

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

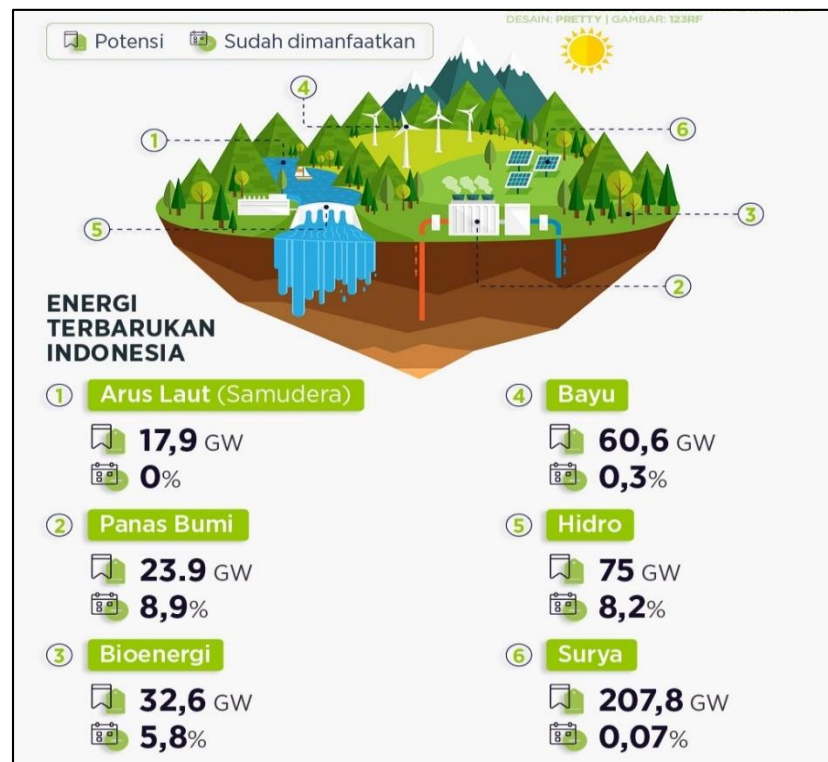
#### **2.1. Energi Baru dan Terbarukan**

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, yang dimaksud dengan sumber energi baru adalah sumber energi yang dapat dihasilkan oleh teknologi baru baik yang berasal dari sumber energi terbarukan maupun sumber energi tak terbarukan. Sedangkan sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Saat ini permasalahan energi di Indonesia adalah berkurangnya cadangan bahan bakar fosil dan terbatasnya akses masyarakat terhadap energi, terutama di daerah tertinggal, terpencil dan perbatasan. Dari sisi cadangan, penurunan produksi minyak dan peningkatan permintaan bahan bakar minyak (BBM) akan menyebabkan impor minyak mentah serta BBM terus meningkat. Dari sisi akses, perlu dikembangkan energi untuk daerah tertinggal, terpencil dan perbatasan. Dengan demikian, penggunaan energi terbarukan yang sumbernya tersedia dan dapat terus digunakan secara berkesinambungan merupakan solusi dari permasalahan tersebut (BPPT, 2016).

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target penggunaan bauran energi baru dan terbarukan (EBT) di Indonesia pada tahun 2025 minimal 23%. EBT yang dapat digunakan untuk memenuhi target bauran energi pada tahun 2025 terdiri dari energi panas bumi, energi angin, bioenergi, energi surya, energi aliran dan terjunan air, energi gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut, teknologi baru sumber energi tidak terbarukan seperti nuklir, hidrogen, gas metana batu bara (*coal bed methane*), batu bara tercairkan (*liquified coal*), dan batu bara tergaskan (*gasified coal*).

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan hingga 417,8 GW. Namun demikian, sampai dengan tahun 2020 pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia baru mencapai 2,5% atau sekitar 10,4 GW. Secara umum, perbandingan antara

potensi dan pemanfaatan energi terbarukan (EBT) di Indonesia sampai dengan tahun 2020 dapat dilihat pada Gambar 2.1. di bawah ini.



