PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA FOTOVOLTAIK SEBAGAI ENERGI BARU DAN TERBARUKAN PELUANG SERTA KENDALA

Ahmad Kurnia
Teknik Elektronika, Politeknik TEDC Bandung
Email: akurnia@poltektedc.ac.id

Abstrak
Energi Surya sebagai energi baru dan terbarukan (EBT) di Indonesia memiliki potensi besar, mencapai 4800 watt-jam/m^2 per hari karena geografis Indonesia di daerah tropis. Oleh sebab itu pemanfaatannya untuk pembangkitan listrik secara langsung dengan efek fotovoltaik yang ramah lingkungan mendapat perhatian besar dari pemerintah dan masyarakat. Tulisan ini mendeskripsikan perkembangan pemanfaatan energi surya fotovoltaik, prinsip kerjanya, efesiensinya serta bagaimana listrik fotovoltaik menjadi sumber energi yang semakin berkembang saat ini. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Fotovoltaik dunia tahun 1996 hanya 0,3 GWatt menjadi 303 GWatt di 2016, meningkat 1000 kali dalam 20 tahun. Effesiensi sistem fotovoltaik meningkat dari 6% tahun 1950-an, sekarang mencapai 20%. Di Indonesia tahun 2021 listrik fotovoltaik menyumbang 1,8% dari Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang terdiri dari energi hidro, panas-bumi, angin dan biomassa. Tahun 2025 ditargetkan menyumbang 22% dari EBT setelah mega proyek PLTS Bintan berkapasitas 3,5 GWatt beroperasi yang sebagian akan di ekspor. Energi surya fotovoltaik memiliki potensi besar dan signifikan untuk dijadikan sumber energi alternatif jangka panjang di masa depan dan dapat lebih effesien untuk ditransmisikan. Sedangkan kendala biaya operasional PLTS rumah tinggal direduksi dengan sinergi bersama jaringan listrik PLN dengan instalasi *On-Grid,* yang menghemat biaya baterai yang harganya masih tinggi disamping listrik dapat dikirim ke PLN.

Kata Kunci: Energi Baru Terbarukan, Energi Ramah Lingkungan, PLTS Fotovoltaik, *On-Grid*.

Abstract
Solar energy as new and renewable energy (NRE) in Indonesia has great potential, reaching 4800 watt-hours/m2 per day because Indonesia's geography is in the tropics. Therefore, its use for direct electricity generation with environmentally friendly photovoltaic effects has received great attention from the government and the public. This article describes the development of the use of photovoltaic solar energy, its working principles, efficiency and how photovoltaic electricity is becoming an energy source that is increasingly developing today. World photovoltaic solar power generation (PLTS) in 1996 was only 0.3 GWatt to 303 GWatt in 2016, an increase of 1000 times in 20 years. The efficiency of photovoltaic systems has increased from 6% in the 1950s, now reaching 20%. In Indonesia, in 2021, photovoltaic electricity will contribute 1.8% of New and Renewable Energy (EBT), which consists of hydro, geothermal, wind and biomass energy. In 2025, it is targeted to contribute 22% of EBT after the Bintan PLTS mega project with a capacity of 3.5 GWatt operates, part of which will be exported. Photovoltaic solar energy has large and significant potential to be used as a long-term alternative energy source in the future and can be transmitted more efficiently. Meanwhile, operational cost constraints for residential PLTS are reduced by synergy with the PLN electricity network with On-Grid installations, which saves the cost of batteries, which are still high in price, besides electricity can be sent to PLN.

Keywords: *Environmentally Friendly Energy, New Renewable Energy, Photovoltaic PLTS, On Grid.*

I. PENDAHULUAN

Matahari adalah sumber kehidupan, merupakan sumber energi bagi seluruh manusia dan makhluk lainnya di muka bumi ini. Selain menjadi sumber energi bagi sumber energi lainnya, energi surya berpotensi untuk dimanfaatkan secara langsung dan terus diupayakan sebagai sumber energi alternatif. Pemanfaatan energi surya untuk energi listrik secara garis besar dapat dilakukan dengan dua cara. Pertama secara termal dan kedua secara fotovoltaik. Kelebihan penggunaan energi surya:

1. Diperoleh secara gratis
2. Tidak menimbulkan polusi
3. Diperoleh dimana saja sesuai koordinat
4. Bersifat terbarukan dan tidak terhabiskan
5. Perawatan dan pemeliharaan Perangkat relatif lebih murah dan lebih mudah.

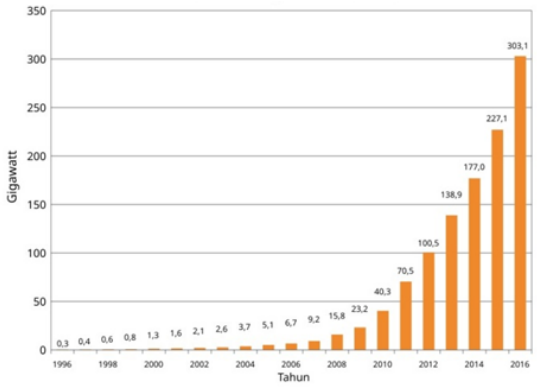
Saat ini total kebutuhan total energi di seluruh dunia mencapai sekitar 10 Terawatt atau 10.000 Gigawatt dalam setahun yang setara dengan $3x10^{20}$ Joule/tahun. Kebutuhan energi yang meningkat ini tidak sejalan dengan kebutuhan umat manusia untuk menciptakan lingkungan yang bersih dan bebas dari polusi. Untuk itu energi dari matahari menjadi solusinya. Energi dari Matahari yang secara baku disebut energi surya diharapkan dapat mengatasi permasalahan kebutuhan energi masa depan setelah berbagai sumber energi konvensional jumlahnya terus berkurang dan juga dampaknya tidak ramah terhadap lingkungan.

