

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

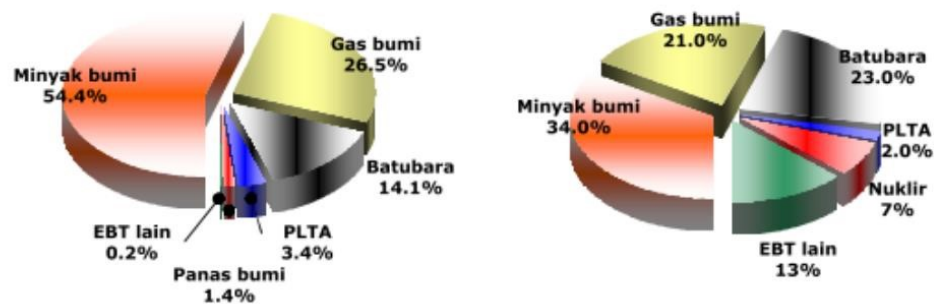
PLTS adalah suatu pembangkit listrik terbarukan yang mana pembangkit listrik ini memanfaatkan tenaga surya (Matahari) sebagai bahan utamanya. PLTS bekerja merubah panas matahari menggunakan sel surya yang terdapat pada PV (*photovoltaic*) yang mengubah radiasi foton menjadi energi listrik. Pada saat cuaca mendung PLTS masih tetap menghasilkan energi selama masih ada Cahaya yang menyinari PV tersebut.

PLTS ini juga terdapat beberapa jenis dengan perbedaan fungsi serta komponen komponennya. PLTS OnGrid merupakan merupakan system yang terkoneksi dengan PLN langsung, energi yang dihasilkan oleh PLTS ongrid ini dapat langsung di gunakan ke beban dan selebihnya akan disambungkan langsung ke PLN. Konsep PLTS Offgrid, berbeda dengan PLTS ongrid, dimana PLTS Offgrid tidak terkoneksi dengan PLN atau beroperasi secara independent dengan memanfaatkan seluruh komponen PLTS tanpa terkoneksi dengan PLN berbantuan baterai disesuaikan dengan *Wattpeak* yang digunakan sehingga seluruh pasokan energi disediakan oleh system plts dari pagi sampai malam.

2.2 Energi

Energi merupakan sesuatu yang tidak bisa di lihat oleh kasat mata, namun keberadaan energi ini sangat penting karena meskipun tidak dapat di lihat, namun dapat dirasakan dan sangat mempunyai kebermanfaatan yang mutlak untuk seluruh umat yang berada di bumi.

Pasokan energi yang ada di Indonesia akan semakin meningkat setiap harinya karena factor penduduk yang memang terus bertambah yang juga berpengaruh terhadap pertumbuhan dan pola konsumsi energi yang akan terus meningkat. Akan tetapi, energi fosil sebagai energi yang sering dipakai di kehidupan sehari-hari semakin lama akan mengalami deplesi, oleh karena itu diperlukan suatu inovasi sehingga ketersediaan energi akan tetap ada dan bahkan berlipat ganda. Bisa dilihat pada gambar 2.1 dijelaskan tentang kebutuhan energi sejak 2005, namun pada gambar 2.1 menjelaskan tentang kebutuhan energi hingga tahun 2025 mendatang. (Daryano 2007)



Gambar 2.1 Energi Mix di Indonesia dan Dunia tahun 2005-2025

2.3 Energi Baru Terbarukan (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

Indonesia memiliki potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang cukup besar, diantaranya mini/mikro hydro adalah sebesar 450MW, biomas 50GW, Energi surya 4.80kWh/h, Energi angin 3-6 m/det dan energi nuklir 3 GW. Data potensi EBT terbaru disampaikan direktur Energi baru terbarukan dan konservasi energi dalam acara *Focus grup Discussion* tentang *Supply Demand* Energi baru terbarukan yang belum lama ini diselenggarakan Pusdatin ESDM. (Kesdm, 2008)

Berbeda dengan energi fosil yang terus dipakai dan sewaktu waktu akan habis atau mengalami deplesi, Energi baru terbarukan justru tidak akan habis dan tidak terbatas karena Energi terbarukan ini berasal dari alam dengan jumlah yang banyak atau tidak terbatas, Adapun keunggulan dari Energi Baru terbarukan ini bersifat ramah lingkungan dapat mengurangi pemanasan global (Global Warming) dan dapat mengurangi emisi gas karbon dioksida.

Penggunaan energi di Indonesia masih di dominasi oleh penggunaan energi tak terbarukan yang berasal dari fosil, khususnya minyak bumi dan batu bara¹, namun seiring berjalannya waktu, ketersediaan energi fosil semakin menipis dan untuk mengantisipasinya energi baru terbarukan (EBT) merupakan alternatif terbaik². Penggunaan energi baru dan terbarukan harus menjadi perhatian utama pemerintah Indonesia tidak hanya sebagai upaya untuk mengurangi pemakaian energi fosil melainkan juga untuk mewujudkan energi bersih atau ramah lingkungan. (Azhar & Satriawan, 2018).

Dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) (Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional, 2017), acuan indikasi rencana pengembangan surya per provinsi berdasarkan konsumsi listrik provinsi per kapita dan ketersediaan potensi surya per provinsi. Adapun potensi tenaga surya secara nasional mencapai 4,8 kWh/m² /hari atau setara dengan 207.898 MW dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Potensi Teknis Surya					
No.	Provinsi	Potensi (MW)	No.	Provinsi	Potensi (MW)
1	Kalimantan Barat	20.113	18	Sumatera Barat	5.898
2	Sumatra Selatan	17.233	19	Kalimantan Utara	4.643
3	Kalimantan Timur	13.479	20	Sulawesi Tenggara	3.917
4	Sumatera Utara	11.851	21	Bengkulu	3.475
5	Jawa Timur	10.335	22	Maluku Utara	3.036
6	Nusa Tenggara Barat	9.931	23	Bangka Belitung	2.810
7	Jawa Barat	9.099	24	Banten	2.461
8	Jambi	8.847	25	Lampung	2.238
9	Jawa Tengah	8.753	26	Sulawesi Utara	2.113
10	Kalimantan Tengah	8.459	27	Papua	2.035
11	Aceh	7.881	28	Maluku	2.020
12	Kepulauan Riau	7.763	29	Sulawesi Barat	1.677
13	Sulawesi Selatan	7.588	30	Bali	1.254
14	Nusa Tenggara Timur	7.272	31	Gorontalo	1.218
15	Papua Barat	6.307	32	DI Yogyakarta	996
16	Sulawesi Tengah	6.187	33	Riau	753
17	Kalimantan Selatan	6.031	34	DKI Jakarta	225
Total					207.898

Gambar 2.2 Tabel Potensi Teknis Surya

(Azhar & Satriawan, 2018).

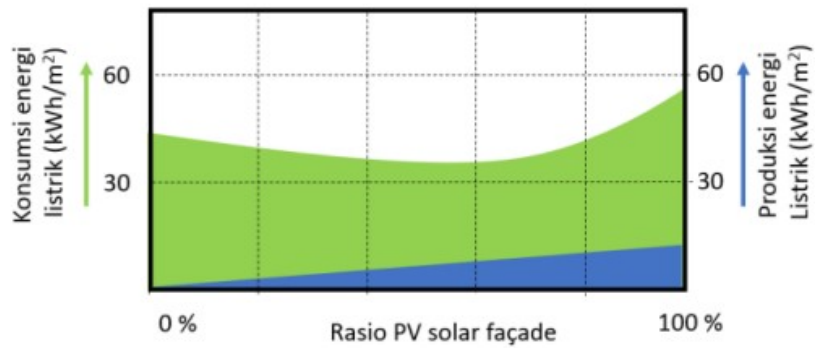
PT PLN Persero sebagai satu satunya perusahaan milik negara yang diberikan mandat yaitu untuk mengelola ketenagalistrikan. Penyediaan listrik dari mulai hulu sampai dengan hilir merupakan tanggung jawab dari PT PLN persero sebagai perusahaan yang mengelola ketenagalistrikan yang juga termasuk kedalam pengembangan pembangkit listrik jenis fosil maupun EBT Dalam (Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1567K/21/MEM/2018 Tentang Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero) Tahun 2018 s.d. 2027, 2018), rencana pengembangan pembangkit berbasis EBT terlihat pada Gambar 2.3.

Rencana Pengembangan EBT													
No.	Pembangkit EBT	Kap.	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	Total
1	Panas Bumi	MW	190	151	147	455	245	415	2.759	45	145	55	4.607
2	PLTA	MW	154	326	755	-	182	1.484	3.047	129	466	1.467	8.010
3	PLTM	MW	140	39	479	200	168	232	27	20	20	10	1.335
4	PLTS	MWp	63	78	219	129	160	4	250	-	2	2	907
5	Angin	MW	-	-	30	360	260	50	150	-	-	5	855
6	PLT Biomass/Sampah	MW	12	139	60	357	50	103	19	5	15	35	795
7	Laut	MW	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	7
8	Biofuel	Ribu KL	520	487	290	167	151	146	154	159	166	175	2.415
Total		MW	560	933	1.697	1.501	1.065	2.287	6.251	199	648	1.574	16.715
Sumber : Keputusan Menteri ESDM No. 39K/20/MEM/2019 tentang Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) 2019-2028													

Gambar 2.3 Rencana Pengembangan EBT

2.4 PLTS BIPV (Building Integrated PhotoVoltaic) Dan Rooftop

Inovasi perubahan energi terus dilakukan, munculnya alternatif-alternatif energi yang mampu menyuplai dengan baik, dan tidak habis serta berdampak baik terhadap lingkungan merupakan sebuah teknologi inovasi sumber energi yang paling banyak didambakan oleh semua orang. BIPV merupakan sistem pembangkit energi baru terbarukan pembangkit fotovoltaiac yang secara sekaligus menjadi struktur bangunan yang terintegrasi dan esensial sehingga dapat membangkitkan energi sekaligus menjadi bagian dari suatu bangunan. *Solar façade* merupakan sebuah sistem PV terintegrasi pada kaca bangunan dan memanfaatkan energi surya menjadi energi listrik. Selain dari menghasilkan listrik, *solar façade* juga melindungi tubuh bangunan dari silau dan panas matahari. Desain sistem PV terintegrasi pada kaca mengikuti dengan estetika dari bangunan yang ditunjukkan pada 2.4 dan Gambar 2.5 .(Friansa et al., 2019)



Gambar 2.4 Ilustrasi hubungan rasio PV solar façade dengan konsumsi dan produksi energi listrik pada sudut kemiringan 90°



Gambar 2.5 Penerapan BIPV pada bangunan Ilustrasi *Building Integrated Photovoltaics* atau BIPV.
(Foto: maysunsolar)

2.4.1 BIPV Façade

Merupakan jenis BIPV yang diterapkan pada dinding bangunan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Façade bangunan secara konvensional terbuat dari dinding, kaca, kelongsong, dan fenetrasi dan struktur lain seperti perangkat peneduh, tembok pembatas dan balkon. Masingmasing komponen bangunan ini menyediakan peluang untuk mengintegrasikan PV ke gedung dan dengan ekstensi. Untuk kustomisasi fasad, aplikasi BIPV façade II-19 utama yang diekstraksi dari

literature termasuk dinding tirai, kaca, perangkat eksternal/peneduh, dan aplikasi inovatif.