**Gambar 2.1.** Potensi dan pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia (Kementerian ESDM, 2021)

## 2.2. Energi Surya

Energi surya merupakan salah satu energi terbarukan yang saat ini sedang fokus dikembangkan oleh pemerintah Indonesia. Menurut Widayana (2012), surya merupakan sumber energi utama yang memancarkan energi luar biasa besar ke permukaan bumi. Pada kondisi cuaca cerah, permukaan bumi dapat menerima sekitar 1.000 watt energi surya per-meter persegi. Secara umum, energi surya dapat dimanfaatkan secara langsung `dalam bentuk panas (energi termal) dan sebagai listrik (fotovoltaik). Energi surya dapat dikonversi menjadi energi listrik yang nantinya bisa digunakan untuk menjalankan berbagai macam alat elektronik, seperti menyalakan lampu, menggerakkan motor, dan lain sebagainya (Aryza, dkk., 2017). Beberapa keunggulan energi surya menurut Hasan (2012), antara lain: sumber energi yang mudah didapatkan, ramah lingkungan, sesuai untuk berbagai macam

kondisi geografis, instalasi, pengoperasian dan perawatan mudah, serta listrik dari energi surya dapat disimpan dalam baterai.

### 2.2.1. Potensi energi surya di Indonesia

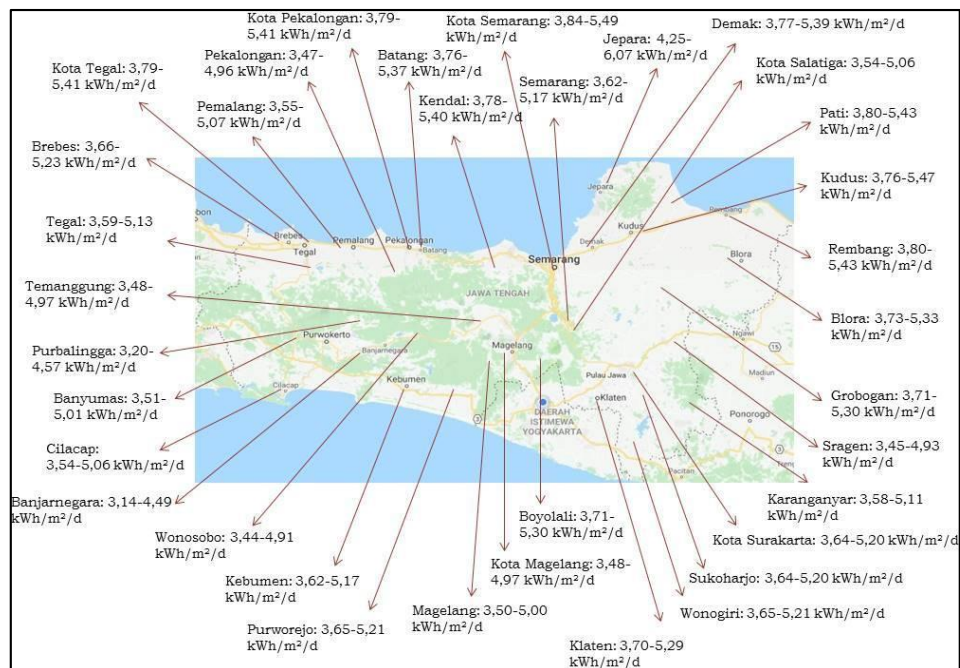
Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang mempunyai potensi sumber energi surya yang cukup tinggi. Berdasarkan data pada Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), potensi pembangkitan energi surya di Indonesia diperkirakan dapat mencapai 207,89 GW dengan intensitas sebesar 4,80 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Mendasari hal tersebut, pemerintah Indonesia menetapkan target pemanfaatan energi surya setidaknya dapat mencapai 6,5 GW pada akhir tahun 2025 dan 45 GW pada akhir tahun 2050, atau mencapai 22% dari keseluruhan potensi sinar matahari yang ada di Indonesia. Potensi energi surya di Indonesia tersebar secara merata hampir di seluruh provinsi yang ada di Indonesia. Berdasarkan data Ditjen EBTKE (2020), provinsi dengan potensi energi sinar matahari terbesar adalah Kalimantan Barat dengan potensi pembangkitan mencapai 20.113 MW, disusul oleh Sumatera Selatan (17.233 MW), Kalimantan Timur (13.479 MW), Sumatera Utara (11.851 MW), dan Jawa Timur (10.335 MW).



