



implemented by:

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



BUKU MATERI **PELATIHAN BERBASIS KOMPETENSI**

Memasang Instalasi Kelistrikan PLTS Tipe Terpusat (Komunal) *On-Grid*

D.35EBT15.007.1



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 Instalasi Kelistrikan PLTS Tipe Terpusat (Komunal) *On-Grid*

D.35EBT15.007.1

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 Instalasi Kelistrikan PLTS Tipe Terpusat (Komunal) On-Grid D.35EBT15.007.1 pada SKKNI Nomor Nomor 166 Tahun 2019 Bidang Pemasangan dan Pembangunan Pembangkit Aneka EBT. Modul ini berisi perkakas tangan yang digunakan dalam bidang pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) dan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) skala kecil. 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 | 10 |
| E. PENGANTAR TEORI | 11 |
| BAGIAN 1 MENYIAPKAN PERLENGKAPAN PEMASANGAN INSTALASI KELISTRIKAN PLTS TIPE TERPUSAT (KOMUNAL) ON-GRID | 11 |
| 1. Peralatan Keselamatan Kerja | 11 |
| 2. Peralatan Pemasangan Instalasi Kelistrikan Plts | 11 |
| 3. Alat Ukur Untuk Pemasangan Plts | 11 |
| 4. Komponen Utama Dan Pendukung Kelistrikan Plts Rooftop On-Grid | 12 |
| 5. Gambar Desain dan Pemasangan PLTS Rooftop On-Grid | 12 |
| BAGIAN 2 MEMASANG KOMPONEN KELISTRIKAN PLTS ON-GRID | 13 |
| 1. Identifikasi Komponen Utama dan Pendukung | 13 |
| 2. Pemasangan Komponen Utama PLTS On-Grid Di Dinding | 31 |
| 3. Memeriksa Hasil Pemasangan | 33 |
| BAGIAN 3 MEMASANG KABEL PENGHANTAR PLTS TIPE ON-GRID | 35 |
| 1. Identifikasi Kabel dan MC4 | 35 |
| 2. Manajemen Kabel PLTS Rooftop <i>On-Grid</i> | 44 |
| 3. Pemasangan Kabel Sesuai Gambar Kerja | 47 |
| 4. Memeriksa Spesifikasi Dan Kualitas Pemasangan Kabel dan Aksesorisnya | 57 |
| BAGIAN 4 PENGUJIAN PLTS ROOFTOP ON-GRID | 60 |
| 1. Umum | 60 |
| 2. Persyaratan Keselamatan | 60 |
| 3. Pengujian Komponen | 60 |
| 4. Perhitungan Kwh Meter Ex-Im | 71 |
| 5. Video Memeriksa Kinerja PLTS Rooftop | 72 |
| BAGIAN 5 LAPORAN PEMASANGAN PLTS ROOFTOP ON-GRID | 73 |
| 1. Format Laporan Pemasangan PLTS Rooftop On Grid | 73 |
| 2. Dokumentasi Laporan | 78 |
| F. LANGKAH KERJA PEMBELAJARAN | 79 |
| G. IMPLEMENTASI UNIT KOMPETENSI | 81 |
| Elemen Kompetensi 1 | 81 |
| Elemen Kompetensi 2 | 82 |
| Elemen Kompetensi 3 | 82 |
| Elemen Kompetensi 4 | 83 |
| Elemen Kompetensi 5 | 84 |
| H. PENILAIAN: | 85 |
| I. LAMPIRAN | 85 |
| J. RUJUKAN | 85 |
| K. ACUAN KOMPETENSI KERJA | 86 |





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
 4. Daftar penyusun
2. Slide powerpoint dan video merupakan kelengkapan yang dapat dijadikan referensi bagi para instruktur.
3. Peran instruktur terkait dengan penggunaan modul, antara lain:
 - a. Instruktur dapat menggunakan modul dengan referensi video dan powerpoint yang

terlampir dalam modul sebagai referensi, diharapkan dapat mengembangkan bahan disesuaikan dengan BLK masing-masing

- b. Proses pembelajaran dapat disampaikan dengan menggunakan berbagai sumber yang menguatkan peserta pelatihan, baik melalui tahapan persiapan, pelaksanaan di kelas, praktek, meminvestigasi, menganalisa, mendiskusikan, tugas kelompok, presentasi, serta menonton video.
 - c. Keseluruhan materi yang tersedia sebagai referensi dalam buku ini dapat menjadi bahan dan gagasan untuk dikembangkan oleh instruktur dalam memperkaya materi pelatihan yang akan dilaksanakan.
4. Buku penilaian menjadi kesatuan, namun disajikan dalam paket buku penilaian secara terpisah. Buku penilaian dapat berupa soal tertulis, panduan wawancara, serta instruksi demonstrasi yang akan dilaksanakan sesuai dengan proses penilaian yang dilaksanakan.
 5. Referensi merupakan referensi yang menjadi acuan dalam penyusunan buku panduan pelatihan ini.
 6. Lampiran merupakan bagian yang berisikan lembar kerja serta bahan yang dapat digunakan sebagai berkas kelengkapan pelatihan.

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> |



| IKON | KETERANGAN |
|---|--|
| <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> |
| <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 rujukan cara mengurus izin pemanfaatan PLTS Atap berdasarkan:

Peraturan Menteri Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 12 Tahun 2019 Tentang Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Sendiri Yang Dilaksanakan Berdasarkan Izin Operasi

Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2019 Perubahan atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 49 Tahun 2018 Tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)

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>

USAID, 2020, Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia - Indonesia Clean Energy Development II Juni 2020, Baca: <https://drive.esdm.go.id/wl/?id=XOegh8pXO9FMjeb14x0joDD6hIZe94Fm>

E. PENGANTAR TEORI

BAGIAN 1 MENYIAPKAN PERLENGKAPAN PEMASANGAN INSTALASI KELISTRIKAN PLTS TIPE TERPUSAT (KOMUNAL) ON-GRID

1. Peralatan Keselamatan Kerja

Pelajari Modul Unit No. D.35EBT13.002.1: Menerapkan Prinsip-Prinsip Keamanan, Kesehatan dan Keselamatan Kerja di Lingkungan Unit Pembangkit EBT.

2. Peralatan Pemasangan Instalasi Kelistrikan Plts

Pelajari Modul-modul Unit Kompetensi

- Mengukur Dimensi dengan Alat Ukur (C.241010.033.01)
- Menggunakan Perkakas Tangan (C.28LOG18.001.2)

3. Alat Ukur Untuk Pemasangan Plts



- Solar Power Meter**
Digunakan untuk mengukur radiasi matahari dalam satuan Watt/m² atau BTU/ft². Ada dua skala max, yaitu 199 Watt/m² dan 1999 Watt/m²



- Infrared Thermometer**
Digunakan untuk mengukur temperatur permukaan modul surya dalam °C.



- Multimeter**
Untuk memeriksa tegangan kerja setiap modul PLTS. Multimeter yang dilengkapi dengan sensor suhu dapat digunakan untuk mengukur temperatur permukaan modul surya (glass cover).



- Clamp Meter AC/DC**
Untuk mengukur tegangan dan arus pada sistem kelistrikan PLTS digunakan clamp meter AC / DC. Artinya alat ini dapat digunakan untuk mengukur tegangan dan kuat arus AC dan DC pada sistem PLTS. Pilihlah ukuran rahang yang sesuai dengan ukuran sirkuit kabel, agar mudah ketika mengukur arus listrik baik pada kabel yang terpasang di panel, pipa kabel (cable conduit), maupun rak kabel (cable tray).



Gambar 1-1
Alat-alat ukur Listrik

e. Earth Tester

Untuk memeriksa tahanan pembumian digunakan Earth Tester yang terdiri dari

- 1 unit alat pengukur
- 2 kabel (+ dan -) untuk mengecas batere.
- 3 buah kabel warnan hijau (paling pendek), kuning dan merah (paling panjang).
-
- 2 buah paku bumi bantu
- 1 buah rollmeter (tambahan)

4. Komponen Utama Dan Pendukung Kelistrikan Plts Rooftop On-Grid

a. Komponen Utama Kelistrikan PLTS Rooftop On-Grid

Komponen utama kelistrikan meliputi:

1. Combiner Box
2. Panel DC, termasuk diskonektor
3. Inverter On-Grid
4. Panel distribusi AC, termasuk diskonektor
5. KWH Export-Import

b. Komponen Pendukung PLTS Rooftop On-Grid

1. Kabel DC jenis PV-1
2. Konektor kabel DC jenis MC4
3. Sepatu kabel/skun berbagai jenis: tembaga, aluminium, bimetal, O (ring), Y (garpu), peluru, tusuk, dan ferrule
4. Kabel AC berbagai jenis
5. Kabel pembumian berbagai jenis

5. Gambar Desain dan Pemasangan PLTS Rooftop On-Grid

a. Mempersiapkan wiring diagram dan spesifikasi komponen PLTS Rooftop On-Grid



Gambar 1-2
Diagram
Kelistrikan PLTS
Rooftop On-Grid

- b. Mempersiapkan gambar layout pemasangan komponen-komponen utama dan pendukung untuk pemasangan PLTS Rooftop On-Grid



Gambar 1-3
Lay-out pemasangan kom-
ponen-komponen PLTS
Rooftop On-Grid

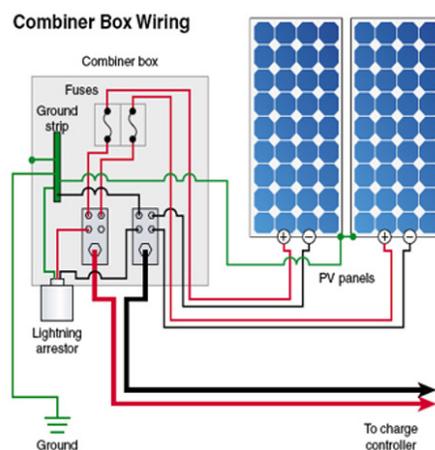
BAGIAN 2 MEMASANG KOMPONEN KELISTRIKAN PLTS ON-GRID

1. IDENTIFIKASI KOMPONEN UTAMA DAN PENDUKUNG

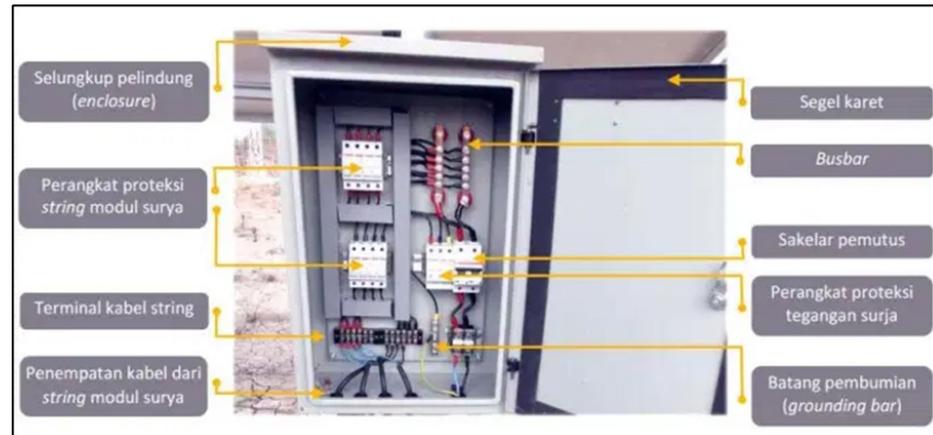
a. PV COMBINER BOX (KOTAK PENGGABUNG STRING PV)

PV Combiner Box adalah sebuah kotak yang menggabungkan string modul surya agar mendapatkan arus keluaran larik fotovoltaik (PV array) yang lebih tinggi yang selanjutnya dihubungkan ke inverter. Masing-masing string modul fotovoltaik dihubungkan pada busbar yang sama dan dilindungi secara elektrik maupun mekanis di dalam selungkup pelindung (enclosure). Combiner Box dilengkapi dengan Surge Protection Device yang handal untuk melindungi sistem panel surya dari over voltage, karena sambaran petir, yang dapat merusak komponen lain apabila tidak diproteksi. Selain itu, Combiner Box juga membatasi arus panel surya dan memutuskan arus apabila terjadi over current.

Combiner Box berisi perangkat proteksi arus lebih pada string (overcurrent protection), proteksi tegangan surja (*surge protection device*), busbar atau terminal tambahan, sakelar pemutus arus dan batang pembumian (earthing bar). Keluaran gabungan dari combiner box dihubungkan langsung ke SCC pada sistem DC Coupling atau ke inverter pada sistem AC Coupling. Pada PLTS rooftop skala rumah tangga combiner box dapat berfungsi sebagai panel DC.



Gambar 2-1
Wiring Diagram pada
Combiner Box secara
Umum

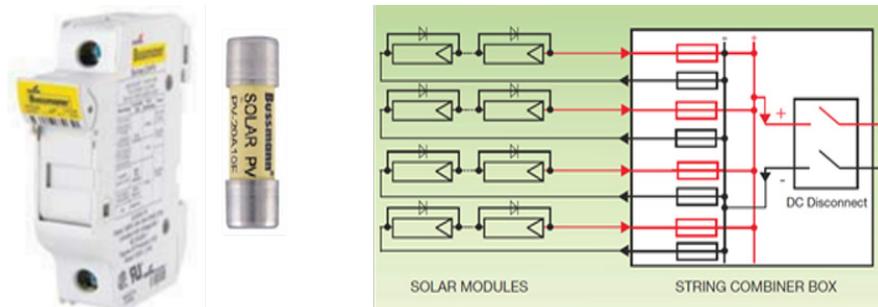


Gambar 2-2
Foto bagian dalam salah satu Combiner Box

Komponen-komponen Combiner box antara lain

1. Perangkat Proteksi String Modul Fotovoltaik

Perangkat proteksi string digunakan untuk melindungi setiap string modul fotovoltaik terhadap arus berlebih. Untuk ini biasanya digunakan MCB atau sekering (fuse links). Biasanya untuk PV string ≤ 2 string tidak memerlukan perangkat proteksi string, karena tidak akan menghasilkan arus gangguan yang cukup untuk merusak konduktor, peralatan, atau modul. Perangkat proteksi string jenis fuse links sebaiknya dipasang baik pada kabel string positif maupun kabel string negatif.



Gambar 2-3
(a) Fuse Links dan Dudukannya, (b) Rangkaian fuse Links di dalam Combiner Box

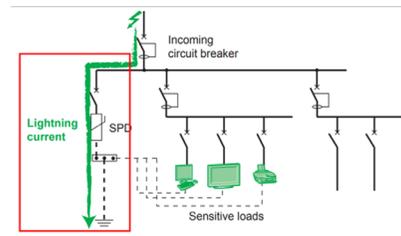
2. Busbar



Busbar adalah titik sambungan untuk beberapa string modul fotovoltaik. Perangkat ini membawa beberapa string ke konduktor yang sama, artinya busbar (+) untuk kabel string (+), dan busbar (-) untuk kabel string (-). Busbar DC terbuat dari konduktor tembaga padat dan berlapis timah untuk perlindungan terhadap korosi.

3. Perangkat Perlindungan Tegangan Surja (SPD).

SPD adalah komponen dari sistem proteksi instalasi listrik. Perangkat ini terhubung secara paralel pada sirkuit catu daya dari beban yang harus dilindungi dan dipasang setelah MCB sistem. Biasanya pabrikan tertentu telah membuat pasangan antara SPD dengan MCB yang digunakan atau ada juga MCB dan SPD sudah terintegrasi.



Gambar 2-4
Sistem Proteksi Tegangan Surja Paralel

Terminal positif dari SPD dihubungkan ke busbar positif dan terminal negatif dihubungkan ke busbar negatif dan diteruskan ke pembumian (Earthing). Alat ini dapat digunakan di semua tingkat jaringan catu daya. SPD ini adalah jenis perlindungan tegangan lebih yang paling umum digunakan dan efisien.

4. **Selungkup pelindung (*enclosure*)** merupakan rumah dari komponen listrik dengan fungsi untuk melindungi komponen dari paparan langsung terhadap lingkungan dan mencegah gangguan luar. Selungkup terbuat dari bahan plat logam atau PVC yang tahan terhadap api, temperatur tinggi, benturan, tahan ultra violet dan tahan sobek serta memiliki tingkat perlindungan IP65.
5. **Batang pembumian (*earthing bar*)** memberikan sambungan pembumian untuk selungkup pelindung (jika kotak logam digunakan) dan untuk menyalurkan surja ke pembumian dengan menggunakan perangkat proteksi tegangan surja. Jika selungkup pelindung terbuat dari PVC, sistem grounding (pentanahan) juga tetap dilakukan.

Spesifikasi komponen-komponen di dalam combiner box harus mampu beroperasi pada tegangan DC yang bisa mencapai 1000 Vdc, jika tegangan string tersambung memiliki tegangan terbuka (open circuit voltage) mencapai 1000 Vdc.

b. SAKELAR PEMUTUS DC



Gambar 2-5
DC Disconnector

Sakelar ini memungkinkan combiner box terputus secara aman dari SCC atau inverter jaringan saat pemeliharaan dilakukan. Sakelar pemutus bisa berbentuk MCB. Pada PLTS skala kecil, sakelar pemutus DC seperti gambar di samping dapat berfungsi sebagai combiner, karena switch dapat dikombinasikan seperti gambar di atas. Desain lain pemutus DC bisa dipasang sebagai bagian dari panel DC.

c. PANEL BOX DC



Gambar 2-6
Panel Box DC

Panel Box DC merupakan terminal terakhir dari semua sistem DC pada PLTS. Komponen-komponen di dalam panel DC umumnya terdiri dari:

- Gland cable input dari combiner dan gland cable output menuju inverter. Umumnya gland cable DC berbentuk MC4.
- Busbar untuk terminal pembumian.
- MCB sebanyak kabel yang masuk
- Surge Protection Device (SPD)
- DC Ground-Fault Interrupter
- Sakelar Pemutus DC

d. SOLAR CHARGE CONTROLER (SCC)

1. Tipe SCC



Gambar 2-7a
SCC PWM



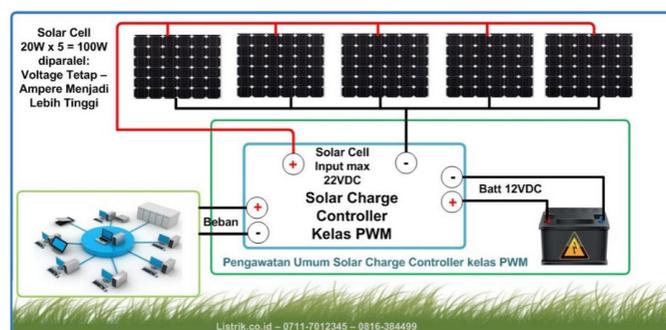
Gambar 2-7b
SCC MPPT

Gambar 2-7
Solar Charge Control (SCC)

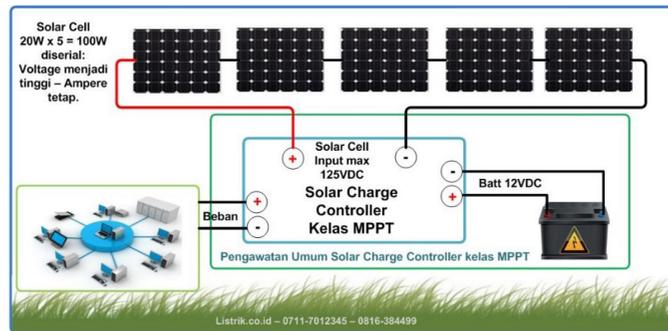
Solar charge controller berfungsi untuk mengoptimalkan kinerja panel surya, mengisi dan merawat baterai serta memutuskan listrik ke beban/inverter ketika kapasitas baterai telah mencapai batas minimum. Pada inverter on-grid SCC telah terpasang sebagai bagian integral inverter.

Inverter dengan kapasitas kecil (≤ 200 Wp) menggunakan SCC type Pulse Width Modulation (PWM), karena tegangan PWM hanya bekerja sesuai tegangan kerja baterai, maka saat tegangan solar panel di bawah tegangan baterai, secara otomatis sistem solar panel tidak mengisi ke baterai.

Untuk solar panel lebih dari 200 Wp perlu menggunakan SCC tipe *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), karena mampu mendeteksi daya yang diproduksi solar panel walaupun kecil, tetap dapat mengisi baterai. Penggunaan SCC tipe PWM untuk konfigurasi modul PV yang dipasang paralel, sedangkan SCC tipe MPPT untuk konfigurasi yang dipasang seri.



