



KEMENTERIAN PUPR

Teknologi Atap Solar PVROOF

PUSLITBANG PERUMAHAN DAN
PERMUKIMAN



TEKNOLOGI ATAP SOLAR PVROOF

**Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman
Badan Penelitian dan Pengembangan
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**

DAFTAR ISI

Kata Pengantar

Pengantar

Daftar Isi

Deskripsi Teknologi PVROOF

Spesifikasi Teknis PVROOF

Spesifikasi Komponen Pendukung PVROOF

1. Spesifikasi Modul Surya
2. Spesifikasi Ongrid Inverter (Solar Inverter)
3. Spesifikasi Kabel Daya (Power Cable), Pentanahan (Grounding)
Pengkabelan, Pentanahan, dan Manajemen Pengkabelan
4. Spesifikasi Penyangga PV Array
5. Spesifikasi Penangkal Petir

Tatacara Produksi, Perencanaan, Konstruksi, dan Operasi Pemeliharaan
PVROOF

1. Tatacara produksi teknologi atap solar PVROOF
2. Tatacara perencanaan teknologi atap solar PVROOF
3. Tatacara konstruksi teknologi atap solar PVROOF
4. Tatacara operasi dan pemeliharaan teknologi atap solar PVROOF

Hasil Pengujian Laboratorium PVROOF

Penerapan Teknologi Atap Solar PVROOF

Tim Penyusun

1. Prof. Dr. Ir. Arief Sabaruddin, CES
2. Ir. Yusniewati, Msc
3. Tedi Achmad Bahtiar, ST, MDM
4. Amalia Nurjannah, ST
5. Rangga Syaputra, S.Si

Editor

Ir. Fitrijani Anggraini, MT

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, saya menyambut gembira atas tersusunnya buku Pedoman Teknis Penyediaan Teknologi PVROOF, yang merupakan inovasi teknologi yang dihasilkan oleh Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Seiring dengan perkembangan teknologi, konsumsi penggunaan listrik terus meningkat, namun hal tersebut tidak sebanding dengan kemampuan PLN dalam menyediakan listrik. Sektor bangunan menyumbang sebesar 40% dari total konsumsi energi. Di sisi lain intensitas sinar matahari di Indonesia mampu untuk menghasilkan energi listrik dengan daya 4,8 KWh/m². Pada Tahun 2017 pemerintah mengeluarkan Perpres Nomor 22 Tahun 2017 tentang “Rencana Umum Energi Nasional” yang menyatakan adanya kewajiban memasang sel surya minimum 25% dari luas atap bangunan, kompleks perumahan, dan apartemen, serta 30% dari atap bangunan milik pemerintah.

Teknologi solar panel PVROOF ini merupakan salah satu jawaban dari permasalahan tersebut. Solar Panel PVROOF menggabungkan atap konvensional dan rooftop solar yang memiliki fungsi ganda yaitu sebagai atap sekaligus pembangkit listrik tenaga surya. Teknologi ini tidak membutuhkan lokasi yang luas. Terbuat dari modul surya WIKAPV 200 WP dengan efisiensi > 16%. Penggunaan 24 unit modul surya 200 WP mampu menghasilkan listrik sebesar 12 kWh/ hari dengan asumsi puncak panas selama 3 jam.

Teknologi PVROOF lebih murah dibandingkan dengan teknologi sejenis lainnya dan dapat mengurangi biaya pembangunan atap konvensional. Harapannya, buku pedoman ini dapat digunakan sebagai pegangan untuk para produsen perumahan yang berminat untuk menerapkan, selain itu juga dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian dan pengembangan lainnya dalam menggalakan teknologi yang lebih unggul.

Bandung, Oktober 2019

Kepala Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman

Ir. Dian Irawati,, M.T.

PENGANTAR

Konsumsi listrik Indonesia setiap tahun mengalami peningkatan sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi dan pembangunan nasional. Menurut Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) tahun 2010 – 2019 menyebutkan, kebutuhan tenaga listrik diperkirakan mencapai 55.000 MW. Dari total kebutuhan tersebut, hanya 32.000 MW atau sekitar 57% dari total kebutuhan yang akan dibangun oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) (Kompas.com, 2011).

Dalam mengatasi isu ketidak seimbangan kebutuhan dan ketersediaan energi listrik, pemanfaatan potensi sumber daya alam dalam menjadi opsi untuk memenuhi kebutuhan listrik. Salah satu potensi alam yang dapat dimanfaatkan di wilayah tropis adalah sumber energi matahari. Pemanfaatan sumber energi surya menjadi energi listrik dapat dilakukan dengan menggunakan modul sel surya.

Sel surya dapat beroperasi tidak hanya di wilayah tropis, namun hampir seluruh belahan bumi yang tersinari matahari. Potensi yang dimiliki Indonesia dalam pengembangan energi surya cukup baik, dimana wilayah Indonesia memiliki intensitas cahaya matahari rata – rata 4,8 kWh/m² karna letaknya yang berada di garis katulistiwa (icare, 2017).

Sel surya juga mampu beroperasi tanpa menghasilkan polusi yang dapat merusak lingkungan dan menimbulkan gangguan pada pengguna atau lingkungan sekitarnya (Hantula, 2010). Hal ini disebabkan cara kerja sistem dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel yang disebut dengan photon. Photon dapat dilihat sebagai sebuah partikel energi atau sebagai gelombang dengan frekuensi tertentu (Institute, 1982).

Penggunaan panel surya sebagai solusi alternatif dalam mengatasi kebutuhan listrik memiliki potensi tinggi untuk dapat diaplikasikan utamanya pada sector bangunan di Indonesia. Bangunan menghabiskan sekitar 40% energi dan daya dunia, maka program penghematan energi listrik pada bangunan sangat diperlukan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mendukung program tersebut yakni dengan mengaplikasikan panel surya pada bangunan.

Meski memiliki potensi energi surya cukup besar, penggunaan panel surya di bangunan belum maksimal. Salah satu hal yang menyebabkan penggunaan panel surya belum maksimal adalah kebutuhan lahan untuk penempatan panel yang cukup besar. Konfigurasi penempatan panel yang membutuhkan pencahayaan matahari langsung merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi

dalam penggunaan panel surya. Konfigurasi penempatan panel ini dapat dengan memanfaatkan lahan untuk peletakan panel atau menjadikan panel sebagai rooftop. Konfigurasi panel dengan memanfaatkan lahan untuk peletakan panel tidak cukup fleksibel di daerah perkotaan atau bangunan yang memiliki area lahan terbatas. Sedangkan penggunaan panel sebagai rooftop tidak cukup efisien dalam anggaran dana yakni dana dialokasikan sebagai atap bangunan dan juga dialokasikan untuk rooftop.

Sebagai salah satu agen penelitian dan pengembangan khususnya di bidang infrastruktur, Puslitbang Perumahan dan Permukiman mencoba memberikan solusi alternatif teknologi melalui inovasi teknologi yang diberi nama PVROOF. PVROOF merupakan teknologi atap *solar cell* yang memiliki fungsi ganda sebagai penutup atap dan sebagai penghasil listrik. Dengan adanya teknologi PVROOF harapannya dapat menyelesaikan permasalahan keterbatasan lahan dan efisiensi anggaran dalam mengaplikasikan panel surya pada bangunan. Saya mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung penerbitan buku ini. Saya mengharapkan buku ini dapat menjadi salah satu referensi/ pedoman bagi pihak-pihak yang ingin memproduksi PVROOF maupun sumber inspirasi bagi para peneliti dan akademisi yang ingin mengembangkan teknologi ini.

Jakarta, Oktober 2019

Kepala Puslibang Perumahan dan Permukiman Periode 2015-2019

Prof.Dr.Ir.Arief Sabaruddin, CES.

