

ANALISA KEBERSIHAN PANEL SURYA TERHADAP KELUARAN PLTS ON-GRID 200 KWP BANDARA UDARA SULTAN MUHAMMAD SALAHUDDIN BIMA

Syafiatun Sandrawati¹, I Nyoman Satya kumara², I Nyoman Setiawan³

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Kuta 80361, Bali

Email: syafiatunsandrawati@gmail.com

ABSTRAK

Bandar Udara Sultan Muhammad Salahuddin Bima adalah salah satu dari beberapa Bandar Udara di Indonesia yang memiliki PLTS sebagai penyuplai energi listrik. Keberadaan PLTS di setiap Bandar Udara menjadi perhatian untuk dianalisis lebih lanjut, agar potensi produksi energi listrik dari PLTS dapat optimal. Maka modul surya yang sebagai komponen utama dari PLTS sangat penting untuk diperhatikan kebersihannya dari kotoran atau debu yang dapat mengurangi efisiensi dan produksi listrik PLTS. Hasil pengukuran produksi energi PLTS di Bandar Udara Sultan Muhammad Salahuddin Bima sebelum dibersihkan adalah sebesar 567,56 kWh dan sesudah dibersihkan sebesar 576,86 kWh. Pada pengukuran ini dilakukan pembersihan pada rangkaian 1 *Inveter* dengan jumlah panel surya 100 unit. Terdapat perubahan produksi energi dari hasil pengukuran tersebut. Kondisi ini dikarenakan panel surya yang tidak dibersihkan selama 1 tahun. Sehingga hasil persentase Kenaikan produksi energi PLTS di Bandar Udara Sultan Muhammad Salahuddin Bima sebesar 1,63%.

Kata kunci: Energi terbarukan, Panel surya, Perawatan PLST

ABSTRACT

*Sultan Muhammad Salahuddin Bima Airport is one of the few airports in Indonesia that has PLTS as a supplier of electrical energy. The existence of PLTS at each airport is a concern for further analysis, so that the potential for electrical energy production from PLTS can be optimal. So the solar module which is the main component of PLTS is very important to pay attention to cleanliness from dirt or dust that can reduce the efficiency and electricity production of PLTS. The measurement of PLTS energy production at Sultan Muhammad Salahuddin Bima Airport before cleaning was 567.56 kWh and after cleaning it was 576.86 kWh. In this measurement, cleaning was carried out on a series of 1 *Inveter* with a total of 100 solar panels. There is a change in energy production from the measurement results. This condition is due to solar panels that have not been cleaned for 1 year. So that the percentage increase in PLTS energy production at Sultan Muhammad Salahuddin Bima Airport is 1.63%.*

Keywords: Renewable energy, Solar panel, PLST maintenance

1. PENDAHULUAN

Alasan utama menggunakan teknologi PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) adalah sebagai Sumber energi yang melimpah dan tanpa biaya, sumber energi tersedia di tempat dan tidak perlu diangkut, biaya pengoperasian dan pemeliharaan sistem PLTS yang relatif kecil, tidak perlu pemeliharaan yang sering dan dapat dilakukan oleh operator setempat yang terlatih, ramah lingkungan, tidak ada emisi gas dan limbah berbahaya.

Salah satu daerah yang intensitas sinar matahari melimpah adalah Bima, Nusa

Tenggara Barat (NTB) dan di dimanfaatkan oleh bandara Sultan Muhammad Salahuddin Bima, di mana PLTS ini dibangun untuk meningkatkan ketahanan tenaga listrik di Kabupaten Bima, karena PLTS ini terhubung dengan jaringan listrik tegangan rendah PLN dan bekerja dengan sistem *On- Greed*, menyalurkan daya yang diterima dari matahari langsung ke jaringan PLN tanpa menggunakan baterai sebagai media penyimpanan. Listrik dari PLTS ini akan membantu pemenuhan kebutuhan listrik bandara pada siang hari dan secara tidak langsung mengurangi konsumsi BBM untuk

pembangkit listrik PLN di area tersebut. PLTS mulai beroperasi dibulan Mei 2017. PLTS ini memiliki kapasitas daya besar 200 kWp yang dihasilkan dari 800 buah modul surya yang dibangun diatas tanah seluas 3.900 m²[1].

Salah satu jenis pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang digunakan adalah PLTS *On Grid* atau *Grid connected Photovoltaic system* yang merupakan solusi *Green energy*. Sistem menggunakan modul surya (*Photovoltaic module*) untuk menghasilkan yang ramah lingkungan dan bahan emisi. Sistem ini akan terhubung dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi PV untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin. Jadi pada siang hari kebutuhan energi listrik berbagai peralatan yang disuplai oleh modul surya. Untuk kasus di Indonesia, jika didukung dengan regulasi yang tepat. Skema tersebut akan membantu penyaluran subsidi listrik yang tepat sasaran [2].

Pengaruh kebersihan panelnya terhadap output dari panel surya yang terpasang di PLTS Bandar Udara muhammad Sultan Hasanuddin panel surya yang terpasang sebagian besar berdebu, hal ini dikarenakan daerah tersebut dekat dengan sawah dan pegunungan yang menyebabkan adanya debu yang menempel dipanel surya tersebut. Selain itu, banyak terdapat kotoran burung dan hewan lainnya yang menutupi panel surya tersebut. Lokasi panel merupakan tempat terbuka sangat memungkinkan burung- burung hinggap di atas panel dan meninggalkan kotorannya. Hal ini yang dapat mempengaruhi daya output dari panel surya tersebut.

Berdasarkan latar belakang di atas maka dalam penelitian ini dilakukan studi dan analisa terhadap kebersihan panel surya terhadap keluaran dari PLTS Bandar Udara Sultan Muhammad Salahuddin Bima.

