

ANALISIS KRITIS TERHADAP PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) TIPE PHOTOVOLTAIC (PV) SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF MASA DEPAN

Supari Muslim¹, Khusnul Khotimah², Alfiantin Noor Azhiimah³

¹Guru Besar Pascasarjana Universitas Negeri Surabaya

Email: supari@unesa.ac.id

²Mahasiswa Program S2-PTK, Pascasarjana Universitas Negeri Surabaya

Email: khusnulelektro7@gmail.com

³Mahasiswa Program S2-PTK, Pascasarjana Universitas Negeri Surabaya

Email: alfiantinnoor.azhiimah5@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v3i1.1638>

Abstract: The development of Planning Solar Power Plants (SPP) of type photovoltaic (PV) systems in Indonesia is very profitable, because Indonesia has consistent sunlight throughout the year. But why is SPP of PV type not yet utilized optimally? To answer these questions, it is necessary to conduct a study with the title "Critical Analysis of Planning Solar Power Plants of Photovoltaic (PV) type as Alternative Energy in the Future". The research aims to find out how far SPP of PV type has been used optimally. The research was conducted by the literature method on a number of research/planning on SPP of PV type in Indonesia. The study found that: (1) on-grid solar power plants using solar modules would be very beneficial if integrated with the PLN grid; (2) large commercial buildings/public facilities that have flat roof surfaces are ideal places for SPP of PV type development; (3) the ratio of power released by PLN for PJUs is 76.66%, while for solar panels it is 23.3%; (4) research on inverter performance found that the highest energy production was generated by 44-E5 inverters (17,827 kWh) and the lowest energy production was 8-D3 inverters (8,898 kWh); and (5) the main obstacle in SPP of PV type development, that the main components of SPP must still be imported.

Keywords : PLTS, *Photovoltaic (PV)*, PLTS *off-grid*, PLTS *on-grid*

PENDAHULUAN

Pasokan energi kelistrikan saat ini masih ditopang sebagian besar oleh batu bara, dan bahan bakar minyak yang banyak mencemari lingkungan. Pada hal, kebutuhan akan energi di era industri 4.0 adalah energi alternatif yang bersih, ramah lingkungan, dan terbarukan, dimana potensi energi terbarukan seperti tampak pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Potensi Energi Terbarukan

Energi Terbarukan	Potensi
Tenaga Air (<i>Hydropower</i>)	75.000 MW
Panas Bumi (<i>Geothermal</i>)	29.164 MW
Biomassa	49.810 MW
Surya (<i>Solar</i>)	112.000 GWp = 89.600 GW

(Sumber: Kementerian ESDM, 2016)

Dari total potensi listrik yang dapat dihasilkan oleh energi terbarukan dari tenaga air, panas bumi, dan biomassa adalah sebesar

153.974 MW, hanya 33.52% yang dapat terpasang sebagai pembangkit listrik nasional. Kapasitas terpasang pembangkit listrik nasional, baik yang berbahan bakar fosil maupun yang sudah menggunakan energi terbarukan, sampai dengan pertengahan tahun 2015 adalah sebesar 51.620 MW. Tenaga surya sendiri, berpotensi dapat menghasilkan listrik hingga sebesar 112.000 GWp atau setara dengan 89.600.000 MW (Kementerian ESDM, 2016).

Indonesia memiliki intensitas penyinaran matahari yang baik sepanjang tahun karena terletak di daerah katulistiwa dan terletak di daerah ekuator. Daerah ekuator yaitu wilayah tengah yang membagi bola bumi menjadi bagian utara dan selatan. Posisi ini menyebabkan ketersediaan sinar matahari hampir sepanjang tahun di seluruh wilayah Indonesia kecuali pada musim hujan dan saat awan tebal menghalangi sinar matahari. Berdasarkan peta insolasi matahari, wilayah Indonesia memiliki potensi energi listrik surya sebesar 4.5 kW/m²/hari. Hal ini tentu sangat

potensial untuk dimanfaatkan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik mengingat sejumlah permasalahan yang terkait dengan pembangkitan listrik berbahan bakar fosil (Kumara, 2017). Sebaran Potensi Energi Surya di Indonesia seperti tampak pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Sebaran Potensi Energi Surya (Kementerian ESDM, 2016)

Pada Gambar 1 di atas tampak bahwa sebagian besar wilayah Indonesia memiliki rata-rata jangka panjang intensitas cahaya matahari yang potensial untuk menghasilkan listrik setara lebih dari 1.600 kWh per meter persegi. Ini berarti bahwa potensi pengembangan energi surya di Indonesia memang sedemikian besar, terutama di daerah Nusa Tenggara dan Jawa Timur. Khusus untuk daerah Nusa Tenggara, pembangunan PLTS dapat menjadi alternatif prioritas untuk mengatasi kekurangan pasokan listrik di daerah tersebut (Kementerian ESDM, 2016).

PLTS merupakan salah satu pembangkit listrik berbasis energi terbarukan yang direkomendasikan untuk listrik di daerah pedesaan terpencil, dimana sinar matahari melimpah dan bahan bakar yang harganya relatif mahal namun sulit diperoleh. Alasan utama menggunakan teknologi PLTS adalah sebagai berikut: (1) sumber energi yang melimpah dan tanpa biaya; (2) sumber energi tersedia dan tidak perlu diangkut; (3) biaya pengoperasian dan pemeliharaan sistem PLTS yang relatif kecil; (4) tidak perlu pemeliharaan yang sering dan dapat dilakukan oleh operator setempat yang terlatih; (5) ramah lingkungan, karena tidak ada emisi gas dan limbah yang berbahaya.

