mitra hijau
Green partnership for the blue planet

BUKU PANDUAN

PERENCANAAN, PEMBANGUNAN, OPERASIONAL DAN PEMELIHARAAN PLTS ATAP

KATA PENGANTAR

Pemerintah Indonesia telah berkomitmen dalam penangganan isu perubahan iklim sebagaimana yang tercantum di dalam dokumen Nationally Determined Contribution (NDC) Indonesia, dimana ditetapkan target pengurangan emisi sebesar 29% dengan usaha sendiri dan 41% dengan bantuan internasional, di tahun 2030. Energi merupakan salah satu sektor yang berkontribusi paling besar di Indonesia, sehingga diperlukan upaya signifikan ke depannya untuk mencapai target nasional dalam perubahan iklim. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah menggunakan energi terbarukan melalui pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Sejalan dengan kegiatan Percepatan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap di Wilayah Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta, pengembangan penggunaan PLTS atap sudah mulai diterapkan di Provinsi DKI Jakarta pada beberapa lokasi seperti gedung sekolah, pemerintah dan fasilitas lainnya. Untuk mendukung kegiatan tersebut, Yayasan Mitra Hijau (YMH) berkerjasama dengan Dinas Tenaga Kerja, Transmigrasi dan Energi, Provinsi DKI Jakarta, telah menyusun buku "Panduan Perencanaan Surya Atap'', yang bertujuan untuk memberikan basic knowlegde mengenai pedoman perencanaan, pembangunan, pemeliharaan dan panduan praktis bagi semua pihak dalam pengaplikasian penggunakan PLTS atap.

Saya menyampaikan terima kasih dan penghargaan tertinggi kepada tim dari Dinas Tenaga Kerja, Transmigrasi dan Energi, Provinsi DKI Jakarta, atas kerjasamanya dalam pengembangan buku yang dimaksud. Apresiasi secara khusus saya sampaikan kepada TARA Foundation atas dukungannya. Akhir kata, saya berharap semua pihak dapat memanfaatkan informasi dalam buku ini dengan sebaik-baiknya. Kritik dan saran kami harapkan untuk perbaikan di masa depan.

Jakarta, 24 Desember 2021

Direktur Eksekutif Yayasan Mitra Hijau

Dr. Doddy S.Sukadri

DAFTAR ISI

i **KATA PENGANTAR**
iii **DAFTAR ISI**
iv **DAFTAR GAMBAR**
v **DAFTAR TABEL**
vii **DAFTAR ISTILAH**
1 **PENGANTAR**
3 **PERENCANAAN SURYA ATAP**
- 3 Peralatan atau Perangkat Surya Atap
  - 3 Panel Surya
  - 8 Inverter (Solar Inverter)
  - 10 PV Mounting
  - 14 Pengabelan
  - 16 Proteksi
- 19 Persiapan dan Langkah-langkah Perencanaan
  - 21 Menentukan Kapasitas Surya Atap
  - 24 Memilih Panel Surya dan Inverter
  - 26 Perhitungan Teknis
- 33 Aspek Pemenuhan Regulasi
- 35 Perhitungan Ekonomi

38 **PELAKSANAAN PEMASANGAN INSTALASI**
39 **PEMELIHARAAN PASCA-INSTALASI**
- 39 Masa Garansi
- 40 Pemeriksaan dan Pemeliharaan Rutin
  - 40 Pemeriksaan Panel Surya dan Inverter
  - 42 Pemeriksaan PV Mounting
  - 43 Pemeriksaan Perangkat Proteksi

44 **REFERENSI LEBIH LANJUT**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 4
Silikon monokristalin

Gambar 2 4
Silikon polikristalin

Gambar 3 5
Thin film

Gambar 4 7
Jenis-jenis rangkaian dan Ilustrasi

Gambar 5 11
Komponen-komponen bracket

Gambar 6 12
Komponen-komponen mounting

Gambar 7 13
Illustrasi penempatan komponen PV mounting

Gambar 8 19
Area proteksi air terminal penangkal petir

Gambar 9 21
Proses perencanaan surya atap

Gambar 10 22
Kurva produksi energi panel surya

Gambar 11 23
Kurva penghematan energi surya atap

Gambar 12 35
Alur pengurusan persetujuan PLN

DAFTAR TABEL

Tabel 1 6
Data teknis utama panel surya yang digunakan dalam melakukan perencanaan

Tabel 2 9
Data teknis utama solar inverter yang digunakan dalam melakukan perencanaan

Tabel 3 14
Kapasitas hantar arus kabel DC berdasarkan luas penampang kabel

Tabel 4 15
Rumus arus dan KHA

Tabel 5 15
Besaran KHA kabel AC yang diatur SNI 0255 berdasarkan luas penampang kabel

Tabel 6 16
Luas penampang kabel grounding yang diatur dalam SNI 0255

Tabel 7 17
Ketersediaan MCB/MCCB di pasaran
atap di excel

Tabel 8 22
Ilustrasi penghitungan beban puncak dari satu bangunan

Tabel 9 23
Kalkulasi beban puncak di file excel

Tabel 10 24
Parameter atau variabel dalam memilih panel surya

Tabel 11 27
Contoh data teknis inverter

Tabel 12 27
Kalkulasi kapasitas inverter di file excel

Tabel 13 28
Contoh data teknis panel surya

Tabel 14 29
Simulasi jumlah panel surya per string

Tabel 15 29
Kalkulasi jumlah panel surya per string di excel

Tabel 16 30
Hasil perhitungan komponen PV mounting di excel

Tabel 17 31
Menghitung luas penampang kabel

Tabel 18 31
Hasil perhitungan pengabelan di excel

Tabel 19 32
Hasil perhitungan proteksi DC dan AC di excel

Tabel 20 36
Variabel-variabel dalam perhitungan ekonomi surya atap

Tabel 21 37-38
Cashflow berdasarkan perhitungan ekonomi surya atap di excel

Tabel 22 41
Frekuensi pemeriksaan panel surya

Tabel 23 42
Frekuensi pemeriksaan inverter

Tabel 24 42
Frekuensi pemeriksaan PV mounting

Tabel 25 43
Frekuensi pemeriksaan perangkat proteksi

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

AC	*Alternating Current* atau arus bolak-balik.
Array	Gabungan dari beberapa *string* yang diparalelkan.
BIPV	*Building Integrated Photovoltaic*.
DC	*Direct current* atau arus langsung.
Derating factor	Penurunan efisiensi
Enclosure	Sebuah sistem kompleks yang terdiri dari berbagi komponen elektronika yang disatukan dalam satu kotak.
Grounding	Pembumian listrik.
I_{dc}	*Input current*.
I_{sc}	*Short circuit current*.
IP	*Ingress Protection*.
Inverter	Perangkat yang mengubah listrik DC menjadi AC.
IUJPTL	Izin Usaha Jasa Penunjang Tenaga Listrik.
KHA	Kemampuan Hantar Arus.
kW	Kilowatt.
kWh	Kilowatt hour.
kWh Exim	kWh ekspor impor.
Lifetime	Umur teknis
LIT	Lembaga Inspeksi Teknis.
MCB	*Miniature circuit breaker*.

MCCB	*Moulded case circuit breaker*.
Monocrystalline Silicon	Sel surya yang dipotong dari satu kristal silikon murni.
MPPT	*Maximum Power Point Tracking*.
Panel Surya	Penyerap sinar matahari yang terdiri dari rangkaian sel surya.
PERC	*Passivated Emitter and Rear Contact*.
Permen ESDM	Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral
PLN	Perusahaan Listrik Negara.
PLTS	Pembangkit listrik tenaga surya.
Polycrystalline Silicon	Sel surya dari fragmen kristal silikon yang dilebur bersama dalam cetakan sebelum dipotong.
PUIL	Persyaratan Umum Instalasi Listrik.
PV mounting	Perangkat yang berfungsi untuk menempatkan rangkaian panel surya dengan susunan yang disesuaikan dengan ketersediaan area.
P_{pv}	Kapasitas total rangkaian panel surya.
P_{ac}	Kapasitas total output daya *inverter*.
P_{m}	Power.
Sel Surya	Semikonduktor yang berfungsi mengubah energi cahaya ke energi listrik melalui proses fotoelektrik.
SLO	Sertifikat Laik Operasi.
SNI	Standar Nasional Indonesia.
SPD	*Surge Potective Device*.
STC	*Standard Testing Condition*.
String	Rangkaian seri panel surya.
STP	Surat Tanda Pendaftaran.
TDL	Tarif Dasar Listrik.
TKDN	Tingkat Komponen Dalam Negeri.
V_{oc}	*Open circuit voltage*.
V_{dc}	*Max. input voltage max*.
$V_{dc\text{-}inv}$	*Max. input voltage inverter*.
V_{oc}	*Open circuit voltage* per panel surya.
Volt	Satuan turunan untuk mengukur perbedaan tegangan listrik.

1 PENGANTAR

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah pembangkit yang mengonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik direct current (DC), yang dapat diubah menjadi listrik alternating current (AC). PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya yang dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik mulai dari skala kecil hingga skala besar, baik secara mandiri maupun hibrida.

Salah satu teknologi PLTS yang saat ini sedang berkembang adalah teknologi PLTS di atap bangunan (PLTS rooftop) atau surya atap. PLTS atap dapat dipasang di atap perumahan, bangunan komersial, perkantoran, ataupun kompleks industri.

Meskipun berkapasitas kecil dibanding pembangkit lain, PLTS atap dapat membantu menghasilkan energi listrik dengan cara mandiri energi, serta membuat lingkungan menjadi lebih bersih. Implementasi dalam jumlah besar dapat mengurangi polusi dan efek rumah kaca secara signifikan.

Listrik dari PLTS atap digunakan untuk konsumsi sendiri dengan tujuan mengurangi konsumsi energi dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Kelebihan produksi energi dapat dimasukkan ke dalam jaringan distribusi listrik dengan pengukuran net metering. Melalui sistem net metering tersebut, kelebihan produksi diperhitungkan sebagai kredit energi yang akan mengurangi tagihan atas energi listrik yang dikonsumsi oleh pelanggan PLN. PLTS atap merupakan solusi andal bagi penyediaan energi di gedung-gedung perkantoran, yang mayoritas menggunakan listrik pada siang hari atau jam kerja.

PLTS atap juga lebih mudah dan murah untuk diintegrasikan dengan sistem kelistrikan yang sudah ada. Dengan memanfaatkan area atap, PLTS atap dapat turut mengurangi beban pada jaringan distribusi listrik yang ada.

PLTS atap berpeluang diimplementasikan secara massal di Jakarta, mengingat di ibukota negara ini terdapat banyak bangunan dengan total luasan atap yang besar, seperti perkantoran, pergudangan, apartemen, dan lain sebagainya.

Implementasi PLTS makin lama makin ekonomis yang ditandai terus turunnya harga perangkat utama PLTS, seperti panel surya dan inverter di pasar dunia seiring dengan peningkatan pertumbuhan global jenis pembangkit ini. Selain itu, tarif dasar listrik (TDL) dipastikan akan terus naik, terutama mengingat banyak pembangkit listrik di Indonesia berbahan bakar batu bara, yang cadangannya makin lama makin menipis. Hal ini masih ditambah lagi dengan kualitas kalori batu bara dari tambang-tambang baru yang jauh lebih rendah dan tidak sesuai dengan kebutuhan pembangkit yang ada (existing). Kecuali, terdapat upaya penyesuaian melalui teknologi gasifikasi, yang tentunya membutuhkan investasi tambahan, dan dapat berdampak pada kenaikan biaya tiap unit energi listrik yang dihasilkan.

Namun, peluang tersebut memiliki tantangan yang tidak mudah karena teknologi ini masih relatif baru serta terkesan kompleks dan sulit sehingga membutuhkan perencanaan yang baik. Hal ini masih ditambah dengan banyaknya pilihan perangkat yang memiliki varian atau rentang harga yang lebar. Pada titik tersebut, umumnya perencanaan lebih berpihak pada biaya investasi di muka yang kecil namun jika tidak direncanakan dengan baik justru berdampak pada kuantitas energi yang diproduksi.

Selain aspek perencanaan, proses pengadaan (procurement), instalasi, dan pemeliharaan harus dipersiapkan dengan baik pula agar apa yang diharapkan dari implementasi PLTS atap dapat dicapai secara optimal.

Buku panduan ini memberikan gambaran umum mengenai perencanaan, pengadaan, instalasi, pemeliharaan, serta referensi lebih lanjut untuk aspek-aspek yang membutuhkan informasi detail dan lebih mendalam.

PERENCANAAN SURYA ATAP 2

Perencanaan merupakan tahapan penting dalam implementasi surya atap. Hal ini karena secara ekonomi, biaya investasi (upfront cost) teknologi pembangkit listrik tersebut masih tergolong mahal dibandingkan dengan pembangkitan listrik konvensional seperti genset.

Perencanaan yang baik akan mengoptimalisasi biaya yang dikeluarkan dengan hasil yang diharapkan. Oleh karena itu, bagian ini akan mencoba membahas perencanaan surya atap, mulai dari pengenalan peralatan dan perangkat sampai pada kalkulasi ekonomi implementasinya.