2. TINJAUAN MUTAKHIR

Penelitian tentang *Analisa Kinerja PLTS On-Grid 200 kWp di Bandara Udara Sultan Muhammad Salahuddin Bima*. Pada penelitian ini dilakukan analisa terkait kinerja PLTS Bandara Udara Sultan Muhammad Salahuddin Bima. Yaitu dengan mengetahui *Performance ration* (PR) nya. Untuk mengetahui nilai PR, maka dilakukan pengukuran radiasi, temperatur, arus dan tegangan. Kemudian hasil dari pengukuran tersebut dilakukan perhitungan sehingga didapatlah nilai daya berdasarkan perhitungan. Nilai daya berdasarkan perhitungan dibandingkan dengan daya hasil pengukuran sehingga dapat diketahui nilai PR

nya. Dari pengukuran dan perhitungan diperoleh nilai PR pada tanggal 15 April 2019 dan 16 April 2019 83% dan 65%. Rendahnya nilai dari PR dapat disebabkan oleh faktor lingkungan, cuaca, iradiasi dan *shading*. Selain dari itu melakukan analisa pemeliharaan dan pembersihan PLTS Bandara Udara Sultan Muhammad Salahuddin Bima.

Unjuk kerja PLTS dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti yang dijelaskan pada penelitian yang dilakukan oleh Anggara dkk (2014). Dalam penelitian ini dilakukan studi terhadap unjuk kerja PLTS yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti faktor intensitas cahaya matahari, faktor temperatur PV *modul* akan digunakan untuk mensuplai beban. Agar daya PLTS optimal maka 32 PV *module* akan digunakan untuk mensuplai beban di area *internet corner*. Baterai sebanyak 15 unit dengan kapasitas 1.455 Ah, *inveter* dengan kapasitas 6000 watt dan *charger controller* dengan rating arus 20 Ampere sebanyak 4 unit [3].

Penelitian yang membahas pemeliharaan dan perawatan PLTS secara global konsumsi energi listrik lebih banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan penerangan dan juga sektor Usaha Kecil Menengah (UMK) yang melibatkan barang-barang elektronik maupun alat-alat/mesin rumah tangga, dengan menipisnya cadangan sumber energi tak terbarukan sebagai penunjang pasokan energi listrik nasional, maka diperlukan upaya sistematis, terencana dan terpadu guna melestarikan sumber energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya.

Salah satunya adalah dengan mengembangkan pembangkit listrik sistem *hybrid* yang memanfaatkan aliran air dan cahaya matahari untuk menghasilkan energi listrik yang ramah lingkungan. Agar pembangkit listrik sistem *hybrid* yang dibangun dapat terus beroperasi maka diperlukan upaya perbaikan, pemeliharaan dan perawatan (*Repair, Maintenance, and Service*). kesimpulan bahwa pembangkit listrik sistem *hybrid* telah berhasil menghasilkan daya listrik dengan memanfaatkan aliran air yang cukup deras pada musim penghujan (PLTPH) dan energi matahari pada musim kemarau (PLTS). Pembangkit listrik tersebut dapat menghasilkan listrik sebesar 70 watt yang digunakan untuk menerangi 10 titik penerangan dengan memakai lampu LED 7 Watt. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh pembangkit listrik *hybrid* adalah 220 VAC dengan menggunakan stabilizer untuk

menstabilkan tegangan yang dihasilkan dari PLTPH dan PLTS Adapun Frekuensi keluarannya cukup stabil yaitu sekitar 50 Hz. Dengan adanya kegiatan pengabdian masyarakat ini, diharapkan pembangkit listrik tenaga *hybrid* yang telah dibangun dapat tetap memberikan manfaat bagi warga didesa picung terutama dalam membantu memberikan penerangan pada warga sekitar.

Unjuk kerja PLTS dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti yang dijelaskan pada penelitian yang dilakukan oleh angara dkk dalam penelitian ini dilakukan studi terhadap unjuk kerja PLTS yang dipengaruhi faktor lingkungan, seperti faktor intensitas cahaya matahari, faktor temperatur PV *module* dan kondisi cuaca lingkungan. Hasil dari penelitian ini adalah dari 32 PV *module* hanya 8 buah yang digunakan untuk menyuplai beban di area *internet cornet*. Baterai sebanyak 15 unit dengan kapasitas 1.455 Ah, *inveter* dengan kapasitas 6.000 Watt dan *charger controller* dengan rating arus 20 ampere sebanyak 4 unit.

Faktor penting yang mempengaruhi besarnya foton yang dipengaruhi oleh selsurya adalah kebersihan modul surya sudi pengaruh kebersihan modul surya terhadap unjuk kerja PLTS dilakukan di Denpasar pada bulan Januari sampai Maret, menggunakan dua modul surya yang identik dengan 14,1 Wp. Modul pertama dibersihkan secara berkala sedangkan modul kedua tidak dibersihkan.

Penurunan yang relatif kecil yang disebabkan oleh pembersihan permukaan modul oleh hujan yang sering terjadi sehingga secara tidak langsung air hujan membersihkan permukaan modul dari kotoran. Dari studi pengaruh kebersihan modul surya terhadap unjuk kerja PLTS, modul surya tidak dibersihkan menghasilkan daya tertinggi sebesar 12,63 Watt dan daya modul surya tidak dibersihkan terendah sebesar 0,04 Watt sedangkan modul surya dibersihkan menghasilkan daya tertinggi sebesar 12,69 Watt dan daya modul surya dibersihkan terendah sebesar 0,06. Dari perhitungan daya yang dilakukan, terjadi penurunan sebesar 5,48 %. Dari studi ini didapat hasil output dari modul surya yang dibersihkan lebih besar dibandingkan modul surya tidak dibersihkan. Perbedaan daya yang tidak begitu besar dikarenakan pengukuran dilakukan pada musim hujan, dan kedua permukaan modul surya dibersihkan dari kotoran oleh hujan [4].

