

Rancangan *Wind Direction Indicator Light* Menggunakan PLTS Off-Grid di Bandara Budiarto

Mahardika Yoga Rahagi¹ Taryana² Ni Kadek Oktaviani Wulandari³

Program Studi Teknik Listrik Bandara, Program Sarjana Terapan, Politeknik Penerbangan
Indonesia Curug, Tangerang, Banten, Indonesia^{1,2,3}

Email: gagikrahagi@gmail.com, taryana@ppicurug.ac.id, oviani56@gmail.com

Abstrak

Penerangan Wind Direction Indicator (WDI) di Bandara Udara Budiarto tidak beroperasi akibat gangguan pada jaringan distribusi listrik, sehingga arah angin tidak dapat terlihat optimal pada malam hari atau kondisi cuaca buruk. Penelitian ini bertujuan merancang sumber listrik mandiri untuk penerangan WDI menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid, sehingga tidak bergantung pada jaringan listrik konvensional dengan jalur kabel yang panjang. Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) level 1 yang berfokus pada penyusunan rancangan dan validasi desain tanpa pembuatan serta pengujian produk. Data diperoleh melalui observasi, wawancara, dokumentasi, dan studi literatur. Hasil perancangan menunjukkan kebutuhan beban sebesar 200 W dengan waktu operasi ± 12 jam per hari atau 2.400 Wh/hari. Berdasarkan data potensi energi surya, kapasitas minimum panel sebesar 666,6 Wp, kemudian dipilih dua modul monocrystalline 350 Wp yang disusun seri dengan total 700 Wp. Sistem menggunakan baterai 24 V 150 Ah, SCC MPPT 40 A, serta photocell 24 VDC 10 A sebagai pengendali otomatis. Luaran rancangan berupa Detail Engineering Design (DED) dan Bill of Quantity (BoQ). Rancangan ini memberikan alternatif suplai energi yang mandiri dan mendukung keberlangsungan fungsi penerangan WDI.

Kata Kunci: Bandara Budiarto, PLTS Off-Grid, Wind Direction Indicator, energi surya, DED



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Bandara Udara Budiarto merupakan fasilitas penerbangan yang juga digunakan untuk pendidikan dan pelatihan penerbang. Salah satu fasilitas pendukung keselamatan penerbangan adalah Wind Direction Indicator (WDI) atau windcone yang memberikan informasi visual mengenai arah angin. Berdasarkan kondisi lapangan yang dicantumkan dalam tugas akhir, dua WDI di runway 22 dan runway 04 tidak memperoleh suplai listrik untuk penerangan. Gangguan tersebut berkaitan dengan kerusakan jaringan distribusi, usia kabel, paparan cuaca, serta penurunan tahanan isolasi. Jalur suplai sebelumnya berasal dari CCR dengan jarak sekitar 600 meter. Kondisi ini menyebabkan WDI sulit terlihat pada malam hari dan saat cuaca buruk. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa PLTS dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk beban penerangan. Wartoyo dan Driyono (2024) membahas penggunaan penerangan jalan umum berbasis tenaga surya, sedangkan Naim (2017) membahas rancangan sistem kelistrikan PLTS Off-Grid. Penelitian Tangga (2020) mengkaji aspek biaya PLTS skala rumah tangga, sementara Soleh et al. (2024) mengembangkan monitoring arah dan kecepatan angin dengan tenaga surya. Kajian tersebut menunjukkan pemanfaatan energi surya telah diterapkan untuk penerangan dan fasilitas terkait angin, tetapi belum secara khusus merancang sistem PLTS Off-Grid sebagai suplai penerangan WDI pada kondisi Bandara Budiarto.

Kesenjangan penelitian terletak pada kebutuhan rancangan suplai mandiri untuk penerangan WDI yang menghadapi permasalahan jaringan kabel eksisting yang panjang dan tidak berfungsi. Kebaruan rancangan ini adalah integrasi kebutuhan penerangan WDI dengan sistem PLTS Off-Grid, penyimpanan baterai, SCC MPPT, dan photocell dalam satu rancangan yang divalidasi untuk lingkungan Bandara Budiarto. Penelitian ini bertujuan menentukan

spesifikasi komponen PLTS Off-Grid dan menyusun rancangan sumber listrik mandiri untuk memenuhi kebutuhan penerangan WDI.

Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan relevansi
1	Wartoyo & Driyono (2024)	Penggunaan Penerangan Jalan Umum Berbasis Tenaga Surya	Pemanfaatan PLTS untuk penerangan	Studi/pelatihan	PLTS dapat digunakan untuk suplai penerangan	Menjadi dasar penerapan PLTS pada beban penerangan
2	Naim (2017)	Rancangan Sistem Kelistrikan PLTS Off Grid 1000 Watt	Merancang sistem PLTS Off-Grid	Perancangan	Diperoleh rancangan sistem kelistrikan Off-Grid	Menjadi acuan konsep sistem Off-Grid
3	Soleh et al. (2024)	Pengembangan Monitoring Arah dan Kecepatan Angin dengan Tenaga Surya	Memanfaatkan tenaga surya pada sistem arah/kecepatan angin	Pengembangan	Tenaga surya dapat mendukung fasilitas terkait angin	Relevan dengan objek WDI dan energi surya

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode Research and Development (R&D) level 1. Metode ini dipilih karena penelitian berfokus menghasilkan rancangan tanpa melanjutkan pada pembuatan dan pengujian produk. Lokasi penelitian adalah Bandara Udara Budiarto. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi kondisi WDI dan jaringan listrik, wawancara dengan teknisi listrik Bandar Udara Budiarto, dokumentasi, serta studi literatur. Tahapan R&D yang diterapkan meliputi identifikasi potensi dan masalah, pengumpulan data, desain produk, validasi desain, perbaikan desain, dan desain tervalidasi. Data beban digunakan untuk menentukan kebutuhan energi harian. Selanjutnya data potensi energi surya digunakan untuk menentukan kapasitas panel. Kapasitas baterai, SCC, penghantar, MCB DC, dan pengendali photocell ditentukan berdasarkan hasil perhitungan dan spesifikasi komponen yang digunakan dalam tugas akhir. Hasil perancangan kemudian dituangkan dalam Detail Engineering Design (DED), BoQ, dan RKS, serta divalidasi melalui diskusi dan konsultasi dengan pihak teknisi Bandara Udara Budiarto.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil observasi menunjukkan terdapat dua WDI di runway 22 dan runway 04 yang tidak memperoleh suplai listrik untuk penerangan. Pada rancangan ini digunakan empat lampu sorot LED DC 50 W dengan total daya 200 W dan waktu operasi sekitar 12 jam per hari.

Tabel 1. Kebutuhan beban

Parameter	Nilai
Jenis beban	Lampu penerangan LED 50 W
Jumlah lampu	4 buah
Total daya	200 W
Lama operasi	±12 jam/hari
Sistem	PLTS Off-Grid

Perhitungan kebutuhan energi

Energi harian dihitung menggunakan persamaan $E = P \times t$. Dengan total beban 200 W dan waktu operasi 12 jam, diperoleh:

$$E = 200 \text{ W} \times 12 \text{ jam} = 2.400 \text{ Wh/hari} = 2,4 \text{ kWh/hari}$$

Nilai tersebut menjadi dasar penentuan kapasitas komponen sistem PLTS Off-Grid. Spesifikasi lampu yang digunakan dalam rancangan adalah INTEGRATECH LED Floodlight model QTFL504DC24, daya 50 W, luminous flux 3.000 lumen, tegangan input 12–36 VDC, warna 4000 K (white), dan IP65. Empat lampu menghasilkan total 12.000 lumen.

Kapasitas panel surya

Data potensi energi surya pada lokasi menunjukkan GHI sebesar 4,558 kWh/m²/hari dan specific photovoltaic power output sebesar 3,643 kWh/kWp. Berdasarkan perhitungan dalam tugas akhir, kapasitas minimum panel yang diperoleh adalah 666,6 Wp. Karena kapasitas modul yang digunakan tersedia sebesar 350 Wp, maka dipilih dua modul monocrystalline 350 Wp yang disusun seri, sehingga kapasitas total menjadi 700 Wp.

Tabel 2. Spesifikasi Dan Konfigurasi Panel Surya

Parameter Panel	Nilai
Jumlah	2 unit
Daya tiap panel	350 Wp
Total daya	700 Wp
Vmp total	78,48 V
Voc total	95,62 V
Voc dengan margin 1,25	119,5 V
Imp	8,96 A
Isc	9,37 A

Kapasitas baterai dan SCC

Baterai yang digunakan adalah LifePO4 dengan konfigurasi 24 V 150 Ah. Dalam rancangan, dua baterai 12 V 150 Ah disusun seri untuk memperoleh sistem 24 V. Untuk SCC, total daya panel sebesar 700 Wp dibagi tegangan baterai 24 V menghasilkan arus nominal 29,17 A. Dengan faktor keamanan 25%, kebutuhan arus menjadi 36,46 A sehingga dipilih SCC tipe MPPT 40 A.

$$I_{\text{SCC}} = 700 \text{ W} / 24 \text{ V} = 29,17 \text{ A}$$

$$I_{\text{desain}} = 29,17 \text{ A} \times 1,25 = 36,46 \text{ A} \rightarrow \text{SCC MPPT 40 A}$$

Kabel dari panel menuju SCC dipilih berukuran 2 × 1,5 mm² berdasarkan kebutuhan arus hasil perhitungan. MCB DC pada sisi PV dipilih 16 A dengan tegangan 125 VDC. Pada sisi SCC, berdasarkan kapasitas 40 A dan margin 25%, digunakan kabel 2 × 2,5 mm² dan MCB DC 50 A. Sistem otomatisasi menggunakan photocell 24 VDC 10 A untuk mengendalikan kondisi ON dan OFF lampu berdasarkan intensitas cahaya lingkungan.

