan hingga sekitar 80% dari kapasitas penyimpanan baterai. Jika dikeluarkan melebihi kapasitas tersebut, maka umur baterai akan berkurang lebih cepat [8].

Ada beberapa teknologi baterai yang umum digunakan, antara lain baterai timbal-asam (*lead acid*), alkalin, nikel-ferit (*NiFe*), nikel kadmium (*Ni-Cad*), dan litium-ion (*Li-ion*). Setiap jenis baterai memiliki kelebihan dan kelemahan dari segi teknis maupun

ekonomi [2]. Bentuk fisik baterai seperti ditunjukkan pada gambar 3.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam menentukan jenis dan kapasitas baterai untuk PLTS serta pengaruhnya pada umur baterai antara lain [2] :

- *Depth of Discharge* (DOD): DOD menentukan seberapa besar daya baterai yang dapat digunakan sebelum perlu diisi ulang. Jika baterai terus diberi beban hingga kosong, hal ini dapat mengurangi umur pakai baterai.
- *State of charge* (SOC): SOC menunjukkan seberapa besar daya yang tersimpan dalam baterai selama proses pengisian berlangsung. Misalnya, jika DOD sebesar 80%, maka SOC akan mencapai 20%. Artinya, ketika baterai terisi penuh 100%, hanya 80% daya yang dapat ditransferkan ke beban.



Gambar 3. Baterai [10]

Perhatian terhadap kedua faktor ini penting dalam pemilihan baterai untuk memastikan kualitas dan umur pakai baterai yang optimal [2].

d. *Power Inverter*

Power inverter adalah konverter elektronik daya yang mengubah tegangan input DC menjadi tegangan output AC dengan magnitudo dan frekuensi output yang terkontrol [2],[11]. Inverter ini memiliki

peran penting dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) karena energi yang dihasilkan oleh panel surya berupa arus DC, sedangkan kebanyakan peralatan dan jaringan listrik rumah tangga menggunakan arus AC. Dengan menggunakan inverter, arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat diubah menjadi arus AC sehingga dapat digunakan oleh perangkat-perangkat listrik yang memerlukan arus AC [2] [11]. Contoh inverter seperti disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Inverter [12]

Inverter pada dasarnya terbagi menjadi tiga kategori yang berbeda, yaitu inverter terhubung ke jaringan, *inverter off-grid*, dan *inverter On/Off Grid Tie*. Setiap inverter memiliki tantangan sendiri. *Inverter off-grid* umumnya digunakan dalam sistem mandiri, tantangan utamanya adalah meningkatkan tegangan baterai DC rendah menjadi tingkat tegangan pasokan AC dalam mode tunggal atau tiga fase. Inverter harus mampu menjaga magnitudo dan frekuensi tegangan *output* AC dalam berbagai kondisi beban dalam kapasitas daya tercatatnya [11]. *Inverter off-grid* pada dasarnya terdiri dari 2 tahap konverter, yaitu konverter tegangan DC ke DC dan inverter DC ke AC dengan kontrol tegangan PI dan filter LC untuk menghasilkan output gelombang sinus. Setiap tahap memiliki tantangan tersendiri dan telah banyak literatur yang diterbitkan untuk mengatasi tantangan ini dan kesenjangan penelitian pada *inverter off-grid*.

Pada tahap pertama, konversi tegangan DC ke DC dilakukan menggunakan topologi konverter *push-pull* melalui transformator peningkat tegangan frekuensi tinggi dan penyearah. Topologi konverter *push-pull* frekuensi tinggi umum digunakan sebagai tahap pertama dalam desain *inverter off-grid* komersial skala kecil hingga menengah. Tantangannya adalah meningkatkan tingkat tegangan DC baterai yang rendah dengan kerugian minimum, jejak dan berat komponen yang rendah. Beberapa literatur mengusulkan konverter *push-pull* bergantian yang dapat menghasilkan tegangan output tinggi dari tegangan input baterai yang sangat rendah. Konverter *push-pull* bergantian merupakan kombinasi dari beberapa konverter *push-pull* dengan penyearah transformator sekunder yang terhubung secara seri untuk mencapai tingkat tegangan output yang diinginkan [13]. Kekurangannya adalah biaya, jejak, dan berat dari konverter *push-pull* bergantian ini akan meningkat dengan jumlah transformator, perangkat saklar, dan penyearah. Literatur lain mengusulkan untuk menyederhanakan seluruh *inverter off-grid* dengan menggunakan hanya satu tahap *inverter push-pull* untuk meningkatkan tegangan pada frekuensi saklar 50 atau 60 Hz. Hal ini secara signifikan meningkatkan ukuran dan berat transformator dan bentuk gelombang keluaran AC sangat terdistorsi dan bukan lagi gelombang sinus [14]. Pendekatan lain adalah dengan memanfaatkan topologi konverter peningkat tegangan DC tunggal atau ganda untuk meningkatkan tegangan baterai ke tingkat yang diinginkan sebagai pengganti topologi *push-pull*[15][11], [15].