Gambar 2.6 BIPV Façade

2.4.2 BIPV Windows

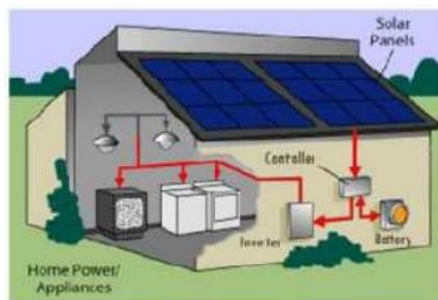
Jenis daripada PV ini adalah integrasi antara sel surya dengan jendela seperti pada Gambar 2.7, yang mana dalam hal teknisnya panel surya menyatu dengan jendela pada Gedung atau suatu rumah, tergantung kepada objek penerapannya BIPV ini mampu menghasilkan listrik serta mengurangi Cahaya ultraviolet dan radiasi inframerah dan juga penerapan BIPV bisa menghemat lahan, karena dari segi pemasangannya itu satu tubuh dengan bangunan atau dengan jendela jendela yang ada. Dan juga, Sel sel BIPV di klasifikasikan berdasarkan modul surya silicon dan non silicon. Di masa sekarang, BIPV secara luas di terapkan dalam pembangunan pembangunan pada Gedung baru. Selain daripada ramah lingkungan, terbarukan namun BIPV juga bisa menekan biaya bahan kontruksi secara signifikan, berkurang karena material PV di dalamnya.



Gambar 2.7 BIPV Windows

2.4.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop

Pembangkit Listrik Tenaga surya Rooftop adalah suatu pembangkit melalui panel surya dengan konsep di tempatkan pada atap suatu bangunan yang nanti nya akan di gunakan untuk mensuplai beban ditunjukan pada Gambar 2.8. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) merupakan teknologi ramah lingkungan yang memanfaatkan energi sel surya photovoltaik dan dapat mengkonversi energi cahaya yang dipancarkan oleh matahari menjadi energi listrik. Potensi pengembangan PLTS di Indonesia sangat menjanjikan dilihat dari letak geografis Indonesia yang berada pada garis khatulistiwa. Posisi ini menyebabkan ketersediaan sinar matahari hampir sepanjang tahun di seluruh wilayah Indonesia kecuali pada musim hujan dan saat awan tebal menghalangi sinar matahari (Islamy & Sudrajad, n.d.)(Islamy & Sudrajad, n.d.)



Gambar 2.8 design PLTS Atap secara umum

2.5 Regulasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Minimnya pemanfaatan EBT khususnya PLTS salah satunya dikarenakan masih relative tingginya harga produksi serta komponen komponen lainnya, sehingga menyebabkan sulitnya bersaing dengan pembangkit fosil terutama batu bara. Selain daripada itu kurangnya dukungan industri dalam negeri, sulitnya mendapatkan pendanaan dengan bunga rendah juga menjadi factor terhambatnya pengembangan Energi Baru Terbarukan. Oleh karena itu pemerintah telah menetapkan beberapa regulasi tentang Energi Baru Terbarukan, di antaranya :

1. Peraturan Presiden No. 4 Tahun 2016 Pasal 16 tentang percepatan infrastruktur ketenagalistrikan, mengamanatkan bahwa pelaksanaan percepatan infrastruktur ketenagalistrikan mengutamakan pemanfaatan energi baru dan terbarukan. Pemerintah dan/atau pemerintah daerah dapat memberikan dukungan berupa pemberian insentif fiskal, kemudahan perizinan dan nonperizinan, penetapan harga beli tenaga listrik dari masing msing jenis sumber energi baru dan terbarukan, pembentukan badan usaha tersendiri dalam rangka penyediaan tenaga listrik untuk dijual ke PT. PLN (Persero) dan/atau penyediaan subsidi.
2. (Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 50 Tahun 2017 Tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik, 2017)
3. (Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 38 Tahun 2016 Tentang Percepatan Elektrifikasi Di Perdesaan Belum Berkembang, Terpencil, Perbatasan, Dan Pulau Kecil Berpenduduk Melalui Pelaksanaan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik, 2016)

4. Peraturan Menteri ESDM no. 49 Tahun 2017 merupakan penyempurnaan atas Permen ESDM No. 10 Tahun 2017 tentang pokok-pokok dalam perjanjian jual beli tenaga listrik
5. Peraturan menteri ESDM No. 50 Tahun 2017 merupakan revisi dari Permen ESDM No.12 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik, yang diterbitkan dalam rangka mewujudkan iklim usaha makin baik dengan tetap mendorong praktik efisiensi serta mewujudkan harga listrik yang wajar dan terjangkau.
6. . Peraturan Menteri ESDM No.49 Tahun 2018 tentang penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga surya atap oleh konsumen PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN)
7. Kementrian ESDM menerbitkan peraturan menteri nomor 4 tahun 2020 tentang pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik.

2.6 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS Adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Panel surya merupakan alat yang digunakan untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik, yang mana panel surya merupakan komponen penting dalam Pembangkit listrik Tenaga Surya ini karena panel surya memiliki tugas untuk mentransformasikan energi matahari menjadi energi listrik melalui sel sel yang terdapat pada panel surya yang mana terdapat lapisan lapisan tipis berbahan semi konduktor silikon (si) murni dan bahan silikon lainnya.

Namun, PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC, yang dapat di ubah menjadi listrik AC apabila diperlukan. PLTS tetap dapat

menghasilkan listrik dalam cuaca mendung selama masih terdapat cahaya.(V.A.R.Barao et al., 2022).

Jadi pada dasarnya, apabila permukaan sel surya terkena cahaya maka dihasilkan pasangan electron dan *hole*. Nantinya, electron akan meninggalkan sel surya dan akan mengalir pada rangkaian luar sehingga nantinya menimbulkan arus listrik. Namun arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya dapat langsung digunakan dan disambungkan ke beban dengan terkoneksi dengan PLN langsung maupun di simpan terlebih dahulu di baterai atau yang selanjutnya biasa dikenal dengan PLTS *On grid* dan PLTS *Off Grid*. Prinsip kerja sel surya adalah sebagai berikut: Cahaya yang jatuh pada sel surya menghasilkan elektron yang bermuatan positif dan hole yang bermuatan negatif kemudian elektron dan hole mengalir membentuk arus listrik. Prinsip ini dikenal sebagai prinsip photoelectric.(Ilham Lubis, 2018).

