



Jurnal SPEKTRUM

p-ISSN: 2302-3163 e-ISSN: 2684-9186 Vol. 7, No. 2 (2020)



UNIVERSITAS UDAYANA

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Udayana



Editorial Board

Jurnal SPEKTRUM

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

Dr. Nyoman Gunantara, ST., MT. (Unud, Indonesia) (Scopus ID: 55672988900)

Co-Editor

I G A P Raka Agung, ST., MT. (Unud, Indonesia) (SINTA ID : 6201965)

Editor

Prof. Ir. Rukmi Sari Hartati, MT., Ph.D (Unud, Indonesia) (Scopus ID: 6508088351)

Dr. Ir. Made sudarma, MA.Sc. (Unud, Indonesia) (Scopus ID: 6506568234)

I G A K Diafari Djuni Hartawan, ST., MT. (Unud, Indonesia) (SINTA ID : 5980093)

Yoga Divayana, Ph.D. (Unud, Indonesia) (Scopus ID: 8979718500)

Full Issue

Formulir

Cover

Articles

PROTOTIPE MONITORING SUHU RUANGAN DAN DETEKTOR GAS BOCOR BERBASIS APLIKASI BLYNK

Gede Sastra Utara, N.M.A.E.D. Wirastuti, Widyadi Setiawan
1-7

PDF

DOI : <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i02.p1>

Abstract views: 22, PDF downloads: 31

KARAKTERISTIK KINERJA TURBIN NEST-LIE PADA PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO

I Nyoman Wira Mastika, Lie Jasa, Ida Bagus Gede Manuaba
8-15

PDF

DOI : <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i02.p2>

Abstract views: 21, PDF downloads: 28

SIMULASI PENYESUAIAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DI GARDU INDUK NUSA DUA

I Made Eko Adi Setiawan, I Wayan Rinas, I Wayan Arta Wijaya
16-21

PDF

DOI : <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i02.p3>

Abstract views: 10, PDF downloads: 28

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KETINGGIAN SAMPAH DAN TINGKAT GAS METANA PADA BAK SAMPAH BERBASIS IoT

I Made Mudiarta, I Gusti Ngurah Janardana, I Wayan Arta Wijaya
22-28

PDF

DOI : <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i02.p4>

Abstract views: 21, PDF downloads: 30

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING NILAI pH DAN KADAR KEKERUHAN AIR PADA KOLAM TERNAK KODOK LEMBU BERBASIS IoT

Ketut Dharma Yasa, I Gusti Ngurah Janardana, I Nyoman Budiastira
29-35

PDF

DOI : <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i02.p5>
Abstract views: 50, PDF downloads: 42

PERBANDINGAN ALOKASI PENEMPATAN FILTER AKTIF DAN FILTER PASIF UNTUK MENDAPATKAN DISTORSI DAYA TERKECIL PADA JARINGAN DISTRIBUSI DI BLUE POINT BAY

Auryn Herman Gautama, Antonius Ibi Weking, I Wayan Rinas
36-45

PDF

DOI : <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i02.p6>
Abstract views: 7, PDF downloads: 22

PERANCANGAN SISTEM POMPA AIR DC DENGAN PLTS 20 kWp TIANYAR TENGAH SEBAGAI SUPLAI DAYA UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN AIR MASYARAKAT BANJAR BUKIT LAMBUH

Kadek Bayu Kusuma, Cok Gede Indra Partha, I Wayan Sukerayasa
46-56

PDF

DOI : <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i02.p7>
Abstract views: 24, PDF downloads: 29

RANCANG BANGUN 3D PRINTER CORE XY MENGGUNAKAN RAMP 1.4 BERBASIS ATMEGA 2560

I Nyoman Budiastira, I Gede Feryanda Frasiska
57-61

PDF

DOI : <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i02.p8>
Abstract views: 6, PDF downloads: 4

GRID TIE INVERTER UNTUK PLTS ATAP DI INDONESIA: REVIEW STANDAR DAN INVERTER YANG COMPLIANCE DI PASAR DOMESTIK

P.G.G. Priajana, I.N.S. Kumara, I.N. Setiawan
62-72

PDF

DOI : <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i02.p9>
Abstract views: 7, PDF downloads: 10

KONSERVASI ENERGI PADA GEDUNG KANTOR SEKRETARIAT DAERAH KOTA DENPASAR

Gde Wikan Pradnya Dana, I Gede Dyana Arjana, Cok Gede Indra Partha
73-80

PDF

DOI : <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i02.p10>
Abstract views: 24, PDF downloads: 6

IMPLEMENTASI SISTEM PEMANTAUAN JARINGAN MENGGUNAKAN LIBRENMS PADA JARINGAN KAMPUS UNIVERSITAS UDAYANA

I Wayan Krisna Saputra, Dewa Made Wiharta, Nyoman Putra Sastra
81-89

PDF

DOI : <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i02.p11>

Abstract views: 27, PDF downloads: 15

DESAIN PLTS ATAP KAMPUS UNIVERSITAS UDAYANA: GEDUNG REKTORAT

Bagas Maruli Pangaribuan, Ida Ayu Dwi Giriantari, I Wayan Sukerayasa
90-100

PDF

DOI : <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i02.p12>

Abstract views: 9, PDF downloads: 15

PERANCANGAN SISTEM PENGAMAN BUSBAR 150 KV MENGGUNAKAN RELE DIFERENSIAL DI GARDU INDUK SANUR

Ahmad Fauzi, Gede Dyana Arjana, Cok Gede Indra Partha
101-108

PDF

DOI : <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2020.v07.i02.p13>

Abstract views: 18, PDF downloads: 16

GRID TIE INVERTER UNTUK PLTS ATAP DI INDONESIA: REVIEW STANDAR DAN INVERTER YANG COMPLIANCE DI PASAR DOMESTIK

P.G.G.Priajana¹, I.N.S. Kumara², I.N. Setiawan³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana

Jalan Kampus Unud Bukit Jimbaran, Bali, Indonesia 80361

Corresponding Author Email: gaura@student.unud.ac.id¹

Abstrak

Pemerintah Indonesia memulai gerakan sejuta surya atap untuk mempercepat tercapainya target energi terbarukan Indonesia di tahun 2025. Dengan Permen ESDM 49/2018, pelanggan dapat memasang PLTS *grid tie* dan mengeksport kelebihan energi ke PLN. Inverter merupakan komponen yang kompleks dan vital terhadap unjuk kerja PLTS *grid tie* oleh karena itu inverter yang digunakan harus memenuhi standar yang berlaku. Artikel ini meninjau ketersediaan inverter untuk PLTS atap yang ada di Indonesia. Tujuan artikel ini adalah untuk mengetahui ketersediaan inverter dan bagaimana inverter-inverter tersebut dilihat dari standar yang berlaku. Dari penelitian ini dihasilkan basis data inverter yang terdiri dari 513 model inverter. Basis data inverter ini kemudian dianalisis dilihat dari status manufaktur, kapasitas daya keluaran, THD keluaran, efisiensi, dan harga. Informasi ini sangat penting dalam memilih inverter yang berkualitas sehingga PLTS atap yang dibangun dapat bekerja secara efektif dan berkelanjutan. Sekarang ini telah tersedia beragam inverter berkapasitas 0,5 kW - 10 kW yang sesuai untuk PLTS atap. Sudah banyak inverter dengan keluaran THD <3% yang memenuhi standar di Indonesia tetapi masih banyak juga inverter yang belum tercantum THD-nya. Efisiensi inverter sudah diatas 95% dan tersedia harga rata-rata Rp3,435,380/kW. Daftar model inverter yang memenuhi standar dan sertifikasi disajikan dalam tabel sebagai luaran penelitian ini.