3.2 Pembahasan

Setelah melakukan penelusuran pada jaringan internet kami menemukan bahwa tidak banyak peneliti yang mengkaji tentang permasalahan yang terjadi pada masa operasi

PLTS *Offgrid*. Pada umumnya peneliti mengkaji pada desain, modeling ataupun studi perencanaan pembangunan PLTS. Namun demikian ditemukan beberapa tulisan tentang masalah-masalah pada masa pengoperasian PLTS di media massa *online*. Masalah-masalah umum pada PLTS seperti diuraikan berikut :

a. Masalah pada *PV array*

PV array dapat mengalami masalah seperti *hotspot* atau koneksi antar modul PV yang tidak benar. Kerusakan pada *PV array* dapat menjadi masalah serius dan mempengaruhi umur modul PV. Untuk mengatasi masalah ini, langkah yang dapat diambil antara lain adalah memeriksa tegangan dan arus input inverter, memeriksa sakelar dan pemutus arus, memeriksa kabel koneksi, memeriksa bayangan, membersihkan modul yang kotor, memeriksa kerusakan visual, dan sebagainya [16]–[18]

b. Masalah Hubung Singkat

Masalah hubung singkat dapat terjadi jika kutub negatif kabel DC bertemu dengan kutub positif kabel DC, fasa bertemu dengan *ground*, atau kabel positif DC bertemu dengan *ground*. Masalah hubung singkat dapat menyebabkan bahaya tersetrum, gangguan pada sistem, bahkan kebakaran. Untuk mengatasi masalah ini, langkah yang dapat diambil antara lain adalah memisahkan *string PV*, mematikan inverter, mematikan sakelar, menutup modul agar tidak terkena cahaya matahari, dan melakukan analisis dengan mengukur masing-masing sekering [16]–[18].

Lebih detail masalah-masalah dan beberapa langkah mengatasinya diringkas kedalam tiga komponen penyusun PLTS selain sistem kontroler sebagai berikut :

a. Masalah – masalah pada komponen Panel Surya yaitu :

- *Hot Spot* pada Panel Surya

Hot spot pada panel surya merupakan kondisi di mana terjadi penumpukan panas secara abnormal pada beberapa bagian sel surya. *Hot spot* dapat terjadi karena adanya ketidaksempurnaan dalam sel surya, seperti retakan, sambungan solder yang buruk, atau ketidaksesuaian. Ketika terdapat resistansi yang tinggi pada sel surya, panas akan terakumulasi dan menyebabkan titik panas. Efek jangka panjang dari *hot spot* sangat merugikan, karena dapat merusak sel surya dan komponen lainnya dalam panel surya. Jika *hot spot* dibiarkan tanpa penanganan yang tepat, dapat berpotensi menyebabkan kerusakan yang lebih serius, bahkan dapat memicu kebakaran. Untuk mencegah *hot spot* dan mengurangi risiko kerusakan, diperlukan maintenance dan pembersihan rutin pada panel surya. Beberapa langkah yang dapat dilakukan diantaranya pemeriksaan visual yang dilakukan secara rutin untuk mencari tanda-tanda kerusakan, seperti retakan atau kerusakan struktural pada sel surya. Jika ditemukan masalah, segera lakukan perbaikan atau penggantian yang diperlukan. Kemudian melakukan pembersihan pada panel surya secara teratur untuk menghilangkan debu, kotoran, atau residu lainnya yang dapat mengurangi efisiensi panel surya. Pastikan panel surya dalam kondisi bersih agar sinar matahari dapat terserap dengan maksimal. Dilanjutkan dengan perawatan instalasi dengan memeriksa koneksi dan sambungan kabel pada panel surya serta pastikan bahwa semua komponen terhubung dengan baik. Pastikan juga tidak ada kerusakan pada lapisan pelindung panel surya. Selain itu, monitoring suhu menggunakan pemantau suhu untuk mengawasi suhu panel surya. Jika ada perbedaan suhu yang signifikan antara beberapa sel, ini dapat menjadi

indikasi adanya *hot spot*. Tindakan perbaikan dapat diambil sesuai dengan temuan pemantauan suhu. Dengan melakukan perawatan dan pembersihan rutin serta memperhatikan tanda-tanda potensial *hot spot*. Hal ini dapat membantu mencegah kerusakan lebih lanjut pada panel surya dan memastikan kinerja yang optimal serta selalu mengikuti panduan produsen panel surya dalam perawatan dan penanganan yang tepat [6], [16]–[18].

