

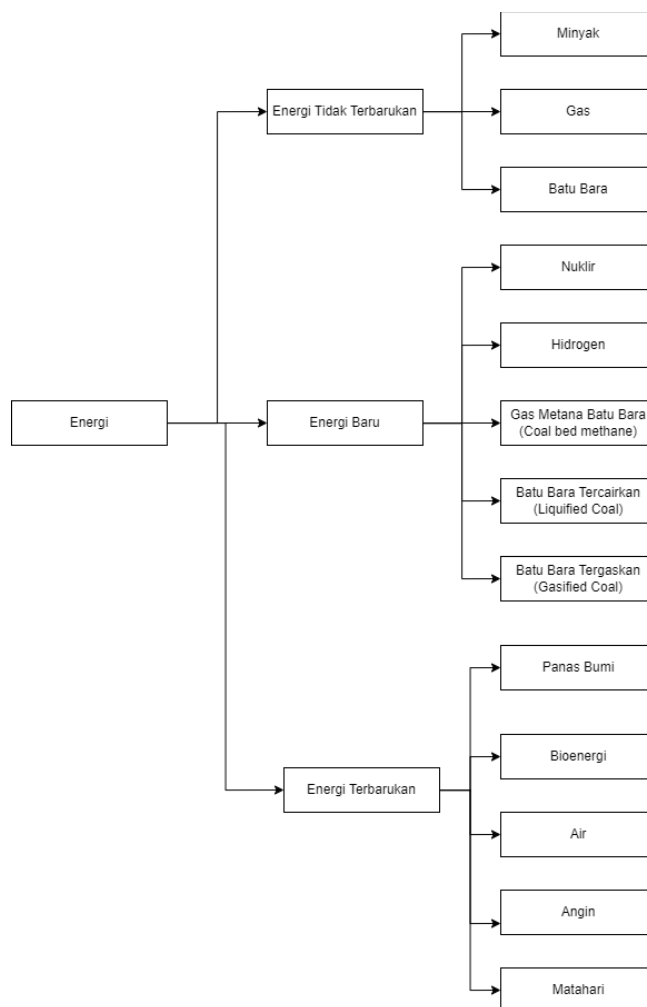
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Energi Baru Terbarukan

Sumber energi primer yang tersedia di alam terdiri sebagai macam bentuk diantaranya adalah energi kinetik, mekanik, panas, kimia, dan cahaya. Energi primer berdasarkan karakteristiknya dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu energi tidak terbarukan, energi baru, dan energi terbarukan yang bisa dilihat pada Gambar 1.1. pada revolusi industri, sumber energi primer yang sangat umum digunakan untuk dikonversikan menjadi energi listrik adalah berasal dari energi bahan bakar fosil yang bersifat tidak terbarukan. Sumber energi primer ini dimasa yang akan datang akan habis jika dieksplorasi dan dieksploitasi secara terus menerus.

Sumber energi alternatif dapat ditinjau dari dua hal diantaranya sumber energi baru dan sumber energi terbarukan. Sumber energi baru merupakan sumber energi yang dapat dihasilkan teknologi baru baik yang berasal dari sumber energi terbarukan maupun sumber energi tidak terbarukan diantaranya nuklir, *hydrogen*, gas metana batu bara, batu bara tercairkan, dan batu bara yang tergaskan. Sumber energi terbarukan merupakan sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya berkelanjutan jika dikelola dengan baik diantaranya panas bumi, aliran dan terjunan air, angin, dan sinar matahari.



Gambar 2.1 Macam-macam Energi

2.2 Potensi Energi Surya

Potensi berbagai macam sumber EBT di wilayah Indonesia sangat berlimpah yang secara rinci ditunjukkan pada Tabel II.1. berlimpahnya sumber EBT tersebut memberikan peluang bagi Indonesia untuk mandiri secara energi serta memiliki ketahanan energi yang memadai. Potensi EBT khususnya energi surya untuk membangkitkan energi listrik mempunyai potensi yang cukup baik dan merata diseluruh wilayah Indonesia. Ini disebabkan oleh wilayah Indonesia secara astronomis berada disekitar khatulistiwa sehingga cahaya matahari tersedia disepanjang tahun.

