



implemented by:

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



BUKU MATERI **PELATIHAN BERBASIS KOMPETENSI**

Memasang Dudukan Dan Modul Surya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Atas Atap (Rooftop)

D.35EBT15.004.1



TERBITAN

Diterbitkan oleh

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Lokasi Kantor Pusat GIZ

Bonn dan Eschborn, Jerman

Innovation and Investment for Inclusive Sustainable Economic Development (ISED)

Menara BCA, 46th floor

Jl. M.H. Thamrin No. 1

Jakarta 10310 Indonesia

+62 21 23587111

+62 21 23587110

I: www.giz.de/en

E: giz-indonesien@giz.de

Atas Nama

Kementerian Federal Kerjasama Ekonomi dan Pembangunan (BMZ)

Kerja sama dengan

Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Bappenas

Penulis:

Drs. Iman Permana, M.Pd

Penyelaras Editorial:

Annisa N Garmaisa, *Jr. Admin Specialist, ISED Project*

Dr. Dadang Kurnia, *TVET Advisor, ISED Project*

Desain dan Tata Letak:

Arcaya Manikotama, *Konsultan Proyek ISED*

Misharati Israkhmellia, *Advisor for Communication and Event Management, ISED Project*

Foto dan Ilustrasi:

ISED

Desember 2022

BUKU MATERI **PELATIHAN BERBASIS KOMPETENSI**

Memasang Dudukan Dan Modul Surya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Atas Atap (Rooftop)

D.35EBT15.004.1

Penyusun
Drs. Iman Permana, M.Pd.

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi
Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi

Balai Besar Pengembangan dan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi
Bidang Mesin dan Teknik Industri

KATA PENGANTAR

Modul pelatihan berbasis kompetensi (PBK) merupakan salah satu media pembelajaran yang dapat digunakan sebagai media transformasi pengetahuan, keterampilan dan sikapkerja kepada peserta pelatihan untuk mencapai kompetensi tertentu berdasarkan program pelatihan yang mengacu kepada Standar Kompetensi.

Modul pelatihan yang berjudul “Memasang Dudukan dan Modul Surya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di atas Atap (Rooftop) - D.35EBT15.004.1 pada SKKNI Nomor Nomor 166 Tahun 2019 Bidang Pemasangan dan Pembangunan Pembangkit Aneka EBT. Modul ini berisi prosedur pemasangan dudukan dan modul surya dalam bidang pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di atas atap. Dengan demikian modul ini dapat menjadi modul pilihan yang digunakan pada skema KKNi, okupasi, atau klaster lainnya yang merujuk kepada SKKNI Pembangkitan Aneka EBT.

Kami menyadari bahwa modul yang kami susun ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan saran dan masukan untuk perbaikan agar tujuandari penyusunan modul ini menjadi lebih efektif.

Demikian kami sampaikan, semoga Allah Yang Maha Kuasa memberikan tuntunan kepadakita dalam melakukan berbagai upaya pengembangan untuk menunjang proses pembelajaran di lingkungan Balai Besar Pengembangan dan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Mesin dan Teknik Industri.

Cimahi, 12 Agustus 2022

Kepala,

Supriyono, M.Si.

NIP 196308051985031005

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	4
DAFTAR ISI	5
A. PENDAHULUAN	7
B. PANDUAN PENGGUNAAN MATERI	7
C. DAFTAR IKON	8
D. BACAAN REFERENSI	9
E. PENGANTAR TEORI	10
BAGIAN 1 MENYIAPKAN PERALATAN DAN KOMPONEN UTAMA UNTUK PEMASANGAN DUDUKAN DAN MODUL SURYA PLTS DI ATAS ATAP (ROOFTOP)	10
1. Menyiapkan Atap/Genteng Untuk Pemasangan Plts <i>Rooftop</i>	10
2. Menyiapkan Struktur Penyangga/Dudukan Modul Surya Tipe <i>Rooftop</i>	17
3. Menyiapkan Modul Surya (Modul Fotovoltaik)	25
BAGIAN 2 MEMASANG KOMPONEN-KOMPONEN DUDUKAN DAN MODUL SURYA PLTS ROOFTOP	38
1. Langkah-langkah Pemasangan Dudukan Modul Surya Plts (<i>Rooftop</i>)	38
2. Langkah-langkah Pemasangan Modul Surya	40
BAGIAN 3 LAPORAN PEMASANGAN DUDUKAN DAN MODUL SURYA PLTS ROOFTOP ON-GRID	42
1. Atap dan Dudukan Modul Fotovoltaik	42
2. Modul Fotovoltaik	43
3. Konfigurasi Modul Fotovoltaik	45
F. LANGKAH KERJA PEMBELAJARAN	47
G. IMPLEMENTASI UNIT KOMPETENSI	48
Elemen Kompetensi 1	48
Elemen Kompetensi 2	48
Elemen Kompetensi 3	50
H. PENILAIAN:	51
I. LAMPIRAN	51





A. PENDAHULUAN

Tuntutan pembelajaran berbasis kompetensi menjadi sangat penting dalam meningkatkan kualitas Sumber Daya Manusia (SDM) yang kompeten, sesuai dengan tuntutan kebutuhan pasar kerja. Selaras dengan tuntutan tersebut, maka dibutuhkan mekanisme pelatihan yang lebih praktis, aplikatif, serta dapat menarik dilaksanakan sehingga memotivasi para peserta dalam melaksanakan pelatihan yang diberikan. Seiring dengan mudahnya teknologi digunakan, maka materi pelatihan dapat disajikan dengan berbagai media pembelajaran sehingga dapat diakses secara offline dan online.

Materi pelatihan ini terdiri dari buku Program Pelatihan, Panduan Materi Pelatihan dan buku Panduan Asesmen serta dapat dilengkapi dengan materi yang bersifat perangkat lunak seperti materi presentasi dan video yang dapat diakses melalui internet atau perangkat AVA lainnya.

B. PANDUAN PENGGUNAAN MATERI

Beberapa ketentuan panduan penggunaan materi yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. Materi ini dapat dijadikan rujukan untuk pelaksanaan PBK dengan penggunaannya dapat dikembangkan dan dikontekstualisasikan sesuai dengan kebutuhan, materi ini terdiri dari:
 - a. Bacaan Referensi
 - b. Pengantar Teori
 - c. Langkah Kerja
 - d. Implementasi Unit kompetensi
 - e. Lampiran :
 1. Kamus istilah
 2. Daftar referensi
 3. Unit kompetensi
2. Video dari Youtube atau sumber lain merupakan kelengkapan yang dapat dijadikan referensi bagi para instruktur.
3. Peran instruktur terkait dengan penggunaan modul, antara lain:
 - a. Instruktur/pengajar dapat menggunakan bahan dari buku, video, powerpoint, manual, informasi dari internet yang terlampir dalam modul sebagai referensi, untuk mengembangkan modul pelatihan sesuai kebutuhan lembaga diklat masing-masing.
 - b. Proses pembelajaran disampaikan dengan menggunakan berbagai sumber untuk memperkuat pengalaman belajar peserta, baik dalam tahap persiapan, pelaksanaan di kelas, praktek, maupun praktikum melalui kegiatan investigasi, analisis, diskusi, tugas kelompok, presentasi, menonton video dll.

- c. Seluruh materi yang tersedia dalam buku materi dapat menjadi bahan dan gagasan untuk dikembangkan oleh instruktur/pengajar dalam memperkaya materi pelatihan yang akan dilaksanakan.
4. Referensi merupakan acuan dalam penyusunan buku materi pelatihan ini.
5. Lampiran berisikan definisi istilah, daftar rujukan, lembar kerja/jobsheet/instruksi kerja serta bahan yang dapat digunakan sebagai berkas kelengkapan pelatihan.
6. Buku penilaian merupakan kesatuan modul pelatihan, namun disajikan dalam buku terpisah. Buku penilaian dapat berupa soal tertulis, panduan wawancara, serta instruksi demonstrasi yang akan dilaksanakan sesuai dengan proses penilaian yang direncanakan.

C. DAFTAR IKON

Daftar ikon yang dapat digunakan dalam buku ini, antara lain:

IKON	KETERANGAN
<p>Pemeriksaan</p> 	<p>Ikon ini berarti anda diminta untuk mencari atau menemui seseorang atau obyek/sumber belajar lain untuk mendapatkan informasi</p>
<p>Kegiatan</p> 	<p>Ikon ini berarti anda diminta untuk menuliskan/mencatat, melengkapi, latihan/mendemonstrasikan (bermain peran, praktek/ praktikum, presentasi) dan mencatatkan pada lembar kerja buku/media lain sesuai instruksi</p>
<p>Rujukan/ Manual</p> 	<p>Ikon ini berarti anda harus melihat pada aturan, kebijakan yang berlaku, prosedur-prosedur, spesifikasi atau materi pelatihan/sumber informasi lain untuk dapat melengkapi latihan/ aktivitas ini.</p>
<p>Berpikir</p> 	<p>Ikon ini berarti Anda perlu mengambil waktu untuk berpikir/ menganalisa/mendiagnosis dll informasi dan mencatat gagasan-gagasan yang anda miliki.</p>



IKON	KETERANGAN
<p>Berkomunikasi /Berdiskusi</p> 	<p>Ikon ini berarti Anda perlu berbicara/berdiskusi dengan rekan anda untuk gagasan/pendapat yang anda miliki.</p>
<p>Membaca</p> 	<p>Ikon ini berarti Anda perlu memilih bacaan yang dibutuhkan sesuai dengan kebutuhan materi pelatihan.</p>
<p>Video/Youtube</p> 	<p>Ikon ini berarti Anda perlu memilih video/youtube yang dibutuhkan dalam materi pelatihan.</p>

D. BACAAN REFERENSI

Membaca dan menganalisis Peraturan berikut ini
Peraturan Menteri ESDM Nomor 26 Tahun 2021 tentang PLTS Atap yang Terhubung
pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang IUPTL untuk Kepentingan Umum
<https://drive.esdm.go.id/wl/?id=5XQv80ogkSp0tLQsY4wJNUPVSPpcgGtz>

E. PENGANTAR TEORI

BAGIAN 1 MENYIAPKAN PERALATAN DAN KOMPONEN UTAMA UNTUK PEMASANGAN DUDUKAN DAN MODUL SURYA PLTS DI ATAS ATAP (ROOFTOP)

1. MENYIAPKAN ATAP/GENTENG UNTUK PEMASANGAN PLTS ROOFTOP

1.1. Mengidentifikasi Atap/Genteng

Genteng berfungsi sebagai pelindung dari panas dan hujan. Selain itu tampilan genteng menjadi hal yang penting dalam membantu penampilan aksesoris sebuah rumah. Saat ini, ada dua jenis genteng yang ada di pasaran yaitu genteng kepingan dan genteng lembaran. Genteng kepingan terkenal kokoh dan membuat ruang menjadi lebih adem. Namun dalam pemasangannya, genteng jenis kepingan ini memerlukan waktu yang lebih lama dan harus lebih hati-hati supaya tidak bocor.

Genteng jenis lembaran memiliki bobot yang lebih ringan dan proses pemasangannya pun terbilang cepat. Bentuknya yang lembaran, membuat genteng jenis ini mudah dipasang sehingga tak butuh banyak waktu. Kelemahan genteng jenis lembaran adalah berisik ketika hujan dan kurang kokoh ketika diinjak, sehingga beberapa jenis genteng lembaran memerlukan lapisan penguat lainnya.



Gambar 1.1
Genteng jenis kepingan dan lembaran



Gambar 1.2
Peredam Panas Aluminium Foil

Saat ini banyak rumah yang telah memasang lembaran peredam panas di bawah genteng. Ada lima macam bahan peredam panas yang biasa digunakan di bawah genteng, yaitu: Polyester, Aluminium Foil, Polyurethane Foam, Panel Styrofoam dan Bubble Foil. Dengan mengetahui konstruksi atap, jenis-jenis genteng dan aksesoriesnya serta kelebihan dan kekurangannya, diharapkan teknisi dapat lebih teliti dalam menentukan titik dudukan modul surya dan dalam memilih dudukan modul yang tepat ketika memasang PLTS tipe rooftop.

Berikut ini jenis genteng di Indonesia yang dapat dipasang PLTS tipe rooftop:

1. Genteng Tanah Liat

Genteng ini berbentuk kepingan, terbuat dari tanah liat yang dipress, kemudian dipanaskan menggunakan bara api dengan suhu tertentu. Daya tahan genteng jenis ini sangat kuat. Untuk pemasangan diperlukan teknik pemasangan kaitan genteng pada rangka penopang. Selain tampilan alami berwarna oranye kecoklatan hingga merah terakota, genteng tanah liat juga bisa diwarnai dengan



pilihan warna yang menarik. Genteng tanah liat biasanya menggunakan kerangka kayu sebagai dukannya, namun rangka baja ringan juga sudah banyak digunakan.



Gambar 1.3
Memasang genteng tanah liat

Kelebihan dari genteng tanah liat adalah:

- Mempunyai beban yang ringan sehingga meminimalisir beban atap.
- Tangguh, tahan cuaca, tahan lama, kuat tekan sehingga dapat diinjak.
- Menyejukan bagi penghuni rumah,

Kelemahan dari genteng ini adalah:

- Ukurannya kecil, sehingga diperlukan ketelitian pada saat pemasangan reng, agar tidak terjadi kebocoran di dalam rumah.
- Warna mudah pudar, mudah berlumut, jika tidak dilapisi cat atau glasur.
- Rawan kebocoran
- Menggunakan pola pemasangan zig zag dengan sistem sambungan *inlock*.

2. Genteng Keramik



Gambar 1.4 Genteng keramik dengan konstruksi atap kayu dan baja ringan

Genteng keramik berbentuk kepingan dengan ukuran yang juga kecil. Ukuran genteng keramik suatu merk panjang x lebar = 32,4 x 31,1 cm². Genteng keramik dibuat dari tanah liat terpilih dan kaolin dengan cara dipress kemudian dibakar pada suhu di atas 1000°C membuat genteng ini bisa bertahan lebih lama dan mampu menahan beban 180 kg. Genteng ini juga telah melalui proses finishing glasur, agar tampak lebih bagus dan lebih tahan terhadap cuaca. Jenis ini tersedia di pasaran dengan beragam ukuran dan warna. Genteng ini bertumpu di rangka baja ringan atau pun kayu.

Kelebihan genteng keramik

- Lebih tahan lama dan kuat menahan beban manusia.
- Warna akan tahan lama
- Sistem kunci untuk mengaitkan.

Kelemahannya adalah:

- Bobotnya berat
- Diperlukan ketelitian pada saat pemasangan jarak reng agar tidak terjadi kebocoran di dalam rumah.
- Kemiringan atap minimum 30° agar air hujan dapat mengalir sempurna
- Untuk kemiringan atap 45 – 60° perlu bantuan baut ketika memasangnya agar genteng tidak terlepas dan lebih kuat.
- Ukuran reng lebih kecil, sehingga tidak mudah masuk ke bagian bawah genteng, ketika dilakukan pemasangan atau perbaikan PLTS.