- Keretakan panel surya
Keretakan pada panel surya dapat memiliki dampak negatif pada pembangkitan energi. Panel surya yang sangat tipis dan rapuh, dengan ketebalan sekitar 170 μm , rentan terhadap keretakan akibat benturan yang kuat. Ketika terbentuk retakan pada panel surya, sel surya yang terkena kesulitan dalam mengalirkan arus listrik, yang dapat mengurangi produksi energi dan menyebabkan terjadinya *hot spot* yang tidak diinginkan. Kaca yang melindungi panel surya merupakan pertahanan pertama terhadap elemen cuaca, seperti hujan, debu, hujan es, dan benda-benda asing lainnya. Kaca yang ideal harus cukup kuat untuk menahan tekanan seperti hujan es dan benda-benda lainnya, sambil tetap memungkinkan sinar matahari untuk diserap oleh sel surya. Jika kaca tersebut pecah atau memiliki kekuatan yang rendah, selain berkurangnya cahaya yang diserap oleh panel surya, elemen asing seperti air dan debu dapat masuk ke bawah kaca dan mengganggu kinerja sel surya, sehingga mempengaruhi produksi energi. Selain itu, keretakan pada lembar belakang panel surya juga dapat menjadi masalah. Panel surya terpapar radiasi ultraviolet (UV) yang intens dan mengalami variasi

suhu setiap hari. Jika lembar belakang panel surya retak, hal ini menandakan pemilihan komponen yang buruk dan dapat memungkinkan masuknya uap air ke dalam lapisan modul, menyebabkan kerusakan pada sel surya dan mengurangi efisiensi panel. Untuk mencegah keretakan pada panel surya dan meminimalkan dampaknya, beberapa tindakan dapat dilakukan. Pertama, perhatikan instalasi yang tepat dan perlindungan panel surya dari benturan yang kuat. Selain itu, pemilihan bahan berkualitas tinggi, termasuk kaca yang tahan pecah dan lembar belakang yang kokoh, dapat membantu melindungi panel surya dari keretakan dan kerusakan lainnya. Melakukan pemeriksaan rutin dan perawatan panel surya, termasuk pembersihan yang tepat, juga dapat membantu mendeteksi dan mencegah masalah sejak dini. Dalam hal pemilihan, instalasi, dan perawatan panel surya, disarankan untuk mengikuti panduan produsen dan berkonsultasi dengan ahli yang berpengalaman dalam bidang ini untuk memastikan performa dan umur panjang panel surya [16]–[18].

- konektivitas panel surya
Koneksi panel surya yang cacat dapat mengurangi produksi energi secara signifikan. Setelah sel surya dihubungkan ke string, interkoneksi antara sel surya dan kabel yang digunakan untuk menghubungkannya harus dilakukan dengan baik. Jika interkoneksi tersebut disolder dengan buruk, bisa menyebabkan sebagian sel surya menjadi sirkuit terbuka. Ketika sel surya menjadi sirkuit terbuka, artinya tidak ada aliran arus listrik yang dapat melewati sel surya tersebut. Hal ini mengakibatkan produksi energi panel surya menurun sebesar sepertiga atau bahkan lebih, tergantung