DESKRIPSI TEKNOLOGI PVROOF



DESKRIPSI TEKNOLOGI PVROOF

Teknologi atap solar cell PVROOF merupakan penggabungan fungsi atap konvensional dan penghasil listrik. PVROOF secara umum terbagi menjadi dua komponen utama yaitu komponen mekanika berupa panel dan frame serta komponen sistem. Pembaruan dari teknologi atap solar cell PVROOF adalah frame dan joint. PVROOF solar panel ditransformasikan menjadi atap dengan dilengkapi profil frame yang mendukung kerja sebagai atap.

Pembuatan sistem PVROOF meliputi integrasi modul surya dengan beberapa perangkat instrumentasi sebagai komponen pendukung untuk dapat dipakai oleh perangkat elektronik di dalam bangunan. Teknologi ini telah diterapkan pada beberapa lokasi. Salah satu lokasi penerapan teknologi PVROOF adalah Kantor Kementerian PUPR yang berada di Jalan Pattimura, Jakarta Selatan. Teknologi PVROOF memiliki beberapa keunggulan antara lain sebagai berikut :

1. Memiliki fungsi ganda

PVROOF memiliki fungsi ganda yaitu sebagai pembangkit listrik tenaga surya dan ditransformasikan menjadi atap yang dilengkapi profil frame yang mendukung kerja sebagai atap.

2. Lebih hemat biaya

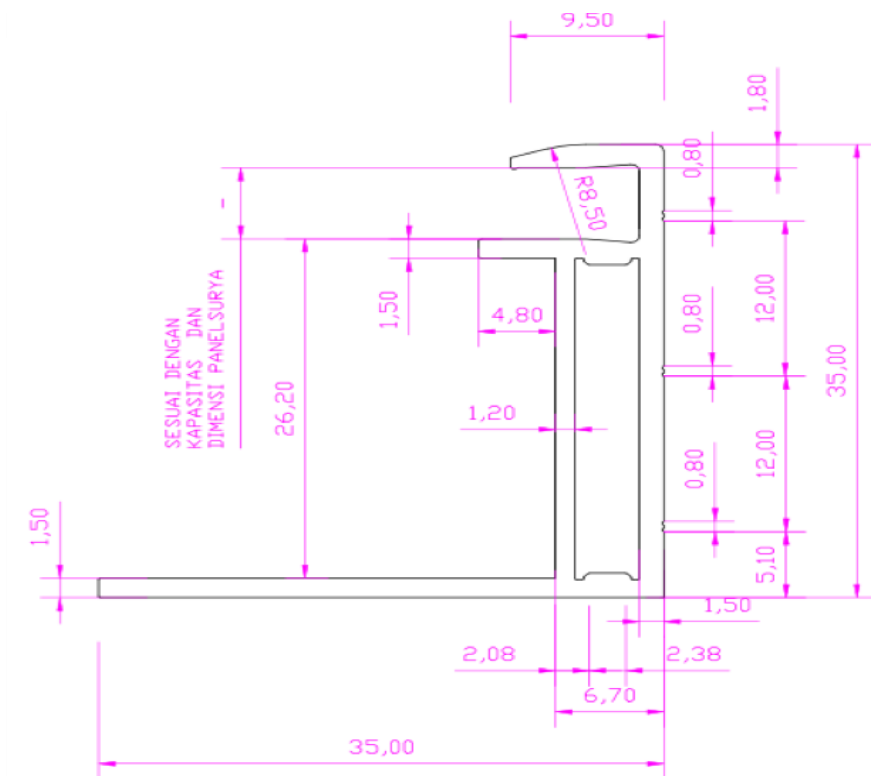
PVROOF lebih ekonomis apabila dibandingkan dengan fungsi sejenis seperti *tesla solar roof* dan pembangkit listrik tenaga surya yang modulnya diletakkan di *rooftop* atau pun di lahan. PVROOF memerlukan anggaran Rp 1.900.000/m². Namun jika dikaji dengan menggunakan teori life cycle analysis, penggunaan PVROOF sebagai atap dan sebagai pembangkit listrik tenaga surya memiliki payback period sekitar 11,5 tahun (hal tersebut dengan asumsi perbandingan harga jual dan beli listrik yaitu 1:1). Merujuk pada hasil peformansi sistem elektrik di sub-bab sebelumnya, PVROOF dapat menghasilkan 12,3 kWh/m². Dengan harga 1 kWh yaitu Rp 1.112 maka per m² dapat menghasilkan listrik seharga Rp 13.728/m².

SPESIFIKASI TEKNIS

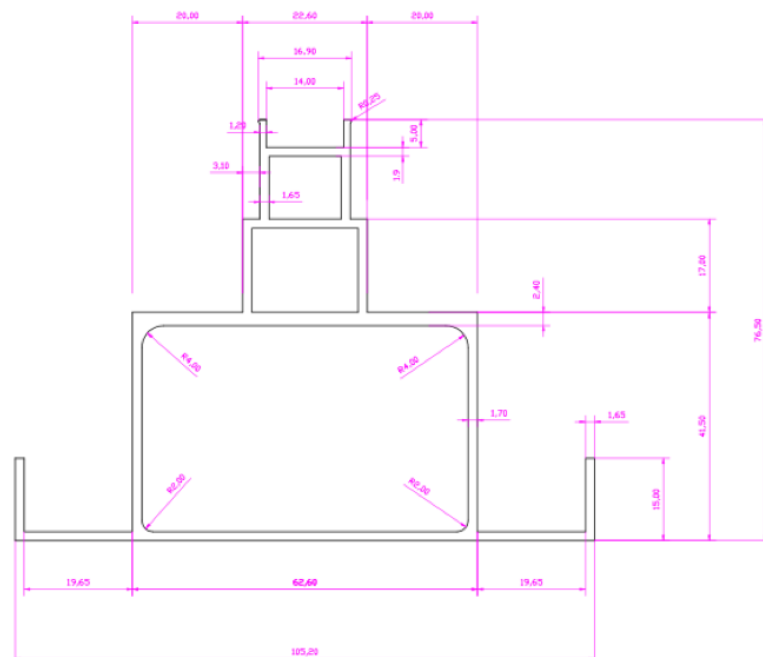
Detail Bentuk dan Dimensi profil frame PVROOF