3. Genteng Beton



Gambar 1.5
Genteng beton dengan konstruksi atap kayu dan baja ringan

Genteng jenis ini berbentuk kepingan, terbuat dari beton, yaitu campuran pasir, semen, kerikil, dan bahan additif. Bentuknya yang bergelombang dan ada juga yang datar. Bentuk datar muncul seiring dengan gaya arsitektur rumah yang modern dan minimalis sehingga perlu adanya penyesuaian bentuk atap yang lebih sederhana. Genteng beton dapat duduk pada rangka atap kayu maupun baja ringan. Keunggulannya adalah: Kuat dan tahan lama dan daya tahan terhadap tekanan tinggi sehingga tidak mudah goyah oleh angin. Kekurangannya adalah memiliki tekstur yang kasar dan mudah timbul lumut pada permukannya.

4. Genteng Sirap



Gambar 1.6
Pemasangan atap sirap pada bangunan joglo



Gambar 1.7
Pemasangan atap sirap bahan aspal bitumen pada konstruksi atap kayu

Genteng sirap di Indonesia berasal dari kayu ulin yang dikenal juga dengan nama kayu besi atau kayu bulian. Kayu ulin berasal dari daerah Kalimantan dan memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap perubahan suhu, kelembaban, dan pengaruh air laut, sehingga banyak dimanfaatkan sebagai bahan bangunan, seperti konstruksi rumah, jembatan, tiang listrik, bantalan kereta api, dan perkapalan.

Bentuk atap sirap biasanya berupa lembaran tipis memanjang yang dihasilkan dari belahan kayu ulin. Atap sirap dari kayu ulin ini berwarna coklat kehitaman. Ukuran 1 lembar atap sirap biasanya (P x L x T) = 58 x 6x0.3 dan 58x6x0.5 cm³. Lembaran tipis tersebut dikemas dalam ikatan.

Saat ini kayu ulin semakin langka, sehingga bahan atap sirap beralih ke kayu merbau. Kayu merbau merupakan salah satu jenis kayu keras dan biasanya dimanfaatkan dalam konstruksi bangunan, jembatan, bagian-bagian rumah, dan lain – lain. Atap sirap merbau berwarna coklat kekuningan. Bahan lain atap sirap yang mulai digunakan di Indonesia adalah aspal bitumin yang akan dijelaskan berikutnya. Genteng sirap dapat dipasang pada konstruksi atap dari kayu maupun baja ringan.

Kelebihan atap sirap:

- Bahannya cukup ringan.
- Bersifat isolisasi terhadap panas.

Kekurangan menggunakan atap sirap:

- Pemasangannya cukup sulit sehingga biaya yang akan digunakan akan bertambah.
- Bila lembaran sirap belum cukup kering sudah di pasang akan membulut dan berubah bentuk menjadi cekung.

5. Genteng Metal atau Genteng Berbahan Logam



Gambar 1.8
Genteng metal dengan konstruksi atap kayu dan baja ringan

Genteng ini berbentuk lembaran, memiliki ukuran yang lebih besar dari genteng tanah liat, yaitu sekitar 60 – 120 cm, dengan ketebalan 0.3 mm. Pemasangan genteng ini tidak jauh berbeda dengan genteng dari tanah liat. Karena memiliki ukuran yang lebih lebar maka dapat mempercepat waktu pemasangan pada sebuah rumah.

Genteng jenis ini biasanya memerlukan sekrup untuk pemasangannya agar tidak mudah terbawa angin karena bobotnya ringan. Pilihan warna genteng metal sangat bervariasi dan menarik.

Keunggulannya dari genteng metal:

- Mudah dan cepat dalam pemasangannya
- Hemat material karena bentangnya lebih lebar.
- Dilapisi bahan anti karat.
- Menggunakan bahan anti pecah jadi lebih aman dari kebocoran.
- Teknologi baru membuat genteng tidak menimbulkan panas dan tidak mudah terbakar.
- Dilapisi bahan anti lumut sehingga tidak perlu khawatir untuk mengecat ulang yang tentunya memerlukan biaya tambahan.

Kelemahannya yang perlu diperhatikan adalah:

- Jika pemasangannya tidak rapi, akan mengurangi keindahan
- Meningkatkan suhu ruangan
- Menimbulkan suara bising ketika hujan.

6. Genteng Aspal Bitumen



Gambar 1.9
Pemasangan Genteng Bitumen datar

Genteng aspal berbentuk lembaran datar berukuran 28 x 100 cm, 30 x 100 cm, dan yang bergelombang 95 x 200 cm. Ketebalan genteng bitumen 2 - 3 cm. Genteng aspal/ bitumen dibuat dari serat kayu/ selulosa dan bitumen (turunan aspal) dengan proses pemanasan suhu tinggi sehingga didapatkan genteng aspal yang lentur tetapi kuat. Bagian atasnya dilapisi resin bertekstur sehingga tidak licin saat diinjak. Genteng ini termasuk genteng lembaran.

Genteng aspal dapat digunakan pada hampir seluruh jenis rangka atap, baik yang terbuat dari kayu, baja ringan, maupun beton. Selain itu, genteng aspal bitumen dipasarkan dengan berbagai macam warna menarik, sehingga banyak diminati. Material

genteng yang satu ini bersifat solid namun tetap ringan dan lentur. Ada dua model yang tersedia di pasaran, yaitu:



Gambar 1.10
Pemasangan Genteng Bitumen Bergelombang

- Model datar bertumpu pada multipleks yang menempel pada rangka. Pemasangannya memakai paku/steples tembak.
- Model bergelombang (onduline) yang pemasangannya cukup disekrup pada balok gording.

Kelebihannya adalah:

- Ringan 1/6 dari berat genteng beton atau keramik.
- Bisa digunakan untuk kemiringan genteng 22,5° sampai 90°.
- Mudah dan praktis dalam pemasangannya.
- Awet dengan garansi hingga 30 tahun.
- Mampu meredam suara saat hujan.
- Tahan terhadap api & mampu menahan kecepatan angin 96,5 km/jam
- Memiliki pilihan warna dan dilindungi lapisan anti jamur dan anti pudar.

Kelemahannya adalah:

- Harganya relatif mahal karena harus diimport.
- Pemasangan dan perbaikannya memerlukan tukang berkeahlian khusus.

7. Genteng Asbes (Fiber Semen)

Asbestos/asbes, merupakan gabungan enam mineral silikat alam. Penutup atap dari bahan asbes sangat akrab dengan masyarakat, selain harganya murah dan pemasangannya mudah, karena atap asbes memiliki bobot yang ringan sehingga tidak membutuhkan konstruksi gording yang khusus.

Kelebihan genteng asbes adalah:

- Lebih murah dibandingkan genteng.
- Pemasangan relatif lebih mudah.
- Tidak membutuhkan banyak kayu reng tidak mudah bocor dan ruangan menjadi sejuk karena sifat asbes yang tidak menyerap panas.

Kekurangan genteng asbes adalah:

- Penggunaan asbes sebagai atap rumah menurut para ahli kesehatan sebenarnya kurang baik karena dapat menyebabkan penyakit paru-paru, karena serat asbes dalam bentuk partikel mudah lepas dan bertebangan.

8. Dak Beton



Gambar 1.11
Dak beton yang berfungsi juga sebagai atap

Dak beton adalah sebuah komponen konstruksi beton atau panel lantai yang terbuat dari cor beton. Fungsinya untuk membelah bangunan bertingkat, membatasi lantai, atau menambah lantai dalam sebuah bangunan yang dapat berfungsi juga sebagai atap suatu bangunan.

Kelebihan dak beton

- Daya tahan kuat dan tahan lama
- Mampu meradam panas matahari
- Mudah dibersihkan

- Tidak mudah terbakar
- Pekerjaan finishing mudah
- Mudah dan aman dalam pemasangan PLTS di atap

Kekurangan dak beton, antara lain:

- Proses pembuatan rumit
- Kelembababan di dalam ruangan tinggi
- Rentan kebocoran dalam pemasangan dudukan PLTS di atap

Berikut adalah jenis-jenis genteng yang tidak dapat dipasang PLTS tipe Rooftop:

1. Genteng Polycarbonate



Gambar 1.12
Genteng Polycarbonate

Polycarbonate berbentuk lembaran datar dengan pilihan warna bervariasi dan dijual per roll. Polycarbonate ada dua jenis yaitu:

- Polycarbonate rata dengan rongga.
- Polycarbonate bergelombang tanpa rongga.

Genteng Polycarbonate dipasang agar bagian yang dinaungin masih mendapat cahaya dari atas, sehingga pemasangan modul surya akan bertentangan dengan tujuan tersebut.

2. Genteng Kaca



Gambar 1.13
Genteng Kaca

Genteng ini dipakai agar sinar matahari dapat masuk ke dalam ruangan secara langsung sehingga menghemat konsumsi listrik untuk penerangan. Material genteng ini terbuat dari kaca. Genteng ini mempunyai bentuk yang terbatas sehingga kompatibel/sesuai dengan beberapa jenis genteng tertentu saja. Oleh karena itu modul surya tidak akan dapat dipasang di atas genteng kaca.

3. Genteng Atap Kain Terpal



Genteng jenis ini umumnya hanya digunakan pada atap sebuah balkon/jendela. Terbuat dari bahan kain terpal dan plastik padat yang elastis. Jenis ini bertumpu pada kerangka besi yang sudah dibentuk sesuai dengan keinginan. Dikuatkan menggunakan baut dan sekrup supaya dapat menempel kuat pada dinding. Dengan fungsi tersebut, kerangka atap genteng kain terpal dirancang tidak untuk menerima beban tambahan.

1.2. Memeriksa Kualitas Atap Sesuai Prosedur

Pemeriksaan kondisi atap perlu dilakukan untuk memastikan atap siap dipasang modul surya. Sekali modul surya terpasang di atap, maka perbaikan atap akan memakan waktu dan biaya jika harus membongkar kembali modul surya.

1. Memeriksa Kebersihan Atap



Gambar 1.14
Memeriksa kondisi atap

Atap perlu diperiksa dari segala kemungkinan yang dapat merusak atap, seperti sampah, lumut, atau kotoran lainnya. Pastikan juga saluran air lancar dan tidak ada kotoran yang dapat menyumbat. Jika kondisi ini ditemukan, maka pemilik bangunan diminta untuk membersihkan dan merawatnya sebelum pemasangan, agar atap kuat menahan beban panel surya.

2. Memeriksa Kebersihan Ventilasi



Gambar 1.15
Ventilasi udara harus lancar

Pastikan lubang ventilasi atap memiliki kondisi yang cemerlang. Artinya, tidak ada sampah, debu tebal, atau kotoran yang saling menumpuk. Hal ini perlu dilakukan supaya sirkulasi uap air dapat berjalan dengan baik.

3. Memeriksa Atap Bebas dari Gangguan Binatang



Gambar 1.16
Memperbaiki atap yang rusak sebelum memasang dudukan modul surya

Hama adalah salah satu penyebab yang sering membuat atap menjadi cepat rusak. Sebut saja tikus dan hewan pengerat lainnya. Bintang-bintang ini dapat menyusup ke dalam atap, berlarian, atau membuat sarang yang menyebabkan kondisi lingkungan dan atap memburuk. Tikus ini pun dapat memakan kabel-kabel sehingga dapat menimbulkan bahaya. Jika ditemukan kondisi ini laporkan kepada pemilik bangunan untuk mengatasinya.

4. Memeriksa Kondisi Cat Atap dan Dak Beton



Memeriksa kondisi cat atap atau dak beton dari kemungkinan pudar, luntur atau terkelupas. Laporkan kepada pemilik bangunan untuk melakukan pengecatan ulang dengan cat waterproofing. Cat waterproofing memiliki daya rekat kuat sehingga mampu melapisi atap dari rembesan, tidak mudah pudar dan memiliki daya rekat kuat.

5. Memeriksa Plafon



Gambar 1.17
Memeriksa plafon/langit-langit yang rusak karena tetesan air hujan

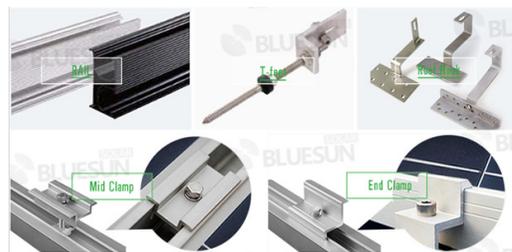
Pada saat memeriksa atap, ada baiknya juga memeriksa kondisi plafon rumah. Selain atap, plafon juga bisa menjadi penyebab kebocoran rumah. Kondisi plafon yang buruk memudahkan kebocoran terjadi. Plafon yang kondisinya tidak ideal perlu dilakukan penyemenan ulang

2. MENYIAPKAN STRUKTUR PENYANGGA/DUDUKAN MODUL SURYA TIPE ROOFTOP

2.1. Identifikasi Dudukan Modul Surya Rooftop



Gambar 18 Pemasangan komponen-komponen utama dudukan modul surya tipe Rooftop



Gambar 1.19 Komponen Utama dan Pendukung Dudukan Modul Surya Rooftop

Setiap pabrik mengembangkan desain bagian-bagian dudukan modul surya yang berbeda-beda tergantung dari standar, kualitas, harga dan kapasitas serta aplikasi PLTS nya. PLTS dengan kapasitas besar memerlukan dudukan modul surya dengan standar yang lebih tinggi, karena perlu mempertimbangkan banyak faktor, misalnya kekuatan angin dan hujan yang menerpanya dan lain-lain.

Bagian-bagian umum dudukan modul surya yaitu: Aluminium Rail, T Feet, L Feet, Roof Hook, Mid Clamp, End Clamp dan sistem pentanahan (grounding). Gambar di samping ini menunjukkan komponen umum dudukan modul surya tipe *rooftop*.

1. Aluminium Rail



Aluminium rail berfungsi sebagai bantalan penopang modul surya. Penggunaan aluminium rail bisa untuk segala tipe instalasi apakah itu rooftop maupun ground mounted

Panjang aluminium rail yang tersedia di pasaran 2,1 m, sehingga jika panjang array lebih dari ukuran tersebut harus disambung dengan *rail joint splice kit*. Alur rail yang dibentuk pada aluminium rail berfungsi sebagai tempat kedudukan baut pengikat yang dapat digeser sesuai dengan jarak antar lubang pada frame modul surya.

Aluminium rail mempunyai beberapa bentuk, tergantung desain pabrik dan dimana modul surya akan dipasang. Aluminium rail terbuat dari aluminium 6005-T5, 6061, atau 6063, dimana permukaannya dilapisi cat anti karat melalui proses *Aluminum Anodized* dan *Black Electrophoresis*.