pada jumlah sel surya yang terkena masalah tersebut. Untuk mencegah koneksi panel surya yang cacat, diperlukan teknik manufaktur yang matang dan pemeriksaan kualitas yang cermat sebelum pengiriman. Proses soldering dan interkoneksi harus dilakukan dengan hati-hati dan memastikan bahwa semua koneksi terhubung dengan baik dan kuat. Selain itu, kotak *junction* yang ada di bagian belakang panel surya juga merupakan area yang rentan terhadap masalah. Jika air atau debu dapat merembes ke dalam kotak *junction*, dapat menyebabkan korsleting dan terbakar pada dioda *bypass* di dalamnya. Jika dioda atau konektor terbakar, panel surya dapat berhenti mentransfer energi ke luar dan menjadi sirkuit terbuka. Penting untuk memastikan bahwa kotak *junction* di panel surya dirancang dengan baik dan tahan air serta tahan debu. Perawatan yang baik terhadap kotak *junction* dan pemeriksaan rutin dapat membantu mencegah masalah ini. Untuk menghindari masalah koneksi yang cacat dan menjaga produksi energi panel surya, perlu dilakukan pemeriksaan berkala pada koneksi dan kotak *junction*. Jika terdapat kecacatan, sebaiknya diperbaiki atau diganti segera untuk menjaga kinerja optimal panel surya [16]–[18].

- *Potential Induced Degradation (PID)*
Potential Induced Degradation (PID) merupakan kerusakan yang dapat terjadi pada panel surya akibat fluktuasi atau perubahan tegangan yang terjadi dalam sistem listrik. PID dapat menyebabkan penurunan kinerja panel surya dan mengurangi tegangan *output* yang dihasilkan oleh panel surya tersebut. Biasanya, panel surya dihubungkan dalam rangkaian panjang untuk

menghasilkan tegangan sistem tinggi, seperti 1000 V, yang diperlukan untuk menggerakkan inverter surya. Perbedaan tegangan yang tinggi antara rangkaian *ground* dan sel surya dapat menyebabkan terjadinya tegangan yang terinduksi pada panel surya. Jika panel surya memiliki kualitas yang buruk atau tidak memadai, tegangan yang terinduksi tersebut dapat menyebabkan penurunan kinerja panel surya seiring berjalannya waktu. Hal ini terjadi karena tegangan yang terinduksi mempengaruhi struktur dan kinerja sel surya, mengurangi efisiensi konversi energi matahari menjadi energi listrik. Penurunan tegangan output pada panel surya yang disebabkan oleh PID dapat berdampak negatif pada kinerja sistem listrik secara keseluruhan. Jika PID tidak diatasi dengan cepat, kerugian energi yang signifikan dapat terjadi, mengurangi produksi energi panel surya secara drastis. Untuk mencegah kerusakan akibat PID, penting untuk memilih panel surya berkualitas yang dirancang untuk mengatasi potensi PID. Panel surya yang tahan terhadap PID biasanya dilengkapi dengan teknologi pengurangan tegangan yang terinduksi, seperti penggunaan bahan dan desain sel surya yang sesuai. Selain itu, pemasangan panel surya dengan benar dan penggunaan sistem *grounding* yang baik juga penting untuk mengurangi risiko PID. Memastikan bahwa panel surya terhubung dengan baik ke sistem *grounding* dapat membantu mengurangi perbedaan tegangan yang terlalu besar antara rangka *ground* dan sel surya. Jika Anda curiga adanya PID pada panel surya, sebaiknya melakukan pemeriksaan oleh teknisi yang terlatih untuk mengkonfirmasi dan mengatasi masalah tersebut [16], [17].

b. Masalah – masalah pada komponen Baterai

Sistem baterai dapat dianggap sebagai baterai bekas atau rusak berdasarkan beberapa indikator yang menunjukkan kondisinya. Indikator-indikator ini meliputi kapasitas pelayanan baterai terhadap beban yang kurang dari satu malam (8 jam), adanya kerusakan fisik pada baterai, hasil pengukuran karakteristik kelistrikan yang jauh dari spesifikasi pabrikan, dan usia baterai yang telah melewati masa perkiraan umur yang ditentukan oleh pabrikan. Dalam rangka mengidentifikasi baterai bekas atau rusak dalam sistem PLTS, terdapat beberapa tahapan yang dapat dilakukan. Pertama, melakukan inspeksi visual secara menyeluruh terhadap baterai untuk mencari tanda-tanda kerusakan atau keausan yang terlihat. Selanjutnya, pemindaian panas menggunakan kamera termal dapat dilakukan untuk melihat adanya *hotspot* atau perubahan suhu yang tidak normal pada baterai, yang dapat mengindikasikan adanya masalah. Selain itu, pengukuran tegangan baterai juga penting untuk mengevaluasi tegangan yang dihasilkan oleh baterai dan membandingkannya dengan spesifikasi yang diberikan oleh pabrikan. Terakhir, pengukuran resistansi dalam (*internal resistance*) baterai juga dapat dilakukan. Resistansi dalam yang tinggi dapat menunjukkan adanya kerusakan internal pada baterai. Dengan melalui tahapan-tahapan tersebut, dapat dilakukan identifikasi terhadap kondisi baterai dalam sistem PLTS apakah masih dalam kondisi baik atau sudah mengalami kerusakan dan menjadi baterai bekas. Hal ini penting untuk memastikan kinerja dan keandalan sistem PLTS serta mengambil langkah yang tepat untuk mengganti baterai yang rusak agar sistem dapat beroperasi dengan baik [6].