Pembahasan

Gambaran Umum

Pada Bandara Udara Budiarto terdapat 2 buah Wind Direction Indicator yang terletak di runway 22 dan runway 04. Kedua Wind Direction Indicator tersebut tidak dapat beroperasi dikarenakan tidak mendapat suplai jaringan listrik. Kondisi ini menyebabkan lampu pada Wind Direction Indicator tidak dapat menyala yang bisa mengakibatkan visual dari Wind Direction Indicator tidak dapat terlihat jelas pada saat kondisi cuaca buruk ataupun pada saat malam hari. Menurut PR 21 Tahun 2023 dijelaskan bahwa sebuah pada aerodrome daratan yang ditujukan untuk penggunaan di malam hari, paling tidak harus disediakan satu indikator arah

angin yang diberi penerangan. Bandar Udara Budiarto sendiri memiliki jadwal penerbangan malam baik itu terjadwal ataupun tidak terjadwal baik itu pesawat milik PPIC bahkan sampai pesawat jenis boeing pun pernah melakukan penerbangan di malam hari. Pada rancangan ini penulis melakukan rancangan pemasangan lampu LED sebanyak 4 buah lampu dengan kapasitas total sebesar 200 watt. Pencahayaan pada Wind Direction Indicator ini akan beroperasi selama kurang lebih 12 jam. Tujuan dari rancangan ini untuk menerangi Wind Direction Indicator pada saat malam hari ataupun cuaca buruk dengan PLTS sebagai suplai jaringan utamanya.

Tabel 3. kebutuhan beban

Parameter	Nilai
Jenis Beban	Lampu Penerangan 50 Watt
Jumlah	4 buah
Total daya	200 watt
Lama operasi	±12 jam
sistem	PLTS off grid

Potensi dan masalah



Gambar 1. kondisi WDI saat ini

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan di Bandar Udara Budiarto, terdapat beberapa potensi dan masalah terkait rancangan instalasi Wind Direction Indicator Light dengan memanfaatkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid sebagai sumber energi listrik di Bandar Udara Budiarto. Terdapat potensi yang mendukung perkembangan PLTS Off Grid untuk suplai sistem pencahayaan pada Wind Direction Indicator Light di Bandar Udara Budiarto. Salah satu potensi utamanya adalah potensi letak geografis Indonesia yang hanya memiliki dua musim membuat potensi radiasi matahari cenderung stabil. Hal ini menjadi keunggulan tersendiri dibandingkan negara dengan empat musim, yang sering kali mengalami penurunan drastis pada penerimaan intensitas cahaya matahari di periode waktu tertentu salah satunya seperti musim dingin.(Artiningrum et al., 2019).

Selain itu kondisi Geografis Indonesia sebagai negara tropis yang kondisi penyinaran matahari relatif tinggi sepanjang tahun. Potensi tersebut sangat memungkinkan pemanfaatan dan penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dimanfaatkan untuk menyediakan energi listrik yang digunakan dalam memenuhi kebutuhan beban listrik beban seperti pencahayaan pada lampu Wind Direction Indicator di Bandar Udara Budiarto. Selain itu juga pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid yang berada di area terbuka dapat

memberikan potensi yang besar panel surya untuk mendapatkan paparan sinar matahari secara optimal. Hasil pengamatan yang dilakukan terdapat permasalahan dilapangan, yaitu tidak berfungsinya pencahayaan pada Wind Direction Indicator di Bandar Udara Budiarto. Kondisi ini disebabkan karena terputusnya suplai listrik yang sebelumnya disuplai melalui Constant Current Regulator (CCR) yang berada di ruang Main Power House unit listrik. Jarak dari ruang Main Power House menuju Wind Direction Indicator ± 600 meter. Berdasarkan hasil wawancara, adapun penyebab terputusnya suplai jaringan listrik tersebut karena terdapat kerusakan jaringan distribusi akibat faktor usia kabel, paparan cuaca, serta penurunan kualitas tahanan isolasi sehingga jalur kabel tersebut tidak diperbaiki dikarenakan jarak penarikan kabel yang cukup panjang.

Akibat dari tidak berfungsinya lampu penerangan pada Wind Direction Indicator ini menyebabkan tidak terlihatnya saat malam hari atau dalam kondisi cuaca yang kurang mendukung. Selain itu akibat dari permasalahan ini tentunya melanggar aturan yang tertulis di ANNEX 14 pada chapter 5 menyatakan bahwa Wind Direction Indicator merupakan salah satu bagian dari visual aid for navigation. Lokasi pemasangan Wind Direction Indicator (WDI) berada pada area cross runway dengan bentuk area lingkaran berdiameter 15 meter dan jari-jari 7,5 meter. Area tersebut menjadi lokasi penempatan WDI sekaligus sistem penerangannya agar indikator arah angin dapat terlihat dengan jelas, khususnya pada kondisi malam hari. Pemilihan lampu berwarna clear atau putih pada sistem penerangan Wind Direction Indicator (WDI) bertujuan untuk memberikan pencahayaan yang optimal sehingga windcone dapat terlihat dengan jelas, terutama pada kondisi malam hari dan jarak pandang yang terbatas. Penggunaan cahaya putih dipilih karena mampu memberikan penerangan yang lebih netral tanpa mengubah visibilitas terhadap warna asli windcone, sehingga warna windcone dapat dilihat dengan baik oleh pilot. Berbeda dengan penggunaan lampu berwarna yellow yang dapat memengaruhi visibilitas atau penglihatan warna dari windcone itu sendiri.