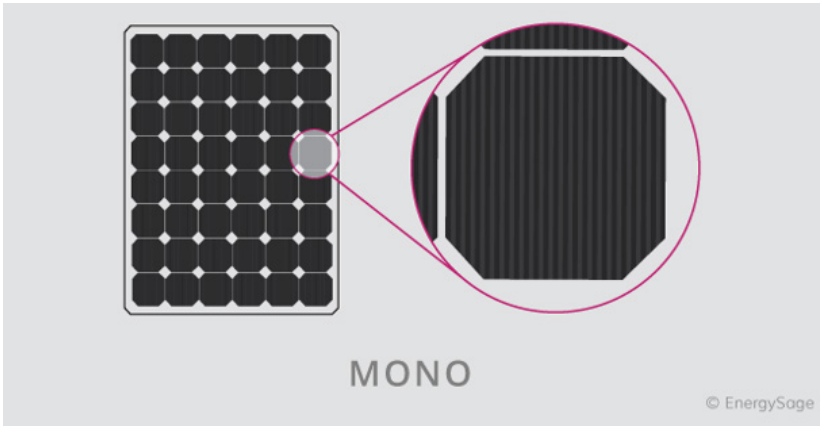
A Peralatan atau Perangkat Surya Atap

1) Panel Surya

Panel surya—yang juga dikenal dengan istilah PV module atau modul surya—merupakan kolektor atau penyerap sinar matahari yang terdiri dari rangkaian sel surya (solar cells). Sel surya adalah semikonduktor yang berfungsi mengubah energi cahaya ke energi listrik melalui proses fotoelektrik. Saat ini, sel surya yang dikenal luas adalah sel yang berasal dari kristal silikon (silicon crystal).

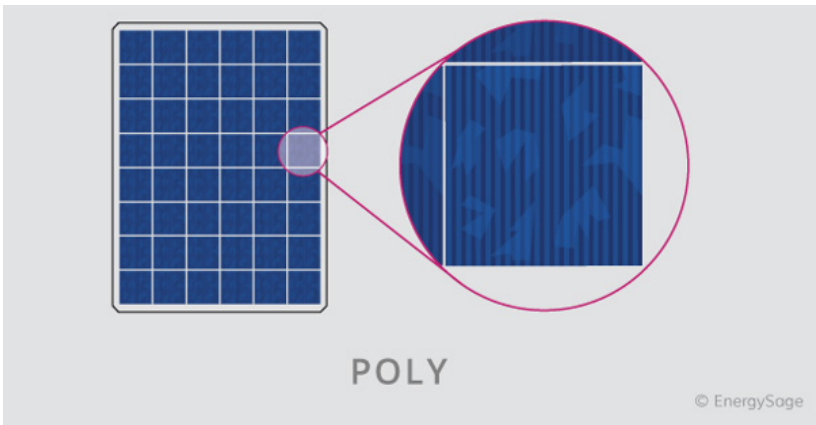
Adapun jenis panel surya yang saat ini umum ditawarkan di pasaran adalah jenis monokristal (monocrystalline) dan polikristal (polycrystalline). Jenis lain adalah thin film yang umum digunakan untuk implementasi building integrated PV (BIPV), yang lebih lentur dan fleksibel sehingga dapat dipasang terintegrasi dengan desain konstruksi gedung.

a) Jenis-jenis Panel Surya



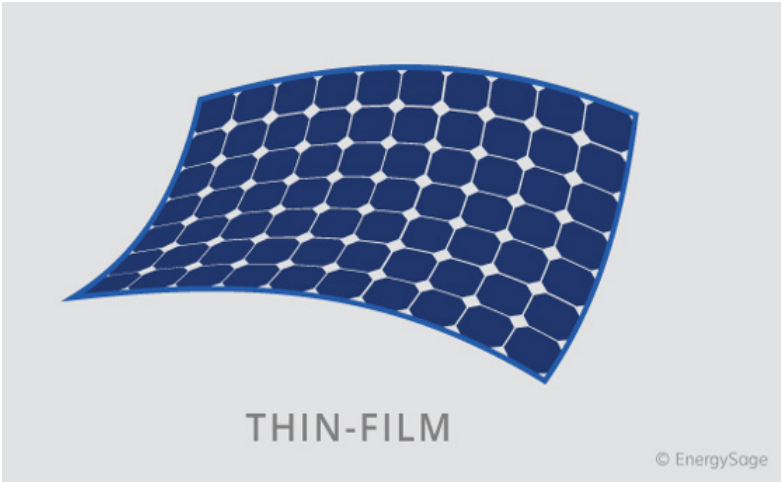
Monocrystalline Silicon

- Sel monokristalin dipotong dari satu kristal silikon murni.
- Umumnya sel panel jenis ini berwarna hitam.
- Efisiensi di pasaran dunia saat ini mencapai 16,5% - 19% (standar konvensional) dan 17,5% - 22,6% (passivated emitter and rear contact atau PERC).
- Harga sebanding dengan efisiensi yang didapat.
- Cocok digunakan untuk penggunaan on grid (seperti halnya surya atap) dan PLTS skala menengah dan besar.



Polycrystalline Silicon

- Sel polikristalin terdiri dari fragmen kristal silikon yang dilebur bersama dalam cetakan sebelum dipotong.
- Cenderung memiliki rona kebiruan.
- Efisiensi di pasaran dunia saat ini mencapai 15% - 18% (standar konvensional) dan 17,5% - 19,5% (passivated emitter and rear contact atau PERC).
- Harga termurah di antara jenis solar panel.
- Cocok digunakan untuk penggunaan solar home system, off grid, on grid, dan PJU tenaga surya (PJUTS).



Thin Film

- Terbuat dari berbagai bahan. Yang paling umum adalah cadmium telluride (CdTe), silikon amorf (a-Si), copper indium gallium selenide (CIGS), dan gallium arsenide (GaAs).
- Warna tergantung dari materi pem-buatnya (untuk materi silikon akan berwarna hitam).
- Efisiensi di pasaran saat ini: CdTe (9% - 11%), a-Si (6% - 8%), CIGS (10% - 12%), GaAs (28,8%).
- Harga masih mahal dan umumnya untuk kebutuhan spesifik.
- Cocok digunakan untuk peng-gunaan PTLS portabel pada mobil, perahu, area pemasangan yang tidak dapat menahan beban berat, serta BIPV.

Sebagai panel surya yang banyak digunakan di surya atap, monokristal dan polikristal memiliki perbedaan sebagai berikut:

- secara efisiensi dan biaya, monokristal memiliki efisiensi lebih besar dengan harga lebih tinggi, sementara polikristal memiliki efisiensi lebih kecil dengan harga lebih murah;
- secara kinerja, monokristal berkinerja lebih baik ketika terkena cahaya langsung, sementara polikristal berkinerja lebih baik dalam pencahayaan tidak langsung (terdifusi);
- secara kapasitas, monokristal masih terus dikembangkan dan menjadi fokus pengembangan panel surya yang berasal dari kristal silikon dengan pengayaan unsur lain.

Panel surya berkualitas baik akan tahan lama, andal, dan mudah dipasang. Panel ini dapat digunakan dalam berbagai iklim, serta memiliki umur teknis (lifetime) minimal 25 tahun, dengan penurunan efisiensi (derating factor) yang kecil, yaitu di bawah 1% per tahun jika dipasang dan dipelihara dengan baik.

Secara internasional, berlaku juga di Indonesia, teknis minimal panel surya mengacu pada dua sertifikasi standar:

- IEC 61215: terrestrial photovoltaic (PV) modules - design qualification and type approval;
- IEC 61730: photovoltaic (PV) module safety qualification.

Beberapa sertifikasi standar tambahan lain yang diterapkan secara internasional namun belum diratifikasi oleh Indonesia:

- IEC 61791: salt mist corrosion;
- IEC 62716: ammonia corrosion.

b) Data Teknis Panel Surya

Listrik yang dihasilkan oleh panel surya adalah listrik DC dengan tegangan dan arus yang berbeda sesuai dengan kapasitasnya. Manufaktur panel surya mencantumkan data-data, seperti jenis sel surya, efisiensi, sertifikasi, dan spesifikasi (datasheet produk mereka), dan lain sebagainya.

Data teknis utama panel surya yang digunakan dalam melakukan perencanaan adalah sebagai berikut:

Data	Notasi	Satuan	Keterangan
Max. Power	P_m	Wp	Daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh panel surya.
Voltage at Max. Power	V_{mp}	V	Tegangan maksimum yang dapat dicapai oleh panel surya ketika dihubungkan ke beban dan beroperasi pada daya maksimum.
Current at Max. Power	I_{mp}	A	Arus maksimum yang dapat dicapai oleh panel surya ketika dihubungkan ke beban dan beroperasi pada daya maksimum.
Open Circuit Voltage	V_{oc}	V	Tegangan yang diukur ketika panel surya tidak dihubungkan ke beban.
Short Circuit Current	I_{sc}	A	Arus maksimum yang diukur ketika tegangan hampir mendekati 0 Volt (keadaan hubung singkat).
Module Efficiency	Eff	%	Kemampuan konversi daya panel surya berdasarkan luasan panel surya dibandingkan dengan potensi energi yang ada. Makin besar kapasitas panel surya, makin besar efisiensi didapat.

Perlu dicatat, data teknis utama yang perlu diperhatikan di atas adalah data dengan kondisi pengujian standard testing condition (STC).

c) Rangkaian Panel Surya

Rangkaian panel surya didesain untuk mendapatkan tegangan dan arus yang disesuaikan dengan tegangan dan arus yang diperbolehkan oleh solar inverter. Rangkaian dapat berupa rangkaian seri, paralel, atau kombinasi keduanya.

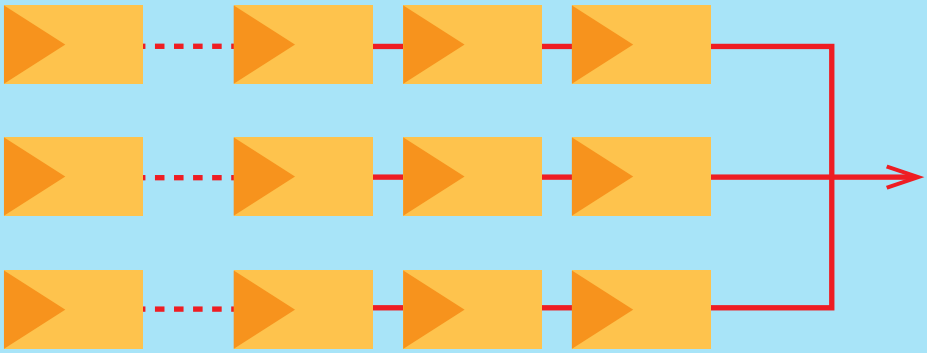
Rangkaian seri panel surya disebut dengan string, sementara gabungan dari beberapa string yang diparalel disebut dengan array.

Jenis Rangkaian dan Ilustrasi

String

Pada jenis ini, rangkaian panel surya akan menghasilkan tegangan yang tinggi.

- Tegangan total = jumlah panel surya x tegangan per panel surya
- Arus total = arus per panel surya



Array

Pada jenis ini, rangkaian panel surya akan menghasilkan tegangan dan arus yang tinggi.

- Tegangan total = jumlah panel surya per string x tegangan per panel surya
- Arus total = jumlah string x arus per panel surya

Baik untuk rangkaian string maupun array, tiap panel surya harus berasal dari merk, jenis, dan kapasitas yang sama. Hal ini untuk mengindari perbedaan tegangan dan arus jika panel surya berbeda, yang dapat menyebabkan perhitungan output dari string atau array tidak optimal. Khusus untuk array, jumlah panel surya per string dalam satu array harus sama banyaknya.

Rangkaian yang umum digunakan dalam rangkaian panel surya dalam sistem surya atap adalah rangkaian string yang menaikkan tegangan pada nilai maksimum yang dapat diterima inverter dengan tetap mempertahankan besar arus. Hal ini terkait dengan efisiensi biaya pengabelan. Kebutuhan luas penampang

kabel (dalam satuan mm2) akan semakin besar seiring dengan kenaikan arus dari panel surya ke kabel yang digunakan. Semakin besar luas penampang kabel, harga semakin mahal.

2) Inverter (Solar Inverter)

Inverter merupakan perangkat yang mengubah listrik DC menjadi AC agar dapat digunakan pada peralatan beban yang umumnya menggunakan listrik AC. Adapun, inverter yang digunakan untuk mengubah listrik DC dari panel surya menjadi listrik AC disebut solar inverter, yang juga dikenal dengan istilah grid tie inverter, string inverter, on grid inverter, atau PV inverter.

Solar inverter saat ini umumnya menggunakan teknologi elektronika daya yang tidak menggunakan transformator (transformerless) dalam mengubah listrik AC menjadi DC dengan gelombang sinus murni seperti gelombang listrik yang ditransmisikan dan didistribusikan oleh PLN. Penggunaan teknologi elektronika daya ini didasarkan pada pertimbangan berat inverter dan harga. Solar inverter dengan tranformator akan lebih berat dan lebih mahal dibanding yang tidak menggunakan transformator.