Pemanfaatan tenaga matahari untuk PLTS sebenarnya sudah dilakukan sejak lama namun aplikasinya masih terbatas pada sistem berdaya kecil. Mengapa demikian dan apa

alasannya? Untuk memperoleh gambaran tentang perencanaan PLTS, dilakukan penelitian dengan judul: “Kajian tentang Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Tipe *Photovoltaic* (PV) sebagai Energi Alternatif Masa Depan”.

KAJIAN TEORI

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit yang mengubah energi surya/matahari menjadi energi listrik sebagai salah satu sumber energi alternatif yang ramah lingkungan (energi terbarukan). Menurut Furqani & Mangapul (2013), sel surya atau yang sering disebut sebagai sel fotovoltaik berasal dari bahasa Inggris yaitu *photovoltaic*. *Photovoltaic* berasal dari dua kata yaitu “photo” yang berarti cahaya dan kata “volt” adalah nama satuan tegangan listrik. Sel surya merupakan sebuah device semikonduktor yang memiliki permukaan luas yang terdiri dari rangkaian diode tipe “p” dan “n”, yang mampu merubah energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya bergantung pada efek fotovoltaik untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan.

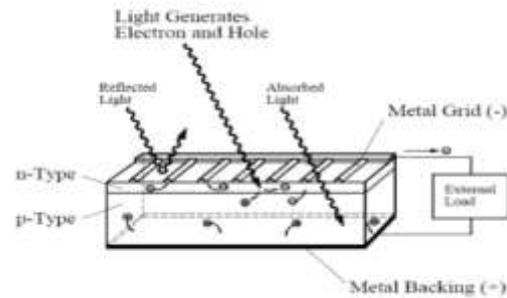
Perbedaan utama dari panel sel surya adalah bahan dari sel surya. Bahan sel surya yang paling umum digunakan adalah *crystalline silicon* yang terdiri dari: (1) *polycrystalline* adalah bahan *crystalline* berwarna kebiruan dengan bercak-bercak biru muda dan biru tua (dimana jenis ini paling banyak digunakan pada pembangkit listrik tenaga surya skala kecil) dengan efisiensi sekitar angka belasan persen; (2) *monocrystalline* adalah bahan *crystalline* yang mempunyai efisiensi lebih baik, tetapi harganya relatif lebih mahal (jenis ini dapat dikenali dengan warnanya yang kebiruan polos tanpa bercak); (3) lapisan tipis *amorphous silicon* adalah *silicon* yang berwarna agak gelap kehitaman yang umum digunakan pada perangkat dengan konsumsi daya sangat rendah seperti kalkulator. Efisiensi dari jenis ini paling rendah yaitu sekitar 3-5%. Keunggulan dari *amorphous silicon* adalah harga yang terjangkau tetapi tidak seefisien *crystalline silicon* sel surya (Furqani & Mangapul, 2013)

Energi radiasi surya dapat diubah menjadi arus listrik searah dengan menggunakan lapisan-lapisan tipis dari silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor lainnya. Pada

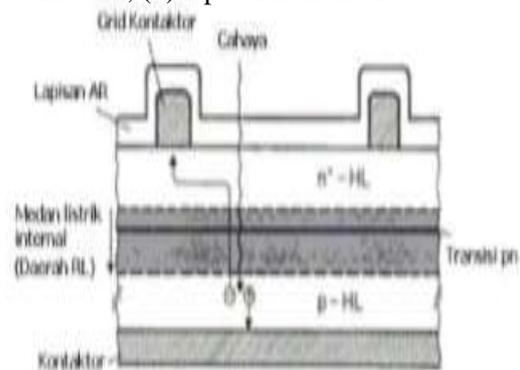
saat ini silikon merupakan bahan yang terbanyak dipakai. Silikon merupakan unsur yang banyak terdapat di alam. Untuk keperluan pemakaian sebagai semikonduktor, silikon harus dimurnikan hingga suatu tingkat pemurnian yang tinggi sekali. Pada suhu nol absolut (0°K) semua ikatan kovalensi berada dalam keadaan utuh dan lengkap. Bilamana suhu naik, atom-atom akan mengalami keadaan getaran thermal. Getaran-getaran ini yang meningkat dengan suhu, pada suatu saat dapat mengganggu beberapa ikatan kovalensi.

Terganggunya ikatan kovalensi dalam kristal semikonduktor pada suhu lingkungan biasa mempunyai beberapa akibat besar terhadap sifat-sifat listrik kristal itu dan penting dalam penjelasan efek fotovoltaik.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Alifyanti & Tambunan yang berjudul "Pengaturan Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 1000 Watt" menemukan bahwa pada saat terjadi tumbukan, energi yang dikandung oleh photon ditransfer pada elektron yang terdapat pada atom sel surya yang merupakan bahan semikonduktor. Dengan energi yang didapat dari photon, elektron melepaskan diri dari ikatan normal bahan semikonduktor dan menjadi arus listrik yang mengalir dalam rangkaian listrik yang ada. Dengan melepaskan dari ikatannya, elektron tersebut menyebabkan terbentuknya lubang atau "hole".