Fotovoltaik (biasanya disebut sel surya) adalah piranti semi konduktor yang dapat merubah Cahaya secara langsung menjadi arus listrik searah dengan menggunakan silicon (si) yang tipis Sebuah kristal silindris Si diperoleh dengan cara memanaskan Si itu dengan tekanan yang diatur sehingga Si itu berubah menjadi penghantar.(Perancangan et al., n.d.)

Pada dasarnya sel surya fotovoltaik merupakan suatu diode semi konduktor yang memang bekerja dalam proses tak seimbang dan juga berdasarkan efek fotovoltaik, Sehingga pa proses tersebut ,menghasilkan tegangan yang mana tegangan yang dihasilkan tergantung dar intensitas cahaya dan kepada jenis zat semikonduktor yang dipakai. Sementara itu intensitas energi yang terkandung dalam sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi besarnya sekitar 1000 Watt. Tapi karena daya guna konversi energi radiasi menja-di energi listrik berdasarkan

efek fotovol-taik baru mencapai 25%, maka produksi listrik maksimal yang dihasilkan sel surya baru mencapai 250 Watt per m². (Perancangan et al., n.d.)

Untuk menentukan luas area energi panel surya dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) ditunjukkan dalam persamaan berikut :

$$PV_{area} = \frac{E_L}{G_{av} \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{sistem}} \quad (2.1)$$

Dimana :

PV_{area} = Luas area array (m²)

E_L = Pemakaian energi (KwH/hari)

G_{av} = Radiasi matahari rata-rata harian (KwH/hari)

η_{vp} = Efisiensi panel surya (%)

TCF = Faktor koreksi suhu

η_{sistem} = Efisiensi sistem (%)

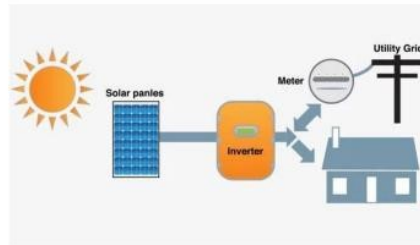
(Kariongan et al., 2022)

Ada 2 (dua) jenis PV yang banyak menonjol dan biasanya digunakan untuk PV mini-grid, yaitu jenis crystalline silicon dan slim movie. Jenis silikon kristal ini terbuat dari produk silikon. Sedangkan film tipis sebagian besar terbuat dari bahan kimia. Ada 2 (dua) macam kristal, yaitu monokristalin (Nomor) dan polikristalin (Nomor). Masing- masing jenis memiliki efektivitas yang berbeda-beda, khususnya monokristalin 14-16%, polikristalin 13-15%. Kerangka PV Crystalline dan PV Slim Movie.(Moch. Rasid Jaelani et al., 2022)

2.7 Pembangkit Listrik Tenaga Surya OnGrid

Pembangkit Listrik Tenaga Surya khususnya jenis OnGrid adalah suatu sistem yang dirancang untuk pembangkitan listriknya tidak memakai baterai dan langsung terintegrasi dengan Grid PLN seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9.

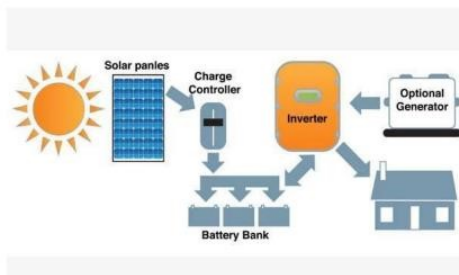
Sistem ini merupakan sistem yang cukup sederhana dalam segi material diperlukan PV sebagai pembangkit energi dan inverter yang mengubah tegangan DC menjadi AC yang terhubung ke jaringan PLN. (Sugirianta et al., 2019)



Gambar 2.9 Skema Konfigurasi PLTS On – Grid

2.8 Pembangkit Listrik Tenaga Surya OffGrid

Berbeda dengan PLTS OnGrid, PLTS OffGrid ini merupakan sistem PLTS yang dalam hal teknisnya memerlukan baterai untuk penampungan daya yang dihasilkan dari panel surya tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10, dan untuk kegunaanya biasanya digunakan untuk backup daya seperti malam hari. (Sugirianta et al., 2019)

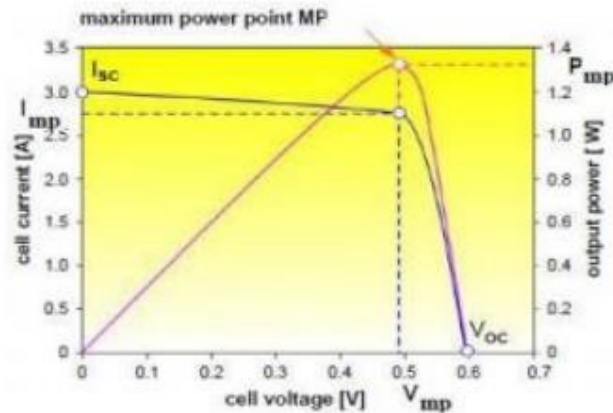


Gambar 2.10 Skema Konfigurasi PLTS Off – Grid

2.9 Komponen Penyusun PLTS

Dalam penyusunan PLTS diperlukan beberapa komponen dan juga karakteristik PLTS diantaranya sebagai berikut :

Sel surya memiliki kurva yang menunjukkan hubungan antara arus dengan tegangan keluaran dan daya dengan tegangan keluaran sel surya. Pada saat berada pada titik kerja maksimal, maka daya keluaran yang dihasilkan akan maksimal,