Solar inverter memanfaatkan tegangan tinggi DC dari rangkaian panel surya sampai pada tegangan dan arus maksimum yang mampu diterima oleh solar inverter. Saat ini, tegangan umumnya dibatasi pada 600 Volt, 1.000 Volt, dan 1.500 Volt. Besar tegangan ini berhubungan dengan daya inverter. Makin tinggi daya inverter, arus yang dapat diterima inverter akan semakin besar.

Penempatan solar inverter umumnya tidak jauh dari rangkaian panel surya. Hal ini untuk mengurangi rugi daya yang berasal dari penurunan tegangan (voltage drop), yang terjadi pada aliran listrik berbanding lurus dengan jarak yang ditempuh (panjang kabel).

Karena berada dekat dengan rangkaian panel surya, maka solar inverter berada di luar ruangan (outdoor). Dengan situasi ini, indeks proteksi (ingress protection atau IP) minimal yang harus dipenuhi oleh solar inverter adalah IP65 agar air dan debu tidak masuk dan memengaruhi kinerja, atau bahkan, merusak komponen yang ada di dalam solar inverter.

Secara internasional, teknis minimal panel surya mengacu pada tiga sertifikasi standar:

- IEC 62109: safety of power converters for use in photovoltaic power systems;

- IEC 61727: photovoltaic (PV) systems - characteristics of the utility interface;
- IEC 62116: islanding prevention measures for utility-interconnected photovoltaic inverters.

a) Data Teknis Inverter

Manufaktur inverter mencantumkan data-data, seperti jenis sel surya, efisiensi, sertifikasi, spesifikasi (datasheet produk mereka), dan lain sebagainya.

Data teknis utama solar inverter yang digunakan dalam melakukan perencanaan adalah sebagai berikut:

Data	Notasi	Satuan	Keterangan
Sisi DC			
Max. Input Power	P_{dc}	Wp	Daya maksimum (DC) dari seluruh rangkaian panel surya yang akan dikonversi oleh inverter.
Max. Input Voltage	V_{dc}	V	Tegangan maksimum dari rangkaian panel surya.
Max. Input Current	Idc	A	Arus maksimum dari rangkaian panel surya.
MPPT Input		bh	Jumlah MPPT yang bekerja independen.
String per MPPT Input		bh	Jumlah input per MPPT.
Sisi AC			
Max. Power Output	P_{ac}	W	Daya maksimum (AC) yang mampu dikeluarkan oleh solar inverter (dengan asumsi efisiensi = 1).
AC Nominal Voltage	V_{ac}	V	Tegangan nominal dari output yang dihasilkan oleh solar inverter • Untuk 1 fasa: 220 – 230 Volt; • Untuk 3 fasa: 380 – 400 Volt.
Max. Output Current	I_{ac}	A	Arus maksimum dari output yang dihasilkan oleh solar inverter.
Frequency	F	Hz	Untuk Indonesia 50 Hz.
Max. Efficiency	Eff	%	Makin tinggi efisiensi, makin tinggi daya yang dihasilkan. Inverter yang baik memiliki efisiensi di atas 97%.

Selain data di atas, solar inverter juga harus memiliki fitur atau kemampuan parallel operation. Dengan fitur tersebut, solar inverter dapat diparalelkan lebih dari satu guna menghasilkan daya yang diinginkan.

Berbeda dengan solar panel, operasi paralel solar inverter tidak mengharuskan inverter dengan jenis dan kapasitas yang

sama, namun harus diupayakan berasal dari satu merk agar memudahkan dalam memonitor kinerja inverter. Hal ini karena masing-masing merk inverter memiliki sistem monitoring sendiri.

Selain menggunakan solar inverter tiga fasa, kita juga dapat melakukan paralel tiga unit solar inverter satu fasa. Namun, dalam kondisi ini, ketiga solar inverter satu fasa tersebut harus berasal dari merk, jenis, dan kapasitas yang sama.

b) Sistem Monitoring

Untuk sistem monitoring, pada umumnya tiap inverter sudah dilengkapi dengan monitoring internal terintegrasi dan dapat diakses melaui aplikasi yang disediakan manufaktur atau melalui browser, baik secara lokal (menggunakan kabel, wifi, atau bluetooth) maupun melalui internet (dengan catatan tersedia koneksi internet yang terhubung dengan inverter).

Dalam keadaan di mana jumlah inverter lebih dari satu, sistem monitoring terintegrasi tetap dapat digunakan untuk memonitor masing-masing inverter secara terpisah. Masing-masing inverter dimonitor sebagai sistem berbeda yang bekerja secara paralel.

Monitoring untuk lebih dari satu inverter dapat dilakukan secara terpusat. Untuk itu, dibutuhkan sistem monitoring eksternal yang memudahkan dalam memonitor seluruh inverter terpasang dan beroperasi sebagai satu kesatuan sistem.

Selain memonitor inverter, sistem monitoring juga dapat ditambahkan dengan sensor-sensor pengukuran, seperti sensor iradiasi (pyranometer), sensor angin (anemometer), sensor suhu (termometer), dan lain-lain. Sedikit inverter yang menyediakan port untuk input bagi sensor-sensor tersebut. Umumnya, sensor dihubungkan ke perangkat khusus (I/O card) yang kemudian dihubungkan dengan inverter atau sistem monitoring inverter. Karena instalasi PLTS umumnya berkapasitas kecil, khususnya surya atap, maka tidak terlalu membutuhkan sensor, terutama karena harganya yang mahal. Namun, sensor dapat dipasang untuk kepentingan lain yang membutuhkan pengukuran fluktuasi suhu, iradiasi, dan kecepatan angin.

3) PV Mounting

PV mounting merupakan perangkat yang berfungsi untuk menempatkan rangkaian panel surya dengan susunan (layout) yang disesuaikan dengan ketersediaan area untuk rangkaian panel surya. Secara garis besar, dalam pemasangan rangkaian panel surya, PV mounting dapat diletakkan di atas tanah (ground mount) atau di atas bangunan (roof mount).

Mengingat umur teknis panel surya minimal 25 tahun dan ditempatkan di luar ruangan (outdoor), material PV mounting harus memiliki kemampuan selama umur teknis panel surya, serta memiliki daya tahan cuaca yang baik. Khusus untuk penempatan di atas bangunan, faktor berat dari PV mounting juga harus dipertimbangkan agar tidak menambah beban tidak perlu bagi konstruksi bangunan atau atap.

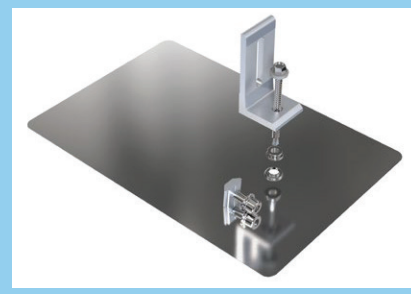
Dengan kata lain, potensi degradasi PV mounting harus diminimalisasi, terutama dari korosi atau karat, serta memiliki kekuatan yang baik dan bobot yang relatif ringan. Oleh karena itu, material standar untuk PV mounting adalah alumunium.

Komponen yang membentuk sistem PV mounting di atas bangunan adalah sebagai berikut:

a) Komponen Bracket

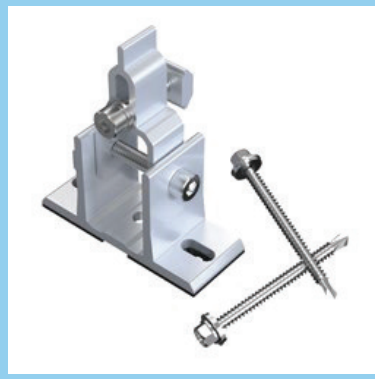
Komponen bracket adalah komponen yang menjadi kaki dari sistem PV mounting dan jenisnya mengikuti jenis atap yang digunakan.

1. L Feet
Bracket yang umum digunakan pada atap berupa atap metal, spandek, dan lain-lain.



2. Flatroof Feet
Digunakan pada atap yang permukaannya datar, seperti bitumen atau aspal (bukan beton).

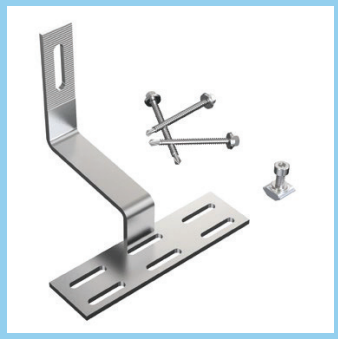
3. Adjustable Tilt



Front Leg

Rear Leg

Digunakan pada atap datar, terutama dak beton. Front leg dan rear leg digunakan untuk memberikan kemiringan (tilt).

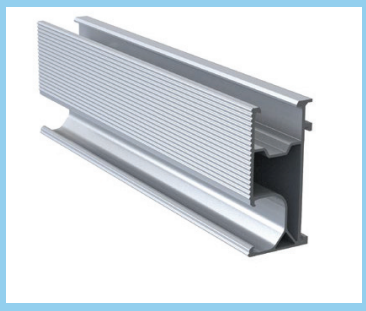


4. Tile Hook
Digunakan pada atap genteng.

5. Kliplok
Digunakan pada atap metal bergelombang dengan puncak gelombang atap berbentuk panah.

b) Komponen Mounting

Komponen mounting diletakkan di atas komponen bracket.

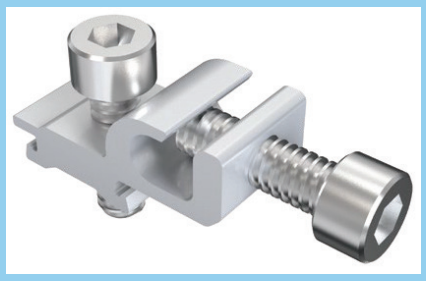


1. Rail
Dipasang di atas bracket dan menjadi tempat meletakkan panel surya.

2. Rail Joiner
Untuk menyambung dua rail agar menjadi kesatuan rail mounting.

3. End Clamp
Klem pengunci panel surya agar tidak bergerak, yang dipasang di kedua ujung rangkaian panel surya.

4. Mid Clamp
Klem pengunci panel surya agar tidak bergerak, yang dipasang di antara panel surya.



5. Ground Lug
Terminal kabel grounding dari PV mounting.

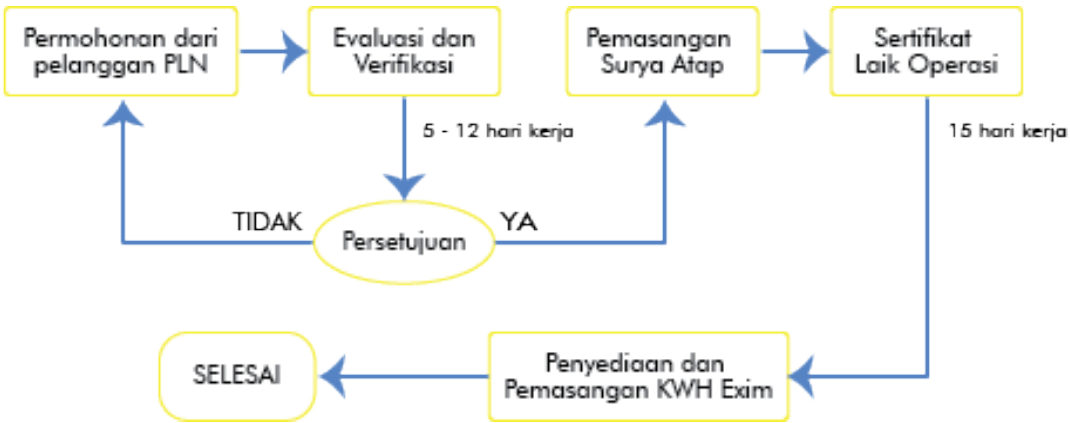
6. Bonding Jumper
Penyatu grounding antar-rail yang disambung oleh rail joiner. Dipasang pada posisi rail joiner.

7. Ground Clip
Penyatu grounding antara rail dengan panel surya. Dipasang di bawah mid clamp.

8. Cable Clip
Dipasang di bagian bawah frame panel surya, yang berfungsi menjepit kabel panel surya agar rapi.

Untuk penempatan di atas bangunan, bracket PV mounting menyesuaikan jenis atap. Komponen-komponen standar PV mounting (rail, joiner, end clamp, mid clamp, dan lain-lain) digunakan di atas bracket yang dipasang.

Illustrasi penempatan komponen PV mounting



4) Pengabelan

Pengabelan pada surya atap dibagi menjadi pengabelan DC, AC ,dan grounding. Masing-masing dengan karakteristik teknis yang berbeda, namun harus tetap menyesuaikan dengan standar yang ada.

a) Kabel DC

Kabel DC mengacu pada standar EN 50618 atau TÜV 2Pfg 1169-08 dengan luas penampang standar yang umum ada di pasaran antara 4 mm2 - 6 mm2. Kabel harus tahan terhadap cuaca, paparan sinar ultraviolet, temperatur tinggi, dan memiliki kemampuan mengalirkan listrik DC dengan tegangan 1.000 Volt.