Gambar 2. Konversi Cahaya Matahari
Secara umum, konstruksi sebuah photovoltaic terdiri dari tiga bagian yaitu: (1) lapisan penerima radiasi; (2) lapisan tempat terjadinya pemisahan muatan akibat fotoinduksi; (3) lapisan kontaktor



Gambar 3. Penampang Photovoltaic
Kualitas Photovoltaic tergantung dari efisiensi kerja fotovoltaiik tersebut. Apabila fotovoltaiik memiliki efisiensi yang baik, maka daya yang dihasilkan akan maksimal dan rugi-rugi yang terjadi akan semakin kecil. Fotovoltaiik dengan efisiensi yang tinggi dan rugi-rugi yang kecil inilah yang bisa disebut sebagai fotovoltaiik yang baik. Efisiensi pada fotovoltaiik dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya adalah insolasi matahari (I), luas kolektor fotovoltaiik (A_c) dan daya kolektor (IV) max yang dimiliki fotovoltaiik. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\eta_p = \frac{(IV)_{max}}{IA_c}$$

Keterangan:

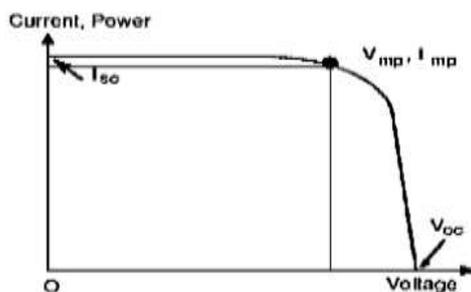
- η_p = efisiensi fotovoltaiik
- $(IV)_{max}$ = daya kolektor maksimum (W)
- I = Insolasi matahari (W/m^2)
- AC = luas kolektor fotovoltaiik (m^2)

Nilai efisiensi sebuah modul surya sangat tergantung pada nilai *Peak Sun Hour* (PSH). PSH sangat subyektif tergantung pada

karakteristik lingkungan termasuk lamanya penyinaran matahari dan indeks kecerahan di suatu tempat.

Daya yang dihasilkan panel surya maksimum diukur dengan besaran Wattpeak (Wp), yang konversinya terhadap Watthour (Wh) tergantung intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaan panel. Selanjutnya daya yang dikeluarkan oleh panel surya adalah daya panel dikalikan lama penyinaran. Contoh: sebuah panel surya berkapasitas 50 Wattpeak disinari matahari dengan intensitas maksimum selama 8 jam maka daya yang dihasilkan adalah 50 kali 8 Watthour atau 400 Watthour. Daya sebanyak ini dapat digunakan untuk menyalakan 4 buah lampu 25 Watt selama 4 jam atau sebuah televisi hitam putih 40 Watt selama 10 jam. Total pengeluaran listrik (wattage) dari panel sel surya adalah sebanding dengan voltase/tegangan operasi dikalikan dengan arus operasi saat ini. Panel sel surya dapat menghasilkan arus dengan voltase yang berbeda-beda. Hal ini berbeda dengan baterai, yang menghasilkan arus dari voltase yang relatif konstan.

Karakteristik luaran/output dari panel sel surya dapat dilihat dari kurva performansi, disebut I-V curve. I-V curve menunjukkan hubungan antara arus dan voltase.



Gambar 4. I-V Curve

Gambar di atas menunjukkan tipikal kurva I-V. Voltase (V) adalah sumbu horizontal. Arus (I) adalah sumbu vertikal. Kebanyakan kurva I-V diberikan dalam Standar Test Conditions (STC) 1000 watt per meter persegi radiasi (atau disebut satu matahari puncak/one peak sun hour) dan 25 derajat Celcius/77 derajat Fahrenheit suhu solar cell panel. Sebagai informasi, STC mewakili kondisi optimal dalam lingkungan laboratorium. Kurva I-V terdiri dari 3 hal yang penting yaitu:

1. **Maximum Power Point (Vmp dan Imp)**
Pada kurva I-V, Maximum Power Point (Vmp dan Imp) adalah titik operasi, dimana maksimum pengeluaran/output yang dihasilkan oleh panel sel surya saat kondisi operasional. Dengan kata lain, Vmp dan Imp dapat diukur pada saat panel sel surya diberi beban pada 25 derajat Celcius dan radiasi 1000 watt per meter persegi. Pada kurva di atas voltase 17 volts adalah Vmp, dan Imp adalah 2,5 ampere. Jumlah watt pada batas maksimum ditentukan dengan mengalikan Vmp dan Imp, sehingga jumlah watt maksimum pada STC adalah sebesar 43 watt.
2. **Voltage Open circuit (Voc)**
Voltage Open Circuit (Voc) adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus (current). Pada kurva I-V, Voc adalah 21 volt. Daya pada saat Voc adalah 0 watt. Voc panel sel surya dapat diukur di lapangan dalam berbagai kondisi. Saat membeli modul, sangat direkomendasikan untuk menguji voltase, agar dapat diketahui "apakah voltase cocok dengan spesifikasi pabrik". Saat menguji voltase dengan multimeter digital dari terminal positif ke terminal negatif. Voltage Open Circuit (Voc) dapat diukur pada pagi hari dan sore hari.
3. **Short Circuit Current (Isc)**
Short Circuit Current (Isc) adalah maksimum output arus dari panel sel surya yang dapat dikeluarkan (output) di bawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau hubung pendek. Pada kurva I-V di atas menunjukkan perkiraan arus 2,65 Ampere. Daya pada Isc adalah 0 watt. Short circuit current dapat diukur hanya pada saat membuat koneksi langsung antara terminal positif dan negatif dari panel sel surya.