**Gambar 2.2.** Peta potensi energi surya di Indonesia (P3TKEBTKE, 2017)

### 2.2.2. Potensi energi surya di Jawa Tengah

Secara teoritikal dihitung berdasarkan parameter global horizontal *irradiation* dan ketersediaan lahan kosong, Provinsi Jawa Tengah memiliki potensi energi surya mencapai 58.355 MW (Ditjen EBTKE, 2020). Sedangkan secara teknis, Provinsi Jawa Tengah memiliki potensi pembangkitan energi surya sebesar 8.753 MW. Menurut IESR (2021), Provinsi Jawa Tengah memiliki potensi energi surya sebesar 4,05 kWh/kWp/hari, di atas rata-rata nasional dan merupakan salah satu provinsi dengan potensi teknis tertinggi di Indonesia. Berdasarkan data penelitian yang dilakukan oleh Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah (2017), potensi radiasi matahari di Jawa Tengah berkisar antara 3,14 kWh/m<sup>2</sup>/hari sampai dengan 6,07 kWh/m<sup>2</sup>/hari, dengan rincian sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Peta potensi radiasi matahari Jawa Tengah (Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah, 2017)

### 2.2.3. Potensi energi surya di Semarang

Kota Semarang sebagai lokasi penelitian merupakan salah satu daerah yang memiliki potensi energi surya cukup baik. Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi daya keluaran sel surya adalah radiasi matahari dan temperatur. Radiasi matahari merupakan sejumlah energi yang diterima bumi per satuan luas. Tidak seluruh pancaran matahari dapat mencapai ke permukaan bumi. Radiasi matahari yang diterima bumi pada jangka waktu tertentu disebut dengan insolasi. Insolasi matahari disebut sebagai radiasi global, yaitu merupakan jumlah radiasi maksimal yang dapat diterima permukaan bumi, meliputi radiasi langsung dan radiasi tidak langsung. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya insolasi matahari adalah intensitas radiasi matahari, lama penyinaran matahari, kejernihan atmosfer, dan konstanta matahari. Tabel 2.1. menunjukkan jumlah intensitas radiasi matahari di Kota Semarang dari tahun 2018 s/d 2020 berdasarkan data NASA (2022).

**Tabel 2.1.** Data intensitas radiasi matahari di Kota Semarang tahun 2018 s/d 2020

2018		2019		2020	
Bulan	Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)	Bulan	Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)	Bulan	Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)
Januari	4,14	Januari	4,08	Januari	4,58
Februari	4,31	Februari	5,27	Februari	4,41
Maret	5,24	Maret	4,61	Maret	5,25
April	5,45	April	5,29	April	4,86
Mei	5,08	Mei	5,46	Mei	4,77
Juni	5,05	Juni	5,31	Juni	4,85
Juli	5,48	Juli	5,55	Juli	5,32
Agustus	5,92	Agustus	5,97	Agustus	5,92
September	6,06	September	6,39	September	6,21
Oktober	6,28	Oktober	6,50	Oktober	5,45
November	5,39	November	6,20	November	5,31
Desember	4,57	Desember	5,11	Desember	4,07
Rata-rata	5,25	Rata-rata	5,48	Rata-rata	5,08

Sumber: (NASA, 2022)