Kapasitas hantar arus kabel DC berdasarkan luas penampang kabel

Penampang mm2	Diameter mm	Berat kg/km	Open Air (A)	Surface (A)	Adjoining Surface (A)
2,5	4,8	42	41	39	33
4	5,3	57	55	52	44
6	5,9	76	70	67	57
10	7,0	120	98	93	79
16	8,2	179	132	125	107
25	10,8	294	176	167	142
35	11,9	390	218	207	176

b) Kabel AC

Kabel AC mengacu pada standar SNI 0225 mengenai Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) berikut dengan amandemennya. Luas penampang kabel mengikuti besaran arus dengan memperhitungan kemampuan hantar arus (KHA) sebesar 125% arus dari yang akan melewati kabel.

Kabel yang umum digunakan adalah kabel NYY dengan besar arus yang akan melewati kabel dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini.

Rumus arus dan KHA

Sistem	Arus (I_{ac}), A	KHA (A)	Keterangan
1 Fasa	$I_{ac} = P_{ac} / V_{ac}$	1,25 x I_{ac}	Kabel yang digunakan adalah kabel 2x mm2
3 Fasa	$I_{ac} = P_{ac} /(\sqrt{3}V_{ac})$	1,25 x I_{ac}	Kabel yang digunakan adalah kabel 4x mm2

Besaran KHA yang didapat digunakan untuk mencari luas penampang kabel sesuai dengan SNI 0255 mengenai PUIL berikut dengan amandemennya.

Besaran KHA kabel AC yang diatur dalam SNI 0255 berdasarkan luas penampang kabel

Jenis Kabel	Luas Penampang	KHA Terus Menerus					
		Berinti tunggal di		Berinti dua di		Berinti 3 dan 4 di	
		tanah	udara	tanah	udara	tanah	udara
	mm^2	A	A	A	A	A	A
NYY NYFGBY NYRGBY	1.5	40	26	31	20	26	19
	2.5	54	35	42	27	27	25
	4	70	46	54	37	37	34
	6	90	58	68	48	48	43
	10	122	79	92	66	66	60
	16	160	105	121	89	89	80
	25	206	140	153	118	118	106
	35	249	174	187	145	157	131
	50	294	212	222	176	185	159
	70	365	269	272	224	228	202
	95	438	331	328	271	275	244
	120	499	386	375	314	313	282
	150	561	442	419	361	353	324
	185	637	511	475	412	399	371
	240	743	612	550	484	464	436
	300	843	707	525	590	524	481

c) Kabel Grounding

Kabel grounding mengacu pada standar SNI 0225 mengenai PUIL berikut dengan amandemennya.

Kabel yang umum digunakan adalah kabel NYA atau NYY dengan luas penampang kabel grounding mengikuti luas penampang kabel konduktor yang digunakan.

Luas penampang kabel grounding yang diatur dalam SNI 0255

Luas penampang konduktor lin s	Luas penampang min konduktor proteksi terkait
	mm^2
mm^2	Jika konduktor proteksi berbahan sama seoerti konduktor saluran
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

5) Proteksi

Sistem proteksi pada surya atap terdiri dari proteksi sisi DC, proteksi sisi AC, grounding dan proteksi petir. Seperti halnya kabel, masing-masing proteksi memiliki karakteristik teknis yang berbeda, namun harus tetap menyesuaikan dengan standar yang ada.

a) Proteksi DC

Proteksi sisi DC mengikuti kemampuan kabel DC yang digunakan, yaitu tegangan kerja maksimum 1.000 Volt. Proteksi arus dapat berupa fuse maupun miniature circuit breaker (MCB), yang khusus untuk aplikasi listrik arus DC. Pada umumnya arus dari fuse atau MCB berkisar di 15A (fuse) dan 16A (MCB). Hal ini karena arus panel surya sampai saat ini masih di bawah 15A.

Karena sisi DC yang dimulai dari panel surya berupa metal yang terekspos di luar, maka perlu ditambahkan proteksi tegangan lebih berupa surge arester atau surge potective device (SPD) yang juga khusus untuk aplikasi listrik arus DC. Tegangan lebih umumnya terjadi akibat lonjakan sesaat listrik karena adanya induksi petir.

Proteksi DC dapat diletakkan didekat PV mounting (outdoor) maupun di dekat inverter (indoor). Namun, jika proteksi DC diletakkan di dekat PV mounting, indeks proteksi (IP) minimal yang harus dipenuhi oleh boks dari proteksi minimal adalah IP65 agar air dan debu tidak masuk dan memengaruhi kinerja, atau bahkan, merusak komponen fuse/MCB atau SPD.

Mengingat keterbatasan aplikasi DC terhadap arus besar, umumnya komponen proteksi DC, baik fuse, MCB, maupun SPD, tidak banyak tersedia di pasaran. Namun demikian, hal tersebut tidak menjadi alasan untuk menggantikan komponen rating arus DC dengan rating arus AC, terlebih dalam model rangkaian string (seri) panel surya. Hal ini karena rangkaian

string akan membuat tegangan menjadi tinggi (sampai 1.000 Volt). Sementara, komponen dengan rating tegangan AC yang ada di pasaran umumnya hanya mampu sampai tegangan kerja 400-600 Volt. Selain itu, karakteristik pemutusan DC akan menimbulkan bunga api (spark) yang lebih besar daripada listrik AC.

Oleh karena itu, harus dihindari penggunaan komponen proteksi DC menggunakan komponen proteksi AC mengingat kemampuan komponen serta alasan keamanan dan keselamatan.

b) Proteksi AC

Proteksi sisi AC mengikuti kemampuan kabel AC yang digunakan. Proteksi arus dapat berupa MCB atau moulded case circuit breaker (MCCB). Besar proteksi AC adalah sebesar arus yang akan melewati kabel AC dan harus lebih kecil dari KHA kabel. Hal ini untuk menghindari kondisi saat terjadi hubung singkat, di mana proteksi AC belum bekerja, sementara api sudah membakar.

Rumus untuk menentukan kapasitas proteksi dapat dilihat pada kolom arus (Iac) pada tabel rumus arus dan KHA di bagian pengabelan. Mengingat ketersediaan komponen proteksi berupa MCB dan MCCB di pasaran memiliki rating arus yang terbatas, maka kapasitas proteksi disesuaikan dengan ketersediaan komponen proteksi di pasaran dengan mengambil nilai terdekat di atas nilai hasil perhitungan.

Ketersediaan MCB/MCCB di pasaran

MCB 2P/4P	MCCB 3P	
6A	15A	100A
10A	20A	125A
16A	25A	160A
20A	30A	200A
25A	40A	225A
32A	50A	250A
40A	60A	300A
50A	75A	320A
63A	80A	350A
		400A

Untuk menambah proteksi karena output sisi AC akan terhubung dengan sistem instalasi kelistrikan dan kemungkinan belum ada proteksi tegangan lebih, maka perlu ditambahkan

proteksi tegangan lebih berupa surge arester atau surge potective device (SPD). Tegangan lebih umumnya terjadi akibat lonjakan sesaat listrik karena adanya induksi petir.

Proteksi diletakkan didekat inverter (indoor), dapat berada dalam boks terpisah atau diletakkan di dalam panel elektrikal yang ada.

c) Grounding

Pada umumnya bangunan sudah memiliki sistem grounding. Oleh karena itu, grounding dari surya atap dapat digabungkan dengan grounding yang telah ada. Namun demikian, pada kondisi grounding yang tidak ada atau kurang baik, perlu dibuat grounding khusus untuk surya atap. Pembuatan grounding baru tersebut harus tetap disatukan dengan grounding yang sudah ada (equipotential grounding) guna menghindari perbedaan potensial antara batang konduktor grounding yang tertanam dalam tanah.

Grounding mengacu pada standar SNI 0225 mengenai PUIL berikut dengan amandemennya, di mana besar tahanan tanah harus ≤ 5 Ohm. Pengukuran dilakukan menggunakan earth tester atau megger.

Besar tahanan tanah harus ≤ 5 Ohm yang diukur menggunakan earth tester atau megger. Jika tahanan tanah masih di atas 5 Ohm, dapat dilakukan penambahan grounding rod yang diparalelkan dengan grounding utama. Jika kondisi tanah sangat kering dan sulit mendapatkan tahanan tanah ≤ 5 Ohm, dapat digunakan semen bentonit khusus grounding guna membantu menurunkan resistansi tanah.

d) Proteksi Petir

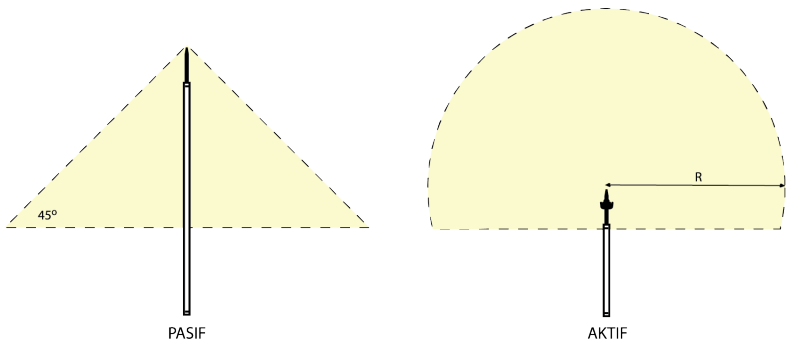
Pada umumnya, bangunan sudah memiliki sistem penangkal petir sendiri dan tidak membutuhkan proteksi petir tambahan jika area proteksi penangkal petir sudah mencakup posisi rangkaian panel surya yang dipasang. Jika belum memiliki sistem petir, perlu dipasang penangkal petir untuk melindungi perangkat surya atap dari sambaran langsung petir. Proteksi petir mengacu pada SNI 03-7015-2004 tentang sistem proteksi petir pada bangunan gedung.

Proteksi petir menggunakan air terminal yang berfungsi untuk menangkap sambaran petir dan mengalirkannya ke tanah. Air terminal dapat menggunakan tipe pasif berupa batang logam runcing (tembaga) atau tipe aktif yang berbentuk seperti kelopak bunga. Perbedaannya adalah pada bentuk area proteksi yang dihasilkan dari masing-masing air terminal.

Tipe pasif adalah tipe yang umum digunakan dan membentuk area proteksi petir sebesar 45° dari puncak air terminal. Sementara, tipe aktif membentuk kubah proteksi di mana air terminal menjadi titk awal jari-jari lingkaran.

Pemilihan tipe air terminal tergantung pada luas dan tinggi area yang akan diproteksi. Namun, karena surya atap biasanya berada di ketinggian bangunan dan berupa benda datar, maka tipe pasif lebih tepat dan harganya juga jauh lebih murah dibandingkan dengan tipe aktif.

Area proteksi air terminal penangkal petir



Besar tahanan tanah untuk grounding rod penangkal petir harus ≤ 5 Ohm yang diukur menggunakan earth tester atau megger. Grounding rod penangkal petir harus terpisah dan tidak boleh disatukan dengan grounding perangkat.

B. Persiapan dan Langkah-langkah Perencanaan

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan surya atap antara lain:

- **Kapasitas daya terpasang PLN**

Kapasitas daya terpasang PLN merupakan batas maksimum kapasitas daya surya atap yang diperbolehkan untuk terhubung dengan sistem PLN. Hal ini dinyatakan dalam beberapa Peraturan Menteri (Permen) Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mengenai PLTS Atap. Yang terbaru adalah Permen ESDM No. 26 Tahun 2021 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum.

- **Koordinat lokasi pemasangan**

Koordinat lokasi akan menentukan perkiraan iradiasi matahari di titik lokasi yang berhubungan langsung dengan

potensi energi yang dapat dihasilkan per kWp terpasang surya atap. Energi yang dihasilkan akan digunakan dalam perhitungan ekonomi guna menentukan berbagai parameter investasi, seperti payback period, net present value, internal rate of return, serta untuk mendapatkan harga pembangkitan per kWh energi selama usia pakai dari perangkat.

- **Kondisi atap**

Selain koordinat lokasi, kondisi atap yang akan digunakan untuk meletakkan rangkaian panel surya juga berpengaruh terhadap produksi energi yang diharapkan akan dihasilkan dari surya atap.

Beberapa faktor yang memengaruhi di antaranya:

a) luas area atap, yang menentukan besar kapasitas yang mungkin dipasang. Meskipun dalam perencanaan kita sudah menentukan kapasitas surya atap, kapasitas tersebut harus tetap disesuaikan dengan ketersediaan area atap;

b) jenis atap: genteng, dak beton, lembaran metal, dan lain-lain, yang menentukan jenis PV mounting yang akan digunakan;

c) posisi layout atap terhadap sumbu kutub utara (azimuth) dan kemiringan atap (tilt), yang digunakan bersama-sama dengan koordinat lokasi guna menentukan potensi produksi energi per kWp terapasang surya atap;

d) potensi bayangan yang dapat menutupi sinar matahari langsung ke panel surya (shading), yang dapat menurunkan kinerja panel surya dalam menghasilkan energi listrik.

Untuk mengetahui bagaimana simulasi koordinat lokasi pemasangan dan posisi layout atap terhadap produksi energi, Anda dapat mengakses https://globalsolaratlas.info/map.