Pengumpulan data

Tahap pengumpulan data dilakukan untuk mencari informasi yang diperlukan sebagai dasar dalam melakukan perancangan PLTS Off Grid untuk penerangan pada Wind Direction Indicator di Bandar Udara Budiarto. Adapun tahapan pengumpulan data ini dilakukan pada saat observasi langsung di lapangan maupun melalui via wawancara. Kondisi yang terjadi dilapangan bahwa Wind Direction Indicator ini tidak memiliki sistem pencahayaan dikarenakan rusaknya atau terputusnya suplai jaringan listrik, sehingga menyebabkan Wind Direction Indicator tidak dapat berfungsi kembali. Menurut ICAO ANNEX 14 dan PR 21 Tahun 2023 dijelaskan bahwa pada Aerodrome daratan yang ditujukan untuk penggunaan malam hari, paling tidak harus disediakan satu indikator arah angin yang diberikan penerangan. Kita ketahui bahwa bandar udara Budiarto sendiri memiliki jadwal penerbangan malam baik sesuai jadwal ataupun diluar jadwal, tergantung permintaan. Adapun wawancara yang dilakukan guna memperoleh data dan jadwal terkait penerbangan malam yang ada di Bandar Udara Budiarto.

Kebutuhan energi harian

Energi harian merupakan jumlah energi listrik yang digunakan oleh beban dalam satu hari operasi. Perhitungan energi beban harian dilakukan untuk mengetahui berapa energi yang harus disuplai oleh sistem PLTS Off grid. Nilai dari kebutuhan energi harian ini akan menjadi dasar dalam menentukan kapasitas dari seluruh komponen yang diperlukan agar sistem PLTS off-grid dapat beroperasi dengan baik. Pada perancangan ini, beban yang digunakan adalah lampu penerangan dengan total beban sebesar 200Watt dan beroperasi selama kurang lebih

12 jam setiap harinya. Pada sistem PLTS Off Grid ini tentunya berdiri sendiri tanpa bantuan dari jaringan PLN, maka seluruh kebutuhan energi harus mampu disuplai oleh PLTS Off Grid yang tersimpan di baterai. Perhitungan energi harian dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$E = P \times t$$

Keterangan:

E = Energi listrik

P = Daya Beban

t = lama waktu penyinaran (jam)

berdasarkan data beban diatas didapatkan bahwa total energi harian adalah sebagai berikut

$$E = 200 \text{ Watt} \times 12 \text{ jam} = 2400 \text{ Wh/hari}$$

Hasil perhitungan total energi harian yang dibutuhkan oleh beban selama 12 jam dalam satu hari adalah 2400 Wh/hari atau 2,4 KWh/hari. Nilai tersebut menunjukkan bahwa total energi minimum harian yang harus diproduksi oleh panel surya dan disimpan oleh baterai agar sistem dapat bekerja secara optimal

Jenis lampu

Pada perancangan ini jenis lampu yang digunakan adalah lampu sorot LED berkapasitas 50 watt sebanyak 4 buah lampu, sehingga total bebannya adalah 200 watt. Penggunaan lampu berjenis LED dikarenakan tingkat lumen dari lampu tersebut cukup tinggi dan tingkat pencahayaannya juga cukup tinggi. Adapun spesifikasi dari lampu ini adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Spesifikasi jenis lampu

Type	INTEGRATECH LED Floodlight
Model	QTFL504DC24
Power consumption	50 W
Luminous flux	3000 Lumens
Input voltage	12 – 36 VDC
Color	4000K (White)
Type LED	SMD3030
Dimension	173x48x242mm
IP	IP65

Diketahui pada spesifikasi data lampu dengan daya 50 watt = 3000 / lumen. Adapun total lumens yang didapat adalah sebagai berikut lumen. Jika menggunakan 4 buah lampu yang dimana per lampunya memiliki watt sebesar 50 maka lumens yang didapat adalah 4×3000 lumens = 12.000 lumens.