Berikut beberapa contoh bentuk aluminium rail:

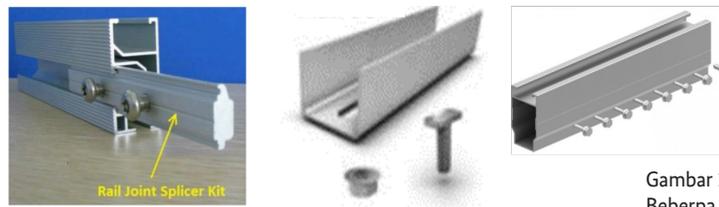


Gambar 1.20
Beberapa bentuk aluminium rail

Alluminium rail dalam posisi terpasang

2. Rail Joint Splice Kit

Rail joint splice kit merupakan adapter khusus untuk menyambung aluminium rail dan untuk perpanjangan sistem “RAILING” dengan menggabungkan beberapa segmen secara aman. Rail Joint Splice Kit ini sangat aman dan kokoh dalam menyambung rangkaian Aluminium Rail untuk Mounting Solar Panel, dengan sistem extension rel unik ini memungkinkan kita untuk menghemat waktu pemasangan.



Gambar 1.21
Beberapa bentuk Rail Joint

Penggunaan rail joint bisa untuk segala tipe instalasi apakah itu rooftop maupun rooftop. Jumlah kebutuhannya menyesuaikan design PV Array yang akan dipasang. Rail Joint Splice Kit ini terbuat dari bahan Aluminium Alloy AL6005-T5, 6061, atau 6063 yang diproses dengan teknik Aluminium Extrusion & Stainless Steel 304.

3. T Feet/ L Feet

Kaki T atau Kaki L (T Feet / L Feet) adalah kaki-kaki yang menghubungkan Aluminium Rail dengan bagian atap yang terbuat dari logam atau beton. T Feet atau L Feet diikat ke ke atap menggunakan skrup atau baid.

Bentuk T Feet/ L feet ini memiliki keunggulan :



Gambar 1.22
Pemasangan T Feet dan L Feet

- Mengakomodasi berbagai jenis panel surya PV.
- Desain konektor yang unik untuk pemasangan cepat dan mudah.
- Parts terbuat dari 6005-T5 aluminium dan SUS 304 dan A2-70 Hexagon Socket Head Cap Bolt untuk menawarkan kekuatan tinggi, tahan korosi dan daya tahan.



4. Tile Roof Hook (Pengait Atap)



Tile Roof Hook berguna sebagaiudukan aluminium rail pada atao dengan genteng yang terbuat dari tanah liat, beton dan keramik. Tile Roof hook dipasang pada bagian atap dengan beberapa cara tergantung desain genteng dan desain tileroof Hook. Berikut beberapa jenis tile roof hook (sesuai dengan spesifikasi perusahaan tertentu):

i. Flat Tile Roof Hook (Pengait Atap Datar)

Flat Roof Hook ini digunakan pada atap-atap genteng yang mempunyai bentuk datar/ rata/ flat dengan kuda-kuda atap dari rangka baja ringan



Item No.	Description	Weather Condition	Dimension(mm)		
			a	b	c
WIK-02	Stainless Steel Hook 2#	Normal	190	30	5
WIK-02-A	Stainless Steel Hook 2# A type	Normal	190	30	5
WIK-02-B	Stainless Steel Hook 2# B type	Normal	190	30	5

ii. Shingle Roof Hook (Pengait Atap Sirap)



Item No.	Description	Weather Condition	Dimension(mm)		
			a	b	c
WIK-04	Stainless Steel Hook 4#	Normal	200	46	5
WIK-04-A	Stainless Steel Hook 4# A type	Normal	200	46	5
WIK-04-B	Stainless Steel Hook 4# B type	Normal	200	46	5

iii. Roman Roof Hook (Pengait Atap Roman)

Roman Roof Hoof, seperti topi romawi, biasanya dipasang pada atap genteng bergelombang dengan kuda-kuda atap dari kayu.





Gambar 1.23 Macam-macam bentuk penyangga modul jenis Roman Roof Hook

2.2. Komponen Pendukung Dudukan Modul Surya Rooftop

Komponen pendukung dudukan modul surya merupakan komponen yang berfungsi memegang modul surya pada dudukan modul surya. Komponen pendukung dudukan modul surya, antara lain:

1. Mid Clamp



Gambar 1.24 Pemasangan Mid Clamp

Mid clamp, sebagai pengikat tengah antar modul surya. Dengan desain akurat, mid clamp bisa membuat koneksi antara modul dengan kuat dan memperbaiki ikatan panel surya pada rel. Penggunaan mid clamp bisa untuk segala tipe instalasi apakah itu rooftop maupun ground monted.

Paket terdiri dari:

- 1 buah mid clamp tipe T dengan ukuran antara 35 – 50 mm sesuai ukuran bingkai modul surya, bahan Aluminium 6005-T5;
- 1 pasang mur dan baut untuk koneksi ke aluminium rail.

2. End Clamp



Gambar 1.25 Pemasangan End Clamp

End clamp berfungsi sebagai pengikat pinggir pada modul surya agar terpasang lebih kokoh. Penggunaan end clamp bisa untuk segala tipe instalasi apakah itu rooftop maupun ground monted.

End Clamp untuk modul surya dirancang untuk 35mm-50mm sesuai tebal bingkai modul. Dengan desain akurat, clamp akhir bisa membuat koneksi antara modul surya dengan kuat dan memperbaiki ikatan panel ke rail. Paket terdiri dari:

- 1 buah end clamp tipe Z dengan ukuran 35 – 50 mm dengan bahan Aluminium 6005-T5
- 1 pasang mur dan baut untuk koneksi ke aluminium rail.

2.3. Bentuk-bentuk Pemasangan Dudukan Modul Surya Tipe Rooftop

Mounting support biasa disebut dengan penyangga modul surya atau module racking umumnya digunakan untuk menempatkan dan menstabilkan PV modul di berbagai permukaan seperti pada tanah/ ground, atap, ataupun pada cascade bangunan. Pemasangan PV mounting support atau penyangga modul memiliki peran yang sangat penting dalam konstruksi sistem listrik tenaga surya sehingga memungkinkan pemasangan PV modul di atap dengan kuat dan bahkan sebagai bagian dari struktur bangunan (BIPV). Berbagai tipe penyangga modul seperti berikut:

1. Sistem Pemasangan Dudukan Modul Surya pada Atap Datar/ Flat Roof

Mounting support atau penyangga modul jenis ini cocok untuk digunakan pada bangunan dengan jenis atap yang datar seperti bahan concrete, bitumen, metal, green roof, kerikil atau trapezoidal sheet. Terdapat dua pilihan sistem yang dapat digunakan untuk pemasangan PV system dengan tipe racking ini. *Adjustable Tilt Mounting System* (pemasangan dengan kemiringan yang disesuaikan) dan *Fixed Triangle Mounting System* (pemasangan dengan kemiringan- segitiga tetap).



Gambar 1.26
Dudukan modul surya untuk tipe atap datar

Aplikasi surya komersial dan industri sering ditemukan di atap datar dan luas, seperti di mal atau pabrik. Atap ini mungkin masih memiliki sedikit kemiringan tetapi tidak sebanyak atap miring. Sistem pemasangan solar PV untuk atap datar biasanya dilapisi dengan beberapa penetrasi.



Gambar 1.27
Pemasangan Modul surya di atas atap beton cor menggunakan sistem ballasted and non-penetration sistem

Karena mereka diposisikan pada permukaan yang luas dan rata, sistem pemasangan atap datar dapat dilakukan secara relatif mudah dan mendapat manfaat dari pra-perakitan. Panel dimiringkan pada sudut terbaik untuk menangkap sinar matahari paling banyak, biasanya antara 5 dan 15°. Agar dudukan modul surya dapat berdiri kokoh pada atap dapat dilakukan dua cara, yaitu memasang ballast pada setiap dudukan atau melakukan penetrasi ke dalam atap untuk mengikat dudukan modul surya. Modul surya terpasang pada dudukannya melalui klem atau klip.

Pada atap datar luas, panel diposisikan terbaik menghadap ke selatan untuk wilayah di atas khatulistiwa, tetapi jika itu tidak mungkin, tenaga surya masih dapat dihasilkan dalam konfigurasi timur-barat. Banyak pabrikan sistem pemasangan atap datar juga memiliki sistem kemiringan timur-barat atau ganda. Sistem timur-barat dipasang sama seperti dudukan atap berbantal yang menghadap ke selatan, kecuali sistem diputar 90° dan panel saling berhadapan, memberikan sistem kemiringan ganda. Lebih banyak modul yang cocok di atap karena jarak antar baris yang lebih sedikit.

Sistem pemasangan dudukan atap datar datang ada dalam berbagai variasi antara lain sistem aluminium, stainless steel, dan sistem berbasis plastik dan polimer yang mulai populer.

2. **Sistem Pemasangan Dudukan Modul Surya pada Atap Miring/Sloped Roof**
Mounting Support atau penyangga modul surya jenis ini adalah tipe support yang umum digunakan untuk aplikasi di atap bangunan. Panel surya yang dipasang di perumahan sering ditemukan di atap miring. Ada banyak opsi sistem pemasangan pada atap miring ini, yang paling umum adalah **railing, rail-less dan shared rail**. Semua sistem ini memerlukan beberapa jenis penetrasi atau penahan ke atap, apakah itu melekat pada reng, kaso atau langsung ke kuda-kuda.

- i. **Sistem rel/railing.**

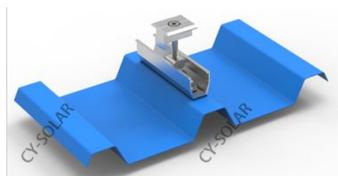


Gambar 1.28
Pemasangan Modul Surya Sistem
Railing di atas genteng jenis Bitumen

Sistem PLTS perumahan standar menggunakan rel yang melekat pada atap untuk mendukung barisan panel surya. Setiap panel, biasanya diposisikan secara vertikal/bergaya potret, menempel pada dua rel dengan klem. Rel dipasang ke atap dengan jenis baut atau sekrup. Jika atap bangunan sudah dilengkapi dengan lapisan peredam panas, maka setelah *roof hook* dipasang, peredam panas harus dikembalikan ke posisi semula, sehingga fungsinya sebagai peredam panas/penahan percikan air masih bisa berfungsi.

- ii. **Sistem tanpa rel (rail-less)**

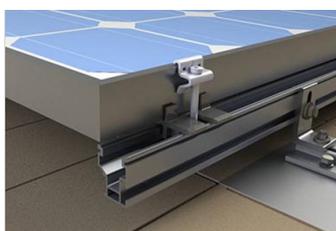
Sistem ini tidak duduk pada aluminium rail, panel surya langsung menempel ke perangkat keras yang terhubung ke baut / sekrup yang masuk ke



Gambar 1.29
Pemasangan Modul Surya Sistem
Rail-less di atas Genteng jenis Metal

atap. Meskipun tanpa rel, pengaturan jarak modul masih dapat dilakukan. Sistem tanpa rel dapat mengurangi biaya produksi dan pengiriman, serta dengan komponen yang lebih sedikit akan mempercepat waktu pemasangan. Panel tidak terbatas pada arah rel yang kaku dan dapat diposisikan dalam orientasi apa pun dengan sistem tanpa rel.

iii. Sistem *shared-rail*

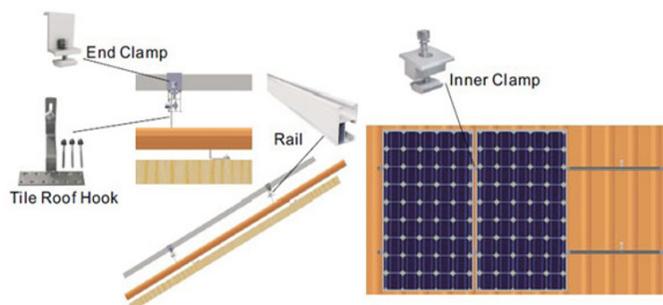


Gambar 1.30
Pemasangan Modul Surya Sistem
Shared-rail

Sistem ini memungkinkan satu aluminium rail menopang salah satu dari dua buah modul surya, sehingga dua baris modul surya yang biasanya memerlukan 4 rail, cukup menggunakan 3 rail saja. Keuntungannya lebih sedikit penetrasi terhadap atap. Panel dapat diposisikan dalam orientasi apa pun, dan sekali penentuan posisi rel yang akurat ditentukan, pemasangan menjadi cepat. Ada

beberapa tipe mounting system atau penyangga modul surya dalam jenis aplikasi ini, antara lain:

- **Mounting System untuk Tile Roof /Atap Genteng**

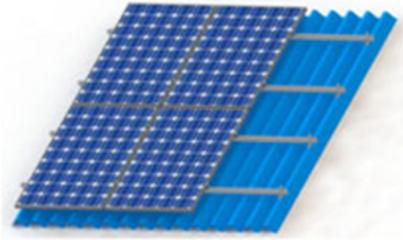


Gambar 1.31
Mounting support tipe Tile Roof

Jenis mounting support atau penyangga modul ini dapat digunakan untuk hampir semua jenis genteng. Tile roof racking system ini dirancang untuk memberikan fleksibilitas maksimum bagi sistem listrik tenaga surya di atap bangunan terutama residensial/ perumahan dan bangunan komersial dengan kemiringan genteng 10-60° dan kecepatan angin 300 km/ jam.

Module racking ini dapat memungkinkan aplikasi modul surya untuk menghasilkan listrik di berbagai tipe atap genteng bangunan. Penyangga modul ini dapat dirakit *on-the-spot* sehingga membuat proses instalasinya lebih mudah dan cepat untuk menghemat waktu dan biaya, serta meningkatkan kekuatan struktur system PV di atap dan memperbaiki penampilan atap bangunan anda.

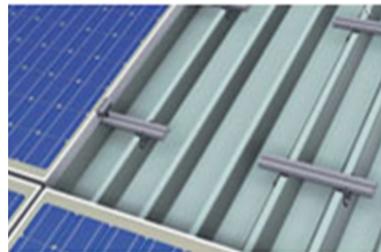
- **Mounting System untuk Metal Roof/Atap Logam**



Gambar 1.32
Mounting Support Tipe Metal Roof

Jenis mounting support atau penyangga modul ini dirancang untuk dapat diaplikasikan pada atap logam dengan kemiringan 0 - 60 derajat. Sistem racking modul surya ini menggunakan jenis kait L-feet yang umumnya digunakan untuk instalasi sistem listrik tenaga surya pada jenis atap berbahan logam.