Gambar 2-8
Penggunaan PWM dan Konfigurasi Panel Surya Paralel



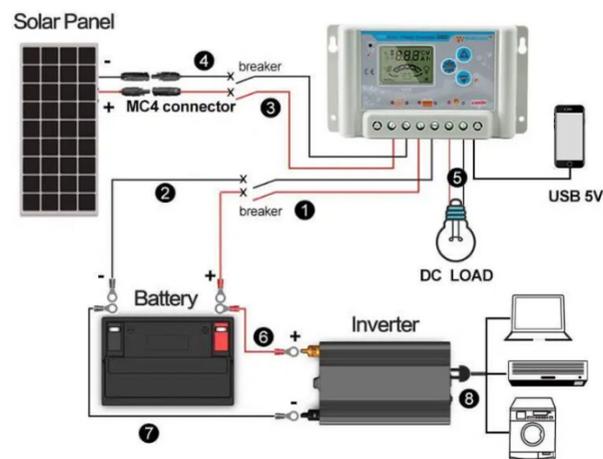
Gambar 2-9
Penggunaan MPPT
dan Konfigurasi
panel surya seri

Tabel 2-1
Perbandingan antara SCC PWM dan SCC MPPT

| Aspek | PWM Charge Controller | MPPT Charge Controller |
|--|--|---|
| Tegangan Array | PV Array dan tegangan baterai harus sama | Tegangan PV array dapat lebih tinggi dari teg. baterai |
| Tegangan Baterai | Beroperasi pada tegangan baterai, sehingga ideal jika digunakan pada temperatur yang cukup hangat dan ketika kapasitas baterai 80% | Dapat beroperasi di atas tegangan baterai, sehingga dapat mendorong pengisian cepat pada kondisi temperatur dingin dan kapasitas baterai rendah |
| Kapasitas Sistem | Direkomendasikan digunakan pada kapasitas sistem kecil. Dimana MPPT tidak dapat bekerja ideal. | Kapasitas sistem di atas 200 Wp lebih ideal menggunakan SCC MPPT |
| Kemampuan mengisi baterai pada saat mendung. | Tidak mampu mengisi baterai pada saat mendung, karena meskipun kuat arus DC dari panel besar, tetapi tegangan DC nya kecil/ lebih rendah dari baterai. | Mampu mengisi baterai pada saat mendung, karena meskipun kuat arus DC dari panel kecil, tetapi tegangan DC nya tinggi |
| Aspek | PWM Charge Controller | MPPT Charge Controller |

| Aspek | PWM Charge Controller | MPPT Charge Controller |
|-------------------------|--|---|
| Off-Grid atau On-Grid | Disarankan digunakan pada sistem Off-Grid dengan tipe tegangan panel surya (Vpm) berada pada tegangan baterai. | Dapat digunakan pada sistem On-Grid/Grid Tie), walaupun dengan kapasitas kecil. Karena mampu beradaptasi dengan baik pada jenis panel yang tidak memiliki susunan seri 36 sel |
| Metode Kapasitas Array | Susunan panel surya dihitung pada Ampere (berdasarkan arus listrik yang dihasilkan solar panel yang bekerja sesuai tegangan kerja baterai. | Susunan panel surya dihitung pada Watt (berdasarkan <i>maximum charging current x battery volatge</i>) |
| Konfigurasi Panel Surya | Disusun secara paralel, sehingga dapat beroperasi pada tegangan baterai tetapi kuat arus yang mengalir besar, sehingga memerlukan kabel DC yang besar. | Disusun secara seri, sehingga dapat beroperasi pada tegangan lebih tinggi dari baterai tetapi kuat arus yang mengalir kecil, sehingga hanya memerlukan kabel DC yang kecil. |

2. Block Diagram Solar Charge Controller

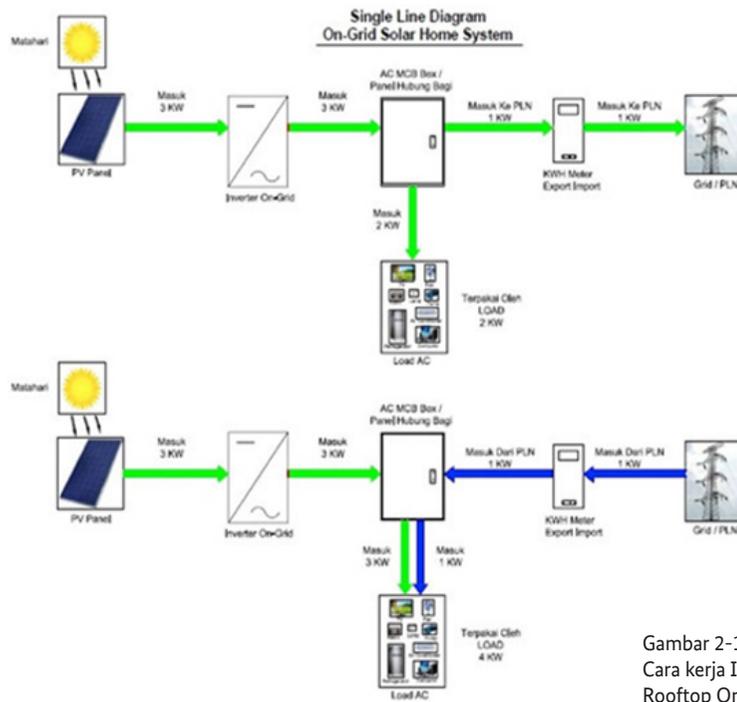


Gambar 2-10
Inverter dihubungkan dengan baterai

Gambar di atas menunjukkan block diagram PLTS Rooftop off-grid. Di sana nampak bahwa inverter dipasang paralel langsung dengan baterai, sehingga dalam sistem itu SCC tidak bisa mengendalikan beban, yang ada hanya monitor terhadap kondisi baterai.

Ketidakseimbangan antara charging dan discharging pada baterai bisa saja terjadi. Pengendalian beban sepenuhnya manual dilakukan oleh operator. Agar SCC dapat memutuskan aliran listrik ke beban ketika kapasitas baterai telah

Inverter juga memungkinkan kita untuk mematikan semua arus listrik jika terjadi pemadaman listrik atau jika diperlukan perbaikan. Ini tentu berguna untuk pemeliharaan, pemecahan masalah dan peningkatan sistem.



Gambar 2-13
Cara kerja Inverter pada PLTS
Rooftop On-Grid

Cara Kerja Inverter pada Solar PV Rooftop On-Grid

Gambar di atas adalah *block diagram* dan cara kerja *Solar PV Roof Top On grid* yang terpasang di bangunan.

Gambar di atas : Pada saat matahari bersinar terang, panel surya menghasilkan daya lebih besar dari beban listrik di rumah/ gedung, sehingga inverter akan mengatur dan mendistribusikan arus listrik ke beban dan sisanya ke PLN.

Gambar di bawah: Pada saat matahari bersinar kurang terang, Panel surya menghasilkan daya kurang dari kebutuhan beban listrik di rumah/ gedung, maka inverter akan mengatur dan mendistribusikan arus listrik dari panel ke beban dan arus listrik dari PLN ke baban di rumah.

3. Jenis Inverter berdasarkan Kapasitasnya

Pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) on-grid ada tiga macam inverter yang dapat digunakan sesuai dengan peruntukan dan kapasitasnya, yaitu: (1) Micro Inverter; (2) String Inverter.



i. Micro-Inverter

Meskipun mikro-inverter telah tersedia sejak tahun 1993, Enphase Energy dianggap sebagai perusahaan yang pertama kali membangun mikro-inverter yang sukses secara komersial. Lebih dari satu juta unit produknya telah terjual sejak dirilis pada tahun 2008. Beberapa perusahaan lain dalam



Gambar 2-14
Block Diagram Micro Inverter

industri surya juga telah meluncurkan mikro-inverter produk sendiri, memvalidasi potensi mereka. Micro Inverter adalah kotak kecil yang dipasang terpisah dari modul surya, tetapi diletakkan pada rail di belakang setiap modul (lihat gambar xx Single Line Diagram Micro Inverter. Output

micro inverter biasanya dipasang secara paralel.



Gambar 2-15 Micro Inverter dipasang pada Rail sebelum Module Surya terpasang

Secara teori, mikro-inverter membawa beberapa manfaat yang signifikan. Pemasangan micro inverter pada setiap modul surya akan menambah biaya, namun memberikan banyak keuntungan, antara lain:

- Mikro-inverter mengoptimalkan daya setiap panel surya saja, bukan untuk seluruh sistem PV Array, seperti yang dilakukan oleh inverter sentral. Ini memungkinkan setiap panel surya untuk bekerja pada potensi maksimalnya. Dengan kata lain, satu panel surya saja tidak dapat menurunkan kinerja seluruh susunan surya, dibandingkan dengan inverter sentral yang mengoptimalkan koneksi terlemah.
- Pelacakan MPPT pada setiap Modul. Salah satu hal yang rumit tentang sel surya adalah bahwa tegangan perlu disesuaikan dengan tingkat cahaya untuk output daya maksimum. Dengan kata lain, kinerja panel surya tergantung pada beban tegangan yang diterapkan dari inverter. MPPT adalah teknik yang digunakan untuk menemukan tegangan yang tepat – titik daya maksimum. Ketika MPPT diterapkan pada masing-masing panel, yang berbeda dengan system pembangkit tenaga surya secara terpusat, kinerja akan meningkat secara alami.
- Garansi lebih lama. Karena mikro-inverter tidak terkena daya tinggi dan beban panas seperti layaknya inverter pusat, mereka juga cenderung bertahan lebih lama secara signifikan. Inverter mikro biasanya bergaransi 15-25 tahun lebih lama dari inverter pusat.
- Mudah untuk Upgrade. Apabila suatu saat nanti ingin meningkatkan system pembangkit tenaga surya dengan menambah modul surya akan sangat mudah dengan mikro-inverter. Tidak perlu khawatir tentang pemasangan ulang atau pemasangan inverter sentral kedua.
- Laporan Kinerja. Pemantauan berbasis web berdasarkan panel per panel biasanya tersedia untuk pemilik rumah dan penginstal untuk menganalisis kinerja PLTS secara terus menerus. Bahkan ada aplikasi

seluler yang memungkinkan Anda untuk memantau sistem PV Anda saat di jalan.

- Tidak ada titik kegagalan. Jika ada sesuatu yang salah dengan salah satu panel surya atau mikro-inverter yang berada di belakangnya, sisa panel surya tidak terpengaruh dan masih beroperasi.
- Keamanan yang ditingkatkan. Mikro-inverter menghilangkan kebutuhan untuk kabel DC tegangan tinggi, yang meningkatkan keamanan untuk installer maupun pemilik sistem.
- Suara lebih hening. Karena mikro-inverter membuang panas yang jauh lebih sedikit dari pada inverter pusat, tidak perlu pendinginan aktif, yang memungkinkan mereka beroperasi tanpa kebisingan.
- Biaya menjadi lebih hemat. Rata rata harga Mikro-inverter lebih mahal dari pada inverter pusat. Pada tahun 2010 didapatkan bahwa inverter pusat rata-rata Rp 4.000 / Wp (watt-peak), sedangkan harga mikro-inverter secara signifikan lebih tinggi pada Rp 6.200 / Wp. Biaya awal yang lebih tinggi per Wp tidak berarti mikro-inverter pada akhirnya akan lebih mahal. Beberapa faktor lain harus dipertimbangkan. Pemasangan menggunakan mikro-inverter lebih sederhana dan lebih sedikit memakan waktu, yang biasanya memotong 25% dari biaya instalasi. Daya tahan yang lebih baik dan umur yang lebih lama juga harus dipertimbangkan.
- Dengan micro inverter, maka MPPT akan mengontrol dan memantau di tingkat panel.
- Tegangan DC lebih rendah, karena tegangan listrik langsung diubah menjadi AC, dimana arus AC memerlukan kuat arus lebih kecil dan ukuran kabel lebih kecil juga. sehingga meningkatkan keamanan. Tidak perlu kabel dengan tegangan ~ 600 V DC.
- Memungkinkan peningkatan fleksibilitas desain, modul dapat berorientasi ke berbagai arah
- Overshadowing pada salah satu modul surya tidak menyeret keseluruhan string
- Tidak perlu menghitung panjang string, sehingga lebih mudah dalam merancang sistem
- Kemampuan untuk menggunakan modul yang berbeda dalam satu sistem, terutama ketika memperbaiki atau memperbarui sistem yang lebih tua.



Selain keuntungan, micro inverter juga memiliki kerugian, yaitu:

- Biaya lebih tinggi saat pemasangan dalam hal dolar per watt, saat ini hingga dua kali lipat biaya dibandingkan dengan string inverter
- Meningkatnya kompleksitas dalam instalasi
- Mengingat posisi pemasangannya, beberapa mikro-inverter mungkin memiliki masalah terhadap panas udara luar yang ekstrem
- Biaya pemeliharaan meningkat karena banyaknya unit dalam array.

Memasang Micro Inverter



Gambar 2-16
Pemasangan micro inverter
di atas genteng

- Micro Inverter untuk setiap modul surya dipasang pada aluminium rail. Bagian plat pelindung dipasang di atas.
- Catatan: String Inverter harus dipasang di tempat terlindung di bagian bangunan lainnya.

ii. Inverter Mikro Ganda (Dual/Double Micro Inverter)



Gambar 2-17
APsystems YC600 >
548 Watt Dual-Module
Micro Inverter - For
up to two 365Watt
Solar Panels - MC4

Pada 2011, mikro-inverter ganda diperkenalkan ke pasar. Inverter itu pada dasarnya melakukan persis sama dengan mikro-inverter biasa, namun digunakan untuk setiap dua panel surya, bukan satu. Ini menurunkan biaya, tetapi sebanding dengan performa kerjanya.

Manakah yang terbaik antara mikro-inverter, dual-mikro inverter, atau string inverter atau inverter pusat? Tergantung.

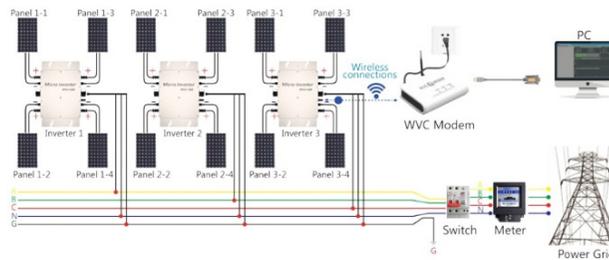
Dalam situasi tertentu, dual mikro-inverter perlu dipertimbangkan. Pemilik rumah yang tidak memiliki tempat lapang untuk sistem pv array paling diuntungkan oleh mikro-inverter. Micro-inverter sangat baik untuk orientasi atap yang sulit, sistem starter dan aplikasi kecil.

Analisis biaya: Evaluasi kegunaan mikro-inverter terhadap dua hal:

- Lifetime Cost (Rp)
- Daya yang dihasilkan selama lifetime (kWh)

Komponen dasar inilah yang harus dihitung, sehingga kita bisa mengetahui berapa Rupiah setiap kWh yang dihasilkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga surya. Setiap situasi berbeda – ada banyak variabel yang harus

dipertimbangkan untuk menemukan kedua angka itu. “Analisis total biaya pengadaan sistem pembangkit listrik tenaga surya dapat dilakukan setelah diketahui perincian biaya modal dan pemeliharaan selama umur sistem, dan pemahaman tentang berapa banyak energi yang akan dihasilkan selama umur system.”

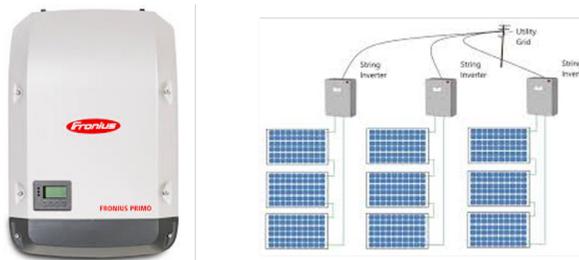


Gambar 2-18 Skema kelistrikan dual inverter tiga fasa

Antar dual micro inverter juga dipasang secara paralel untuk menghindari tegangan output yang tinggi pada jaringan. Dual micro inverter memiliki terminal ground, netral dan fasa.

iii. String Inverter

String Inverter adalah jenis yang paling umum digunakan di rumah dan sistem tenaga surya komersial. Ini adalah kotak besar yang sering terletak agak jauh dari susunan panel surya. Tergantung pada ukuran instalasi, mungkin ada lebih dari satu string inverter yang ada.



Gambar 2-19 String Inverter dan Pemasangannya

Inverter string 3-fase secara umum menawarkan rentang aplikasi terluas dalam hal perumahan hingga instalasi komersial besar. Ada perangkat lain yang dapat ditambahkan ke beberapa sistem inverter string yang memungkinkan MPPT pada tingkat panel dan pemantauan-pengoptimal daya. Berikut keunggulan dan kelemahan string inverter.

| Keunggulan String Inverter | Kelemahan String Inverter |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Memungkinkan fleksibilitas desain tinggi • Efisiensi tinggi • Kuat • Tersedia 3 variasi fasa • Biaya rendah • Didukung dengan baik (jika membeli merek terpercaya) • Kemampuan pemantauan sistem jarak jauh | <ul style="list-style-type: none"> • Tidak ada MPPT level modul surya • Tidak ada pemantauan tingkat modul surya • Level tegangan tinggi menghadirkan potensi bahaya keselamatan • Seperti halnya perangkat lain, masalah “merek terpercaya” adalah masalah yang penting. Tidak semua string inverter dibuat sama. |

4. Jenis Inverter PLTS Berdasarkan Penggunaannya

i. Inverter On-Grid

Inverter ini dapat digunakan untuk mensuplay energi listrik dari panel surya ke PLN, namun inverter on-grid tidak dapat menghasilkan listrik AC ketika listrik dari PLN padam, meskipun sinar matahari bersinar terang.

Gambar di samping menunjukkan Inverter ON Grid-String [SB5.0-1AV-41] dengan kapasitas 5000W, Single Phase, Output 180-280Vac, 50/60 Hz, Input MPPT Max 600Vdc, Eff>97%. Warna Inverter buatan SMA memberikan ciri sebagai berikut: warna merah output on-grid 1 phase dan warna biru output on-grid 3 phase.



Gambar 2-20
Inverter On-Grid-String

Pada PLTS Rooftop, energi listrik dari panel digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di dalam rumah. Jika ada kelebihan daya, maka energi listrik akan disalurkan ke jaringan PLN melalui net metering (KWH export dan import). Jika daya yang dihasilkan panel surya tidak mencukupi kebutuhan beban, maka energi listrik dari PLN akan mengalir untuk memenuhi kebutuhan beban. Atau ketika di malam hari energi yang disediakan battery tidak cukup, maka arus listrik PLN akan mengalir memenuhi kebutuhan beban.

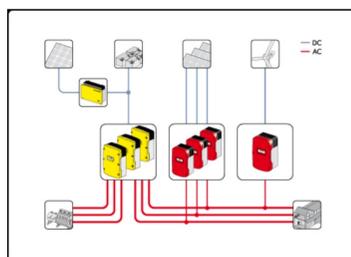
Atau ketika di malam hari, energi listrik dari PLN akan mengalir memenuhi kebutuhan beban melalui net metering. Perhitungan energi listrik yang diekspor dan diimport dihitung berdasarkan faktor konversi.

ii. Inverter Off-Grid

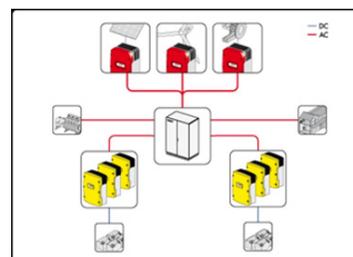


Gambar 2-21
Inverter Off-Grid-String

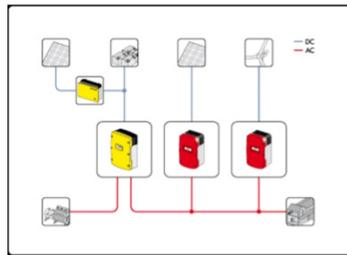
Inverter off-grid atau disebut juga battery inverter atau island inverter digunakan pada PLTS di daerah terpencil yang tidak dihubungkan dengan jaringan PLN. Agar energi listrik dapat digunakan pada malam hari, maka sistem PLTS harus dilengkapi dengan battery dengan kapasitas sama dengan kapasitas panel surya.



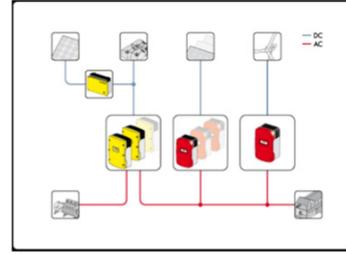
Gb a. Single cluster, single phase
SMA SUNNY Island Inverter 4.4M / 6.0H / 8.0H untuk sistem 1 kW hingga 8 kW



Gb b. Single cluster, three phase
Tiga SMA SUNNY Island Inverter 6.0H / 8.0H inverter diparalel dalam 1 phase untuk sistem mulai 3 kW hingga 24 kW



Gb c. Single cluster, three phase
Tiga battery inverter SMA SUNNY Island 4.4M/6.0H/8.0H dapat dihubungkan satu sama lain membentuk sistem 3 phase mulai 5 hingga 24 kW



Gb d. Multi cluster, three phase
Tiga battery inverter SMA SUNNY Island 6.0H / 8.0H per cluster untuk sistem dengan kapasitas hingga 300 kW (hingga 36 x inverter SMA Sunny Island)

Gb 2-22.
Konfigurasi Sistem Off Grid yang memungkinkan untuk Battery inverter SMA SUNNY Island 4.4M/6.0H/8.0H

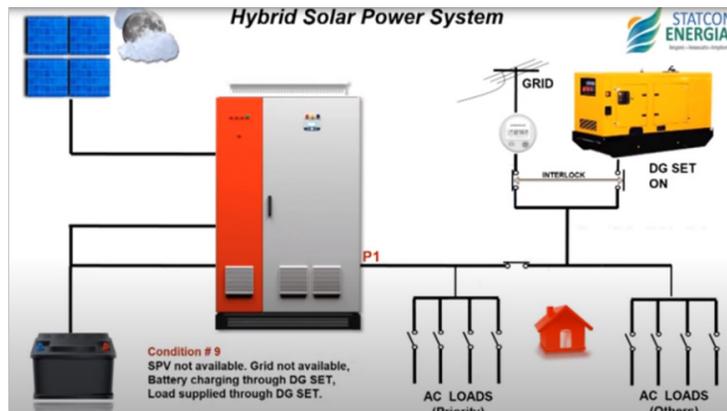
Inverter off-Grid mempunyai kapasitas beragam dengan sistem battery 12 Vdc atau 24 Vdc. Gambar di atas adalah Inverter Off Grid-Bidirectional merk SMA dengan spesifikasi: pure sine [Si8.0h-12], 6000W, single phase, output 180-270Vac, 50/60 Hz, Input MPPT 120-500Vdc, Input Battery 48Vdc. Inverter Off-Grid buatan SMA hanya mempunyai satu warna kuning untuk 1 phase. Inverter off grid dapat langsung menghasilkan listrik AC ketika MPPT atau baterai mengalirkan arus listrik DC dan semua DC disconnecter dihubungkan. Oleh karena itu berhati-hati terhadap output inverter off-grid.

iii. Hybrid inverter



Hybrid inverter atau disebut juga smart inverter atau inverter cerdas adalah inverter yang juga berfungsi mengatur sumber-sumber pasokan dan distribusi listrik di dalam sistem yang mengkombinasikan sistem on-grid, sistem off-grid dan back up system.

Hybrid inverter banyak dipasang di gedung yang mengharuskan pasokan listrik tetap ada, misalnya rumah sakit, dll. Pada sistem yang digambarkan di atas ada 9 (sembilan) kondisi bagaimana sistem hybrid bekerja:



Gambar 2 - 23
Sistem PLTS Hybrid



Kondisi 1

- PLTS tersedia tetapi sinar matahari kurang, PLN tersedia
- Baterai diisi listrik melalui MPPT charger di dalam Inverter dan PLN
- Beban penuh dipasok oleh listrik PLN

Kondisi 2

- PLTS tersedia, PLN tersedia
- Baterai terisi listrik hampir penuh
- Kelebihan pasokan listrik PLTS digunakan untuk memenuhi sebagian besar beban, sedangkan sebagian kecil dipasok oleh listrik PLN.

Kondisi 3

- PLTS tersedia, PLN tersedia
- Baterai terisi listrik hampir penuh
- Beban nol atau sangat kecil, kelebihan daya PLTS diekspor ke PLN.

Kondisi 4

- PLTS tersedia, PLN tidak tersedia
- Baterai terisi listrik hampir penuh
- Kelebihan pasokan listrik PLTS dan baterai digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban prioritas.

Kondisi 5

- PLTS tersedia, PLN tidak tersedia
- Baterai kondisi Low
- Genset Diesel diasut dan sinkronisasi otomatis dengan inverter
- Beban dialiri listrik oleh PLTS dan genset diesel.

Kondisi 6

- PLTS tersedia, PLN tidak tersedia
- Genset Diesel sedang sinkronisasi otomatis dengan inverter
- Beban lebih kecil dari daya PLTS, kebutuhan listrik dipasok PLTS
- Genset tidak mengalirkan listrik.

Kondisi 7

- Daya PLTS rendah atau nol, PLN tidak tersedia
- Beban prioritas disuplai oleh baterai.

Kondisi 8

- PLTS tidak tersedia, PLN tersedia
- Baterai diisi oleh listrik PLN, pilihan lama pengisian tersedia
- Beban dilistrikan oleh PLN.

Kondisi 9

- PLTS tidak tersedia, PLN tidak tersedia
- Baterai diisi oleh Genset Diesel.
- Beban dilistrikan oleh Genset Diesel.

Keterangan:

- Sistem PLTS hybrid yang lebih sederhana, karena hanya menyediakan PLTS, baterai dan PLN atau genset atau pembangkit energi terbarukan lainnya.
- Sistem Hybrid dapat melibatkan sumber energi terbarukan lainnya, seperti PLTB dan PLTMH dll, namun dengan cara kerja yang berbeda.