Di negara Indonesia, seiring dengan perkembangan penduduk, ekonomi, industri, dan pembangunan, maka kebutuhan energi listrik dari tahun ke tahun semakin meningkat. Data dari Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan

Konservasi Energi menyebutkan bahwa kapasitas sumber energi di Indonesia pada tahun 2016 adalah sebesar 70,96 Gigawatt (GW) atau jumlah energinya setara dengan 255,5 Terawatt-jam (TWh). Dari kapasitas energi tersebut, 35,36% energi berasal dari batu bara, 19,36% berasal dari gas bumi, 34,38% bersumber dari minyak bumi, dan sebesar 10,97% dari energi baru terbarukan. Pada tahun 2020 persentase energi terbarukan naik menjadi 13,21%. Selain itu data pada tahun 2023, penjualan listrik oleh PLN saja (diluar listrik mandiri dari energi baru dan terbarukan) telah mencapai 285,23 TWh.

Ketersediaan tenaga listrik dari PLN dengan pembangkitan Gaya Gerak Listrik (GGL) Induksi yakni pembangkitan listrik yang berasal dari perubahan dari energi kinetik untuk memutar turbin menjadi energi listrik secara GGL Induksi, sangat terbatas. Diantara sumber energi kinetik untuk pembangkitan listrik tersebut adalah air (gravitasi – PLTA), kemudian uap (diperoleh dari bahan baku batu-bara serta panas bumi - PLTU) dan uap hasil pemanasan nuklir (PLTN), kemudian mesin diesel (PLTD) serta tenaga/tiupan angin (PLTB – B = bayu) dan lainnya. Pemanfaatan tenaga air, khususnya di pulau Jawa, saat ini sudah mencapai titik maksimum. Sedangkan minyak bumi, gas serta batubara tersedia dalam jumlah terbatas dan sumber daya alam ini tidak dapat diperbarui. Tenaga nuklir untuk pembangkitan listrik sudah diwacanakan sejak tahun 1990-an tetapi belum juga terealisasi karena pertimbangan keselamatan dan dampak lingkungan. Selain itu penggunaan energi dari sumber daya alam tersebut juga berdampak negatif terhadap kelestarian lingkungan. Saat ini kebijaksanaan pengembangan teknologi harus berwawasan lingkungan, bahkan ditargetkan sepuluh tahun ke depan kendaraan listrik yang ramah lingkungan akan lebih banyak menghiasi jalan-jalan. Untuk tenaga listrik, salah satu sumber yang terus dikembangkan adalah pembangkit listrik selain GGL Induksi yang tidak memerlukan energi lainnya selain cahaya matahari–yakni pembangkitan listrik secara fotovoltaik, yang merubah energi foton cahaya langsung menjadi listrik oleh konfigurasi piranti semikonduktor, yang biasa disebut sel-surya fotovoltaik.

Secara global penggunaan sel surya fotovoltaik di dunia mengalami peningkatan yang luar biasa dan dramatis. Gambar 1 menunjukkan kapasitas energi listrik yang dibangkitkan secara fotovoltaik dari tahun 1996 sampai dengan 2016. Dalam jangka waktu 10 tahun dari 1996 sampai 2006 peningkatannya 22 kali dan dari 2006 sampai 2016 meningkat 45 kali lipat sehingga dalam 20 tahun tersebut kenaikannya mencapai 1000 kali.



Gambar 1. Kapasitas Kumulatif Fotovoltaik Dunia

Mengingat letak geografis indonesia yang berada di garis khatulistiwa dimana matahari bersinar sepanjang tahun, maka keputusan yang tepat dan bijak memanfaatkan energi surya yang melimpah untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia dan sebagai alternatif pengganti sumber listrik GGL induksi dari PLN. Intensitas radiasi matahari rata-rata di Indonesia adalah sekitar 4,8 kWh/m^2 per hari, energi yang sangat cukup untuk Pembangkitan Listrik secara Fotovoltaik atau PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) Fotovoltaik. Sistem PLTS ini memiliki kelebihan seperti modulnya mudah dipindahkan dan bebas polusi. Saat ini biaya pembangkitan listrik dan instalasi PLTS masih lebih tinggi dibandingkan dengan biaya pembangkitan listrik tenaga konvensional karena modul fotovoltaik masih impor. Walaupun demikian PT LEN sebagai BUMNIS di Bandung bersama anak perusahaannya telah mulai merakit dan membuat panel surya fotovoltaik. Sekarang ini memang pemanfaatan PLTS belum optimal, tetapi sudah cukup banyak dimanfaatkan pada perumahan yang sering disebut *Solar Home System (SHS)*, dengan penggunaan untuk pompa air, televisi, alat komunikasi dan lain-lain. Beberapa wilayah Indonesia khususnya di wilayah terpencil yang jauh dari jaringan listrik PLN, PLTS Fotovoltaik ini sangat dibutuhkan.