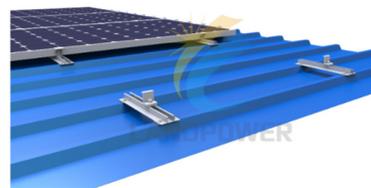
- **Mounting System untuk Trapezoidal Sheet Roof/Atap Lembaran Trapesium**



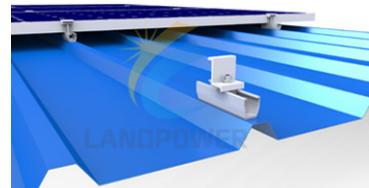
Gambar 1.33
Pemasangan Dudukan Modul Surya di atas Lembaran Atap Metal berbentuk Trapesium

Jenis mounting support/ dudukan modul surya ini dapat dipasang untuk atap lembaran trapesium tanpa harus melubangi atap. Pemasangan racking jenis ini menggunakan sekrup yang menjepit pada lembar-lembar atap bangunan.

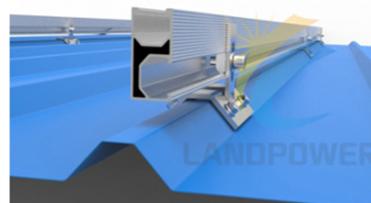
Jenis dudukan modul surya lainnya memerlukan sekrup yang menembus bagian atas atap metal trapesium hingga terikat ke kaso, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar a
Trapezoidal Roof Mini Rail System dipasang pada atap metal trapesium dan modul surya dipasang secara potrait



Gambar b
Trapezoidal Roof U Rail System dipasang pada atap metal trapesium dan modul surya dipasang secara landscape



Gambar c
Trapezoidal Roof Mini Rail System dipasang pada atap metal trapesium dan modul surya dipasang secara potrait



Gambar d
Trapezoidal Roof L-Feet and Hanger Bolt System dipasang dengan cara disekrupkan ke genteng tipe metal trapesium dan menembus struktur atap

3. Solar Shingles and BIPV

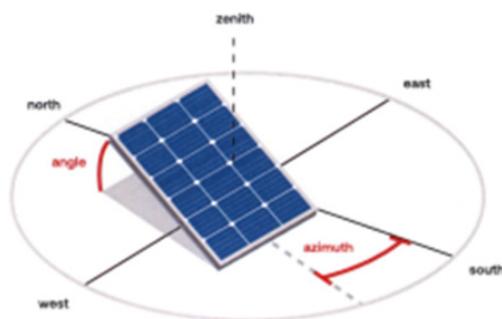
Ketika masyarakat umum menjadi lebih tertarik pada estetika dan instalasi surya yang unik, pemasangan modul surya model sirap meningkat popularitasnya. Pemasangan modul surya tipe atap sirap (Solar Shingles) ini adalah bagian dari keluarga Building Integrated PV (BIPV), yang berarti bahwa PLTS dibangun ke dalam struktur bangunan. Tidak ada sistem pemasangan yang diperlukan untuk produk-produk PLTS ini karena produk ini terintegrasi ke dalam atap, menjadi bagian dari struktur atap.



Gambar 1.34
Solar Shingles dan BIPV

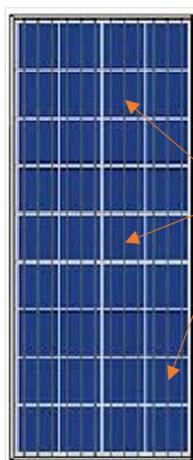
2.4. Posisi Dudukan dan Modul Surya

Meskipun situasi atap sudah tertentu, namun ketika pemasangan dukungan dan modul surya tetap seoptimal mungkin mempertimbangkan arah mata angin dan gerakan sinar matahari. Gambarkan posisi, arah, sudut azimuth modul surya pada pemasangan sebenarnya, seperti contoh pada gambar di bawah.



Gambar 1.35
Ilustrasi arah dan sudut pemasangan modul fotovoltaik

3. MENYIAPKAN MODUL SURYA (MODUL FOTOVOLTAIK)



Keping-keping sel surya 0,45 Vdc close circuit

Gambar 1.36
Modul surya, merupakan kumpulan sejumlah keping sel surya

Modul Surya atau Modul Fotovoltaik adalah rangkaian sel-sel fotovoltaik yang saling terhubung lengkap dan terlindungi dari lingkungan sekitar. Sedangkan panel surya adalah modul-modul fotovoltaik yang diintegrasikan secara mekanis, dirakit dan diinterkoneksi secara elektrik.

Sel fotovoltaik merupakan perangkat fotovoltaik yang paling dasar yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik dengan proses efek fotovoltaik, karenanya dinamakan sel fotovoltaik (Photovoltaic cell/ PV).

Tegangan listrik yang dihasilkan oleh sebuah sel surya sangat kecil, **sekitar 0,6 Vdc tanpa beban (open circuit) atau 0,45 Vdc dengan beban**. Untuk mendapatkan tegangan listrik yang besar sesuai keinginan diperlukan beberapa sel surya disusun secara seri.

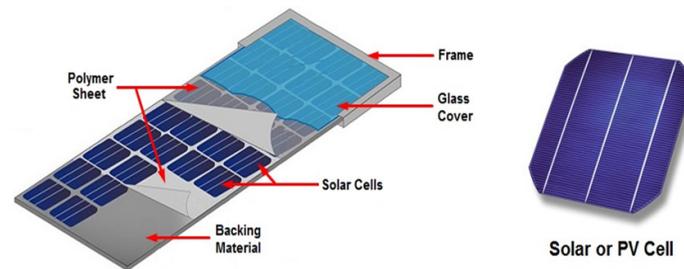
36 keping sel surya tersusun seri, menghasilkan tegangan nominal sekitar 16,2 Vdc. Tegangan ini cukup untuk mengecras batere 12 Vdc.

Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih besar lagi, maka diperlukan lebih banyak lagi sel surya. Gabungan dari beberapa sel surya ini disebut Modul Surya. Untuk keperluan secara umum tegangan DC yang dihasilkan rangkaian modul surya diubah menjadi arus AC oleh inverter.

Untuk menentukan bagus tidaknya sebuah sel surya digunakan istilah efficiency. Menentukan nilai efisiensi ini menggunakan rumus yang rumit dengan berbagai persyaratan dan dihitung dalam persen (%). Namun kita definisikan saja secara sederhana yaitu, perbandingan energi listrik yang dihasilkan dari suatu sel surya terhadap energi sinar matahari yang mengenai permukaan sel surya tersebut.

Kapasitas modul surya yang dijual di pasaran saat ini dari berbagai merk, antara lain: 10 Wp; 20 Wp; 30 Wp; 50 Wp; 80 Wp; 100 Wp; 120 Wp; 150 Wp, 200 Wp; 250 Wp; 260 Wp; 300 Wp dan 310 Wp.

3.1. Bagian bagian Panel Surya Secara Umum



Gambar 1.37
Konstruksi dan
Bagian-bagian Modul
Surya

1. Metal backing atau Substrat

Metal backing berfungsi menopang seluruh komponen modul surya. Material substrat harus mempunyai konduktivitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya. Substrat umumnya menggunakan material logam seperti aluminium atau molybdenum. Untuk sel surya dye-sensitized (DSSC) dan sel surya organik, substrat juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya, sehingga material yang digunakan umumnya material konduktif namun transparan, seperti indium tin oxide (ITO) dan flourine doped tin oxide (FTO)

2. Material Semikonduktor (Solar Cells)

Solar cell merupakan bagian inti modul surya dan biasanya memiliki tebal hingga beberapa ratus mikrometer untuk panel surya generasi pertama, dan 1-3 mikrometer untuk panel surya lapisan tipis. Material semikonduktor berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Selain substrat sebagai kontak positif, pada permukaan material semikonduktor biasanya dilapisi material metal trans-

paran sebagai kontak negatif. Pada stu modul surya umumnya memiliki 36 buah solar cell.

3. Polymer Sheet (Lapisan anti-reflektif)

Polymer sheet berfungsi meminimalkan refleksi cahaya, agar cahaya terserap oleh semikonduktor secara optimal.

Polymer sheet adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimalkan cahaya dipantulkan kembali.

4. Cover Glass atau Enkapsulasi

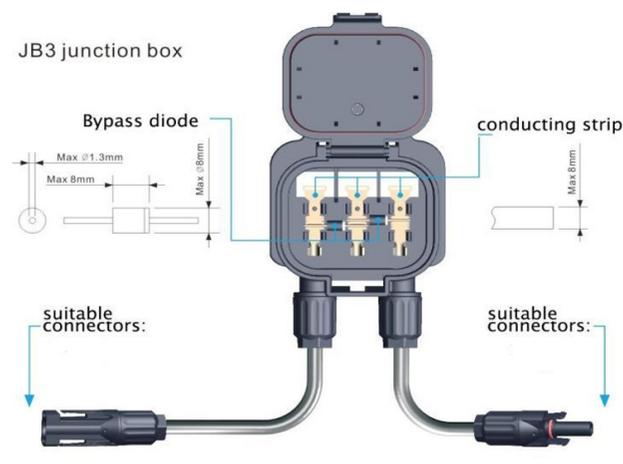
Cover glass atau enkapsulasi adalah bagian luar yang berfungsi sebagai pelindung bagian bagian modul surya dari hujan atau kotoran. Masing-masing komponen tersebut memiliki keterkaitan antara satu dengan yang lainnya. Cara kerja modul surya akan optimal, jika masing-masing komponen ini dalam kondisi baik, sehingga setiap komponen saling mendukung dalam kinerja dan ketahanan.

5. Frame

Frame berfungsi kerangka yang melindungi semua bagian pinggir konstruksi modul surya. Selain itu frame juga berfungsi sebagai bagian pengikat modul surya terhadap dudukan modul. Oleh karena itu pada frame terdapat empat lubang untuk masuknya boud pengikat dengan dudukan modul surya. Gambar xx memperlihatkan konstruksi dan bagian-bagian modul surya sebagaimana dijelaskan di atas.

6. Junction Box

Solar PV Junction Box (PVJB) memiliki peran sederhana, tetapi penting, yaitu menampung semua bit listrik pada panel surya dan melindunginya dari lingkungan. PVJB adalah bagian penting dari modul surya yang berupa selungkup pada modul tempat PV cell string terhubung secara elektrik.

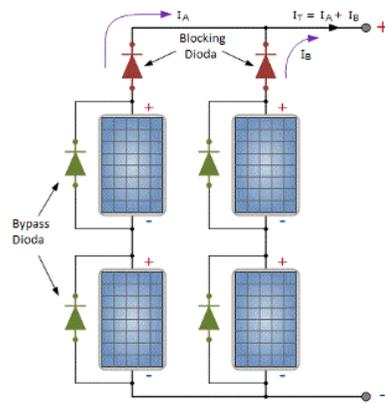


Gambar 1.38
Solar PV Junction Box 3

PVJB dipasang di bagian belakang modul surya (TPT) dengan perekat silikon, yang menghubungkan (biasanya) 4 konektor bersama-sama dan merupakan



Gambar1.39
PVJB dengan 4 konektor



Gambar 1.40
Dioda dalam Susunan Fotovoltaik

antarmuka keluaran dari modul surya. (TPT atau Tedlar Polyester Tedlar) merupakan lapisan film komposit yang digunakan sebagai foil penutup di bagian belakang modul surya).

Dengan menggunakan PVJB, menjadi mudah untuk menghubungkan panel surya ke larik (array). Biasanya kabel disambungkan dengan konektor MC4/ MC5 yang terpasang di ujung.

PVJB yang baik menjaga korosi di terminal seminimal mungkin, karena akan menghalangi masuknya air. Saat membeli modul surya, selalu diperhatikan peringkat IP dari PVJB. PVJB yang sepenuhnya kedap air ditandai dengan kode IP 67. Kebanyakan PVJB memiliki dioda. Fungsi dioda adalah untuk menjaga aliran daya berjalan ke satu arah, dan mencegah daya masuk kembali ke panel saat tidak ada sinar matahari.

Bypass Diode dipasang di dalam PVJB, dan biasanya sebagai satu kesatuan produk modul surya yang dihasilkan oleh pabrik. Bypass diode dipasang paralel dengan output modul surya yang berguna untuk meneruskan arus listrik dari modul surya lain, ketika modul surya yang paralel dengan bypass diode tidak bekerja optimal.

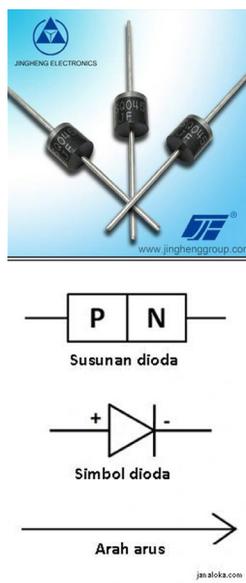
Bypass diode bekerja efektif di dalam rangkaian modul surya yang dihubungkan seri (string), sistem yang menggunakan SCC-MPPT dan Sstring Inverter yang dihubungkan seri paralel. Jumlah bypass diode di dalam satu modul minimal satu buah.

Blocking Dioda adalah diode yang dipasang secara seri terhadap setiap PV String oleh instalatir PLTS. Blocking diode berguna untuk mencegah arus listrik mengalir dari battery bank ketika panel surya, ketika panel tidak mengalirkan listrik (misal malam hari). Dengan demikian blocking diode dapat ditambahkan pada PLTS off-grid.

7. Blocking Diode dan Bypass Diode

Pengertian

Diode merupakan bentuk semikonduktor, Semikonduktor adalah suatu benda yang tidak bisa menghantarkan arus listrik pada suhu yang rendah, semikonduktor hanya bisa menghantarkan listrik pada suhu lebih tinggi. Sedangkan definisi semikonduktor adalah suatu bahan yang mempunyai sifat hantaran listrik diantara isolator dan konduktor. Beberapa contoh perangkat semikonduktor adalah solar cell, dioda, transistor, termistor, dan Integrated Circuit (IC).

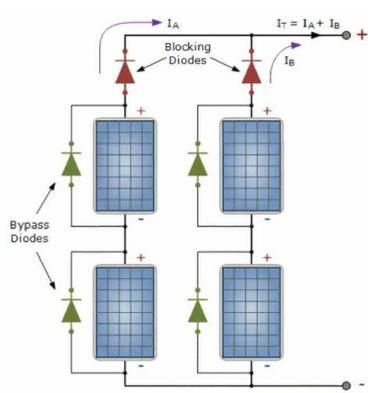


Gambar 1.41
Bentuk, Simbol dan Arah Arus Listrik Dioda

Dioda atau dalam bahasa Inggris disebut Diode adalah komponen elektronika yang dapat menghantarkan arus listrik ke satu arah saja. Jika arah arusnya terbalik, maka Dioda akan menghambat arus listrik tersebut. Karena sifatnya yang dapat menghantarkan arus listrik ke satu arah (*forward bias*) dan menghambat arus listrik dari arah sebaliknya (*reverse bias*), dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor ini sering digunakan sebagai penyearah bentuk gelombang (*wave rectifier*) dalam pencatu daya dan detektor radio. Dioda juga sering digunakan pada rangkaian-rangkaian listrik dan elektronika yang memerlukan hasil “satu arah”. Bahan semikonduktor yang sering digunakan untuk membuat Dioda adalah bahan Silikon (Si) dan bahan Germanium (Ge).