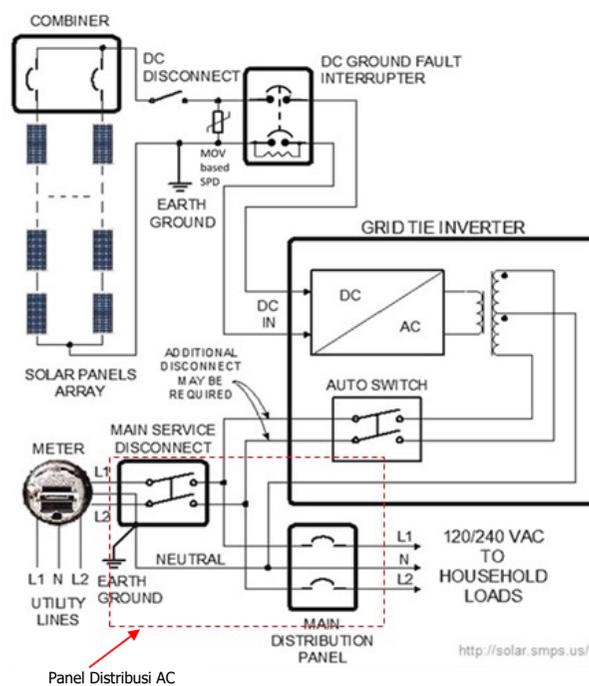
f. PANEL DISTRIBUSI AC

1. Komponen Panel Distribusi AC

Panel ini merupakan kotak terminal untuk proteksi pada sisi arus AC dan juga sebagai panel distribusi. Di dalam panel distribusi AC biasanya berisi:

- MCB AC
- Terminal kabel pbumian
- Surge Protection Device
- Monitor parameter AC baik dari array maupun PLN.
- Cable gland input dari inverter, cable gland out-put distribusi ke jaringan rumah, dan cable gland out-put ke KWH Ex-im.
- Contactor-Diskonektor AC

Pada PLTS skala kecil, main service disconnect biasanya disatukan dengan main distribution panel sebagai Panel AC (garis putus berwarna merah), lihat gambar di atas. Dari panel AC terdapat terminal input dari inverter dan terminal keluar untuk beban di dalam jaringan rumah serta terminal ke KWH Export-Import.

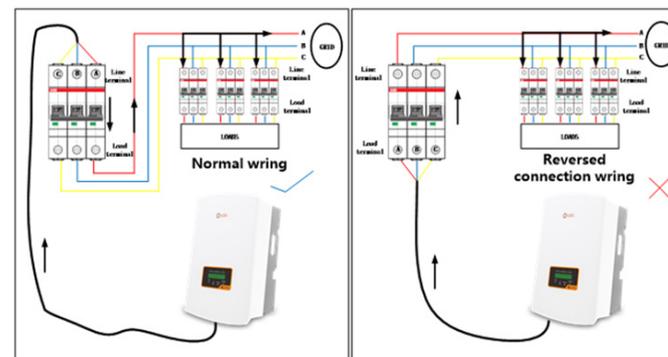


Gambar 2 - 24
Instalasi panel Distribusi AC, merupakan main service disconnect dan main distribution panel

2. Cara Instalasi Kabel pada MCB



Panel distribusi AC dipasang antara inverter dan KWH Meter EX-Im. Di dalam panel ini terdapat MCB pada setiap phase yang keluar dari inverter. Kabel phase dari inverter on-grid dipasang pada terminal input MCB yang terletak di sebelah atas, tidak boleh terbalik!. Jika terbalik, ketika terjadi arus lebih akan timbul timbul busur api pada MCB yang mengakibatkan MCB menjadi terbakar dan rusak. Gambar berikut menunjukkan pemasangan kabel AC dari inverter yang benar dan salah. Lihat gambar di bawah.



Gambar 2 - 25a
Instalasi kabel AC antara inverter dan MCB yang BENAR

Gambar 2 - 25b
Instalasi kabel AC antara inverter dan MCB yang SALAH

Gambar 2 - 25
Penyambungan kabel fasa pada input MCB yang benar dan salah

g. KWH METER EXPORT IMPORT (NET METERING)



Pada dasarnya, *kWh Export Import* atau *net metering* merupakan sistem layanan yang diluncurkan oleh PLN untuk kebutuhan listrik rumah tangga. Skenarnya adalah listrik dari panel surya nantinya bisa dikirimkan ke jaringan distribusi PLN di area tertentu. Dengan demikian, daya listrik tersebut dapat digunakan lagi sebagai konsumsi untuk kebutuhan dan keperluan rumah tangga. Penggunaan *net metering* di Indonesia sendiri mulai mendapatkan perhatian khusus dari pihak pemerintah dan PLN selaku produsen listrik terbesar di tanah air. Pengertian Export dan Import dipandang dari sisi PLN.

Hal tersebut tertuang dalam peraturan PLN Nomor 0733.K/DIR/2013. Dalam aturan tersebut dijelaskan bahwa PLN wajib mengkredit energi dari tenaga surya kepada rekening milik pelanggan. Dengan cara seperti ini, pelanggan dapat mengekspor atau mengirim daya listrik secara harian dan juga dapat menggunakan (impor) daya listrik yang dihasilkan oleh PLN untuk digunakan kembali di waktu yang lain. Agar pelanggan dapat menggunakan mekanisme tersebut, maka pelanggan PLN, dalam hal ini rumah tangga, perlu memasang alat pembaca meteran tersebut, yakni kWh meter Exim.

1. Bagaimana Cara Kerjanya?

Setelah Anda mengetahui apa itu *net metering* atau meter Ex-im dalam hal jual listrik ke PLN, maka Anda juga perlu mengetahui bagaimana cara kerja sistem ini. Dengan menggunakan Sistem Solar Panel, listrik yang diproduksi berpotensi untuk tidak langsung dikonsumsi oleh pemilik rumah. Dengan meter Exim listrik berlebih tersebut dapat dikirim ke jaringan listrik PLN dan dicatat sebagai kredit oleh meter Exim. Listrik berlebih tersebut menjadi kredit di PLN yang akan mengurangi tagihan bulanan dari pelanggan pengguna Sistem Solar Panel tersebut. Secara fungsi, meter exim bertugas mencatat listrik yang dibeli (impor) dan dijual (ekspor) ke PLN.

2. Ketentuan Izin PLTS Atap

Bagi masyarakat dan sekaligus pelanggan listrik dari PT PLN yang akan memasang panel listrik surya hingga sebesar 500 kilovolt ampere (kVA) tidak perlu mengajukan izin pemanfaatan.

Tetapi jika ingin memasang PLTS Atap yang mampu menghasilkan listrik berkapasitas lebih dari 500 kVA, maka harus mengantongi izin operasi. Pelanggan listrik dari PT PLN yang berminat dengan sistem PLTS Atap dapat mengajukan permohonan pembangunan dan pemasangan kepada General Manager Unit Induk Wilayah/Distribusi PT PLN setempat.

Pelanggan perlu melengkapi persyaratan administrasi dan persyaratan teknis. Untuk pelanggan prabayar, harus mengajukan perubahan mekanisme pembayaran tenaga listrik menjadi pascabayar.

3. Mekanisme Pemasangan kWh Meter EXIM

Untuk pelaksanaan pemasangan, perhatikan beberapa langkah berikut ini

- i. Pelanggan mengajukan permohonan kepada PT PLN setempat
- ii. PLN akan melakukan evaluasi dan verifikasi. Bila pelanggan menginginkan transaksi export–import tenaga listrik, maka PLN memproses permohonan dengan menerbitkan nomor register non taglis untuk biaya kWh meter Exim dan menerbitkan persetujuan paralel sistem, namun jika pelanggan tidak menginginkan transaksi ex-im tenaga listrik, maka PLN cukup menerbitkan surat persetujuan paralel system photovoltaic dengan sistem PLN.
- iii. Jika tidak disetujui, maka pelanggan diminta untuk melengkapi kekurangan persyaratan selama 15 hari kerja.
- iv. Jika telah disetujui, pelanggan dapat melakukan pembangunan dan pemasangan listrik surya atap (PLTS Rooftop)
- v. Jika daya PLTS rooftop \leq 500 kVA tidak memerlukan Sertifikat Laik Operasi (SLO) dan Ijin Operasi (IO).

4. Pembiayaan Pemasangan kWh Meter Exim untuk Net Metering

Pembiayaan pemasangan pelaksanaan net metering dengan kWh meter Exim, ada beberapa hal yang perlu Anda perhatikan

- i. Bila pelanggan tidak menginginkan transaksi export – import tenaga listrik, maka operasi paralel tidak dikenakan biaya listrik.

- ii. Bila pelanggan menginginkan transaksi export import tenaga listrik, maka biaya kWh meter exim dibebankan kepada pelanggan dengan harga kWh meter exim yang berlaku di PLN. Besaran biaya bergantung pada penawaran yang diberikan masing-masing PLN Area saat Anda melakukan pengajuan.
- iii. Biaya tagihan pemakaian listrik bulanan sesuai Tarif Tenaga Listrik yang berlaku.
- iv. Kewajiban pelanggan lainnya seperti Pajak Pertambahan Nilai (PPN), jika ada, Pajak Penerangan Jalan dan Materai sesuai ketentuan yang berlaku.

2. PEMASANGAN KOMPONEN UTAMA PLTS ON-GRID DI DINDING



Gambar 2-26
Simulasi Pemasangan Komponen Kelistrikan PV



Gambar 2-27
Pemasangan Off-Grid Inverter pada PLTS Rooftop



Gambar 2 - 28
Pemasangan Off-Grid Inverter pada PLTS Rooftop

Dalam perencanaan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS rooftop di luar tembok, ada beberapa hal yang harus disiapkan, seperti menentukan titik inverter pada posisi menempel di dinding. Ada beberapa faktor yang mendasarinya, yaitu:

Faktor keamanan dan kenyamanan adalah alasan terpenting untuk menjadikannya seperti itu. Selain tidak menghalangi dan mengganggu penghuni rumah saat beraktivitas, letak inverter harus berada pada area yang memiliki tinggi sama dengan area sekitar bahu manusia. Posisi tersebut, selain memiliki kemudahan untuk diakses, juga relatif terhindar dari gangguan.

Teknik *out bow*, atau teknik instalasi listrik di luar dinding, cenderung aman diterapkan. Selain mudah untuk dikerjakan dengan biaya yang relatif lebih murah, waktu pengerjaannya pun dapat diatur sesuai kondisi dan kesempatan yang ada. Disamping itu, keberadaan kabel dapat disembunyikan menggunakan protektor (pelindung) kabel sehingga hasil akhirnya terlihat lebih menyatu dengan dinding.

Memasang perangkat listrik *Out Bow* pada dinding rumah, tidak mengharuskan untuk membobok dinding rumah. Namun, harus dibuat "lubang kecil" menggunakan mesin bor-beton agar perangkat bisa melekat kuat di dinding dengan menggunakan "sekrup".

Seperti yang dijelaskan di paragraf atas, bahwa sebelum pemasangan instalasi listrik, terlebih dahulu diperlukan data teknis bangunan, misalnya dinding dibuat dari papan kayu, bata merah; batako, asbes atau lainnya. Dan langit-langit berupa plafon atau beton dan sebagainya. Dengan demikian dalam perancangan instalasi dapat ditentukan jenis penghantar yang sesuai.

Jika yang digunakan cable PV-1 untuk arus DC, maka harus menggunakan pelindung pipa, sedangkan jenis kabel NYHHY untuk arus AC tidak diharuskan, tetapi jika menggunakan pipa akan diperoleh bentuk yang lebih baik dan rapi.

Penggunaan pipa pada instalasi listrik dapat dipasang didalam tembok / beton maupun di luar dinding / pada permukaan papan kayu, sehingga terlihat rapi. Adapun peralatan pelindung dalam pemasangan instalasi listrik inbow ataupun out bow adalah Pipa Pelindung. Dalam instalasi listrik dikenal dengan 3 (tiga) macam pipa jenis, yaitu Pipa Union, Pipa Paralon atau PVC dan Pipa Fleksibel, sbb:



Gambar 2-29
Pemasangan Tie Grid Inverter pada
PLTS Rooftop

a. Pipa Union



Pipa union adalah pipa yang terbuat dari plat besi dan dibuat oleh pabrik tanpa menggunakan las dan diberi cat meni berwarna merah. Pipa jenis ini dalam pengerjaannya mudah karena mudah dibengkokkan dalam keadaan dingin

Jika lokasi pemasangannya mudah dijangkau tangan, maka pipa harus dihubungkan dengan pentanahan, kecuali bila digunakan untuk menyelubungi kawat pentanahan (arde). Umumnya dipasang pada tempat yang kering, karena untuk menghindari terjadi korosi atau karat.

b. Pipa Paralon / PVC



Pipa ini dibuat dari bahan paralon / PVC. Jika dibandingkan dengan pipa union, keuntungan pada pipa PVC adalah lebih ringan, lebih mudah pengerjaannya (dengan pemanasan) dan merupakan bahan isolasi, sehingga tidak akan mengakibatkan hubung singkat antar penghantar.

Disamping itu penggunaannya sangat cocok untuk daerah lembab, karena tidak menimbulkan korosi. Namun demikian, pipa PVC memiliki kelemahan yaitu tidak tahan digunakan pada temperatur kerja diatas 60°C.

c. Cabel Conduit



Cable Conduit merupakan selang fleksibel yang dapat disambungkan dengan pipa PVC dengan menggunakan aksesoris. Penyambungan dapat juga menggunakan potongan logam/PVC pendek yang disambung sedemikian rupa sehingga mudah diatur dan lentur. Atau dapat juga membuat pipa lengkung dari pipa PVC yang dipanaskan.

3. MEMERIKSA HASIL PEMASANGAN

Langkah Pemeriksaan

- Pastikan semua pemasangan PLTS Rooftop On-Grid telah memperoleh ijin tertulis dari PLN setempat.
- Pastikan semua switch DC dan AC dalam keadaan OFF.
- Periksa spesifikasi komponen-komponen utama dan bandingkan dengan spesifikasi desain
- Periksa hasil pemasangan struktur penyangga modul PV dari kemungkinan kurang kokoh atau longgar.
- Periksa hasil pemasangan modul surya dari kemungkinan longgar dan tidak rapi. Periksa juga persambungan string modul fotovoltainya dari kemungkinan longgar atau tidak tersambung.
- Periksa hasil pemasangan combiner box dari kemungkinan longgar dan miring, tidak terlindung dari terik matahari dan hujan atau ada lubang-lubang cable gland yang terbuka. Pastikan box duduk di bawah panel surya atau tempat teduh lainnya dengan aman. Periksa part-part di dalam box dari kemungkinan pengikat yang longgar atau persambungan kabel yang tidak kuat atau terbuka.
- Periksa hasil pemasangan panel DC dan DC disconnecter dari kemungkinan longgar dan miring pada dudukannya. Pastikan keduanya terlindung di dalam rumah. Periksa juga part-part di dalamnya dari kemungkinan longgar pada dudukannya dan persambungan kabel yang kendur atau terbuka dan membahayakan. Pastikan kabel positif masuk dari bagian atas (input MCB dan kabel negatif pada terminal output MCB (bagian bawah)
- Periksa hasil pemasangan inverter on-grid dari kemungkinan longgar dan miring pada dudukannya. Pastikan inverter berada di dalam rumah dan mempunyai jarak yang cukup dengan benda lainnya minimal 30 cm baik horizontal maupun vertikal, agar proses pendinginan inverter dapat berlangsung dengan baik.
- Periksa hasil pemasangan panel distribusi AC dari kemungkinan longgar. Pastikan panel berada di dalam rumah dan box dalam keadaan tertutup dari kemungkinan binatang masuk. Pastikan kabel-kabel terpasang dengan kuat dan aman, demi-

kian juga kabel fasa masuk pada terminal fasa MCB (bagian atas) dan kabel netral dipasang pada terminal netral (bagian bawah MCB).

- Periksa hasil pemasangan kWh meter Ex-Im dari PLN dari kemungkinan longgar atau miring. Pastikan pemasangan PLTS Rooftop on grid telah mendapatkan ijin dari PLN.

Pengisian Form

Tuliskan spesifikasi utama setiap komponen utama

| No | Nama Komponen | Spesifikasi dan Merk | | Catatan |
|----|-----------------------------|----------------------|--------|---------|
| | | Terpasang | Desain | |
| 1 | Struktur Penyangga Modul PV | | | |
| 2 | Modul PV | | | |
| 3 | Proteksi pada Panel DC | | | |
| 4 | Inverter On-Grid | | | |
| 5 | Proteksi pada Panel AC | | | |
| 6 | KWH Ex-Im | | | |

- Berilah tanda cek (✓) jika kualitas pemasangan telah baik dan benar. Jika belum sesuai dengan standar, periksa dan perbaiki kualitas pemasangan. Buatlah catatan bila perlu.

| No | Parameter | Cek (✓) | Catatan |
|----|--|---------|---------|
| 1 | Struktur penyangga modul PV dipasang dengan kokoh dan tidak ada skrup atau baut yang longgar | | |
| 2 | Modul PV dipasang dengan kuat dan rapi, tidak terkena bayangan dan kabel string tersambung dengan baik, benar dan kuat. | | |
| 3 | Combiner box terpasang dengan benar dan kuat padaudukannya dan semua part combiner box terpasang dengan benar dan kuat padaudukannya. Pastikan combiner box dalam keadaan rapat dan tidak dapat dimasuki binatang. | | |
| 4 | Panel DC terpasang dengan kuat dan benar padaudukannya di dalam rumah dan semua part panel DC terpasang dengan benar dan kuat padaudukannya. Pastikan panel dalam keadaan rapat dan tidak dapat dimasuki binatang. | | |

| No | Parameter | Cek (✓) | Catatan |
|----|--|---------|---------|
| 5 | Inverter On-Grid terpasang dengan kuat dan benar padaudukannya di dalam rumah. Pastikan jarak terhadap benda lain baik horizontal dan vertikal tidak murang dari 30 cm. | | |
| 6 | Panel AC terpasang dengan kuat dan benar padaudukannya di dalam rumah dan semua part panel AC terpasang dengan benar dan kuat padaudukannya. Pastikan panel dalam keadaan rapat dan tidak dapat dimasuki binatang. | | |
| 7 | KWH Meter Ex-Im terpasang dengan kuat dan benar padaudukannya di dalam rumah sesuai SOP PLN. | | |



Gambar 2 - 30
Kesalahan dalam pemasangan komponen dan penyambungan kabel dapat mengakibatkan modul fotovoltaik terbakar.

BAGIAN 3 MEMASANG KABEL PENGHANTAR PLTS TIPE ON-GRID

1. IDENTIFIKASI KABEL DAN MC4

a. Kabel DC - Kabel Fotovoltaik (Solar PV Cable)

Untuk meningkatkan efisiensi PLTS, kabel PV yang digunakan dalam sistem PLTS harus khusus, karena kabel Fotovoltaik telah:



- didesain khusus untuk instalasi permanen yang menghubungkan komponen sistem fotovoltaik di dalam dan luar gedung serta peralatan dengan persyaratan mekanis tinggi dan cuaca ekstrem.
- Kabel pv ini memiliki ketahanan tinggi terhadap panas, dingin, minyak, abrasi, ozon, UV dan cuaca; Mampu bereaksi lebih baik, jika terjadi kebakaran, asap rendah, bebas



Gambar 3-1
Konstruksi Kabel
Fotovoltaik

halogen, bebas api, tahan api; Fleksibel, mudah dilepas, kebutuhan ruang rendah, sangat kuat secara mekanis, masa pakai lama.

- Konstruksi kabel memiliki konduktor tinned copper; Isolasi: 120°C XPLE; Jacket: 120°C XPLE; Tanda pada kabel, contoh: TÜV 2 PFG 1169 PV1-F 1×4mm²
- Spesifikasi kabel PV digambarkan pada Tabel 2-2 & Tabel 2-3 berikut:



Gambar 3-2
Contoh
Kabel-kabel
Solar PV

Tabel 3-1
Spesifikasi Kabel PLTS (brand: UWCable)

| Type of Cable | Cross section | Strand design | Conductor | | Outer Dia. | Rated voltage | Rated current |
|---------------------------|-----------------|---------------|-----------|------------|------------|---------------|---------------|
| | | | Dia. | Resistance | | | |
| | mm ² | No.of×(mm) | mm | Ω/km | mm | V AC/DC | A |
| PV-1*1.5 mm ² | 1.5 | 30 × 0.25 | 1.6 | 13.9 | 4.5 | 1000/1800 | 20 |
| PV-1*2.5 mm ² | 2.5 | 50 × 0.25 | 2 | 8.06 | 5.3 | 1000/1800 | 30 |
| PV-1*4.0 mm ² | 4 | 56 × 0.3 | 2.6 | 4.97 | 6.4 | 1000/1800 | 50 |
| PV-1*6.0 mm ² | 6 | 84 × 0.3 | 3.3 | 3.52 | 7.2 | 1000/1800 | 70 |
| PV-1*10.0 mm ² | 10 | 200 × 0.25 | 4.4 | 2.12 | 8.3 | 1000/1800 | 95 |
| PV-1*16 mm ² | 16 | 224 × 0.3 | 5.2 | 1.95 | 9.5 | 1000/1800 | 140 |

Tabel 3-2
Spesifikasi Kabel PLTS PV1-F (brand: ELAND Cables)

| Type of Cable | No of Cores | Nom. Cross section Area | Nom. Overall Diameter | Max Conductor resistance at 20°C | Rated voltage | Current Carrying Capacity |
|---------------|-------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------------|---------------|---------------------------|
| | | mm ² | mm | Metal-Coated Wires (Ω /km) | V AC/DC | in air Amp |
| A6S10025 | 1 | 2.5 | 4.5 | 8.21 | 1000/1800 | 41 |
| A6S10040 | 1 | 4 | 5.2 | 5.09 | 1000/1800 | 55 |
| A6S10060 | 1 | 6 | 5.9 | 3.39 | 1000/1800 | 70 |
| A6S1010 | 1 | 10 | 6.9 | 1.95 | 1000/1800 | 98 |
| A6S1016 | 1 | 16 | 8.3 | 1.24 | 1000/1800 | 132 |
| A6S1025 | 1 | 25 | 9.7 | 0.795 | 1000/1800 | 176 |
| A6S1035 | 1 | 35 | 11 | 0.565 | 1000/1800 | 218 |
| A6S1050 | 1 | 50 | 13.2 | 0.393 | 1000/1800 | 276 |
| A6S1070 | 1 | 70 | 15.4 | 0.277 | 1000/1800 | 347 |
| A6S1095 | 1 | 95 | 17.4 | 0.21 | 1000/1800 | 416 |
| A6S1120 | 1 | 120 | 20.1 | 0.164 | 1000/1800 | 488 |
| A6S1150 | 1 | 150 | 22.5 | 0.132 | 1000/1800 | 566 |
| A6S1185 | 1 | 185 | 26 | 0.108 | 1000/1800 | 644 |
| A6S1240 | 1 | 240 | 26.8 | 0.0817 | 1000/1800 | 775 |

b. Kabel AC

Penggunaan kabel AC untuk instalasi tegangan DC pada pemasangan PLTS tidak direkomendasikan, meskipun dengan alasan penghematan biaya banyak instalatir menggunakan kabel AC untuk menghubungkan PV Array Combiner Box dengan inverter. Kondisi ini harus diperhitungkan, karena kemampuan kabel AC tegangan rendah yang ada di pasaran umum hanya mampu dilalui tegangan maksimum 450 dan 750 Volt. Memang untuk PLTS Rooftop rumah tinggal, kapasitas tegangan kabel tersebut masih mencukupi, namun pengkabelan DC hingga inverter seharusnya tetap menggunakan kabel DC khusus solar PV yang memiliki spesifikasi khusus. Kabel AC hanya digunakan pada output dari inverter menuju instalasi rumah/PLN. Beberapa jenis kabel AC yang digunakan dalam PLTS:

1. Kabel NYAF



kabel 300-500 V

Merupakan kabel berinti serabut tembaga satu kabel, berisolasi PVC satu lapis. Kabel ini memiliki banyak macam warna. Kabel NYAF sering digunakan untuk instalasi permanen di panel box AC yang banyak belokan dan memerlukan fleksibilitas kabel yang tinggi. Tegangan nominal

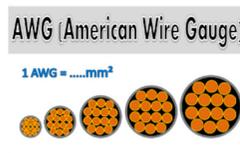
2. Kabel NYYHY



Kabel NYYHY merupakan kabel berinti serabut tembaga dengan 2, 3, 4 atau 5 kabel, berisolasi PVC dengan warna berbeda, kemudian berisolasi PVC lagi dan berselubung luar isolasi PVC hitam.