Penelitian ini dilakukan oleh suwarti dkk 2020, di Desa Surokonto Wetan Kabupaten

Kendal memiliki kawasan pertanian dan peternakan rakyat, selain ada potensi air yang cukup yang biasa dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga Mikrohidro (tahun kemarin 2019 sudah ada kerja sama dengan desa Surokonto). Kendala yang dihadapi dalam penelitian ini yaitu untuk mengembangkan kawasan pertanian dan peternakan tersebut adalah belum mencukupi dalam ketersediaannya sumber listrik. Langkah yang akan dilakukan meliputi memberikan pelatihan mengenai operasional PLTS, perawatan dan perbaikannya. Dan juga memberikan sekilas tentang perancangan, pembuatan, dan installing pemahaman masyarakat Desa Surokonto. Dalam tahap akhir penelitian ini dilakukan evaluasi meliputi pemahaman masyarakat Desa Surokonto mengenai konsep, pengoperasian PLTS maupun perawatan dan perbaikinya dan juga publikasi. Dari kegiatan pengabdian masyarakat pratama pada tahun 2020 ini adalah Pelatihan sudah dilakukan, yaitu dari pengenalan, pemasangan sampai pembuatan PLTS sampai pada perawatannya. Dari pelatihan PLTS tersebut pihak desa suryokonto wetan antusias dan mau menggabungkan (*hybrid*) dengan PLTA sebagai tempat untuk untuk pariwisata teknologi desa. Peserta ada dari surokonto kulon ada yang tertarik juga, mau menerapkan PLTS untuk mengoperasikan pompadi daerah tersebut. Karena dengan menggunakan PLN pembayarannya lebih besar.

2.1 PTLIS Bandara Bima

Bandar Udara Sultan Muhammad Salahuddin Bima atau dikenal juga sebagai Bandar Udara Bima merupakan Bandar Udara kelas 2 dengan kategori domestik yang terletak di Belo, Palibelo, Kabupaten Bima, Nusa Tenggara Barat. Bandar Udara Sultan Muhammad Salahuddin Bima diresmikan pada Juli 1972. Bandar Udara Bima selama beroperasi pada tahun 2020 mengkonsumsi energi listrik sebanyak 509.260 kWh per tahunnya dengan rata-rata pemakaian per bulannya adalah 42.438,33 kWh. PLTS Bandara Udara Sultan Salahuddin Bima memiliki 800 modul surya merek Len dengan kapasitas daya per modul 260 Wp berkapasitas daya total terpasang sebesar 208.000 Wp seluruh modul surya dibagi menjadi 40 rangkaian terhubung paralel. Masing-masing rangkaian terdiri dari 20 modul surya yang terhubung seri yang dipasang pada penyangga dengan

kemiringan 13°. Untuk mengubah tegangan DC output dari PLTS menjadi tegangan AC digunakan rangkaian inverter merek SMA Solar Technology AG Tipe Sunny Tripower (STP 25000 TL-30) sistem 3 fasa dengan kapasitas 25 Kw yang berjumlah 8 unit inverter. Setiap inverter memiliki input 5 set susunan rangkaian. Seluruh daya listrik yang diproduksi PLTS disalurkan ke jaringan instalasi Bandara melalui 1 panel distribusi yang terdiri dari 8 unit inverter dan trafo step-up. Sistem PLTS dibagi menjadi 2 sisi yaitu pembangkitan atau *array*. Tegangan nominal sebesar 625 VDC dan tegangan maksimal 1000 VDC. Kemudian dikonversi menjadi tegangan AC oleh rangkaian inverter dengan nominal tegangan 220/380 VAC dan dialirkan langsung ke jaringan listrik.

2.2 Energi Terbarukan

Energi terbarukan merupakan energi alternatif yang bersumber dari alam dan memiliki ketersediaan secara terus menerus, tanpa menunggu waktu yang lama untuk memproduksi energi tersebut seperti energi konvensional. Adapun jenis-jenis energi baru dan terbarukan yaitu energi angin, energi surya, energi panas bumi, energi biomassa, dan energi gelombang laut. Energi baru dan terbarukan disebut sebagai *green and sustainable energy* karena sifatnya yang ramah lingkungan, tidak merusak lingkungan, dan jumlahnya tidak akan pernah habis walaupun dimanfaatkan secara terus menerus. Oleh karena itu energi baru terbarukan ini sangat diperlukan sebagai sumber penyediaan listrik bagi pemerintah maupun masyarakat.

2.3 Energi Surya

Energi surya merupakan salah satu bagian dari energi terbarukan, yang di mana energi potensial ini bersumber dari matahari dan memiliki potensi yang bagus di Indonesia karena Indonesia merupakan negara tropis di mana daerahnya dilalui oleh garis khatulistiwa sehingga memiliki penyinaran matahari yang besar. Energi surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia yang mempunyai luas 2 juta km² adalah sebesar 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 GWp yang didistribusikan. Potensi pengembangan energi surya sangat besar, tercatat Indonesia memiliki potensi energi surya sebesar 207.898 MW, namun pemanfaatan energi surya sendiri saat ini baru sekitar 150 MW atau 0,08% dari potensinya [5].