Pada awal penemuannya, perangkat yang menghantarkan arus listrik ke satu arah dan menghambat dari arah sebaliknya ini disebut dengan nama Rectifier atau Penyearah. Nama Dioda ini pertama kali diperkenalkan oleh *William Henry Eccles* pada tahun 1919. Istilah Dioda ini berasal dari kata “*Di*” yang artinya adalah “dua” dan kata “*ode*” yang artinya adalah “jalur”.

i. Blocking Diode



Gambar 1.42
Cara kerja Blocking Diode

Pada awal sejarahnya PV System belum mengenal Solar Charge Controller/Battery Charge Regulator/Pemanfaatan energi matahari cenderung langsung dari PV Module menuju baterai penyimpanan. Untuk mendapatkan arus yang lebih besar dalam mengisi baterai digunakanlah konfigurasi paralel pada PV Modulennya dengan perhitungan Arus total = $I_A + I_B$. Pada siang hari ketika matahari terik ada beda potensial yang tinggi pada keluaran PV Module ini yang akan mengalir arus charging ke dalam baterai yg memiliki beda potensial rendah sampai penuh.

Pada malam hari karena tidak ada sinar matahari maka beda potensialnya menjadi terbalik dimana tegangan PV module tentu lebih rendah dari tegangan baterai karena sudah terisi penuh disiang harinya. Karena ada beda potensial tinggi pada baterai, tegangan akan kembali mengalir ke PV module yg memiliki potensial rendah, sehingga harus/wajib dipasang “Blocking Diode”, agar arus tidak bisa mengalir balik ke PV Module yang dapat membuat habis energi baterai.

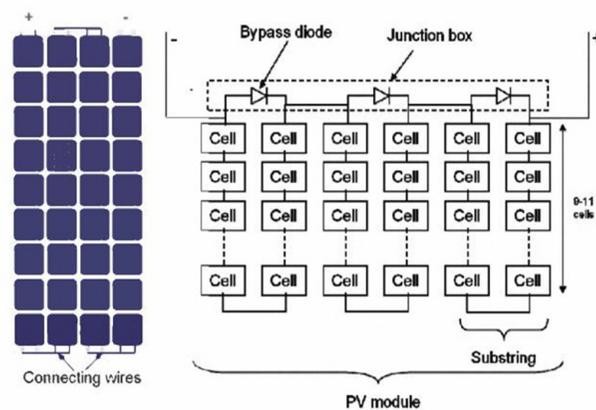
Metode itu berlaku untuk PV System konvensional tanpa menggunakan

SCC/BCR, namun jika sudah menggunakan SCC/BCR, maka fungsi “blocking diode” ini sudah tidak efektif lagi karena sudah ada di dalam SCC/BCR. Fungsi Blocking Diode akan lebih efektif jika digunakan untuk penambahan sistem charging baterai external.

Blocking dioda sangat penting dipasang pada sistem baik seri atau paralel, tentunya bukan sembarang dioda. Untuk lebih efektif sebisa mungkin memakai type Fast Recovery Diode (FRD) dengan kemampuan arus sama dengan arus yg dilewatinya. (pelajari link berikut: <http://m.id.gnscompo.net.com/info/introduction-to-ultrafast-recovery-diode-41704921.html>)

Dioda dengan karakter arus jauh lebih besar dari yg dilewati hanya akan menjadi penghambat karena menambah nilai resistansi. Kebalikannya jika tidak putus akan menimbulkan panas dan membuat jenuh konduktor disekitarnya (menghitam). Untuk solar PV dengan sel-sel kecil apalagi yg dirakit dengan kualitas rendah oleh pabriknya, sistem array sangat perlu dipasang blocking diode untuk menjaga jika rangkaian sel hangus, maka tidak akan menghanguskan rangkaian so;ar cell lainnya. Surge arrester sebaiknya dipasang di setiap solar pv setelah MCB sebelum melewati blocking dioda. Tapi ini optional tidak harus begitu

ii. Bypass Diode

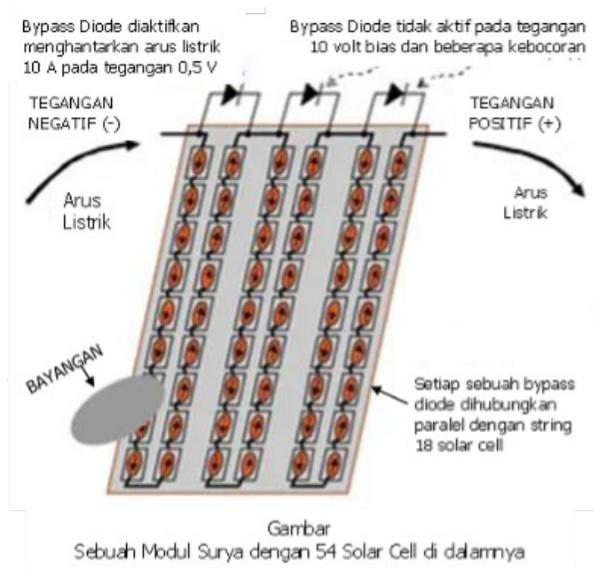


Gambar 1.43
Konstruksi cell-Silicon PV module.
Perhatikan rangkaian seri solar cell dan bypass diode

Secara garis besar dioda bypass dipasang secara paralel terbalik dengan sel atau sekelompok sel. Selama operasi normal, ketika semua sel mendapat paparan sinar, sel-sel tersebut menghasilkan listrik. Dioda bypass mulai beroperasi ketika satu atau beberapa sel tertutup bayangan. Artinya dioda bypass akan bekerja saat ada beberapa cell terkena shading, maka pv diatas 100 Wp kebanyakan sudah dipasangi diode bypass pada junction box nya oleh pabrikan PV itu sendiri.

Dalam arti luas Diode Bypass akan membantu saat salah satu panel surya pada rangkaian sistem panel surya yang terkena bayangan atau tidak berfungsi optimal. Ketika salah satu panel terkena bayangan, maka akan mengurangi produksi daya sistem secara keseluruhan dan lebih jauh dapat menghasilkan resistensi yang cukup besar. Ketika menggunakan bypass dioda, arus yang dihasilkan oleh panel surya yang tidak terkena bayangan akan

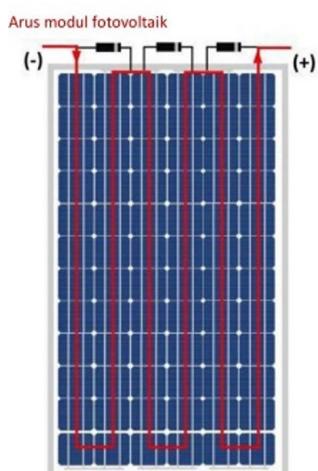
mengalir melalui dioda untuk menghindari resistensi dari panel surya yang tidak berfungsi optimal, sehingga akan memaksimalkan daya keluaran. Bypass dioda tidak dapat bekerja, kecuali pada koneksi seri yang menghasilkan tegangan (Voltase) cukup tinggi. Sistem ini dapat maksimal bekerja pada Solar Charger Controller tipe MPPT atau String Inverter yang menggunakan rangkaian seri panel surya.



Gambar 1.44
Cara kerja bypass diode pada sebuah modul surya



Gambar 1.45
Cara kerja bypass diode pada sebuah modul surya



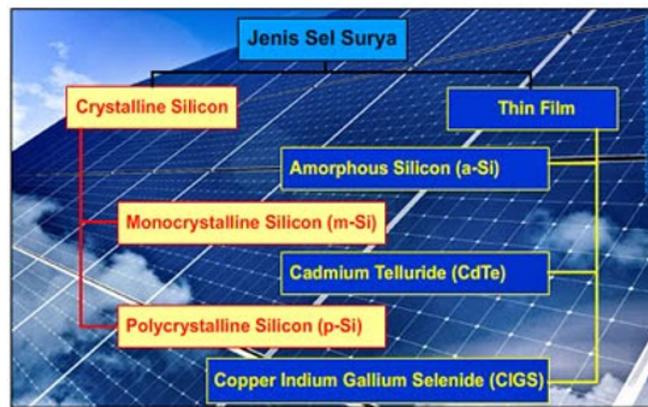
Gambar 1.46
Modul surya dengan tiga bypass diode

Contoh Gambar di samping ini mengilustrasikan modul fotovoltaik dengan 72 sel yang dihubungkan secara seri dan dilindungi oleh tiga dioda bypass selama operasi normal. Jumlah maksimum sel yang akan dilindungi oleh satu dioda terutama dihitung berdasarkan tegangan jatuh (breakdown voltage) dari sel dan tegangan maju (FV – Forward Voltage) dari dioda. Biasanya, tegangan jatuh dari sel adalah 30 V untuk jenis monocrystalline dan 12 sampai 24 V untuk jenis polycrystalline.

Dioda Schottky sering digunakan untuk tujuan ini karena memiliki nilai FV yang rendah di kisaran 0,15 sampai 0,5 V. Dioda Schottky dapat melindungi hingga 24 sel dengan mengasumsikan bahwa tegangan rangkaian terbuka dari sel berbasis silikon adalah 0,5 V. Oleh karena itu, tiga dioda digunakan untuk melindungi panel dengan 72 sel. Selain itu, dioda harus memiliki nilai puncak tegangan lebih yang terjadi secara periodik (MRRV – Maximum Repetitive Reverse Voltage) yang mencukupi. Hal ini diperlukan karena pada suhu terendah tegangan mungkin sama dengan nilai maksimum tegangan rangkaian terbuka dari modul fotovoltaik dibagi dengan jumlah dioda. Mengingat tegangan rangkaian terbuka modul fotovoltaik adalah sebesar 40 V dan maksimum 48 V karena suhu modul fotovoltaik menurun, MRRV dari masing-masing dioda harus lebih tinggi dari 16 V.

Baca juga referensi ini: <https://temonsoejadi.id/2020/05/02/perluah-dioda-blocking-dan-dioda-bypass-pada-panel-surya/>

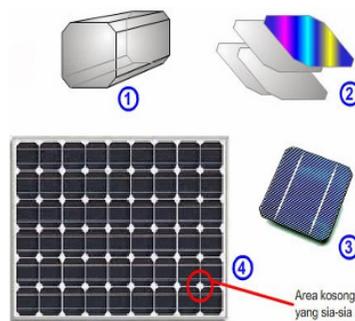
3.2. Jenis-jenis Modul Surya



Gambar 1.47
Diagram Jenis-jenis
Sel Surya

Jenis-jenis sel surya digolongkan berdasarkan teknologi pembuatannya. Secara garis besar sel surya dibagi tiga jenis, sebagaimana gambar berikut ini, yaitu:

1. Monocrystallin



1. Batangan kristal silikon murni
2. Irisan kristal silikon yang sangat tipis
3. Sel surya monocrystalline yang sudah jadi
4. Sebuah panel surya monocrystalline yang berisi susunan sel surya monocrystalline

Jenis ini terbuat dari batangan kristal silikon murni yang diiris tipis-tipis menjadi kepingan-kepingan kristal silikon yang tipis. Dengan teknologi ini, akan dihasilkan kepingan sel surya yang identik satu sama lain dan berkinerja tinggi, sehingga menjadi sel surya yang paling efisien dibandingkan jenis sel surya lainnya.

Efisiensi sel surya monocrystalline anatar 15-20%. Kelemahannya, sel surya jenis ini jika

Gambar 1.48
Bagian-Bagian Panel Surya Monocrystalline

disusun membentuk solar modul akan menyisakan banyak ruangan yang kosong karena sel surya ini berbentuk segi enam atau bulat, tergantung dari bentuk batangan kristal silikonnya, seperti terlihat pada gambar di samping ini.

2. Polycrystalline



Gambar 1.49
Polycrystalline

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur / dicairkan kemudian dituangkan dalam cetakan yang berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikonnya tidak semurni pada sel surya monocrystalline, karenanya sel surya yang dihasilkan tidak identik satu sama lain dan efisiensinya lebih rendah, sekitar 13% - 16%.

Tampilannya nampak seperti ada motif pecahan kaca di dalamnya. Bentuknya yang persegi, jika disusun membentuk modul surya, akan rapat dan tidak akan ada ruangan kosong yang sia-sia seperti susunan pada modul surya monocrystalline. Proses pembuatannya lebih mudah dibanding monocrystalline, karenanya harganya lebih murah. Jenis ini paling banyak dipakai saat ini. Tabel 1.1 Menggambarkan perbandingan antara Modul Surya Monocrystalline dengan Polycrystalline

Tabel 1.1 Perbandingan Modul Surya Jenis Kristal Silikon

Keterangan	Modul Surya Monocrystalline	Modul Surya Polycrystalline
Jenis sel surya	Silikon tunggal	Campuran silikon dengan material lain
Harga jual/ Wp (PV insight 3 Mei 2018)	≥ Rp 10.258,77	≥ Rp 8.848,51
Efisiensi modul	Sekitar 15 – 20%	Sekitar 13 – 18%
Estetika	Rata-rata berwarna hitam	Rata-rata berwarna kebiruan
Kebutuhan area	6-9 m ² per 1 kWp	8-9 m ² per 1 kWp
Garansi	25 tahun	25 tahun
Ketahanan suhu	Berkinerja lebih baik pada suhu tinggi dan kondisi teduh	Kurang efisien pada suhu lebih tinggi dari spesifikasi
Lainnya	Teknologi tertua yang paling banyak digunakan.	Lebih sedikit menggunakan & menghasilkan limbah silikon.

3. Thin Film Solar Cell (TFSC)



Gambar 1.50 Thin Film Solar Cell

Jenis sel surya ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Sel surya jenis ini sangat tipis karenanya sangat ringan dan fleksibel. Jenis ini dikenal juga dengan nama TFPV (Thin Film Photovoltaic).