Kabel ini fleksibel sehingga dapat dipasang di atap, di dinding ruangan dan di tanam di dalam tanah untuk instalasi kelistrikan. Tegangan nominal antara 450-750 Vac.

3. Kabel AWG



AWG atau American Wire Gauge adalah ukuran standar USA untuk diameter konduktor listrik. Bagan Pengukur Kawat Amerika didasarkan pada jumlah cetak-

an yang awalnya diperlukan untuk menarik tembaga ke ukuran dimensi yang diperlukan. Artinya semakin tinggi angka AWG maka semakin kecil diameter kawatnya. Metode yang paling umum untuk mengacu pada ukuran konduktor menggunakan diameter dalam mm dan luas penampang dalam mm². Tabel konversi metrik AWG berikut mengonversi AWG ke mm dan inch, dan juga mencantumkan luas penampang.

Tabel 3 - 3
Spesifikasi Kabel PLTS (brand: UWCable)

| American Wire Gauge (AWG) | Diameter (in) | Diameter (mm) | Cross sectional area (mm ²) |
|---------------------------|---------------|---------------|---|
| 0000 (4/0) | 0.460 | 11.7 | 107.0 |
| 000 (3/0) | 0.410 | 10.4 | 85.0 |
| 00 (2/0) | 0.365 | 9.27 | 67.4 |
| 0 (1/0) | 0.325 | 8.25 | 53.5 |
| 1 | 0.289 | 7.35 | 42.4 |
| 2 | 0.258 | 6.54 | 33.6 |
| 3 | 0.229 | 5.83 | 26.7 |
| 4 | 0.204 | 5.19 | 21.1 |
| 5 | 0.182 | 4.62 | 16.8 |
| 6 | 0.162 | 4.11 | 13.3 |

| American Wire Gauge (AWG) | Diameter (in) | Diameter (mm) | Cross sectional area (mm ²) |
|---------------------------|---------------|---------------|---|
| 7 | 0.144 | 3.67 | 10.6 |
| 8 | 0.129 | 3.26 | 8.36 |
| 9 | 0.114 | 2.91 | 6.63 |
| 10 | 0.102 | 2.59 | 5.26 |
| 11 | 0.0907 | 2.30 | 4.17 |
| 12 | 0.0808 | 2.05 | 3.31 |
| 13 | 0.0720 | 1.83 | 2.63 |
| 14 | 0.0641 | 1.63 | 2.08 |
| 15 | 0.0571 | 1.45 | 1.65 |
| 16 | 0.0508 | 1.29 | 1.31 |
| 17 | 0.0453 | 1.15 | 1.04 |
| 18 | 0.0403 | 1.02 | 0.82 |
| 19 | 0.0359 | 0.91 | 0.65 |
| 20 | 0.0320 | 0.81 | 0.52 |
| 21 | 0.0285 | 0.72 | 0.41 |
| 22 | 0.0254 | 0.65 | 0.33 |
| 23 | 0.0226 | 0.57 | 0.26 |
| 24 | 0.0201 | 0.51 | 0.20 |
| 25 | 0.0179 | 0.45 | 0.16 |
| 26 | 0.0159 | 0.40 | 0.13 |

4. Menentukan Luas Penampang Kabel Instalasi

Untuk menentukan berapa luas penampang kabel yang tepat sesuai dengan Kuat Hantar Kabel pada jaringan tegangan rendah, PUIL 2011 telah menyediakan tabel yang memudahkan kita untuk memilihnya tanpa perhitungan rumit. Untuk PLTS Rooftop dibatasi pada tegangan kerja 230/400 (330) volt dan 300/500 (400) Vac.

Kabel yang digunakan pada instalasi PLTS adalah kabel fleksibel (serabut), apapun jenis isolator dan selungkupnya. Tabel di bawah ini sudah mencakupnya. Jika akan menggunakan kabel AC serabut (NYYHY), hanya memungkinkan setelah Pv array combiner box (panel DC). Hal-hal yang harus dipertimbangkan adalah spesifikasi SCC-MPPT pada input inverter, yaitu: tegangan DC maksimum, kuat arus maksimum dan daya maksimum.

Misal: inverter WVC 1200 dengan spesifikasi daya 5500 W, dihubungkan dengan jaringan 1 fasa, maka kabel NYM yang dipilih berukuran minimal luas penampang 2,63 mm² dan diameter 1,83 mm (merujuk pada Tabel 2-4 dan 2-5).

Tabel 3-4
Kuat Hantar Arus Kabel NYM dan Serabut

Tabel K.52.3.4 – KHA terus menerus yang diperbolehkan untuk kabel instalasi berinsulasi dan berselubung PVC, serta kabel fleksibel dengan voltase pengenal 230/400 (300) volt dan 300/500 (400) volt pada suhu ambien 30 °C, dengan suhu konduktor maksimum 70 °C

| Jenis kabel | Luas penampang mm ² | KHA terus menerus A | KHA pengenal gawai proteksi A |
|---|-----------------------------------|------------------------|----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 1,5 | 18 | 10 |
| | 2,5 | 26 | 20 |
| | 4 | 34 | 25 |
| | 6 | 44 | 35 |
| NYIF | 10 | 61 | 50 |
| NYIFY | 16 | 82 | 63 |
| NYPLYw | | | |
| NYM/NYM-0 | 25 | 108 | 80 |
| NYRAMZ | 35 | 135 | 100 |
| NYRUZY | 50 | 168 | 125 |
| NYRUZYr | 70 | 207 | 160 |
| NHYRUZY | 95 | 250 | 200 |
| NHYRUZYr | 120 | 292 | 250 |
| NYBUY | | | |
| NYLRZY, dan Kabel fleksibel berinsulasi PVC | 150 | 335 | 250 |
| | 185 | 382 | 315 |
| | 240 | 453 | 400 |
| | 300 | 504 | 400 |
| | 400 | - | - |
| | 500 | - | - |

c. Identifikasi MC4 Solar Panel Male - Female Connectors

MC4 Solar Panel Connector adalah konektor listrik kontak tunggal yang digunakan untuk menghubungkan panel surya. MC pada MC4 adalah singkatan dari pabrikan bernama Multi-Contact (sekarang Stäubli Electrical Connectors di Jerman) dan 4 untuk pin kontak berdiameter 4 mm.



Gambar 3-3
Spanner untuk memasang dan membuka MC4

MC4 memungkinkan rangkaian panel mudah dibangun hubungan seri, paralel maupun seri-paralel. Hanya saja untuk memasang dan melepaskan MC4 dibutuhkan alat khusus (Spanner A dan B) untuk mencegah kabel terputus secara tidak sengaja saat ditarik. Kabel muatan positif (anoda) adalah Pin Female (perempuan), sedangkan kabel muatan negatif (katoda) adalah pin Male (laki), lihat gambar.

Beberapa pabrikan lain juga telah membuat solar PV Panel Connector dengan desain dan spesifikasi yang sedikit berbeda, misalnya H4 PV Connectors yang dibuat oleh Helios-Amphenol Industrial dari Australia dan Tyco SolarLok Connector yang diproduksi Tyco Connectivity dari Inggris. Lihat gambar



Gambar 3-4 Solar PV Connectors

MC4 adalah produk yang kompatibel bersifat universal di pasar tenaga surya saat ini, melengkapi hampir semua panel surya yang diproduksi sejak sekitar 2011. MC4 sangat populer di Indonesia, sehingga semua *solar panel connector* disebut MC4.

Kapasitas MC4 yang dijual di Indonesia saat ini adalah rated voltage 1000 Vdc dan 30 A dengan ukuran kabel AWG 10, AWG 12, AWG 14. Oleh karena itu dalam merancang konfigurasi PV Array perlu memperhitungkan spesifikasi MC4, selain inverter itu sendiri.

Solar Panel MC4 Connector terbuat dari material berkualitas sehingga mampu digunakan di tempat outdoor. Konektor berkualitas tinggi ini terbuat dari material plastik berkualitas sehingga aman dan dapat berfungsi dengan baik. Konektor ini juga tahan air dan panas. Compatibility Connector ini cocok digunakan untuk kabel jenis 14, 12, 10 AWG. Meskipun telah ada produk MC6 connector, namun kabel yang digunakan tetap 10 AWG.

1. Spesifikasi

Umumnya MC4 Solar Panel Connector memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Rated voltage 1000 Vdc;
- Rated impulse voltage: 1000 Vdc;
- Rated current: 24A untuk kabel AWG 14; 30A untuk kabel AWG 12 & 10.
- Test voltage: 6 kV (50 Hz);
- Protection grade: IP67;
- Insulation material: PC/PA;
- Contact material: Copper, silver-plated;
- Operating temperature: -40°C ~ +90°C;
- Safety class: II; Flame class: UL94-V0;
- Contact resistance: 0,5mΩ;
- Insertion / Withdrawal force: 50N / 50N;
- Suitable for cables: AWG 10, 12, 14
- Locking system: Snap-in.

2. Desain

MC4 Solar Panel Connector juga memiliki desain lain yang memungkinkan modul surya dipasang paralel string modul surya di luar combiner box. Ada 3 tipe, yaitu:

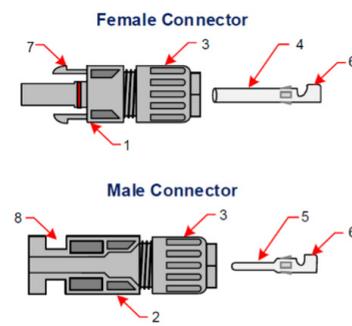
- MC4 Connector Twin Pack, digunakan untuk koneksi seri modul PV.
- MC4 T branch connectors, digunakan untuk sambungan paralel 3 - 6 string modul PV dengan menggunakan connectors yang compact.
- MC4 Y branch connectors, digunakan menghubungkan paralel 2 hingga 4 string modul surya. Persambungan paralel dilakukan oleh connectors yang terpasang pada kabel PV dan kompak.



Gambar 3-5
Bentuk-bentuk percabangan Solar PV Connectors

3. Merakit MC4

a. Parts



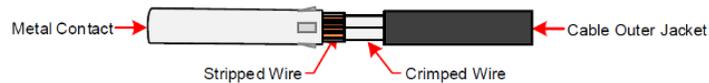
- Female Insulated Connector Housing
- Male insulated Connector Housing
- Housing Nut dengan cable gland sebagai tempat masuknya kabel yang dilengkapi perapat karet)
- Female Mating Contact
- Male Mating Contact
- Wire Crimp Area
- Locking Tab
- Locking Slot – Unlock Area (tekan untuk melepaskan)

b. Menyambung MC4 dengan Kabel

MC4 connector dapat digunakan untuk kabel AWG #14, AWG #12, dan AWG #10, atau diameter luar insulasi kabel 2,5mm, 4mm dan 6,0 mm.

- Kupaslah isolator pada ujung kabel sepanjang $\frac{1}{4}$ inch (6,4 mm) yang akan disambungkan dengan MC4 connector dengan menggunakan wire stripper. Hati-hatilah jangan sampai melukai atau memotong kawat pengantarnya.

2. Sisipkan kawat penghantar yang sudah dikupas tersebut ke dalam crimping area (no.6) pada metallic mating contact dan sambungkan menggunakan MC $\$$ crimping tool berukuran 2,5 mm, 4 mm atau 6 mm. Jika crimping tool tidak tersedia, maka kawat perlu disolder di dalam mating contact.



3. Masukkan metallic mating contact dengan kabel yang telah disambung menembus Housing Nut dan bos karet (rubber bushing) (no. 3) dan masuk ke dalam insulated connector housing (no. 1 dan 2) hingga pin metal berbunyi “klik” di dalam housing.
4. Kencangkan Housing Nut (no.3) ke dalam connector house menggunakan alat khusus. Ketika housing Nut telah kencang, bos karet dalam (internal rubber bush dikompres di sekeliling luar mantel (isolator kabel, sehingga mencegah air masuk.

c. Pemasangan MC4

Dorong sepasang konektor MC4 bersama-sama sehingga dua tab pengunci pada Female Connector MC4 (no.7) sejajar dengan dua slot pengunci yang sesuai pada Male Connector MC4 (no.3). Saat kedua konektor disambungkan, tab pengunci akan bergeser ke slot pengunci dan mengencangkannya.

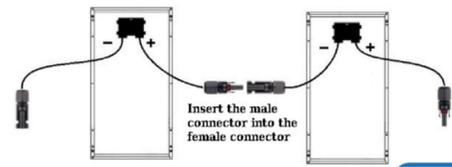
Untuk melepaskan kedua konektor, tekan ujung-ujung tab pengunci (no.7) dengan menggunakan alat khusus, hingga slot pengunci terbuka (no.8) untuk melepaskan mekanisme penguncian dan menarik konektor hingga terpisah.

Peringatan:

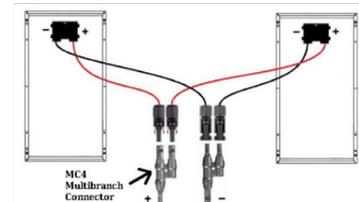
1. Pastikan tidak ada arus yang mengalir saat pelepasan dilakukan.
2. Ketika permukaan panel surya terkena sinar matahari, tegangan DC muncul di terminal keluaran mengubahnya menjadi sumber tegangan yang menghasilkan sengatan listrik.
3. Untuk menghindari bahaya sengatan listrik selama perakitan / pemasangan, pastikan panel surya tidak terkena sinar matahari atau tertutup untuk menghalangi penyinaran matahari.
4. Jangan menghubungkan kedua konektor dari satu modul lebih dari 30 detik.

d. Penggunaan MC4

Kabel DC yang terpasang pada modul surya umumnya sudah disambung dengan MC4 sejak dari pabrikan modul surya. Panjang kabe sekitar 1 meter. Penyambung modul-modul surya dilakukan melalui hubungan seri, paralel, seri paralel dan kombinasi seri paralel.



Gambar3-6
Dua modul surya dihubungkan seri



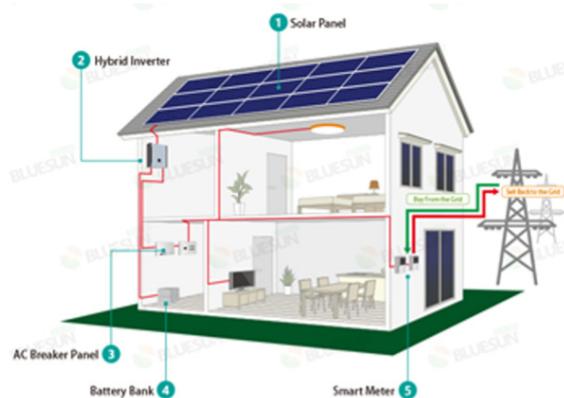
Gambar 3-7
Dua modul surya dihubungkan paralel menggunakan MC4 Multibranch connector

2. MANAJEMEN KABEL PLTS ROOFTOP ON-GRID

Salah satu tugas terpenting saat memasang sistem PV adalah manajemen kabel. Tugas ini terkadang diabaikan oleh penginstal atau kurang diperhatikan. Pemasang yang menjalankan manajemen pengkabelannya secara serius akan memiliki sistem yang tahan lebih lama yang membutuhkan lebih sedikit perawatan selama masa pakai sistem PV (20 hingga 30+ tahun).

Jadi, apa itu wire management? Manajemen kawat adalah praktik perutean kabel, pengorganisasian kabel, pendukung dan perlindungan kabel dengan benar. Praktik ini sangat penting untuk pemasangan sistem PV mengingat berbagai lingkungan keras tempat sistem PV dipasang. Untuk itu sebelum dilakukan pemasangan, seorang instalir solar PV rooftop harus melakukan survey ke lokasi untuk melakukan identifikasi berkenaan dengan manajemen pengkabelan. Hasil yang diperoleh dari survey lokasi ini dituangkan sebagai lampiran gambar kerja meliputi:

- Layout letak dan luas atap yang akan dipasang genting
- Layout rute dan panjang kabel yang dibutuhkan termasuk jenis dan jumlah aksesoris kabel meliputi: pengelompokan, penanda, pendukung, pelindung, pengikat dan penyambung kabel.
- Layout penempatan komponen-komponen PLTS rooftop

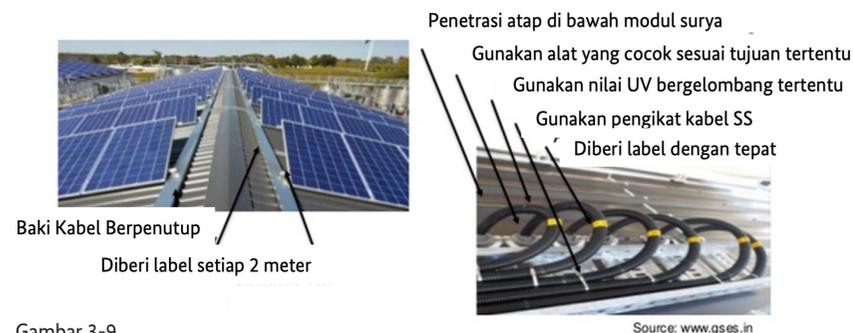


Gambar 3-8
Manajemen Pengkabelan Solar PV Rooftop

a. Pemasangan Rute/Jalur Kabel yang Aman

Perutean kabel yang benar mengacu pada gambar rencana dengan memperhatikan, bahwa kabel yang dipasang terhindar dari kerusakan pada isolasi dan konduktor kabel. Selain itu faktor kerapian juga harus dipertimbangkan. Hal-hal yang harus dihindari adalah:

- tepi yang tajam dan permukaan yang kasar,
- jari-jari tekukan yang terlalu ketat,
- klip kabel yang terlalu rapat,
- bagian yang bergerak dari sistem rak,
- paparan langsung ke sinar matahari,
- potensi kerusakan oleh binatang pengerat,
- dan kabel yang terlalu kendur.



Gambar 3-9
Manajemen Kabel pada PV Array

b. Warna dan Pelabelan Kabel

Pelabelan kabel dilakukan dengan cara:

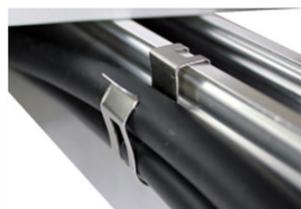


- menggunakan kabel yang memiliki insulasi berwarna tidak hanya diwajibkan oleh NEC, tetapi juga memudahkan identifikasi rangkaian konduktor yang lebih baik.
- Memberi label pada string, sirkuit DC dan AC dalam jaringan adalah praktik terbaik lainnya untuk pemecahan masalah dalam pemeliharaan.

c. Pemasangan Pendukung Kabel (Cable Support)

Dukungan pengkabelan yang benar mengacu pada praktik pengamanan perkabelan baik di sepanjang modul PV oleh saluran kabel (cable conduit) atau baki kabel (cable trays). Untuk itu diperlukan pemilihan komponen yang sesuai untuk melakukannya. Komponen ini termasuk klip kawat baja tahan karat, klip kawat komposit tahan UV, pengikat kawat tahan UV atau baki kabel.

1. Klip kawat baja tahan karat



Klip kawat baja tahan karat tersedia dalam berbagai bentuk untuk memenuhi berbagai kebutuhan. Klip ini dirancang untuk dipasang pada rangka modul atau rel pemasangan. Mereka dirancang untuk menjepit satu atau beberapa kabel USE-2, kabel PV atau TC-ER. Beberapa produsen klip

tahan karat menyediakan klip 90° dengan panjang permukaan yang dipotong tegak lurus dengan rute kabel.

2. Klip kabel komposit



Banyak pabrikan membuat klip kabel komposit yang distabilkan oleh UV yang dipasang ke rel pemasangan. Klip ini mendukung berbagai jenis dan kuantitas kabel mulai dari kabel tunggal hingga banyak kabel.

3. Tali pengikat kawat tahan UV



Pengikat kawat elastis ini pemasangannya sebaiknya tidak berdiri sendiri, melainkan bagian dari komponen lainnya, seperti baki kabel atau gantungan kabel.

4. Locking Clamp



Locking Clamp sangat ideal untuk mengikat kawat dan bundel kabel ke panel. Desain pohon cemara yang unik memegang erat dalam ukuran lubang yang telah dibor sebelumnya dari 9 × 12 mm hingga 9 × 14 mm.

Mekanisme penjepit pengunci secara dinamis menyesuaikan dengan berbagai ukuran bundel, sementara sadel pengikat kabel terintegrasi memungkinkan pemasang untuk menambahkan jalur kabel tambahan. Penjepit dibuat dari bahan Poliamida 6.6 yang dimodifikasi agar tahan benturan untuk meningkatkan fleksibilitas, ketahanan panas, dan stabilisasi UV untuk menghasilkan kinerja yang dapat diandalkan selama bertahun-tahun. Mudah dipasang dan dioperasikan dengan satu tangan dan tidak memerlukan alat, menghemat waktu dan biaya tenaga kerja.

5. Conduit dan Cable Trays (Saluran dan Baki Kabel)



Gambar 3 - 10
PV Cable
Conduit

Jika klip dan pengikat kabel tidak dapat memberikan dukungan yang memadai, saluran (conduit) dan baki kabel (cable trays) harus digunakan. Memilih bahan saluran yang sesuai ukuran dan rute harus dilakukan sesuai dengan NEC dan peraturan setempat. Untuk menampung kabel pv yang cukup panjang digunakan baki kabel (cable trays).



Gambar 3-11
Penempatan kabel pada
PV Cable Tray

6. Cable Rings and Saddles



Solar pv rooftop model canopy untuk parkir mobil memaksa kabel harus ditanam di bawah tanah atau digantung di udara. Cable rings and saddles akan mengatasi permasalahan tersebut, dimana sejumlah ring digantung pada sebuah kawat baja yang digantungkan antara canopy dan bangunan gedung dimana sistem kontrol dan inverter akan dipasang. Apabila jaraknya cukup jauh, maka dapat ditambah tiang sebagai gantungan kawat baja. Selanjutnya ring-ring digantungkan setelah semua kabel dimasukkan ke dalam ring-ring.