Tabel II.1 Potensi EBT di Indonesia

No.	Jenis Energi Primer	Potensi
1	Angin	60,6 GW
2	Bioenergi	32,6 GW
3	Energi Laut	17,9 GW
4	Panas Bumi	28,5 GW
5	Surya	207 GW
6	Tenaga Air	94,3 GW

2.3 Pemangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan suatu teknologi yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik yang menggunakan sel photovoltaic atau yang sering disebut PV. PV biasanya dirancang dan dikemas dalam suatu unit yang disebut panel surya atau modul. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari silikon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya (Sampeallo et al., 2018).

HOMER menghitung daya pada PV dapat dihitung dengan pendekatan matematika. Aplikasi HOMER sebagai pengolah data dan dikalkulasi menghitung keluaran daya PV menggunakan Persamaan 2.1.

$$W_p = V.I \quad (2.1)$$

Dimana:

W_p = Daya pada PV ketika terkena radiasi matahari (Watt)

V = Tegangan PV (V)

I = Arus pada PV (A)

Umur pemakaian sel surya biasanya bertahan sekitar 25 tahun, namun kelemahan dari sel surya sendiri dari tingkat efisiensinya sendiri berkisar antara 12-18%

Sel surya merupakan semikonduktor yang bisa mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik HOMER memodelkan PV array sebagai keluaran dari sel surya menggunakan Persamaan 2.2.

$$P_{pv} = f_{pv} Y_{pv} PSH \quad (2.2)$$

Dimana:

- P_{pv} = Keluaran pada PV (kWh/d)
 f_{pv} = Pv derating factor (0,7 – 0,85)
 Y_{pv} = Daya yang diijinkan dari PV array (kW)
 PSH = Peak Sun Hour (jam)

Untuk menghitung densitas daya menggunakan Persamaan 2.3.

$$\rho = \frac{\text{energi total terbangkitkan}}{\text{luas lahan}} \quad (2.3)$$

Untuk menghitung keluaran dari sel surya yang dimodelkan HOMER menggunakan Persamaan 2.4:

$$PV \text{ Area} = \frac{E_t}{G_{av} \times TCF \times n_{PV} \times n_{out}} \quad (2.4)$$

Dimana:

- $PV \text{ Area}$ = Luas Array (m²)
 E_t = Besar Konsumsi Energi (kWh)
 G_{av} = Minimum Iradiasi Harian (kWh/m²)
 n_{PV} = Efisiensi Modul Surya
 n_{out} = Efisiensi Keluaran
 TCF = Temperature Correction Factor (%)

Untuk menentukan kapasitas dan jumlah modul surya maka diperlukan *Temperature Correction Factor* (TCF), untuk mendapatkan nilai TCF menggunakan Persamaan 2.5.

$$TCF = \frac{P_{mpp} - (\text{temperature coefficient factor} \times P_{mpp} \times \text{Perubahan suhu})}{P_{mpp}} \quad (2.5)$$

Selanjutnya dari perhitungan *area array*, maka besar daya yang dapat dibangkitkan PLTS menggunakan Persamaan 2.6.

$$P_{wp} = PV \text{ Area} \times PSI \times npv \quad (2.6)$$

Dimana:

PV Area = Luas Permukaan Panel Surya (m^2)

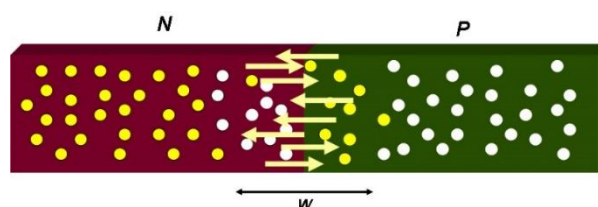
PSI = Peak Solar Insolation adalah 1000 W/m^2

npv = Efisiensi Panel surya (%)

2.3.1 Prinsip Kerja PLTS

Proses pengubahan cahaya matahari menjadi energi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor, yakni jenis n dan jenis p. Semikonduktor n merupakan semi konduktor yang memiliki kelebihan *electron*, sehingga kelebihan muatan negatif sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan muatan positif.