Di Indonesia cahaya matahari yang melimpah dan merata, dapat ditangkap di seluruh kepulauan di Indonesia hampir sepanjang tahun. Letak Indonesia yang berada pada daerah khatulistiwa mengakibatkan wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 12 jam dalam sehari (BMKG, 2022). Data Dewan Energi Nasional Tahun 2016 menyebutkan bahwa sumber daya energi surya di Indonesia dapat dikelompokkan berdasarkan wilayah yaitu kawasan barat dan timur Indonesia. Sumber daya energi surya di kawasan barat Indonesia (4,5 kWh/m²/hari) dengan variasi bulanan sekitar 10% dan kawasan timur Indonesia (5,1 kWh/m²/hari) dengan variasi bulanan sekitar 9% serta rata-rata Indonesia 4,8 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Radiasi matahari adalah sinar yang dipancarkan dari matahari ke permukaan bumi, yang disebabkan oleh adanya emisi bumi dan gas pijar panas matahari. Radiasi dan sinar matahari dipengaruhi oleh berbagai hal sehingga pancarannya yang sampai di permukaan bumi sangat bervariasi. Jam puncak matahari atau yang lebih dikenal dengan istilah *peak sun hour* (PSH) merupakan istilah di bidang energi matahari, istilah tersebut biasa digunakan untuk memperkirakan lamanya waktu radiasi matahari efektif digunakan dalam sehari. *Peak sun hour* (PSH) dapat dihitung dengan persamaan berikut [6].

$$PSH = \frac{\text{Rata-rata Radiasi}}{\text{Insulasi Standar}} \quad (1)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata Radiasi} &= \text{Rata-rata radiasi yang diterima permukaan (kWh/m}^2\text{)} \\ \text{Insulasi Standar} &= \text{Nilai insulasi standar yaitu 1 kW/m}^2 \end{aligned}$$

2.4 Parameter-Parameter PLTS

Hasil pengoperasian PLTS dipengaruhi oleh beberapa parameter sebagai berikut (Sunaryo, 2014):

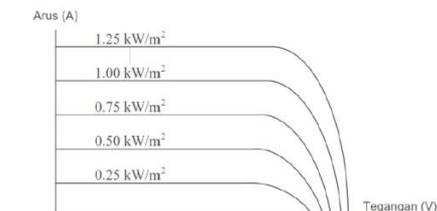
1. Suhu

Komponen semikonduktor seperti diode sensitif terhadap perubahan suhu, begitu pula sel surya. Kenaikan suhu mengurangi tegangan keluaran sel surya. Hal ini disebabkan peningkatan suhu menurunkan band gap semikonduktor. Band gap yang dimaksud adalah sejumlah energi yang

dibutuhkan untuk mengeluarkan elektron dari ikatan kovalennya sehingga terjadilah aliran arus listrik. Suhu optimal pada sel surya adalah 25°C, jika suhu melewati batas tersebut maka efisiensi modul surya akan menurun. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel akan melemahkan *voltage* (Voc). Setiap kenaikan temperatur Sel Surya 1 derajat celcius (dari 25 derajat) akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah 2x lipat untuk kenaikan temperatur Sel per 10 derajat C.

2. Radiasi

Radiasi mempengaruhi variasi arus dan tegangan. Terdapat hubungan antara variasi pada radiasi dan variasi pada hubungan arus. Tegangan pada rangkaian terbuka tidak berubah secara drastis terhadap radiasi. Namun, bagaimanapun tetap terjadi sedikit peningkatan pada saat kenaikan radiasi. Semakin tinggi radiasi maka, semakin besar pula arus dan tegangan yang dihasilkan. Salah satu faktor yang mempengaruhi jumlah radiasi yang sampai pada modul adalah terjadinya bayangan-bayangan yang dapat menghalangi radiasi sampai kepada modul surya seperti bayangan pohon, bayangan awan, bayangan bangunan dan lain-lain.



Gambar 1 Menunjukkan karakteristik variasi tegangan dan arus terhadap radiasi

3. Orientasi Modul Surya

Orientasi dari rangkaian modul (array) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan modul dapat menghasilkan energi maksimum. Selain arah orientasi, sudut orientasi (tilt angle) dari modul surya juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum. Untuk lokasi yang terletak di belahan utara latitude, maka modul surya sebaiknya diorientasikan ke selatan, orientasi ke timur-barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari modul surya, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimal.

4. Kecepatan Angin

Kecepatan tiupan angin di sekitar lokasi modul surya akan sangat membantu terhadap pendinginan suhu permukaan modul surya

sehingga suhu dapat terjaga di kisaran suhu yang konduktif.

5. Kebersihan modul surya

Kebersihan modul surya merupakan hal yang berpengaruh pada terhadap *output* pada modul surya. *Soilage* (Kotoran) dapat menumpuk di atas permukaan modul surya, sehingga membuat cahaya matahari akan terhalang sampai ke sel pada modul dan berakibat pada daya keluaran yang menurun. Seberapa banyak kotoran mempengaruhi daya keluaran akan bergantung pada sumber dan faktor-faktor yang mempengaruhi efek kotoran. Kotoran adalah bentuk lain dari *shading* terjadi ketika sebuah kotoran terendapkan pada panel. Kotoran pada modul surya dapat berupa debu dan kotoran hewan. Kotoran tidak membuat sistem berhenti berfungsi sepenuhnya. Sistem masih bekerja namun dengan daya keluaran PLTS sedikit berkurang. Biasanya curah hujan akan mencuci modul untuk mencegah akumulasi kotoran yang berada pada modul, namun di daerah-daerah yang sangat berdebu dan kering mungkin perlu untuk membersihkan modul menggunakan selang air. Kotoran modul surya dapat mengurangi efisiensi keluaran PLTS. Kotoran yang terdapat pada modul tidak dapat diukur secara pasti, namun hal ini dapat diasumsikan jika lokasi sangat kotor atau berdebu dengan sedikit hujan, kerugian efisiensi 10%, yang berarti efisiensi yang dihasilkan dari 90% atau mungkin kurang dan jika ada hujan biasanya maka faktor 0,95 atau di atas diharapkan [7].