Sistem PLTS fotovoltaik adalah salah satu energi baru dan terbarukan yang untuk selanjutnya disebut EBT. Data dari Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) Kementrian ESDM yang diperoleh awal Januari 2022, diperoleh data bahwa kapasitas pembangkit listrik tenaga (PLT) energi baru terbarukan (PLT-EBT) tahun 2021 sudah mencapai 11.157 Megawatt. Kapasitas PLT EBT tersebut terdiri atas: Tenaga Air (PLTA) 6.601,9 MW, Tenaga Panas Bumi 2.276,9 MW, Bioenergi 1.920,4 MW, Tenaga Surya 200,1 MW, tenaga angin 154,3 MW, tenaga hibrida 3,6 MW. Terlihat bahwa energi terbarukan untuk pembangkitan listrik oleh energi surya masih kecil, hanya 1,8% dari total energi listrik dari energi baru dan terbarukan (PLT EBT).

II. LANDASAN TEORI

A. PLTS Fotovoltaik

Sudah sejak lama pemerintah Indonesia mengembangkan energi listrik terbarukan dari radiasi surya. Pengkajian ini dikembangkan sejak tahun 1980-an oleh BPPT dan oleh kampus seperti Departemen Teknik Fisika ITB. Hasil pengembangan tersebut mendapat perhatian pemerintah. Pada tahun 1986, hasil Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Fotovoltaik oleh BPPT diujicobakan di pedesaan, dan untuk pertama kali petinggi negara yakni Presiden Soeharto bersama Menristek B.J. Habibie meresmikan proyek PLTS untuk penggerak pompa air irigasi di desa Sukatani daerah Sukabumi. Saat itu wilayah ini jauh dari jangkauan jaringan listrik PLN .

Kemudian pada tanggal 3 Maret 1992 Presiden Soeharto kembali meresmikan proyek PLTS di desa Gondosari, Kecamatan Punung, Pacitan, Jawa Timur. Proyek energi surya yang dibangun oleh BPPT ini dipasang di 230 buah rumah di Kecamatan Punung untuk keperluan penerangan, radio dan televisi. Proyek yang sama telah dipasang di 12 kecamatan di seluruh Indonesia dengan jumlah unit seluruhnya sebanyak 3.000 unit. Unit-unit tersebut dipasang tanpa menggunakan jaringan transmisi ataupun jaringan distribusi. Disini Presiden Soeharto mengatakan bahwa salah satu tantangan besar yang kita hadapi dalam bidang kelistrikan adalah memenuhi kebutuhan masyarakat kita yang terpencar-pencar. Khusus untuk masyarakat pedesaan tantangan itu tidak mudah diatasi, karena masalahnya jauh lebih rumit. Kerumitan itu disebabkan oleh letak desa yang sangat terpencil. Namun, bagaimanapun kata presiden saat itu "*Kita harus berusaha memenuhi kebutuhan listrik rakyat kita. Tempat tinggal mereka di desa yang terpencil, tidak boleh menjadi alasan membiarkan mereka tidak berkesempatan menikmati tenaga listrik. Kita harus berikhtiar mencari jalan bagaimana menyediakan tenaga listrik bagi seluruh rakyat. Untuk itu kita harus mencari sumber daya energi yang mudah didapat di desa-desa, yaitu berupa energi mikro, energi biomassa, energi angin, dan energi surya".* (Dikutip dari buku "Jejak Langkah Pak Harto 21 Maret 1988 – 11 Maret 1993", hal 523-524, Penerbit PT. Citra Kharisma Bunda Jakarta Tahun 2003).

Perhatian Pemerintah terhadap program Energi Baru & Terbarukan (EBT) bidang kelistrikan tenaga surya berlanjut pada Pemerintahan Susilo Bambang Yudoyono (SBY). Di Desa Kubu Kecamatan Karangasem sekitar 150 km dari kota Denpasar adalah lokasi yang panas, suhu rata-rata 30^{o} C dan tanahnya yang kering menjadi tempat ideal untuk pembangunan PLTS. Pembangunan PLTS Kubu merupakan satu dari tiga proyek percontohan pembangkit listrik tenaga terbarukan pada era pemerintahan SBY. Dengan luas area 1,2 hektar dapat menghasilkan listrik 1 Megawatt-peak (MWp). Saat itu PLTS Kubu menjadi PLTS besar pertama yang mencapai satu juta watt dan menjadi PLTS terbesar di Indonesia di era itu. Pemerintah SBY menjadikan Kubu sebagai salah satu lokasi dari tiga PLTS pertama di Indonesia. Selain di Kubu Karangasem Bali, lokasi lainnya di bangun di Desa Kayubihi, Kabupaten Bangli juga di Bali dan di Labangka, Kabupaten Sumbawa Nusa Tenggara Barat (NTB). Tanggal 25 Februari 2013, Jero Wacik, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) saat itu meresmikan PLTS Kubu. Saat itu, Mentri ESDM menyatakan tiga PLTS di Bali dan Sumbawa berharap bisa menjadi proyek percontohan energi terbarukan di Indonesia (dikutip dari website Kementrian ESDM).