c. Masalah – masalah pada Power inverter

- Inverter dapat mengalami masalah akibat kesalahan dalam pemasangan

input/output atau kerusakan komponen internalnya. Gangguan pada inverter dapat menghambat pasokan listrik AC ke beban yang terhubung. Untuk mengatasi masalah ini, ada beberapa langkah yang dapat diambil, seperti memeriksa grounding yang tepat, memeriksa kabel-kabel yang terhubung ke inverter, memeriksa bagian *input/output inverter*, memeriksa kabel DC yang menghubungkan inverter dengan panel surya, dan melakukan pemeriksaan lain yang diperlukan untuk memastikan kelancaran fungsi inverter.

- Dalam mengalirkan output energi dari Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ke beban listrik, terdapat potensi terjadinya masalah. Beban yang terlalu berlebih atau koneksi yang tidak benar dapat menyebabkan gangguan pada sistem PLTS. Untuk mengatasi masalah ini, beberapa langkah dapat diambil. Pertama, penting untuk memeriksa semua sakelar yang terhubung untuk memastikan bahwa mereka berfungsi dengan baik. Penggunaan multimeter juga diperlukan untuk memeriksa tegangan dan memastikan bahwa tegangan yang dihasilkan oleh PLTS sesuai dengan yang diharapkan. Selain itu, perlu juga memeriksa keadaan sekering dan pemutus arus untuk memastikan bahwa mereka tidak rusak atau terlalu beban. Selanjutnya, pemeriksaan terhadap koneksi beban sangat penting untuk memastikan bahwa koneksi tersebut benar dan aman. Selain masalah pada aliran energi ke beban, saluran distribusi PLTS juga rentan terhadap gangguan tegangan berlebih. Gangguan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk kesalahan pada pengaturan trafo distribusi atau dampak petir. Gangguan tegangan berlebih dapat

memiliki dampak negatif pada kinerja sistem PLTS dan bahkan dapat merusak peralatan yang terhubung. Untuk mengatasi masalah ini, salah satu langkah yang dapat diambil adalah dengan memasang *relay over voltage* pada sistem. *Relay over voltage* berfungsi untuk mendeteksi tegangan yang melebihi batas yang ditentukan dan akan mengambil tindakan yang tepat, seperti memutus pasokan listrik atau mengatur ulang tegangan ke tingkat yang aman. Dengan memasang *relay over voltage*, kestabilan tegangan dalam sistem PLTS dapat terjaga dengan baik, dan risiko kerusakan akibat tegangan berlebih dapat diminimalkan, sehingga melindungi peralatan yang terhubung dengan lebih baik [16], [17].

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan berdasarkan kajian pada hasil dan pembahasan dapat diperoleh beberapa kesimpulan bahwa masalah – masalah pada sistem PLTS *Offgrid* seperti berikut :

- a. Pada panel surya terdapat beberapa masalah yaitu : *hot spot*, keretakan dan konektivitas.
- b. Pada baterai terdapat masalah seperti perubahan suhu tidak normal, penurunan tegangan secara cepat serta resistensin dalam yang tinggi
- c. Pada *power inverter* terdapat masalah pada system grouding, pengkabelan dan pembebanan yang berlebih

Sehingga sangat diperlukan pemeriksaan rutin pada setiap komponen penyusun PLTS agar dapat beroperasi secara optimal. Dan perlunya sistem monitoring beberapa variabel penting yang dapat menjadi indikator operasi PLTS seperti *hot spot*, suhu sekitar panel surya , Suhu baterai, Tegangan Baterai, Tegangan dan arus keluaran *power inverter*.

5. Ucapan Terimakasih

Ucapakan terima kasih kami haturkan kepada segenap pihak yang telah membantu studi

literatur ini.