Jika data-data tersebut sudah tersedia, kita dapat melakukan perencanaan teknis surya atap secara komprehensif, mulai dari penentuan kisaran kapasitas yang akan dipasang, memilih inverter panel surya yang sesuai dengan kapasitas, dan menentukan kebutuhan perangkat lain yang dibutuhkan. Dari perencanaan teknis kita bisa menentukan perkiraan biaya peralatan yang dibutuhkan.

Selain perencanaan teknis, pemenuhan regulasi dan perizinan menjadi aspek yang juga diperhitungan secara biaya. Aspek ini harus dipenuhi karena surya atap akan bekerja secara paralel dengan sistem jala-jala PLN sehingga harus memenuhi standar kelistrikan PLN, syarat keamanan instalasi, serta perangkat pengukuran yang berfungsi menghitung neraca energi, terutama jika sistem surya atap mengalirkan daya dari kelebihan produksinya ke sistem distribusi PLN.

Keseluruhan perencanaan yang dilakukan akhirnya harus dikalkulasi secara ekonomi guna melihat parameter investasi atas biaya yang dikeluarkan untuk energi yang diharapkan bisa diperoleh dari surya atap.

Secara diagram, proses perencanaan surya atap dapat digambarkan sebagai berikut:

1) Menentukan Kapasitas Surya Atap

Surya atap merupakan pembangkit listrik yang bekerja paralel dengan sistem jala-jala PLN. Dengan kata lain, output dari inverter pada sistem surya atap langsung dikoneksikan dengan instalasi yang ada dalam bangunan.

Meskipun energi matahari yang tesedia tidak terbatas, kapasitas surya atap dibatasi dengan besar daya terpasang pelanggan PLN. Hal ini karena surya atap bekerja secara paralel dengan sistem jala-jala PLN, di mana titik interkoneksi berada di dalam instalasi domestik setelah KWh meter PLN. Batas kapasitas surya atap adalah kapasitas inverter, bukan kapasitas rangkaian panel surya.

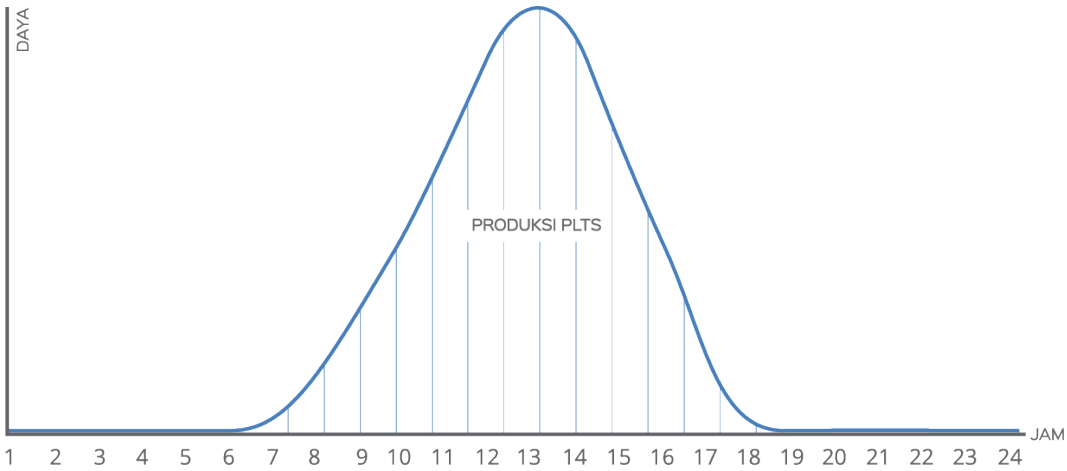
Hal ini diatur dalam Permen ESDM No. 26 Tahun 2021. Inilah peraturan terbaru pada saat buku panduan ini dibuat. Mengacu pada peraturan tersebut, kapasitas maksimum surya atap adalah sebesar daya terpasang PLN dan perlu dilakukan penggantian kWh meter menjadi kWh meter ekspor impor (kWh exim), di mana kelebihan produksi listrik dari surya atap dapat dialirkan ke sistem distribusi PLN dengan skema pembelian kelebihan produksi energi oleh PLN.

Namun, secara teknis, penentuan kapasitas surya atap perlu mempertimbangkan faktor-faktor sebagai berikut:

- panel surya hanya memproduksi listrik pada saat matahari bersinar dan berhenti beroperasi pada malam hari;
- kurva produksi panel surya tidak seperti kurva ketersediaan energi yang dipasok PLN. Jika PLN dapat memasok energi terus menerus sejumlah daya terpasang pelanggan, surya atap memasok energi mengikuti kurva produksi panel surya yang disesuaikan dengan kondisi penyinaran matahari (lihat grafik kurva produksi energi panel surya);

- surya atap tidak bertujuan menggantikan listrik PLN karena sistem surya atap bekerja dengan membaca ketersediaan listrik pada instalasi PLN. Dengan kata lain, jika PLN padam, sistem surya atap juga akan berhenti beroperasi;
- surya atap lebih bertujuan menghemat konsumsi energi dari PLN. Hal ini karena energi dari surya atap ke instalasi domestik akan diprioritaskan untuk digunakan, baru kemudian kekurangan energi dipasok oleh PLN yang bekerja secara paralel dengan sistem surya atap.

Kurva produksi energi panel surya



Selain daya terpasang PLN, penentuan kapasitas surya atap juga memperhatikan besar beban puncak pada siang hari. Nilai beban puncak ini diperoleh dari perkalian jumlah perangkat dan daya per perangkat beban yang digunakan secara bersama-sama pada siang hari.

Ilustrasi penghitungan beban puncak dari satu bangunan

No	Beban	Jumlah	Daya Satuan	Daya Keseluruhan
1	Penyejuk Ruangan (AC)	5	2.000 W	10.000 W
2	Komputer	20	300 W	6.000 W
3	Dispenser	2	250 W	500 W
4	Lampu	25	40 W	1.000 W
5	Mesin Fotokopi	1	2.500 W	2.500 W
6	Lift / Elevator	1	5.000 W	5.000 W
7	Lain-lain	1	1.000 W	1.000 W
			Jumlah Daya	26.000 W
				26 KW

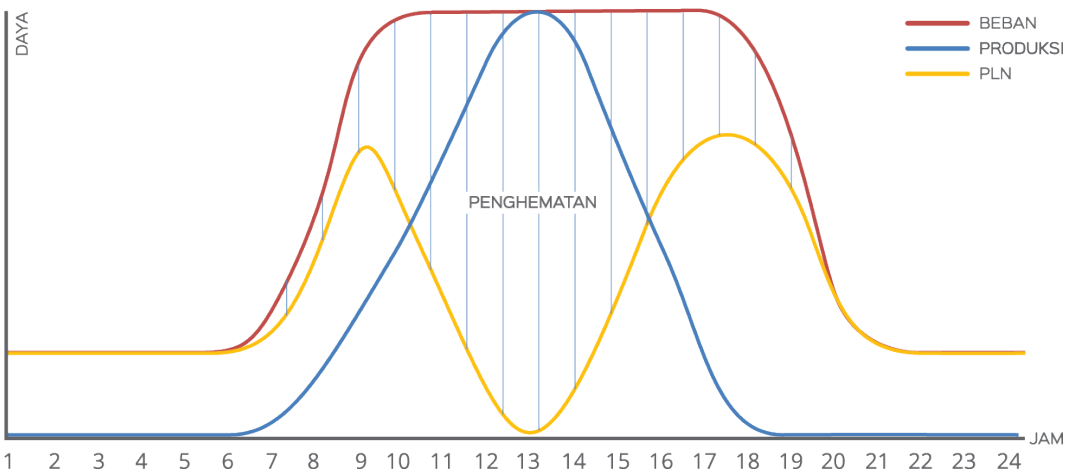
Dari perhitungan tabel di atas, beban puncak pada siang hari adalah sebesar 26 kW. Dari beban puncak tersebut, kapasitas maksimum ideal surya atap (dalam hal ini mengacu pada kapasitas inverter) berkisar di daya 26 kW. Hal tersebut dengan pertimbangan ketika kondisi produksi maksimum panel surya tercapai, produksi energi yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan seluruh beban.

Kalkulasi di atas dapat dilakukan pada file excel yang menjadi bagian dari panduan ini.

Beban Puncak Siang Hari	26 KW

Dengan model perhitungan itu akan didapat kurva penghematan energi surya atap seperti di bawah. Pada kurva tersebut dapat dilihat bahwa dengan asumsi kurva beban tetap, daya yang diproduksi oleh surya atap akan menurunkan daya yang dikonsumsi dari jaringan PLN. Penghematan efisiensi yang terjadi berada pada area yang diarsir. Penghematan energi tersebut nantinya akan berdampak pada penghematan biaya tagihan rutin PLN dan besar pengurangan atau reduksi tidak langsung gas CO2 (gas rumah kaca).

Kurva penghematan energi surya atap



Dari grafik di atas juga terlihat bahwa semua energi yang dihasilkan akan diserap oleh beban yang ada dan hampir tidak ada energi yang dialirkan ke sistem distribusi PLN. Namun demikian, kapasitas surya atap masih bisa ditingkatkan sampai batas daya terpasang PLN. Pada kapasitas yang lebih besar dari perhitungan beban puncak, kelebihan energi surya atap akan dialirkan ke sistem distribusi PLN melalui kWh exim dan disimpan

sebagai kredit energi yang akan diperhitungkan sebagai pengurang tagihan listrik yang dikonsumsi dari jaringan PLN.

2) Memilih Panel Surya dan Inverter

Sebelum masuk ke dalam perhitungan teknis, perlu dipahami bahwa yang menjadi perangkat utama dalam surya atap adalah panel surya dan inverter. Oleh karena itu, pemilihan kedua perangkat utama tersebut harus dilakukan secara teliti, terutama dalam kaitannya dengan faktor kinerja (performance), keandalan (reliability), dan daya tahan (durability). Sistem surya atap diharapkan dapat memproduksi listrik dalam rentang waktu yang lama (20-30 tahun) sehingga ketiga faktor di atas menjadi penting.

a) Memilih Panel Surya

Panel surya yang memenuhi standar sebagaimana diuraikan pada Bab 2 sudah memenuhi faktor keandalan dan daya tahan karena pengujian dengan standar tersebut telah mencakup pemenuhan kedua faktor yang menjadi pertimbangan tersebut.

Selama standar sudah terpenuhi, pemilihan panel surya lebih pada pilihan jenis panel surya yang akan digunakan dengan mempertimbangkan kondisi cuaca, ketersediaan area, dan harga. Pertimbangan ini akan berpengaruh pada parameter atau variabel berikut ini:

No	Parameter / Variabel	Mono cystalline	Poly crystalline	Keterangan
1	Harga	◆	●	Dalam skala daya kecil sampai menengah, perbedaan harga tidak terlalu berpengaruh karena selisih harga per Wp yang tidak terlalu besar jika dikali dengan kapasitas yang menjadi faktor pengali.
2	Efisiensi	●	◆	Dalam skala daya kecil sampai menengah, perbedaan efisiensi tidak terlalu berpengaruh karena selisih efisiensi yang tidak terlalu besar jika dikalikan dengan kapasitas yang menjadi faktor pengali.
3	Kinerja ketika matahari terhalang awan	●	◆	Jika lokasi pemasangan cenderung sering berawan, pilihan yang lebih tepat adalah jenis polycrystalline dibanding monocrystalline.
4	Kapasitas yang tersedia di pasar	●	◆	Jika kapasitas surya atap cukup besar, penggunaan panel surya dengan daya per panel yang lebih besar akan membuat kapasitas per satuan luas area semakin besar.

Keterangan: ● Lebih tinggi; ◆ Lebih rendah

b) Memilih Inverter

Inverter adalah jantung utama PLTS (termasuk sistem surya atap) karena pada perangkat inilah konversi dari arus DC pada sisi input menjadi arus AC pada sisi output (beban) akan dilakukan. Berbeda dengan panel surya yang merupakan perangkat konversi cahaya menjadi listrik dengan memanfaatkan efek fotoelektrik melalui sel surya, inverter memanfaatkan elektronika daya untuk melakukan konversi.

Dengan pemanfaatan elektronika daya, inverter menjadi sebuah sistem kompleks yang terdiri dari berbagi komponen elektronika yang disatukan dalam satu kotak (enclosure). Kualitas komponen elektronika dan enclosure menjadi faktor yang juga harus diperhatikan.

Kualitas komponen elektronika berpengaruh terhadap kinerja, keandalan, dan daya tahan, mengingat inverter juga akan bekerja pada usia teknis atau lifetime yang sama dengan panel surya. Enclosure dari inverter juga harus memiliki daya tahan terhadap cuaca karena umumnya inverter diletakkan di luar ruangan (outdoor).

Meskipun teknologi inverter sudah sedemikian maju, tidak banyak produsen atau manufaktur yang sudah mengembangkan atau memproduksi inverter dalam waktu lama sehingga daya tahannya belum banyak yang terbukti secara nyata. Pemilihan inverter harus memerhatikan reputasi dan usia dari produsen atau manufaktur inverter karena pembuktian daya tahan dapat dilihat dari faktor lama mereka berdiri dan masih bertahan sampai saat ini.