Kata Kunci : PLTS atap, Inverter, *Grid Tie*, *Grid-connected*

Abstract

The Government started a million solar rooftop movement to help accelerate Indonesia's renewable energy target in 2025. In effect of ministerial regulation 49/2018, household customers are able to install grid tie photovoltaic and export excess energy to PLN. Inverter is a complex and a vital component to the performance of grid tie photovoltaic systems, therefore inverter used must follow applicable standard. This article reviews the availability of inverters for solar rooftop in Indonesia. The purpose of this article is to know the availability of inverter and how they are seen from applicable standard. From this research produced inverter database consisted of 513 inverter models. Inverter database then analyzed seen from its manufacturing status, inverter power output capacity, THD output, efficiency, and price. This information is crucial in choosing quality inverter so rooftop photovoltaic would work effectively and sustainably. Presently various inverters with capacity 0,5 kW - 10 kW already available which is suitable for solar rooftop application. There are already plenty inverters with THD output <3% that conform with Indonesia's standard but many also still have not listed their THD output. Inverter efficiency is already >95% and available with an average price of Rp3,435,380/kW. List of inverter models that conform standard and certification presented in a table which served as output of this research.

Keywords : Solar Rooftop, Inverters, Grid Tie, Grid-connected

I. PENDAHULUAN

Perubahan iklim mendorong berbagai negara dan Indonesia salah satunya untuk menekan emisi karbon dioksida dan mencari sumber energi dengan emisi karbon dioksida yang lebih rendah. Energi surya merupakan salah satu sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Indonesia dengan letak geografisnya yang dekat dengan khatulistiwa membuat Indonesia memiliki iklim tropis yang kaya akan sinar matahari. Potensi energi surya di Indonesia mencapai 207 GWp [1].

Bidang energi di Indonesia diatur dalam dokumen Kebijakan Energi Nasional (KEN) sebagai pedoman dengan arah untuk mencapai kemandirian dan ketahanan energi guna mendukung pembangunan nasional. Salah satu target dalam KEN ialah bauran Energi Baru Terbarukan (EBT) nasional paling sedikit sebesar 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 dari total konsumsi energi nasional. Bauran energi terbarukan Indonesia pada tahun 2018 masih tergolong rendah yakni tercatat sebesar 14% [2] mengingat untuk mencapai target Indonesia dalam tujuh tahun kedepan bukanlah hal yang mudah. Tiga elemen utama yang menjadi kendala dalam pengembangan energi terbarukan menurut Kementerian ESDM adalah (1) teknologi, (2) pendanaan, (3) regulasi pemerintah. Sebagai upaya meningkatkan pemberdayaan sumber EBT, pemerintah melalui KESDM telah meluncurkan berbagai program untuk mendukung tercapainya target bauran EBT Indonesia 23% tahun 2025 salah satunya adalah program Gerakan Nasional Sejuta Surya Atap Menuju Gigawatt [3]. Program ini menargetkan pelanggan rumah tangga untuk memasang PLTS di atap rumahnya. Pelaksanaan program ini telah didukung landasan hukum yakni Permen ESDM nomor 49 tahun 2018 yang mengatur tentang pemasangan PLTS atap untuk konsumen PLN. Permen ini mengatur bahwa pelanggan PLN dapat memasang PLTS atap di rumahnya dan menghubungkan PLTS ini dengan jaringan PLN melalui alat ukur net metering. Artinya bahwa pelanggan PLN bisa mengeksport energi ke jaringan PLN. Syarat dan ketentuan penyambungan inilah yang diatur dalam Permen 49/2018.

Salah satu poin yang diatur dalam Permen ESDM nomor 49 adalah pemasangan

kapasitas PLTS didasarkan pada kapasitas inverter. Dalam sebuah PLTS, inverter merupakan salah satu komponen utama yang berfungsi untuk mengubah arus DC keluaran modul surya menjadi arus AC untuk penggunaan pada peralatan listrik AC atau penghubungan dengan jaringan listrik PLN. Inverter merupakan peralatan elektronika daya yang kompleks yang umumnya dalam satu inverter terdapat berbagai fitur tambahan dan proteksi sedangkan inverter dituntut untuk bekerja secara terus menerus sehingga inverter yang dipakai harus memiliki reliabilitas tinggi dan *down time* yang rendah.

Demi menjaga mutu inverter yang beredar, PLN sudah menetapkan berbagai standar untuk inverter yang terpasang pada sistem PLTS *on-grid*. Namun, ketersediaan produk inverter yang beredar di pasaran sangat beragam dan mengalami peningkatan. Keragamannya mencakup fitur dan sistem proteksi, efisiensi, kualitas daya atau harmonisa, sistem pendingin, *user interface*, ukuran dan desain selubung, harga yang ditawarkan, dan juga status pabrikasi baik buatan dalam negeri atau impor serta standar yang dipakai oleh inverter-inverter tersebut.

Artikel ini mencoba meninjau ketersediaan inverter di Indonesia untuk mendukung rencana nasional untuk meningkatkan kapasitas PLTS atap. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi ketersediaan dan keragaman inverter yang beredar di Indonesia. *Database* inverter ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang ketersediaan inverter dan spesifikasinya untuk membantu pemangku kepentingan termasuk masyarakat dalam memahami perkembangan inverter yang tersedia dan menjadi informasi bagi penelitian bidang inverter di dalam negeri untuk mengembangkan inverter yang sesuai dengan kebutuhan nasional sebagai suatu negara yang berada di wilayah tropis.

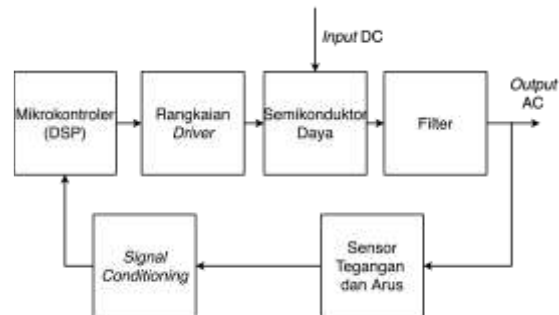
II. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

Pembangkit listrik tenaga surya atau PLTS merupakan sebuah sistem surya fotovoltaik yang dapat mengubah sinar matahari menjadi listrik. Komponen utama dari PLTS adalah modul PV dan segala peralatan pendukung yang disebut *Balance of System (BOS)* seperti kontroler, baterai, inverter, dan kabel [4].

Modul PV merupakan komponen yang mengubah sinar matahari menjadi energi listrik pada PLTS. Modul PV tersusun atas banyak sel surya yang dihubungkan seri. Banyaknya sel surya dalam suatu modul menentukan karakteristik keluaran modul seperti besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan. Hal-hal yang menentukan besarnya keluaran energi modul dilihat dari faktor internal antara lain: banyak modul, orientasi modul, teknologi sel surya digunakan, usia modul. Dilihat dari faktor eksternal antara lain: iradiasi matahari yang bergantung pada letak geografis, musim, dan keberadaan awan, kebersihan modul, suhu kerja modul [4].

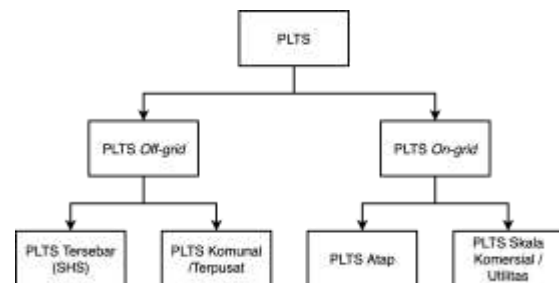
Charger Controller berfungsi untuk mengontrol arus yang masuk dan keluar dari baterai, mengamankan baterai dari *overcharging* dan *over discharge* yang dapat membuat umur baterai lebih pendek. Baterai merupakan media untuk menyimpan energi listrik. Baterai yang digunakan pada PLTS berjenis baterai *deep cycle* yang dapat menghasilkan arus yang stabil dalam waktu lama. Salah satu jenis baterai yang umum digunakan pada PLTS adalah baterai *lead acid*. Inverter merupakan alat elektronika yang mengubah arus searah/DC menjadi arus bolak-balik/AC. Inverter diperlukan pada PLTS karena arus yang dihasilkan modul adalah DC sedangkan arus yang dipergunakan pada peralatan listrik dan jaringan listrik pada umumnya adalah AC [4].