Menentukan kapasitas panel surya

Dalam Menentukan kapasitas panel surya kita perlu mencari GHI dari suatu wilayah tersebut. GHI (Global Horizontal Irradiation) merupakan total radiasi matahari yang diterima oleh permukaan horizontal di Bumi. GHI mencakup radiasi langsung dari matahari serta radiasi difus yang tersebar oleh atmosfer (Jalil et al., 2024). Hal ini merupakan ukuran yang penting dalam analisis potensi energi surya karena menggambarkan jumlah total energi matahari yang tersedia untuk dimanfaatkan dalam suatu wilayah dengan periode waktu tertentu. GHI ini biasanya dinyatakan dalam satuan energi per meter persegi (Wh/m^2) atau kilowatt-jam per meter persegi (KWh/m^2). Adapun pengambilan data GHI dapat diakses melalui situs online <https://globalsolaratlas.info/map>. Adapun data hasil GHI dapat dilihat dari tabel dibawah ini:

Tabel 6. Data Potensi Energi Surya

MAP DATA			
Specificphotovoltaic power output	PVOUT_specific	3.643	kWh/kWp
Direct normal irradiation	DNI	2.481	kWh/m ²
Global horizontal irradiation	GHI	4.558	kWh/m ²
Diffuse horizontal irradiation	DIF	2.680	kWh/m ²
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI_opta	4.603	kWh/m ²
Air temperature	TEMP	26.1	°C
Optimum tilt of PV modules	OPTA	9	°
Terrain elevation	ELE	40	m

Dari data tabel diatas didapatkan data potensi energi surya di Bandar Udara Budiarto. Adapun data yang tersedia antara lain DNI, GHI, DIF, GTI, dan lain-lain dalam bentuk data harian rata-rata. Besarnya GHI pada data diatas adalah 4.558 kWh/m² per day. Data tersebut dapat membantu dalam menentukan kapasitas dari panel surya yang diinginkan. Adapun rumus perhitungan yang didapat adalah sebagai berikut:

Kapasitas Panel Surya = (energi harian)/(peak sun hour ×efisiensi)

Kapasitas panel surya = (2.400 Wh)/(4.5 jam ×0,8)

Kapasitas panel surya = (2.400 Wh)/3,6

Tabel 7. Spesifikasi Panel Surya

SPECIFICATIONS SOLAR PANEL SANKELUX		
MAX POWER	Wp	350
TYPE CELL		MONOCRYSTALLINE
MAXPOWER VOLTAGE (VmP)	VOLT	39,24
MAXPOWER CURRENT (Imp)	AMPERE	8,96
OPEN CIRCUIT (VoC)	VOLT	47,81
SHORT CIRCUIT (IsC)	AMPERE	9,37

Jadi total Watt Peak yang dibutuhkan adalah 666 Wp, tetapi karena dipasaran panel surya dijual dengan kapasitas tertentu maka jenis panel surya yang dipakai adalah Monocrystalline dengan kapasitas 350 Wp sebanyak 2 pcs disusun seri,sehingga kapasitas panel yang dipakai $350 \text{ Wp} \times 2 = 700 \text{ Wp}$

Adapun spesifikasi dari panel surya Monocrystalline dengan kapasitas 350 Wp sebagai berikut:

Diketahui tegangan total:

$$V_{mp} : 39,24V \times 2 = 78,48V$$

$$V_{oc} : 47,81V \times 2 = 95,62V$$

$$\text{Margin} : 1,25 \times 95,62V = 119,5V$$

(tegangan bertambah karena panel surya disusun secara seri)

Diketahui arus total

$$I_{mp} : 8,96A$$

$$I_{sc} : 9,37A$$

(arus tetap dikarenakan panel surya disusun secara seri)

kabel panel surya

Tabel 7.3-5a KHA terus menerus untuk kabel tanah inti tunggal, berkonduktor tembaga, berinsulasi dan berselubung PVC, dipasang pada sistem a.s. dengan voltase kerja maksimum 1,8 kV; serta untuk kabel tanah 2-inti, 3-inti dan 4-inti berkonduktor tembaga, berinsulasi dan berselubung PVC yang dipasang pada sistem a.b. trifase dengan voltase pengenal 0,6/1 kV (1,2 kV), pada suhu ambien 30 °C.

Jenis kabel	Luas penampang mm ²	KHA terus menerus					
		Inti tunggal		2-inti		3-inti dan 4-inti	
		di tanah A	di udara A	di tanah A	di udara A	di tanah A	di udara A
1	2	3	4	5	6	7	8
	1,5	40	26	31	20	26	18,5
	2,5	54	35	41	27	34	25
	4	70	46	54	37	44	34
	6	90	58	68	48	56	43
NY Y	10	122	79	92	66	75	60
NY BY	16	160	105	121	89	98	80
NY FGbY							
NY RGbY	25	206	140	153	118	128	106
NY CY	35	249	174	187	145	157	131
NY CWY	50	296	212	222	176	185	159
NY SY							
NY CEY	70	365	269	272	224	228	202
NY SEY	95	438	331	328	271	275	244
NY HSY	120	499	386	375	314	313	282
NY KY							
NY KBY	150	561	442	419	361	353	324
NY KFGBY	185	637	511	475	412	399	371
NY KRGBY	240	743	612	550	484	464	436
	300	843	707	525	590	524	481
	400	986	859	605	710	600	560
	500	1125	1000	-	-	-	-