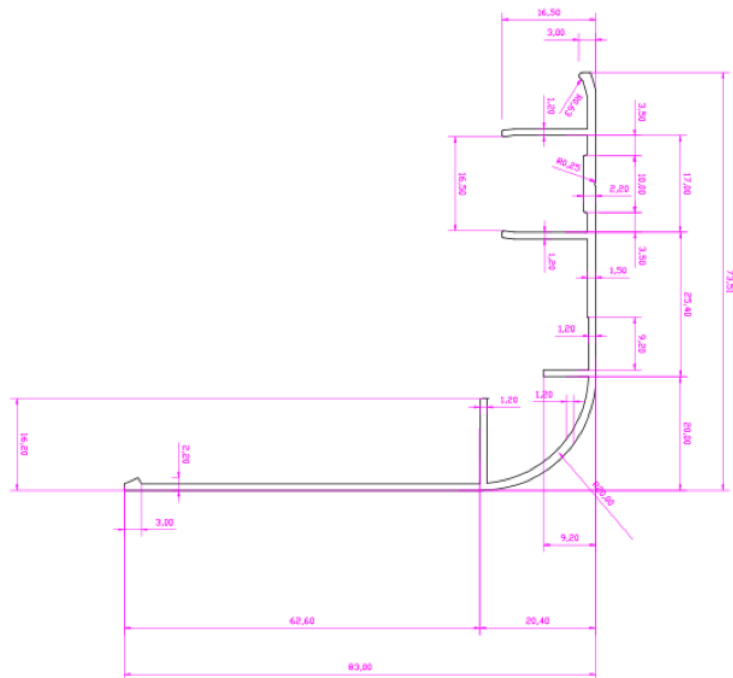


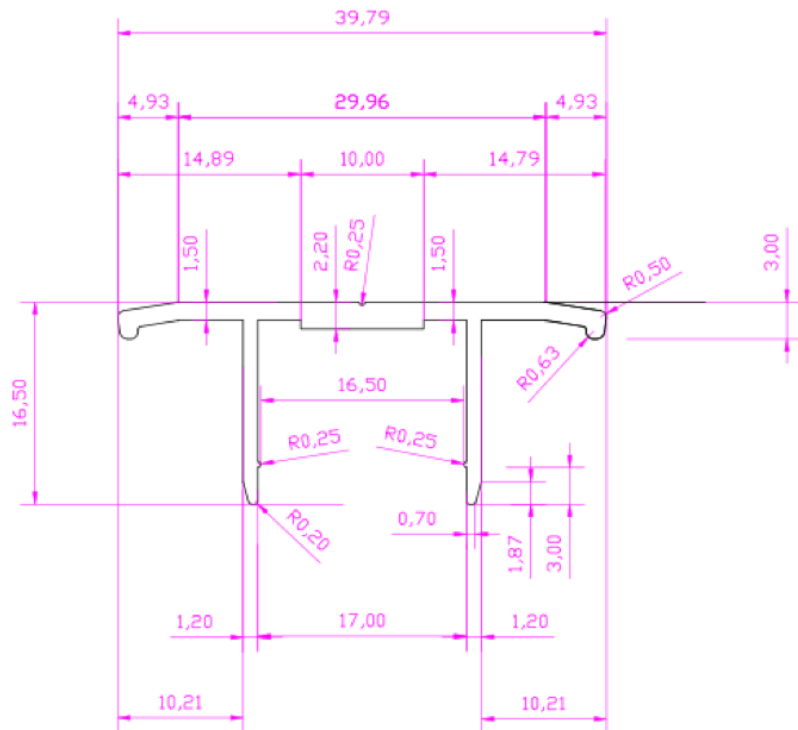
b) Profil *frame* sampling kanan dan kiri panel



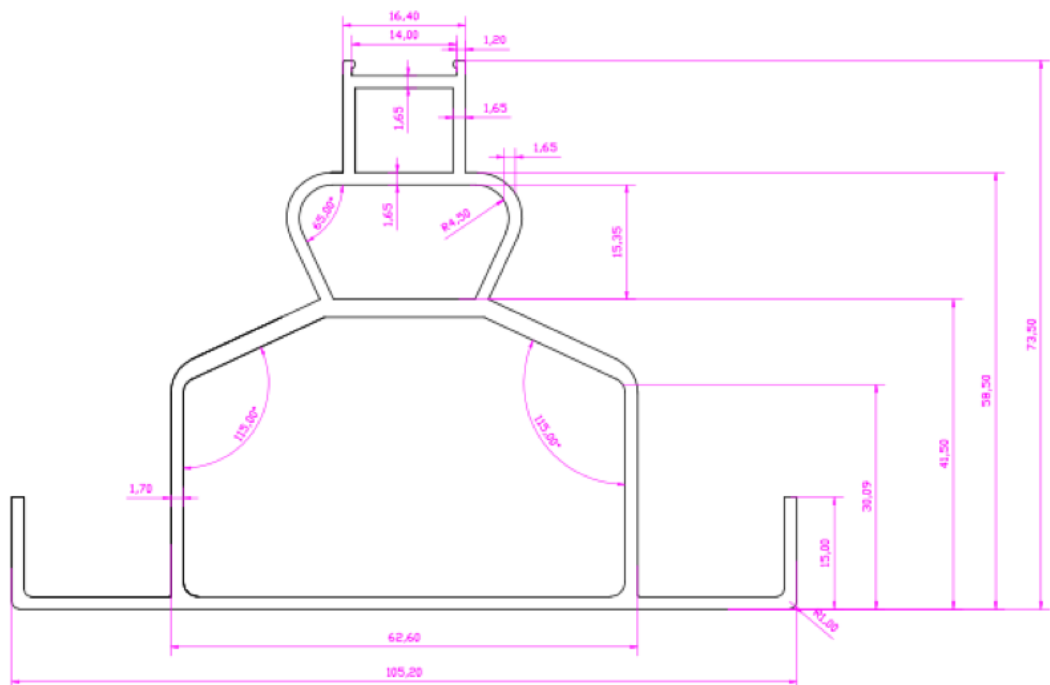
c) Profil balok C sebagai dudukan memanjang penutup atap panel surya



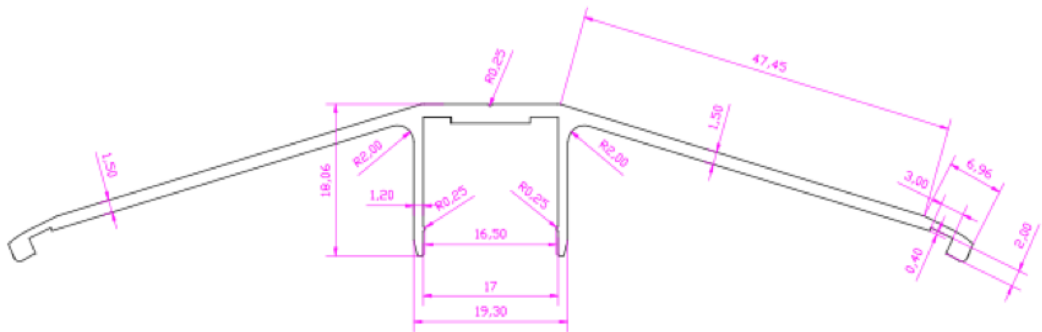




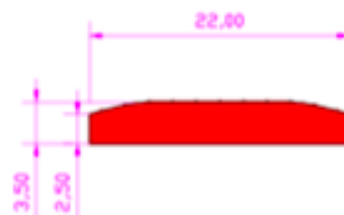
f) Profil balok E rangka atap sebagai dudukan belakang panel surya



g) Profil bubungan F sambungan panel pada puncak penutup atap panel surya



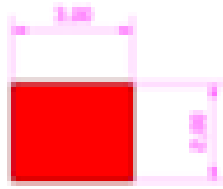
h) Profil penahan bocor G pada pertemuan *frame* A dan B



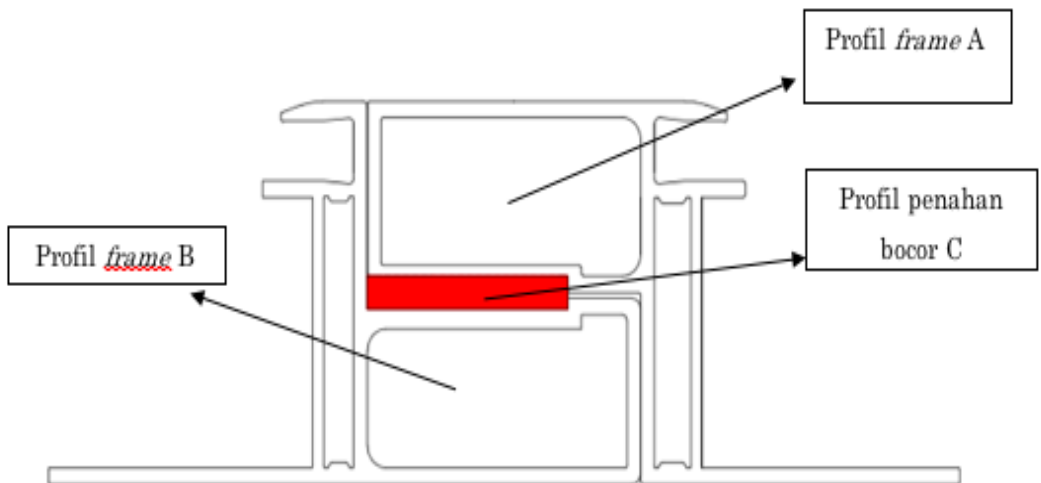
i) Profil penahan bocor H pada pertemuan antara *frame* samping dengan balok dudukan atap panel surya