Komponen penyusun inverter pada umumnya ditunjukkan pada blok diagram Gambar 1. Masukan DC dari PV dikonversi menjadi AC menggunakan semikonduktor daya. Keluaran AC yang dihasilkan akan disaring melalui rangkaian filter sebelum disalurkan ke beban. Sinyal keluaran dari filter akan dipergunakan sebagai acuan untuk *feedback loop* dan akan diukur nilainya melalui sensor. Sinyal hasil pengukuran sensor sebelum disalurkan ke mikrokontroler akan disesuaikan bentuk dan nilainya melalui proses *signal conditioning*. mikrokontroler kemudian akan melakukan pengaturan yang diperlukan pada semikonduktor daya melalui rangkaian driver sesuai program yang telah ditentukan sebelumnya. Dikarenakan inverter memerlukan berbagai komponen bekerja dengan baik, inverter tergolong sebagai alat yang kompleks [13], [14], [15], [16].



Gambar 1. Blok diagram sistem inverter, diadopsi dari Zhong, 2013

Dilihat dari bentuk gelombang keluarannya inverter terbagi menjadi tiga jenis yakni: 1). Inverter *square wave*, merupakan inverter dengan gelombang keluaran berbentuk kotak. Bentuk gelombang ini tidak ideal dan dapat merusak peralatan listrik. 2). Inverter *modified sine wave*, merupakan inverter dengan gelombang keluaran mendekati gelombang sinusoida. Bentuk gelombang ini tidak dapat digunakan pada alat elektronik yang sensitif 3). Inverter *pure sine wave*, merupakan inverter dengan gelombang keluaran sinusoida murni. Kemurnian gelombang terukur dalam persentase *Total Harmonic Distortion* (THD). Semakin kecil persentase THD inverter semakin baik [4].

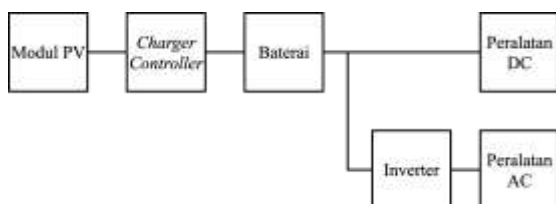


Gambar 2. Pengelempokan PLTS

Sistem PLTS dapat dikelompokkan dua yakni PLTS *off-grid* dan PLTS *on-grid*. PLTS *off-grid* terbagi atas PLTS tersebar (SHS) dan PLTS komunal / terpusat. PLTS *on-grid* terbagi atas PLTS atap dan PLTS skala komersial/utilitas. Dilihat dari kapasitas PLTS, PLTS tersebar dan PLTS atap memiliki kapasitas kecil yang hanya mampu memenuhi kebutuhan listrik satu rumah tangga sedangkan PLTS komunal dan PLTS skala komersial memiliki kapasitas besar yang mampu memenuhi kebutuhan listrik beberapa rumah pelanggan [18].

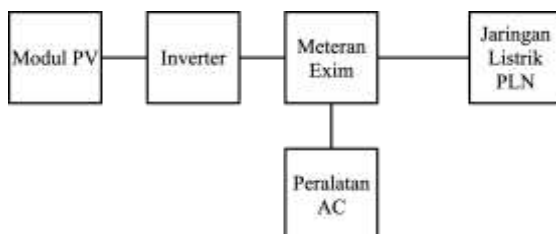
PLTS *off-grid* dapat berfungsi walaupun tidak tersambung dengan *grid* atau jaringan listrik. Pada sistem *off-grid* terdapat baterai yang digunakan untuk menyimpan

energi listrik yang dihasilkan siang hari untuk penggunaan pada malam hari. Gambar 3 menunjukkan rangkaian plts *off-grid*.



Gambar 3. Rangkaian PLTS *off-grid*, diadopsi dari Mertens, 2014

PLTS *on-grid* tidak menggunakan baterai tetapi menggunakan *grid* sebagai media penyimpanan energinya. Pada PLTS *on-grid* terdapat meteran *export-import* (EXIM) yang akan mencatat besar energi yang disimpan ke jaringan listrik PLN yang nanti jumlahnya akan dikalkulasikan pada akhir bulan untuk mengurangi biaya listrik pelanggan sesuai kebijakan penyedia listrik setempat. salah satu karakteristik pada PLTS *on-grid* adalah fitur *anti islanding* yang terpasang pada inverter yang membuat PLTS tidak akan menghasilkan listrik bila jaringan listrik padam. Gambar 4 menunjukkan rangkaian plts *on-grid*.



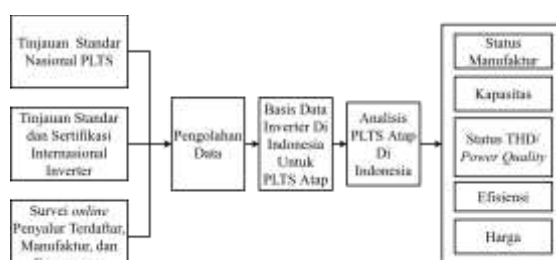
Gambar 4. Rangkaian PLTS *on-grid*, diadopsi dari Mertens, 2014

III. BAHAN DAN METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur survei *online*. Skematik metodologi penelitian ditunjukkan pada Gambar 5. Tahap pertama adalah melakukan tinjauan terhadap standar nasional terkait PLTS khususnya melihat SNI apa saja yang sudah ditetapkan untuk mendukung perkembangan PLTS di Indonesia. Tahap kedua adalah melakukan tinjauan terhadap standar dan sertifikasi internasional yang umum digunakan pabrikan inverter. Tahap ketiga adalah melakukan survei *online* model-model inverter yang tersedia di pasar Indonesia. Data hasil tinjauan kemudian dikelompokkan dalam tabel

berdasarkan kriteria status manufaktur, kapasitas daya keluaran, THD keluaran, efisiensi, dan harga. Data inverter ini lalu digunakan untuk membangun basis data inverter yang sesuai untuk mendukung PLTS atap di Indonesia.

Parameter setiap inverter dimasukan dalam basis data inverter yang telah disusun kemudian dibandingkan dengan persyaratan yang disebutkan dalam standar-standar inverter yang berlaku seperti SNI, SPLN, IEC, UL, dan sertifikasi CE. Setelah itu disusun tabel yang berisikan inverter yang memenuhi persyaratan untuk digunakan dalam PLTS atap.



Gambar 5. Skematik Metodologi Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini melakukan identifikasi terkait standar PLTS dan komponennya serta ketersediaan inverter untuk PLTS atap di Indonesia. Dari survei on-line diperoleh 513 model inverter yang tersedia di pasar Indonesia dan tentunya bisa menjadi petunjuk penting tentang kondisi riil teknologi inverter yang digunakan selama ini di Indonesia. Hasil survei dan pembahasannya disajikan pada sub bagian di bawah.

A. Standar PLTS

Tabel 1. SNI Terkait PLTS

Standar	Tentang
SNI IEC 62116:2014	Inverter fotovoltaik terhubung jaringan listrik – Prosedur uji pencegahan <i>islanding</i>
SNI 8395:2017	Panduan studi kelayakan pembangunan PLTS fotovoltaik
SNI IEC 62446-1:2016	Sistem fotovoltaik (FV) – Persyaratan untuk pengujian, dokumentasi dan pemeliharaan
SNI IEC 61215-1:2016	Modul fotovoltaik (FV) terrestrial – Kualifikasi

	desain dan pengesahan jenis – Bagian 1: Persyaratan uji
SNI IEC 61215-1-1:2016	Persyaratan khusus untuk pengujian modul fotovoltaik (FV) silikon kristalin
SNI IEC 61215-2:2016	Modul fotovoltaik (FV) terestrial - Kualifikasi desain dan pengesahan jenis - Bagian 2
SNI IEC 61730-2:2016	Kualifikasi keamanan modul fotovoltaik (FV) – Bagian 2
SNI IEC/TS 61836:2018	Sistem energi fotovoltaik surya – Istilah, definisi dan simbol
SNI IEC 61730-2:2016	Kualifikasi keselamatan modul fotovoltaik (FV) “ Bagian 2: Persyaratan pengujian
SNI IEC 61730-1:2016	Kualifikasi keselamatan modul fotovoltaik (FV) “ Bagian 1: Persyaratan konstruksi

Suatu inverter harus memenuhi standar tertentu sehingga kualitas perangkat dan unjuk kerjanya terjamin. Di Indonesia standar inverter untuk PLTS telah ditetapkan Badan Standardisasi Nasional (BSN) dalam bentuk Standar Nasional Indonesia (SNI) dan PT. PLN dalam bentuk Standar PLN (SPLN). SNI terkait PLTS yang dikeluarkan BSN ditunjukkan pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa Indonesia sudah memiliki berbagai standar yang disesuaikan dengan standar internasional untuk mendukung perkembangan PLTS di tanah air.