7. Saringan Kawat

Meskipun tidak secara langsung dianggap sebagai manajemen pengkabelan, kawat saringan pada tepi array adalah komponen yang bagus untuk mencegah hewan pengerat dan makhluk lainnya mendapatkan akses ke kabel array PV. Namun pemasangan kawat ini mungkin akan merusak keindahan atap bangunan.

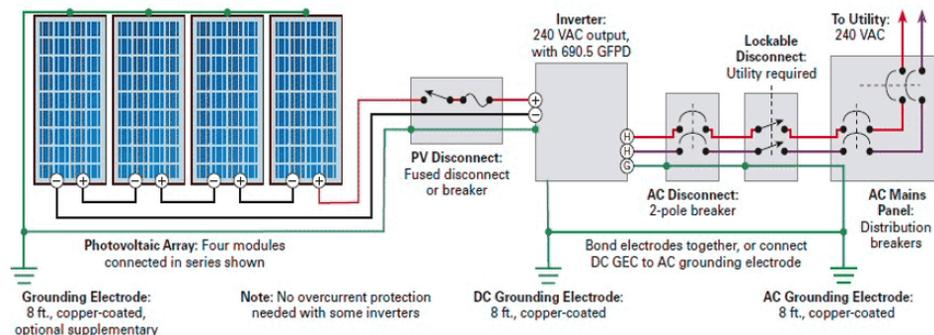


Gambar 3-12
Pemasangan ram kawat pada Rooftop PV Array

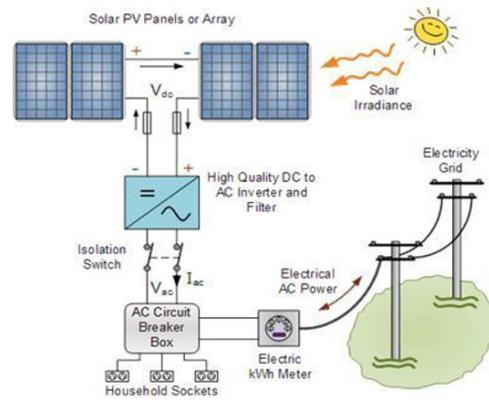
3. PEMASANGAN KABEL SESUAI GAMBAR KERJA

a. Wiring Diagram PLTS Rooftop

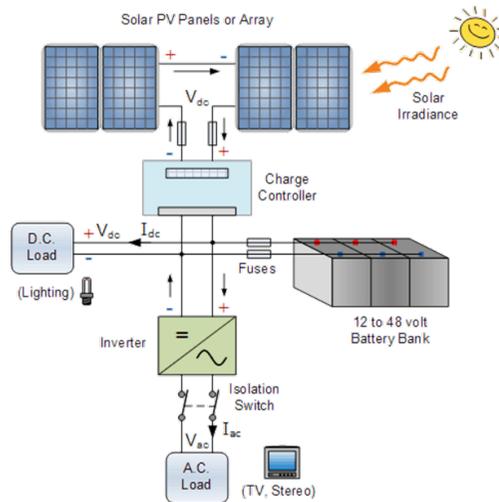
Wiring Diagram PLTS yang spesifik untuk suatu bangunan harus disiapkan sebelum melakukan pemasangan. Seorang teknisi tidak diijinkan melakukan pemasangan instalasi kelistrikan jika tidak disertai wiring diagram yang benar. Meskipun seorang teknisi telah ahli, tetap harus dilengkapi dengan wiring diagram, karena wiring diagram dilengkapi dengan spesifikasi dan volume komponen yang diperlukan. Selain wiring diagram yang disiapkan oleh perusahaan, juga manual pemasangan alat/komponen yang dikeluarkan pabrikan harus dipelajari dan dilakukan sesuai dengan manual tersebut. Berikut beberapa contoh wiring diagram PLTS Rooftop:



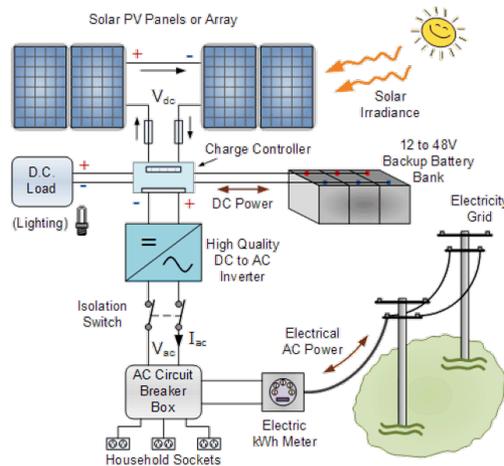
Gambar 3-13
Diagram Pengkabelan PLTS tipe Rooftop On-Grid



Gambar 3-14
PLTS Rooftop On-Grid



Gambar 3-15
PLTS Rooftop – Off-Grid



Gambar 3-16
PLTS Rooftop – Hybrid

b. Sistem Pembumian Fotovoltaik

Sistem Kelistrikan dengan Photovoltaic mampu menimbulkan hal-hal yang berbahaya dikarenakan adanya tegangan dan arus listrik yang terus mengalir selama bertahun-tahun, sehingga untuk memastikan adanya keamanan dan kenyamanan dari pengguna Photovoltaic, sebuah Photovoltaic system harus dipasang menggunakan standard yang tinggi pada instalasinya.

Semakin berumurnya sistem Photovoltaic tersebut, akan menimbulkan permasalahan yang dikarenakan tidak terpenuhinya standard instalasinya, seperti koneksi kelistrikan yang semakin memburuk, bisa dikarenakan berkarat, terlalu panas, atau

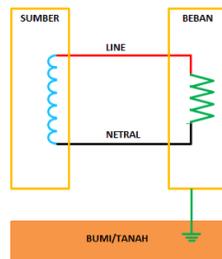
kurangnya perangkat grounding terhadap sistem PV tersebut, sehingga dapat menimbulkan bahaya terhadap penggunaannya ataupun kejadian ground fault terhadap perangkat kelistrikan lainnya.

1. Jenis Pentanahan

Ada 2 jenis pembumian dalam PV system

a. Equipment Grounding/ Negative Grounding/ Protective Earthing

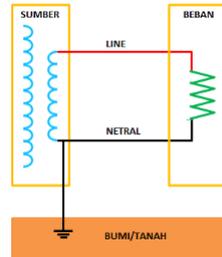
Dikenal sebagai safety grounding ataupun Protective Earthing berfungsi menghubungkan bagian yang tidak menghantarkan arus pada sebuah peralatan ke tanah.



- Ketika terjadi kebocoran arus listrik pada bodi peralatan, misal modul frame atau PV combiner yang terbuat dari logam, tegangan listrik akan dialirkan ke bumi, sehingga tidak akan membahayakan makhluk hidup disekitarnya yang menyentuh body peralatan tersebut.
- Earthing juga melindungi peralatan ataupun instalasi dari sambaran petir dengan menyediakan jalur untuk pembuangan energi listrik akibat sambaran tersebut ketanah.

b. System Grounding/ Positive Grounding/ Functional Grounding

Dikenal sebagai functional grounding berfungsi menghubungkan salah satu dari konduktor penghantar arus dengan pentanahan secara langsung atau dihubungkan paralel dengan *equipment grounding system*. Konduktor tersebut yang telah terhubung ke *equipment grounding* disebut sebagai *grounded conductor*.



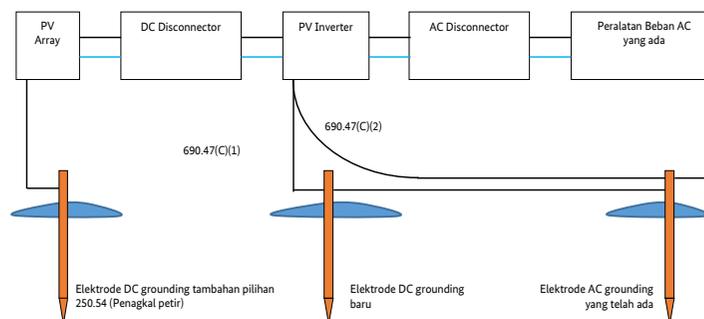
Perangkat dalam PV yang dapat dihubungkan ke grounding :

- Cable conduit (bilamana menggunakan conduit)
- Inverter / UPS (casing dari inverter /UPS)
- Enclosure dari Disconnector/MCB/Combiner Box (sistem proteksi pada panel box)

c. Metode Grounding dari Solar PV

1. Metode Pentanahan PV Inverter 2005 NEC Section 690.47

Metode pentanahan ini masih tergolong tipe pentanahan negatif.



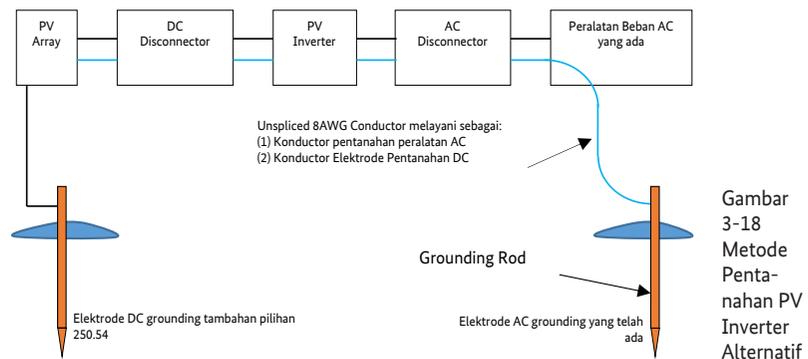
Gambar 3-17
Metode Pentanahan PV Inverter 2005 NEC Section 690.47(C)

Pada metode ini terdapat dua elektrode pentanahan DC untuk PV Array yang dipasang pada PV Array Frame sebagai elektrode tambahan dan elektrode pentanahan DC yang dipasang baru pada terminal DC Grounding yang ada di inverter.

Elektrode DC Grounding dari input inverter diparalel dengan elektrode AC grounding yang sudah ada. Juga kabel grounding dari input inverter pun dihubungkan paralel dengan elektrode grounding AC yang sudah ada. Banyaknya hubungan paralel ini diharapkan akan menurunkan nilai pentanahan (grounding).

2. Metode Pentanahan PV Alternatif

Elektrode pentanahan DC yang baru ini dihubungkan juga secara paralel dengan elektrode pentanahan AC yang sudah ada pada peralatan AC dan terminal DC Grounding yang ada di inverter.



2. Batang Pentanahan (Grounding Rod)

a. Jenis Bahan dan Ukuran Grounding Rod

Batang pentanahan adalah batang logam yang ditanam ke dalam tanah untuk tujuan pembumian/ pentanahan jika terjadi arus/ tegangan lebih, baik dari sambaran petir atau kebocoran arus listrik ke bodi/ frame. Sebutan lain untuk ground rod diantaranya grounds rods, copper ground rod, earthing rod, earth rod, copper rod, copper bonded, rod copper, round copper, copper bond, grounding elektrode, serta elektrode bumi. Dalam satu set penangkal petir, terdapat batang penangkal petir, pengkabelan atau konduktor, terminal dan juga ground rod ini yang digunakan sebagai tempat pembuangan arus listrik petir atau kebocoran arus ke rangka atau bodi perangkat. Kegunaan batang pentanahan adalah membuat nilai tahanan yang seminimal mungkin $\leq 5 \text{ Ohm}$.

Bahan penyusun ground rod utamanya adalah tembaga. Tembaga diketahui mempunyai sifat konduktor yang sangat baik dalam menghasilkan arus listrik. Namun harga yang tembaga yang mahal membuat orang berpikir mencari bahan alternatif lain yang lebih murah, selain tembaga murni (Copper Rod/solid copper ground rod). Maka diciptakan beberapa pilihan bahan untuk ground rod diantaranya: batang besi yang berlapis tembaga (copper bonded) dan stainless steel (SS 201, SS 304 & SS 316). Ketiganya ini memungkinkan untuk membuat instalasi penangkal petir yang memenuhi syarat.

Ground rod berupa pipa tembaga dengan beberapa ukuran. Di pasaran kita dapat menemukan ukuran ground rod dengan panjang 1,5m, 2,4m, 3m, 4m, dan 6m (melalui pesanan khusus). Sedangkan ukuran diameter ground rod tersedia mulai 5/8 inch, 3/4 inch, dan 1 inch. Namun dari ketiganya yang paling umum dijual di toko adalah yang berdiameter 3/4 inch dan 5/8 inch. Berat ground rod ini berkisar antara 2 kg hingga di atas 8 kg per batangnya.

Pemilihan jenis ground rod yang paling tepat digunakan tergantung pada karakter pentanahannya. Ahli instalasi penangkal petir harus mampu menilai tahanan ground sekecil mungkin bagaimanapun caranya. Disinilah peranan ground rod, yaitu semakin banyak ground rod yang digunakan nilai tahanan groundnya semakin mengecil.

Pemasangan ground rod dikerjakan paling awal dan sesuai rancangan. Pekerjaan ini meliputi penentuan tempat yang akan digunakan untuk pembedaan. Cara memasang ground rod ini dengan menanamnya di dalam tanah dan dapat dibantu dengan alat yang disebut ground rod driver. Biasanya dibutuhkan beberapa batang ground rod yang saling terhubung baik secara seri ataupun paralel untuk membuat nilai tahanan **grounding** yang kecil. Untuk menghubungkan sambungan ground rod dapat menggunakan ground clamp. Apabila setelah ground rod dipasang ternyata nilai tahanan Atapnya masih besar, maka perlu ditambah lagi ground rod yang dipasang secara seri atau paralel dengan instalasi sebelumnya hingga nilai tahanan instalasi grounding ini di bawah 5 ohm (terbaik ≤ 2 ohm). Pemasangan secara seri artinya menambah panjang ground rod dan menanamnya semakin dalam. Menyambung secara paralel artinya menambah grounding rod di tempat lain dan disambungkan secara paralel dengan ground rod lainnya. Alat ukurnya adalah Earth Tester

Meskipun terlihat sederhana, pekerjaan ground rod ini adalah kunci utama dalam menentukan baik tidaknya kerja alat penangkal petir. Oleh sebab itu berapa nilai ground rod depth yang tepat di suatu tempat hanya diketahui oleh penyedia jasa penangkal petir yang profesional, yang bekerja dengan dasar-dasar yang kuat sehingga diperoleh hasil yang dapat dipertanggungjawabkan.

b. Bagian-bagian Grounding Rod
1. Grounding Rod Tanpa Ulir



Gambar 3-19
Grounding Rod Tanpa Ulir



Gambar 3 - 20
Grounding Rod dan Coupling

Grounding Rod dijual dalam bentuk batang yang panjang sesuai ukurannya masing-masing, Panjang grounding rod maksimum 3000 mm dengan diameter 1 inch. Namun demikian kadang-kadang dapat diperpanjang dengan cara membuat ulir pada ujung-ujung rod yang akan disambung dan menyambungnya menggunakan penyambung berulir (tread coupler). Ukuran grounding rod ada dalam satuan Metric ada juga dalam satuan inchi.

Tabel 3-5
Ukuran Grounding Bar Tanpa Ulir dalam Metric

| Rod Dia mm | Panjang (mm) | Cat.# | Rod Dia mm | Panjang (mm) | Cat.# |
|------------|--------------|-----------|------------|--------------|-----------|
| 12 | 1200 | HDGER1212 | 16 | 1200 | HDGER1612 |
| 12 | 1500 | HDGER1215 | 16 | 1500 | HDGER1615 |
| 12 | 1800 | HDGER1218 | 16 | 1800 | HDGER1618 |
| 12 | 2400 | HDGER1224 | 16 | 2400 | HDGER1624 |
| 12 | 3000 | HDGER1230 | 16 | 3000 | HDGER1630 |
| 14 | 1200 | HDGER1412 | 20 | 1200 | HDGER2012 |
| 14 | 1500 | HDGER1415 | 20 | 1500 | HDGER2015 |
| 14 | 1800 | HDGER1418 | 20 | 1800 | HDGER2018 |
| 14 | 2400 | HDGER1424 | 20 | 2400 | HDGER2024 |
| 14 | 3000 | HDGER1430 | 20 | 3000 | HDGER2030 |

2. Grounding Rod dengan Ulir Penyambung

Agar dapat dikemas lebih praktis, beberapa pabrikan memotong grounding rod menjadi dua atau empat bagian dan disambungkan dengan ulir. Panjang total setelah dirakit antara (200 – 265) cm. Lihat gambar dan tabel berikut ini.

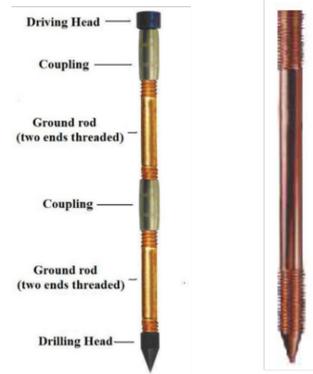
c. Penyambungan Kabel Pentanahan pada Grounding Rod

1. Kabel diikat langsung pada Rod

Kabel Pentanahan diikat pada Grounding Rod menggunakan klem khusus yang berfungsi sebagai terminal head pada grounding bar.



Gambar 3-21
Pengikatan kabel grounding pada Grounding Rod



Gambar 3-20
Ground Rod dengan Ulir
Keadaan Dirakit dan Utuh

| Rod Dia mm | Total Length | Thread Dia | Cat. # |
|------------|--------------|------------|----------|
| 9.5 | 1200 | UNTHREADED | CBER912 |
| 12.7 | 1200 | 9/16" | CBER1412 |
| 12.7 | 1500 | 9/16" | CBER1415 |
| 12.7 | 1800 | 9/16" | CBER1418 |
| 12.7 | 2400 | 9/16" | CBER1424 |
| 12.7 | 3000 | 9/16" | CBER1430 |
| 14.2 | 1200 | 5/8" | CBER1612 |
| 14.2 | 1500 | 5/8" | CBER1615 |
| 14.2 | 1800 | 5/8" | CBER1618 |
| 14.2 | 2400 | 5/8" | CBER1624 |
| 14.2 | 3000 | 5/8" | CBER1630 |
| 17.2 | 1200 | 3/4" | CBER2012 |
| 17.2 | 1500 | 3/4" | CBER2015 |
| 17.2 | 1800 | 3/4" | CBER2018 |
| 17.2 | 2400 | 3/4" | CBER2024 |
| 17.2 | 3000 | 3/4" | CBER2030 |
| 25 | 2400 | UNTHREADED | CBER2524 |
| 25 | 3000 | UNTHREADED | CBER2530 |

Tabel 3-6
Ukuran Grounding Bar
dengan Ulir

2. Kabel disambung melalui busbar pada Bak Kontrol



Pada permukaan Atap dibuatkan bak kontrol dimana busbar dipasang dan kepala grounding bar berada. Busbar ini berguna untuk menyambung beberapa kabel pentanahan dari perangkat lainnya.

Gambar 3 - 23
Bak Kontrol untuk kabel Pentanahan

3. Kabel Pentanahan pada PLTS

Kabel merupakan komponen utama lainnya dari instalasi penangkal petir atau sistem pentanahan/ pembumian yang memiliki fungsi sebagai media penghantar arus petir/ listrik yang menyambar air terminal penangkal petir yang berada di atas menuju sistem grounding yang telah tersedia. Sehingga arus petir dapat mengalir dan cepat ternetralkan oleh Atap sebagai media netral alam. Berbagai macam kabel penghantar penangkal petir pada umumnya:

a. Kabel BC (Bare Core)

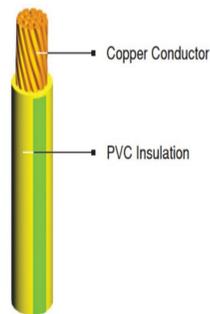


Gambar 3 - 24
Kabel BC (Bare Core)

Karakteristik kabel BC ialah tidak memiliki isolator alias telanjang. Jadi jenis kabel ini hanya terdiri dari inti kabel saja yang disebut bare core. Kabel BC sering digunakan pada penghantar penurunan (down conductor) instalasi penangkal petir jenis runcing/ konvensional atau lebih sering digunakan dalam ground system (pembumian). Hal ini dikarenakan penggunaan kabel BC dengan penampang 50 mm lebih ekonomis dan juga memenuhi standar minimum penghantar penurunan instalasi penangkal petir.

Hanya saja seperti diketahui bahwa kabel BC tidak memiliki isolator pelindung, sehingga dikhawatirkan terjadi induksi sambaran petir dan loncatan arus pada material konduktor. Jadi agar aman, maka kabel BC sebaiknya dibungkus dengan pipa paralon (PVC).

b. Kabel NYA



Gambar 3 - 25
Kabel NYA

Karakteristik kabel NYA ialah memiliki satu buah isolator (hal ini bisa dilihat dari kode YA yang ada pada kabel). Isolator pada kabel berfungsi melindungi dari induksi dan loncatan arus antara inti kabel dengan material lain dengan sifat konduktor (penghantar).

Dengan adanya isolator, maka induksi dan loncatan dapat diredam dengan sangat kecil hingga nyaris tidak terjadi. Ukuran yang sering dipergunakan dalam sistem instalasi penangkal petir yaitu luas penampang 25 mm², 35 mm², 50 mm² hingga 120 mm².

c. Kabel NYY



Gambar 3-26
Kabel NYY

Karakteristik kabel NYY adalah memiliki dua buah isolator (hal ini bisa dilihat dari kode YY yang ada pada kabel). Isolator pada kabel berfungsi melindungi dari induksi dan loncatan arus antara inti kabel dengan material lain dengan sifat konduktor penangkal petir (penghantar).

Dengan adanya dua buah isolator maka induksi dan loncatan dapat diredam dengan sangat kecil hingga nyaris tidak terjadi. Ukuran yang sering dipergunakan dalam pada instalasi penangkal petir adalah luas penampang konduktor 25 mm², 35 mm², 50 mm² hingga 120 mm².

Umumnya ukuran kabel NYY yang sering digunakan pada instalasi penangkal petir adalah kabel dengan luas penampang 25 mm² sampai 70 mm². Sebagaimana diketahui bahwa standari luas penampang kabel penghantar penurunan (down conductor) minimal 50 mm², sehingga untuk pemilihannya disesuaikan dengan kebutuhan dan juga faktor biaya.

Bedakan antara luas penampang dan diameter. Misalnya untuk kabel dengan luas penampang 70 mm², berarti diameternya sekitar 9,5 mm. Sedangkan luas penampang 50mm², diameternya sekitar 8 mm. Sedangkan kabel dengan luas penampang 35 mm², diameternya sekitar 6,6 mm.