Berdasarkan materialnya, sel surya thin film ini digolongkan menjadi:

- i. Amorphous Silicon (a-Si) Solar Cells.
Sel surya dengan bahan Amorphous Silicon ini, awalnya banyak diterapkan pada kalkulator dan jam tangan. Namun seiring dengan perkembangan teknologi pembuatannya penerapannya menjadi semakin luas. Dengan teknik produksi yang disebut “stacking” (susun lapis), dimana beberapa lapis Amorphous Silicon ditumpuk membentuk sel surya, akan memberikan efisiensi yang lebih baik antara 6% - 8%.
- ii. Cadmium Telluride (CdTe) Solar Cells.
Sel surya jenis ini mengandung bahan Cadmium Telluride yang memiliki efisiensi lebih tinggi dari sel surya Amorphous Silicon, yaitu sekitar: 9% - 11%.
- iii. Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Solar Cells.
Dibandingkan kedua jenis sel surya thin film di atas, CIGS sel surya memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sekitar 10% - 12%. Selain itu jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya Cadmium seperti pada sel surya CdTe. Teknologi produksi sel surya thin film ini masih baru, masih banyak kemungkinan di masa mendatang. Ongkos produksi yang murah serta bentuknya yang tipis, ringan dan fleksibel sehingga dapat dilekatkan pada berbagai bentuk permukaan, seperti kaca, dinding gedung dan genteng rumah dan bahkan tidak menutup kemungkinan kelak dapat dilekatkan pada bahan seperti baju kaos.
- iv. Spesifikasi Modul Surya
Setiap instalatir PLTS harus memperhatikan spesifikasi modul surya agar dapat menghitung kebutuhan modul surya dan dudukan modul surya dengan benar dan akurat. Setiap pabrikan mempunyai spesifikasi masing-masing untuk setiap modul surya yang diproduksinya. Tabel berikut salah satu contoh spesifikasi modul surya yang dibuat oleh PT Surya Utama Putra.

Spesifikasi tersebut tercantum pada Product Catalogue dan juga pada bagian belakang modul surya. Umumnya spesifikasi modul surya meliputi:

- Maximum Power (P_{max}) atau ($P_{mp\ p}$) dalam Wp
- Maximum Voltage (V_{pm}) dalam Vdc
- Maximum Current (I_{pm}) dalam A
- Open Circuit Voltage (V_{oc}) dalam Vdc
- Short Circuit Current (I_{sc}) dalam A

- Solar PV Module Efficiency (η_{PV}) dalam %
- Solar cell Type
- Cell Size dalam mm
- Total Cells dalam Pcs
- Cell thickness dalam um
- Power tolerance dalam $\pm\%$
- System Operating Temperature/ Max Voltage, misal -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$ / 1000 Vdc max

Dari parameter yang disediakan tersebut di atas, ada dua parameter yang perlu diperhatikan instalatir agar dapat menghitung berapa jumlah modul yang perlu dipasang, yaitu: Solar PV Modul Efficiency (η_{PV}) dan daya maksimum panel surya (P_{max}).

Tabel 1.2 Spesifikasi Modul Surya (PT SUP)

SPECIFICATION		SUPSM-60	SUPSM-80	SUPSM-100	SUPSM-110	SUPSM-145P	SUPSM-200	SUPSM-250P	SUPSM-260
Maximum Power	Pmak	60 Wp	80 Wp	100 Wp	110 Wp	145 Wp	200 Wp	250 Wp	260 Wp
Maximum Voltage	Vpm	23.73 V	18.64 V	19.60 V	20.02 V	18.35 V	37.45 V	31.44 V	30.4 V
Maximum Current	Ipm	2.55 A	4.29 A	5.10 A	5.49 A	7.91 A	5.35 A	8 A	8.8 A
Open Circuit Voltage	Voc	27.87 V	22.70 V	24 V	25.43 V	22.67 V	45.87 V	37.74 V	38 V
Short Circuit Current	Isc	2.78 A	4.49 A	5.51 A	5.49 A	9.09 A	5.77 A	8.5 A	9.3 A
Solar Panel Efficiency	%	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %	16 %	15 %	16 %
Cell Type		5" Mono	6" Mono	5" Mono	5" Mono	6" Poly	5" Mono	6" Poly	6" Mono
Cell Size	mm	62.5 x 125	156 x 78	125 x 125	125 x 125	156 x 156	125 x 125	156 x 156	156 x 156
Total Cells	Pcs	44	36	36	40	36	72	60	60
Cell Thickness		200 um > 20 um							
Power Tolerance		$\pm 3\%$							
System Operating Temperature / Maximum Voltage		-40°C to $+85^{\circ}\text{C}$ / 1000 VDC Maks							
* The above data was obtained from the results of tests on standard test conditions at AM 1.5, Illumination 1000 W / m ² and temperature of 25 ° C									
Dimension (A x B x C)	mm	565 x 755 x 35	676 x 776 x 35	552 x 1199 x 40	565 x 1324 x 40	689 x 1484 x 50	808 x 1580 x 50	991 x 1650 x 50	991 x 1650 x 50
Hole spacing Frame (D x E)	mm	515 x 378	626 x 406	502 x 603	515 x 603	639 x 742	758 x 800	941 x 870	941 x 870
Weight	Kg	5.60	6.90	8.70	9.4	12.85	15.40	19.30	19.30

Image and Size Panel		Certification	
		TKDN This product has been tested by <i>SN/</i> No. 04-3850.2-1995 (BZTE - BPPT)	
		Dealer information :	
		in order of improving quality, specifications and price can be change without any notification.	

PT. SURYA UTAMA PUTRA Jl. Raya Bandung - Garut KM.23 RT.04 RW.10 Desa Lingsar Kec. Rancaekek, Kab. Bandung Jawa Barat Indonesia 40394 Phone: (02-22) 7798316 (Hujung) Fax: (02-22) 7792082 Cs: (02-22) 7798318 (office hour) www.suryautamaputra.com cs.support@suryautamaputra.com marketing@suryautamaputra.com		MEMBER OF APAMSI	
		FM 560476 / ISO 9001: 2008 EMS 584032 / ISO 14001: 2004 OHS 617919 / ISO 18001: 2007	
		VER-0.2	

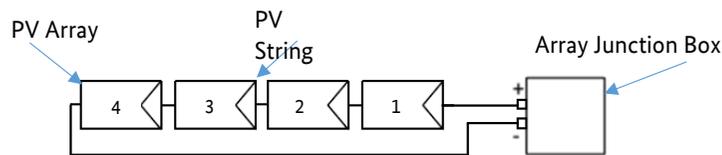
Spesifikasi modul surya berikutnya yang perlu diperhatikan oleh instalatir PLTS dalam merencanakan ukuran dan spesifikasi dudukan modul surya adalah :

- Dimension (L x W x H) frame modul surya dalam mm
- Hole spacing frame (jarak lubang pada frame modul surya) dalam mm
- Posisi pemasangan modul surya (potrait atau landscape)
- Berapa string (sambungan seri modul surya) yang akan dipasang paralel
- Berat modul surya (kg)

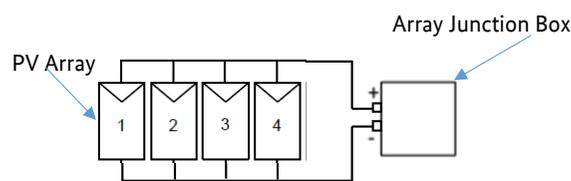
Untuk menentukan desain dudukan modul surya ditentukan oleh desain larik fotovoltaik (Pv array), yaitu perakitan mekanik dan listrik dari modul fotovoltaik, panel fotovoltaik atau sub-larik fotovoltaik dan pendukung struktur. Kumpulan dari semua larik fotovoltaik ini akan membentuk bidang larik fotovoltaik (PV Array Area) yang akan menentukan penataan dudukan modul surya. Pada Tabel 1.2 di atas memperlihatkan spesifikasi modul surya produksi PT SUP.

4. Beberapa Model Konfigurasi Panel Surya

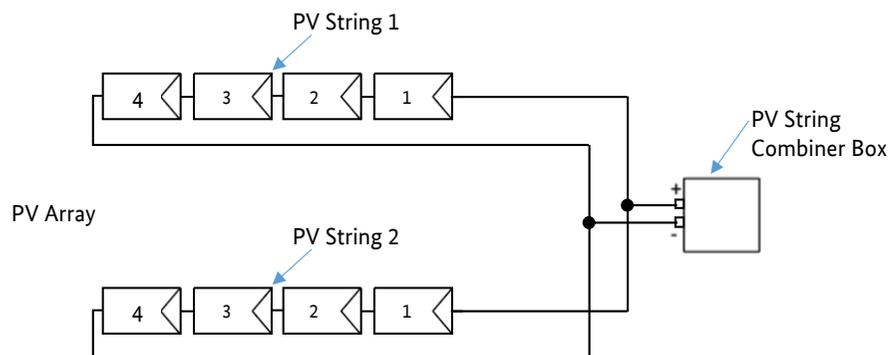
Semakin besar kapasitas PLTS, maka semakin kompleks konfigurasi panel surya nya. Dasar dari konfigurasi adalah hubungan seri paralel dan kombinasinya. Berikut beberapa konfigurasi panel surya beserta posisi junction box dan combiner box. Konfigurasi ini dapat dikembangkan sesuai dengan kebutuhan dan kapasitas komponen-komponen yang ada.



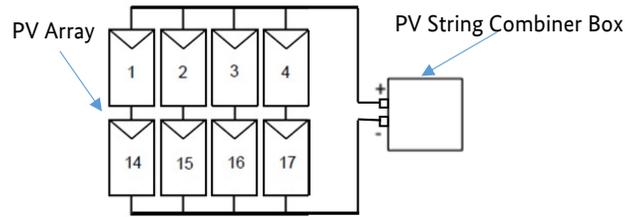
Gambar 1.51
Hubungan Seri Modul Surya (PV String)



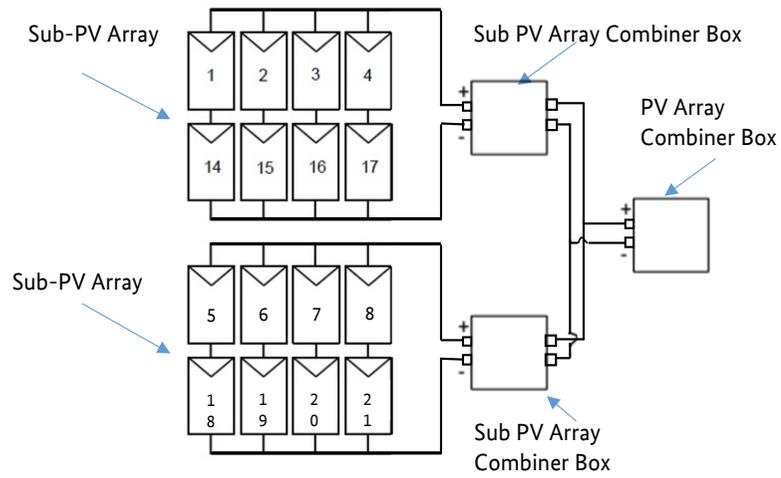
Gambar 1.52
Hubungan Paralel Modul Surya



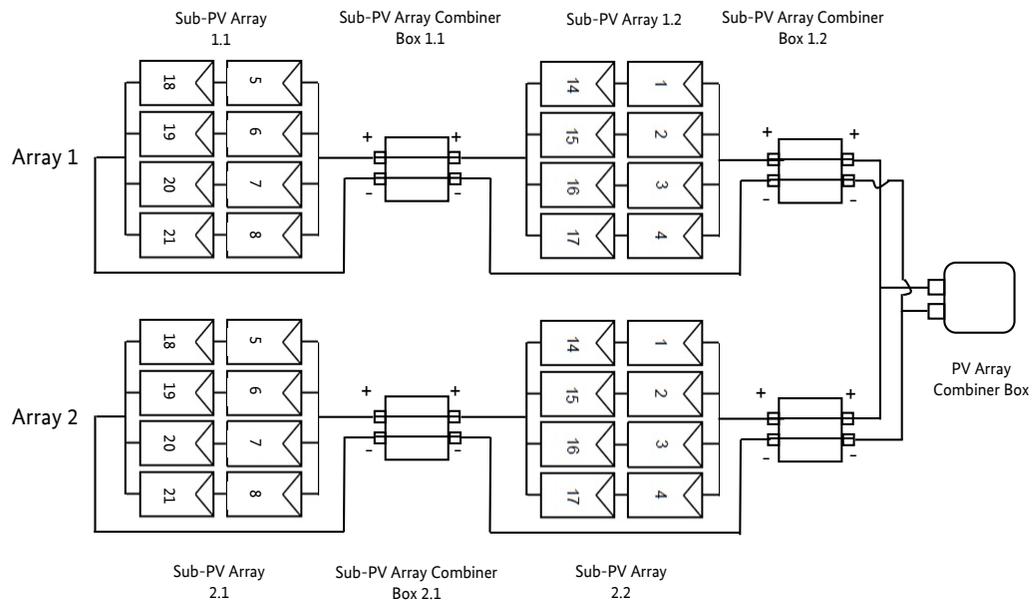
Gambar 1.53
Hubungan Seri - Paralel Modul Surya (2:1)



Gambar 1.54
Hubungan Seri - Paralel Modul Surya (4:1)



Gambar 1.55
Hubungan Double Seri Paralel Modul Surya



Gambar 1.56
Hubungan Multi Seri Paralel Modul Surya

BAGIAN 2 MEMASANG KOMPONEN-KOMPONEN DUDUKAN DAN MODUL SURYA PLTS ROOFTOP

1. LANGKAH-LANGKAH PEMASANGAN DUDUKAN MODUL SURYA PLTS (ROOFTOP)

Langkah pemasangan komponen utama dudukan modul surya sebagai berikut:

a. Mengevaluasi Dokumen Pemasangan PLTS di atas Atap

Sebelum pekerjaan dimulai, seorang teknisi yang ditugasi untuk memasang PLTS rooftop harus mempelajari, mengevaluasi dan mengkonsultasikan dokumen-dokumen berikut ini:

- Surat ijin atau persetujuan PLN untuk pemasangan PLTS rooftop
- Shop drawing pemasangan PLTS rooftop
- Surat tugas dari perusahaan yang ditunjuk PLN

b. Gunakan APD dan peralatan keselamatan kerja di ketinggian serta peralatan kerja lainnya.

c. Mengukur dimensi rangka modul (panjang x lebar x tinggi) dan panjang kabel yang keluar dari junction box.