PLN sebagai perusahaan milik negara yang bertanggung jawab terhadap pendistribusian dan penjualan tenaga listrik juga telah mengeluarkan beberapa standar terkait PLTS *on-grid*. SPLN terkait PLTS yang dikeluarkan PLN ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. SPLN Terkait PLTS

Standar	Tentang
D3.022-2: 2012	Inverter untuk PLTS Persyaratan Umum dan Metode Uji
D5.005-1: 2015	Persyaratan Teknis Interkoneksi Sistem Fotovoltaik (PV) Pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah
SPLN D6.001: 2012	Persyaratan Minimum Uji Komisioning Dan Inspeksi PLTS

Berdasarkan SPLN D3.022-2: 2012, inverter untuk PLTS *Stand alone* ataupun *grid-connected* harus memenuhi kriteria berikut [5]:

1. PLTS *On Grid* menggunakan inverter jenis *on grid inverter*;
2. PLTS *Off Grid* menggunakan inverter jenis *off grid/bi-directional*;
3. PLTS *hibrid* menggunakan inverter jenis *bi-directional* atau dikombinasikan dengan *on grid directional inverter*;
4. Tegangan keluaran inverter harus memiliki kualitas gelombang dengan THD maksimum 3%. THD arus untuk *grid connected* adalah 5%;
5. Memiliki sistem pengaturan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan metode *Pulse Width Modulation* (PWM);
6. Mampu bekerja pada suhu lingkungan sampai dengan 45°C;
7. Arus hubung singkat 3 kali arus nominal;
8. Efisiensi >90% pada beban penuh;
9. Mempunyai fitur PQ mode atau kontrol daya konstan untuk *grid connected* dan PV mode untuk *stand alone*.

Disamping itu, berdasarkan SPLN D3.022-2: 2012 inverter PLTS juga harus memiliki proteksi berikut:

1. *Over/Under Frequency*, inverter harus mampu menjaga frekuensi keluaran sesuai rentang frekuensi yang diperbolehkan. di Indonesia rentang frekuensi dijaga pada 50±0,2 Hz kecuali pada periode transien singkat diizinkan 50±0,5 Hz [7], [8], [9], [10].
2. *Over/Under Voltage*, inverter harus mampu menjaga tegangan keluaran sesuai rentang yang diperbolehkan. di Indonesia rentang tegangan yang diperbolehkan adalah 230 Volt -10%, +5% [11].
3. *Over Heat Protection*, inverter harus mampu menghentikan aliran daya bila terdeteksi panas berlebih [5]. Panas berlebih dapat mempengaruhi reliabilitas dari inverter [12].
4. *Surge Dissipation*, inverter harus mampu memotong tegangan lebih akibat sambaran/induksi petir [5].
5. Proteksi Arus Lebih, inverter harus dilengkapi pengaman arus lebih berupa MCCB atau fuse [5].
6. *DC Ground Fault Detector/Interrupter* (GFDI), inverter harus mampu memutus arus bila terdeteksi adanya gangguan ke tanah / *Ground fault* [5].

Selain itu, dari sisi operasi inverter harus memiliki fitur *anti-islanding operation*

yakni perlindungan dari operasi berlanjut disaat jaringan listrik padam, *automatic restart operation* yakni fitur yang memungkinkan inverter melakukan *restart* otomatis bila terjadi gangguan, dan *drooping function* yakni fitur yang memungkinkan inverter bekerja paralel dengan sumber daya lain [5].

Selain standar nasional terdapat pula standar dan sertifikasi internasional yang digunakan pada inverter yang dimanufaktur di luar negeri. Tabel 3 menunjukkan standar dan sertifikasi internasional yang berlaku.

Sertifikasi-sertifikasi tersebut dikeluarkan oleh lembaga internasional seperti *Underwriters Laboratories (UL)*, *Comité Européen de Normalisation Électrotechnique (CENELEC)*, dan Komisi Eropa. Produk-produk inverter harus memenuhi sertifikasi tertentu agar dapat beredar di wilayah/negara tertentu. Standar-standar internasional inverter dikeluarkan juga oleh lembaga-lembaga internasional seperti *International Electrotechnical Commission (IEC)* dan *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*.

Dari survei yang telah dilakukan didapatkan bahwa ketersediaan standar inverter untuk PLTS sudah ada walaupun tentu saja akan ada standar baru di kemudian hari sesuai dengan perkembangan bidang ini di masa depan. Hal ini tentu sangat positif dalam mendukung percepatan pemanfaatan PLTS di tanah air.

B. Status Manufaktur Inverter PLTS Atap

Berdasarkan survei yang dilakukan dari bulan september 2019 hingga april 2020 didapat sebanyak 513 model inverter dari berbagai pabrikan. Inverter yang disurvei berukuran 0.5 kW hingga 10 kW baik yang sudah berstandar maupun yang belum berstandar. Kriteria penilaian berstandar atau belum dilihat dari apakah pabrikan inverter sudah merujuk ke standar/label/sertifikasi nasional atau internasional tertentu. Apabila *datasheet* dari pabrikan tidak lengkap atau informasi teknis produk sulit ditemukan maka produk digolongkan belum berstandar atau belum tersertifikasi. Tabel 4 menunjukkan daftar pabrikan dengan inverter sudah berstandar/bersertifikasi. Tabel 5 berisi daftar model untuk inverter yang sudah berstandar

Tabel 3. Standar dan Sertifikasi internasional yang digunakan pada inverter

Standar	Tentang
CE Mark	Sertifikasi produk sesuai standar kesehatan dan keamanan eropa
IEC 60068-(1, 2-14,2-30)	Uji kerja peralatan listrik pada kondisi tertentu . (1)Petunjuk umum; (2-14)Perubahan temperatur;(2-30)Kelembaban.
IEC 60255	Persyaratan umum relai pengukuran dan relai proteksi
IEC 60259	Tingkat perlindungan oleh penutup (kode IP)
IEC 61683:1999	Sistem fotovoltaik - Pengkondisian Daya - Prosedur pengukuran efisiensi
IEC 61727:2004	Sistem fotovoltaik (PV) - Karakteristik antarmuka jaringan listrik
IEC 62109-1:2010	Keamanan konverter daya untuk penggunaan pada sistem tenaga fotovoltaik - Bagian 1: Persyaratan umum
IEC 62109-2:2011	Keamanan konverter daya untuk penggunaan pada sistem tenaga fotovoltaik - Bagian 2: Persyaratan khusus untuk inverter
IEC 62116:2014	Inverter fotovoltaik ter-interkoneksi jaringan listrik- Prosedur uji langkah pencegahan <i>islanding</i>
RoHS	Sertifikasi produk elektronik tidak mengandung bahan berbahaya sesuai standar eropa
UL 1741	Sertifikasi inverter, konverter, kontroler dan sistem peralatan interkoneksi untuk penggunaan pada distribusi sumber daya energi

Tabel 4 Inverter Di Indonesia Yang Telah Berstandar/Tersertifikasi

Merek	Negara asal	Standar/Sertifikasi
ABB	Switzerland	IEC, EN, VDE, UTE, NRS, RD, UNE, G98, G99
Growatt	Cina	IEC, CE, VDE, G83, AS, EN, CQC, UTE
Must	Cina	IEC, CE
Pascal	Indonesia	IEC, EN, VDE, G83/2, AS, C10/11, CQC
Schneider	Perancis	IEC, EN, AS, UL, CSA
SMA	Jerman	IEC, EN, CE, AS, RD, UTE, VDE, CEI
SOFARSOLAR	Cina	IEC, EN, AS, VDE, CE, G83/69, RD, C10/11
SOLAXPOWER	Cina	IEC, EN, AS, VDE, CE
Solis	Cina	IEC, EN, VDE, UTE, NRS, RD, UNE, G98, G99
SUOER	Cina	ISO, CTA, CE

Pabrikan inverter yang belum mencantumkan standar dan atau sertifikasinya tetapi produknya tersedia di Indonesia diantaranya adalah Usat, Kewo, Mitsuyama, Sunpro, SQSENPOWER, Visero, Hanaya, Luminous, Kenika, Genius, Linkchamp, Kaller, AIMPS, dan Victron Energy.