Gambar 2.11 Kurva Karakteristik I-V Fotovoltaik

(Roza & Mujirudin, 2019)

Pada gambar 2.11 menunjukkan kurva tegangan dan arus keluaran yang didapat dari fotovoltaik ketika tidak dibebani secara langsung. Ketika sel dalam kondisi short circuit, arus maksimum (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi open circuit tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangan maksimum (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut maximum power point (MPP). Karakter penting lainnya dari sel surya yaitu fill factor (FF), dengan persamaan:

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (2.2)$$

Dengan menggunakan fill factor maka maksimum daya dari sel surya bisa didapat dengan persamaan:

$$P_{Max} = V_{OC} \times I_{SC} \times FF \quad (2.3)$$

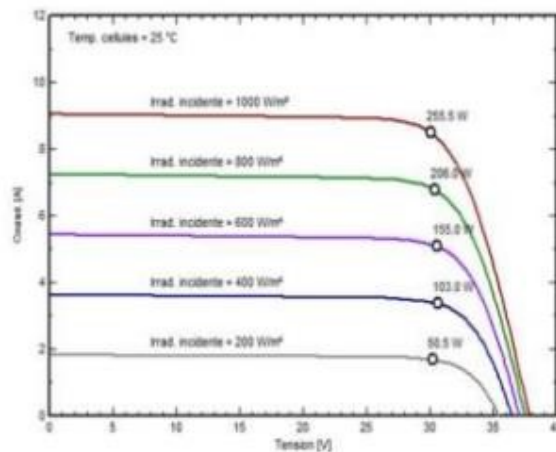
Sehingga untuk mendapatkan efisiensi sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel ($P_{elektrik}$) dibagi dengan daya dari cahaya matahari (P_{cahaya}):

$$\eta = \frac{P_{elektrik}}{P_{cahaya}} \quad (2.4)$$

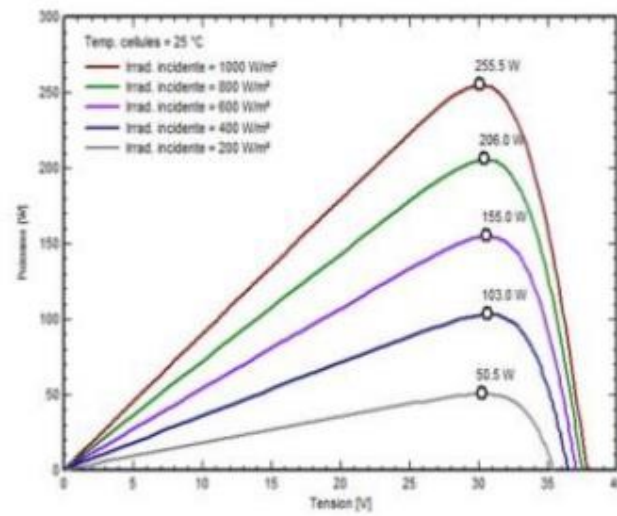
$$\eta = \frac{V \times I}{A \times S_T} \quad (2.5)$$

Dimana A pada satuan diatas adalah luas penampang fotovoltaik (m^2) dan S_T adalah radiasi matahari (W/m^2).

Karakteristik keluaran Daya, Tegangan dan Arus pada modul surya jenis Monocrystalline dengan modul PV SolarWord, Sunmodule SW 255 mono ditunjukkan pada gambar 2.11 dan 2.12

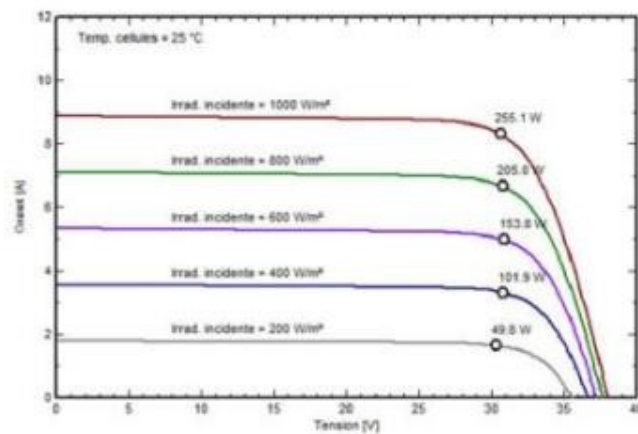


Gambar 2.12 Karakteristik I-V Modul Monocrystalline

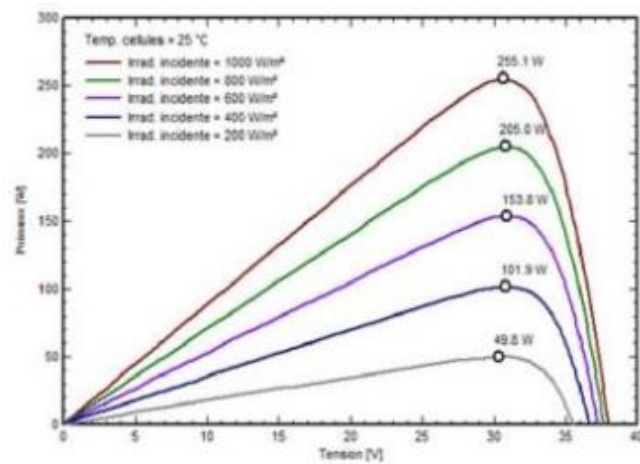


Gambar 2.13 Karakteristik P-V Modul Monocrystalline

Karakteristik keluaran Daya, Tegangan dan Arus pada modul surya jenis Polycrystalline dengan modul PV SolarWord, Sunmodule SW 255 poly ditunjukkan pada gambar 2.13 dan 2.14.