Selain faktor-faktor di atas, pemilihan inverter juga harus memperhatikan kesinambungan layanan purnajual, termasuk keberadaan para distributor resmi yang ada di Indonesia. Meskipun secara kinerja, keandalan, daya tahan, serta produsen atau manufaktur sudah terbukti bertahan dalam waktu lama, namun tanpa dukungan layanan purnajual lokal di Indonesia akan menjadi kendala bila di kemudian hari terjadi masalah yang membutuhkan keterlibatan distributor atau agen, termasuk terkait ketersediaan suku cadang.

Dengan kata lain, mengingat fungsinya sebagai jantung utama surya atap, pemilihan inverter seyogyanya tidak semata-mata karena pertimbangan harga. Dengan daya tahan yang lama, secara cashflow, penggunaan inverter yang lebih mahal namun tidak diperlukan penggantian, akan jauh lebih murah daripada inverter lebih murah namun nantinya harus sering dilakukan penggantian.

3) Perhitungan Teknis

a) Inverter

Kapasitas inverter dapat ditentukan dengan memperhatikan besar kapasitas surya atap. Input daya DC dari panel surya yang dapat diterima inverter umumnya lebih besar dari daya yang dihasilkan rangkaian panel surya. Hal ini dengan mempertimbangkan faktor efisiensi serta faktor penurunan kinerja panel surya dalam rentang waktu usia teknis.

Umumnya, inverter berkualitas mampu menerima daya input dari rangkaian panel surya sampai maksimum 150% dari daya inverter. Dalam terminologi teknis, hal ini disebut sebagai DC/AC ratio, yang didapat dari perhitungan daya total rangkaian panel surya dibagi dengan daya total inverter. DC /AC ratio idealnya berada di nilai 1,15 dan tidak boleh melampaui nilai 1,5.

$$\text{DC/AC Ratio} = P_{pv} / P_{ac}$$

P_{pv} adalah kapasitas total rangkaian panel surya, sementara Pac adalah kapasitas total output daya inverter.

Jika jumlah inverter hanya satu, maka Pac adalah daya inverter, dan jika inverter lebih dari satu, maka Pac adalah penjumlahan dari daya masing-masing inverter yang digunakan. Jumlah inverter akan ditentukan dengan kapasitas total rangkaian panel surya dan ketersediaan inverter sesuai dengan kisaran daya tersebut di pasaran.

Dengan menggunakan ilustrasi perhitungan beban puncak pada bagian sebelumnya sebesar 26 kW, maka kapasitas inverter adalah di kisaran daya 26 kW. Sementara, di pasaran inverter di kisaran daya tersebut. Umumnya, yang tersedia berkapasitas 10 kW, 15 kW, 20 kW, dan 25 kW.

Dengan data dan informasi itu, inverter yang dapat digunakan adalah satu unit dengan kapasitas 25 kW atau dua unit dengan kapasitas 10 kW dan 15 kW (total kapasitas inverter 25 kW).

Contoh data teknis inverter

Technical Data	Sunny Tripower 15000TL	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
Input (DC)			
Max. generator power	27000 Wp	36000 Wp	45000 Wp
DC rated power	15330 W	20440 W	25550 W
Max. input voltage	1000 V	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	240 V to 800 V / 600 V	320 V to 800 V / 600 V	390 V to 800 V / 600 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	33 A / 33 A	33 A / 33 A	33 A / 33 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3
Output (AC)			
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	15000 W	20000 W	25000 W
Max. AC apparent power	15000 VA	20000 VA	25000 VA
AC nominal voltage	3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V		
AC voltage range	180 V to 280 V		
AC grid frequency / range	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 65 Hz		
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V		
Max. output current Rated output current	29 A / 21.7 A	29 A / 29 A	36.2 A / 36.2 A
Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor	1 / 0 overexcited to 0 underexcited		
THD	≤ 3%		
Feed-in phases / connection phases	3 / 3		
Efficiency			
Max. efficiency / European Efficiency	98.4% / 98.0%	98.4% / 98.0%	98.3% / 98.1%

Karena hanya satu inverter, maka monitoring akan menggunakan sistem monitoring terintegrasi yang telah disediakan di dalam inverter.

Kalkulasi di atas dapat dilakukan pada file excel yang menjadi bagian dari panduan ini.

Jumlah Inverter	1 unit
Sistem	3 Fasa
Kapasitas per Unit Inverter	25 KW
Kapasitas Total Inverter	25 KW

b) Panel Surya

Dengan DC/AC Ratio ideal sebesar 1,15, maka dapat diperoleh kapasitas sementara total rangkaian panel surya (Ppv) yang dibutuhkan adalah sekitar 28,75 kWp.

Setelah perkiraan kapasitas rangkaian panel surya didapat, langkah selanjutnya adalah menentukan konfigurasi rangkaian panel surya. Penentuan rangkaian panel surya ini dilakukan dengan memperhitungkan data teknis panel surya dan inverter.

Berikut adalah contoh data teknis panel surya yang akan dijadikan dasar perhitungan teknis dari konfigurasi rangkaian

panel surya. Inverter yang digunakan dalam perhitungan ini adalah satu unit inverter dengan kapasitas 25 kW.

Contoh data teknis panel surya

Electrical Charateristics

Power (Pmax)	260 Watts
Power Tolerance	± 3%
Open Circuit Voltage (Voc)	38.10 V
Short Circuit Current (Isc)	8.74 A
Maximum Power Voltage (Vpm)	31.86 V
Maximum Power Current (Ipm)	8.19 A
Maximum System Voltage	1,000 V
Cell Efficiency	18.40%
Module Efficiency	16.30%
TKDN Value	43.5%

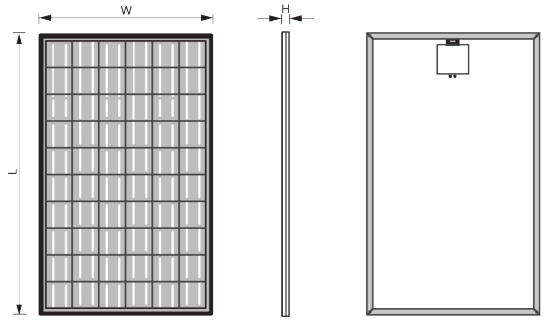
Temperature Coefficients

Isc Temperature Coefficient	(0.065 ± 0.015)% / ˚C
Voc Temperature Coefficient	-(160 ± 20) mV / ˚C
Pmax Temperature Coefficient	-(0.5 ± 0.05)% / ˚C
Temperature Cycling Range	-40 ˚C to +85 ˚C
Damp heat test	85 ˚C and 85% Humidity
Front & Rear static load test	2400Pa or 245Kg/m²
Front load test	5400Pa or 550Kg/m²
Hail impact test	25mm hail at 25m/s

*Standard test conditions, irradiance 1000W/m² at AM1.5 and temperature of 25˚C
*Manufactured under ISO9001:2008, ISO14001 and OHSAS 18000 certified factory
*Under Japanese supervision with Japanese standard quality

Mechanical Characteristics

Solar Cells	60 laser cutted multicrystalline configured geometrically for a 10 x 6 matrix connected in series
Construction	• High tempered anti reflective 3.2mm glass • High quality EVA encapsulated with Polyester backsheet
Frame	6063T6 Silver Anodized Aluminium Alloy
Dimensions	W 985 x L 1637 x H 45 mm
Weight	± 19 kgs



Secara umum, data teknis panel surya yang akan dipakai dalam perhitungan adalah power (Pm), open circuit voltage (Voc), dan short circuit current (Isc).

Sementara, data teknis inverter yang akan dipakai sebagai batas maksimum dari perhitungan rangkaian panel surya adalah max. input voltage (Vdc) dan max. input current (Idc). Lebih lengkap dapat dilihat pada contoh data teknis inverter.

Selain itu, data lain dari inverter yang digunakan adalah jumlah MPPT (2) dan jumlah input per MPPT (3). Dengan demikian, tersedia maksimum 6 input untuk rangkaian panel surya yang dapat dikonfigurasi.

Dari data panel surya yang tersedia dilakukan perhitungan jumlah panel surya pada rangkaian string dengan memperhatikan max. system voltage panel surya dan max. input voltage inverter. Dalam hal ini keduanya adalah 1.000 Volt.

Jumlah maksimum panel surya per *string* = $V_{dc\text{-}inv} / V_{oc}$

$V_{dc\text{-}inv}$ adalah max. input voltage inverter, sementara V_{oc} adalah open circuit voltage per panel surya.

Dengan formula di atas, didapat bahwa jumlah maksimum panel surya pada rangkaian string (Pstring) adalah 26 (pembulatan ke bawah dari 26,25) dan kapasitas panel surya per string adalah 6,76 kW. Dari kapasitas per string, didapat jumlah string rangkaian panel surya dengan membagi kapasitas daya inverter dengan kapasitar per string.

$$\textbf{Jumlah string} = P_{pv} / P_{string}$$

P_{pv} adalah kapasitas sementara total rangkaian panel surya, sedangkan P_{string} adalah kapasitas panel surya per *string*.

Jumlah string yang diperoleh dengan formula di atas adalah sebanyak 5 string (pembulatan ke atas dari 4,25).

Dari hasil perhitungan sebelum diperoleh hasil bahwa jumlah maksimum panel surya per string adalah 26 buah dengan maksimum 5 string dan daya per panel surya 260 Wp.

Dengan data ini, maka dilakukan simulasi jumlah panel surya per string agar mendekati nilai kapasitas sementara total rangkaian panel surya (P_{pv}), yaitu 28,75 kWp.

Jumlah String	Jumlah panel per string	Jumlah total panel surya	Kapasitas total panel surya	DC/AC Ratio
5	26	130	33,8 KWp	1,35
	24	120	31,2 KWp	1,25
	22	110	28,6 KWp	1,14

Dari simulasi di atas didapat bahwa kapasitas yang mendekai kapasitas sementara total rangkaian panel surya adalah 28,6 kWp dengan jumlah string 5 dan jumlah panel per string 22 buah.

Kalkulasi di atas dapat dilakukan pada file excel yang menjadi bagian dari panduan ini.

	Jumlah String	5
	Jumlah Panel Surya per String	22
	Jumlah Total Rangkaian Panel Surya	110
	Kapasitas Total Rangkaian Panel Surya	28,8 kWp

c) PV Mounting

Dengan jumlah string 5 buah, maka akan dibuat 5 group PV mounting, yang masing-masing merepresentasikan jumlah string. Masing-masing grup mounting (string) akan berisi 22 panel surya.

Perhitungan kebutuhan PV mounting dapat dilakukan dengan menggunakan file excel yang sudah disiapkan dengan formula perhitungan untuk memudahkan dalam menentukan jumlah per komponen panel surya yang dibutuhkan.

Hasil perhitungan excel komponen *PV mounting*

PV MOUNTING

DATA PANEL SURYA	
Jumlah Panel	
110	panel surya
5	grup (string)
22	panel surya per grup
Sisi Terpendek Panel Surya	
1.0	m
22	m (total per baris)
Teknis Mounting	
3.3	m panjang/rel
14	rel/row
12	joiner/row

HASIL KALKULASI		
NO	ITEM	QTY
1	Bracket	230
2	Rel 3.3 m	70
3	Rail Joiner	60
4	End Clamp	20
5	Mid Clamp	210
6	Cable Clip	220
7	Grounding Clip	210
8	Ground Lug	10
9	Bonding Jumper	60

d) Pengabelan

i. Kabel DC

Kabel DC menggunakan luas penampang 4 mm2 dengan mengikuti standar EN 50618 atau TÜV 2Pfg 1169-08, serta memiliki kemampuan minimum mengalirkan listrik DC dengan tegangan 1.000 Volt.

ii. Kabel AC dan Kabel Grounding

Luas penampang kabel AC didapat dengan menghitung besar KHA dari output solar inverter.

Sistem	Arus (I_{ac}), A	KHA (A)	Keterangan
3 Fasa	$I_{ac}=P_{ac}/(\sqrt{3}\ V_{ac})$ $=(25\ KW)/\sqrt{3} \times 380)$ $=37,98\ A$	$KHA=1,25\ X\ I_{ac}$ $=1,25 \times 37,98\ A$ $=47,48\ A$	NYY 4x ….mm^2

Dengan KHA 47,48 A berinti 4 pada tabel besaran KHA, kabel AC yang diatur dalam SNI 0255 berdasarkan luas penampang kabel diperoleh luas penampang yang sesuai adalah 10 mm^2. Dengan demikian, kabel AC yang digunakan adalah kabel NYY 4 x 10 mm^2.

Karena luas penampang kabel konduktor (kabel AC) 10 mm^2 masih di bawah 16 mm^2, berdasarkan tabel luas penampang kabel *grounding* yang diatur dalam SNI 0255, kabel *grounding* adalah sebesar kabel konduktor, yaitu 10 mm^2.

Perhitungan kebutuhan kabel AC dan kabel *grounding* dapat dilakukan dengan menggunakan file excel yang sudah disiapkan dengan formula perhitungan guna memudahkan menentukan jenis, tipe, dan jumlah kabel yang dibutuhkan.