Pabrikan inverter PLTS nasional sudah cukup baik dimana terdapat beberapa pabrikan diantaranya Kenika, Luminous, Pascal akan tetapi tidak semua produknya berstandar/tersertifikasi. Namun, sebagian besar inverter yang beredar di Indonesia masih didatangkan dari luar negeri.

Tabel 5. Daftar grid-tie inverter di pasar Indonesia 2020

Merek	Kode Produk	Vin (V)	Vout (V)	P(W)
SUOER	SFA-1000A	12	220	500
SUOER	SFA-1000B	24	220	500
SUOER	SDA-500A	12	220	500
SUOER	SDA-500B	24	220	500
SUOER	SDA-600A	12	220	600
SUOER	SDA-600B	24	220	600
SUOER	SDA-800A	12	220	800
SUOER	SDA-800B	24	220	800
SUOER	SDA-1000A	12	220	1000
SUOER	SDA-1000B	24	220	1000
SUOER	FPC-1000A	12	220	1000
SUOER	FPC-1000B	24	220	1000

Merek	Kode Produk	Vin (V)	Vout (V)	P(W)
SUOER	FPC-1000F	48	220	1000
SUOER	FPC-1200A	12	220	1200
SUOER	FPC-2000A	12	220	2000
SUOER	FPC-2000B	24	220	2000
SUOER	FPC-2000F	48	220	2000
SUOER	FPC-2500A	12	220	2500
SUOER	FPC-2500B	24	220	2500
SUOER	FPC-3000A	12	220	3000
SUOER	FPC-3000B	24	220	3000
SUOER	FPC-3000F	48	220	3000
SUOER	FPC-H1000A	12	220	1000
SUOER	FPC-H1000B	24	220	1000
SUOER	FPC-H1500A	12	220	1500
SUOER	FPC-H1500B	24	220	1500
SUOER	FPC-D1000A	12	220	1000
SUOER	FPC-D1000B	24	220	1000
SUOER	FPC-D1500A	24	220	1500
SUOER	FPC-D1500B	24	220	1500
SUOER	FPC-D4000B	24	220	4000
SUOER	FPC-D5000B	24	220	5000
SUOER	FPC-D6000B	24	220	6000
SUOER	FPC-D4000F	48	220	4000
SUOER	FPC-D5000F	48	220	5000
SUOER	FPC-D6000F	48	220	6000
SUOER	GTI-D1000B		220	1000
SUOER	GTI-D600B		220	600
SUOER	GTI-H1000B		220	1000
SUOER	GTI-H600B		220	600
SUOER	HAA-1000A	12	220	1000
SUOER	HAA-1000B	24	220	1000
SUOER	HAA-2000A	12	220	2000
SUOER	HAA-2000B	24	220	2000
SUOER	HAA-3000A	12	220	3000
SUOER	HAA-3000B	24	220	3000
SUOER	HBA-1000C	12	220	1000
SUOER	HBA-2000C	12	220	2000
SUOER	LDA-1000C	12	220	1000
SUOER	LDA-1000D	24	220	1000
SUOER	LDA-1500C	12	220	1500
SUOER	LDA-1500D	24	220	1500
SUOER	LDA-2000C	12	220	2000
SUOER	LDA-2000D	24	220	2000
SUOER	SDB-1000A	12	220	600
SUOER	SDB-1000B	24	220	600
SUOER	SDB-1500A	12	220	800
SUOER	SDB-1500B	24	220	800
SUOER	SDB-2000A	12	220	1000
SUOER	SDB-2000B	24	220	1000
SUOER	SON-1000VA	12	220	660
SUOER	SON-1400VA	12	220	800
SUOER	SON-2400VA	24	220	1440
SUOER	SUA-500A	12	220	500
SUOER	SUA-500B	24	220	500
SUOER	SUA-500F	48	220	500
SUOER	SUA-1000A	12	220	1000
SUOER	SUA-1000B	24	220	1000
SUOER	SUA-1000F	28	220	1000
SUOER	SUA-2000A	12	220	2000
SUOER	SUA-2000B	24	220	2000
SUOER	SUA-2000F	48	220	2000
SUOER	STA-1000A	12	220	650
SUOER	STA-1000B	24	220	650
SUOER	STA-1500A	12	220	1000
SUOER	STA-1500B	24	220	1000
SUOER	STA-2000A	12	220	1500

Merek	Kode Produk	Vin (V)	Vout (V)	P(W)
SUOER	STA-2000B	24	220	1500
SUOER	SUS-1000A	12	220	600
SUOER	SUS-1000B	24	220	600
SUOER	SON-SUW1500VA	24	220	1000
SMA	Sunny Boy 1.5	600	220	1500
SMA	Sunny Boy 2.0	600	220	2000
SMA	Sunny Boy 2.5	600	220	2500
SMA	Sunny Boy 3.0	600	220	3000
SMA	Sunny Boy 3.6	600	220	3680
SMA	Sunny Boy 4.0	600	220	4000
SMA	Sunny Boy 5.0	600	220	5000
SMA	Sunny Boy 6.0	600	220	6000
SMA	Sunny Tripower 3.0	850	220	3000
SMA	Sunny Tripower 4.0	850	220	4000
SMA	Sunny Tripower 5.0	850	220	5000
SMA	Sunny Tripower 6.0	850	220	6000
SMA	Sunny Tripower 8.0	1000	220	8000
SMA	Sunny Tripower 10.0	1000	220	10000
GROWATT	GROWATT 750-S	450	220	750
GROWATT	GROWATT 1000-S	450	220	1000
GROWATT	GROWATT 1500-S	450	220	1600
GROWATT	GROWATT 2000-S	450	220	2000
GROWATT	GROWATT 2500-S	550	220	2500
GROWATT	GROWATT 3000-S	550	220	3000
GROWATT	GROWATT 2500MTL-S	500	220	2500
GROWATT	GROWATT 3000MTL-S	500	220	3000
GROWATT	GROWATT 3600MTL-S	550	220	3600
GROWATT	GROWATT 4200MTL-S	550	220	4200
GROWATT	GROWATT 5000MTL-S	550	220	4600
GROWATT	GROWATT 5500MTL-S	550	220	5000
GROWATT	MIN 2500TL-XH	500	220	2500
GROWATT	MIN 3000TL-XH	500	220	3000
GROWATT	MIN 3600TL-XH	550	220	3600
GROWATT	MIN 4200TL-XH	550	220	4200
GROWATT	MIN 4600TL-XH	550	220	4600
GROWATT	MIN 5000TL-XH	550	220	5000
GROWATT	MIN 6000TL-XH	550	220	6000
GROWATT	3000TL3-S	1000	220	3000
GROWATT	4000TL3-S	1000	220	4000
GROWATT	5000TL3-S	1000	220	5000
GROWATT	6000TL3-S	1000	220	6000
GROWATT	7000TL3-S	1000	220	7000
GROWATT	8000TL3-S	1000	220	8000
GROWATT	9000TL3-S	1000	220	9000
GROWATT	10000TL3-S	1000	220	10000
GROWATT	8000MTLP-S	600	220	8000
GROWATT	9000MTLP-S	600	220	9000
GROWATT	SPH3000	550	220	3000
GROWATT	SPH6000	550	220	3680
GROWATT	SPH4000	550	220	4000
GROWATT	SPH4600	550	220	4600
GROWATT	SPH5000	550	220	4999
GROWATT	SPH6000	550	220	6000
GROWATT	SPH3000TL BL-UP	550	220	3000
GROWATT	SPH3000TL BL-UP	550	220	3680
GROWATT	SPH3000TL BL-UP	550	220	4000
GROWATT	SPH3000TL BL-UP	550	220	4600
GROWATT	SPH3000TL BL-UP	550	220	5000