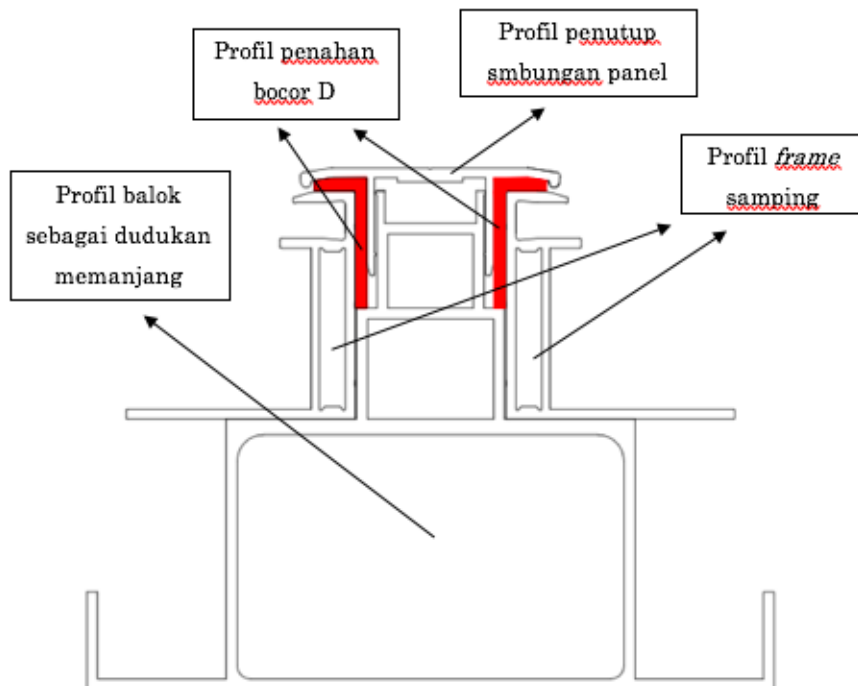
j) Profil penahan bocor I pada pertemuan antara *frame* B dengan profil bubungan F



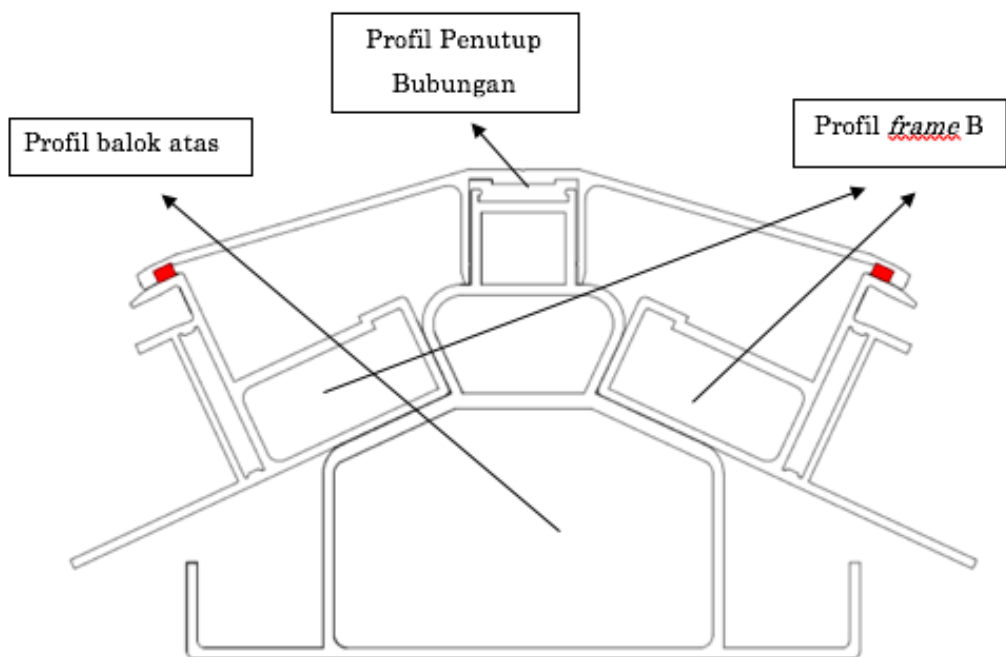
- k) Antara profil *frame* A dan B dengan menggunakan profil penahan bocor G



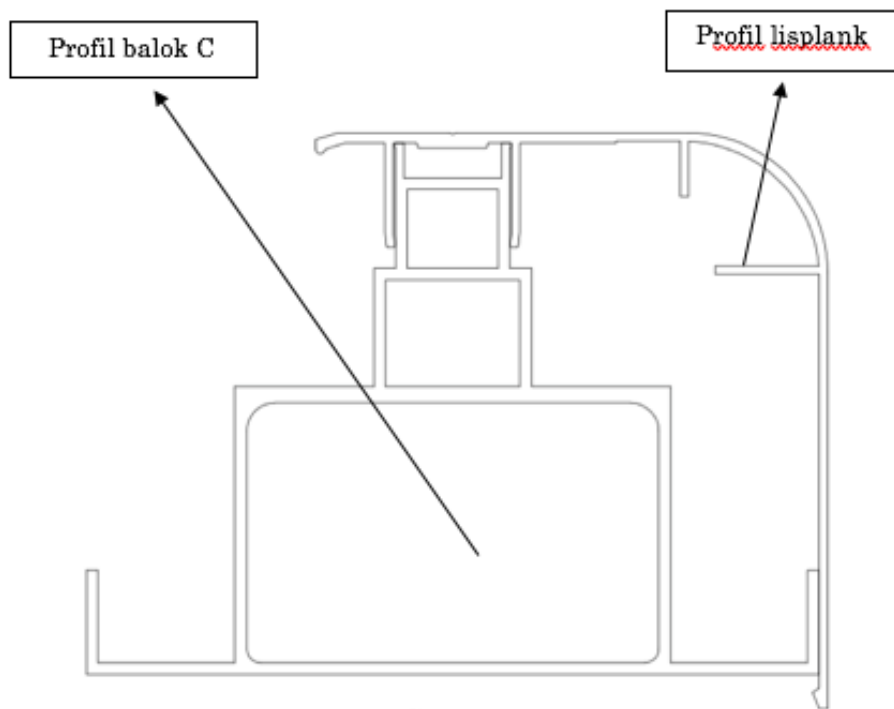
- l) Sistem sambungan antara profil balok sebagaiudukan memanjang penutup atap panel surya dan profil *frame* samping dengan menggunakan penahan bocor H



- m) Sistem sambungan pertemuan antara *frame* B dengan profil balok atas rangka atap dengan menggunakan penahan bocor I



- n) Sistem sambungan profil lisplank dan Profil balok C



- a. Frame PVROOF terbuat dari bahan alumunium atau sejenis (yang mempunyai sifat hantar listrik dan kekuatan yang sama)
- b. Penggantian bahan profile PVROOF dimungkinkan untuk membuat harga semakin kompetitif dan embodied energi yang lebih baik,
- c. Profile balok C bisa terbuat dari alumunium, baja, baja riangan dan bahan-bahan lainnya dengan syarat mampu memikul beban panel atap PVROOF dan beban-beban lainnya,
- d. Dimensi profile balok C bagian yang terhubung dengan profile yang lain harus presisi sementara dimensi profil yang merupakan aspek penguat/penyangga dapat disesuaikan dengan kebutuhan kekuatan dari sistem PVROOF
- e. Karet silen yang digunakan harus tahan menghadapi segala jenis cuaca selama minimal 10 tahun tanpa menimbulkan rembesan dan kebocoran,
- f. Silen dapat menggunakan jenis lain selain karet selama mempunyai kemampuan baik sifat-sifat kimia, fisis dan durabiliti yang sama atau lebih baik
- g. Pembuatan Dies untuk frame harus dipastikan sesuai dengan gambar dan mempunyai tingkat presisi yang tinggi dan tidak mengalami perubahan dalam produksi framenya