Referensi

- [1] R. Pratama and M. Ali, "PENGEMBANGAN SISTEM AKUISISI DATA ARUS, TEGANGAN, DAYA DAN TEMPERATUR PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA," *Jurnal Edukasi Elektro*, vol. 3, no. 2, 2019, [Online]. Available: <http://journal.uny.ac.id/index.php/jee/55>
- [2] F. Fauzy, I. S. Areni, and I. C. Gunadin, "RANCANG BANGUN ALAT TELEMETRI PARAMETER PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA BERBASIS IoT." [Online]. Available: www.edukasielektronika.com
- [3] A. STEFANIE and F. C. SUCI, "Analisis Performansi PLTS Off-Grid 600 Wp menggunakan Data Akuisisi berbasis Internet of Things," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 4, p. 761, Oct. 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i4.761.
- [4] I. Widodo Pudji Muljanto, E. Ir Abraham Lomi, and M. Wahyu Solihin, "Seminar Hasil Elektro S1 ITN Malang RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PLTS OFF-GRID KAPASITAS 4 KWP LAB. ELEKTRO KAMPUS-II ITN MALANG MENGGUNAKAN SCADA HAIWELL."
- [5] SOLAR SURYA INDOTAMA, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat," <https://solarsuryaindotama.co.id/products/plts-terpusat-off-grid-hybrid/>, Jun. 07, 2023.
- [6] Direktorat Aneka Energi Baru Dan Energi Terbarukan Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi Kementerian Sumber Daya Mineral, *Panduan Pengelolaan Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts)*, vol. Jakarta: Direktorat Aneka Energi Baru Dan Energi Terbarukan Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi Kementerian Sumber Daya Mineral, 2020.
- [7] U. Muhammad, S. Mustafa, and S. Sofyan, "Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2021 Makassar," 2021. [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp8266-pinout-bayujaji-kencana-budi-prasetyo-and-dkk-hanny-berchmans-PANDUAN-STUDI-KELAYAKAN-PEMBANGKIT-LISTRIK-TENAGA-SURYA-PLTS-TERPUSAT>. Jakarta: USAID, 2018.
- [8] M. Naim, S. Pengajar, T. Mesin, and A. T. Sorowako, "RANCANGAN SISTEM KELISTRIKAN PLTS OFF GRID 1000 WATT DI DESA LOEHA KECAMATAN TOWUTI."
- [10] Solar Mart, "BAE 24V Gel Solar Battery Bank Long Life," *Solar Mart*. <https://www.solamart.com.au/product/bae-24v-gel-solar-battery-bank-long-life/> (accessed Jun. 22, 2023).
- [11] R. H. G. Tan, C. B. Chuin, and S. G. Solanki, "Modeling of single phase off-grid inverter for small standalone system applications," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, vol. 11, no. 3, pp. 1398–1405, 2020, doi: 10.11591/ijpeds.v11.i3.pp1398-1405.
- [12] Solar Nusantara, "INVERTER OFF GRID," <https://solarnusantara.id/id/our-product/inverter-off-grid/>.
- [13] M. Anand, R. P. P, E. K. P, and L. T. Alex, "Design of Interleaved Push Pull Converter For Photovoltaic Systems." [Online]. Available: www.iosrjen.org
- [14] A. Ogunseye and D. O. Johnson, "Development of a Microcontroller-Based 6/12/18/24V Power Inverter Circuit," *Journal of Communications Technology, Electronics and Computer Science*, vol. 10, p. 19, Mar. 2017, doi: 10.22385/jctecs.v10i0.144.
- [15] S. Bhutada and S. R. Nigam, "Single Phase PV Inverter Applying a Dual Boost Technology," *International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE)*, vol. 5, no. 2, pp. 95–102, 2016.
- [16] Maulana Afif, "6 Gangguan pada Sistem PLTS yang Wajib Kamu Ketahui," <https://kumparan.com/41-maulana-afif/6-gangguan-pada-sistem-plts-yang-wajib-kamu-ketahui-IwnihoP7yNO/full>, Oct. 27, 2021.
- [17] Abdul Haris Maulana, "Simak, 8 Permasalahan dan Kerusakan yang Bisa Terjadi pada Panel Surya," <https://www.kompas.com/home/read/2021/01/26/151600776/simak-8-permasalahan-dan-kerusakan-yang-bisa-terjadi-pada-panel-surya?page=all>, Feb. 28, 2023.
- [18] Dwi Novitasari, "Keberlanjutan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid di Pedesaan," <https://enerbi.co.id/2017/12/keberlanjutan-pembangkit-listrik-tenaga-surya-off-grid-di-pedesaan/>, Dec. 2022.