6 kemiringan Modul Surya

Sudut kemiringan memiliki dampak yang besar terhadap radiasi matahari di permukaan modul surya. Untuk sudut kemiringan modul surya sama dengan lintang lokasi. Sistem pengaturan berfungsi memberikan pengaturan dan pengamanan dalam sistem PLTS sedemikian rupa sehingga sistem pembangkit tersebut dapat bekerja secara efisiensi dan Handal. Perlatan pengaturan di dalam sistem PLTS ini dapat dibuat secara manual, yaitu dengan cara selalu menempatkan ke arah matahari, atau dapat juga dibuat secara otomatis, mengingat sistem ini banyak dipergunakan untuk daerah terpencil. Otomatis ini dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian elektronik. Namun dalam segi kepraktisan dan memudahkan perawatan perawatan pemasangan modul surya yang mudah dan murah adalah dengan memasang modul surya dengan posisi tetap dengan sudut

kemiringan tertentu. Untuk menentukan arah sudut kemiringan modul surya harus disesuaikan dengan letak geografis lokasi pemasangan modul surya tersebut. Penentuan sudut pemasangan modul surya ini berguna untuk membenarkan penghadapan modul surya ke arah garis khatulistiwa. Pemasangan modul surya ke arah khatulistiwa dimaksudkan agar modul surya mendapatkan penyinaran yang optimal. Modul surya yang terpasang di khatulistiwa (lintang = 0°) yang diletakkan mendatar (tilt angle = 0°), akan menghasilkan energi maksimum. Gambar 2.9 menunjukkan sudut kemiringan modul surya yang optimal berdasarkan arah matahari [8].

2.5 Pengaruh Kebersihan Panel Terhadap Efisiensi PLTS

Salah satu faktor yang berperan dalam penurunan efisiensi dalam modul surya adalah penumpukan debu pada permukaan modul surya. Dalam prakteknya, debu harus dihilangkan dari permukaan modul surya untuk memastikan kinerja optimal dari modul surya. Tingkat penurunan daya keluaran pada PLTS dapat dihitung apabila dengan persamaan berikut:

$$\text{Penurunan Daya (\%)} = \frac{P_{pv\ out(0)} - P_{pv\ out(1)}}{P_{pv\ out(0)}} \times 100 \quad (2)$$

Dalam memperkirakan penurunan daya keluaran PLTS akibat kekotoran panel dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$P_{out(0)} = P_{out(1)} - (P_{out(1)} \times \text{Kerugian Efisiensi (\%)}) \quad (3)$$

Dimana:

$P_{pv\ out(0)}$ = Daya keseluruhan panel sebelum dibersihkan (W)

$P_{pv\ out(1)}$ = Daya keseluruhan panel sesudah dibersihkan (W)

Berikut merupakan pengaruh yang dapat menyebabkan kotornya modul surya:

- a) Arah/ Orientasi : Sebagian besar modul surya berada di atap dan dipasang pada sudut horizontal, modul surya memiliki array sel surya yang terlindungi oleh penutup kaca. Tergantung pada arah angin, panel dapat ditutupi oleh debu, kotoran, serbuk sari, daun jatuh, dan kotoran burung. Seiring dengan berjalannya waktu kotoran tersebut dapat mengeras pada permukaan modul surya. Hal ini dapat menyebabkan penurunan yang besar dalam paparan sinar matahari ke sel surya. Pemilik modul surya yang

tidak pernah membersihkan modul suryanya melaporkan kerugian output pada modul surya bervariasi dari 20% menjadi 50% dari waktu ke waktu.

- b) Air hujan tidak cukup untuk membersihkan modul surya : Sebuah asumsi bahwa debu, serbuk sari, daun jatuh yang menumpuk pada modul surya pada musim panas akan di bersihkan oleh air hujan pada musim hujan. Itu benar berpengaruh pada tumpukan debu yang tidak mengeras. Akan tetap tidak efektif pada kotoran burung dan tumpukan kotoran yang mengeras pada permukaan modul surya. Terkadang air hujan juga membawa lumpur serta tanah yang mengeras pada permukaan modul surya dalam hitungan minggu.
- c) Lokasi pemasangan modul surya: Pemasangan modul surya pada lokasi dekat dengan jalan raya, pusat industri, dan pepohonan. Dapat menyebabkan semakin cepatnya penumpukan kotoran pada modul surya [9].

2.6 Partial Shading

Daya keluaran yang dihasilkan oleh modul surya juga bergantung dari efek bayangan atau *partial shading* pada modul surya. *Partial shading* merupakan kondisi tertutupnya beberapa bagian permukaan modul surya dari paparan sinar matahari. Kondisi tersebut disebabkan oleh adanya suatu objek yang menghalangi sel surya, sehingga hal ini dapat membuat daya yang dihasilkan oleh sel surya menjadi menurun.



Gambar 2 Shading Pada Modul surya (Gunjan Varshney, 2015)

Umumnya di beberapa kasus, modul surya akan tertutup oleh bayangan, baik sebagian atau seluruhnya. Ada beberapa jenis bayangan yang mempengaruhi kinerja dari modul surya, antara lain:

1. Bayangan Awan

Awan merupakan salah satu jenis bayangan yang umum terjadi pada pengoperasian PLTS. Jenis bayangan ini juga sulit untuk dihindari karena sangat sulit untuk memprediksi kapan datangnya awan. Namun jenis bayangan ini sangat mempengaruhi

besarnya daya output yang dihasilkan pada modul surya.