Merek	Kode Produk	Vin (V)	Vout (V)	P(W)
GROWATT	SPH3000TL BL-UP	550	220	6000
GROWATT	SPH4000TL3 BH	1000	220	4000
GROWATT	SPH5000TL3 BH	1000	220	5000
GROWATT	SPH6000TL3 BH	1000	220	6000
GROWATT	SPH7000TL3 BH	1000	220	7000
GROWATT	SPH8000TL3 BH	1000	220	8000
GROWATT	SPH10000TL3 BH	1000	220	10000
GROWATT	SPF 5000 ES	450	220	5000
GROWATT	SPI 3000	900	220	3000
GROWATT	SPI 4000	900	220	4000
GROWATT	SPI 5500	900	220	5500
GROWATT	SPI 7500	900	220	7500
Schneider	Connex XW Pro 865-6848-21	60	220	6000
Schneider	Connex XW+ 5548 NA	60	220	4500
Schneider	Connex XW+ 6848 NA	60	220	6000
Schneider	Connex XW+ 7048 E	64	220	4500
Schneider	Connex XW+ 8548 E	64	220	6000
Schneider	SW 2524 120/240	34	220	3000
Schneider	SW 4024 120/240	34	220	3400
Schneider	SW 4048 120/240	68	220	3800
Schneider	SW 2524 230	34	220	3000
Schneider	SW 4024 230	34	220	3400
Schneider	SW 4048 230	68	220	3800
SOFARSOLAR	SOFAR 1100TL	450	220	1000
SOFARSOLAR	SOFAR 1600TL	450	220	1550
SOFARSOLAR	SOFAR 2200TL	500	220	2100
SOFARSOLAR	SOFAR 2700TL	500	220	2600
SOFARSOLAR	SOFAR 3000TL	500	220	3100
SOFARSOLAR	SOFAR 1100TL-G3	500	220	1100
SOFARSOLAR	SOFAR 1600TL-G3	500	220	1600
SOFARSOLAR	SOFAR 2200TL-G3	500	220	2200
SOFARSOLAR	SOFAR 2700TL-G3	550	220	2700
SOFARSOLAR	SOFAR 3000TL-G3	550	220	3000
SOFARSOLAR	SOFAR 3300TL-G3	550	220	3300
SOFARSOLAR	SOFAR 3000TLM	600	220	3000
SOFARSOLAR	SOFAR 3680TLM	600	220	3680
SOFARSOLAR	SOFAR 4000TLM	600	220	4000
SOFARSOLAR	SOFAR 4600TLM	600	220	4600
SOFARSOLAR	SOFAR 5000TLM	600	220	5000
SOFARSOLAR	SOFAR 6000TLM	600	220	6000
SOFARSOLAR	SOFAR 3KTLM-G2	600	220	3000
SOFARSOLAR	SOFAR 3.6KTLM-G2	600	220	3680
SOFARSOLAR	SOFAR 4KTLM-G2	600	220	4000
SOFARSOLAR	SOFAR 4.6KTLM-G2	600	220	4600
SOFARSOLAR	SOFAR 5KTLM-G2	600	220	5000
SOFARSOLAR	SOFAR 6KTLM-G2	600	220	6000
SOFARSOLAR	SOFAR 7.5KTLM-G2	600	220	7500
SOFARSOLAR	SOFAR 3.3KTL-X	1000	220	3000
SOFARSOLAR	SOFAR 4.4KTL-X	1000	220	4000
SOFARSOLAR	SOFAR 5KTL-X	1000	220	5000
SOFARSOLAR	SOFAR 5.5KTL-X	1000	220	5000
SOFARSOLAR	SOFAR 6.6KTL-X	1000	220	6000
SOFARSOLAR	SOFAR 8.8KTL-X	1000	220	8000
SOFARSOLAR	HYD 3000-ES	600	220	3000
SOFARSOLAR	HYD 3600-ES	600	220	3680
SOFARSOLAR	HYD 4000-ES	600	220	4000
SOFARSOLAR	HYD 4600-ES	600	220	4600
SOFARSOLAR	HYD 5000-ES	600	220	5000
SOFARSOLAR	HYD 6000-ES	600	220	6000
Solaxpower	X1-0.7	400	220	700
Solaxpower	X1-1.1	400	220	1100
Solaxpower	X1-1.5	400	220	1500
Solaxpower	X1-2.0	400	220	2000

Merek	Kode Produk	Vin (V)	Vout (V)	P(W)	Merek	Kode Produk	Vin (V)	Vout (V)	P(W)
Solaxpower	X1-2.5	600	220	2500	Must	PV35 pro-8k	147	220	8000
Solaxpower	X1-3.0	600	220	3000	Must	PV35 pro-10k	147	220	10000
Solaxpower	X1-3.3	600	220	3300	Must	PH50-2500	550	220	2500
Solaxpower	X1-3.0T	600	220	3000	Must	PH50-3000	550	220	3000
Solaxpower	X1-3.3T	600	220	3300	Must	PH50-3600M	550	220	3600
Solaxpower	X1-3.6T	600	220	3680	Must	PH50-4200M	550	220	4200
Solaxpower	X1-4.2T	600	220	4200	Must	PH50-4600M	550	220	4600
Solaxpower	X1-4.6T	600	220	4600	Must	PH50-5000M	550	220	5000
Solaxpower	X1-5.0T	600	220	5000	Must	PH50-6000M	550	220	6000
Solaxpower	X1-6.0	550	220	6000	Must	PH10-3648A	580	220	3600
Solaxpower	X1-7.0	550	220	7000	Must	PH10-4248A	580	220	4200
Solaxpower	X1-8.0	550	220	8000	Must	PH10-4648A	580	220	4600
Solaxpower	X3-4.0T	800	220	4000	Must	PH10-5048A	580	220	5000
Solaxpower	X3-5.0T	800	220	5000	Must	PV18-2024 Plus	145	220	2000
Solaxpower	X3-6.0T	800	220	6000	Must	PV18-3024 Plus	145	220	3000
Solaxpower	X3-7.0T	1000	220	7000	Must	PV18-3048 Plus	145	220	3000
Solaxpower	X3-8.0T	1000	220	8000	Must	PV18-4048 Plus	145	220	4000
Solaxpower	X3-9.0T	1000	220	9000	Must	PV18-5048 Plus	145	220	5000
Solaxpower	X3-4.0S	1000	220	4000	Must	PV18-5548 Plus	145	220	5500
Solaxpower	X3-5.0S	1000	220	5000	Must	PH30-2048	145	220	2000
Solaxpower	X3-8.0P	1000	220	8000	Must	PH30-3048	145	220	3000
Solaxpower	X3-HYBRID-5.0T	1000	220	5000	Must	PH30-4048	145	220	4000
Solaxpower	X3-HYBRID-6.0T	1000	220	6000	Must	PH30-9048-T	145	220	9000
Solaxpower	X3-HYBRID-8.0T	1000	220	8000	Pascal	MG750TL	400	220	750
Solaxpower	X3-HYBRID-10.0T	1000	220	10000	Pascal	MG1KTL	450	220	1000
Solaxpower	X1-HYBRID-3.0T	600	220	3000	Pascal	MG1K5TL	450	220	1500
Solaxpower	X1-HYBRID-3.7T	600	220	3680	Pascal	MG2KTL	450	220	2000
Solaxpower	X1-HYBRID-4.6T	600	220	4600	Pascal	MG3KTL	500	220	3000
Solaxpower	X1-HYBRID-5.0T	600	220	4999	Pascal	MG3KTL-2M	600	220	3000
Must	PV11-1200 plus	55	220	720	Solis	Solis-mini-700-4G	600	220	700
Must	PV11-1800 plus	55	220	1000	Solis	Solis-mini-1000-4G	600	220	1000
Must	PV11-2400 plus	55	220	1440	Solis	Solis-mini-1500-4G	600	220	1500
Must	PV18-3028 pro	450	220	3000	Solis	Solis-mini-2000-4G	600	220	2000
Must	PV18-5248 pro	450	220	5200	Solis	Solis-mini-2500-4G	600	220	2500
Must	PV18-1012 VPK	55	220	1000	Solis	Solis-mini-3000-4G	600	220	3000
Must	PV18-2024 VPK	70	220	2000	Solis	Solis-mini-3600-4G	600	220	3600
Must	PV18-3024 VPK	70	220	3000	Solis	Solis-1P2.5K-4G	600	220	2500
Must	PV18-4048 VPK	105	220	4000	Solis	Solis-1P3K-4G	600	220	3000
Must	PV18-5048 VPK	105	220	5000	Solis	Solis-1P3.6K-4G	600	220	3600
Must	PV18-1012 VPM	60	220	1000	Solis	Solis-1P4K-4G	600	220	4000
Must	PV18-2024 VPM	100	220	2000	Solis	Solis-1P4.6K-4G	600	220	4600
Must	PV18-3024 VPM	100	220	3000	Solis	Solis-1P5K-4G	600	220	5000
Must	PV18-3044 VPM	145	220	3000	Solis	Solis-1P6K-4G	600	220	6000
Must	PV18-4048 VPM	145	220	4000	Solis	Solis-1P7K-5G	600	220	7000
Must	PV18-5048 VPM	145	220	5000	Solis	Solis-1P8K-5G	600	220	8000
Must	PV18-1024 LHM	145	220	1000	Solis	Solis-1P9K-4G	600	220	9000
Must	PV18-1524 LHM	145	220	1500	Solis	Solis-1P10K-4G	600	220	10000
Must	PV18-2024 LHM	145	220	2000	Solis	Solis-3P3K-4G	1000	220	3000
Must	PV18-2524 LHM	145	220	2500	Solis	Solis-3P4K-4G	1000	220	4000
Must	PV18-3024 LHM	145	220	3000	Solis	Solis-3P5K-4G	1000	220	5000
Must	PV18-3048 LHM	145	220	3000	Solis	Solis-3P6K-4G	1000	220	6000
Must	PV18-2024 VHM	145	220	2000	Solis	Solis-3P8K-4G	1000	220	8000
Must	PV18-3024 VHM	145	220	3000	Solis	Solis-3P9K-4G	1000	220	9000
Must	PV18-3048 VHM	145	220	3000	Solis	Solis-3P10K-4G	1000	220	10000
Must	PV18-4048 VHM	145	220	4000	Solis	RHI-3K-48ES	600	220	3000
Must	PV18-5048 VHM	145	220	5000	Solis	RHI-3.6K-48ES	600	220	3600
Must	PV18-5548 VHM	145	220	5500	Solis	RHI-4.6K-48ES	600	220	4600
Must	PV20-1012 PK	55	220	700	Solis	RHI-5K-48ES	600	220	5000
Must	PV20-1512 PK	55	220	900	ABB	UNO-DM-1.2-TL-Plus	600	220	1200
Must	PV20-2024 PK	72	220	1200	ABB	UNO-DM-2.0-TL-Plus	600	220	2000
Must	PV30-5KWMPK	145	220	5000	ABB	UNO-DM-3.0-TL-Plus	600	220	3000
Must	PV30-6KWMPK	145	220	6000	ABB	UNO-DM-3.3-TL-Plus	600	220	3300
Must	PV35 pro-4k	147	220	4000	ABB	UNO-DM-4.0-TL-Plus	600	220	4000
Must	PV35 pro-5k	147	220	5000	ABB	UNO-DM-4.6-TL-Plus	600	220	4600
Must	PV35 pro-6k	147	220	6000	ABB	UNO-DM-5.0-TL-Plus	600	220	5000