SPESIFIKASI KOMPONEN PENDUKUNG

2. Spesifikasi komponen pendukung sistem Teknologi Atap Solar PVROOF

2.1. Spesifikasi Modul Surya

- a. Modul surya yang digunakan pada PVROOF bisa *Polycrystalline*, *Monocrystalline* dan *tin film*.
- b. Dimensi modul surya tergantung pabrikannya
- c. Memenuhi persyaratan yang tercantum dalam SNI 04-3805.2-1995
- d. Efisiensi modul surya minimum 15%.
- e. Rangkaian modul surya mempunyai kapasitas total sesuai dengan daftar kuantitas harga. Jumlah modul surya menyesuaikan dengan desain kapasitas *output* per unit modul surya yang dipakai.
- f. Koneksi antar modul surya menggunakan koneksi *plug-in socket*, tidak boleh ada perpindahan *junction box* pada permukaan pemasangan yang mengganggu karakteristik pengisolasian pada beban tarik 40 N.
- g. Keluaran *array* modul harus melalui *Combiner Box* sebelum masuk ke Inverter.
- h. Melampirkan salinan sertifikat lolos hasil uji korosi (*Salt Spray Test*) yang diterbitkan oleh PT. PLN (PESERO) PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KETENAGALISTRIKAN
- i. Melampirkan salinan tanda sah capaian Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) paling sedikit 40% yang diterbitkan oleh Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.
- j. Label data kinerja (*performance*) modul harus ditempelkan pada bagian belakang modul surya.
- k. Melampirkan salinan sertifikat ISO 9001 dari Produsen.
- l. Melampirkan garansi tertulis dari Produsen tentang jaminan minimal 20 tahun, untuk degradasi *output* maksimal 1% pertahun dan maksimal 20% pada akhir usia teknis.
- m. Lulus uji pembebanan mekanik: Modul dapat menahan beban statis minimum tiga siklus beban merata pada 2400 Pa selama 1 jam untuk permukaan depan dan belakang modul surya.
- n. Lolos Uji tumbukan bola es : Bola es dengan diameter 25 mm ditembakkan dengan kecepatan 23 m/detik diarahkan pada 11 tempat yang berbeda.

- o. Lulus Uji Insulasi : Modul tersebut cukup terisolasi dengan baik antara bagian aktif dan bagian yang mudah diakses
- p. Lulus Uji paparan luar ruangan : Modul surya apakah mampu menahan paparan sinar matahari di luar ruangan : Arus kebocoran basah harus memenuhi persyaratan yang sama seperti pengukuran awal.
- q. Lulus uji Hot Spot : Modul surya dapat menahan efek pemanasan hotspot, misal solder mencair atau memburuknya enkapsulasi
- r. Lulus uji kelembaban-pembekuan : modul dapat menahan efek temperatur dan kelembaban tinggi diikuti dengan temperatur di bawah nol.
- s. Lulus uji panas lembab : Modul dapat menahan efek jangka panjang penetrasi kelembaban
- t. Lulus Uji arus bocor basah : isolasi modul di bawah kondisi operasi basah dan kelembaban dari hujan, kabut, embun atau salju cair tidak masuk ke bagian aktif sirkuit modul, yang dapat menyebabkan korosi, kegagalan pentanahan atau bahaya keamanan

2.2. Spesifikasi Ongrid Inverter (Solar Inverter):

- a. Daya output total : minimum daya output total disesuaikan dengan jumlah inverter pada Daftar Kuantitas dan Harga.
- b. Jumlah inverter : menyesuaikan dengan Daftar Kuantitas dan Harga
- c. Tegangan output : 3/N/PE; 230/400VAC, 50Hz, tiga fasa
- d. Gelombang output : sinus murni
- e. Efisiensi : $\geq 96\%$
- f. Sistem proteksi : *over load, short circuits, over temperature, over/under voltage, reverse polarity*
- g. Indikator (LCD display): *inverter voltage & current, inverter frequency, load current & load voltage*
- h. Inverter harus dapat bekerja secara paralel (*parallel operation/stacking*)
- i. Dilengkapi dengan management control untuk mengatur energi yang masuk dan keluar dari inverter.
- j. Dilengkapi dengan fitur data *logger* dan *communication/interface* untuk komunikasi data dengan *Remote Monitoring System*.

- k. Melampirkan salinan sertifikat ISO 9001 dari pabrikan.
- l. Melampirkan Sertifikat atau Hasil Tes Uji Produk (dapat berupa tes uji dari seri produk yang sama) yang dikeluarkan oleh Lembaga Uji Independen Internasional (bukan merupakan uji QA dari produsen). Hasil tes uji ini (*Certificate of Compliance* atau *Certificate of Conformity*) harus mengacu kepada standar uji Internasional IEC 61727: Photovoltaic (PV) Systems-Characteristics of the Utility Interface.
- m. Indeks proteksi: IP65
- n. Garansi produk : minimal 5 (lima) tahun (*factory warranty terms* wajib dilampirkan).

2.3. Spesifikasi Kabel Daya (*Power Cable*), Pentanahan (*Grounding*) Pengkabelan, Pentanahan, dan Manajemen Pengkabelan

- a. Kabel koneksi antar modul surya harus diletakan pada *cable tray/trunk*. *Cable tray/trunk* diletakkan di bawah *PV array* dan menempel (diklem dengan menggunakan material yang kuat dan tahan lama) pada penyangga *PV array*.
- b. Kabel daya dari *combiner box* ke *inverter* (menggunakan kabel NYFGbY/NYRGbY dengan diameter menyesuaikan besar arus (SPLN/SNI).
- c. Kabel daya dari *PV Array* ke inverter harus harus diletakan pada *cable tray/trunk*.
- d. Kabel power dari inverter ke panel distribusi, tipe NYY dengan diameter menyesuaikan arus pada inverter (SPLN/SNI).
- e. Setiap penyambungan kabel harus menggunakan terminal kabel dan konektor (bukan sambungan langsung) yang sesuai yang terisolasi dengan baik.
- f. Material instalasi dan pentanahan (*grounding*) peralatan harus disesuaikan dengan kapasitas pembangkit.
- g. Sistem pembumian dari penyangga *PV array* menggunakan penghantar tipe NYY *yellow green* 35 mm² (SPLN/SNI). Penampang harus tersambung baik secara elektrik pada penyangga *PV array* (menggunakan sepatu kabel dan dibaut).
- h. Resistansi pembumian harus ≤ 5 ohm (SPLN). Untuk memperoleh resistansi yang terendah dapat digunakan beberapa batang (rod) pembumian yang disatukan.

- i. Inter koneksi dari masing-masing PV array dapat dikelompokkan dan ditempatkan pada combiner box dengan *insulation class* IP65. Ukuran *combiner box* disesuaikan sedemikian sehingga operator dapat dengan mudah/leluasa melakukan pengecekan saat pemeliharaan. Kotak kontrol interkoneksi listrik ini juga harus terbuat dari metal tahan karat dengan ketebalan minimal 2 mm atau bahan polimer (melampirkan gambar *combiner box*).
- j. Combiner box dilengkapi minimal dengan *busbar*, *DC Fuse*, *DC circuit breaker*, *surge protector/surge trap*.

2.4. Panel Distribusi (*Distribution Panel*)

Panel distribusi dilengkapi dengan saklar utama/pemisah, pembatas arus *mini circuit breaker (MCB)*, *earth leak circuit breaker (ELCB)*, saklar terminal, *busbar*. Rangka bagian depan, atas, bawah dan bagian belakang tertutup rapat, sehingga petugas pelayanan akan terlindung dari bahaya sentuh bagian-bagian aktif. Panel distribusi dilengkapi dengan ventilasi pada bagian sisi, lubang ventilasi harus dilindungi, agar binatang atau benda-benda kecil serta air yang jatuh tidak mudah masuk kedalamnya.