METODE

Penelitian ini adalah penelitian literature yang dilakukan sebagai kegiatan pengumpulan informasi yang relevan dengan topik yang dijadikan obyek penelitian (Notar & Cole, 2010). Teknik pengumpulan data dilakukan dengan melakukan kajian terhadap buku-buku Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan sejumlah artikel tentang PLTS (2009-2019). Teknik analisis data yang digunakan adalah dengan mendeskripsikan data dan informasi dalam bentuk kalimat yang mudah dipahami sebagai upaya memperoleh jawaban dari permasalahan yang diteliti (Sugiyono,

2006), terkait dengan beberapa studi kelayakan tentang PLTS di Indonesia. Jurnal yang dikaji berupa jurnal yang terkait dengan PLTS, baik tipe *on-grid* maupun *off-grid*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada dasarnya terdapat dua tipe PLTS yaitu *photovoltaic* (PV) dan solar thermal.

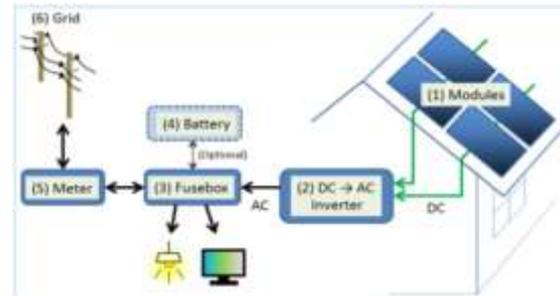


Gambar 5. PLTS Tipe *Photovoltaic* (PV)

PLTS PV menggunakan panel surya yang dapat langsung mengubah tenaga surya menjadi listrik. Sedangkan PLTS solar thermal mengumpulkan panas dari matahari untuk memanaskan sejumlah besar liquid hingga menghasilkan uap yang kemudian digunakan untuk memutar turbin guna menghasilkan listrik. Prinsip kerja sederhana dari PLTS solar thermal digunakan pada pemanas air rumah tangga (biasanya dipasang pada atap rumah dan digunakan untuk memanaskan air mandi).

Secara umum, PLTS PV saat ini adalah pilihan yang lebih populer dengan *market size* yang jauh lebih besar dibanding PLTS solar thermal. Hal ini terutama karena

keterbatasan teknis PLTS solar thermal yang menyebabkan lokasi pemasangan harus di tempat-tempat tertentu yang memiliki *direct irradiation* (tidak fleksibel) dan secara hitungan ekonomis hanya bisa jika dipasang dalam skala besar di atas 20 MW (tidak bisa dipasang dengan sistem terdistribusi model PLTS PV yang umum).



Gambar 6. Gambaran Sistem *Photovoltaic*

Sistem *Photovoltaic* berawal dari modul/panel yang mengubah tenaga surya menjadi listrik. Arus listrik yang dihasilkan pada tahap ini masih berupa arus listrik searah atau *direct current* (DC). Selanjutnya, inverter mengubah arus listrik DC menjadi arus listrik bolak-balik atau *alternating current* (AC) agar arus listrik dapat dialirkan dan digunakan lebih lanjut ((melalui transformator sesuai dengan tegangan yang dikehendaki, jika diperlukan).

Kotak sekering atau *fusebox* berfungsi untuk membagi sebagian arus listrik untuk penggunaan rumah tangga atau pembangkit sendiri. Sistem dapat dilengkapi dengan baterai untuk menyimpan kelebihan energi listrik yang belum digunakan atau disalurkan. Namun saat ini, nilai investasi untuk komponen baterai masih sangat tinggi sehingga dapat membuat sebuah PLTS menjadi tidak ekonomis, terutama PLTS berkapasitas kecil. Oleh karena itu dalam praktik, banyak PLTS yang tidak menggunakan baterai dan langsung menyalurkan seluruh daya listrik yang dihasilkan, setelah dikurangi penggunaan sendiri.

Sistem menggunakan meteran guna mencatat jumlah listrik yang disalurkan dari PLTS ke jaringan atau *grid*. Jika PLTS menggunakan jaringannya sendiri untuk menyalurkan listrik hingga ke rumah tangga, maka jaringan yang digunakan disebut *off-grid*. Sedangkan jika PLTS menggunakan jaringan dari perusahaan listrik lainnya, seperti

PT. PLN (Persero) di Indonesia, maka jaringan yang digunakan disebut *on-grid*. Angka daya listrik yang disalurkan (yang tercatat pada meteran) menjadi dasar untuk menghitung penjualan listrik dari PLTS, dimana penjualan tersebut diperoleh dengan mengalikan kuantitas listrik disalurkan yang tercatat pada meteran dengan FIT. Perlu menjadi catatan, bahwa meteran biasanya dipasang sedekat mungkin dengan jaringan (*on-grid*), sehingga sebuah PLTS perlu memperhatikan jarak antara area pembangkitnya dengan titik jaringan tempat meteran dipasang atau disebut *point of connection (POC)*. Semakin jauh jarak tersebut, semakin besar nilai investasi yang harus disediakan PLTS untuk membangun penghubung dari pembangkit ke POC dan semakin besar risiko “menguapnya” listrik yang sudah dihasilkan pembangkit selama perjalanan menuju POC. *Rule of thumb* untuk “penyusutan” atau “penguapan” listrik ini adalah sebesar 5% (jarak dari pembangkit ke POC sekitar 10 km).