Merek	Kode Produk	Vin (V)	Vout (V)	P(W)
ABB	UNO-DM-6.0-TL-Plus	600	220	6000
ABB	UNO-DM-1.2-TL-Plus-Q	600	220	1200
ABB	UNO-DM-2.0-TL-Plus-Q	600	220	2000
ABB	UNO-DM-3.0-TL-Plus-Q	600	220	3000
ABB	UNO-DM-3.3-TL-Plus-Q	600	220	3300
ABB	UNO-DM-4.0-TL-Plus-Q	600	220	4000
ABB	UNO-DM-4.6-TL-Plus-Q	600	220	4600
ABB	UNO-DM-5.0-TL-Plus-Q	600	220	5000
ABB	UNO-DM-6.0-TL-Plus-Q	600	220	6000
ABB	PVI-10.0-TL-OUTD	900	220	10000
ABB	TRIO-5.8-TL-OUTD	1000	220	5800
ABB	TRIO-7.5-TL-OUTD	1000	220	7500
ABB	TRIO-8.5-TL-OUTD	1000	220	8500

C. Kapasitas Daya Inverter PLTS Atap

Tabel 6 Kapasitas Inverter dan Pabrikannya di Indonesia.

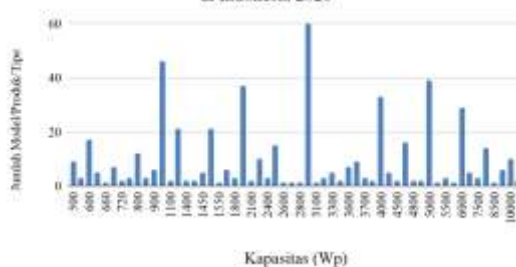
Rentang Kapasitas	Manufaktur tersedia
<1 kW	Visero, SQSENPOWER, Mitsuyama, Usat, Victron Energy, Linkchamp, Sako, Solaxpower, Must, Solis, Luminous, Kewo, Growatt, Pascal
1 kW<2 kW	ABB, Growatt, Hanaya, Kenika, Linkchamp, Luminous, Mitsuyama, Must, Pascal, Sako, SMA, Sofarsolar, Solaxpower, Solis, Sunpro, Suoer, Usat, Victron Energy
2 kW<3 kW	ABB, Genius, Growatt, Kaller, Linkchamp, Luminous, Must, Pascal, Sako, SMA, Sofarsolar, Solaxpower, Solis, Suoer, Victron Energy, Visero
3 kW<4 kW	ABB, AIMPS, Growatt, Linkchamp, Luminous, Mitsuyama, Must, Pascal, Sako, Schneider, SMA, Sofarsolar, Solis, Suoer, Victron Energy, Visero
4 kW<5 kW	ABB, Growatt, Linkchamp, Luminous, Must, Sako, Schneider, Sofarsolar, Solaxpower, Solis, Suoer
5 kW<6 kW	ABB, Growatt, Linkchamp, Luminous, Must, Sako, SMA, Sofarsolar, Solaxpower, Solis, Suoer
6 kW<7 kW	ABB, Growatt, Luminous, Must, Sako, Schneider, SMA, Sofarsolar, Solaxpower, Solix, Suoer
7 kW<8 kW	ABB, Growatt, Sofarsolar, Solaxpower, Solis
8 kW<9 kW	ABB, Growatt, Luminous, Must, Sofarsolar, Solaxpower, Solis

9 kW-10 kW ABB, Growatt, Must, Sako, SMA, Solaxpower, Solis

Berdasarkan rentang kapasitas yang disediakan, Tabel 6 menunjukkan ketersediaan manufaktur. Terlihat relatif lebih banyak pilihan manufaktur inverter untuk rentang kapasitas inverter mulai dari <1 kW hingga rentang 6 kW<7 kW dibanding dengan rentang 7 kW<8 kW hingga 9 kW-10 kW.

Ketersediaan inverter berdasarkan kapasitasnya ditunjukkan pada Gambar 6. Terlihat ketersediaan inverter dengan kapasitas 3kW paling banyak Diikuti dengan ketersediaan inverter kapasitas 1 kW. Ketersediaan inverter dibawah 1 kW paling banyak tersedia pada kapasitas 0.5 kW dan 0.6 kW.

Ketersediaan Model Inverter Berdasarkan Kapasitas untuk PLTS atap di Indonesia 2020



Gambar 6. Ketersediaan Inverter Berdasarkan Kapasitas

D. Status THD Inverter PLTS Atap

Ketersediaan inverter berdasarkan fasa keluarannya ditunjukkan pada Gambar 7. Terlihat ketersediaan inverter satu fasa jauh lebih banyak dibanding inverter tiga fasa. Hal ini tentu positif untuk mendukung pelanggan rumah tangga yang ingin memasang PLTS skala kecil. Disisi lain ketersediaan produk 3 fasa sudah tergolong cukup banyak. Ketersediaan produk 3 fasa tidak perlu terlalu banyak untuk menjaga layanan purna jual yang berkelanjutan. Banyaknya pemakaian produk inverter impor akan mendorong pabrikan untuk membangun pusat layanan lokal.