Pada Pemerintahan Presiden Jokowi, berlokasi di desa Oelpuah – Kupang Tengah, Nusa Tenggara Timur di bangun PLTS di area seluas 7,5 hektar dan menjadi PLTS terbesar di Indonesia saat itu yang menghasilkan listrik 5 MegaWatt-peak (Gambar 2). PLTS ini menerapkan konsep investasi mandiri oleh PT LEN dengan kandungan lokal lebih dari 69% dengan total sebanyak 22.008 buah Photovoltaic (PV) Modul dari industri strategis PT LEN Bandung. Pada tanggal 27 Desember 2015 Presiden Joko Widodo meresmikan proyek pembangunan IPP (*Independent Power Producer*) PLTS sebesar 5 MWp tersebut. Menurut Presiden *"Kami akan terus eksis mengembangkan konsep energi terbarukan dengan PLTS untuk memperkecil ketergantungan pada energi fosil dengan memanfaatkan semaksimal mungkin material yang tersedia di Indonesia".* Peresmian PLTS 5 MWp ini menjadi kampanye efektif bagi gerakan "G*o Green*" dan turut aktif mengurangi efek *global warming*. Menurut Dirut PT LEN, Abraham Mose dengan beroperasinya IPP PLTS ini cukup signifikan menghemat Biaya Pokok Penyediaan (BPP) listrik di daerah tersebut dibandingkan dengan menggunakan pembangkit bermesin diesel (PLTD) yang berbahan bakar minyak.



Gambar 2. PLTS Fotovoltaik Desa Oelpoeh, Kupang (Foto: Kompas/Kornelis Kewa Ama)

Baru-baru ini ada proyek yang lebih besar lagi dan pertama bukan saja di Indonesia tetapi juga di ASEAN yang diresmikan Presiden Jokowi tanggal 9 November 2023. Megaproyek tersebut adalah PLTS Terapung atau *Floating Solar Photovoltaic* di Cirata Jawa Barat (Gambar-3). Proyek PLTS Terapung ini

menjadi pembangkit listrik energi surya terapung terbesar di kawasan Asia Tenggara dan nomor 3 di dunia. Berkapasitas 192 *juta watt peak* (MWp) dengan luas 200 hektare, PLTS ini dibangun di atas Waduk Cirata yang berlokasi di tiga Kabupaten Jawa Barat, yakni Purwakarta, Cianjur, dan Bandung Barat. Pembangunan proyek ini sudah berjalan kurang-lebih selama tiga tahun dan merupakan bentuk kolaborasi global antara PT PLN (Persero) melalui *subholding* PLN Nusantara Power dan perusahaan asal Uni Emirat Arab (UEA), Masdar. PLTS Terapung Cirata menjadi etalase kerja sama global mewujudkan penurunan emisi dalam percepatan transisi energi menuju Net Zero Emissions (NZE) pada tahun 2060.



Gambar 3. PLTS Terapung Waduk Cirata di Jawa Barat

PLTS Terapung Cirata memiliki nilai investasi luar biasa yakni Rp 1,7 triliun. PLTS ini terdiri dari 13 pulau atau *array* di tengah-tengah waduk Cirata dengan lebih dari 340.000 panel surya. Rencananya, PLTS terapung ini itu akan mengalirkan listrik sekitar 245 juta kWh setiap tahunnya. Tarif listrik yang dipatok dari pembangkit PLTS ini dinilai cukup kompetitif dengan harga US$ 5,8 sen per kWh atau Rp. 900/kWh. PLTS terapung ini baru menggunakan sekitar 25% dari kapasitas, artinya masih bisa ditambah sampai 1000 Megawatt setiap tahunnya. Rencananya pasokan listrik akan dialirkan untuk 50.000 rumah tangga. PLTS ini dioperasikan oleh Pembangkitan Jawa Bali Masdar Solar Energi atau PMSE yang merupakan usaha patungan bentukan konsorsium cucu usaha PLN, PT PJB Investasi (PJBI) porsi saham 51% dengan perusahaan asal Uni Emirat Arab, Masdar porsi saham 49%. PLTS Terapung Cirata merupakan Proyek Strategis Nasional (PSN) yang memasok energi bersih untuk sistem kelistrikan wilayah Jawa Bali. Dengan kapasitas yang masif, PLTS Terapung Cirata tentunya akan membantu masyarakat mendapatkan pasokan listrik yang lebih hijau. Selain itu, proyek ini juga akan memberikan kontribusi penambahan bauran energi baru terbarukan (EBT) sebagai wujud komitmen dan kepedulian negara terhadap lingkungan serta keberlanjutan.

Informasi terbaru di bulan Agustus 2024, PT PLN melalui anak usahanya PLN Batam bersama PT Aruna Cahaya Pratama (Aruna PV) sukses mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *ground-mounted* (PLTS Darat) terbesar di Indonesia dengan kapasitas 100 Megawatt-*peak* (MWp) di Kawasan Industri Kota Bukit Indah (KBI), Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat. PLTS ini menjadi tonggak sejarah baru dalam upaya transisi energi Indonesia menuju masa depan yang lebih bersih dan berkelanjutan. PLTS ini berdiri di atas lahan dengan total luas 80 hektar ditargetkan mampu menghasilkan 150 GWh energi bersih per tahun yang setara dengan pengurangan emisi sebesar 118.725ton CO_2. Tentang PLTS ini, Direktur PLN mengatakan *"Listrik merupakan jantung perekonomian di Indonesia. Saat ini PLN tidak hanya mengalirkan listrik andal tapi juga berkomitmen memenuhi kebutuhan listrik hijau bagi industri di Tanah Air. Inilah wujud komitmen PLN kepada negara untuk menjadi pelopor dalam pemanfaatan sumber energi terbarukan (EBT) dan berkelanjutan".* PLTS ini telah mulai mendistribusikan listrik dan saat ini telah ada 244 pelanggan dengan beban puncak rata-rata pada hari kerja berkisar 126 Megawatt (MW). Sedangkan pada hari libur dan Sabtu-Minggu turun menjadi 70 MW.