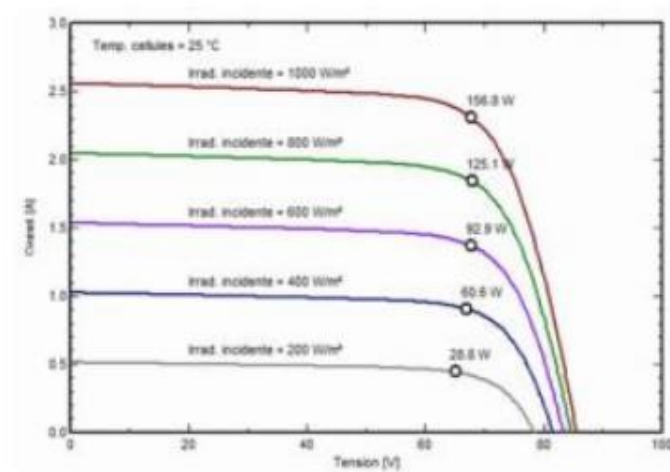
Gambar 2.14 Karakteristik I-V Modul Polycrystalline



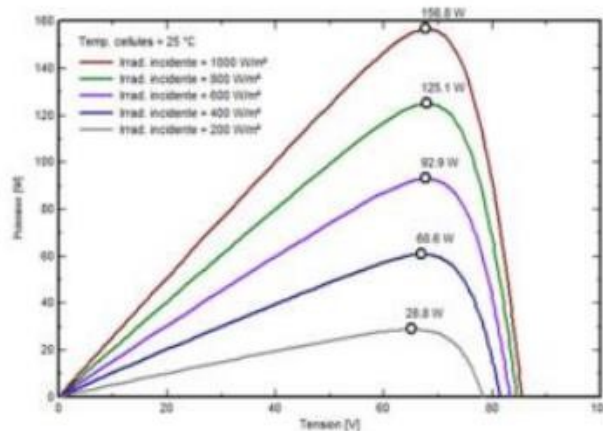
Gambar 2.15 Karakteristik P-V Modul Polycrystalline

(Elamim et al., 2017)

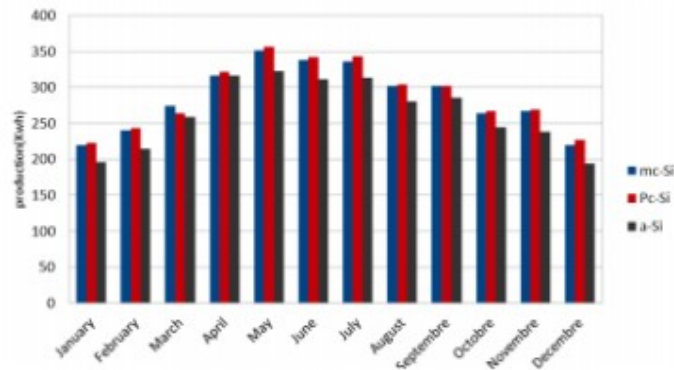
Karakteristik keluaran Daya, Tegangan dan Arus pada modul surya jenis Amorphous dengan modul PV NexPower, NT-155AF ditunjukkan pada gambar 2.15 dan 2.16.



Gambar 2.16 Karakteristik I-V Modul Amorphous



Gambar 2.17 Karakteristik P-V Modul Amorphous

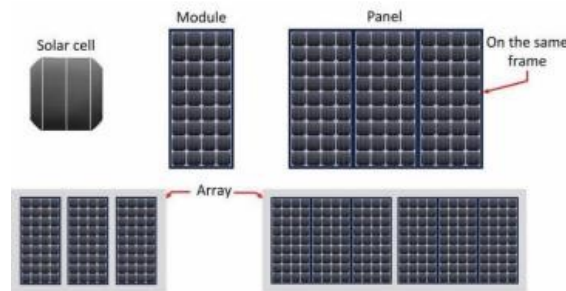


Gambar 2.18 Energi yang dihasilkan dari tiga modul PV berbeda

Pada Gambar 2.18 dapat dilihat perbedaan keluaran antara berbagai teknologi modul PV yang digunakan dalam instalasi. Iradiasi rendah dan suhu rendah (musim gugur, musim dingin) modul (poli-kristal) tampak paling reseptif, sedangkan pada iradiasi tinggi dan suhu tinggi (musim semi, musim panas) modul mono-kristal dan polikristalin hampir identik sedangkan teknologi amorf tampak lebih lemah. Namun, kami dapat menyimpulkan bahwa perbedaan yang dirasakan antara teknologi pemasangan menyiratkan bahwa modul polikristalin memiliki kinerja terbaik di kota Mohammedia.(Elamim et al., 2017)

1) Modul Surya

Modul surya merupakan bagian vital pada PLTS karena nantinya modul ini akan di sambungkan secara seri untuk membentuk suatu rangkaian yang nantinya akan di di susun secara paralel untuk membentuk sebuah array atau susunan dalam proses instalasi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.19.



Gambar 2. 19 Susunan Modul Surya

(ICED, 2020)

Terdapat jenis jenis modul surya yang ada dan biasanya digunakan, di antaranya:

a) Monocrystalline (Si)

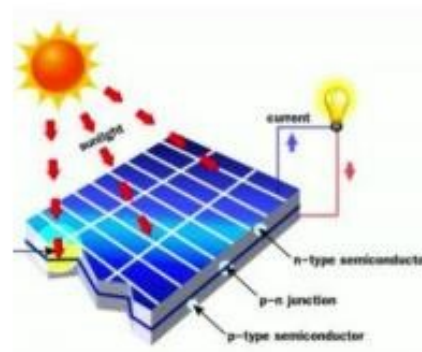
PLTS jenis ini adalah jenis panel yang mana sel nya terbuat dari benih kristal silikon tunggal atau mono. Silikon kristal tunggal memungkinkan electron yang memproduksi listrik dapat bergerak lebih leluasa karena mempunyai ruang lebih banyak. Panel ini memiliki silikon dengan tingkat kemurnian yang tinggi sehingga panel surya ini adalah modul solarcell dengan efisiensi terbaik.

b) Policystalline

PLTS jenis ini adalah terbuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, lalu kemudian dilakukan pendinginan perlahan untul mendapatkan

campuran silikon yang nantinya akan timbul diatas lapisan silikon jenis ini kurang dalam segi efektifitasnya, sehingga PLTS ini dalam segi harga tergolong murah.