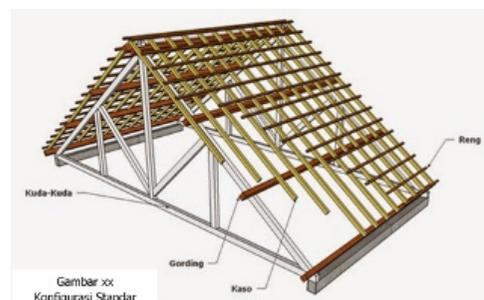
d. Mengidentifikasi Letak Pemasangan *Tile Roof Hook*



Gambar 2.1
Pemasangan Tile Roof Hook pada Genteng

Komponen ini dipasang pada gording atau kasau/kaso dengan menggunakan skrup. Komponen ini berguna sebagai dudukan aluminium rail dimana modul surya dipasang. *Tile Hook Roof* ini terbuat dari paduan aluminium dan stainless steel yang dilapisi Anodized dan galvanis. Hook roof ini harus mampu menahan beban tergantung hingga kemiringan (10-60)° dan hembusan angin dengan kecepatan 60 m/dt dengan masa pakai 20 tahun. Kualitas Roof Hook minimal memenuhi standar AS/NZS 1170 & TUV. Di dalam struktur atap, gording adalah bagian atap yang duduk pada kuda-kuda secara horizontal. Kasau/

usuk adalah bagian atap yang duduk pada gording secara vertikal. Sedangkan reng adalah kayu melintang (horizontal yang duduk di atas kasau. Reng berfungsi tempat mengaitkan dan mendudukan penutup atap (misalnya genteng atau bahan lain).



Gambar 2.2
Konstruksi Standar Struktur atap kayu

Bagaimanapun setelah *roofhook* dipasang, akan menambah lebar

celah genteng dimana roof hook dipasang. Oleh karena itu perlu dipasang *Aluminium Shine Foil Woven* di atas roof hook yang bertujuan untuk mencegah cipratan air hujan masuk ke dalam bangunan.

- e. Pilih bentuk desain & ukuran roof feet sesuai dengan desain genteng



Gambar 2.3 Pemasangan macam-macam Roof Hook sesuai dengan desain atap



Gambar 2.3a
Pemasangan L -Feet pada atap seng



Gambar 2.3b
Pemasangan I-Feet pada Atap
Genteng Beton

- f. Memasang *roof hook* menggunakan skrup yang diputar oleh power hand tool jenis cordless drill-drive. Jangan lupa menggunakan APD dan peralatan kerja di ketinggian.



Gambar 2.4
Pemasangan tileRoof Hook
pada atap asfalt bitumen



Gambar 2.5
Pemasangan plat pelindung
kebocoran

- g. Memasang plat pelindung kebocoran, bagian bawah plat sudah diberi perapat

h. Memasang Aluminium Rail



Gambar 2.6 Pemasangan aluminium rail pada tileRoof Hook pada atap asfalt bitumen

- Memasang Alluminium Rail pada TileRoof Hook menggunakan baud.
- Melakukan pemasangan tileroof hook dan aluminium rail berikutnya dengan cara yang sama.

2. LANGKAH-LANGKAH PEMASANGAN MODUL SURYA

- a. Memastikan *shop design* (gambar kerja dan diagram kelistrikan) PLTS di atas atap telah dimengerti, dipastikan benar dan telah disetujui oleh perencana PLTS dan disetujui pihak pengawas.
- b. Menggunakan APD dan peralatan kerja di ketinggian serta perkakas kerja yang memadai.
- c. Memastikan jenis dan kesiapan atap yang akan menjadi tempat pemasangan modul-modul surya.
- d. Memastikan jenis dan jumlah dudukan atap yang akan digunakan telah sesuai dengan jenis atap dan kapasitas pembangkit
- e. Mengukur dan melayout atap sesuai gambar untuk pemasangan dudukan dan modul surya.
- f. Memasang dudukan modul surya sesuai prosedur pemasangan yang ditentukan. Pastikan genteng tidak mengalami kebocoran setelah pemasangan dudukan modul surya



Gambar 2.7
Micro Inverter dipasang di bawah plat dudukan

- g. Jika sistem menggunakan Micro Inverter, maka pasanglah micro inverter pada aluminium rail terlebih dahulu sebelum modul surya di pasang. Catatan: Jika menggunakan String Inverter, dipasang di tempat terlindung lainnya.
- h. Bawa dan angkat modul surya secara hati-hati. Gunakan peralatan pengamanan kerja untuk mengangkat modul surya. Jika tidak menggunakan alat khusus pembawa modul surya, lakukan pengangkatan modul surya secara tim.
- i. Jika modul surya dipasang secara potrait, pastikan junction box ada di bagian atas. Pastikan kabel positif dan negatifnya serta panjangnya.
- j. Gunakan klem pengikat yang sesuai dan kencangkan dengan momen yang ditetapkan.



Gambar 2.8
Solar panel dipasang sesuai layout yang direncanakan sebelumnya

- k. Memasang modul surya dilakukan satu persatu dimulai baris pertama di sisi atas. Pemasangan secara berurutan, misal dimulai dari samping kiri ke kanan atau atas ke bawah tergantung dari layout pemasangan dan konfigurasi modul surya.
- l. Setiap kali modul surya akan dipasang, pastikan kabel-kabel penghubung langsung dihubungkan dengan modul surya yang sudah terpasang.
- m. Selanjutnya baris kedua secara berurutan dimulai dari samping kanan ke kiri, kebalikan dari baris sebelumnya. Hal ini untuk memudahkan sambungan seri dengan kabel modul surya di baris atasnya. Langkah kedua juga dapat disesuaikan dengan string yang akan dibuat.
- n. Setelah semua modul surya terpasang semua, lakukan pengukuran tegangan dan arus hubung singkat rangkaian terbuka setiap string dan lairk dalam kondisi STC (standard test condition) yang keluar dari lairk modul surya tersebut untuk memastikan modul terpasang dengan baik. Gunakan alat AVO meter yang tepat sepsifikasinya.

Catatan: kabel output dari lairk modul surya akan dipasang terakhir dengan sistem, jika sistem kelistrikan sistem telah terpasang dengan benar.

BAGIAN 3 LAPORAN PEMASANGAN DUDUKAN DAN MODUL SURYA PLTS ROOFTOP ON-GRID

Hal-hal yang harus tercantum di dalam laporan pemasangan dudukan dan modul surya adalah:

1. ATAP DAN DUDUKAN MODUL FOTOVOLTAIK

Persyaratan alat yang harus disediakan: inklinometer, kompas, gambar perencanaan, dan modul fotovoltaik sudah terpasang

- Memeriksa jenis/spesifikasi genteng/atap dan support mounting modul fotovoltaik

Tabel 3.1 Spesifikasi Atap dan Support Mounting Modul Fotovoltaik			
No	Parameter	Jenis/Spesifikasi (contoh)	Jumlah
1	Atap ¹⁾	Kayu	
2	Genteng ²⁾	Genteng tanah liat	
3	Solar Roof Mount ³⁾	Tile roof hook	
4	Solar Panel Rail ⁴⁾	Railing, aluminium rail	
5	Solar Panel Clamp ⁵⁾	Midclamp dan end clamp	

Notes:

- 1). Jenis atap: atap miring, atap datar
- 2). Jenis genteng: tanah liat, keramik, beton, sirap, metal, asfalt bitumen, asbes, dak beton
- 3). Jenis Solar Roof Mount: Flat Tail Roof Hook, Shingle Roof Hook, Roman Roof Hook, T Feet, L Feet, Tilts Mounts, Trapezoidal Roof Clamping System (with and without rail), Trapezoidal Roof L-Feet and Hanger Bolt System.
- 4). Jenis Solar Panel Rail: Solar Panel Mounting Rails: Allunium Rails, Rail Joint Splice Kit, Solar Shingles, Trapezoidal Roof Mini Rail System, Trapezoidal Roof U Rail System, Shared-Rail.
- 5). Jenis Solar panel clamp: Mid Clamp, End Clamp, grounding clamp

- Memeriksa kondisi atap/genteng dan struktur dudukan modul surya

Tabel 3.2 Kualitas Pemasangan Support Mounting Modul Fotovoltaik			
No	Parameter	Cek (✓)	Catatan
1	Atap dan/genteng dalam kondisi siap pakai, tidak bocor/pecah, bebas binatang pengerat/rayap	✓	
2	Tersedia gambar titik-titik pemasangan support mounting modul surya		
3	Solar roof mounts terpasang dengan rapi, kokoh, tidak miring dan tidak berkarat.		
4	Solar panel rails terpasang dengan rapi, kuat, sama panjang, ujung-ujung ditutup atau tidak tajam		
5	Solar panel clamps menjepit modul fotovoltaik dengan kuat dan rapi sesuai torsi yang ditentukan		
6	Tidak ada sekrup atau baut yang longgar		
7	Orientasi/azimuth panel modul mengarah ke pergerakan matahari		
8	Tersedia foto pemasangan dudukan modul surya setelah lengkap terpasang		
9	Untuk PLTS di atas atap dak beton, fondasi untuk mounting support terpasang dengan kuat dan rapi		

2. MODUL FOTOVOLTAIK

- Memastikan semua diskonektor DC dan AC OFF
- Memeriksa jenis, merk dan spesifikasi modul surya yang digunakan

Tabel 3.3 PEMERIKSAAN SPESIFIKASI MODUL FOTOVOLTAIK (contoh)				
No	Parameter	Spesifikasi		
		Terpasang	Desain	Catatan
1	Jenis modul Fotovoltaik	Monocrystalline		
2	Maximum Power (Pmax) dalam Wp			
3	Maximum Voltage (Vpm) dalam Vdc	37,74		

4	Maximum Current (I _{pm}) dalam A			
5	Open Circuit Voltage (V _{oc}) dalam V _{dc}			
6	Short Circuit Current (I _{sc}) dalam A			
7	Solar PV Module Efficiency (η _{PV}) dalam %			
8	System Operating Temperature/Max Voltage	-40°C - +85°C /1000 V _{dc} max		

- Memeriksa kualitas instalasi modul fotovoltaik

Tabel 3.4 PEMERIKSAAN KUALITAS INSTALASI MODUL FOTOVOLTAIK			
No	Parameter	Cek (✓)	Catatan
1	Jumlah dan konfigurasi modul fotovoltaik, string dan array terpasang sesuai dengan gambar teknis (<i>as built</i>)		
2	Frame modul fotovoltaik terpasang dengan benar dan stabil. Semua baut terpasang baik dan tidak longgar atau berkarat		
3	Kualitas seluruh modul fotovoltaik dalam kondisi baik dan tidak ada: retak, bingkai bengkok, gelembung udara, bintik putih, delaminasi, kabel rusak, junction box longgar atau tanpa penutup	✓	
4	Modul fotovoltaik pada larik yang sama terpasang pada ketinggian sama		
5	Modul fotovoltaik yang terpasang terdiri dari tipe, merk dan karakteristik yang sama		
6	Kabel DC khusus fotovoltaik digunakan pada semua instalasi arus DC		
7	Interkoneksi antar modul terhubung dengan baik dan menggunakan konektor tertutup dan aman (MC4 dan sejenisnya)		
8	Dengan menggunakan pathfinder, tidak terdapat bayangan pada modul fotovoltaik sepanjang hari baik dari larik fotovoltaik, bangunan, pohon, tanaman liar.		

3. KONFIGURASI MODUL FOTOVOLTAIK

- Memeriksa konfigurasi modul surya terpasang dan membandingkannya dengan konfigurasi desain

No	Parameter	Jumlah terpasang	Jumlah desain	Catatan
1	Jumlah total modul fotovoltaik	12 (contoh)		
2	Sistem koneksi solar panel (berapa seri dan berapa paralel)			
3	Jumlah string fotovoltaik			
4	Jumlah modul fotovoltaik per string	4		
5	Jumlah larik fotovoltaik			
6	Jumlah string per larik			
7	Jumlah combiner box			
8	Jumlah string inverter (jika ada)			
9	Combiner dipasang pada:....			

- Memeriksa spesifikasi proteksi dan pengkabelan string fotovoltaik

Tabel 3.6 Spesifikasi Proteksi Dan Pengkabelan String Fotovoltaik (contoh)						
No	Parameter	Nomor String				Catatan
		1	2	3	4	
1	Posisi nomor string	1				
2	Jenis dan tipe kabel string					
3	Ukuran kabel string terpasang (mm ²)					
4	Jenis dan tipe kabel pembumian					
5	Ukuran kabel ground terpasang (mm ²)					
6	Tipe bypass dioda					
7	Rating arus bypass diode (A)					
8	Tipe blocking dioda terpasang					
9	Rating arus blocking dioda (A)					
10	Rating tegangan blocking dioda (V)					
11	Jenis proteksi arus lebih string	Fuse				
12	Nomor tipe instrumen proteksi arus lebih string					
13	Pengukuran voltage string terbuka saat STC (Vdc)					
14	Pengukuran iradiasi matahari pada saat voltage string terbuka diukur. Gunakan solar power meter W/m ²	150,96				



F. LANGKAH KERJA PEMBELAJARAN

Panduan Gambar	Capaian	Keterangan
	<p>1. Menyiapkan semua peralatan dan komponen untuk pemasangan dudukan dan modul surya PLTS rooftop</p>	<p>1.1. Mengidentifikasi jenis-jenis atap/ genteng untuk PLTS rooftop 1.2. Menyiapkan atap/genteng untuk pemasangan PLTS rooftop 1.3. Menyiapkan peralatan dan dudukan modul surya rooftop 1.4. Menyiapkan modul surya sesuai dengan spesifikasi, jumlah dan konfigurasi yang direncanakan</p>
	<p>2. Memasang komponen-komponen dudukan dan modul surya PLTS rooftop</p>	<p>2.1 Mengukur dan menentukan titik-titik pemasangan roof hook di atap. 2.2 Memasang roof hook yang sesuai dengan jenis genteng pada titik-titik yang ditentukan. 2.3 Memasang aluminium rail pada roof hook. 2.4 Memasang modul surya sesuai prosedur 2.5 Simaklah video-video pemasangan dudukan dan modul surya pada jenis-jenis genteng.</p>
	<p>3. Membuat laporan pemasangan dudukan dan modul surya PLTS Rooftop</p>	<p>3.1 Melaporkan proses dan hasil pemasangan dudukan modul surya 3.2 Melaporkan proses dan hasil pemasangan modul surya.</p>

G. IMPLEMENTASI UNIT KOMPETENSI

ELEMEN KOMPETENSI 1 Menyiapkan peralatan dan komponen utama untuk pemasangan dudukan dan modul surya PLTS di atas atap (<i>rooftop</i>)	
	<p>Membaca Teori Bacalah pengantar teori tentang Bagian 1 Menyiapkan Peralatan dan Komponen Utama untuk Pemasangan Dudukan dan Modul Surya PLTS di atas Atap (Rooftop) Menyiapkan Atap/Genteng Untuk Pemasangan PLTS <i>Rooftop</i> Menyiapkan Dudukan Modul Surya untuk PLTS Tipe Rooftop Menyiapkan Modul Surya (Modul Fotovoltaik)</p>
	<p>Lakukan analisis terhadap pengantar materi yang telah anda simak untuk memperoleh gagasan/pendapat/temuan Anda tentang Penyiapan Peralatan dan Komponen Utama untuk Pemasangan Dudukan dan Modul Surya PLTS di atas Atap (<i>Rooftop</i>). Catatlah gagasan/pendapat yang Anda peroleh pada buku kerja.</p>
	<p>Diskusikan gagasan atau pendapat Anda di dalam kelompok setelah mempelajari pengantar teori Bagian 1 Menyiapkan Peralatan dan Komponen Utama untuk Pemasangan Dudukan dan Modul Surya PLTS di atas Atap (<i>Rooftop</i>). Catatlah gagasan/pendapat/temuan yang diperoleh kelompok pada setiap buku kerja peserta.</p>
	<p>Tugas 1.1 Kelompok Buatlah laporan tentang Penyiapan Peralatan dan Komponen Utama untuk Pemasangan Dudukan dan Modul Surya PLTS di atas Atap (Rooftop) On-Grid yang ada di workshop Anda. Laporan ini termasuk spesifikasi dan jumlahnya.</p>