Bahan penyusun sel merupakan semikonduktor tipe-n dan tipe-p. semikonduktor tipe-n memiliki kelimpahan elektron yang negatif (n = negatif) karena kelebihan elektron. Sedangkan semikonduktor tipe-p memiliki elektron yang bermuatan positif (p = positif). Ketika kedua jenis semikonduktor n dan p digabungkan elektron dari semikonduktor n ke semikonduktor p akan membentuk daerah deplesi yang menyebabkan medan listrik. Dengan adanya medan listrik, mencegah elektron dan *hole* untuk berpindah. Pada sambungan p-n mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Ditunjukkan pada Gambar 2.2

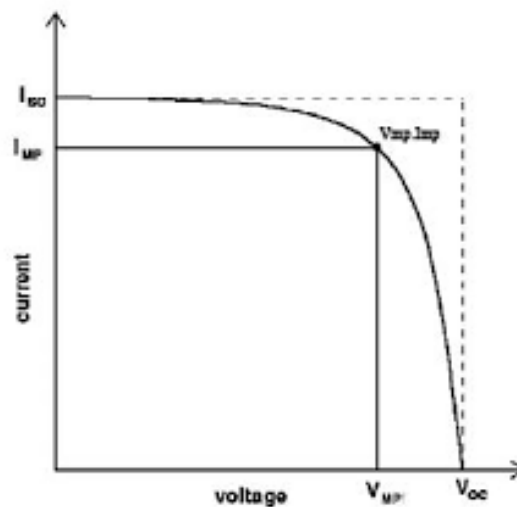


Gambar 2.2 Semikonduktor n dan p Digabungkan
(energisurya.wordpress.com)

Pada saat 2 jenis semikonduktor p-n tersebut disambung maka akan terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p, dan perpindahan *hole* dari semikonduktor p menuju semikonduktor n. perpindahan elektron maupun *hole* akan terjadi medan listrik apabila susunan p-n *junction* terkena matahari.

2.3.2 Karakteristik Sel Surya

Karakteristik output sel surya dapat dilihat dari kurva I-V yang menunjukkan hubungan antara arus dan tegangan. Voltase (V) adalah sumbu horizontal. Arus (I) adalah sumbu *vertical*. Kebanyakan kurva I-V diberikan standar *test conditions* 1000 watt/m² radiasi dan 25°C suhu sel surya (Syukri, 2010). Ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kurva Karakteristik I-V Sel Surya

(Syukri, 2010)

Ketika sel dalam kondisi *short circuit*, arus *short circuit* I_{sc} dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tensiangannya maksimum, disebut tegangan *open circuit* V_{oc} . Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum

(MP). Karakteristik dari sel surya yaitu *fill factor* (FF). Nilai dari FF selalu lebih kecil dari 1 dan biasanya antara 0,75 dan 0,85. Untuk mendapatkan *fill factor* menggunakan Persamaan 2.7.

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.7)$$

Dimana:

V_{mp} = Tegangan ketika daya keluaran maksimum

I_{mp} = Arus ketika daya keluaran maksimum

V_{oc} = Tegangan ketika rangkaian terbuka

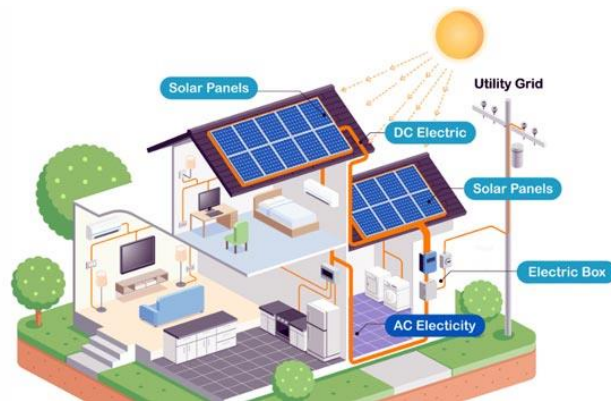
I_{sc} = Arus ketika rangkaian *short*

2.3.3 Sistem PLTS

Sistem PLTS diklasifikasikan berdasarkan bentuk instalasi, desain sistem dan berdasarkan hubungan jaringan. Berdasarkan bentuk instalasi diklasifikasikan sebagai berikut.

a. *Rooftop*/Atap

PLTS tipe *rooftop* atau atap merupakan PLTS yang diaplikasikan pada atap bangunan. Karena instalasinya di atap bangunan maka daya yang dihasilkan pun tidak sebanyak jenis sistem PLTS lainnya. Karena PLTS atap biasa digunakan pada bangunan rumah, *industry*, fasilitas Pendidikan, Kesehatan, dan lain-lain. Oleh karena itu PLTS atap ini mampu menekan biaya tagihan listrik dan membantu memenuhi target NZE (*Nett Zero Emission*). Ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 PLTS *Rooftop/Atap*
(builder.com)