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (2018) dalam bukunya yang berjudul Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya menerangkan bahwa PLTS PV adalah sistem pembangkit listrik energi terbarukan yang paling banyak dikembangkan oleh negara-negara di dunia karena memiliki keunggulan yang sudah diakui secara internasional, diantaranya adalah: (1) cukup banyak tersedia produsen (skala besar maupun kecil) yang dapat menyediakan produk berkualitas mulai dari panel surya, inverter, *electrical balance system, monitoring system*, hingga jasa konstruksi teknis dan pengadaan; (2) lini produk terkait PLTS yang terus berkembang; (3) sudah terdapat pengembangan protokol pengujian dan standar internasional yang berkelanjutan; (4) kecenderungan penurunan harga komponen utama (panel surya, inverter); (5) meningkatnya pemahaman teknis dari penyedia jasa; (6) berkembangnya permodelan yang dapat diandalkan dan jumlah sumber data tenaga matahari; dan (7) meningkatnya kepercayaan lembaga jasa keuangan internasional terhadap *bankability* dari proyek PLTS.

PLTS *on-grid* adalah sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan distribusi PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi dari panel surya untuk menghasilkan energi

listrik semaksimal mungkin. Dengan adanya sistem ini akan mengurangi tagihan listrik rumah tangga, dan memberikan nilai tambah pada pemilikinya. PLTS *on-grid* adalah sebuah sistem yang bekerja secara langsung di panel surya. Teknologi sistem ini tidak memakai baterai, dan listrik yang dihasilkan langsung digunakan untuk berbagai keperluan. Listrik yang dihasilkan adalah listrik AC sehingga sistem panel surya *on-grid* ini dapat diterapkan bersama-sama dengan jaringan distribusi PLN. Pembangkit listrik tenaga surya sistem *on-grid* ini cocok diterapkan di perumahan dengan memanfaatkan atap sebagai ruang untuk menyerap energi matahari. Sistem ini jika dipasang bersamaan dengan PLN akan mengurangi pengeluaran biaya listrik.

Penerapan sistem PLTS *on-grid* dapat dijalankan secara bersamaan dengan sistem kelistrikan PLN. Dalam sistem ini, jaringan listrik PLN berperan sebagai penyalur atau penghubung arus listrik yang berasal dari panel surya yang dialirkan pada beban. Pada siang hari, penggunaan listrik dapat memanfaatkan energi listrik dari sinar matahari dan pada malam hari karena tidak ada sinar matahari menyebabkan tidak ada produksi listrik dari solar panel, maka dapat menggunakan arus listrik yang berasal dari PLN. Untuk PLTS skala besar umumnya sistem PLTS disambungkan dengan jala-jala PLN di sisi Tegangan Menengah (TM) 20 Kv dengan menggunakan transformator step-up.

Keuntungan menggunakan sistem PLTS *on-grid* adalah sebagai berikut: (1) dengan sistem monitoring yang terintegrasi, dapat mengetahui listrik yang dihasilkan oleh PLTS dan memonitor penggunaannya; (2) mengurangi besarnya tagihan listrik dengan memproduksi sendiri tenaga listrik tanpa perlu khawatir dengan kenaikan tarif listrik PLN; (3) energi yang dihasilkan merupakan energi bersih dan ramah lingkungan karena bersumber dari matahari; (4) dengan memanfaatkan energi gratis dari matahari untuk menghasilkan energi Listrik yang dapat digunakan kapan dan dimana saja selama matahari menyinari tempat tersebut; (5) pembangunan sistem PLTS sangat cepat dibandingkan dengan pembangkit listrik yang lain, rata-rata 6 bulan sistem PV sudah dapat menghasilkan listrik; (6) sistem PLTS mudah dioperasikan sehingga tidak memerlukan ke-ahlian khusus untuk

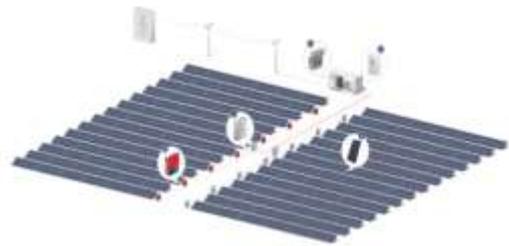
mengoperasikan sistem ini; (7) sistem pembangkit ini sangat praktis dan tidak memiliki komponen bergerak (motor), sehingga perawatan rutin sistem ini lebih mudah dibanding sistem pembangkit konvensional; (8) tidak menggunakan BBM baik bensin ataupun solar sehingga biaya operasional bulanan menjadi lebih murah; (9) komponen PV memiliki umur teknis yang cukup lama (25 tahun) sehingga sistem PLTS ini cukup beralasan (secara ekonomis) jika dibangun sebagai alternatif pembangkit listrik terbarukan.

Photovoltaik (PV) adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek fotovoltaiik.

Secara umum, mekanisme kerja sistem PLTS *on-grid* diawali dengan panel surya yang menangkap cahaya matahari menjadi energi listrik. Energi listrik dari rangkaian modul (*array*) dikumpulkan di *array junction box* yang didalamnya juga terdapat pengaman listrik DC. Dari *junction box*, listrik DC diubah menjadi listrik AC oleh *on-grid inverter*. *On-grid inverter* ini juga yang mengatur besaran tegangan dan arus dari modul surya agar terjadi energi *harvest* yang optimal. Energi listrik keluaran dari beberapa unit inverter dikumpulkan oleh blok konektor sekaligus pengaman AC switch-board/Panel Interkoneksi yang juga terhubung ke Panel distribusi eksisting. Agar dapat terhubung ke jaringan PLN maka diperlukan transformator untuk menyesuaikan tegangan keluaran inverter sehingga sama dengan tegangan jaringan PLN.