Hasil perhitungan excel pengabelan

CABLING

DATA KABEL

Kabel DC	
20	m (string ke inverter)
5	grup (string)
Kabel AC	
5	m (inverter ke panel AC)
1	unit inverter
NYY 4 x 10 mm2	
Kabel Grounding	
20	m (grounding PV)
5	m (grounding AC)

HASIL KALKULASI

NO	ITEM	QTY
1	Kabel PV String : 4 mm2	100
2	Kabel AC : NYY 4 x 10 mm2	5
3	Kabel Ground PV : 4 mm2	20
4	Kabel Ground AC : m2 mm2	5

e) Proteksi

i. Proteksi DC dan Proteksi AC

Proteksi arus dapat berupa fuse maupun MCB, yang khusus untuk aplikasi listrik arus DC. Pada umumnya, arus

dari *fuse* atau MCB berkisar di 15A (*fuse*) dan 16A (MCB). Hal ini karena arus panel surya sampai saat ini masih di bawah 15A.

Untuk proteksi AC mengikuti besaran arus output dari solar inverter dan sistem kelistrikan yang digunakan (1 fasa atau 3 fasa), yang kalkulasinya mengikuti kalkulasi kabel pada kolom arus (I_{ac}), yaitu 37,98A. Besar MCB yang tersedia di pasaran mendekati arus tersebut adalah 50A.

Perhitungan rating proteksi DC dan AC serta jumlahnya dapat dilakukan dengan menggunakan file excel yang sudah disiapkan dengan formula perhitungan guna memudahkan menentukan jenis, tipe, dan jumlah komponen proteksi yang dibutuhkan.

Hasil perhitungan excel proteksi DC dan AC

DATA PROTEKSI	
Proteksi DC	
16	A (DC MCB)
5	grup (string)
Proteksi AC	
50	A (MCB/MCCB)
1	unit inverter
3	Fasa

HASIL KALKULASI		
NO	ITEM	QTY
Proteksi DC		
1	DC MCB 1000V 16A	5
2	DC SPD 1000V 3P	5
Proteksi AC		
1	MCB/MCCB 4P 50A	1
2	AC SPD 4P	1

ii. *Grounding* dan Penangkal Petir

Jika *grounding* bangunan telah ada, kabel *grounding* dihubungkan dengan sistem *grounding* bangunan. Jika tidak ada atau sistem *grounding* kurang baik, maka perlu dibuat *grounding* khusus menggunakan *grounding rod* dengan penampang berukuran minimal 5/8 inch, dan panjang minimal 2 meter ditanam ke dalam tanah.

Tahanan tanah ≤ 5 Ohm harus tercapai dan diukur menggunakan *earth tester* atau *megger*. Jika tahanan tanah masih di > 5 Ohm, dapat dilakukan penambahan *grounding rod* yang diparalelkan dengan *grounding* utama. Jika kondisi tanah sangat kering dan sulit mendapatkan tahanan tanah ≤ 5 Ohm, dapat digunakan semen bentonit khusus *grounding* guna membantu menurunkan resistansi tanah.

Satu hal penting dalam sistem *grounding* adalah semua *grounding* perangkat yang ada dalam sistem surya atap harus terhubung menjadi satu sistem *grounding* guna mengindari beda ekipotensial perangkat ketika terjadi lonjakan tegangan yang dialirkan ke tanah.

Seperti halnya *grounding* perangkat, penangkal petir umumnya telah ada di bangunan dan tidak dibutuhkan tambahan penangkal petir selama area proteksi penangkal petir masih mencakup rangkaian panel surya yang ditempatkan di atap.

Jika belum memiliki sistem petir atau penangkal petir yang ada tidak melindungi seluruh bagian rangkaian panel surya di atap, perlu dipasang penangkal petir untuk melindungi perangkat dari sambaran langsung petir. Pemasangan penangkal petir harus mengacu pada SNI 03-7015-2004 tentang Sistem Proteksi Petir pada Bangunan Gedung.

Grounding rod penangkal petir tidak boleh disatukan atau terhubung dengan grounding rod peralatan.

C. Aspek Pemenuhan Regulasi

Secara umum, aspek pemenuhan regulasi mengikuti Permen ESDM. Khusus untuk proyek pemerintah, aturan regulasi tambahan diterapkan terkait dengan kewajiban penggunaan produk dalam negeri yang dikeluarkan oleh Kementerian Perindustrian.

Secara eksplisit, produk dalam negeri yang wajib digunakan adalah panel surya dengan kandungan tingkat komponen dalam negeri (TKDN) ≥ 40%.

Permen ESDM yang mengatur mengenai surya atap adalah sebagai berikut:

- Nomor 12 Tahun 2019 tentang Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik untuk Kepentingan Sendiri yang Dilaksanakan Berdasar Izin Operasi (menggantikan Permen ESDM Nomor 29 tahun 2012);
- Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN (Persero);
- Nomor 13 Tahun 2019 tentang Perubahan Atas Permen ESDM Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN (Persero);

- Nomor 16 Tahun 2019 tentang Perubahan Kedua Atas Permen ESDM Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN (Persero); dan
- Nomor 26 Tahun 2021 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum.

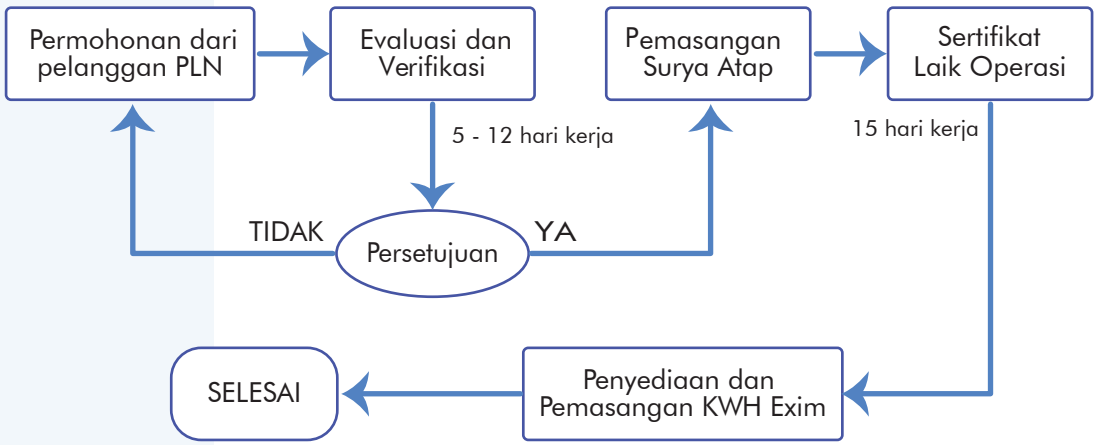
Point kunci Permen ESDM terbaru (nomor 26 tahun 2021) adalah sebagai berikut:

- sistem PLTS atap hanya dapat dibangun dan dipasang oleh pelanggan PLTS atap setelah mendapatkan persetujuan PLN;
- pelanggan surya atap adalah pelanggan pascabayar;
- kapasitas surya atap maksimum 100% dari daya kontrak pelanggan PLN;
- biaya kWh meter exim menjadi tanggung jawab pelanggan PLN;
- sistem surya atap harus memiliki sertifikat laik operasi (SLO);
- nilai energi dari surya atap yang diekspor ke PLN diperhitungkan dengan nilai 100% dari yang terukur di kWh meter ekspor impor;
- dalam hal jumlah energi listrik yang diekspor lebih besar dari yang diimpor pada bulan berjalan, selisih lebih (saldo) akan diakumulasikan paling lama enam bulan dan diperhitungkan untuk tagihan berikutnya, serta akan di-reset ke nol setiap bulan Juli tahun berjalan dan bulan Januari tahun berikutnya;
- untuk pelanggan industri yang memasang surya atap dengan jaringan PLN akan dikenakan capacity charge.

Persyaratan administrasi dan teknis untuk mendapatkan persetujuan PLN adalah sebagai berikut:

- nomor identitas pelanggan (administrasi);
- nama konsumen (administrasi);
- nomor induk kependudukan (administrasi);
- nomor pokok wajib pajak (administrasi);
- alamat konsumen (administrasi);
- besaran daya PLTS atap (teknis);
- badan usaha untuk membangun PLTS atap (administrasi);
- single diagram sistem PLTS atap konsumen (teknis);
- spesifikasi teknis peralatan yang akan dipasang (teknis); dan
- sertifikat laik operasi (teknis).

Alur Pengurusan



D. Perhitungan Ekonomi

Perhitungan ekonomi digunakan untuk melihat aspek ekonomi dari instalasi surya atap yang akan dipasang. Perhitungan ini mempertimbangkan jumlah uang yang harus dikeluarkan, berupa biaya investasi awal dan perkiraan biaya pemeliharaan (O/M) selama usia teknis (lifetime). Meskipun sistem lifetime dapat mencapai 25 – 30 tahun, umumnya dibuat dalam periode waktu 20 tahun.

Pengeluaran kemudian dibandingkan dengan keuntungan (benefit) yang didapat, berupa energi yang dihasilkan oleh sistem surya atap dikalikan dengan harga per kWh listrik PLN. Hal ini karena dengan pemanfaatan surya atap, berarti ada sejumlah energi yang sebelumnya menggunakan PLN digantikan dengan energi dari sistem surya atap.

Namun demikian, baik perhitungan pengeluaran maupun keuntungan harus mempertimbangkan inflasi, kenaikan harga listrik PLN, dan faktor penurunan kinerja (derating factor) panel surya yang linier dengan penambahan usia perangkat. Kelebihan produksi yang dialirkan ke PLN diperhitungkan sebagai keuntungan, yang nantinya akan terpakai untuk mengurangi tagihan listrik PLN.

Kalkulasi perhitungan ekonomi dibuat dalam file excel terpisah. Namun, sebagai ilustrasi, pada buku panduan ini dibuat kalkulasi dengan asumsi harga surya atap terpasang adalah US$1 per Wp atau sekitar Rp14.500 per Wp (dengan asumsi US$1 = Rp14.500). Asumsi harga tersebut merupakan harga pasaran untuk kapasitas surya atap di bawah 50 kW.

Nilai-nilai yang perlu dimasukkan ke dalam excel dapat diperoleh dengan cara sebagaimana dijelaskan pada tabel di bawah ini.

Variabel	Deskripsi	Keterangan
TECHNICAL INPUT		
PVOUT		Nilai PVOUT dapat diperoleh dengan memasukkan koordinat lokasi pada *situs https://globalsolaratlas.info/map*.
PV Modules Capacity	Kapasitas surya atap.	Kapasitas total rangkaian panel surya.
PV Derating Factor	Degradasi produksi per tahun.	Dapat diperoleh dari datasheet panel surya yang akan digunakan. Umumnya, berkisar di 0,5% - 1%.
Inverters Capacity	Kapasitas *inverter*.	Kapasitas total *inverter*.
Invertes Efficiency	Efisiensi *inverter*.	
FINANCIAL INPUT		
Scale	Nilai pembagi rupiah.	Untuk menyederhanakan nilai rupiah agar terlihat lebih simpel pada tabel *cashflow*.
Investment	Besar biaya pembangunan surya atap.	Diperoleh dari perhitungan biaya atau bisa menggunakan harga pasaran US$1 per Wp terpasang panel surya.
PLN Price	Tarif PLN.	Dimasukkan berdasarkan golongan pelanggan.
Inflation/yr	Inflasi per tahun.	Besar inflasi per tahun.
Disc. Rate	*Discount rate*.	Nilai diskon bank sentral.
M/O Costs	Biaya pemeliharaan.	Umumnya, berkisar di 1% per tahun dari total investasi.

Hasil perhitungan excel dalam perhitungan ekonomi surya atap

INPUT

TECHNICAL INPUT		
PVOUT	1,337	(KWh/KWp/year)
PV Modules Capacity	28.60	(KWp)
PV Derating Factor	0.6%	per year
Inverters Capacity	25	(KW)
Invertes Efficiency	98.0%	

FINANCIAL INPUT			
Scale	Rp 1,000,000		
Investment	Incl. PPN	Rp	456,170,000
	Excl. PPN	Rp	414,700,000
PLN Price	Rp 1,467.28	per KWh	
Inflation/yr	1.0%	per year	
Disc. Rate	10%		
M/O Costs	1.0%	of Capex	

OUTPUT

TECHNICAL OUTPUT		
1st Year Production	38,238	(KWh)
20 Years Production	722,702	(KWh)

FINANCIAL OUTPUT			
LCoE/BPP (Cost/Prod)	Rp 700.17	per KWh	
IRR	11.3%		
Payback Period	7.9	years	
NPV		Rp	37,731,055

CASHFLOW

YEAR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Costs (IDR 1,000,000)																					
Investment	415																				
M/O Costs		4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	415	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Income (IDR 1,000,000)																					
Production (KWh)		38,238	38,009	37,781	37,554	37,329	37,105	36,882	36,661	36,441	36,222	36,005	35,789	35,574	35,361	35,149	34,938	34,728	34,520	34,312	34,107
Production (MWh)		38	38	38	38	37	37	37	37	36	36	36	36	36	35	35	35	35	35	34	34
Price/KWh (IDR 1,000,000)		1,467	1,482	1,497	1,512	1,527	1,542	1,558	1,573	1,589	1,605	1,621	1,637	1,653	1,670	1,687	1,703	1,721	1,738	1,755	1,773
Income (IDR 1,000,000)	-	56	56	57	57	57	57	57	58	58	58	58	59	59	59	59	60	60	60	60	60
Cashflow (IDR 1,000,000)	(415)	52	52	52	52	53	53	53	53	53	54	54	54	54	54	55	55	55	55	55	55
Cashflow (IDR 1,000,000) (Cummulative)	(415)	(363)	(311)	(258)	(206)	(153)	(100)	(47)	6	59	113	167	221	275	329	384	438	493	548	604	659

YEAR	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Payback Period Curve																					
Cost (IDR 1,000,000) (Cummulative)	415	419	423	427	432	436	440	445	449	454	458	463	467	472	477	481	486	491	496	501	506
Income (IDR 1,000,000) (Cummulative)	-	56	112	169	226	283	340	397	455	513	571	629	688	747	806	865	925	984	1,044	1,105	1,165

3 PELAKSANAAN PEMASANGAN ATAU INSTALASI

Pemilihan pelaksana pemasangan harus mengacu pada regulasi yang sudah ditetapkan, terutama pada Permen ESDM Nomor 26 Tahun 2021 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum

Sistem PLTS atap hanya dapat dibangun dan dipasang oleh pelanggan PLTS atap setelah mendapatkan persetujuan PLN (untuk operasi paralel) dan dilakukan oleh badan usaha sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan di bidang ketenagalistrikan. Badan usaha dalam hal ini adalah yang memiliki izin usaha sesuai dengan bidangnya (izin usaha jasa penunjang tenaga listrik atau IUJPTL).