ELEMEN KOMPETENSI 2 Memasang komponen utama dudukan dan modul surya PLTS di atas atap (<i>rooftop</i>)	
	<p>Membaca Teori Bacalah pengantar teori tentang Bagian 2 Memasang Komponen-Komponen Dudukan dan Modul Surya PLTS Rooftop Perencanaan Dasar Pemasangan Modul Surya Langkah-langkah Pemasangan Komponen Dudukan Modul Surya PLTS (Rooftop) Langkah-langkah Pemasangan Modul Surya pada PLTS <i>Rooftop</i></p>

	<p>Simaklah video-video berikut tentang cara memasang dudukan dan modul surya pada PLTS di atas atap. Video 2.1 Pemasangan Dudukan dan Modul Surya di atas Genteng Tanah Liat: https://www.youtube.com/watch?v=cwKG7Yrj3ug&t=60s https://www.youtube.com/watch?v=MrQf_SZNaoI https://www.youtube.com/watch?v=PpNhYsJa_v8 https://www.youtube.com/watch?v=l2aP5-jfMic</p>
	<p>Disarankan untuk menyimak video pilihan berikut ini atau video lainnya yang Anda peroleh berkenaan dengan cara memasang dudukan dan modul surya pada berbagai jenis atap/genteng.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Diatas Genteng keramik https://www.youtube.com/watch?v=zgEmMvO7fc 2. Di atas Genteng Beton Datar https://www.youtube.com/watch?v=RyL0ziytIOY https://www.youtube.com/watch?v=cVeHOxXF5ew 3. Di atas Genteng Beton Bergelombang https://www.youtube.com/watch?v=d0-O7WbRW_4 https://www.youtube.com/watch?v=wo14s8KvtGE 4. Di atas Genteng Aspal (Bitumen) https://www.youtube.com/watch?v=mJ6P7EmE4Hw https://www.youtube.com/watch?v=Vq3JCEUW5-Y 5. Di atas genteng metal https://www.youtube.com/watch?v=MDWJFG4sUe0&t=1s https://www.youtube.com/watch?v=QN9A-X8anyw https://www.youtube.com/watch?v=VeTD3ci1GC4 https://www.youtube.com/watch?v=SzW5X1ZOL5w https://www.youtube.com/watch?v=J6sg-MFzO9Q 6. Di atas Genteng Asbes https://www.youtube.com/watch?v=IC5M4VXqMkQ
	<p>Lakukan analisis terhadap pengantar teori dan video-video yang telah Anda simak untuk memperoleh gagasan/pendapat Anda berkenaan dengan dengan cara memasang dudukan dan modul surya pada berbagai jenis atap/genteng. Catatlah gagasan/pendapat yang Anda peroleh pada buku kerja.</p>
	<p>Diskusikan gagasan atau pendapat Anda di dalam kelompok setelah menyimak pengantar teori dan video tersebut di atas. <u>Catatlah</u> gagasan/pendapat/temuan yang diperoleh kelompok pada setiap buku kerja peserta.</p>
	<p>Tugas 2 Berdasarkan hasil analisis dan diskusi, demonstrasikan cara Memasang Komponen-komponen Dudukan dan Modul Surya PLTS Rooftop pada tap/genteng yang tersedia di tempat praktek. Buatlah laporan pemasangannya mencakup kualitas pemasangan</p>

ELEMEN KOMPETENSI 3 Membuat laporan pemasangan dudukan dan modul surya PLTS di atas atap (rooftop)	
	<p>Membaca Teori Bacalah pengantar teori tentang Bagian 2 Memasang Komponen-Komponen Dudukan dan Modul Surya PLTS Rooftop tentang (3) Laporan Pemasangan Dudukan dan Modul Surya PLTS Rooftop</p>
	<p>Disarankan untuk mencari sumber belajar/informasi lain berkenaan dengan Laporan Pemasangan Dudukan dan Modul Surya PLTS Rooftop.</p>
	<p>Lakukan analisis terhadap pengantar materi dan informasi lainnya yang telah anda simak untuk memperoleh gagasan/pendapat Anda tentang Laporan Pemasangan Dudukan dan Modul Surya PLTS Rooftop. <u>Catatlah</u> gagasan/pendapat yang Anda peroleh pada buku kerja.</p>
	<p>Diskusikan gagasan atau pendapat Anda di dalam kelompok setelah menyimak pengantar teori dan informasi lainnya tersebut di atas. <u>Catatlah</u> gagasan/pendapat/temuan yang diperoleh kelompok pada setiap buku kerja peserta.</p>
	<p>Tugas 3 Berdasarkan hasil analisis & diskusi, buatlah laporan dari Tugas 2 Pemasangan Komponen-komponen Dudukan dan Modul Surya PLTS Rooftop pada atap/genteng yang tersedia di tempat praktek. Gunakan format isian yang dicontohkan.</p>



H. PENILAIAN:

Penilaian	Catatan :
Kompeten / Belum Kompeten	
Peserta	Instruktur
Nama/Tandatangan/tgl	Nama/Tandatangan/tgl

I. LAMPIRAN

1. KAMUS ISTILAH

Dudukan modul surya

Perangkat/struktur penyangga yang menghubungkan antara atap dengan modul surya, agar modul surya dapat duduk di atas atap dengan kuat dan aman. Dudukan modul surya memiliki banyak nama di pasaran, antara lain: *mounting bracket* untuk panel surya, *module support and accessories* dan lain-lain. Dudukan modul surya terdiri dari tiga bagian yaitu (1) *Roof Hook* yang berfungsi sebagai kaki atau tiang yang menghubungkan dan mengikat atap dengan *aluminium rail*; (2) *Alluminium rail* yang duduk di atas *roof hook* dan sekaligus menjadi tempat duduk modul surya; (3) Aksesoris atau klem yang berfungsi mengikat modul surya agar kokoh duduk di atas *aluminium rail*.

Modul surya atau Modul fotovoltaik

Rangkaian sel-sel fotovoltaik yang saling terhubung lengkap dan terlindungi dari lingkungan sekitar.

Photovoltaic array

Serangkaian modul photovoltaic (PV) yang dirangkai dengan kombinasi seri ataupun paralel untuk mendapatkan besaran arus dan tegangan tertentu.

Solar panel

Beberapa modul fotovoltaik terhubung satu sama lain secara elektrik, terikat dalam sebuah kerangka struktur yang kokoh.

String

Sejumlah solar panel yang terhubung secara elektrik dalam koneksi untuk mencapai nilai tegangan nominal (nominal voltage).

2. RUJUKAN

Cooper Bussmann, 2022, Photovoltaic System Protection Application Guide StudiLib, baca: <https://studylib.net/doc/18062646/photovoltaic-system-protection-application-guide>

PTB-GIZ, (2020), Panduan Komisioning PLTS Off-Grid, Ditjen EBTKE Kem,ESDM, baca: <file:///C:/Users/HP%20Pav/Documents/ISED%202/Pelaksanaan%20ISED%202/Modul%20Pelatihan%20PLTS%20Rooftop%20ISED2-Format%20Lama/Format%20Baru/Referensi/Panduan%20Komisioning%20PLTS%20off%20grid.pdf>

PT Surya Utama Putera, 1995, Solar Module, Bandung

Rekasurya, 2021, Support Modul dan Aksesoris, Jakarta, Baca: <https://rekasurya.com/product/support-module-aksesoris/>

3. JOB SHEET

4. ACUAN KOMPETENSI KERJA

KODE UNIT : D.35EBT15.004.1

JUDUL UNIT : Memasang Dudukan dan Modul Surya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di atas Atap (*Rooftop*)

DESKRIPSI UNIT : Unit ini berhubungan dengan pengetahuan, keterampilan dan sikap kerja yang dibutuhkan dalam memasang tiang, dudukan dan modul PLTS di atas Atap (*Rooftop*).

ELEMEN KOMPETENSI	KRITERIA UNJUK KERJA
1. Menyiapkan peralatan dan komponen utama untuk pemasangan dudukan dan modul surya PLTS di atas atap (<i>rooftop</i>)	<p>1.1. Peralatan Keamanan, Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) disiapkan sesuai prosedur.</p> <p>1.2. Peralatan kerja untuk pemasangan dudukan dan modul surya PLTS di atas atap (<i>rooftop</i>) disiapkan sesuai prosedur.</p> <p>1.3. Jenis dan kualitas atap diperiksa sesuai prosedur.</p> <p>1.4. Komponen utama untuk pemasangan dudukan dan modul surya PLTS di atas atap (<i>rooftop</i>) disiapkan sesuai gambar kerja.</p> <p>1.5. Komponen pendukung untuk pemasangan dudukan dan modul surya PLTS di atas atap (<i>rooftop</i>) disiapkan sesuai gambar kerja.</p>

ELEMEN KOMPETENSI	KRITERIA UNJUK KERJA
2. Memasang komponen utama dudukan dan modul surya PLTS di atas atap (<i>rooftop</i>)	<p>2.1 Peralatan K3 pada pemasangan dudukan dan modul surya PLTS di atas atap (<i>rooftop</i>) digunakan sesuai prosedur.</p> <p>2.2 Komponen utama dan pendukung dipasang sesuai prosedur.</p> <p>2.3 Hasil pemasangan komponen utama diperiksa sesuai gambar kerja.</p>
3. Membuat laporan pemasangan dudukan dan modul surya PLTS di atas atap (<i>rooftop</i>)	<p>3.1 Laporan pemasangan dudukan dan modul surya PLTS di atas atap (<i>rooftop</i>) dibuat sesuai prosedur.</p> <p>3.2 Laporan pemasangan dudukan dan modul surya PLTS di atas atap (<i>rooftop</i>) didokumentasikan sesuai prosedur.</p>

BATASAN VARIABEL

1. Konteks variabel
 - 1.1. Unit kompetensi ini hanya berlaku untuk memasang dudukan dan modul surya PLTS di atas atap (*rooftop*).
 - 1.2. Peralatan keselamatan dan kesehatan kerja adalah peralatan K3 yang digunakan pada pemasangan instalasi kelistrikan PLTS di atas atap (*rooftop*) agar operator bekerja secara aman dan terhindar dari kecelakaan kerja seperti *safety helmet*, *safety belt*, *safety shoes*, sarung tangan, *safety harness*, *safety glasses*, *masker*, *face shield* dan *body harness*.
 - 1.3. Peralatan kerja adalah alat-alat yang digunakan dalam pemasangan dudukan dan modul surya misalnya, kunci *shock*, kunci pas, tangga dan meteran.
 - 1.4. Komponen utama adalah perlengkapan yang digunakan dalam pemasangan dudukan dan modul surya misalnya, dudukan modul dan modul surya.
 - 1.5. Komponen pendukung adalah perlengkapan yang digunakan dalam pemasangan komponen utama misalnya, baut, ring, ring *peer*, dan mur.
 - 1.6. Diperiksa adalah melakukan pengecekan kesesuaian terhadap hasil pemasangan komponen utama dengan gambar kerja.
2. Peralatan dan perlengkapan
 - 2.1. Peralatan
 - 2.2. Peralatan K3
 - 2.3. Alat-alat ukur
 - 2.4. Peralatan tangan
 - 2.5. *Hand powertools*
 - 2.6. Peralatan pencegah kebocoran atap

- 2.7. Peralatan untuk bekerja di ketinggian
- 2.8. Perlengkapan
- 2.9. Gambar teknik
3. Peraturan yang diperlukan
 - 3.1. Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 12 Tahun 2015 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Listrik di Tempat Kerja *jo* Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 33 Tahun 2015
4. Norma dan standar
 - 4.1. Norma
(Tidak ada.)
 - 4.2. Standar
Standard Operating Procedure (SOP)

PANDUAN PENILAIAN

1. Konteks penilaian
 - 1.1. Penilaian dilakukan untuk mengetahui kemampuan yang meliputi aspek pengetahuan, keterampilan dan sikap kerja dalam melaksanakan pekerjaan.
 - 1.2. Penilaian dapat dilakukan di tempat kerja, di luar tempat kerja atau kombinasi keduanya. Apabila asesmen dilakukan di luar tempat kerja, simulasi harus digunakan dengan karakteristik yang mencerminkan kondisi tempat kerja yang sebenarnya.
 - 1.3. Penilaian dilakukan dengan cara :
 1. 3. 1. Tes tertulis seperti pilihan berganda (*multiple choice*), isian (*essay*) dan jawaban singkat (*shortquestion*).
 1. 3. 2. Tes lisan seperti wawancara dan observasi.
 1. 3. 3. Tes praktik di tempat kerja berupa peragaan/demonstrasi/ simulasi.
 1. 3. 4. Verifikasi bukti/portofolio dan wawancara serta metode lain yang relevan.
 1. 3. 5. Penilaian harus dilakukan dalam suatu lingkungan yang nyaman.
2. Persyaratan kompetensi

(Tidak ada.)
3. Pengetahuan dan keterampilan yang dibutuhkan
 - 3.1. Pengetahuan
 3. 1. 1. Spesifikasi komponen utama, misalnya jenis bahan, jenis finishing
 3. 1. 2. Spesifikasi mekanis modul surya seperti dimensi, berat, bahan *frame* modul surya
 3. 1. 3. Dasar-dasar mekanika, misalnya sifat-sifat mekanis bahan
 3. 1. 4. Konsep tata letak dan teknik pemasangan dudukan dan modul surya tipe *rooftop*

- 3. 1. 5. Prosedur kerja yang sesuai dengan persyaratan instalasi *rooftop*
- 3.2. Keterampilan
 - 3. 2. 1. Bekerja di ketinggian sesuai dengan standar ketinggian atap bangunan
- 4. Sikap kerja yang diperlukan
 - 4.1. Disiplin dalam mematuhi perintah kerja
 - 4.2. Cermat dalam memasang tiang, dudukan dan modul PLTS di atas atap (*rooftop*)
 - 4.3. Tanggung jawab dalam menyelesaikan pemasangan tiang, dudukan dan modul PLTS di atas atap (*rooftop*)
- 5. Aspek kritis
 - 5.1. Kecermatan dalam memasang komponen utama