4. Grounding Box



Gambar 3 - 27 Grounding box dengan satu rel ekipotensial

Grounding box berguna sebagai tempat penanaman elektroda pembumian dan ikatan ekipotensial dari semua sistem pentanahan komponen PLTS termasuk rangkaian modul surya, rumah pembangkit, dan penangkal petir. Di dalam box terdapat minimal satu rel tembaga dengan luas penampang tertentu dimana sejumlah kabel pembumian akan dipasang secara terpusat

5. Memasang Grounding Rod

a. Pemilihan Lokasi

- Lakukan pemilihan lokasi penanaman grounding rod di sekitar panel surya, rencanakan berapa titik yang akan ditanamkan. Pemasangan grounding rod semakin banyak akan menghasilkan sistem pentanahan yang terbaik.
- Jika beberapa buah grounding rod akan dipasang, usahakan jangan terlalu berdekatan, agar pembumian menyebar disekitar panel surya. Buatlah jarak lurus sekitar 2 meter. Pemasangan beberapa grounding rod bertujuan memperkecil tahanan pentanahan dan mengantisipasi adanya grounding rod yang kurang baik pembumiannya.
- Perhatikan, bahwa semua grounding rod harus saling terhubung secara paralel, oleh karena itu perlu diatur supaya sistem kabel penghubungnya mudah dipasangkan.
- Lakukan pencarian tanah yang mudah ditancapkan. Hindari penanaman grounding rod di daerah tanah berbatu atau berpasir, disamping penancapannya susah, juga kurang bagus pembumiannya.
- Usahakan lokasi penempatan grounding rod tidak terlalu jauh dari panel surya (array), tapi harus diingat jangan sampai merusak sistem instalasi / pemipaan yang mungkin telah tertanam.
- Usahakan penempatan semua grounding rod dalam satu garis lurus, tidak terlalu banyak berbelok belok.

b. Menanamkan Grounding Rod



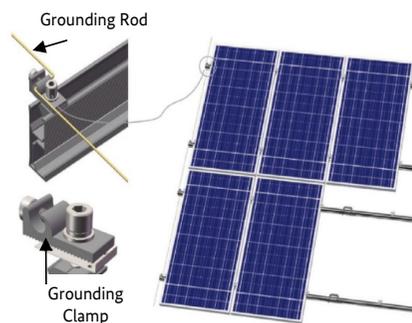
Penanaman grounding rod dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Gali lubang tanah berukuran panjang x lebar x kedalaman $30 \times 30 \times 50 \text{ cm}^3$

Gambar 3 - 28
Bak Kontrol untuk kabel Pentanahan

- Tancapkan grounding rod pada bagian tengah lubang. Jika sulit, buatlah lubang kecil dimana grounding rod akan ditanamkan.
- Tuangkan air kedalam lubang hingga penuh.
- Tancapkan grounding rod kedalam lubang tersebut dan tekan secara perlahan hingga beberapa centimeter.
- Angkat sedikit grounding rod, dan biarkan air turun kebawah.
- Tekan kembali grounding rod hingga beberapa centimeter lebih dalam.
- Tuangkan kembali air kedalam lubang, lalu ulangi menekan grounding rod. Sepanjang tidak menemukan tanah yang keras atau tanah berbatu, air akan membantu menggeser lumpur atau pasir di dalam tancapan hingga grounding rod tertancap semakin dalam.
- Lakukan hal tersebut berulang hingga grounding rod tertanam sampai tersisa kepala grounding rod, dimana klem kabel terpasang.
- Buatlah dinding tembok dan lantai dengan menggunakan bata, adukan semen dan plesteran pada lubang galian tersebut. Lubang galian tersebut akan berfungsi sebagai bak kontrol.
- Setelah semen pada bak kontrol kering, pasang busbar yang akan menjadi terminal kabel pentanahan.

c. Memasang Grounding Rod pada Solar Panel



Gambar 3 - 29
Pemasangan grounding rod pada modul surya

Komponen pentanahan surya terdiri dari aluminium rail, sejumlah modul fotovoltaik surya yang disusun pada aluminium rail; Mid Clamp yang disusun antara dua modul fotovoltaik surya yang berdekatan; dan Grounding Clamp yang dipasang di bagian ujung terluar aluminium rail.

Bagian tengah Grounding Rod dibaud pada Grounding Clamp dan salah satu ujung grounding rod dibaud pada Mid Clamp.

Selanjutnya satu ujung grounding clamp lainnya disambungkan ke pentanahan dengan menggunakan kabel/ kawat grounding menggunakan baud klem. Semua komponen grounding dan klem terbuat dari bahan konduktor.

6. Mengukur Tahanan Pembumian

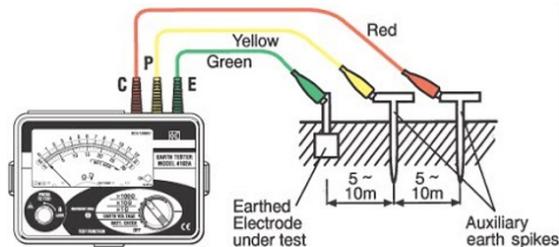


Untuk memeriksa tahanan pembumian digunakan Earth Tester yang terdiri dari

- 1 unit alat pengukur
- 2 kabel (+ dan -) untuk mengecras baterai.
- 3 buah kabel warna hijau (paling pendek), kuning dan merah (paling panjang).
- 2 buah paku bumi bantu
- 1 buah rollmeter (tambahan)

Cara Pengukuran

- Pastikan alat dan kelengkapannya dalam keadaan siap pakai dan tegangan baterai OK
- Pastikan unit dalam posisi Off
- Lakukan pemasangan kabel-kabel dan spikes seperti gambar di bawah, dimana kabel hijau dihubungkan dengan earthed electrode (ground rod), sedangkan kabel kuning dan kabel merah dihubungkan dengan paku bumi (spikes) yang ditancapkan ke tanah secara penuh.
- Jarak antara ground rod dan spike 1 dan spike 2 adalah 5-10 meter segaris.



Gambar 3 - 30
Pemasangan instalasi pengukuran tahanan pembumian dengan earth tester

- Sebelum pengukuran tahanan pembumian, pastikan kebocoran tegangan pada grounding <10 Volt dengan cara memutar selector pada Earth voltage. Jika kebocoran tegangan melebihi 10 Volt, maka sumber listrik harus dimatikan dulu. Jika tidak dapat dimatikan, pengukuran tidak dapat dilakukan, karena akan merusakkan alat.
- Untuk mengukur tahanan, selector diposisikan ke tahanan yang paling tinggi terlebih dahulu, yaitu 2000 ohm, kemudian tekan dan putar tombol test.
- Jika tahanan yang terukur terlalu kecil, putar selector ke tahanan 200 ohm. Jika masih tahanan masih terlalu kecil juga, maka putar ke posisi 20 ohm, sehingga dua digit di belakang koma terbaca.
- Tahanan pentanahan yang aman ≤ 5 Ohm. Jika masih terlalu besar, maka ground rod perlu ditambah lagi secara paralel dengan jarak sekitar 2 meter dari ground rod sebelumnya.

4. MEMERIKSA SPESIFIKASI DAN KUALITAS PEMASANGAN KABEL DAN AKSESORISNYA

Langkah Pemeriksaan

- Siapkan dokumen spesifikasi komponen dan pengkabelan serta shop drwing instalasi kelistrikan PLTS rooftop on-grid.
- Pastikan diskonektor AC dan DC dalam keadaan OFF, KWH Ex-Im belum tersambung dengan jaringan PLN
- Periksa spesifikasi kabel AC dan DC serta aksesorisnya. Bandingkan dengan spesifikasi desain.
- Periksa kualitas pemasangan kabel string dan konektornya (MC4) dari kemungkinan longgar atau tidak tersambung. Perbaiki jika diperlukan.
- Periksa persambungan kabel DC dari combiner box ke panel DC dan ke inverter dari kemungkinan longgar atau tidak tersambung (MC4).
- Periksa persambungan kabel AC dari inverter ke panel distribusi AC dari kemungkinan longgar atau tidak tersambung
- Periksa persambungan kabel AC dari panel distribusi AC ke KWH meter Ex-im juga ke beban instalasi rumah.
- Periksa semua persambungan kabel netral dan proteksi/grounding. Pastikan terpasang kuat dan tidak longgar.

Pengisian Formulir

- Lakukan pemeriksaan persambungan kabel, kondisi kabel, konektor MC4, persambungan kabel dengan sepatu kabel/skun.
- Periksa baik kabel DC, kabel AC, atau kabel grounding/proteksi.

| No | Nama Komponen | Spesifikasi dan Merk | | Catatan |
|----|-----------------------|----------------------|--------|---------|
| | | Terpasang | Desain | |
| 1 | Kabel-kabel DC | | | |
| 2 | Kabel-kabel AC | | | |
| 3 | Kabel-kabel Grounding | | | |

| | | | | |
|---|-------------------|--|--|--|
| 4 | MC4 | | | |
| 5 | Sepatu kabel/Skun | | | |

- Pastikan diskonektor AC dan DC dalam posisi OFF
- Berilah tanda cek (✓) jika kualitas pemasangan kabel dan aksesorisnya telah baik dan benar. Jika belum sesuai dengan standar, perbaiki kualitas pemasangannya. Buatlah catatan bila perlu.

| Tabel 3-8 Pemeriksaan Kualitas Pemasangan Sistem Pengkabelan | | | |
|--|---|---------|---------|
| No | Parameter | Cek (✓) | Catatan |
| 1 | Kabel negatif DC dipasang dengan konektor MC4 laki-laki, dan kabel positif DC dipasang dengan kabel konektor MC4 perempuan. | | |
| 2 | Kabel netral AC dipasang dengan konektor MC4 laki-laki, dan kabel fasa AC dipasang dengan kabel konektor MC4 perempuan. | | |
| 3 | Konduktor tembaga kabel adalah bagian yang dicrimping, bukan bagian isolatornya dan <i>wire crimp area</i> adalah bagian yang menjepit konduktor tembaga. | | |
| 4 | Semua kabel tersambung memiliki kontinuitas OK | | |
| 5 | Kabel pembumian meliputi: struktur penyangga, fram modul fotovoltaik, combiner logam, pane DC logam, inverter dan panel distribusi AC | | |
| 6 | Semua kabel pembumian berpusat pada satu terminal pembumian utama | | |
| 7 | Terminal pembumian rumah menyatu dengan terminal pembumian utama | | |
| 8 | Tahanan pembumian pada terminal pembumian utama <5Ω | | |

BAGIAN 4 PENGUJIAN PLTS ROOFTOP ON-GRID

1. UMUM

Pengujian dilakukan setelah pemeriksaan komponen dan kualitas pemasangan tuntas dilakukan dan dinyatakan aman. Peralatan yang digunakan untuk pengujian harus sudah dikalibrasi dan memiliki rentang pengukuran yang sesuai dengan parameter masing-masing komponen

2. PERSYARATAN KESELAMATAN

Menghindari pengujian pada saat cuaca hujan dan petir. Selalu menggunakan lat pelindung diri (APD dan mematuhi standar keselamatan kerja.

3. PENGUJIAN KOMPONEN

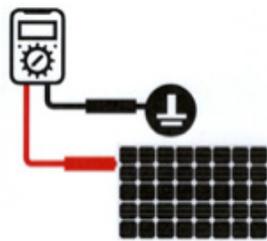
a. Larik Fotovoltaik

Peralatan yang dibutuhkan: irradiancance meter (solar power meter), multimeter, amperemeter/clamp meter, sensor suhu.

Prasyarat:

- Irradiance terukur pada setelan pada 1999 W/m²
- Mencatat hasil pengukuran suhu pada bagian belakang modul surya pada saat pengukuran tegangan dan arus modul surya.

1. Uji Kontinuitas Pembumian dan Konduktor Ikatan Ekuipotensial



Gambar 4-1
Pengukuran kontinuitas

Langkah Pengujian:

- Pastikan seluruh rangkaian dalam keadaan tidak aktif
- Set multimeter pada mode kontinuitas tes
- Atus posisi probe multimeter, probe merah dihubungkan ke V Ω dan probe hitam ke posisi COM
- Hubungkan salah satu kepala probe ke kabel grounding yang menuju langsung ke tanah dan probe lain pada sisi konduktor yang terpasang dengan pembumian

- Perhatikan hasil pengukuran. Jika terdengar suara “beep” dan nilai resistansi di bawah 1 Ω , maka jalur tersebut telah terhubung secara kontinyu. Apabila kontinuitas tidak baik harus dilakukan pemeriksaan dan perbaikan hingga memenuhi persyaratan.

Pengisian Formulir (contoh)

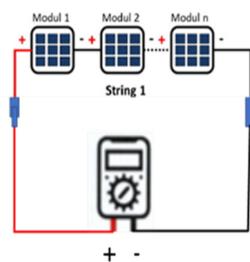
- Lakukan pengujian kontinuitas pembumian dan konduktor ikatan ekuipotensial.
- Lakukan perbaikan jika ditemukan hasil tidak memenuhi standar.

| No | Frame modul surya/ Support Mounting dan bagian metal lainnya | Grounding | Kontinyu | Tidak kontinyu |
|----|--|-----------|----------|-------------------|
| 1 | Frame modul array 1 | Titik 1 | ✓ | |
| 2 | Cable tray | Titik 2 | ✓ | |
| 3 | Array support mounting | Titik 3 | | ✓ |

2. Uji Polaritas, Tegangan Rangkaian Terbuka dan Arus Hubung Singkat

Langkah Pengujian

a. Uji polaritas

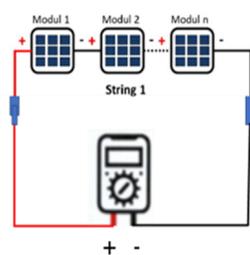


Gambar 4-2
Pengujian polaritas string

- Pastikan koneksi antar modul pada setiap string terpasang baik dan benar. Kutub string belum dihubungkan dengan panel DC.
- Memastikan diskonektor AC dan DC dalam keadaan OFF
- Setting multimeter pada pengukuran tegangan DC sesuai tegangan maksimum yang akan diukur.
- Hubungkan probe negatif multimeter ke kutub negatif string dan probe positif multimeter ke kutub positif string.

- Amati hasil pengukuran multimeter.
- Apabila hasil pengukuran terbaca positif, berarti polaritas string benar (OK). Jika terbaca negatif, berarti polaritas salah (NOT OK). **Proses pengujian tidak dapat dilanjutkan!!!**

b. Uji Tegangan Rangkaian Terbuka

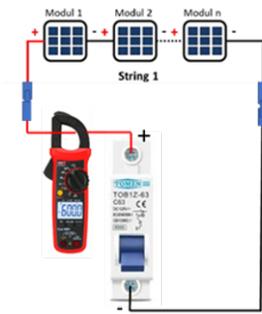


Gambar 4-3
Pengukuran tegangan string

- Cara pengukuran dilakukan sama seperti uji polaritas.
- Jika nilai tegangan rangkaian terbuka string merupakan nilai penjumlahan tegangan terbuka setiap modul fotovoltaik, berarti tegangan rangkaian string dalam keadaan baik dan benar.
- Jika nilai rangkaian terbuka string >5% lebih rendah dari penjumlahan tegangan terbuka setiap modul fotovoltaik, maka periksa pengkabelan dan koneksinya.
- Apabila nilai tegangan masih jauh dari harapan, mungkin ada modul surya yang rusak. Periksa dan konsultasikan ke pabrik.

- Catatlah hasil pengukuran terakhir ke dalam formulir pengujian.

c. Uji Arus Hubung Singkat pada String Modul Fotovoltaik



Gambar 4-4
Uji hubung singkat String

- Pastikan koneksi antar modul pada setiap string terpasang dengan baik dan benar. Kutub string belum dihubungkan dengan panel DC.
 - Siapkan MCB DC dengan kuat arus sedikit di atas kuat arus hubung singkat modul fotovoltaik yang diuji. Posisikan pada OFF
 - Hubungkan kutub positif string pada terminal input MCB DC dan kutub negatif string pada terminal output MCB DC
- Catatan: karena kutub-kutub string telah disambung dengan MC4, maka harus disiapkan dulu sepasang MC4 dengan kabel DC terbuka sepanjang 20 cm untuk disambung ke terminal MCB DC.

- Posisikan Clampmeter AC/DC pada ukuran DC dan pasang pada kabel kutub positif string.
 - Sambung switch MCB DC pada posisi ON
 - Bacalah hasil pengukuran arus hubung singkat string modul fotovoltaik.
 - Switch off MCB DC setiap kali selesai pengukuran satu string modul fotovoltaik.
- Catatan: durasi pengukuran Isc string lebih cepat lebih baik.

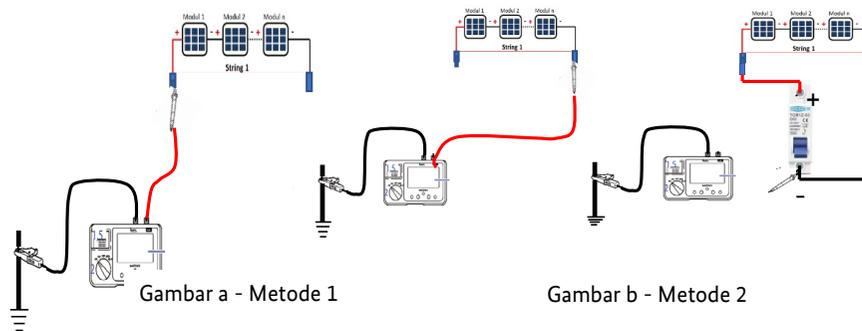
Pengisian Formulir

Tabel 4-2
Hasil Uji Polaritas, Tegangan Rangkaian Terbuka dan Arus Hubung Singkat

| No. String | No. Larik | Iradi-asi (W/m ²) | Temp (°C) | Polaritas (OK/Not OK) | Pengukuran | | Hitungan | | Cek ✓ |
|------------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------------------|------------|---------|-----------|---------|-------|
| | | | | | Voc (Vdc) | Isc (A) | Voc (Vdc) | Isc (A) | |
| 1 | 1 | 500 | 28 | OK | 384 | 8,5 | 386,4 | 9,4 | ✓ |
| 2 | 1 | 500 | 28 | OK | 384 | 8,5 | 386,4 | 9,4 | ✓ |
| 3 | 2 | 500 | 28 | OK | 384 | 8,5 | 386,4 | 9,4 | ✓ |
| n | | | | | | | | | |

3. Uji Insulasi Kabel pada Setiap String

Langkah Pengujian



Gambar 4-5
Pengukuran insulasi kabel string

a. Metode 1

- Memastikan kabel positif dan kabel negatif string tidak terhubung dengan material lain.
- Menyetel tegangan insulator tester: pada 250V untuk string dengan tegangan <120Vdc; pada 500V untuk string antara 120 – 500Vdc; dan pada 1000 untuk string >500 Vdc
- Ukur tahanan insulasi antara ground (dudukan modul suryaa) dengan terminal positif string menggunakan insulation tester.
- Ukur tahanan insulasi antara ground dengan terminal negatif string menggunakan insulation tester.

b. Metode 2

- Lakukan hubung singkat terminal kabel positif dan kabel negatif string melalui MCB DC
- Ukur tahanan insulasi antara ground dengan titik hubung singkat string menggunakan insulation tester.

Pengisian Formulir

| No. Larik | No. String | Metode 1 | | Metode 2 |
|-----------|------------|----------------|----------------|----------|
| | | POS – GND (MΩ) | NEG – GND (MΩ) | |
| 1 | 1 | 0,2 | 0,7 | 0,6 |
| 1 | 2 | 0,3 | 0,6 | 0,6 |
| 2 | 3 | 0,2 | 0,7 | 0,8 |
| 2 | 4 | 0,3 | 0,5 | 0,7 |

Gunakan tabel di bawah ini sebagian acuan resistensi minimum

| Metode | Tegangan Sistem (Voc STC x 1,25) | Tegangan Pengujian V | Nilai Resistensi Min. (MΩ) |
|----------|----------------------------------|----------------------|----------------------------|
| Metode 1 | <120 | 250 | 0,5 |
| | 120 - 500 | 500 | 1 |
| | >500 | 1000 | 1 |
| Metode 2 | <120 | 250 | 0,5 |
| | 120 - 500 | 500 | 1 |
| | >500 | 1000 | 1 |

4. Verifikasi Fungsional

Melakukan verifikasi fungsional sesuai tabel pemeriksaan di bawah ini

| No | Parameter | Cek (✓) | Catatan |
|----|---|---------|---------|
| 1 | Perbedaan antara hasil pengukuran dan ekspektasi tegangan terbuka kurang dari 5% | ✓ | |
| 2 | Perbedaan antara hasil pengukuran dan ekspektasi arus hubung singkat string fotovoltaik kurang dari 5% | ✓ | |
| 3 | Perbedaan tegangan rangkaian terbuka strik pada larik yang sama (paralel string) kurang dari 5% | ✓ | |
| 4 | Tidak terdapat hotspot pada modul fotovoltaik dengan mengukur suhu bagian bawah modul fotovoltaik menggunakan infra red thermometer. Temperatur modul direkomendasikan tidak lebih dari 70°C dan perbedaan temperatur antar modul tidak lebih dari 10°C | ✓ | |
| 5 | Temperatur kabel, terminal dan proteksi arus lebih dalam keadaan normal atau direkomendasikan di bawah 40°C | ✓ | |
| 6 | Pastikan tidak ada tegangan pada busbar larik (paralel string) saat semua proteksi arus lebih terbuka (OFF) dan sakelar pemisah dalam kondisi ON | ✓ | |
| 7 | Pastikan adanya tegangan pada busbar larik (paralel string) saat semua proteksi arus lebih terpasang (ON) dan sakelar pemisah dalam posisi OFF | ✓ | |
| 8 | Pastikan tidak adanya tegangan pada keluaran sakelar pemisah saat semua proteksi arus lebih string terpasang (ON) dan sakelar pemisah dalam posisi OFF | ✓ | |
| 9 | Pastikan tidak adanya tegangan pada keluaran sakelar pemisah saat semua proteksi arus lebih string terpasang (ON) dan sakelar pemisah dalam posisi ON | ✓ | |

b. Inverter On-Grid

Peralatan yang dibutuhkan: Multimeter, ampere meter/clamp meter, dan irradiance meter/solar power meter

Prasyarat:

- Sebelum pengujian, periksa kembali spesifikasi inverter kesesuaiannya dengan jaringan listrik yang akan dihubungkan.
- Pastikan polaritas tegangan masukan dalam kondisi benar. Terbalikinya polaritas tegangan masukan pada inverter dan menyebabkan kerusakan pada inverter.

1. Susut Tegangan pada Kabel dari Combiner ke Input Inverter On-Grid

Langkah Pengujian:

- Mengukur tegangan pada combiner
- Mengukur tegangan pada input inverter

Pengisian Formulir

- Hitung selisih tegangan antara di combiner dengan di input inverter.
- Semakin sedikit prosentase susut tegangan semakin sedikit daya yang hilang. Susut tegangan direkomendasikan tidak lebih dari 5%.

| No Inverter | Tegangan pada Combiner (V) | Tegangan pada Input Inverter On-Grid (V) | Tegangan Jatuh (%) |
|-------------|----------------------------|--|--------------------|
| 1 | 485 | 483 | 0,41% |
| 2 | 500 | 475 | 5,00% |

2. Uji Fungsional dan Efisiensi Inverter

Langkah Pengujian

- Fuse/MCB/Disconnect Switch larik fotovoltaik pada posisi ON (terhubung)
- Set multimeter pada mode tegangan DC
- Ukur tegangan pada input inverter on-grid
- Switch ON sistem proteksi pada panel distribusi AC
- Set multimeter pada mode tegangan AC
- Ukur tegangan keluaran inverter pada panel distribusi AC
- Set multimeter pada mode frekwensi (Hz)
- Ukur frekuensi tegangan keluaran inverter pada panel distribusi AC
- Set clamp meter pada posisi DC. Ukur arus listrik dari larik fotovoltaik.
- Set clamp meter posisi AC. Ukur arus keluaran dari inverter on-grid.