2. Bayangan Pohon

Pepohonan/vegetasi sering terjadi pada PLTS yang dipasang di kawasan residensial karena terdapat banyak pohon di sekelilingnya. Hal ini sangat memungkinkan pepohonan tersebut menghalangi sinar matahari terutama ketika menjelang sore hari.

3. Bayangan Debu dan Kotoran Hewan

Jenis bayangan ini yang paling berpengaruh terhadap output dari modul surya yang terpasang. Lokasi panel yang merupakan tempat terbuka sangat memungkinkan burung-burung hinggap di atas panel dan meninggalkan kotorannya. Hal inilah yang dapat mempengaruhi daya output dari modul surya tersebut.

2.7 Perhitungan Daya Masukan Dan Keluaran

Sebelum mengetahui berapa nilai daya sesaat yang dihasilkan kita harus mengetahui daya yang diterima (Input), di mana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas PV module dengan persamaan.

$$P_{in} = I \times A \tag{4}$$

Di mana:

- P_{in} : Daya Input akibat *irradiance* matahari
- I : Intesitas Radiasi Matahari
- A : Luas area permukaan *photovoltaic module* (m²)

Sedangkan besarnya untuk daya solar cell (P_{out}) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (VOC), arus hubung singkat (ISC), dan Fill faktor (FF) yang dihasilkan oleh sel photovoltaic dapat dihitung dengan rumus:

$$P_{out} = VOC \times ISC \times FF \tag{5}$$

Dimana:

- P_{out} :Daya yang dibangkit oleh solar Cell (Watt)
- VOC :Tegangan rangkaian terbuka pada Sollar Cell
- ISC : Arus hubung singkat pada Sollar Cell
- FF : *Fill Factor*

Nilai FF dapat diperoleh dari rumus :

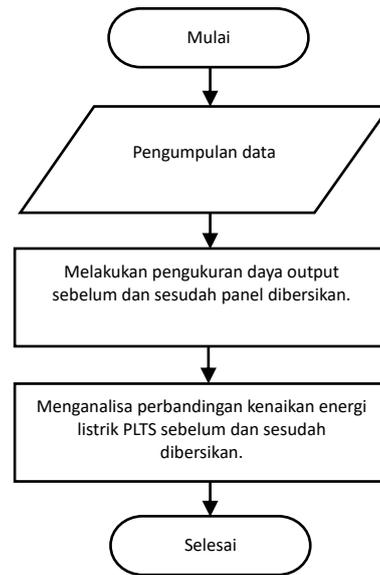
$$FF = VOC - \ln(VOC + 0.72)/VOC + 1 \tag{6}$$

Efisiensi yang terjadi pada sel surya adalah merupakan perbandingan data yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari *irradiance* matahari. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada pengambilan data.

$$\eta = Output/Input \times 100\% \tag{7}$$

3 METODE PENELITIAN

Proses penelitian dapat dilihat pada diagram gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3 Tahap Penelitian

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilaksanakan di PLTS Bandara Udara sultan Muhammad Salahudin, Bima. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Juli 2022 sampai selesai.

3.2 Data

Data merupakan hal yang sama penting di gunakan dalam sebuah penelitian. Ada dua faktor yang perlu di perhatikan yaitu

1. Sumber Data

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan sekunder yang diperoleh dari modul data Teknik PLTS bandara, data hasil produksi PLTS Tahun 2018 sampai dengan 2020 dan pengujian melalui aplikasi.

2. Metode Pengumpulan Data.

Metode pengumpulan data pada penelitian ini:

1. Metode Observasi

Metode pengumpulan data yang dilakukan dengan pengamatan serta pengujian secara langsung terhadap para meter para meter yang dibutuhkan untuk analisis. Data produksi diambil dengan cara merekam data pada inverter menggunakan *action cam* saat sebelum dilakukan pembersihan dan setelah dilakukan pembersihan.

2. Metode Dokumentasi

Metode pengumpulan data melalui dokumen-dokumen yang berguna untuk bahan analisis seperti modul Teknis PLTS serta gambar mengenai PLTS

3.3 Tahap Penelitian

Berikut adalah tahap-tahap analisis yang dilakukan pada penelitian ini:

1. Melakukan survei desain system, mengumpulkan data spesifikasi teknis komponen, lokasi PLTS, hasil produksi rill, singel line diagram PLTS, sigel line kelistrikan. Bandara udara sultan Muhammad Salahuddin Bima, konfigurasi PLTS, dan data output inverter.
2. Melakukan pengukuran daya output sebelum dan sesudah panel dibersihkan.
3. Menganalisa perbandingan kenaikan energi listrik PLTS sebelum dan sesudah dibersihkan.
4. Menarik kesimpulan
5. Selesai

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Gedung

Bandar Udara Sultan Muhammad Salahuddin Bima atau dikenal juga sebagai Bandar Udara Bima merupakan Bandar Udara kelas 2 dengan kategori domestik yang terletak di Belo, Palibelo, Kabupaten Bima, Nusa Tenggara Barat. Bandar Udara Sultan Muhammad Salahuddin Bima diresmikan pada bulan Juli tahun 1972. Jumlah penumpang datang dan berangkat dalam 4 tahun terakhir adalah 171.908 penumpang pada tahun 2020, 308.230 penumpang pada tahun 2019, 363.959 penumpang pada tahun 2018 dan 294.053 penumpang pada tahun 2017. Bandar Udara Bima memiliki landasan pacu sepanjang 1647 meter. Bandar Udara Bima merupakan salah satu bandara yang memiliki PLTS sebagai penyuplai energi listrik nya. Secara geografis PLTS Bandar Udara Bima terletak pada 8⁰32'24" Lintang Selatan dan

118⁰41'25" Bujur Timur. Gambar 4.1 merupakan gambar PLTS Bandar Udara Sultan Muhammad Bima yang ditampilkan dari satelit.