Mekanisme kerja pada PLTS ini adalah adanya perpindahan electron bebas di dalam suatu atom seperti ditunjukkan pada Gambr 2.20. Sel surya umumnya menggunakan bahan dari semi konduktor yang mana berupa padatan berupa logam yang konduktifitas elektriknya ditentukan oleh electron valensinya. Material semi konduktor dalam segi konduktifitas nantinya akan meningkat secara signifikan saat foton daripada sumber Cahaya membentuk suatu electron valensi dari atom semi konduktor. Yang nantinya akan mengakibatkan terpisahnya electron dari struktur atomnya. Lalu electron yang terlepas dari muatan negatif akan bebas bergerak didalam bidang kristal dan berada pada daerah konduksi dari material semikonduktornya. Hilangnya electron nantinya mengakibatkan suatu kekosongan pada struktur kristal yang selanjutnya disebut *Hole* dengan muatan positif. Daerah yang terdiri dari bagian negatif bertindak sebagai donor electron. Daerah tersebut disebut dengan *negative type (n-type)*. Sedangkan daerah pada semikonduktor dengan hole yang bersifat positif bersifat atau bertindak sebagai penerima (*Acceptor*) dan pada daerah ini selanjutnya disebut *Positif type (p-type)*. Dan ikatan dari kedua sisi positif dan di negatif akan menghasilkan energi listrik internal yang akan mendorong electron bebas dan hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Electron akan bergerak menjauhi sisi negative sedangkan hole bergerak menjauhi sisi positif. Ketika p-n junction dihubungkan maka terciptalah sebuah arus listrik.(cari citacinya).



Gambar 2.20 Mekanisme kerja PLTS

2) Kabel

Kabel merupakan salah satu instrument penting dalam melakukan perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya ini, karena perlu kabel yang tepat dan bertahan dalam jangka waktu yang lama untuk menopang komponen komponen PLTS nantinya, maka pemilihan kabel yang tepat, dan akurat sangat penting untuk keberlangsungan kedepannya. Elastisitas kabel perlu di perhatikan dan direncanakan dengan baik karena dalam letak geografis PLTS/BIPV ini menyatu dengan tubuh bangunan yang mana perlu perencanaan instalasi pengkabelan yang baik dan benar.

3) Inverter

Secara umum, Inverter disini berfungsi untuk mengubah arus DC menjadi beban arus yang biasanya digunakan di rumah (AC), Namun untuk inverter PLTS On-Grid system yang mana nantinya bisa mengalirkan listrik ke Grid PLN melewati komponen kWh meter Exim.

4) kWh Meter Exim

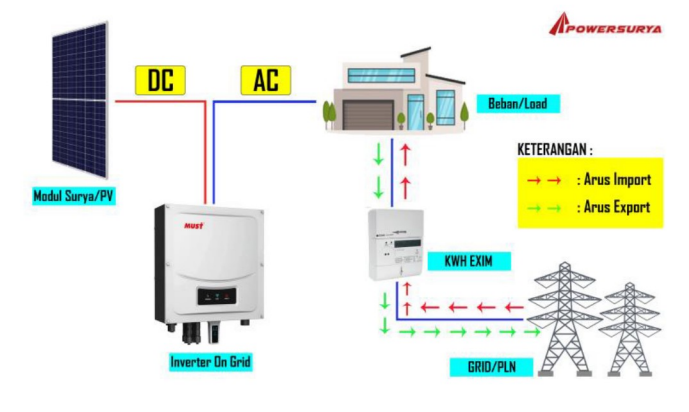
Gambar 2.21 menunjukkan gambar dari kWh Exim. Fungsi dari kWh meter exim sebenarnya sama dengan kWh meter biasa milik PLN. Fungsi tambahannya

adalah dapat membaca kWh yang diimpor dari PLTS ke PLN. Dengan cara ini, pengurangan tagihan listrik pelanggan yang memiliki PLTS dapat dihitung, yang biasa disebut dengan sistem Net Metering. Net Metering adalah sistem pelayanan yang dapat mentransmisikan kelebihan daya yang dihasilkan oleh PLTS ke jaringan distribusi PLN seperti ditunjukkan pada Gambar 2.22. Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Tahun 2018 pada Bab III Pasal 6 Ayat 1, mengatakan bahwa untuk energi listrik pada pelanggan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap diekspor dan dihitung berdasarkan nilai kWh ekspor yang tercatat pada kWh-Exim dikali dengan 65% (ESDM, 2019).



Gambar 2.21 KWH EXIM

(ingenu,2021)



Gambar 2.22 Skema PLTS On-Grid

surya yang digunakan, hal ini dapat dihitung menggunakan persamaan 2.6 (Gardini Lambang Purbaya, 2019).

$$\text{jumlah panel surya} = \frac{P_{wattpeak}}{P_{mpp}(\text{panel surya})} \quad (2.6)$$

Keterangan:

P_{mpp} : daya maksimal modul surya (Wp)

Selanjutnya dilakukan perhitungan inverter yang digunakan di persamaan 2.7

$$\text{jumlah inverter} = \frac{\text{Kapasitas yang direncanakan}}{P_{MaxDC Inverter}} \quad (2.7)$$

Keterangan :

$P_{MaxDC Inverter}$: Daya DC maksimum input inverter (Watt)

Daya (Watt Peak) yang dibangkitkan PLTS untuk memenuhi kebutuhan energi, diperhitungkan dengan persamaan-persamaan berikut:

Perhitungan keluaran panel surya menggunakan persamaan 2.9

$$P_{wattpeak} = PVarea \times PSI \times Npv \quad (2.9)$$

Keterangan :

$P_{wattpeak}$ = Daya Maksimal Panel Surya

$PVarea$ = Luas area perencanaan

PSI = Peak sun insolation (STC))

Npv = Efisiensi Panel Surya

2) Perhitungan Jumlah Rangkaian Modul Surya

Penyesuaian jumlah arus output dari panel surya ke input inverter maka modul dirangkai seri untuk memperoleh arus yang besar dan dirangkai paralel untuk memperoleh tegangan yang besar. Perhitungan langkah ini dengan menggunakan

persamaan 2.10, 2.11 dan 2.12 (Gardini Lambang Purbaya, 2019).

a) Rangkaian seri

$$\text{Min. modul per Array} = \frac{V_{DC \text{ Max}}}{V_{OC}} \quad (2.10)$$

$$\text{Max. modul per Array} = \frac{V_{DC \text{ Min}}}{V_{mpp}} \quad (2.11)$$

b) Rangkaian paralel

$$\text{Min. modul Paralel per Array} = \frac{I_{DC \text{ Min}}}{V_{sc}} \quad (2.12)$$

Keterangan :

$V_{DC \text{ Max}}$ = Tegangan maksimum DC di inverter (Volt)

$V_{DC \text{ Min}}$ = Tegangan minimum DC di inverter (Volt)

$I_{DC \text{ Max}}$ = Arus maksimum DC di inverter (Ampere)

$I_{DC \text{ Min}}$ = Arus minimum DC di inverter (Ampere)

V_{OC} = Tegangan *open circuit* di modul surya (Volt)

V_{mpp} = Tegangan mpp di modul surya (Ampere)

I_{sc} = Arus mpp di modul surya (Ampere)

I_{Mpp} = Arus mpp di modul surya (Ampere)

c) Perhitungan Area *Array*

Perhitungan area *Array* (PV area) menggunakan persamaan 2.13
(Gardini Lambang Purbaya, 2019).

$$\text{Area array} = \frac{P_{\text{watt peak}}}{PSI \times \eta_{PV}} \quad (2.13)$$

Keterangan :

Area array = Area panel surya seri/paralel

$P_{watt\ peak}$ = Daya maksimal panel surya

PSI = *Peak Sun Insolation* (STC)

η_{PV} = Efisiensi Panel Surya

d) Menghitung *Losses*

Perencanaan PLTS harus memperhitungkan *losses* yang ada pada panel surya (penggunaan panel surya berkapasitas 100 Wp tidak diterima diinverter sebesar 100Wp karena dipengaruhi *losses* temperatur, jenis modul, kotoran pada panel surya, *shading* dan sebagainya)(Gardini Lambang Purbaya, 2019).

PSH = Radiasi matahari

e) Mencari nilai TCF (*Temperature Correction Factor*)

$$TCF = 0,5\%/^{\circ}C \times P_{mpp} \times \Delta t \quad (2.14)$$

Keterangan :

TCF = *Temperature Correction Factor*

$0,5\%/^{\circ}C$ = Suhu saat penurunan daya

P_{mpp} = Daya panel surya (Wp)

Δt = Suhu saat temperature naik

Menghitung Energi yang Dihasilkan PLTS

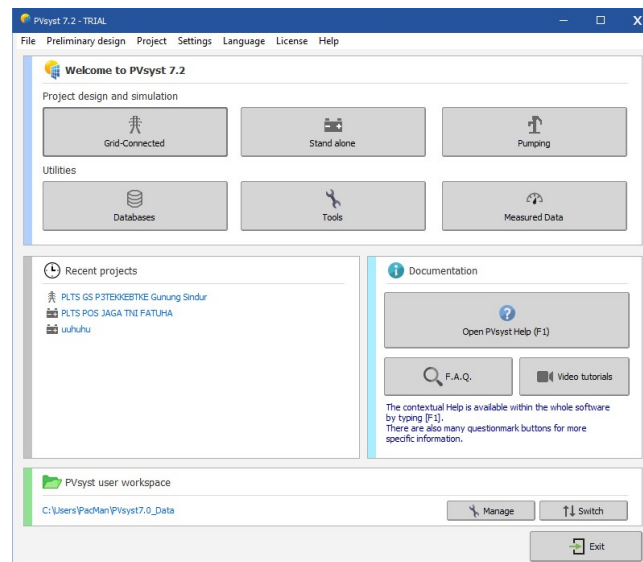
$$E_{out} = E_{in} \times GAV \quad (2.15)$$

$$E_{in} = \text{Jumlah panel} \times P_{MPP\ saat\ naik}^{\circ}C \quad (2.16)$$

2.12 Software PVsyst

PVsyst adalah salah satu *software* yang dirancang untuk membuat suatu pemodelan PLTS dan juga PVsyst adalah perangkat lunak yang lebih canggih dan komprehensif yang dapat digunakan untuk menganalisis berbagai aspek sistem PV, seperti komponen, layout, orientasi, radiasi matahari, kerugian termal, efisiensi konverter daya (inverter), kerugian kabel dan bisa input panjang cable dengan manual. PVsyst juga dapat mensimulasikan sistem dengan baterai atau generator cadangan. Namun, PVsyst memiliki antarmuka yang lebih rumit dan membutuhkan waktu lebih lama untuk merancang dan mengevaluasi sistem PV seperti ditunjukkan Gambar 2.24.

Dengan Pvsyst, user bisa input manual Bills Material & Bill of Quantity dengan details, financing & accounting parameters bisa diinput dengan rinci. Dengan demikian, designer bisa bekerjasama dengan financial advisor, accounting talent dan purchasing talent untuk menghasilkan design yang complete dan siap untuk dipresentasikan sebagai final proposal.



Gambar 2.24 Gambar tampilan awal PVsyst