Pengisian Formulir

- Nilai efisiensi inverter merupakan perbandingan antara daya keluaran dengan daya masukan
- Beberapa jenis inverter, nilai tegangan, arus dan daya masukan DC, tegangan, arus, daya dan frekuensi keluaran AC terdapat pada interface display yang telah disediakan. Berikan catatan apabila terdapat perbedaan signifikan lebih dari 5% antara data yang disediakan produsen inverter dengan hasil pengukuran.

| No. Inverter | Tegangan Input DC (V) | Tegangan Output AC (V) | Frekuensi (Hz) | Arus Input DC (A) | Arus output AC (A) | Daya input DC (W) | Daya Output AC (W) | Efisiensi (%) |
|--------------|-----------------------|------------------------|----------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------|
| 1 | 481 | 222 | 50 | 7,5 | 15,4 | 3607 | 3418 | 94 |
| 2 | 486 | 221 | 50 | 6 | 12,3 | 2916 | 2718 | 93 |
| 3 | 483 | 222 | 50 | 7 | 14,3 | 3381 | 3175 | 93 |

3. Susut Tegangan pada Kabel Inverter On-Grid ke Panel Distribusi AC

Langkah Pengujian

- Ukur tegangan output inverter On-Grid
- Ukur tegangan pada panel distribusi AC

Pengisian Formulir

- Hitung selisih tegangan antara tegangan terukur pada output inverter dengan tegangan terukur pada panel distribusi AC.
- Semakin sedikit prosentase susut tegangan semakin sedikit daya yang hilang. Susut tegangan direkomendasikan tidak lebih dari 5%.

| No. Inverter | Tegangan output Inverter (V) | Tegangan pada Panel Distribusi (V) | Tegangan jatuh (%) |
|--------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| 1 | 220 | 217 | 1.36% |
| 2 | 220 | 219 | 0,45% |

4. Verifikasi Fungsional

- Bandingkan nilai daya, tegangan dan frekuensi yang terukur dengan desain dan data sheet inverter on-grid
- Ukurlah suhu pada kabel, titik koneksi kabel switch dan proteksi.
- Cek display inverter pada inverter apakah memberikan tampilan sesuai dengan buku manual yang diberikan oleh pihak pabrikan.
- Switch OFF proteksi keluaran inverter, perhatikan apakah inverter berhenti beroperasi.
- Switch ON proteksi keluaran inverter, apakah inverter memulai start operasi atau tidak.

| No | Parameter | Cek (✓) | Catatan |
|----|--|---------|---------|
| 1 | Daya, tegangan dan frekuensi sesuai dengan desain sistem dan data inverter | ✓ | |
| 2 | Tegangan jatuh pada kabel dari combiner ke inverter tidak lebih dari 1% | ✓ | |

| No | Parameter | Cek (✓) | Catatan |
|----|--|---------|---------|
| 3 | Tegangan jatuh pada kabel dari inverter ke panel distribusi AC tidak lebih dari 1% | ✓ | |
| 4 | Perbedaan efisiensi inverter hasil pengukuran dibandingkan spesifikasi pabrikan tidak lebih dari 5% | ✓ | |
| 5 | Temperatur semua kabel, terminal dan proteksi arus lebih, baik yang masukan maupun keluaran dalam keadaan normal atau direkomendasikan tidak lebih dari 50°C | ✓ | |
| 6 | Temperatur inverter dalam keadaan normal atau masih di bawah batas yang direkomendasikan pabrikan | ✓ | |
| 7 | Display dan indikator lampu berfungsi dan memberikan indikasi bahwa sistem bekerja sesuai manual pabrikan. | ✓ | |
| 8 | Pastikan inverter on-grid berhenti beroperasi saat inverter on grid dimatikan. | ✓ | |

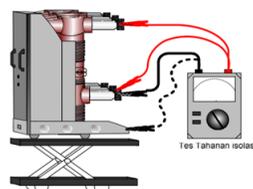
c. Panel Distribusi DC dan AC

Peralatan : Multimeter dan insulation meter/mega ohm meter

Prasyarat : - Kondisi udara dalam keadaan kering, tidak sedang hujan
- Sistem dalam kondisi OFF dan tidak ada residual current.

1. Uji Isolasi Panel DC

Langkah Pengujian



Gambar 4-6
Uji Isolasi Panel DC

- Pastikan panel DC tidak terhubung dengan kabel input dan output
- Ukur tahanan isolasi antara positif, negatif dan ground.

Pengisian Formulir

- Minimum tahanan isolasi adalah 1000 x tegangan kerja

| No | Parameter | Tegangan Uji (Vdc) | Nilai Isolasi (MΩ) | Catatan |
|----|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
| 1 | Positif ke Negatif | 1000 | 50 | |
| 2 | Positif ke Ground | 1000 | 50 | |
| 3 | Negatif ke Ground | 1000 | 50 | |

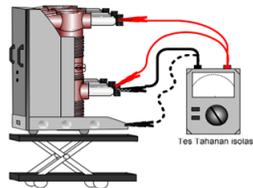
2. Verifikasi Fungsional Panel DC

- Pastikan panel DC tidak terhubung dengan kabel input dan output.
- Switch ON Fuse/MCB dan ukur dengan multimeter pada mode kontinuitas tes.
- Cek switc apakah terhubung dan menunjukkan kontinyu.
- Switch OFF Fuse/MCB dan ukur dengan multimeter pada mode kontinuitas tes.
- Cek switch apakah terputus dan menunjukkan tidak kontinyu

| No | Deskripsi | Kontinyu | Tidak kontinyu |
|----|---|----------|----------------|
| 1 | Switch ON sistem proteksi (pemutus arus) | ✓ | |
| 2 | Switch OFF sistem proteksi (pemutus arus) | | ✓ |

3. Uji Isolasi Panel AC

Langkah Pengujian



Gambar 4-7
Uji Isolasi Panel AC

- Pastikan panel AC tidak terhubung dengan kabel input dan output
- Ukur tahanan isolasi antara fasa, netral dan ground.

Pengisian Formulir

- Minimum tahanan isolasi adalah 1000 x tegangan kerja

| No | Parameter | Tegangan Uji (Vdc) | Nilai Isolasi (MΩ) | Catatan |
|----|-----------|--------------------|--------------------|---------|
| 1 | L1 - L2 | 500 | 20 | |
| 2 | L1 - L3 | 500 | 25 | |
| 3 | L2 - L3 | 500 | 20 | |
| 4 | L1 - N | 500 | 30 | |
| 5 | L1 - G | 500 | 30 | |
| 6 | L2 - N | 500 | 30 | |
| 7 | L2 - G | 500 | 30 | |

4. Verifikasi Fungsional Panel DC

- Pastikan panel AC tidak terhubung dengan kabel input dan output.
- Switch ON Fuse/MCB dan ukur dengan multimeter pada mode kontinuitas tes.
- Cek switc Fuse/MCB apakah terhubung dan menunjukkan kontinyu.
- Switch OFF Fuse/MCB dan ukur dengan multimeter pada mode kontinuitas tes.
- Cek switch apakah terputus dan menunjukkan tidak kontinyu

| No | Deskripsi | Kontinyu | Tidak kontinyu |
|----|---|----------|----------------|
| 1 | Switch ON sistem proteksi (pemutus arus) | ✓ | |
| 2 | Switch OFF sistem proteksi (pemutus arus) | | ✓ |

d. Penumaian dan Proteksi Petir

Peralatan : Multimeter dan grounding tester/ earth tester

Prasyarat : - Kondisi udara dalam keadaan kering, tidak sedang hujan
- Sistem penumaian telah lulus pemeriksaan visual

1. Uji Kontinuitas

Langkah pengujian

- Set multimeter pada mode kontinuitas
- Atur posisi probe multimeter, probe merah dihubungkan ke $V\Omega$ dan probe hitam ke COM
- Hubungkan kepala probe pada titik-titik pengujian.

Pengisian Formulir

- Apabila multimeter berbunyi BEEP, berarti jalur tersebut sudah terhubung secara kontinyu
- Apabila tidak kontinyu harus dilakukan pemeriksaan dan perbaikan jalur.

| No | Parameter | Nilai | Cek (✓) |
|----|---|-------|---------|
| 1 | Koneksitas grounding rod – terminal penumaian utama | OK | |
| 2 | Koneksitas mounting support modul fotovoltaik – terminal penumaian utama | OK | |
| 3 | Koneksitas kerangka modul fotovoltaik – Mounting support | OK | |
| 4 | Koneksitas combiner box - mounting support modul fotovoltaik | OK | |
| 5 | Koneksitas rumah – terminal penumaian utama | OK | |
| 6 | Koneksitas penangkal petir - terminal penumaian utama | OK | |
| 7 | Koneksitas area terbuka lainnya – terminal penumaian utama | OK | |
| 8 | Koneksi panel DC – penumaian rumah | OK | |
| 9 | Koneksitas inverter on-grid – penumaian rumah pembangkit atau mounting support modul fotovoltaik (untuk micro inverter) | OK | |
| 10 | Koneksitas panel AC – penumaian rumah | OK | |

2. Uji Hambatan Penumaian

Langkah pengujian

- Menggunakan earth tester digital (gunakan panduan penggunaan)
- Lakukan pengujian pada titik-titik yang ditentukan

Verifikasi Fungsional

- Semua penumaian telah tersambung dengan elektroda penumaian (grounding rod) melalui uji kontinuitas.

| No | Parameter | Nilai Ω | Cek (✓) |
|----|--|----------------|---------|
| 1 | Hambatan penumaian yang diijinkan pada sistem PLTS $\leq 5 \Omega$ | 4 | ✓ |
| 2 | Hambatan penumaian yang diijinkan untuk penangkal petir $\leq 1 \Omega$ | 0,8 | ✓ |
| 3 | Hambatan penumaian yang diijinkan untuk tiang jaringan distribusi $\leq 10 \Omega$ | | |

e. **Sistem Monitoring**

Peralatan : Multimeter, amperemeter (clamp meter) dan infrared thermometer.

- Prasyarat :
- Sistem penumaian telah lulus pemeriksaan
 - Sistem sudah beroperasi 1 jam

1. Langkah Pengukuran

Verifikasi pengukuran/pembacaan kinerja PLTS. Lakukan pencatatan pada tampilan sistem monitoring pada inverter atau pada KWH Ex-Im. Sistem monitoring minimal memiliki fungsi monitoring seperti tabel berikut.

| Hari | Iradiasi Wh/m ² | Total Energi (Wh) | | | Tegangan dan Arus | | Temperature Modul PV |
|------|----------------------------|-------------------|----------|--------|-------------------|-----------|----------------------|
| | | PLTS | Ke Beban | Ke PLN | Busbar DC | Busbar AC | |
| 1 | 600 | 1500 | 1000 | 500 | 52V/25A | 220V/5A | 38 |
| 2 | 800 | 1800 | 1000 | 800 | 51,5/22A | 219V/8A | 36 |

2. Verifikasi Fungsional

- Pastikan fungsi-fungsi indikator bekerja dengan baik
- Pastikan data energi masuk dan keluar dicatat dengan tepat pada jam tertentu.
- Lakukan pengukuran dan perhitungan secara manual
- Pelajari lebih lanjut tentang perhitungan kWh meter Ex-Im

| No | Parameter | Cek (✓) |
|----|---|---------|
| 1 | Sistem monitoring beroperasi dengan baik dan lampu indikator menyala | ✓ |
| 2 | Sistem monitoring merekam semua data parameter, khususnya energi, tegangan, kuat arus dan frekwensi | ✓ |
| 3 | Data pengukuran lolos verifikasi dan tidak ada perbedaan signifikan dengan hasil pengukuran manual | ✓ |
| 4 | Data pengukuran pada sistem monitor mempunyai interval pengukuran | X |

4. PERHITUNGAN KWH METER EX-IM

a. Bagaimana Perhitungan Tagihan Listrik Meter Ex-Im?

Kemudian, hal penting lainnya mengenai meter Exim yang perlu Anda ketahui ialah mengenai perhitungan tagihan listriknya. Untuk tagihan listrik pada panel surya yang menggunakan meter Exim, tidak diberlakukan sistem rekening minimum (RM), sehingga dimungkinkan tagihan pada satu bulan Rp. 0. Energi atau daya listrik yang dikirim ke PLN akan dicatat dan dihitung dengan menggunakan tarif yang berlaku. Nilai tarif yang pelanggan jual/kirim ke PLN adalah sebesar 65% dari harga listrik yang dibeli dari PLN. Seluruh rekap hasil jual-beli listrik ke PLN akan terlihat di tagihan PLN akhir bulan masing-masing pelanggan.

b. Manfaat Menggunakan Net Metering (Meter Exim)

Dari poin di atas, dapat disimpulkan bahwa menggunakan meter Exim atau *net metering* memberikan manfaat besar bagi masyarakat, khususnya pengguna Sistem Solar Panel Atap. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan Meter Exim, pengguna tidak perlu lagi khawatir listrik yang digunakan akan hangus tidak terpakai, karena kelebihan listrik tersebut dapat dijual balik ke PLN dan menjadi kredit di PLN yang akan mengurangi tagihan listrik bulan tersebut. Dengan meter Exim ini memungkinkan pengguna untuk menggunakan Sistem Solar Panel On-Grid reguler yang tidak menggunakan baterai yang secara nilai investasi lebih terjangkau dengan yang menggunakan baterai.

c. Perhitungan Tagihan Listrik kWh Meter Exim untuk Net Metering

1. Tagihan pemakaian listrik pelanggan pengguna Solar PV yang bertransaksi export -import tenaga listrik tetap berlaku Rekening Minimum (RM)
2. Tagihan Listrik PLN pada kWh Meter Export (energi listrik dari PLN yang dikonsumsi pelanggan), yaitu stand pemakaian pada kWh meter Export tetap dimasukkan ke aplikasi PLN seperti mekanisme perhitungan rekening listrik pada umumnya. Sedangkan untuk energi listrik dari kWh Meter Import (energi listrik dari sistem panel surya yang masuk ke PLN) dicatat dan dihitung menggunakan tarif yang sesuai golongan tarif pelanggan tersebut.

Contoh Perhitungan

- a. Stand pada kWh meter yang dikonsumsi pelanggan tercatat sebagai berikut:
 - Stand lalu (N-1) : 1200 kWh
 - Stand kini (N) : 1760 kWh*
 - Pemakaian : 560 kWh
- b. Energi listrik dari sistem energi listrik surya yang masuk ke PLN tercatat sebagai berikut:
 - Stand lalu (N-1) : 2000 kWh
 - Stand kini (N) : 2250 kWh
 - Pemakaian : 250 kWh

Maka perlakuannya

- a. Stand point 1 tetap diinput ke aplikasi PLN untuk dilakukan proses rekening sebagaimana biasanya
 - Tarif R1/ TR 2200 kVA pada tahun 2020 sebesar Rp 1.467,28/ kWh
 - kWh export yang harus dibayar : 560 kWh x Rp 1.467,28/ kWh = Rp 821.676
- b. Stand poin 2 (dilakukan di luar perhitungan aplikasi)
 - Tarif R1/ TR 2200 kVA pada tahun 2020 sebesar Rp 1.467,28/ kWh
 - kWh import yang harus dioffset sebesar ; 65% x 250 kWh x Rp 1.467,28/ kWh = Rp 238.433
 - Dibuatkan Berita Acara perhitungan dan dimasukkan ke aplikasi PLN melalui menu kompensasi dengan nama "Pengurangan taglis fotovoltaik, sedangkan kWh Import sebesar 250 kWh akan dimasukkan di Laporan Neraca Energi sebagai penerimaan dari sistem listrik surya
- c. Maka nilai tagihan yang harus dibayar oleh pelanggan adalah Rp 821.676 dikurangi Rp 238.433 yang setara dengan Rp 583.243
- d. PLN membuat monitoring Transaksi Fotovoltaik untuk pelanggan dimaksud dengan formulir yang sudah ditentukan.

Dari contoh perhitungan di atas, maka diketahui Anda hanya membayar tagihan listrik per bulan setara kurang lebih

$$= \frac{\text{Tagihan yang dibayarkan}}{\text{Tagihan pemakaian listrik PLN}}$$

$$= \frac{\text{Rp } 583.243}{\text{Rp } 821.676} = 70,1\% \text{ dari nilai tagihan sebelum menggunakan listrik surya atau Anda berhemat } \pm 30\% \text{ (dengan asumsi peak sun hour (P-SH)=4 jam/hari)}$$

5. VIDEO MEMERIKSA KINERJA PLTS ROOFTOP

2,5kWp Roof Top On Grid (Grid Tied) PLTS, Baca: <https://www.youtube.com/watch?v=e-0Przk9Euo>

BAGIAN 5 LAPORAN PEMASANGAN PLTS ROOFTOP ON-GRID

1. FORMAT LAPORAN PEMASANGAN PLTS ROOFTOP ON GRID

Format laporan pemasangan PLTS Rooftop tergantung permintaan pemilik proyek, yang tergantung dari besar kapasitas pembangkit, besarnya dana yang dibelanjakan dan tujuan dari pembangunan itu sendiri. Tentunya semakin besar kapasitas dan biaya pembangunan pembangkit serta semakin kompleks tujuan yang ingin dicapai, maka laporan pemasangan PLTS ini pun akan semakin rinci. Format laporan pun dapat merujuk kepada standar perusahaan, jika pemilik tidak menentukan formatnya.

Laporan dibuat oleh tim dalam penyusunannya. Data laporan dikumpulkan dari mulai perencanaan sampai pemasangan dan pengujian. Teknisi pemasangan akan memberikan laporan teknis dengan format yang ditentukan oleh kepala tim.

Berikut contoh format laporan Pemasangan PLTS Rooftop 10 KW yang dibuat oleh sebuah universitas yang memperoleh dana hibah untuk merencanakan dan memasang PLTS Rooftop On-Grid 10 kW pada suatu sebuah sekolah menengah untuk kepentingan penelitian dan pembelajaran tentang PLTS dan sekaligus mendukung ketersediaan energi listrik di sekolah tersebut dengan tetap mempertimbangkan arsitektur bangunan, agar lebih indah dan tetap artistik.

Format berikut hanya contoh dan Anda dapat mengembangkannya sesuai kebutuhan.

Halaman Judul

Daftar Isi

Ringkasa Rencana Bisnis (Executive Summary)

- Berisi latar belakang dan tujuan pemberian hibah untuk pemasangan PLTS Rooftop di sekolah.
- Pemilihan teknologi PV lokal yang tersedia,
- pemilihan desain solar PV rooftop sesuai dengan desain bangunan yang digagas oleh tim.
- pemilihan sekolah yang memiliki desain teknis bangunan sesuai dengan rencana desain solar PV rooftop.
- Pertimbangan pemilihan desain teknis mencakup: hal teknis, visibiliti publik yang tinggi, dan pertimbangan sejarah sekolah.
- Rencana tindak lanjut tim setelah pembangkit berhasil dipasang berkenaan dengan analisis kinerja pembangkit dan pemanfaatan pembangkit untuk pembelajaran
- Pembukaan dan open house yang bertujuan agar kageiatn ini diliput dimedia cetak dan elektronik serta membangkitkan keingintahuan publik melalui forum tanya jawab.
- Pilot project ditambah di beberpa sekolah
- Dan akhirnya harapan agar negara memberikan dukungan insentif untuk pengembangan dan implementasi energi terbarukan.

I. Pendahuluan

- Latar belakang pendanaan
- Tujuan utama proyek
- Pemilihan teknologi pv lokal yang tersedia dan penetapan produsen solar pv
- Pemilihan desain pv yang terintegrasi dengan arsitektur bangunan, sehingga menambah keindahan bangunan.
- Kriteria pemilihan lokasi/sekolah
- Penyebutan tentang bab-bab selanjutnya dari laporan ini antara lain: pembentukan tim proyek, proses desain, pemasangan, dan beberapa hasil awal dan sistem serta rencana tindak lanjut.

II. Tim Proyek

Tim terdiri dari tim ahli Solar PV dan koordinator pendidikan untuk memastikan keberhasilan proyek dan mengintegrasikan sistem pembangkit yang telah dibangun ke dalam pendidikan energi alternatif lokal.

Jabatan dalam proyek:

- Project Manager & System Design dijabat oleh Manager Energi dari Universitas ybs.
- Design & Installation Consultant dijabat oleh Konsultan ahli dari perusahaan konsultan.
- Educational Coordinator dijabat oleh dua orang profesor dari universitas ybs.
- PV Manufacturer Representative & Design Consultant dijabat oleh perusahaan PV yang terpilih.

III. Komponen Pendidikan dan Kinerja Pembangkit

- Rencana jangka panjang pemanfaatan pembangkit ini untuk penelitian bagi staf pengajar di universitas dan sekolah dan sebagai media pembelajaran rentang energi terbarukan bagi mahasiswa dan siswa sekolah.
- Kegiatan open house untuk memperkenalkan proyek ini kepada staf universitas, sekolah, mahasiswa, siswa, industri dan masyarakat umum. Open house menggambarkan manfaat proyek ini bagi pabrikan, perusahaan arsitektur dan perusahaan teknis berkenaan dengan PLTS Rooftop di kota metropolitan.
- Situs web dibangun untuk memberikan informasi secara berkala tentang kinerja sistem dan manfaatnya bagi pembelajaran dan penelitaian serta upaya-upaya mengurangi gas rumah kaca.

IV. ULASAN MODUL PV, PRODUK & PROYEK

A. Modul PV

- Penjelasan tentang jenis-jenis solar PV dan keunggulan dan kekurangannya masing-masing, yaitu: monocrystalline, polycrystalline dan amorphous.
- Dari ketiga jenis ini dipilih jenis yang paling sesuai dengan budget dan teknologi lokal yang tersedia serta tujuan desain proyek ini.

B. Produk: Desain Terintegrasi Bangunan

- Jenis solar PV yang dipilih disesuaikan dengan desain solar pv rooftop yang dibuat, yaitu merancang PV rooftop yang sesuai dengan arsitektur bangunan yang dipilih, sehingga menambah keindahan bangunan.
- PV amorphous, meskipun mempunyai efisiensi rendah, tetapi harganya murah dan dapat dibentuk ke dalam bentuk atap, jendela semi-transparan, dan berbagai bahan faade bangunan lainnya.
- Jenis PV amorphous dipilih karena terdapat perusahaan lokal yang telah memproduksinya dengan pilihan produk atap amorf yang inovatif.
- Perusahaan ini pun memberikan dukungan dengan memberikan harga yang lebih murah.

C. Pengalaman Proyek PV

Langkah-langkah tim proyek, antara lain:

- Meninjau manajemen proyek solar PV Rooftop yang telah berhasil sebelumnya
- Mempelajari referensi tentang pemasangan solar PV Rooftop sejenis dan diproduksi oleh perusahaan solar PV yang dilibatkan dalam proyek ini.
- Mempelajari dokumen proyek yang sangat baik yang diterbitkan oleh Asosiasi Solar PV yang telah berhasil dalam banyak membangun proyek Solar PV Rooftop.
- Mempelajari makalah-makalah di internet berkenaan dengan pembangunan proyek sejenis yang berhasil.
- Mempelajari Buku Sumber Desain Arsitektur tentang Solar PV Terintegrasi Bangunan
- Menjelaskan secara ringkas beberapa pengalaman proyek sejenis yang berhasil yang menjadi sumber belajar.
- Menyimpulkan pengalaman belajar dalam mempersiapkan proyek:
 1. Tetapkan tujuan program yang jelas dan jadwal yang realistis namun fleksibel
 2. Amankan dukungan dari manajemen atas
 3. Ketahui apa yang diharapkan dari teknologi
 4. Mengintegrasikan PV ke dalam konstruksi baru
 5. Gunakan pemasang PV berpengalaman
 6. Buat interkoneksi menjadi sederhana
 7. Semua sistem harus dipantau
 8. Jangan takut untuk meminta bantuan

V. DESAIN

Informasi tentang pemilihan produk, proses desain, termasuk pemilihan lokasi dengan visibilitas tinggi yang sesuai di kampus, integrasi material PV dengan struktur yang dipilih, tata letak fisik, dan desain sistem kelistrikan.