Gambar 7. Prinsip Kerja PLTS *on-grid*



Gambar 8. Ilustrasi PLTS Terkoneksi Jaringan Skala Besar (sumber: tmlenergy.co.id, 2018)

Spesifikasi umum peralatan utama PLTS dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Modul Surya

Modul surya yang tersusun dari sel-sel Polycrystalline Silicone yang dirangkai menjadi satu modul sehingga menghasilkan daya yang optimum.



Gambar 9. Modul Surya

2. String Combiner Box

String combiner box adalah panel sistem tegangan DC yang berisi switch pemisah dan fuse. Dilengkapi pula dengan Surge arrester pada kedua bus positif dan negatif untukantisipasi adanya lonjakan listrik. Merupakan pengumpul dari seluruh array sebelum diubah listriknya dari jenis DC menjadi AC oleh inverter.



Gambar 10. String Combiner Box



Gambar 13. Sistem Monitoring

3. Grid Inverter

Grid inverter merupakan peralatan yang berfungsi untuk merubah arus searah (DC) dari PV Array menjadi arus bolak-balik (AC) pada sisi beban/ grid. Grid Inverter terintegrasi dengan MPPT sehingga mampu mengonversi energi dari PV secara optimal. Keluaran listrik AC dapat berupa satu fasa atau tiga fasa.



Gambar 11. Grid Inverter

4. Panel Distribusi

Panel distribusi adalah interconnection box yang berfungsi sebagai penghubung antara output inverter, grid dan beban. AC Switchboard ditempatkan di outdoor, sedangkan panel distribusi pada indoor. Pada panel distribusi juga terdapat monitor tegangan, arus, frekuensi, daya, dan energi yang dihasilkan oleh PV dan disalurkan ke grid maupun ke beban.



Gambar 12. Panel Distribusi

5. Sistem Monitoring

Sistem monitoring merupakan sistem monitoring data energi yang dihasilkan oleh PV Array. Sistem monitoring menampilkan dan merekam data elektrik dan data meteorologi dari PLTS (seperti temperatur lingkungan dan radiasi matahari)

6. Sensor Meteorologi

Sensor meteorologi merupakan peralatan untuk mengumpulkan data meteorologi lingkungan di sekitar PLTS berupa temperatur dan radiasi matahari.



Gambar 14. Sensor Meteorologi

7. Kabel Photovoltaic (PV)

Kabel Photovoltaic (PV) dan kabel power disesuaikan dengan kebutuhan pembangkit, yang terdiri dari kabel DC dan AC.



Gambar 15. Kabel Photovoltaic

8. Grounding System

Grounding system adalah sistem pentanahan peralatan yang dibuat dengan menggunakan rod/ batang tembaga, berfungsi utama mendukung keselamatan dalam pengoperasian dan perawatan.



Gambar 16. Grounding System

9. Trafo Daya

Power transformer/trafo daya berfungsi mengubah level tegangan. Untuk sistem PLTS *on-grid*, diguna-kan trafo 380/20kV untuk dapat tersambung dengan jaringan tegangan menengah PLN 20 kV.



Gambar 17. Trafo Daya

Terkait dengan PLTS, telah banyak dilakukan penelitian oleh berbagai pihak, seperti dijelaskan sebagai berikut:

1. Naim dan Wardoyo (2017), melakukan penelitian dengan judul “Rancangan Sistem Kelistrikan PLTS On Grid 1500 Watt dengan Back Up Battery di Desa Timampu Kecamatan Towuti” menerangkan bahwa *Photovoltaic* (PV) yang digunakan adalah berjumlah 6 buah dengan kapasitas masing-masing 250 Wp, solar *charge controller* (teknologi MPPT yang efisien dalam pengisian *battery*) dengan kapasitas 1500 Watt, AKI basah sebanyak 2 x 100 Ah dan 2 x 60 Ah dikombinasi seri dan parallel dengan tegangan 24 Volt dan kapasitas muatan 160 Ah, inverter jenis *Pure Sine Wave* dengan kapasitas 1500 Watt dan kWh meter jenis piringan yang dapat bergerak atau berputar ke kiri dan ke kanan atau maju dan mundur.
2. Di samping mudah dioperasikan, bukan berarti PLTS tanpa kendala. Kumara (2010) melakukan penelitian yang berjudul “Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Urban dan Ketersediaannya di Indonesia” menemukan kendala utama PLTS adalah bahwa komponen utama dari PLTS masih harus import, meskipun komponen-komponen yang lain sudah tersedia di tanah air.
3. Dalam rangka pemanfaatan teknologi tenaga surya, Sihombing dan Kasim (2013) melakukan penelitian dengan judul “Perencanaan Sistem Penerangan Jalan Umum dan Taman di Areal Kampus USU dengan menggunakan Teknologi Tenaga Surya (Aplikasi di Areal Pendopo dan Lapangan Parkir)”, dengan bahan-bahan komponen panel surya yang terdiri dari modul surya, baterai charger, baterai, controller, dan lampu LED, menemukan bahwa: lampu penerangan jalan (PJU) dengan tenaga matahari berbasis LED jenis hi-power adalah sangat terang, hemat energi dan tahan lama; (2) penggunaan PJU tenaga surya sangat efisien jika dibanding dengan PJU yang bersumber dari listrik PLN; dan (3) perbandingan daya yang dikeluarkan PLN untuk penerangan umum adalah sebesar 76,66%, sedangkan dengan panel surya yang menggunakan baterai accu 12 Ah adalah sebesar 23,3%.
4. Agar dapat berfungsi secara optimal, PLTS perlu dirancang dengan baik. Dengan penelitian yang berjudul “Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP”, Ramadhan, Diniardi, dan Mukti (2016) membuat PLTS dengan kapasitas 50 WP, dengan bahan-bahan dan prosedur sebagai berikut: (1) alat yang digunakan adalah sel surya, untuk mengkonversikan radiasi sinar matahari menjadi energi listrik (proses *photovoltaic*); (2) agar energi surya dapat digunakan pada malam hari, maka pada siang hari energi listrik yang dihasilkan disimpan terlebih dahulu ke baterai yang dikontrol oleh regulator; (3) luaran regulator langsung dihubungkan dengan inverter untuk mengubah arus DC menjadi AC; (4) posisi *photovoltaic* dikendalikan secara otomatis, agar selalu menghadap matahari sehingga dapat menangkap pancaran matahari secara maksimal. Dengan bahan-bahan dan prosedur tersebut, penelitian menemukan bahwa daya keluaran rata-rata PLTS mencapai 38,24 Watt, dan arus yang diperoleh sebesar 2,49 A.
5. Berbeda dengan keempat penelitian di atas, Hikmawan dan Suprayitno (2018) melakukan penelitian yang berjudul “Bangun Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) menggunakan Solar Panel Berbasis Android”. Penelitian ini menghasilkan sebuah rancangan Alat Lampu Penerangan Jalan (PJU) yang dikontrol oleh Arduino serta menggunakan solar panel sebagai sumber tegangan dan sensor cahaya. Sensor cahaya akan bekerja dan membaca intensitas cahaya matahari. Saat siang hari sensor memberikan masukan pada arduino

sehingga lampu otomatis padam dan saat malam hari sensor memberikan masukan pada arduino sehingga lampu otomatis menyala. PJU juga dapat dikontrol dengan menggunakan Gadget Android melalui Modul bluetooth HC-05. Hasilnya Lampu otomatis menyala dan padam sesuai dengan pembacaan Sensor Cahaya dan komunikasi antara Mikrokontroler Arduino dengan Smartphone Android dengan bantuan Modul Bluetooth HC-05 dapat berfungsi dengan baik. Masalah yang terjadi pada alat ini adalah bahwa mikrokontroler Arduino hanya dapat menerima perintah dari Smartphone Android dengan jarak maksimal 15 meter saja. Oleh karena itu dibutuhkan solusi agar mikrokontroler dapat menerima perintah dari mana saja dan tidak terbatas oleh jarak dari smartphone android.

6. Dalam rangka meningkatkan kapasitas PLTS, Suriadi dan Syukri (2010) melakukan penelitian yang berjudul "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu menggunakan Software PVSYSY pada Kompleks Perumahan di Banda Aceh", menyarankan: (1) bahwa untuk perencanaan sebuah pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) pada perumahan perlu diperhatikan kapasitas masing-masing komponen PLTS; (2) perlu dilakukan perhitungan untuk kebutuhan distribusi listrik rumah tangga sebesar 26,927 kWh perharinya dengan menggunakan software PVsyst. Bahan-bahan yang digunakan adalah modul surya dengan kapasitas 200 Wp, baterai sebanyak 30 unit dengan kapasitas 100 Ah, baterai charge regulator (BCR) dengan kapasitas arus sebesar 500 A dan inverter dengan kapasitas daya 12 kW. Penelitian membuktikan bahwa sistem PLTS ini mampu melayani 10 rumah masing-masing dengan daya sambung 6 A.
7. Unjuk kerja inverter sebagai bagian penting dari PLTS juga perlu diketahui. Penelitian dengan judul "Analisis Produksi Energi dari Inverter pada Grid-connected PLTS 1 MWp di Desa Kayubih Kabupaten Bangli", dilakukan oleh Bagus Kumara, dan Ariastina (2017). Bagus, Kumara, dan Ariastina menganalisis Grid-connected PLTS 1 MWp Kayubih yang menggunakan 50 unit inverter dengan kapasitas masing-

masing 20 kW. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja inverter serta pengaruh posisi string array terhadap produksi energi PLTS. Analisis produksi energi di PLTS Kayubih dilakukan dengan memetakan persentase produksi energi dari setiap inverter, kemudian inverter dengan persentase produksi energi tertinggi dipilih sebagai acuan untuk menilai unjuk kerja dari 49 inverter yang lain. Analisis juga memperhatikan letak string array yang terhubung dengan inverter serta berdasarkan kondisi di lokasi PLTS terpasang. Penelitian menyimpulkan bahwa produksi energi tertinggi dihasilkan oleh inverter 44-E5 sebesar 17.827 kWh dan terendah adalah inverter 8-D3 sebesar 8.898 kWh. Inverter dengan produksi energi rata-rata tertinggi adalah inverter 44-E5 sebesar 72,47 kWh/hari dan terendah adalah inverter 11-C5 sebesar 39,26 kWh/hari.