4.2 Analisis Pengaruh Kebersihan Panel

Dalam memaksimalkan kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan mengoptimalkan produksi listriknya, maka modul surya sebagai komponen utama dari PLTS sangat penting untuk menjaga modul surya dalam keadaan bersih dan bebas dari kotoran atau debu yang dapat mengurangi efisiensi dan produksi listrik PLTS. Persentase penurunan daya output panel didapatkan berdasarkan studi empiris dari penelitian Pengaruh Kebersihan Panel Pada PLTS Bima, di mana kondisi panel surya yang tidak dibersihkan selama 1 tahun dan mengalami pengotoran kering akibat debu dan kotoran hewan. Pada penelitian tersebut dilakukan pembersihan pada rangkaian 1 inverter dengan jumlah panel surya yaitu 100 unit. Adapun rincian alat, bahan dan biaya pembersihan disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 1 Data Rincian Biaya Pembersihan PLTS Bima

No.	Uraian Kegiatan	Volume	satuan	Harga satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Sunlight	10	Buah	Rp. 30.000	Rp. 300.000
2	Kain Lap	5	Kg	Rp. 30.000	Rp. 150.000
3	Kanebo	5	Buah	Rp. 25.000	Rp. 125.000
4	Pel Lantai	5	Buah	Rp. 30.000	Rp. 150.000
5	Pel karet	5	Buah	Rp. 35.000	Rp. 175.000
6	Selang Air	50	Meter	Rp. 10.000	Rp. 500.000
7	Ember	5	Buah	Rp. 20.000	Rp. 100.000
8	Biaya Pembersihan	1	Unit	Rp. 500.000	Rp. 500.000
Total				Rp. 680.000	Rp. 2.000.000

Data produksi di ambil dengan cara merekam data pada inverter menggunakan *action cam* saat sebelum dilakukan pembersihan dan setelah dilakukan pembersihan. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan data sebelum dibersihkan dan sesudah dibersihkan yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 2 Data Perbandingan Produksi Energi PLTS Bima.

Data sebelum Dibersihkan	Data Sesudah dibersihkan	Persentase Kenaikan (%)
--------------------------	--------------------------	-------------------------

jam	Cuaca	Energi (Kwh)	Jam	Cuaca	Energi (Kwh)	
07:00	Cerah	0,197	07:00	Cerah	0,197	0,000
7:30	Cerah	1,493	7:30	Cerah	1,493	0,000
8:00	Cerah	2,806	8:00	Cerah	2,806	0,000
8:30	Cerah	5,53	8:30	Cerah	2,806	0,000
9:00	Cerah	11,69	9:00	Cerah	5,53	0,000
9:30	Cerah	18,49	9:30	Cerah	11,69	46,025
10:00	Cerah	24,69	10:00	Cerah	27	36,614
10:30	Cerah	32,36	10:30	Cerah	33,73	22,590
11:00	Cerah	40,81	11:00	Cerah	39,67	-3,161
11:30	Cerah	49,19	11:30	Cerah	39,52	-14,495
12:00	Cerah	55,15	12:00	Cerah	48,38	-12,276
12:30	Cerah	55,18	12:30	Cerah	51,58	-6,053
13:00	Cerah	59,15	13:00	Cerah	66,14	11,817
13:30	Cerah	52,71	13:30	Cerah	57,42	8,936
14:00	Cerah	45,47	14:00	Cerah	35,48	-21,971
14:30	Cerah	30,41	14:30	Cerah	24,18	-20,487
15:00	Cerah	30,71	15:00	Cerah	19,54	-36,373
15:30	Cerah	19,82	15:30	Cerah	19,37	-2,270
16:00	Cerah	2,231	16:00	Cerah	10,76	382,295
16:30	Cerah	1,123	16:30	Cerah	5,603	163,919
17:00	Cerah	1,244	17:00	Cerah	5,601	350,241
17:30	Cerah	1,237	17:30	Cerah	2,437	97,009
18:00	Cerah	1,225	18:00	Cerah	2,381	94,367
Rata- Rata		23,65	Rata-Rata		24,04	1,649
Total		567,56	Total		576,86	1,639

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan antara total energi saat sebelum dibersihkan dan sesudah dibersihkan, di mana persentase yang bernilai positif merupakan persentase kenaikan produksi energi antara kondisi panel surya sesudah dibersihkan dengan sebelum dibersihkan atau produksi energi saat sebelum dibersihkan lebih kecil dari sesudah dibersihkan. Sedangkan persentase yang bernilai negatif merupakan persentase penurunan produksi energi antara kondisi panel surya sesudah dibersihkan dengan sebelum dibersihkan atau produksi energi saat sebelum dibersihkan lebih besar dari sesudah dibersihkan. Berdasarkan tabel 2 terdapat beberapa perubahan yang signifikan dikarenakan pengukuran energi sebelum dan sesudah dibersihkan dilakukan pada hari yang berbeda, sehingga kondisi cuaca sangat mempengaruhi hasil pengukuran di kedua kondisi tersebut. Total produksi energi sebelum dibersihkan yaitu 567,56 kWh, sedangkan total produksi energi sesudah dibersihkan yaitu 576,86 kWh. Adapun persentase penurunan dapat dihitung dengan persamaan 2.17 sebagai berikut :

$$Presentase Kenaikan \% = \frac{P_{PV\ OUT(1)} - P_{PV\ OUT(0)}}{P_{PV\ OUT(0)}} \times 100$$

$$= \frac{(567,56 - 576,86)}{567,56} \times 100 = 1,63 \%$$

Pada penelitian Analisa kebersihan Panel Surya Terhadap Keluaran PLTS di Bandara Udara Sultan Muhammad Salahudin Bima,

pembersihan hanya dilakukan sebanyak 2 kali dengan nilai persentase penurunan produksi energi PLTS yang kecil sehingga nilai persentase tersebut kurang mencukupi untuk digunakan sebagai acuan. Oleh karena itu, pada penelitian ini menambahkan referensi dari beberapa penelitian lain untuk menjadi acuan dari nilai persentase penurunan produksi energi PLTS oleh pengaruh kebersihan PLTS.