- a. Kapasitas daya minimum : menyesuaikan dengan daya keluaran
- b. Jumlah feeder minimum : menyesuaikan dengan daya keluaran
- c. Tegangan sistem : 380-400 VAC, tiga fasa
- d. Monitoring : tegangan, arus, frekuensi & kWh Meter.
- e. Sistem Proteksi : dilengkapi dengan *fuse* dan *circuit breaker*, kapasitas menyesuaikan dengan arus.
- f. Panel distribusi dilengkapi dengan sebuah *timer* dan kontaktor yang berfungsi untuk dapat memutus aliran beban pada waktu yang ditentukan.
- g. Panel distribusi terbuat dari bahan metal yang tidak dapat terbakar, tahan lembab dan kokoh dengan ketebalan minimal 2 mm.
- h. Penempatan harus aman dan mudah dimonitor oleh operator.
- i. Melampirkan gambar teknik panel distribusi.
- j. Pada bagian depan panel distribusi dilengkapi lampu indikator.
- k. Pada bagian depan panel distribusi diberi stiker tanda bahaya terhadap sengatan listrik.

2.5. Spesifikasi Penyangga PV Array (PV Array Support)

- a. Penyangga PV Array harus mampu mendukung berat modul surya terpasang, operator pemelihara, serta kuat menahan beban yang diakibatkan oleh terpaan angin.
- b. Penyangga modul surya harus terbuat dari aluminum yang kokoh dan kuat sesuai dengan desain sistem konstruksi PVROOF dari kementerian Pekerjaan Umum.
- c. Klem pengunci modul surya menggunakan sistem konstruksi PVROOF dengan bahan aluminium dengan tebal minimal 1.5 mm yang di pasang menggunakan *roofing* 5 mm x 25 mm pada setiap jarak 200 mm.
- d. Sudut kemiringan (*tilt angle*) mounting disesuaikan dengan kondisi masing-masing atap bangunan dengan *range* sudut berkisar 10° sampai 30° agar diperoleh energi dari penyinaran matahari secara maksimal dan menghindari tampungan air pada sistem atap tersebut.
- e. Modul surya yang disusun pada vertical support PVROOF yang berfungsi untuk menahan dan mengikat modul surya.
- f. PV Array harus tidak ada bayangan (*shading*) yang jatuh pada permukaan PV Array lainnya.
- g. Pada setiap array harus dipasang tanda bahaya terhadap sengatan listrik.
- h. Array harus tersusun rapi pada beberapa baris yang simetris. Jarak antar masing-masing array harus cukup dapat dilewati secara leluasa oleh personil pada saat pemeliharaan.
- i. Melampirkan gambar teknik (mekanik dan sipil) mounting system dan tiang penyangga modul.
- j. Melampirkan layout susunan PV Array.

2.6. Spesifikasi Penangkal Petir

Spesifikasi untuk penangkal petir sebagai berikut :

- a. Menara (Tower) : tree angle, guyed wire
- b. Passive system, connection slave.
- c. Pembedaan penangkap petir harus tersambung secara baik dan dipisah dengan sistem pembedaan PV array.

- d. Resistansi pembumian harus ≤ 5 ohm (SPLN). Untuk memperoleh resistansi yang terendah dapat digunakan beberapa batang (rod) pembumian yang disatukan.
- e. Terdapat sistem pentanahan.
- f. Dilengkapi dengan sistem monitoring data.
- g. Sistem monitoring data diletakkan di dalam box yang spesifikasi teknisnya sesuai dengan combiner box.
- h. Melampirkan gambar :
 - mekanik menara;
 - gambar elektrik sistem penangkal petir;
 - gambar pondasi menara;
- i. Tinggi menara (tower) minimal 17 meter.

Tabel 1. Instrumentasi teknologi PVROOF

Item	Spesifikasi			Informasi
Karakteristik Listri dari Modul PV/ Modul Surya				
Polycrystalline	80 Wp	100 Wp	200 Wp	<ul style="list-style-type: none">• Tersertifikasi Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN)• B2TE• SNI 04-3805.2-1995
Dimensi [mm]	660 x 910	660 x 1125	995 x 1360	
Kapasitas [Puncak Daya]	80	100	200	
Tegangan listrik maks [Vmp]	18.4	18.1	36.4	
Tegangan eksisting maks [Imp]	4.7	6.1	6.2	
Berat [kg]	-	-	13.5	
Berat/luas area [kg/m ²]	-	-	10	
Koefisien temperature dari Pmax	-0.406% /°C			
Koefisien temperatur dari Voc	-0.308% /°C			

Item	Spesifikasi			Informasi
Karakteristik Listri dari Modul PV/ Modul Surya				
Koefisien temperatur dari Isc	+0.057% /°C			
Jumlah bypass diode	2			
Tegangan sistem maks	1000 Vdc			
Rentang suhu operasi	-40 to 85°C			
Efisiensi	≥ 15%			
Monocrystalline	80 Wp	100 Wp	200 Wp	
Dimensi [mm]	770 x 670	1020 x 670	995 x 1360	
Kapasitas [Puncak Daya]	80	100	200	
Tegangan listrik maks [Vmp]	18.5	17.4	35.4	
Tegangan eksisting maks [Imp]	4.33	5.75	5.65	
Berat [kg]	-	-	13.5	
Berat/luas area [kg/m²]	-	-	10	
Koefisien temperature dari Pmax	-0.406% /°C			
Koefisien temperatur dari Voc	-0.308% /°C			
Koefisien temperatur dari Isc	+0.057% /°C			
Jumlah bypass diode	2			
Tegangan sistem maks	1000 Vdc			
Rentang suhu operasi	-40 to 85°C			

Item	Spesifikasi	Informasi
Karakteristik Listrik dari Modul PV/ Modul Surya		
Efisiensi	$\geq 15\%$	
Karakteristik Mekanik Modul PV		
Gaya minimal [N/m ²]	102.577	
Gaya maksimal [N/m ²]	4.28685 e+007	
Tegangan minimal	1.12154 e-009	
Tegangan maksimal	0.0003029	
Mechanical Characteristics of PV Module Support		
Volume	1 unit	
Dimensi [mm]	UNP 10 (100 x 50 x 5)	
Gaya minimal [N/m ²]	0.104646	
Gaya maksimal [N/m ²]	3.66813 e+008	
Tegangan minimal	3.95023 e-012	
Tegangan maksimal	0.00370098	
Material bahan pengunci	Aluminium	
Ketebalan bahan pengunci [mm]	≥ 1.5	
Instalasi	Atap 5mm x 25 mm dipasang pada jarak 200 mm	
Array Junction Box		
Max PV Array Input String	Tergantung kebutuhan pelanggan	
Max. PV Array Voltage [VDC]	400	
Nilai eksisting untuk setiap string	10 A/15 A	
Jenis terminal keluaran	PG21	

Item	Spesifikasi	Informasi
Karakteristik Listrik dari Modul PV/ Modul Surya		
Kabel konektor <i>input</i> tahan air	PG7 (4 mm PV <i>cable</i>)	
Kabel konektor <i>output</i> tahan air	PG21	
Temperatur lingkungan sekitar	-25~+60°C	
Kelembaban lingkungan sekitar	<90% Tdak ada kondensasi	
Grid Inverter		
Maks. Daya DC [W]	Tergantung pada output generator minimum	<ul style="list-style-type: none">• ISO 9001• ISO 14001• OHSAS 18001
Tegangan output [VAC]	220-230	
Frekuensi [Hz]	50	
Efisiensi	≥ 95%	
Suhu lingkungan	-25~+60°C	
Sistem Perlindungan	Beban berlebih, hubung singkat, suhu berlebih, tegangan berlebih/ kurang, polaritas balik, kontrol manajemen	
Indeks Perlindungan	IP65	
Fitur	<i>Data logger</i> , komunikasi / antarmuka, sistem pemantauan jarak jauh	
Indikator	Tegangan dan arus inverter, frekuensi inverter, arus beban, tegangan beban	
Jaminan	≥ 5 tahun	
Distribution Panel AC		
Frekuensi [Hz]	50	<ul style="list-style-type: none">• SNI 04-0225-2000• SNI 0225:2011/Amd 1:2013
Tegangan Sistem [VAC]	220/230, 3 fase	
Maks. Daya DC [W]	Tergantung pada output generator minimum	
Panel Distribusi Bahan	Logam, tahan terhadap kondisi lembab, kokoh, ketebalan minimal 2 [mm]	