Satu lagi super mega-proyek baru dan fenomenal di Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) di pulau Karimun Kepulauan Riau. Akan datang investor di sektor energi baru dan terbarukan, berupa megaproyek pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) Fotovoltaik berkapasitas 3,5 gigawatt (GW). Investasi PLTS ini dilakukan Anantara Energy Holdings Pte Ltd dan Quantum Power Asia. Kedua perusahaan tersebut telah menandatangani nota kesepahaman dengan *Countrywide Hydrogen* untuk mengkaji pembangunan PLTS di KEK Karimun yang investasinya mencapai USD 6 miliar (hampir 10 trilyun rupiah).

Proyek ini memiliki tujuan menyediakan energi bersih untuk memenuhi kebutuhan lokal dan sebagian lainnya energi listrik PLTS ini akan diekspor ke Singapura dengan kabel bawah laut 400 kV. Bila megaproyek ini sudah terealisasi, PLTS KEK Karimun akan menjadi pembangkit terbesar di dunia, karena saat ini yang terbesar di dunia adalah PLTS Bhadla Solar Park terletak di Rajasthan, India dengan kapasitas instalasi mencapai 2,245 GW.

B. Efek Fotovoltaik

Secara umum arti fotovoltaik adalah teknologi pengubahan energi dari radiasi sinar matahari menjadi energi listrik secara langsung. Sebenarnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ada dua jenis yakni PLTS Termal dan PLTS Fotovoltaik. PLTS Termal memakai sel surya termal dan PLTS Fotovoltaik memakai sel surya fotovoltaik. Dua jenis sel surya ini sangat berbeda baik dari segi fisiknya maupun prinsip kerjanya. Sel surya termal memanfaatkan panas dari cahaya matahari untuk memanaskan air menjadi uap bertekanan. Uap ini kemudian mengerakkan sudu atau turbin generator listrik. Jadi cara pembangkitan listriknya tidak langsung tapi dengan ***GGL -induksi***. Sedangkan

sel surya fotovoltaik memanfaatkan energi radiasi dari matahari yang menimpa bahan semikonduktor sehingga terjadi efek fotovoltaik dimana elektron pada semikonduktor terlepas dari ikatannya dan menimbulkan pengutuban elektron (muatan negatif) dan *hole* (lubang) yang ditinggalkan elektron (muatan positif). Jadi pembangkitan listrik fotovoltaik adalah secara langsung memanfaatkan radiasi matahari yang ditangkap oleh semikoduktor (sel-surya) menjadi listrik.

Panel surya fotovoltaik terdiri kumpulan sel surya yang disusun secara seri atau paralel dan disatukan menjadi modul surya. Perangkat atau Instalasi utama dari PLTS Fotovoltaik adalah baterai atau aki dan perangkat Inventer. Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi listrik apabila keluaran daya listrik dari modul surya mengalami penurunan atau tidak ada sama sekali seperti di saat malam hari yang tidak ada cahaya matahari. Sedangkan *Inverter* adalah untuk merubah tegangan keluaran modul surya yang keluarannya searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC), sehingga dapat digunakan untuk perlatan elektronik pada umumnya di rumah tangga yang menggunakan tegangan AC.

C. *Efesiensi Sel Fotovoltaik*

Efisiensi konversi sel fotovoltaik merupakan faktor yang terpenting dalam mendesain panel surya PLTS fotovoltaik. Efisiensi itu dihitung berdasarkan referensi radiasi matahari yang datang dan menumbuk permukaan sel. Dengan demikian, variasi efisiensi tersebut dapat berubah atas dasar radiasi yang datang, yaitu yang datang pada permukaan laut dan dinyatakan sebagai bilangan AM *(air mass)* = 1 dan di angkasa luar AM = 0. Standar daya radiasi yang datang persatuan luas dalam kondisi AM=1 adalah 1.000 W/m^2, sedangkan standard daya radiasi yang datang pada AM = 0 adalah 1.350 W/m^2. Persamaan umum dari efisiensi sel surya fotovoltaik adalah:

$$\eta = \frac{\textit{Output Daya opt. PV}}{\textit{Radiasi Surya diterima}} = \frac{V_{op} \,.\, I_{op}}{I_{rad} \,.\, A_P}$$

V_{op} dan I_{op} = tegangan dan arus optimal PV
I_{rad} = radiasi surya diterima panel (W/m^2)
A_P = Luas panel surya

III. METODE PENELITIAN

Panel surya hanya dapat mengubah 10% hingga maksimum sekitar 22% energi surya menjadi energi listrik fotovoltaik. Besarnya efesiensi ini tergantung pada faktor-faktor seperti pemasangan, orientasi, kondisi cuaca, dan bahan atau material fotovoltaik tersebut. Radiasi matahari yang dapat diubah oleh sistem panel surya menjadi energi listrik aktual disebut sebagai kinerja, dan hasilnya menentukan efisiensi panel surya. Panel surya diuji pada Kondisi Uji Standar (*STC-Standar Test Condition)* pada suhu 25°C dan iradiasi 1.000 W/m^2. Contoh panel surya fotovoltaik memiliki kapasitas 500 Watt-peak (Wp), ini adalah daya maksimum yang dihasilkan berdasar kondisi standar (STC) tersebut.