Untuk pelaksanaan pemasangan atau instalasi tidak dibahas mendalam dalam panduan ini karena setiap pelaksana atau kontraktor instalasi memiliki standar operasi dan metode pemasangan yang berbeda-beda. Namun demikian, hasil dari pelaksanaan instalasi akan diperiksa oleh lembaga inspeksi teknis (LIT), melalui uji laik operasi yang menjadi syarat penerbitan sertifikat laik operasi (SLO).

PEMELIHARAAN PASCAINSTALASI 4

A. Masa Garansi

Masa garansi dibagi menjadi dua, yaitu garansi pemasangan yang menjadi tanggung jawab pelaksana pemasangan, serta garansi perangkat atau peralatan yang menjadi tanggung jawab produsen atau manufaktur atau distributor resmi yang ditunjuk.

Masa garansi pemasangan umumnya ditetapkan 30 (tiga puluh) hari sampai dengan 1 (satu) tahun sejak serah terima pertama, tergantung pada lingkup pekerjaan, kapasitas, serta syarat dan perjanjian yang disepakati dalam kontrak.

Masa garansi perangkat atau peralatan memiliki jangka waktu berbeda-beda namun pada umumnya dapat dirangkum sebagai berikut:

- panel surya: ≥10 tahun garansi produk dan ≥20 tahun garansi performance dengan penurunan 0,5% - 1% per tahun;
- inverter: ≥5 tahun;
- sistem monitoring: ≥2 tahun; dan
- perangkat pendukung (PV mounting, kabel, proteksi, dan lain-lain): ≥6 bulan.

Untuk menjamin layanan purnajual, terutama produk yang didatangkan dari luar negeri (impor), kredibilitas distributor harus dapat dibuktikan dengan telah terdaftarnya distributor perangkat tersebut (terutama perangkat utama, seperti panel surya dan inverter) di Kementerian Perdagangan RI. Dalam hal ini, distributor tersebut memegang Surat Tanda Pendaftaran (STP) Agen/Distributor Barang Produksi Luar Negeri.

B. Pemeriksaan dan Pemeliharaan Rutin

Pemeriksaan rutin dilakukan untuk memeriksa kondisi seluruh peralatan atau perangkat surya atap beserta komponen pendukungnya guna memastikan sistem bekerja secara optimal, meminimalkan risiko yang bisa terjadi, dan menekan biaya pemeliharaan, terutama ketika garansi dari peralatan atau perangkat telah berakhir.

Hal-hal yang Harus Diperhatikan:

- Pemeliharaan direkomendasikan dilakukan pada hari di mana aktivitas manusia di lokasi pemasangan PLTS sangat minimal (misalnya, Sabtu, Minggu, atau hari libur nasional).
- Jangan melakukan pemeriksaan atau pemeliharaan rutin seorang diri. Lengkapi alat komunikasi tanpa kabel (seperti HT) untuk komunikasi.
- Menggunakan alat pelindung diri (APD) yang sesuai, berupa sepatu bersol karet, helm, sarung tangan, dan pengaman ketinggian (body harness).
- Tidak merokok selama proses pemeriksaan dan pemeliharaan.
- Tidak memakai cincin/gelang/perhiasan dari logam selama proses pemeriksaan dan pemeliharaan.
- Memasang tanda pemeliharaan dan peringatan pada tanah/permukaan/ruangan yang berisiko secara mekanikal maupun elektrikal terhadap manusia.
- Dokumentasi sistem harus tersedia sebelum melakukan pemeriksaan/pemeliharaan rutin. Minimal dokumen yang harus tersedia adalah:
  - gambar teknik (as built drawing) sistem PLTS, baik gambar mekanikal maupun elektrikal dalam bentuk cetak (printout), minimal ukuran A3;
  - dokumen user manual atau operation manual dari perangkat yang digunakan dalam bentuk cetak (printout).

1) Pemeriksaan Panel Surya dan Inverter

Panel surya dan inverter adalah perangkat utama surya atap. Kondisi kedua perangkat ini harus selalu diperiksa rutin secara visual, minimal tiga bulan sekali untuk melihat kebersihan permukaan panel surya dan ventilasi inverter. Pembersihan dilakukan jika secara visual terlihat penumpukan kotoran pada permukaan panel surya dan atau ventilasi inverter.

a) Panel Surya

Untuk pembersihan panel surya direkomedasikan pada pagi hari sebelum pukul 06.00 atau sore hari sesudah pukul 05.00. Pembersihan debu dapat dilakukan dengan kemoceng atau kain dengan permukaan halus. Jika terdapat kotoran yang sulit dibersihkan, gunakan air bersih dan sikat.

No	Frekuensi	Tindakan	Keterangan
1	3 bulan sekali	Pemeriksaan kebersihan permukaan panel surya dari debu, kotoran atau benda yang menutupi panel surya.	Jika kotor lakukan pembersihan
2	1 tahun sekali	Pembersihan permukaan panel surya menggunakan air mengalir dan alat pembersih yang lembut (spons).	• Jangan menggunakan deterjen atau cairan pembersih yang mengandung deterjen atau cairan kimia pembersih. • Lakukan pada pagi atau sore hari sesaat sebelum matahari terbit atau terbenam. Jangan melakukan pembersihan ketika matahari sedang bersinar terang. • Untuk lokasi pemasangan di dekat pantai, lakukan pembersihan lebih sering (enam bulan sekali).
		Pemeriksaan sambungan atau konektor MC4 dan koneksi kabel *grounding*	Semua konektor dalam kondisi tersambung dengan baik dan tidak longgar.

- Jangan dilakukan pada siang hari saat matahari sedang bersinar dengan terik!
- Tanda pemeliharaan dan peringatan harus sudah diletakkan pada posisinya sebelum melakukan pemeriksaan atau pemeliharaan.

b) Inverter

Untuk pembersihan ventilasi inverter dapat dilakukan dengan sikat halus atau kuas dengan terlebih dahulu melepaskan pengikat saringan ventilasi inverter dari inverter. Untuk detail pembersihan, harap mengacu pada dokumen user manual atau operation manual dari inverter yang digunakan.

No	Frekuensi	Tindakan	Keterangan
1	3 bulan sekali	Pemeriksaan kebersihan ventilasi *inverter* dari debu, kotoran, atau benda yang menutupi panel surya.	• Jika kotor lakukan pembersihan. • Cara pembersihan harus mengacu pada dokumen *user manual* dari manufaktur *inverter*.
2	1 tahun sekali	Pembersihan ventilasi *inverter*.	Cara pembersihan harus mengacu pada dokumen *user manual* dari manufaktur *inverter*.
		Pemeriksaan sambungan atau konektor kabel *input* (MC4) dan *output* serta koneksi kabel *grounding*.	Semua konektor dalam kondisi tersambung dengan baik dan tidak longgar.

- Selalu nonaktifkan (matikan) inverter, posisi proteksi DC (MCB/fuse) dan AC (MCB/MCCB) inverter pada posisi OFF sebelum melakukan pembersihan ventilasi inverter!
- Tanda pemeliharaan dan peringatan harus sudah diletakkan pada posisinya sebelum melakukan pemeriksaan atau pemeliharaan.

2) Pemeriksaan *PV Mounting*

Pemeriksaan *PV mounting* ditujukan untuk memastikan semua panel surya terpasang dengan baik pada *PV mounting*. Hal ini penting mengingat bahwa panel surya berada pada ketinggian (di atap).

No	Frekuensi	Tindakan	Keterangan
1	3 bulan sekali	Pemeriksaan visual kondisi panel surya.	Jika secara visual terjadi pergeseran posisi panel surya, lakukan pemeriksaan baut pengikat mounting, pastikan masih terpasang dengan baik dan tidak longgar. Kencangkan jika baut longgar.
2	1 tahun sekali	Pemeriksaan baut atau pengikat *mounting*, baik pengikat ke struktur atap maupun ke panel surya.	Kencangkan jika baut atau pengikat *mounting* longgar.

- Alat pelindung diri (APD) berupa helm, sepatu, sarung tangan, dan pengaman ketinggian (*body harness*) harus sudah dipakai dan dipasang sebelum bekerja pada ketinggian.
- Tanda pemeliharaan dan peringatan harus sudah diletakkan pada posisinya sebelum melakukan pemeriksaan atau pemeliharaan.

3) Pemeriksaan Perangkat Proteksi

Pemeriksaan perangkat proteksi terutama dilakukan pada terminal-terminal komponen proteksi, seperti terminal block, terminal fuse holder atau MCB, terminal SPD, dan lain-lain. Hal ini untuk memastikan bahwa koneksi pada terminal tersebut terhubung dengan baik dan tidak longgar. Jika longgar, titik koneksi akan menjadi panas yang menjadi faktor rugi daya. Selain itu, koneksi terlalu longgar akan memperbesar kemungkinan percikan api yang dapat memicu kebakaran.

No	Frekuensi	Tindakan	Keterangan
1	3 bulan sekali	Pemeriksaan visual dan temperatur komponen proteksi.	Jika secara visual kabel pada terminal proteksi telihat longgar atau terlalu panas, kencangkan sekrup atau baut.
2	1 tahun sekali	Pemeriksaan baut atau pengikat *mounting*, baik pengikat ke struktur atap maupun ke panel surya.	Kencangkan jika baut atau pengikat *mounting* longgar.

- Alat Pelindung Diri (APD) berupa sepatu bersol karet, helm, dan sarung tangan harus sudah dipakai dan dipasang sebelum bekerja pada komponen proteksi.
- Selalu nonaktifkan (matikan) inverter, posisi proteksi DC (MCB/Fuse) dan AC (MCB/MCCB) inverter di posisi OFF, serta posisi proteksi pada MCB/MCCB intekoneksi sistem PLTS dengan PLN pada panel distribusi utama (MDP) di posisi OFF!
- Tanda pemeliharaan dan peringatan harus sudah diletakkan pada posisinya sebelum melakukan pemeriksaan atau pemeliharaan.

5 REFERENSI LEBIH LANJUT

A. Standar

- SNI 0225 mengenai Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL).
- SNI 03-7015-2004 tentang Sistem Proteksi Petir pada Bangunan Gedung.

B. Regulasi

- Permen ESDM Nomor 12 Tahun 2019 tentang Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Sendiri yang Dilaksanakan Berdasarkan Izin Operasi.
- Permen ESDM Nomor 26 Tahun 2021 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum.
- Permen ESDM Nomor 2 Tahun 2021 tentang Penerapan Standar Kualitas Modul Fotovoltaik Silikon Kristalin.
- Permen ESDM Nomor 12 Tahun 2021 tentang Klasifikasi, Kualifikasi, Akreditasi, dan Sertifikasi Usaha Jasa Penunjang Tenaga Listrik.

C. Bacaan Lebih Lanjut

- Tanya-Jawab Seputar Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh Konsumen PT PLN (Persero), Ditjen EBTKE Kementerian ESDM, 2021.

- Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya: Dos & Don'ts, GIZ dan Ditjen EBTKE Kementerian ESDM, 2018.
- Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia, ICED II, 2020.
- Buku Panduan Pengoperasian dan Pemeliharaan PLTS Off-Grid, Ditjen EBTKE Kementerian ESDM, 2017.
- Oversizing Whitepaper: Mazimum Freedom When Oversizing, SMA Solar Technology AG.

D. Situs Web

- https://www.globalsolaratlas.info/map
- https://www.hexamitra.co.id/plts-rooftop-surya-atap-ongrid.php
- https://ebtke.esdm.go.id

Informasi lebih lanjut:

mitra hijau

Green partnership for the blue planet.

www.mitrahijau.or.id