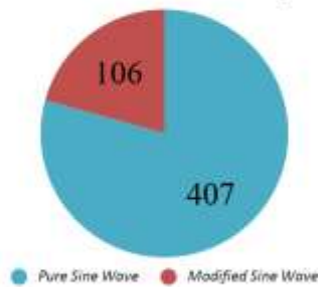
Ketersediaan Inverter Berdasarkan Fasa Keluaran



Gambar 7. Ketersediaan Inverter Berdasarkan Jumlah Fasa Keluaran

Ketersediaan inverter berdasarkan bentuk gelombang keluaran ditunjukkan pada Gambar 8. Terlihat ketersediaan inverter dengan gelombang keluaran sinusoida murni paling banyak. Hal ini tentu positif mengingat bentuk gelombang sinusoida murni merupakan bentuk gelombang ideal untuk listrik AC.

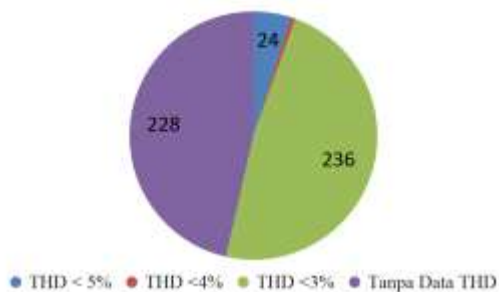
Ketersediaan Inverter Berdasarkan Gelombang Keluaran



Gambar 8. Ketersediaan Inverter Berdasarkan Bentuk Gelombang Keluaran

Ketersediaan inverter berdasarkan persentase THD keluaran ditunjukkan pada Gambar 9. Terlihat ketersediaan inverter dengan persentase THD <3% paling banyak tersedia yang diikuti dengan inverter tanpa data THD.

Ketersediaan Inverter Berdasarkan THD Keluaran



Gambar 9. Ketersediaan Inverter Berdasarkan THD Keluaran

E. Status Efisiensi Inverter PLTS Atap

Ketersediaan inverter berdasarkan efisiensi pada beban penuh ditunjukkan pada Gambar 10. Terlihat Inverter dengan efisiensi beban penuh lebih dari sama dengan 95% paling banyak tersedia diikuti inverter dengan efisiensi beban penuh antara 90% sampai 95%.



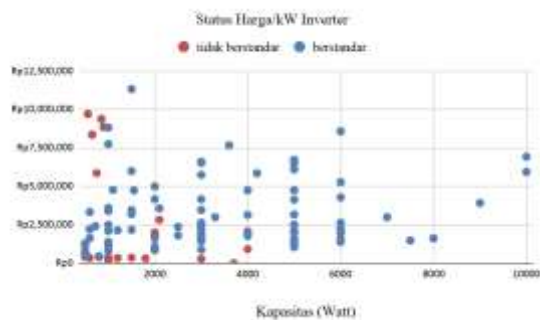
Gambar 10. Ketersediaan Inverter Berdasarkan Efisiensi Beban Penuh

Semakin banyak inverter efisiensi tinggi yang beredar akan menguntungkan pelanggan karena pelanggan dapat memaksimalkan konversi energi yang dihasilkan PLTSnya yang mana akan terbuang sebagian jika menggunakan inverter dengan efisiensi rendah.

Sebagai perbandingan penulis mengukur salah satu produk inverter yang tergolong belum berstandar. Hasil pengukuran menunjukkan tegangan keluaran 235 volt masuk dalam rentang tegangan standar akan tetapi efisiensinya jauh lebih buruk hanya sebesar 52.3% dan nilai THD jauh diatas nilai yang diperbolehkan dengan THDv 5.3% dan THDi 56.8%.

F. Status Harga Inverter PLTS Atap

Berdasarkan hasil survei di *e-commerce* rata-rata harga inverter adalah sebesar Rp3,435,380/kW dengan sebaran ditunjukkan pada Gambar 11. Inverter dari pabrikan berstandar cenderung memiliki harga yang lebih tinggi dibanding pabrikan yang belum berstandar untuk inverter dengan kapasitas yang sama.



Gambar 11. Status Harga/kW Inverter

V. KESIMPULAN

Artikel ini telah meninjau ketersediaan inverter di Indonesia untuk mengetahui sejauh

mana inverter yang ada telah memenuhi standar/sertifikasi yang berlaku. Ketersediaan inverter yang handal sangat penting untuk mendukung perkembangan PLTS atap di Indonesia. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa pabrikan inverter di Indonesia sudah cukup baik dengan keragaman produk yang beredar cukup banyak. Dilihat dari kapasitas inverter yang beredar ketersediaannya cukup banyak untuk inverter dengan kapasitas rentang 0.5 kW - 10 kW. Dilihat dari THD, jumlah fasa, dan bentuk gelombang keluaran kualitas inverter yang beredar baik dengan lebih banyak produk yang berkualitas baik beredar. Dilihat dari efisiensi inverter yang beredar juga tergolong baik dengan banyaknya inverter berefisiensi tinggi yang beredar di pasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suharyati, S. H. Pambudi, J. L. Wibowo, N. I. Pratiwi, "Indonesia Energy Outlook 2019," DEN, Sep.2019.
- [2] A. C. Adi, F. Lasnawatin, "Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2018," Ministry of Energy and Mineral Resources of Indonesia, Jan. 2019.
- [3] Kementerian energi dan sumber daya mineral. <https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-ebtke/gerakan-nasional-sejuta-surya-atap-menuju-gigawatt-fotovoltaik-di-indonesia>, diakses pada 4 november 2019.
- [4] I.A.D. Giriantari, I.N. Setiawan, "Sistem Surya Fotovoltaik Module Training Versi 1," CoE CORE Udayana, Des. 2016.
- [5] Kelompok Bidang Distribusi Standardisasi, "Inverter Untuk Pembangkitan Listrik Tenaga Surya (PLTS) Persyaratan Umum dan Metode Uji," PT.PLN (Persero), Nov. 2012.
- [6] Kelompok Bidang Distribusi Standardisasi, "Persyaratan Teknis Interkoneksi Sistem Fotovoltaik (PV) Pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah," PT.PLN (Persero), Mei. 2016.
- [7] Peraturan Menteri energi dan sumber daya mineral Republik Indonesia Nomor 37 tahun 2008, "Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali," 29 Januari 2007.Jakarta.
- [8] Peraturan Menteri energi dan sumber daya mineral Republik Indonesia Nomor 2 tahun 2015, "Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Sulawesi," 8 Januari 2015.Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 29.Jakarta.
- [9] Peraturan Menteri energi dan sumber daya mineral Republik Indonesia Nomor 37 tahun 2008, "Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Sumatera," 27 November 2008.Jakarta.
- [10] Peraturan Menteri energi dan sumber daya mineral Republik Indonesia Nomor 18 tahun 2016, "Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Kalimantan," 28 Juni 2016.Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2016 Nomor 982.Jakarta.
- [11] Kelompok Pembakuan Bidang Transmisi, "Tegangan - Tegangan Standar," PT.PLN (Persero), Agus. 1995.
- [12] F. Onoroh, M. Ogbonnaya, J.L. Chukunuke, C.B. Echeta, "Thermal Optimization of Heatsink for Inverter Applications," IOP Publishing, 2018.
- [13] Fang Lin Lio, Hong Ye, "Advanced DC/AC Inverter: Application in Renewable Energy," CRC Press. 2013.
- [14] A.A.N.B.B. Nathawibawa, I.N.S. Kumara, W.G. Ariastina, "Analisis Produksi Energi dari Inverter pada Grid-connected PLTS 1 MWp di Desa Kayubih Kabupaten Bangli," Teknologi Elektro.Jan.2017.
- [15] D. Sitompul, I.N.S. Kumara, C.G.I. Partha, "Ketersediaan Peralatan Listrik Bercatu Daya DC Untuk Mendukung Pemanfaatan PLTS Tanpa Inverter Pada Rumah Tangga Urban," SPEKTRUM. Sep. 2019.
- [16] Q.C. Zhong, T.Hornik, "Control of Power Inverter in Renewable Energy and Smart Grid Integration," John Wiley & Sons. 2013.
- [17] K. Mertens, "Photovoltaics Fundamental, Technology and Practice," John Wiley & Sons. 2014.
- [18] Kencana, B, et all, "Panduan Studi Kelayakanpembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Terpusat," KESDM, Nov.2018.