Gambar 2. Data KHA kabel

Dari spesifikasi panel surya, diperoleh data arus hubung singkat atau short circuit (I_{sc}) sebesar 9,37A dan arus pada daya maksimum (I_{mp}) sebesar 8,96A. Berdasarkan nilai nilai arus tersebut, maxpower current sebesar $8,96A \times 1,25 = 11,2A$. Maka penetapan kapasitas penghantar dilakukan dengan memilih kabel hantar arus dari pv menuju ke SCC diatas 11,2A. Berdasarkan data tabel PUIL 2011 diatas, maka kabel yang digunakan adalah kabel tanah berukuran $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$

Menentukan kapasitas MCB DC

Adapun breaker dari PV menuju ke SCC sebagai berikut:

$$I_{sc} : 9,37A$$

$$\text{Margins}(\times 1,25) : 9,37A \times 1,25 = 11,8A$$

Pada V_{oc} total didapatkan tegangan sebesar 119,5V sehingga pemilihan MCB harus diatas dan mendekati 119,5V sesuai dengan yang ada dipasaran

Oleh karena itu, jenis MCB yang dipilih untuk digunakan adalah MCB DC dengan spesifikasi 16 Ampere dan tegangan 125 Vdc. Pemilihan kapasitas ini didasarkan pada ketersediaan produk

yang ada dipasaran sehingga menjadi pilihan untuk diterapkan pada sistem pengaman pada PLTS ini.

Perhitungan baterai

Pada perancangan dan perhitungan kapasitas baterai merupakan hal terpenting dalam sistem PLTS Off Grid. Baterai ini berfungsi sebagai media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada saat siang hari, kemudian energi tersebut disimpan di dalam baterai dan digunakan pada saat matahari tidak terdapatnya matahari, terutama pada saat malam hari. Oleh karena itu kapasitas baterai harus diperhitungkan dan dirancang secara tepat agar mampu memenuhi kebutuhan beban selama beban tersebut beroperasi dengan waktu yang telah ditentukan. Adapun baterai yang digunakan berjenis LifePO4. Pada sistem PLTS Off Grid ini beban yang digunakan adalah lampu LED dengan beban total 200 watt selama 12 jam. Berikut rumus perhitungannya:

$$[C]_{\text{baterai}} = E / ([V]_{\text{baterai}} \times \text{DoD})$$

Keterangan:

$[C]_{\text{baterai}}$ = Kapasitas baterai (Ah)

E = energi harian (Wh)

$[V]_{\text{baterai}}$ = Tegangan baterai (V)

DoD = Depth Of Discharge

Depth Of Discharge dari baterai LifePO4 sebesar (0,8)

$$[C]_{\text{baterai}} = 2400 / (24 \times 0,8)$$

$$[C]_{\text{baterai}} = 2400 / 19,2$$

$$[C]_{\text{baterai}} = 125 \text{ Ah}$$

kapasitas dari baterai yang digunakan sebesar 24V 150Ah. adapun data tabel baterai yang dapat digunakan agar bisa mencapai spesifikasi dari kebutuhan baterai diatas sebagai berikut:

Perhitungan kapasitas SCC

Pada perancangan sistem PLTS Off grid ini menggunakan 2 buah modul panel surya yang dimana kapasitas masing masing modulnya sebesar 350Wp. Kedua panel ini dirangkai sehingga menghasilkan total daya sebesar 700Wp. Untuk menghitung besarnya daya panel surya, dapat menggunakan rumus berikut:

Total daya panel surya

$$P_{\text{total}} = 2 \times 350$$

$$P_{\text{total}} = 700\text{Wp}$$

Nilai total daya panel surya tersebut menjadi acuan dasar dalam menentukan kapasitas dari Solar Charge Control yang akan digunakan pada sistem PLTS Off grid. Solar Charge Controller (SCC) merupakan salah satu komponen utama pada sistem PLTS Off-Grid yang berfungsi mengendalikan proses pengisian energi listrik dari panel surya ke baterai. Selain itu, SCC juga berperan dalam melindungi baterai dari kondisi pengisian berlebih (overcharging) maupun pengosongan daya yang berlebihan (overdischarging). Pada sistem ini baterai bekerja pada tegangan 24V. Maka arus maksimum yang masuk ke SCC dapat dihitung dengan membagi total daya pada panel surya terhadap tegangan baterai.