IV. PEMBAHASAN

A. Potensi Energi Surya

Melihat total energi matahari yang sampai di permukaan bumi besarnya,2,6 x 10^{24} Joule (atau 2,6 trilyun-trilyun joule) per-tahunnya, ini merupakan potensi energi luar biasa besar untuk dimanfaatkan. Saat ini total kebutuhan energi di seluruh dunia mencapai 10.000 GigaWatt setara dengan 3 x 10^{20} Joule/ tahun. Ini berarti kebutuhan energi dunia hanya 0,012 persen dari energi matahari yang diterima bumi. Atau energi matahari yang diterima oleh bumi setara 8000 lebih kebutuhan energi dunia. Khusus untuk energi listrik, Badan Energi Internasional dalam data dan statistik tahun 2021 menginformasikan bahwa energi listrik dunia meyumbang 22% dari total energi dunia. Dengan analogi sederhana kita lihat jumlah energi listrik yang dibutuhkan oleh dunia dibandingkan dengan energi matahari yang diterima permukaan bumi. Dapat diperhitungkan bila kita menyediakan luas daratan 49.600 km^2 (seluas pulau Madura) untuk dipasang sel surya fotovoltaik dengan efisiensi 20%, maka seluruh kebutuhan energi listrik yang ada di dunia sudah dapat terpenuhi tanpa memerlukan sumber energi lainya seperti energi fosil, batu-bara, nuklir, air dan lainnya.

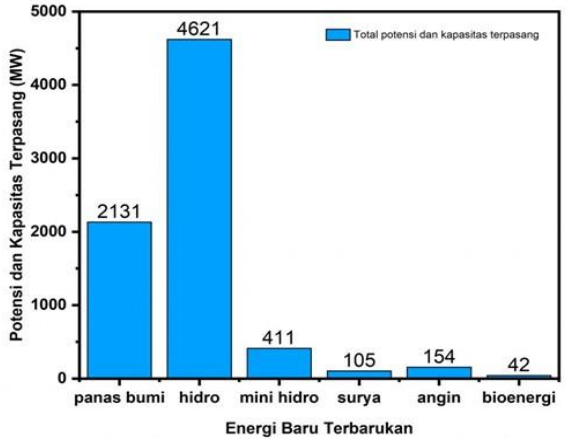
Kebutuhan energi di dunia terus meningkat, tetapi tidak sejalan dengan kebutuhan umat manusia untuk menciptakan lingkungan yang bersih dan bebas dari polusi. Untuk itu energi dari matahari menjadi solusinya. Energi Matahari diharapkan dapat mengatasi permasalahan kebutuhan energi masa depan setelah berbagai sumber energi konvensional berkurang jumlahnya serta tidak ramah terhadap lingkungan.

B. Prospek Energi Terbarukan

Saat ini Indonesia tidak lagi menyandang gelar negara berkembang, yang secara tidak langsung dituntut komitmennya untuk menyelesaikan krisis energi dan perubahan iklim. Pada pembukaan Presidensi G20, Desember 2021, ndonesia menyampaikan akan berfokus pada transisi menuju energi berkelanjutan. Transisi energi merupakan transformasi sektor energi global dari sistem produksi dan konsumsi energi berbasis fosil ke sumber energi terbarukan. Salah satu upaya untuk mendorong transisi energi berkelanjutan, Indonesia akan berfokus pada pengembangan EBT yang bersumber dari tenaga surya, hidro, angin, panas bumi, biomassa dan energi laut. Pemerintah Indonesia menetapkan target bauran EBTsebesar 23% pada 2025 dan 31% pada 2050

Sampai dengan akhir tahun 2021 kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik di Indonesia mencapai *74,53 GWatt dan energi yang berasal dari energi baru dan terbarukan (EBT) adalah 7,46 GWatt atau hanya 10%.* Berdasarkan Outlook

Energi Indonesia 2021 yang diterbitkan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), potensi dan kapasitas terpasang pembangkit EBT di Indonesia terbagi dari sumber energi panas bumi sebesar 2.131 MW, hidro sebesar 4.621 MW, mini hidro 411 MW, energi surya Fotovoltaik 105 MW, energi angin 154 MW, dan bioenergi sebesar 42 MW. Lihat Gambar 4 di bawah ini :



Gambar 4. Kapasitas Terpasang (MW) untuk Berbagai Sumber EBT Indonesia tahun 2021

Berdasrkan data di atas terlihat dari 7.464 MW EBT, energi surya fotovoltaik hanya menyumbang 105 MW atau 1,4 % dari total EBT. Dengan adanya investasi energi baru dan terbarukan di Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) di pulau Karimun perlu kita sambut dengan gembira. Pasalnya, Indonesia kini gencar mengembangkan potensi EBT. Apalagi telah ditetapkan target bauran EBT 23 persen pada 2025 dengan menambah kapasitas EBT sebanyak 10,6 GW melalui pembangkit EBT baru pada 2025. Nantinya total EBT menjadi 18 GW. Dari 10,6 GW penambahan kapasitas tersebut, sebanyak 1,4 GW merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), 3,1 GW Tenaga Air (PLTA), 1,1 GW Tenaga Mikrohidro (PLTM), 0,5 GW Tenaga Bayu (PLTB), 0,6 GW dan Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBio) dan 3,9 GW untuk Tenaga Surya Fotovoltaik (PLTS).