PENUTUP

1. PLTS on-grid yang menggunakan modul surya dapat digabungkan dengan jaringan PLN sehingga menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi (solusi *Green Energi* bagi perkotaan);
2. Penerapan sistem PLTS on-grid yang diintegrasikan dengan sistem kelistrikan PLN sangat menguntungkan karena pada siang hari dapat memanfaatkan energi listrik dari sinar matahari dan pada malam hari dapat menggunakan energi listrik dari PLN;
3. Bangunan komersial atau fasilitas umum berukuran luas yang memiliki permukaan atap datar (tidak terhalangi dari cahaya matahari) merupakan tempat yang ideal untuk pengembangan fasilitas energi listrik tenaga surya (PLTS);
4. PLTS on-grid dapat diterapkan di perumahan/kantor (dengan sistem daya 1 fasa/220V) maka untuk: (1) sebuah PLTS dengan kapasitas 1300Wp perlu luas atap 8 m² dengan estimasi rata-rata daya yang dihasilkan sebesar 160 kWh/bulan; (2) kapasitas sistem 5500 Wp membutuhkan luas atap 32.5 m² yang akan menghasilkan 660 kWh/bulan; dan (3) skala besar (pabrik, gedung, hotel) yang memerlukan kapasitas 20 kWp, membutuhkan luas atap

- sekitar 130 m² dengan estimasi rata-rata daya 2400 kWh/bulan;
5. Lampu penerangan jalan (PJU) dengan tenaga matahari berbasis LED jenis hi-power menghasilkan PJU yang sangat terang, hemat energi dan tahan lama; (2) penggunaan PJU tenaga surya sangat efisien jika dibanding dengan PJU yang bersumber dari listrik PLN; dan (3) perbandingan daya yang dikeluarkan PLN untuk PJU adalah sebesar 76,66%, sedangkan dengan panel surya yang menggunakan baterai accu 12 Ah adalah sebesar 23,3%.
 6. Penelitian terkait dengan kinerja inverter menghasilkan temuan bahwa produksi energi tertinggi dihasilkan oleh inverter 44-E5 yaitu sebesar 17.827 kWh dan produksi energi terendah adalah inverter 8-D3 (8.898 kWh). Inverter dengan produksi energi rata-rata tertinggi adalah inverter 44-E5 yaitu sebesar 72,47 kWh/hari dan terendah adalah inverter 11-C5 yaitu sebesar 39,26 kWh/hari.
 7. Kendala utama pembangunan/pemanfaatan PLTS adalah bahwa komponen utama dari PLTS masih harus import, meskipun komponen-komponen yang lain sudah tersedia di tanah air.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad, K. (2005). *Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Penerapannya untuk Daerah Terpencil*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, BPP-Teknologi, Jakarta. Vol 1 (1), 1-34. ISSN: 1858-3075.
- Alifyanti, D. F. & Tambunan, M. .J. (tanpa tahun). *Pengaturan Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 1000 Watt*. Jurusan Teknik Elektro STT PLN. pp. 79-95. Vol 1.
- Boedoyo, M.S. (2012). *Potensi dan Peranan PLS sebagai Energi Alternatif Masa Depan di Indonesia*. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*. Vol 14(2), 146-152.
- Hasan, H. (2012). *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Saugi*. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRKT)* Vol 10(2), 169-180.
- Hikmawan, S.R & Suprayito, E.A. (2018). *Rancang bangun Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) Menggunakan Solar Panel Berbasis Android*. *ELINVO (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*. 3(1), 9-17. ISSN 2580-6424 (printed), ISSN 2477-2399 (online), DOI: 10.21831/elinvo.v3i1.15343.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2018). *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Jakarta: Kementerian ESDM.
- Kumara, N. S. (2010). *Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Urban dan Ketersediaannya di Indonesia*. *Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana*. pp. 68-75. Vol 9.
- Naim, M. & Wardoyo, S. (2017). *Rancangan Sistem Kelistrikan PLTS On Grid 1500 Watt dengan Back Up Battery di Desa Timampu Kecamatan Towuti*. *Teknik Mesin Akademi Teknik Sorowako*. ISSN: 2085-8817.
- Nathawibawa, A.A. N. B. B, Kumara, I. N. S dan Ariastina, W. G. (2017). *Analisis Produksi Energi dari Inverter pada Grid-connected PLTS 1 MWp di Desa Kayubihi Kabupaten Bangli*. *Jurnal Teknologi Elektro*, Vol. 16, No. 1, Januari-April 2017, pp-131-140.
- Otoritas Jasa Keuangan. (2016). *Pembiayaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Jakarta: LPEM FEB UI.
- Ramadhan, A. I., dkk. (2016). *Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP*. *Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*. 37(2), 59-63. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>.
- Sihombing, D.T.B. & Kasim, S. T. (2013). *Perencanaan Sistem Penerangan Jalan Umum dan Taman di Areal Kampus Usu dengan Menggunakan Teknologi Tenaga Surya (Aplikasi Pendopo dan Lapangan Parkir)*. Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Vol. 3. 2013, pp.118-123.
- Suriadi & Syukri, M. (2010). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu menggunakan Software PVSYST pada Kompleks Perumahan di Banda Aceh*. *Jurnal Rekayasa ElektriKa*. Vol 9 (2), 77-80.

TML Energy. Solar Energy Solution (2018).
Utility Scale Solar Photovoltaic (PV)
Power Plant 2 x 1 MWp in Maumere and
Ende, East Nusa Tenggara