Item	Spesifikasi			Informasi
Karakteristik Listri dari Modul PV/ Modul Surya				
Mini Circuit Breaker (MCB)	Ya			
Earth Leak Circuit Breaker (ELCB)	Ya			
Sakelar Terminal	Ya			
Sistem Perlindungan	Fuse, Circuit Breaker			
Fitur	Pemantau tegangan, pemantau kondisi saat ini, pemantau frekuensi dan kWh meter, timer, kontaktor			
Array Wiring Kit				
Volume	1 set			<ul style="list-style-type: none">• SNI 04-0225-2000• SNI 0225:2011/Amd 1:2013• SNI 0225:2011• SPLN
Combiner box - Jenis Kabel Inverter	NYY			
Inverter – Jenis Kabel Panel Distribusi	NYY			
Kabel grounding	NYY kuning hijau 35 mm ²			
Grounding resistance [ohm]	≤ 5			
Ukuran	Depend on current			
Koneksi Antar Kelas Isolasi	IP65			
Grounding System & Lightning Rod				
	Radius perlindungan			<ul style="list-style-type: none">• Standard NF C 17-102 v2011• SNI 0225:2011
Early steamer emission time	D = 20 m	D = 30 m	D = 45 m	
15 [μs]	32 [m]	37 [m]	45 [m]	
30 [μs]	48 [m]	55 [m]	63 [m]	
25 [μs]	63 [m]	71 [m]	81 [m]	
60 [μs]	79 [m]	86 [m]	97 [m]	
Jenis menara	Tree angle, guyed wire			

Item	Spesifikasi	Informasi
Karakteristik Listrik dari Modul PV/ Modul Surya		
<i>Grounding resistance</i> [ohm]	≤ 5	
Tinggi menara [m]	≥ 17	
<i>Lightning counter</i>	Ya	
<i>Material of grounding control tub</i>	Batu, semen	
Fitur	Monitoring data	
Baterai		
Volume	1 unit	<ul style="list-style-type: none">• ISO 9001• ISO 14001• OHSAS 18001
Tipe media	<i>Lead Acid Battery</i>	
Tegangan Nominal	12 VDC	
Kotak Bahan Baterai	ABS Plastik	

Catatan: Produk selain dari tabel ini diperbolehkan selama sesuai dengan SNI dan memenuhi persyaratan TKDN

**TATACARA
PRODUKSI,
PERENCANAAN,
KONSTRUKSI, DAN
OPERASI
PEMELIHARAAN**



3. Tatacara produksi teknologi atap solar PVROOF

- a) Modul surya yang digunakan adalah modul surya yang tersedia dipasaran selama memenuhi persyaratan SNI,
- b) Modul surya tanpa frame dapat diperoleh dari Industri dalam negeri maupun luar negeri,
- c) Modul surya dipasang frame PVROOF yaitu arah lebar bagian atas dipasang frame B, lebar bagian bawah dipasang frame A dan arah panjang modul dipasang frame C
- d) Pemasangan frame harus dibuat presisi sehingga ukuran panel seluruhnya sama.
- e) Frame PVROOF merupakan produksi pabrik pencetakan logam sehingga sebelum dilakukan pemasangan perlu dipotong dengan alat potong portabel dengan presisi tinggi dan kerapihan yang baik.

4. Tatacara perencanaan teknologi atap solar PVROOF

- a) Sebelum merencanakan teknologi atap solar PVROOF harus dipastikan berapa data yaitu: kebutuhan listrik yang diperlukan, luas atap, arah atap, kondisi lingkungan (bangunan sekitar, pepohonan dan potensi gangguan terhadap modul surya), ketersediaan jaringan PLN, dan sistem yang akan dipakai.
- b) Kapasitas listrik yang dihasilkan juga harus direncanakan sehingga menghasilkan listrik optimal terkait dengan aturan-aturan pemanfaatan listrik tenaga surya untuk mengurangi beban tagihan listrik sekaligus mengurangi penggunaan karbon sesuai dengan aturan yang baru Permen ESDM No. 49 Tahun 2018.
- c) Perencanaan kuda-kuda rangka atap harus dilakukan perhitungan dengan benar agar mampu memikul beban atap yang mencapai 13,5 kg/m² dan beban-beban lainnya sesuai dengan peraturan dan standar.
- d) Teknologi atap solar PVROOF supaya bekerja optimal harus ditempatkan pada posisi tertentu seperti hadap utara- selatan, kemiringan tidak lebih dari 15 derajat.

- e) Pemilihan modul yang digunakan disesuaikan dengan efisiensi dan efektifitas cahaya matahari dan luasan atap yang tersedia
- f) Secara umum semakin besar ukuran panel dan ukuran produksi listrik (watt peak) maka semakin mengurangi *loss* energi listrik yang dihasilkan
- g) Perencanaan struktur kuda-kuda atap dan sistem kelistrikan panel surya harus dilakukan oleh orang yang mempunyai kompetensi dibidangnya.
- h) Biaya teknologi atap solar PVROOF dan sistem konstruksi pendukungnya berkisar Rp 2.000.000,- s.d 2.100.000,- per meter persegi teknologi atap solar PVROOF (harga dapat berubah sesuai dengan perkembangan pasar modul surya) diluar sistem kelistrikan, konstruksi, SLO dan biaya lainnya.
- i) Harga tergantung jumlah produksi, harga modul, harga alumunium dan penggunaan bahan alternatif untuk frame.
- j) Perencanaan harus dilakukan meliputi: perhitungan kuda-kuda rangka atap PVROOF, perhitungan sistem listrik tenaga surya, penghitungan komponen kelistrikan yaitu: array wiring, panel array, *control system*, *remot monitoring system*, *lighting protection equipment*, *pyranometer*, panel distribusi, power cable dan *grounding*, *grounding protection kit*, perencanaan penangkal petir, perencanaan pemasangan dan instalasi, mobilisasi, penyimpanan panel, K3, perencanaan jadwal pelaksanaan, dan biaya.
- k) Harga komponen penunjang sangat tergantung pada pihak penyedia/brand yang digunakan yang penting harus sesuai dengan peraturan dan standar yang berlaku.