A. Pemilihan Bahan PV

- Jenis solar PV (Amorphous) yang dipilih adalah jenis sirap dengan daya tertentu berdasarkan pendekatan desain terpadu bangunan yang memiliki atap jenis aspal bitumen.

- Memperoleh harga preferensial serta dukungan teknik oleh pabrikan lokal.
- Produk ini dilindungi oleh garansi 20 tahun untuk keluaran listrik, termasuk penggantian produk, jika daya turun di bawah 80% dari output awalnya.
- Penjelasan singkat tentang desain solar Pv jenis sirap dan disertai gambar.

B. Pemilihan Lokasi

- Kriteria pemilihan lokasi
- Alamat jelas dan bangunan harus sangat mudah dilihat oleh masyarakat umum, mahasiswa dan siswa.
- Perijinan mudah dan tidak memakan waktu lama, karena bangunan cagar budaya akan memerlukan waktu yang sangat panjang untuk memperoleh ijin pemasangannya.
- Memungkinkan untuk pemasangan PLTS Rooftop, baik konstruksi dan kemiringan atap, maupun arah mata anginnya untuk menghasilkan output daya yang diharapkan.
- Manfaat dan kemudahan untuk penelitian tentang aplikasi PLTS Rooftop
- Disertai gambar grafis tampak atas dan foto tiga dimensi bangunan.

C. Roof Layout

- Empat permukaan atap untuk menerima modul PV jenis sirap diilustrasikan di bawah ini. Ungu menghadap ke timur, kuning menghadap ke selatan, dan biru dan hijau menghadap ke barat.
- Gambar contoh:

D. Kinerja Modul PV

Kinerja modul PV dituliskan sesuai spesifikasi yang tertera pada modul PV atau data sheet, mencakup:

- Label modul PV tunggal menunjukkan bahwa data sesuai kondisi standar uji di bawah sinar matahari penuh (1.000 W/m² dan suhu 25oC), diperoleh:
- P_{max} : 17 W; I_{m_{ax}} : 1,9 A; V_{max} : 9,0 V; I_{sc} : 2,35 A; V_{oc} : 13,0V
- Apabila dalam suatu periode, misal 8-10 minggu akan diperoleh output lebih tinggi, maka harus diperhitungkan dalam desain.

E. Ulasan Cuaca

Dalam sub bab ini dilaporkan:

- Menjelaskan data dari BMKG tentang rentang durasi dan besarnya paparan sinar matahari tertinggi dan terendah selama periode tertentu, misal 10 tahun. Ini penting untuk perencanaan sistem kelistrikan dan pemilihan spesifikasi tegangan masuk inverter. Skenario tertinggi, misalnya diambil 1250 W/m² pada ambien 10°C.
- Konsultasi dengan pihak pabrikan inverter dan modul Pv untuk memperoleh hasil terbaik.
- Jumlah modul PV di masing-masing posisi atap dijelaskan
- Letak pemasangan inverter pada ruangan dengan suhu yang dikontrol

- F. Merencanakan Jumlah Modul PV
Sub bab ini berisi antara lain:
- Jumlah modul PV di setiap atap
 - Daya yang dihasilkan inverter di setiap sisi atap
- G. Lay out akhir Atap
- Jumlah modul per string
 - Jumlah string per larik/PV array
 - Jumlah array
 - Jumlah inverter
 - Persambungan seri paralel yang direncanakan.
 - Gambar konfigurasi modul PV di setiap sisi atap dan keseluruhan.
 - Apakah konfigurasi modul PV tetap memperhatikan keindahan dan artistik bangunan, selain mempertimbangkan daya yang dihasilkan.
- H. Desain Kelistrikan
- Menggambarkan shop drawing lengkap, sesuai hasil perhitungan
 - Dilengkapi dengan shop drawing instalasi kelistrikan PLTS Rooftop On-Grid

VI. PEMASANGAN

- Menunjukkan alat, bahan dan komponen PLTS Rooftop yang akan dipasang disimpan di dalam ruang/gudang yang aman
- Jadwal dan durasi pemasangan bagian atau komponen utama dijelaskan.
- Menggambarkan penyiapan atap agar siap untuk dipasang struktur penyangga modul PV, khususnya untuk atap jenis asphalt bitumen.
- Menggambarkan proses pemasangan struktur penyangga modul fotovoltaik.
- Menggambarkan proses pemasangan modul fotovoltaik di atap.
- Menggambarkan letak pemasangan kabel-kabel modul fotovoltaik dan sistem penyambungannya.
- Menggambarkan isi combiner box dan panel DC
- Menggambarkan cara dan letak pemasangan combiner box dan panel box DC dan DC disconnecter di dalam rumah
- Menggambarkan pemasangan dan susunan string di dalam combiner box
- Menggambarkan sistem proteksi DC di dalam Panel Box DC
- Menggambarkan letak pemasangan inverter di dalam rumah (pembangkit)
- Menggambarkan manajemen kabel baik kabel DC maupun AC
- Menggambarkan isi panel AC, yaitu proteksi dan distribusi
- Menggambarkan letak pemasangan panel AC di dalam rumah
- Menggambarkan cara penyambungan ke kWh meter Ex-Im.

VII. INSTRUMENTASI

- Menggambarkan peralatan instrumentasi kontrol dan monitor apa saja yang dipasang yang disusun dalam bentuk daftar part/komponen
- Menggambarkan single line diagram instrumentasi
- Menggambarkan cara kerja instrumentasi tersebut, misalnya bagaimana peralatan inverter dan sensor cuaca dihubungkan dan saling berkomunikasi, juga bagaimana parameter AC dan DC nya dibaca dan dicatat oleh instrumen kontrol dan kemudian disimpan dan ditampilkan kembali oleh komputer lokal

- Contoh lainnya bagaimana server web internet dipasang untuk memungkinkan komunikasi antarmuka HTML jarak jauh ke data yang diarsipkan

VIII.KINERJA SISTEM

- Mengambarkan hasil pengujian kinerja setiap array/larik untuk mengukur respon volt-ampere dengan berbagai impedansi di bawah kuat cahaya matahari yang diukur dalam W/m^2
- Menggambarkan pula daya yang dihasilkan dari modul PV dan daya yang dikeluarkan oleh inverter serta penurunan daya yang terjadi.
- Menggambarkan energi yang dihasilkan PLTS, diimport jaringan PLN, digunakan beban di rumah dan energi yang diekspor oleh jaringan PLN ke beban di rumah.
- Pengukuran dilakukan dalam beberapa hari dan dituangkan dalam tabel.

IX. KESIMPULAN

- Menggambarkan tingkat keberhasilan pemasangan PLTS roof top on-grid sesuai tujuan yang ditentukan sebelumnya
- Hambatan yang terjadi dan upaya mengatasinya
- Dampak yang terjadi setelah pemasangan PLTS rooftop on-grid berkenaan dengan pembayaran listrik bulanan.

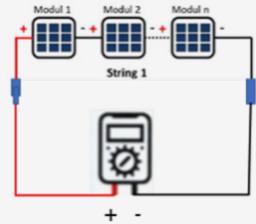
2. DOKUMENTASI LAPORAN

Laporan yang sudah selesai dibuat dan dicetak sebanyak tiga eksemplar yang kemudian ditandatangani dan dicap oleh pengembang. Dokumen tercetak dan softfile diserahkan kepada:

- a. Pemilik Proyek
- b. Pengembang sebagai arsip
- c. Penerima manfaa

F. LANGKAH KERJA PEMBELAJARAN

| PANDUAN GAMBAR | CAPAIAN | KETERANGAN |
|---|--|---|
|  | <ol style="list-style-type: none"> Menyiapkan peralatan K3, peralatan kerja, komponen utama dan pendukung pemasangan instalasi kelistrikan PLTS Rooftop on-grid | <ol style="list-style-type: none"> Menyiapkan APD dan K3 untuk bekerja di ketinggian dalam pemasangan PLTS Rooftop On-Grid Menyiapkan peralatan kerja untuk pemasangan komponen dan kelistrikan PLTS Rooftop On-Grid Menyiapkan alat-alat ukur/ uji untuk pemasangan komponen dan kelistrikan PLTS Rooftop On-Grid Menyiapkan komponen utama dan pendukung untuk pemasangan instalasi kelistrikan PLTS Rooftop On-Grid Gambar desain pemasangan PLTS Rooftop On-Grid |
|  | <ol style="list-style-type: none"> Memasang komponen-komponen utama kelistrikan PLTS terpusat on-grid | <ol style="list-style-type: none"> Mengidentifikasi komponen-komponen utama dan pendukung pemasangan PLTS Rooftop On-grid Memasang komponen-komponen utama dan pendukung pemasangan PLTS Rooftop On-grid Memeriksa hasil pemasangan komponen-komponen utama dan pendukung pemasangan PLTS Rooftop On-grid |

| PANDUAN GAMBAR | CAPAIAN | KETERANGAN |
|---|--|--|
|  | <p>3. Memasang kabel penghantar dan asesorisnya pada PLTS terpusat on-grid</p> | <p>2.1 Mengidentifikasi kabel dan MC4 2.2 Manajemen pengkabelan PLTS Rooftop On-Grid 2.3 Pemasangan kabel sesuai gambar kerja dan wiring diagram 2.4 Memeriksa kualitas hasil pemasangan pengkabelan PLTS Rooftop On-Grid</p> |
|  | <p>4. Menguji operasi PLTS terpusat on-grid</p> | <p>2.5 Menguji kinerja komponen dan sistem PLTS Rooftop On-Grid</p> |
|  | <p>5. Membuat laporan pemasangan dan kinerja PLTS terpusat on-grid</p> | <p>2.6 Membuat laporan singkat tapi komprehensif 2.7 Mendokumentasikan laporan</p> |

G. IMPLEMENTASI UNIT KOMPETENSI

| ELEMEN KOMPETENSI 1 Menyiapkan perlengkapan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS <i>rooftop on-grid</i> | |
|--|---|
|  | <p>Membaca Teori</p> <p>Bacalah pengantar teori Bagian 1 pada modul ini secara cermat, catatlah alat ukur dan komponen utama dan pendukung pemasangan PLTS di atap On-Grid yang diperlukan.</p> |
|  | <p>Lakukan analisis terhadap pengantar materi yang telah anda simak untuk memperoleh gagasan/pendapat Anda tentang alat ukur dan komponen utama dan pendukung pemasangan PLTS di atap On-Grid yang diperlukan. Catatlah gagasan yang Anda peroleh pada buku kerja Anda.</p> |
|  | <p>Diskusikan gagasan atau pendapat Anda di dalam kelompok untuk memperkaya wawasan dan pemahaman Anda setelah mempelajari pengantar teori di atas.</p> <p>Tugas 1.1</p> <p>Buatlah laporan tentang jenis-jenis alat ukur, komponen-komponen utama dan pendukung yang diperlukan untuk pemasangan PLTS di atap On-Grid sesuai dengan yang ada di workshop atau kapasitas yang Anda tentukan sendiri.</p> |
|  | <p>Tugas 1.2</p> <p>Demonstrasikan cara menggunakan alat-alat ukur untuk pemasangan PLTS <i>rooftop on-grid</i></p> |
|  | <p>Simak video berikut tentang penggunaan beberapa alat ukur untuk pemasangan PLTS <i>rooftop on-grid</i></p> <p>Menggunakan Multimeter Digital : https://www.youtube.com/watch?v=Z71FrTyvnGM&t=1038s</p> <p>Menggunakan Clampmeter : https://www.youtube.com/watch?v=5lr4J2EMNnw&t=246s</p> <p>Menggunakan Solar Powermeter: https://www.youtube.com/watch?v=Mq2gly4o_Uk</p> <p>Menggunakan Earth Tester: https://www.youtube.com/watch?v=HbIeksuENK0</p> |

| ELEMEN KOMPETENSI 2 Memasang komponen kelistrikan PLTS rooftop on-grid | |
|---|---|
|  | <p>Membaca Teori</p> <p>Bacalah pengantar materi Bagian 2 pada modul ini untuk mengidentifikasi spesifikasi dan cara memasang serta cara memeriksa kualitas hasil pemasangan komponen-komponen utama dan pendukung untuk pemasangan PLTS di atap On-Grid.</p> |
|  | <p>Lakukan analisis yang telah Anda baca untuk memperoleh gagasan/pendapat Anda berkenaan dengan spesifikasi, cara memasang dan cara memeriksa kualitas hasil pemasangan komponen-komponen utama dan pendukung pada PLTS rooftop on-grid. Catatlah gagasan yang Anda peroleh pada buku kerja.</p> |
|  | <p>Diskusikan gagasan atau pendapat Anda di dalam group Anda.</p> <p>Tugas 2.1</p> <p>Buatlah laporan hasil diskusi tentang spesifikasi, cara memasang dan cara memeriksa kualitas hasil pemasangan komponen utama dan pendukung pada PLTS rooftop on-grid.</p> |
|  | <p>Tugas 2.2</p> <p>Berdasarkan hasil analisis dan diskusi, lakukan pemasangan komponen utama dan pendukung yang diperlukan pemasangan PLTS rooftop On-Grid sesuai SOP di workshop Anda.</p> |

| ELEMEN KOMPETENSI 3 Memasang kabel penghantar PLTS rooftop on-grid | |
|---|--|
|  | <p>Membaca Teori</p> <p>Bacalah pengantar materi Bagian 3 pada modul ini untuk mengidentifikasi spesifikasi, cara memasang dan cara memeriksa pemasangan pengkabelan dan aksesorisnya pada PLTS rooftop on-grid.</p> |
|  | <p>Lakukan analisis terhadap pengantar materi yang telah anda simak untuk memperoleh gagasan/pendapat Anda tentang spesifikasi, cara memasang dan cara memeriksa kualitas hasil pemasangan sistem pengkabelan dan aksesorisnya pada PLTS rooftop on-grid. Catatlah gagasan/pendapat yang Anda peroleh pada buku kerja.</p> |

| | |
|---|--|
|  | <p>Diskusikan gagasan atau pendapat Anda di dalam group Anda.</p> <p>Tugas 3.1 Buatlah laporan hasil diskusi tentang spesifikasi, cara memasang dan cara memeriksa kualitas pemasangan sistem pengkabelan dan aksesorisnya pada PLTS di <i>rooftop on-grid</i>.</p> |
|  | <p>Tugas 3.2 Berdasarkan hasil analisis dan diskusi, demonstrasikan cara memasang dan cara memeriksa kualitas pemasangan sistem pengkabelan dan aksesorisnya pada PLTS <i>rooftop on-grid</i> di workshop Anda.</p> |

| ELEMEN KOMPETENSI 4 Pengujian PLTS Rooftop on-grid | |
|---|--|
|  | <p>Membaca Teori Bacalah pengantar materi Bagian 4 pada modul ini tentang cara pengujian komponen dan sistem pada PLTS <i>rooftop on-grid</i>.</p> |
|  | <p>Lakukan analisis terhadap pengantar materi yang telah anda simak untuk memperoleh gagasan/pendapat Anda tentang cara pengujian komponen dan sistem pada PLTS <i>rooftop on-grid</i>. Catatlah gagasan/pendapat yang Anda peroleh pada buku kerja.</p> |
|  | <p>Diskusikan gagasan atau pendapat Anda di dalam group Anda.</p> <p>Tugas 4.1 Buatlah laporan hasil diskusi tentang cara pengujian komponen dan sistem pada PLTS <i>rooftop on-grid</i></p> |
|  | <p>Tugas 4.2 Berdasarkan hasil analisis dan diskusi, demonstrasikan cara pengujian komponen dan sistem pada PLTS <i>rooftop on-grid</i> yang sudah Anda pasang di workshop Anda.</p> |

| ELEMEN KOMPETENSI 5 Membuat laporan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS | |
|--|--|
|  | <p>Membaca Teori</p> <p>Bacalah pengantar materi Bagian 5 pada modul ini tentang cara Membuat Laporan Pemasangan PLTS <i>rooftop on-grid</i>.</p> |
|  | <p>Disarankan untuk mencari sumber belajar/informasi lain berkenaan dengan cara pembuatan laporan pada pemasangan PLTS rooftop On-Grid.</p> <p>Misalnya:</p> <p>Jim Leidel, 2003, 10 Kilowatt Photovoltaic Demonstration Project Final Report, Oakland University, Baca: https://www.oakland.edu/Assets/upload/docs/Energy/Final--Report.pdf</p> |
|  | <p>Lakukan analisis terhadap pengantar materi dan informasi lainnya yang telah anda simak untuk memperoleh gagasan/pendapat Anda tentang cara membuat laporan pemasangan PLTS rooftop On-Grid. Catatlah gagasan yang Anda peroleh pada buku kerja.</p> |
|  | <p>Diskusikan gagasan atau pendapat Anda di dalam group Anda.</p> <p>Tugas 5.1</p> <p>Buatlah laporan hasil diskusi tentang cara membuat laporan pemasangan PLTS rooftop on-grid yang singkat tapi komprehensif.</p> |
|  | <p>Tugas 5.2</p> <p>Berdasarkan hasil analisis dan diskusi, buatlah laporan hasil pemasangan dan pengujian PLTS <i>rooftop on-grid</i> yang Anda pasang di workshop Anda.</p> |



H. PENILAIAN:

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

I. LAMPIRAN

Kamus Istilah

PLTS *rooftop on-grid* adalah pembangkit listrik tenaga surya yang dipasang di atas atap dan disambungkan paralel dengan jaringan PLN di rumah, baik dilengkapi kWh Ex-im maupun tidak.

J. RUJUKAN

Jim Leidel, 2003, 10 Kilowatt Photovoltaic Demonstration Project Final Report, Oakland University, Baca: <https://www.oakland.edu/Assets/upload/docs/Energy/Final--Report.pdf>

USAID, 2020, Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia - Indonesia Clean Energy Development II Juni 2020, Baca: <https://drive.esdm.go.id/wl/?id=XOegh-8pXO9FMjeb14x0joDD6hIZe94Fm>

K. ACUAN KOMPETENSI KERJA

KODE UNIT : D.35EBT15.007.1

JUDUL UNIT : Memasang Instalasi Kelistrikan PLTS Tipe Terpusat (Komunal) On-Grid

DESKRIPSI UNIT : Unit kompetensi ini berhubungan dengan pengetahuan, keterampilan dan sikap kerja yang dibutuhkan dalam kegiatan memasang kabel penghantar, konektor, terminal, jalur kabel, komponen kelistrikan PLTS tipe terpusat (komunal) on-grid.

| ELEMEN KOMPETENSI | KRITERIA UNJUK KERJA |
|---|---|
| 1. Menyiapkan perlengkapan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS tipe terpusat (komunal) <i>on-grid</i> | 1.1. Perlengkapan Keamanan, Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) disiapkan sesuai prosedur. 1.2. Peralatan untuk pemasangan instalasi kelistrikan PLTS tipe komunal on-grid disiapkan sesuai prosedur. 1.3. Komponen utama dan komponen pendukung diidentifikasi sesuai dengan spesifikasi produk. 1.4. Jalur kabel dan penempatan komponen PLTS tipe komunal on-grid ditentukan sesuai dengan gambar kerja. |
| 2. Memasang komponen kelistrikan PLTS tipe terpusat (komunal) on-grid | 2.1. Komponen utama dipasang sesuai dengan gambar kerja dan SOP yang ditentukan. 2.2. Komponen pendukung dipasang sesuai dengan gambar kerja dan SOP yang ditentukan. 2.3. Pemasangan komponen PLTS diperiksa sesuai gambar kerja dan spesifikasi yang ditentukan. |
| 3. Memasang kabel penghantar PLTS tipe terpusat (komunal) on-grid | 3.4. Jalur kabel dipasang sesuai lay-out yang ditentukan. 3.5. Kabel penghantar PLTS dipasang sesuai gambar kerja dan sesuai SOP yang ditentukan. 3.6. Label kabel atau kode warna isolator kabel dipasang sesuai gambar kerja. |
| 4. Membuat laporan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS | 4.7. Laporan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS tipe on-grid dibuat sesuai standar yang berlaku. 4.8. Laporan pemasangan instalasi kelistrikan PLTS tipe on-grid didokumentasikan sesuai SOP |

BATASAN VARIABEL

1. Konteks variabel
 - 1.1. Unit kompetensi ini dapat digunakan di bidang teknik Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Fotovoltaik.
 - 1.2. Komponen utama meliputi komponen modul surya, dan inverter ongrid.
 - 1.3. Komponen pendukung adalah komponen yang digunakan untuk melengkapi instalasi dari komponen utama. Misalnya, kabel konektor, terminal, isolasi listrik, kabel ties, label, silicone rubber/sealant dan kabel tray.
2. Peralatan dan perlengkapan
 - 2.1. Peralatan
 2. 1. 1. Alat Pelindung Diri (APD)
 2. 1. 2. Alat-alat ukur
 2. 1. 3. Peralatan tangan
 2. 1. 4. Peralatan isolasi listrik
 2. 1. 5. Peralatan pencegah kebocoran atap
 2. 1. 6. Peralatan untuk bekerja di ketinggian
 - 2.2. Perlengkapan
 2. 2. 1. Spesifikasi produk
 2. 2. 2. Dokumen 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
 4. 2. 1. SNI 0225:2011/Amd 5:2016 Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011) - Amendemen 5 (IEC 60364-5-56:2009, MOD)
 4. 2. 2. *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 interview 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.
 - 1.4. 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-komponen kelistrikan yang terkait dengan PLTS tipe On-Grid meliputi jenis, ukuran dan kemampuan hantar arus kabel, jenis dan ukuran konektor kabel, jenis dan kapasitas inverter
 3. 1. 2. Karakteristik dasar modul surya. Modul surya dapat menghasilkan tegangan listrik searah ketika terkena sinar matahari sesuai dengan karakteristik yang diberikan oleh manufaktur
 3. 1. 3. Keselamatan dan kesehatan kerja kelistrikan
 3. 1. 4. Rangkaian listrik dasar
 - 3.2. Keterampilan
 3. 2. 1. Membaca gambar teknik kelistrikan
 3. 2. 2. Menggunakan alat-alat ukur kelistrikan
 3. 2. 3. Menggunakan peralatan tangan (*hand tool*)
 3. 2. 4. Menggunakan *hand and power tool*
4. Sikap kerja yang diperlukan
 - 4.1. Teliti dalam membaca gambar
 - 4.2. Disiplin dalam memenuhi prosedur pemasangan
 - 4.3. Cermat dalam menentukan tindakan korektif
 - 4.4. Bertanggungjawab terhadap setiap laporan yang sudah dibuat
5. Aspek kritis
 - 5.1. Ketelitian dalam pemasangan komponen utama dan pendukung