b. *Ground-Mounted*

PLTS tipe ini memanfaatkan luas lahan tanah dan bergantung pada kondisi lahan seperti luasnya, jenis tanah, kedataran lahan, dan kestabilan lahan. PLTS tipe ini cocok untuk pembangkit listrik berskala besar dan terpusat. Kelebihan dari PLTS tipe ini ketika melakukan pembersihan panel dari debu dan kotoran dapat dilakukan secara langsung dengan tidak menggunakan perlengkapan tambahan lain. Kelemahannya dari PLTS tipe ini biaya awal pemasangan lebih mahal karena harus menggunakan beton dan lebih sulit saat pemasangan karena menggali tanah dan mengecor semen. Ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 PLTS *Ground-mounted*
(ESDM, 2019)

c. *Floating/Terapung*

PLTS terapung memanfaatkan lahan perairan sebagai media penempatannya. Karena ditempatkan dipermukaan air, maka tidak terpengaruh faktor kurangnya lahan daratan disuatu wilayah. PLTS ini menghasilkan energi listrik dalam skala besar. Karena dengan luasnya perairan di Indonesia, dapat dibangun PLTS terpusat untuk memenuhi kebutuhan listrik sekitar wilayah waduk dari mulai perumahan sampai fasilitas umum. Ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 PLTS *Floating/Terapung*
(Rio Indrawan, 2019)

Selanjutnya klasifikasi pada sistem hubung jaringan ada tiga jenis yaitu *on-grid*, *hybrid* dan *off-grid*.

a. *Off-grid*

PLTS *off-grid* merupakan sistem yang memerlukan baterai sebagai sarana unuk penyimpanan energi matahari. Tujuan utama untuk penggunaan PLTS sistem *off-grid* yaitu untuk daerah-daerah yang sulit dikunjungi dengan mudah agar tetap mendapat pasokan listrik (Pawenary et al., 2022).

b. *On-grid*

PLTS dengan jenis *on-grid* ini berbeda dengan *off-grid*, karena PLTS jenis ini diperuntukan untuk daerah atau tempat yang sebelumnya sudah teraliri arus

listrik dan sistem lokasi mempunyai periode operasi pada siang hari. Dengan tujuan utama untuk mengikis konsumsi BBM.

c. *Hybrid*

PLTS *hybrid* merupakan proses pengoperasian digabung dengan pembangkit listrik lain yang ada. Pada jenis ini PLTS diinginkan memberikan kontribusi secara penuh guna menyuplai beban saat siang hari. PLTS jenis ini dilengkapi dengan *buffer* ataupun stabilizer.

2.3.4 Jenis-jenis Panel Surya

Jenis-jenis panel surya dibagi menjadi 3 yaitu monokristal (*monocrystalline*), polikristal (*polycrystalline*), dan *thin film*.

2.3.5 Monokristal (*Monocrystalline*)

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahannya tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh) (Purwoto et al., 2018). Ditunjukkan pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Pamel Surya Jenis Monokristal
(Icasolar, 2018)

a. Polikristal (*Polycrystalline*)

Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya jenis ini memiliki tingkat efisiensinya lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih murah. Ditunjukkan pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Panel Surya Jenis Polikrital
(Lenindustri,2010)

b. *Thin Film*

Merupakan panel surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokrystal-silikon dengan efisiensi modul hingga 8,5% sehingga luas permukaan yang diperlukan per-watt daya yang dihasilkan lebih besar dibandingkan monokristal dan polikristal. Inovasi terbaru adalah *thin film triple junction* (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dibandingkan dari jenis panel lainnya. Ditunjukkan pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 Panel Surya Jenis *Thin Film*
(Icasolar,2018)

2.3.6 *Solar Charger Control*

Charger control merupakan peralatan yang digunakan pada sistem PLTS yang dilengkapi dengan penyimpanan cadangan energi listrik. *Charger control* berfungsi untuk mengatur pengisian arus searah (DC) dari panel surya ke baterai (*charge*), dan pengaturan penyaluran arus listrik dari baterai menuju beban listrik (*discharge*). Fungsi utama yaitu melindungi baterai saat menerima pengisian berlebih (*overcharger*) dari *array*, dengan cara membatasi pengisian energi pada saat baterai dalam keadaan penuh, dan melindungi baterai dari pengosongan berlebih (*overdischarger*) yang dikarenakan beban, dengan cara memutuskan hubungan baterai dengan beban saat baterai dalam keadaan *low state of charge* (Mahardika, 2016).