Jadi direncanakan pada tahun 2025 PLTS Fotovoltaik menjadi Pembangkit Listrik nomor ke-3 terbesar dalam EBT di Indonesia yakni 4 GW atau 22 % dari total EBT. Ada peningkatan prosentase 15 kali dari porsi tahun 2021. Ini karena adanya proyek pembangunan PLTS Bintan sebesar 3,5 GW. Nantinya PLTS Bintan ini akan menjadi PLTS terbesar di dunia (saat ini yang terbesar PLTS Bhadla Solar Park India, 2,25 GW). Produksi listrik dari PLTS ini direncanakan akan dijual (ekspor) ke Singapura. Ketika penulis mengikuti kegiatan *"Retooling"* beasiswa dari Kemenristek-Dikti untuk dosen Politeknik se Indonesia tentang kelistrikan di Batam tahun 2018; sempat dibahas mengenai rencana mega-proyek PLTS Bintan ini. Listrik dari PLTS ini akan diekspor ke Singapura karena sebenarnya kapasitas terpasang yang ada untuk pulau Batam sudah mencukupi, bahkan berlebih karena banyak industri yang tutup atau pindah ke daerah atau negara lain. Negara tetangga Singapura membutuhkan tambahan listrik ke depannya, dan yang dibutuhkan adalah energi listrik yang ramah lingkungan, dan disini Indonesia dengan kerjasama investor asing bergerak cepat untuk menyambutnya.

Menjadi pertanyaan, bagaimana cara mentransmisikan tegangan dari PLTS Bintan ke Singapura tersebut? karena tegangan dari PLTS fotovoltaik adalah DC (arus searah). Rencananya dilakukan dengan transmisi *High Voltage Direct Current* (HVDC) suatu cara transmisi yang sebelumnya belum pernah dilakukan di Indonesia (karena semua pembangkit listrik Indonesia dengan cara GGL induksi – tegangannya AC). Ada dua cara transmisi, dengan tegangan tinggi AC atau *High Voltage Alternating Current* (HVAC) yang berarti memakai *inverter* sebelumnya, atau transmisi dengan HVDC yang menggunakan listrik tegangan tinggi DC (arus searah) . Diwacanakan rencananya transmisi dengan sistem HVDC (tegangan DC) melalui kabel bawah laut. Ini bisa lebih ekonomis dari transmisi HVAC, karena kabel cukup 2 saluran (HVAC - 3 saluran), disamping itu tidak ada faktor daya akibat induktansi dan kapasitansi sehingga rugi-rugi daya ketika ditransmisikan menjadi lebih kecil.

C. Perkembangan Teknologi Sel Fotovoltaik

Pemanfaatan Energi surya untuk pembangkitan listrik secara fotovoltaik terus berkembang di dunia dan Indonesia. Pemerintah sejak orde baru terus mendukung dan penggunaan PLTS Fotovoltaik untuk mengurangi penggunaan batu-bara dan fosil yang mencemari lingkungan. Tahun 1986, presiden Soeharto meresmikan PLTS untuk pompa irigasi di Sukatani Sukabumi yang saat itu mendapat perhatian pers dengan pemberitaan yang menjadi *Headline* di beberapa surat khabar. Jurusan Teknik Fisika ITB yang memiliki konsentrasi studi konversi Energi menjadikan lokasi PLTS tersebut sebagai salah satu lokasi studi lapangan. Awalnya memang terkesan seperti proyek uji coba, proyek mercusuar dan lain-lain karena berbiaya mahal. Tetapi akhir-akhir ini proyek PLTS menjadi sesuatu yang urgen dan dibutuhkan serta bernilai ekonomis.

Bila kita lihat dari segi efesiensi, efesiensi panel surya sejak pertama diproduksi sampai sekarang mengalami peningkatan sekitar 3 sampai 4 kalinya. Efesiensi sel surya pertama berbahan silikon kristalin hanya 6%. Saat ini sel surya yang dibuat dengan material yang sempurna dengan teknologi thin-film dapat menghasilkan efesiensi 22%. Efisiensi maksimum teoritis adalah 33,7% yang merupakan hasil dari prinsip fisika berdasar teori energi foton. Sel surya berlapis-lapis dapat mencapai batas 33% di laboratorium, tetapi sulit untuk diproduksi massal karena sangat mahal dan biasanya digunakan untuk satelit dan perangkat lainnya yang terbatas.