Menentukan arus SCC dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

$$I_{\text{SCC}} = (P_{\text{total}}) / (V_{\text{baterai}})$$

$$I_{\text{SCC}} = 700\text{Wp} / 24$$

$$I_{\text{SCC}} = 29,17 \text{ A}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa arus nominalnya sebesar 29,17A, tetapi dalam perancangan sistem kelistrikan harus diberikan margin keamanan sehingga sistem dapat bekerja secara maksimal ketika terjadi perubahan suhu, radiasi matahari serta faktor faktor lainnya yang dapat mempengaruhi performa panel surya. Untuk mengantisipasi kondisi tersebut, maka digunakan faktor keamanan sebesar 25% dari arus yang telah diperoleh. Maka perhitungannya sebagai berikut: Faktor keamanan 25%

$$I_{SCC} = 29,17 \times 1,25$$

$$I_{SCC} = 36,46 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka diperoleh kapasitas SCC yang dibutuhkan sebesar 36,46A. Karena kapasitas SCC tipe MPPT pada umumnya yang tersedia dipasaran memiliki nilai kapasitas tertentu, maka dipilih SCC tipe MPPT yang berkapasitas 40A. Penggunaan SCC tipe MPPT (Maximum Power Point Tracking) ini memberikan keuntungan dibandingkan tipe PWM dikarenakan tipe MPPT ini mampu mengoptimalkan penyerapan daya dari panel surya dengan cara mencari titik daya maximum pada berbagai kondisi baik dari intensitas cahaya maupun kondisi temperatur yang tidak stabil. Dengan demikian energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk proses pengisian baterai. Berdasarkan nilai pada SCC tipe MPPT berkapasitas 40A, maka luas penampang kabel yang digunakan adalah $40 \times 1,25 = 50\text{A}$. Berdasarkan data tabel PUIL 2011 diatas, maka kabel yang digunakan adalah kabel tanah berukuran $2 \times 2,5 \text{ mm}^2$. Kapasitas MCB DC yang digunakan adalah sebesar 50 A.

Menentukan kapasitas LDR

Jenis sensor LDR yang digunakan pada rancangan ini adalah sensor cahaya Photocell yang dimana bekerja berdasarkan intensitas cahaya lingkungan. Sensor ini dirancang untuk sistem tegangan kerja 24Vdc dengan ampere sebesar 10A. Dalam penerapannya sensor ini berfungsi sebagai pengendali utama dalam sistem penerangan yang dimana kondisi ON dan OFF lampu ditentukan oleh tingkat intensitas cahaya sekitar.

DED (Detail Engineering Design)

Dalam perancangan instalasi wind direction indicator light menggunakan PLTS Off Grid di bandar udara budiarto diperlukan Detail Engineering Design berupa gambar teknis secara menyeluruh. Gambar DED merupakan peran penting dalam mempermudah tahapan pelaksanaan pada saat di lapangan agar dapat diimplementasikan dengan akurat. Melalui gambar detail ini, team teknis memiliki gambar acuan visual yang jelas untuk mengintegrasikan rancangan PLTS Off Grid. Pada tahap DED, aplikasi SketchUp digunakan untuk membuat desain tiga dimensi (3D) mengenai posisi dan tata letak pemasangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada area Wind Direction Indicator (WDI). Pemodelan ini bertujuan untuk memberikan gambaran visual mengenai penempatan panel surya, baterai, solar charge controller (SCC), serta komponen pendukung lainnya dengan mempertimbangkan kondisi dan luas area pemasangan. Melalui desain menggunakan SketchUp, dapat memastikan sistem PLTS dapat dipasang secara efektif dan aman tanpa mengganggu fungsi operasional WDI. Gambar DED dapat dilihat pada lampiran.

BOQ (Bill of Quantity)

Untuk melengkapi perancangan instalasi wind direction indicator light menggunakan PLTS Off Grid di Bandar B dara Budiarto diperlukan dokumen BoQ sebagai acuan dalam perencanaan pembiayaan pelaksanaan proyek. Dokumen Bill of Quantity (BoQ) ini berfungsi

sebagai dasar dalam perhitungan anggaran yang bersifat terstruktur dan transparan, sehingga alokasi dana dapat digunakan secara tepat sasaran sesuai dengan kebutuhan rancangan. Dokumen BoQ dapat dilihat pada lampiran.

RKS (Rencana Kerja dan Syarat)

Setelah penyusunan BoQ, langkah selanjutnya adalah pembuatan rencana kerja dan syarat syarat yang berisi ketentuan teknis maupun ketentuan administratif sebagai pedoman utama bagi pelaksana proyek. RKS ini disusun untuk memastikan bahwa seluruh tahapan dalam proses perancangan instalasi wind direction indicator light menggunakan PLTS Off Grid di bandar udara budiarto dapat dilaksanakan secara tepat waktu, efisien, serta memenuhi kualitas dan keselamatan yang berlaku dilingkungan penerbangan sipil. Dengan adanya dokumen RKS diharapkan dapat berjalan dengan lancar dan terkontrol, serta menghasilkan rancangan yang sesuai dengan ketentuan ICAO Annex 14 maupun regulasi regulasi nasional lainnya. Dokumen RKS dapat dilihat pada lampiran.