Menghitung kebutuhan *Solar charge Controller* (SCC) pada sistem PLTS dapat menggunakan Persamaan 2.8.

$$I_{sc} = I_{sc \text{ panel}} \times \text{jumlah panel} \quad (2.8)$$

Dimana:

- I_{sc} = Arus SCC (A)
 $I_{sc \text{ panel}}$ = Arus yang terdapat pada panel
 Jumlah Panel = Banyaknya panel

Setelah mendapatkan kebutuhan SCC, selanjutnya menentukan jumlah SCC yang dibutuhkan menggunakan Persamaan 2.9.

$$N_{sc} = \frac{\text{Total } W_p}{\text{maksimal output SCC}} \quad (2.9)$$

Dimana:

- N_{sc} = Jumlah SCC
 Total W_p = Jumlah Daya Maksimal yang dihasilkan panel
 Maksimal output SCC = Daya keluar maksimal SCC

2.3.7 Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen yang digunakan pada sistem *solar cell* untuk penyimpanan energi listrik. Baterai menyimpan energi listrik dalam bentuk energi arus searah. Energi yang disimpan pada baterai berfungsi sebagai cadangan (*back up*). Biasanya digunakan pada saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik ketika malam hari dan pada saat cuaca mendung. Satuan kapasitas energi yang disimpan pada baterai adalah *ampere hour* (Ah), yang diartikan arus maksimum yang dapat dikeluarkan pada baterai selama satu jam. Dalam proses pengosongan (*discharger*), baterai tidak boleh dikosongkan hingga titik maksimumnya, hal ini agar baterai bertahan lebih lama usia pemakaiannya. Batas pengosongan baterai atau istilah *Depth of Discharger* (DOD) (Jurnal, 2018).

Perhitungan kapasitas baterai dalam sistem PLTS dipengaruhi faktor *autonomy*, artinya baterai dapat beroperasi walaupun tidak ada energi matahari yang masuk ke modul surya. Untuk mendapatkan nilai kapasitas baterai dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.10.

$$Ah = \frac{N \times Ed}{Vs \times DOD} \quad (2.10)$$

Dimana:

- Ah = Kapasitas Baterai
 N = Jumlah Autonomous Day
 Ed = Konsumsi Energi dalam sehari
 Vs = Tegangan Baterai
 DOD = Depth of Discharge

Untuk menghitung energi yang dapat disimpan dalam baterai digunakan satuan Wh (*Watt Hour*). Untuk mendapatkan nilai Wh dapat menggunakan Persamaan 2.11.

$$Wh = Vs \times Ah \quad (2.11)$$

Dimana:

- Wh = Energi yang dapat disimpan
 Vs = Tegangan Baterai
 Ah = Kapasitas Baterai

2.4 Perhitungan Perencanaan Sistem PLTS *Rooftop*

Perencanaan meliputi analisa lokasi pemasangan PLTS Atap, seperti analisa bayangan serta orientasi atap dan perhitungan luas area atap. Tahap perencanaan juga meliputi analisa sistem beban listrik. Langkah awal menentukan modul surya dan inverter yang akan digunakan. Selanjutnya menghitung kapasitas maksimal sistem PLTS Atap. Untuk menghitung jumlah kebutuhan modul surya dengan Persamaan 2.12.

$$\text{jumlah modul} = \frac{\text{kapasitas PLTS}}{\text{kapasitas modul}} \quad (2.12)$$

Menentukan total keluaran energi yang dihasilkan dari sistem PLTS dapat menggunakan Persamaan 2.13.

$$E_{out} = G_{av} \times TCF \times \eta_{out} \times PV \text{ area} \quad (2.13)$$

Dimana:

E_{out} = Energi yang dihasilkan sistem (kWh)

G_{av} = Minimum iradiasi

TCF = *Temperature correction factor*

η_{out} = Efisiensi panel

PV area = Luas *array*

2.5 Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU)

Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) atau *public charging station* adalah tempat untuk melakukan pengisian daya Kendaraan Bermotor Listrik (KBL). Pada sebuah SPKLU dapat memiliki satu atau lebih perangkat untuk pengisian KBL.