Khusus untuk penggunaan rumah tinggal, kendala biaya dalam instalasi PLTS adalah baterai penyimpan energi. Hal ini dapat diantisipasi dengan instalasi *On-Grid* yang menghemat biaya baterai yang harganya saat ini masih tinggi. *On-Grid* adalah intalasi PLTS Fotovoltaik yang terkoneksi dengan jaringan PLN. Jadi ketika siang hari dapat memakai PLTS Fotovoltaik, dan malam hari dari jaringan PLN, sehingga tidak diperlukan baterai. Bahkan bila produk PLTS On-Grid ini di siang hari berlebih, bisa dikirim ke jaringan PLN dan akan "dibeli" oleh PLN seharga 65% tarif PLN.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) secara Fotovoltaik dunia mengalami peningkatan sampai 1000 kali dalam 20 tahun, dari 0,3 GWatt (1996) menjadi 303 GWatt (2016). Pemerintah Indonesia sejak era orde baru menaruh perhatian besar terhadap energi listrik ini sebagai bagian dari Energi Baru dan Terbarukan (EBT). Tahun 2021 listrik EBT Fotovoltaik Indonesia hanya menyumbang 1,8% dari total energi listrik EBT, dan terus meningkat, diproyeksikan tahun 2025 menjadi 22%.
2. PLTS Fotovoltaik awalnya terkesan proyek mercusuar karena berbiaya mahal, akhir-akhir ini PLTS bernilai ekonomis ditambah kelebihan ramah terhadap lingkungan. Efesiensi panel surya juga meningkat 4 kali dari awal diproduksi tahun 1950 dan saat ini effesiensinya mencapai 20%. Pembangunan PLTS Bintan di Kepulauan Riau Indonesia berkapasitas 3,5 GWatt akan menjadi PLTS terbesar di dunia dan sebagian listriknya akan dieskpor ke Singapura dengan teknologi transmisi *High Voltage Direct Current* (HVDC) dibawah laut. Teknologi ini lebih ekonomis karena cukup transmisi 2 saluran disamping rugi daya transimisi juga kecil karena tidak ada faktor daya.

B. Saran

1. Penggunaan PLTS fotovoltaik untuk rumah tinggal, kendala biaya operasional terutama batere penyimpan listrik dapat direduksi dengan instalasi *On-Grid* dengan jaringan listrik PLN. Bila produksi PLTS *On-Grid* di siang hari berlebih, dapat dikirim ke jaringan PLN dan akan dibeli (tepatnya disubsitusi) oleh PLN seharga 65% dari tariff PLN.

DAFTAR PUSTAKA

Aman Mostavan, Dr. Ing ; *"Konversi Energi Surya"* Diktat Kuliah TF-427 Teknik Energi Surya, Jurusan Teknik Fisika ITB , 1999

Brilliant Dwinata dkk, *Pemetaan Potensi Energi Listrik Tenaga Surya Berdasarkan Luas Area Permukiman, Proceeding* Seminar Nasional – XIX ITENAS, Bandung, 17-12-2020, ISSN 1693-3168

Dr.-Ing. Oo Abdul Rosyid, MSc (Perekayasa Ahli Utama – BRIN*), Perencanaan Pembangkit Tenaga Surya Overview Sistem PLTS Off-GRID*, Materi Diklat Kompetensi Teknis Perencanaan Pembangkit Listrik Aneka EBT, Cimahi, 28-29 Oktober 2022

Effendi Ryan, *Analisis Penggunaan Energi Surya Fotovoltaik Sebagai Sumber Energi Alternatif,* JUTIN: Jurnal Teknik Industri Terintegrasi Volume 6 Issue 4, 2023, Page 298-302 ISSN: 2620-8962 (Online)

Gede Widayana, *Pemanfaatan Energi Surya,* Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, JPTK, UNDIKSHA, Vol. 9, No. 1, Januari 2012: 37 – 46 ISSN 0216-3241 37

Hasrul Rahmat, *Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif,* Jurnal **SainETIn** (Sain, Energi, Teknologi & Industri), Vol. 5 No. 2, Juni 2021, pp. 79 – 87 ISSN 2548-6888 print, ISSN 2548-9445 online

Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) RI , *"Rencana Umum Energi Nasional"* Tahun 2022 .

Kurnia Ahmad, *"Intensitas Radiasi Surya untuk Pemanfaatan Secara Fotovoltaik*", Skripsi Jurusan Fisika FMIPA Unpad Bandung, 1990

Rahardjo Irawan dan Fitriana Ira, *"Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia"* Proposal BPPT Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, dan Energi Terbarukan.

Sol Wieder: *"An Introduction to Solar* Energi *for Scientist and Engineers"* Penerbit John Willey & Sons, USA, 1982

Tim Penulis Dokumentasi Presiden RI, *"Jejak Langkah Pak Harto 21 Maret 1988 – 11 Maret 1993",* Penerbit PT. Citra Kharisma Bunda Jakarta, 2003

Unggul Wibawa, Andy Darmawan, *Penerapan Sistem Photovoltaik sebagai Suplai Daya Listrik Beban Pertamanan,* Jurnal EECCIS Vol. II, No. 1, Juni 2008

USAID-Kementrian ESDM: *Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia,* Indonesia Clean Energi Development, Juni 2020, Materi Pelatihan EBT BMTI – Kemenristek-Dikti, Okt-Nov 2022

Qosim Muchamad dkk, *Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid di Gedung STT-PLN Jakarta,* Jurnal Ilmiah: Energi dan Kelistrikan: Vol. 11, No. 1, Januari - Juni 2019, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042.