KESIMPULAN

Rancangan WDI Light menggunakan PLTS Off-Grid di Bandara Budiarto menghasilkan sistem suplai mandiri untuk beban penerangan 200 W yang beroperasi sekitar 12 jam per hari dengan kebutuhan energi 2.400 Wh/hari. Kapasitas minimum panel berdasarkan perhitungan adalah 666,6 Wp dan dipenuhi dengan dua panel monocrystalline 350 Wp yang disusun seri sehingga total 700 Wp. Sistem menggunakan baterai LifePO4 24 V 150 Ah, SCC MPPT 40 A, MCB DC, kabel sesuai hasil perhitungan, serta photocell 24 VDC 10 A. Luaran rancangan berupa DED dan BoQ yang dapat digunakan sebagai acuan implementasi. Keterbatasan penelitian adalah belum dilakukan pembuatan prototipe dan pengujian langsung di lapangan; penelitian selanjutnya disarankan melanjutkan rancangan ke tahap implementasi, pengujian performa, dan evaluasi keandalan sistem. Ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak Bandara Udara Budiarto, teknisi listrik, dosen pembimbing, serta Politeknik Penerbangan Indonesia Curug yang telah mendukung proses penyusunan rancangan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustus, N., Lingkungan, R., Suryan, V., Amalia, D., Martadinata, M. I., Septiani, V., Nurfitri, M. A., Silitonga, E., Wisnu, P., & Chandra, A. (2024). Jurnal Talenta Sipil Eco Airport Design: Rancangan Gedung Terminal. 7(2), 759–773. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v7i2.583>
- Artiningrum, T., Havianto, J., Lingkungan, S. T., Teknik, F., Mukti, U. W., Matahari, S., Listrik, P., & Surya, T. (2019). Meningkatkan peran energi bersih lewat pemanfaatan sinar matahari. 2(2), 100–115.
- Asri, P., Widodo, H. A., Nugraha, A. T., Rachman, I., Poertro, J. E., Ruwahida, D. R. (2022). Desain hybrid panel surya dan generator set. 12(1), 46–53.
- Febriani, S. D. A. (2024). Analisis tekno ekonomi pemasangan PLTS rooftop on grid 120 kW. Jurnal Teknik Terapan, 2(2), 24–33. <https://doi.org/10.25047/jteta.v2i2.31>
- Jalil, A., Erdani, Y., Ode, L., Fathur, M., Larobu, F. E., Devi, S., & Fathana, A. (2024). Perancangan PLTS Off Grid di Pulau Wawonii dengan PVLib Python. 09(03), 203–210.
- Jenderal, D., & Udara, P. (2017). Peraturan Menteri Perhubungan tentang fasilitas alat bantu pendaratan visual.
- Jenderal, D., & Udara, P. (2022). Pedoman pengoperasian dan pemeliharaan peralatan bantu pendaratan visual.



- Johan Pongoh, M., Langie, M., Tuwongkesong, S., Restiawan, W. P., & Tampemawa, J. (2023). PLTS sebagai energi alternatif di Indonesia yang ramah lingkungan. *Journal Central Publisher*, 1(4), 289–294. <https://doi.org/10.60145/jcp.v1i4.87>
- Naim, M. (2017). Rancangan sistem kelistrikan PLTS Off Grid 1000 watt di Desa Mahalona Kecamatan Towuti. 9(1), 27–32.
- Rifandi, A., & Wisaksono, A. (2024). Implementation of ventilation panel installation. 7, 310–315.
- Sarief, I., Elektro, J. T., Teknik, F., Buana, U. S. (2020). Pengontrolan posisi solar cell otomatis dengan menggunakan sensor cahaya Light Dependent. 5(2), 94–99. <https://doi.org/10.32897/infotronik.2020.5.2.543>
- Septianingsih, I., & Zani, Y. F. (2020). Sosialisasi pengenalan LED sebagai lampu hemat energi di Dusun Pendem. 1(2), 81–86.
- Setyawan, H., & Nafi, C. (2021). Rancang bangun alat monitoring lampu Airfield Lighting (AFL) double runway berbasis mikrokontroler. 3, 135–147.
- Simatupang, J. W., Santoso, F. H., Afristanto, S. D., Bramasto, R., & Maheli, H. B. (2022). Lampu LED sebagai pilihan yang lebih efisien untuk lampu utama sepeda motor. 1, 20–26.
- Soleh, A. M., Sukahir, S., Widiarto, H., & Kusumastuti, M. E. (2024). Pengembangan monitoring arah dan kecepatan angin dengan tenaga surya dalam pembelajaran studi kebandarudaraan. 01, 66–74.
- Tangga, S. R. (2020). Analisis biaya pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap skala rumah tangga. 3(2).
- Tangga, T. R. (2022). Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sebagai solusi energi terbarukan rumah tangga. 06(02), 136–142.
- Utara, S., & Sebagai, I. (2021). Implementasi PLTS di Desa Pulisan, perwujudan program desa energi. 762–767.
- Wartoyo, B. P., & Driyono, B. (2024). Penggunaan penerangan jalan umum berbasis tenaga surya. 4(2), 545–558. <https://doi.org/10.30812/adma.v4i2.3291>
- Wijaya Andy, & Widoatmodjo Sawiji. (2023). Analisa potensi dan hambatan penerapan solar photovoltaic terhadap program net-zero emission di Indonesia. *Jurnal Manajemen Bisnis dan Kewirausahaan*, 7(3), 501–514.