Tabel 3 Referensi Jurnal Pengaruh Kebersihan Panel Terhadap Output PLTS (Dokumentasi Pribadi, 2023)

No.	Judul Penelitian	Nilai Persentase Penurunan
1	Sujana,A,P, Kumara, S,N,I & Girirantari, D, A, I. Pengaruh PLTS”, E-Journal SPEKTRUM 2015 Vol.2,hal.53	5,48%
2	Pambudiarso, Rendy (2022). Analisis Pengaruh Kebersihan Panel Surya Terhadap Efisiensi Panel Surya PLTS Rooftop Kapasitas 131.320 kW Di PT. Indonesia Power Bali.	2,17%
3	Sari, Melati Dwi Septian (2023). Pengaruh Tingkat Kebersihan Panel Surya terhadap Daya Output yang Dihasilkan pada PLTS Rooftop 234 kWp POH 1 PT POMI. Proyek Report. Politeknik Negeri Jember	5,9%
4	N. Surya Gunawan, I.N.,& Kumara,S,N,I. Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 26,4 KWP pada sistem SMART MICROGRID UNUD. Jurnal SPEKTRUM 2019. Vol.6, hal.3.	9,53%
5	Talawo,D,C,P., Ilham,J.,& Amalia,L,M,K”Pengaruh Polutan pada Permukaan Panel Surya Terhadap Kinerja Panel Surya Kapasitas 10 Wp.”Jambura industrial Review 2022 Volume	18,26%

	2, No.1.	
6	Sandrawati, Syafiatun (2022). Aalisa Kebersihan Panel Surya Terhadap Keluaran PLTS On-Grid 200 kWp Bandara Udara Sultan Muhammad Salahudin Bima	1,63%
Rata-Rata		7,17%

Dari tabel diatas didapatkan nilai rata-rata persentase penurunan produksi energi PLTS sebesar 7,15% yang akan digunakan sebagai acuan pada penelitian ini dimana berdasarkan studi empiris “Pengaruh Kebersihan Panel Pada PLTS Bima”.

5. KESIMPULAN

Pembersihan PLTS Merupakan salah satu hal yang penting dalam merawat dan menjaga sistem PLTS agar tetap beroperasi dengan baik. Kondisi panel yang tidak bersih mempengaruhi hasil produksi PLTS itu sendiri, dimana dapat mengurangi 7,15% produksi energi PLTS pada sistem PLTS berdasarkan pemakaian beban di Bandara Udara Sultan Muhammad Salahuddin Bima.

6. SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai analisa pengaruh kebersihan panel surya terhadap keluaran PLTS Bandara Udara Muhammad Salahuddin Bima, sebagai berikut. Pada pengaruh kebersihan panel terhadap output PLTS Bandara Bima disarankan penelitian ini dilakukan pengukuran pada kondisi cuaca yang sama sehingga dapat menghasilkan perbedaan yang lebih teliti.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fadhilah, A. (2019) ‘ Analisis Kinerja PLTS On-Grid 200 kWp di Bandara Udara Sultan Muhammad Salahuddin Bima’.
- [2] Suwanti dkk., 2020. Pelatihan Operasional Perawatan Dan Perbaikan Pembangkit listrik Tenaga Surya Bagi Masyarakat Desa Surokontowetan Kabupaten Kendal. *Jurnal Polines*, 3(1), pp. 1081-1087.
- [3] Anggara, I., Kumara, I. and Giriantari, I. (2014) ‘ Studi Terhadap Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1,9 Kw Di Universitas Udayana Bukit Jimbaran ‘, *Jurnal SPEKTRUM*, 188-122.

- [4] Sujana, A.P., Kumara, I.N.S., & Giriantari, I.A.D. Pengaruh Kebersihan Panel Surya Terhadap Unjuk Kerja PLTS. *E-Journal SPEKTRUM* 2015, Vol.2, hal.53.
- [5] EBTKE. 2022. Ini Capaian Kinerja Tahun 2021 dan Rencana Kerja 2022 subsektor EBTKE <https://ebtke.esdm.go.id/post/2022/01/17/3055/ini.capaian.kinerJa.tahun.2021.dan.rencana.kerja.2022.subsektor.ebtke>. Diakses tanggal 14 November 2022.
- [6] Setiawan dkk., 2023. Manajemen Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid. *E-Journal ITASTS*, pp.297-306.
- [7] Suksmono, H. (2018) ‘ Analisis Teknis dan Ekonomi PLTS Rooftop Pv System Grid-Connected Pada Gedung Rektoratuin Suska Riau’.
- [8] Krismawintari, N.P.D., & Utama, I.G.B.R., 2019 Community Based Tourism di Daya Tarik Wisata Jatiluwih, Tbanan, Bali. *Jurnal Kajian Bali*, 9(2), pp. 429-448.
- [9] Sujana, A.P., Kumara, I.N.S., & Giriantari, I.A.D. Pengaruh Kebersihan Panel Surya Terhadap Unjuk Kerja PLTS. *E-Journal SPEKTRUM* 2015, Vol.2, hal.53.