Menurut F.T Industri dalam (Herdian et al., 2022), stasiun pengisian di bagi menjadi tiga kategori yaitu stasiun pengisian dirumah, stasiun pengisian umum, dan stasiun pengisian komersial.

a. Stasiun Pengisian Rumah

Komponen stasiun pengisian mobil listrik dipasang serta dilakukan dirumah, tipe ini hanya mendukung pengisian daya AC 1 fasa dengan tegangan 120 v dan arus 32 A. Tipe ini dikenal dengan “JI772 *Connector*” jenis EVCS yang memakai *plug*.

b. Stasiun Pengisian Umum

Komponen stasiun pengisian mobil listrik yang ditaruh ditempat umum layaknya stasiun pengisian BBM umum (SPBU). Jenis pengisian mobil listrik ini berbayar. Tipe ini biasanya di tegangan 480 Vdc dan arus 125 A.

c. Stasiun Pengisian Komersial

Peralatan pengisian baterai mobil listrik yang dipasang sekaligus dilakukan saat parkir, seperti *mall*, kantor, dan lingkungan pendidikan, stasiun dengan kategori komersial bisa berbayar maupun gratis. Tipe ini mendukung pengisian baterai mobil seperti yang dijabarkan pada IEC 61851-1 dengan tegangan 240 V dan arus 20-63 A, tipe ini dikenal sebagai “*mennekes connector*”.

2.5.1 Jenis-jenis Teknologi *Charging Station*

a. Pengisian Normal (*Normal Charging*)

Pengisian listrik ke sebuah mobil dilakukan selama enam sampai delapan jam, sehingga dilakukan diluar beban puncak. Pengisian daya normal menggunakan pengisi daya *on-board* EV atau PHEV, yang ukurannya didasarkan pada tegangan input dari jaringan. Misalnya 120 V, 15 A akan memasok daya 1,4 kW, sedangkan 240 V, 32A akan memasok daya sebesar 6,6 kW. Dalam sistem pengisian KBLBB berdasarkan *Internasional Electrotechnical Commission* (IEC) 61851 pengisian normal disebut dengan mode 2 (Fitriana et al., 2020).

b. Pengisian Cepat (*Fast Charging*)

Pengisian cepat bertujuan untuk mengisi ulang baterai *Electric Vehicle* (EV) dalam waktu singkat mirip dengan pengisian bahan bakar bensin pada kendaraan konvensional. Waktu yang diperlukan untuk pengisian cepat sekitar 20 menit untuk mengisi hingga kapasitas 80%. Peralatan utama dari stasiun pengisian cepat adalah modul pengisian cepat *off-board*, yang dapat menghasilkan 35 kW atau bahkan lebih tinggi. Tegangan sekitar 40-240 V dan arus sekitar 20-80 A. karena daya dan arus tinggi, fasilitas pengisian ulang tersebut harus dipasang di stasiun atau pusat

layanan yang diawasi dan terkontrol. Dalam sistem pengisian KBLBB berdasarkan IEC 61851 pengisian cepat disebut dengan mode 3.

c. Pengisian Ultra Cepat (*Ultra Fast Charging Station/UFCS*)

Pengisian daya ultra cepat untuk waktu pengisian ulang baterai kurang dari 10 menit. Sebuah stasiun pengisian daya ultra cepat dapat memberikan keluaran daya yang tinggi dengan pengaruh sistem transmisi listrik yang minimal. Sistem ini dapat dicapai dengan penerapan energi yang bertindak sebagai penyangga tambahan antara kendaraan dan jaringan listrik. Tegangan sekitar 240-480 V dan arus sekitar 100-200 A. Stasiun pengisian ultra cepat harus dirancang memenuhi seperangkat persyaratan.

2.5.2 Jenis-jenis *Charger* SPKLU

Menurut (Dharmawan et al., 2021) jenis-jenis charger SPKLU dibagi menjadi 2 yaitu jenis *charger Alternating Current (AC)* dan jenis *charger Direct Current (DC)*.

a. AC Tipe 2

Charger AC tipe 2 mampu menghasilkan output daya listrik sekitar 3 sampai 50 kW. Konektor ini mengisi baterai kendaraan listrik dengan arus bolak-balik (AC) satu fasa 230 V atau tiga fasa 400 V. AC tipe 2 terdiri dari tujuh pin, dimana 2 buah pin dengan ukuran kecil dan lima buah dengan ukuran lebih besar. Baris atas terdiri dari dua pin kecil untuk pensinyalan, satu pin ditengah untuk pembumian, dan empat pin lainnya sebagai sumber daya.



Gambar 2.10 Jenis Konektor AC Tipe 2

b. DC CHAdemo

CHAdemo standar bisa mensuplai daya listrik sampai 62,5 kW melalui sumber arus DC (*Direct Current*), 500 V dan 125 V. desain untuk CHAdemo dua pin untuk isi ulang biasa dan 2 pin untuk pengisian cepat. Versi terbaru CHAdemo bisa mensuplai listrik hingga 400 kW.