5. Tatacara konstruksi teknologi atap solar PVROOF

- a) Memasang rangka kuda-kuda dipastikan menumpu dengan baik pada komponen struktur bangunan
- b) Kuda-kuda rangka atap dan gording harus dipastikan rata (tidak bergelombang baik kearah horizontal apalagi arah vertikal), pemasangan panel surya harus *tersupport* secara penuh untuk menghindari beban bertumpu pada salah satu sisi sehingga rawan retak pada kaca temper.
- c) Gunakan peralatan ukur untuk memastikan rangka tempat menumpu profile balok C PVROOF rata

- d) Setelah profile balok C PVROOF terpasang dan rata modul surya PVROOF yaitu modul yang sudah dipasang profile frame A, B dan frame samping dapat dipasang pada profile balok C dengan memperhatikan interlock pada frame panel PVROOF.
- e) Pemasangan panel dilakukan dengan meletakkan sisi profile frame A di bawah dan profile frame B dibagian atas.
- f) Silen/penahan bocor G dipasang arah horizontal antara panel yaitu antara pertemuan profile frame A dan profile frame B.
- g) Silen/penahan bocor H dipasang vertikal antara pertemuan panel samping dengan profile balok C kemudian dipasang profile penutup D kearah vertikal.
- h) Sisi sebelah profile balok C yang tidak terpasang panel PVROOF dipasang profile lispalank sebagai penutup
- i) Untuk atap pelana bagian wuwungan digunakan profile balok E dan profil bubungan F.
- j) Pekerjaan di tempat yang tinggi membutuhkan K3 yang lebih baik karena merupakan area yang berbahaya ditambah apabila cuaca hujan adanya petir sangat membahayakan pekerjaanya. Para pekerja harus dilengkapi dengan K3 dan komitmen dalam penggunaannya harus selalu diawasi oleh supervisor
- k) Tingkat keterampilan dan ketelitian dalam pekerjaan sangat penting karena presisi atau tidaknya sangat menentukan atap tersebut akan tahan bocor, pemasangan karet silen untuk pelindung bocor harus dilakukan oleh tenaga terampil untuk menghasilkan kualitas yang terbaik. Pemilihan tenaga yang telaten dan terampil sangat diperlukan untuk menghasilkan kualitas yang baik dengan jadwal waktu yang sudah ditentukan.

6. Tatacara operasi dan pemeliharaan teknologi atap solar PVROOF



- a) Harus dilakukan pemeriksaan Sertifikat Laik Operasi (SLO), Tes Komisioning untuk memastikan sistem dapat bekerja sesuai dengan yang dilaksanakan, sistem koneksi *on grid* dimana listrik dari panel surya hanya bisa digunakan apabila terdapat *grid* dari PLN membutuhkan koordinasi dengan pihak PLN

- b) Harus terdapat alat K3 untuk pemeliharaan yaitu pembersihan panel surya secara berkala oleh petugas
- c) Penggunaan inverter harus menyesuaikan dengan kapasitas *output* dari modul surya
- d) Pemasangan *wiring* (kabel) harus diperhatikan agar tidak terjadi *loss transmission*.
- e) Harus dilakukan pengecekan secara berkala terkait kinerja listrik (melalui inverter, batre atau meter eksim PLN) maupun aspek kebocoran dari teknologi atap surya PVROOF.
- f) Modul teknologi atap solar PVROOF dibersihkan secara berkala (paling lama 3 bulan satu kali) dengan dibersihkan dari debu dengan cara disiram dan dipel.
- g) Operasi dan pemeliharaan untuk produk penunjang PVROOF dilakukan sesuai dengan petunjuk operasi dan pemeliharaan produk yang dipilih.

HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM

Hasil Pengujian Laboratorium Uji kuat lentur PVROOF

Tabel 1 Hasil pengujian laboratorium uji kuat lentur PVROOF

NO SAMPLER	DIMENSI BENDA UJI		P MAKSIMUM (Kgf)	q (Kg/m ²)	RATA- RATA (Kg/m ²)	STANDAR DEVIASI (%)	 BATAS ATAS	 BATAS BAWAH	STANDAR PEMBEBANAN ATAP SNI 03- 1727-2013 (Kg/m ²)	KETERANGAN
	PANJANG (m)	LEBAR (m)								
1	1.33	0.98	139	106.6	113.5	6.3	119.8	107.2	101.97	TANPA PROFIL
2	1.33	0.98	150	115.1						
3	1.33	0.98	155	118.9						
4	1.385	0.98	371	269.8	220.3	43.3	263.6	177	101.97	MEMAKAI PROFIL
5	1.385	0.98	277	201.4						
6	1.385	0.98	261	189.7						

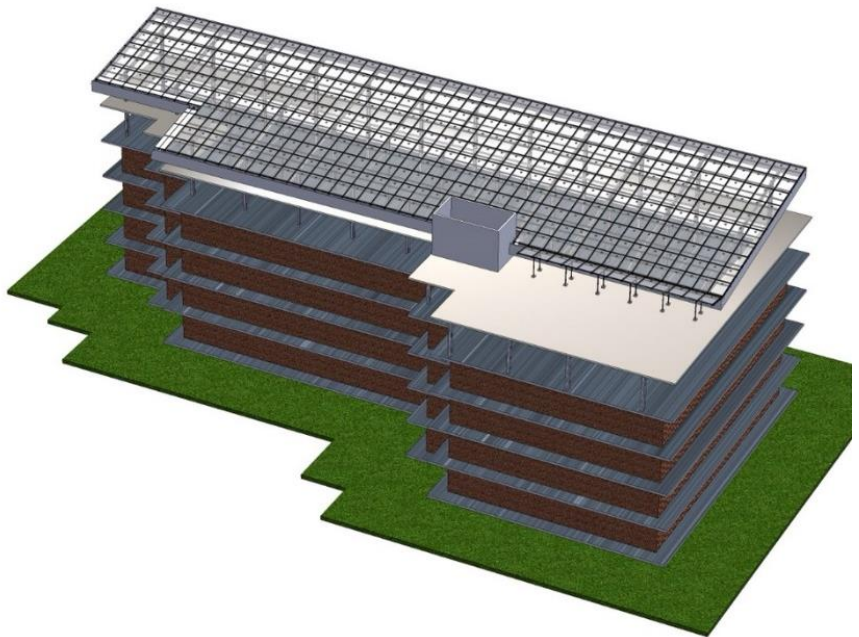
PENERAPAN TEKNOLOGI ATAP SOLAR PVROOF

5. Penerapan teknologi atap solar PVROOF

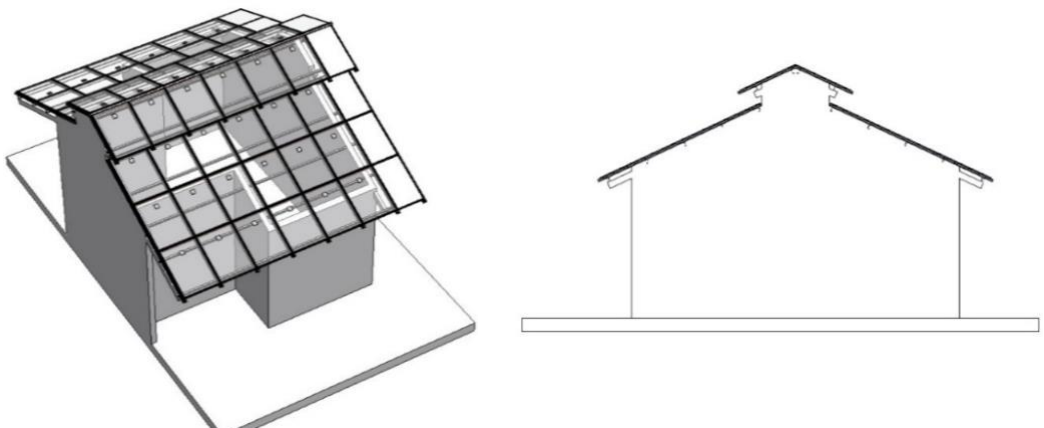
Teknologi PVROOF telah diterapkan di beberapa lokasi diantaranya di laboratorium, gedung menteri kantor kementerian PUPR, gedung parkir kompleks kantor Kementerian PUPR, dan sebagainya. Berikut merupakan contoh gambar desain penerapan PVROOF pada hunian, parkir, dan laboratorium.



Gambar 1. Aplikasi PVROOF pada bangunan rumah di laboaratorium kawasan dan hunian rendah energi



Gambar 2. Penerapan Teknologi Atap Solar di Gedung Parkir Motor Komplek
Kementerian PUPR Jalan Pattimura Jakarta



Gambar 3. Desain Implementasi PVROOF pada Hunian



Gambar 4. Desain Implementasi PVROOF pada Area Parkir