Gambar 2.11 Jenis Konektor CHAdemo

c. *Combined Charging System (CCS)*

CCS merupakan pengisian daya DC (*Direct Current*) yang sangat cepat. Desainnya terdapat dua pin dibagian bawah yang berfungsi untuk mengisi daya, pin pada bagian atas digunakan komunikasi dan konduktor pembumian. Konektor CCS menghantarkan daya 350 kW.



Gambar 2.12 Jenis Konektor CCS

2.5.3 Tipe Pengisian Kendaraan Motor Listrik

a. *Direct Charging* (Pengisian Langsung)

Pengisian langsung menggunakan alat *port charging* untuk melakukan pengisian baterai kendaraan motor listrik.

b. Swap Baterai

Metode pembelian baterai dengan cara menukar baterai yang sudah habis dengan baterai yang baru. Swap baterai motor listrik hanya berlaku pada jenis baterai yang *removable* atau bisa dicopot.

2.5.4 Penyebaran Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU)

Penyebaran SPKLU di Indonesia sebanyak 624 unit mesin *electric vehicle charger* di 427 titik lokasi. Diantaranya 64 unit *electric vehicle charger* pada 38 titik SPKLU berada di tol Trans Sumatra-Jawa.

Tabel II.2 Peta penyebaran SPKLU di Indonesia

Wilayah	Jumlah Mesin Per Jenis Kecepatan Charging					Jumlah Lokasi
	UFC	FC	MC	SC	Total	
Nasional	148	107	200	169	624	427
Banten	10	5	6	9	30	23
Jakarta	18	14	15	37	84	43
Jawa Barat	16	14	117	5	152	127
Jawatengah	13	8	12	20	53	36
Jawa Timur	8	19	14	18	59	33

Wilayah	Jumlah Mesin Per Jenis Kecepatan Charging					Jumlah Lokasi
	UFC	FC	MC	SC	Total	
Bali	19	18	10	25	72	29
Sumatera	35	12	7	17	71	56
Kalimantan	11	4	13	10	38	33
Sulawesi	8	8	2	12	30	21
Nusa Tenggara	6	5	4	9	24	16
Maluku	2	0	0	3	5	5
Papua	2	0	0	4	6	5

2.6 HOMER (*Hybrid Optimization Model for Energy Renewable*)

HOMER energi adalah perusahaan perangkat lunak pemodelan microgrid terkemuka didunia. HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik *stand-alone (off-grid)* maupun *grid-connected* yang dapat terdiri dari kombinasi pembangkit listrik konvensional turbin angin, *photovoltaic*, mikrohidro, biomassa, generator, *micro turbine*, baterai, dan penyimpanan *hydrogen*, melayani beban listrik maupun termal (Robert & Brown, 2004).

HOMER adalah model simulasi yang mensimulasikan sistem yang layak untuk semua kemungkinan kombinasi peralatan yang dipertimbangkan. HOMER dapat mensimulasikan ratusan atau bahkan ribuan sistem hingga akhirnya mendapatkan nilai optimal dan disajikan berdasarkan pengelompokan pembangkitnya. HOMER dapat menyediakan perhitungan *energy balance* untuk setiap 8760 jam dalam setahun. Jika sistem menggunakan baterai dan generator diesel atau bensin, HOMER dapat memutuskannya setiap jam apakah generator diesel beroperasi dan baterai diisi atau dikosongkan.

2.6.1 Prinsip Kerja HOMER

HOMER bekerja berdasarkan 3 hal, yaitu simulasi, optimasi, dan analisa sensitivitas. Ketiga hal tersebut bekerja secara beruntun dan memiliki fungsi masing-masing, sehingga mendapatkan hasil yang optimal.

a. Simulasi

HOMER dapat mensimulasikan konfigurasi perencanaan pembangkit listrik dengan beberapa kombinasi baik *on-grid* maupun *off-grid* dengan komponen, diantaranya *photovoltaic*, *wind turbine*, *micro hydro*, generator, *hydrogen*, *converter*, baterai, dan lain-lain.

b. Optimasi

Proses optimasi didapatkan setelah proses simulasi dilakukan. Proses simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus, maka proses optimasi dilakukan untuk kemungkinan teroptimasi dalam konfigurasi sistem. HOMER mengurutkan nilai *Net Present Cost* (NPC) dari yang terendah hingga tertinggi. Sistem dikatakan optimal, jika salah satu konfigurasi sistem menunjukkan NPC terendah untuk jangka yang sudah ditentukan, HOMER mensimulasikan konfigurasi yang berbeda-beda, jika konfigurasi sistem tidak layak, maka HOMER tidak menampilkan hasil optimasi sistem tersebut.

1. ROI

Return on Investment (ROI) dapat diartikan sebagai laba atas investasi. Dalam perhitungan ROI, nilai yang dicari adalah presentase keuntungan dari investasi berdasarkan keseluruhan laba dan biaya yang dikeluarkan. ROI berguna untuk mengukur efisiensi dari suatu Tindakan investasi. Jika langkah yang terukur, maka setiap investasi yang dilakukan akan memiliki resiko kerugian yang minim dan

potensi keuntungan yang akan diperoleh dapat diperkirakan. Rumus untuk menentukan ROI menggunakan Persamaan 2.14.

$$ROI = \frac{\text{Pendapatan investasi} - \text{biaya investasi}}{\text{biaya investasi}} \times 100\% \quad (2.14)$$

2. IRR

Internal Rate of Return (IRR) dapat diartikan indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi. IRR digunakan dalam menentukan apakah investasi dilaksanakan atau tidak. IRR dapat diartikan suku bunga yang akan menjadikan jumlah nilai sekarang dari penerimaan yang diharapkan diterima dengan jumlah nilai sekarang dari pengeluaran untuk investasi. Rumus untuk menentukan IRR menggunakan Persamaan 2.15.

$$IRR = NPV = \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_o \quad (2.15)$$

2.6.2 *Net Present Cost* (NPC)

Net Present Cost dapat diartikan sebagai biaya bersih yang difungsikan pada komponen, baik untuk pemasangan atau pengoperasian dalam suatu proyek. HOMER mengurutkan data keluaran simulasi berdasarkan nilai NPC terendah. Rumus untuk menentukan NPC menggunakan Persamaan 2.16.

$$NPC = C_{ann} \frac{i(1+i)^N - 1}{(1+i)^N - 1} \quad (2.16)$$

2.6.3 *Benefit-Cost Ratio* (B-CR)

Benefit-cost ratio menentukan kelayakan investasi dengan membandingkan antara nilai arus kas bersih sekarang dengan, nilai investasi awal. Rumus untuk menentukan B-CR menggunakan Persamaan 2.17.

$$B - CR = \frac{\textit{Benefit}}{\textit{biaya produksi}} \quad (2.17)$$

2.6.4 *Payback Periode* (PBP)

Payback periode diperoleh dengan menghitung berapa jumlah kas bersih sekarang akan sama atau lebih dengan nilai investasi awal. *Payback Periode* merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui waktu yang diperlukan untuk mengembalikan biaya. Rumus untuk menentukan *payback periode* menggunakan Persamaan 2.18.

$$PBP = \frac{\textit{Investasi}}{\textit{Pendapatan}} \times \textit{periode waktu} \quad (2.18)$$

2.7 Penelitian Terkait

Penelitian ini menggunakan penelitian yang relevan yang dapat dijadikan contoh atau gambaran untuk penelitian yang akan dilakukan. Untuk membedakan penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan penulis, penelitiannya diantaranya:

Tabel II.3 Penelitian Terkait

Aspek	Penelitian Terkait		Penelitian yang Akan Dilaksanakan
	Muhammad Chisamuddin, 2023	Rizky Wahyudi, 2023	Muhammad Rizqi Firdaus, 2024
Judul	Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya <i>Rooftop</i> Dengan Sistem <i>On-grid</i> Di Cv. Qirana Meubel Jepara	Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) <i>Rooftop</i> Sistem <i>On-grid</i> pada Gedung Kh. Mas Mansyur Universitas Muhammadiyah Palembang	Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Surya <i>Rooftop</i> dengan Sistem <i>Off-grid</i> untuk Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) di Universitas Siliwangi Mugar Sari
Pembahasan	Penelitian ini membahas PLTS <i>Rooftop</i> untuk mampu berkontribusi 66% untuk kebutuhan energi listrik harian, kapasitas panel surya 405 wp	Penelitian ini membahas Desain PLTS, analisis teknis dan simulasi <i>software</i>	Penelitian ini membahas penggunaan PLTS untuk beban SPKLU