Berdasarkan Tabel 2.1. dapat dilihat bahwa tingkat radiasi matahari di Kota Semarang memiliki nilai yang cukup tinggi yaitu sebesar 5,25 kWh/m<sup>2</sup>/hari pada tahun 2018, 5,48 kWh/m<sup>2</sup>/hari pada tahun 2019, dan 5,08 kWh/m<sup>2</sup>/hari pada tahun 2020. kWh/m<sup>2</sup>/hari. Data tersebut menunjukkan bahwa Kota Semarang berpotensi untuk menjadi lokasi pengembangan teknologi fotovoltaik atau pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan menggunakan energi matahari sebagai sumber utama pembangkitan energi listrik. Sedangkan untuk data temperatur (°C) di wilayah Kota Semarang selama periode tahun 2018 s/d 2020 yang bersumber dari data NASA (2022) dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** Data temperatur di Kota Semarang tahun 2018 s/d 2020

2018		2019		2020	
Bulan	Temperatur (°C)	Bulan	Temperatur (°C)	Bulan	Temperatur (°C)
Januari	26,33	Januari	26,95	Januari	27,36
Februari	26,10	Februari	26,89	Februari	26,90
Maret	26,80	Maret	26,90	Maret	27,27
April	27,12	April	27,56	April	27,35
Mei	27,12	Mei	27,22	Mei	27,38
Juni	27,39	Juni	27,22	Juni	26,69
Juli	28,07	Juli	28,63	Juli	26,50
Agustus	30,76	Agustus	30,73	Agustus	28,18
September	32,05	September	31,60	September	29,42
Oktober	31,65	Oktober	32,59	Oktober	29,00
November	29,31	November	32,38	November	27,95
Desember	27,35	Desember	28,63	Desember	26,62
Rata-rata	28,34	Rata-rata	28,94	Rata-rata	27,55

Sumber: (NASA, 2022)

### 2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Menurut Boxwell (2017), PLTS adalah pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari sebagai sumber energinya melalui sel surya (fotovoltaik) untuk mengkonversikan radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni, dan bahan semikonduktor lainnya. PLTS memanfaatkan sinar

matahari untuk menghasilkan listrik DC yang dapat diubah menjadi listrik AC apabila diperlukan. PLTS merupakan teknologi pembangkit listrik yang dapat diterapkan di semua wilayah. Instalasi, operasi, dan perawatan PLTS sangat mudah sehingga tidak sulit diadopsi oleh masyarakat (Kementerian ESDM, 2016). PLTS merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan tanpa ada bagian yang berputar, tidak menimbulkan kebisingan, dan tanpa mengeluarkan limbah yang merugikan lingkungan di sekitarnya.



**Gambar 2.4.** Contoh PLTS (ABB, 2014)

Hambatan utama pasar PLTS adalah biaya investasi per Watt daya terbangkitkan masih relatif mahal dan beberapa bahan baku komponen PLTS khususnya sel surya masih harus diimpor (Kementerian ESDM, 2016) (Kementerian ESDM, 2021). Oleh karena itu, penumbuhan industri sel surya lokal menjadi sangat strategis dalam pengembangan PLTS di masa mendatang. Di samping itu, kebijakan *feed in tariff* yang menarik bagi investor juga menjadi hal yang sangat penting bagi pertumbuhan investasi swasta dalam pembangunan PLTS. Menurut Kementerian ESDM (2016), beberapa keunggulan PLTS antara lain:

- Sumber energi matahari tersedia di seluruh lokasi permukaan bumi dengan jumlah yang berlimpah sehingga tidak pernah menimbulkan konflik sosial terhadap penggunaan sumber energi matahari;
- Teknologi PLTS mudah dipahami dan diterima oleh masyarakat awam, dapat dipasang oleh tenaga lokal, dapat dioperasikan oleh pengguna dengan perawatan yang sangat lokal;

- PLTS sangat bersahabat dengan lingkungan, tidak menghasilkan emisi gas, tidak bising, bekerja pada temperatur ruang, dan tidak ada risiko bencana terhadap keselamatan manusia juga lingkungan;
- Perangkat PLTS sudah banyak tersedia di pasar dengan beragam pilihan daya, harga dan kualitas.

Menurut Yuwono, dkk. (2021), terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi daya keluaran sel surya, yaitu: radiasi matahari, temperatur sel surya, orientasi panel surya, sudut kemiringan panel surya, dan pengaruh bayangan. Sistem PLTS dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu:

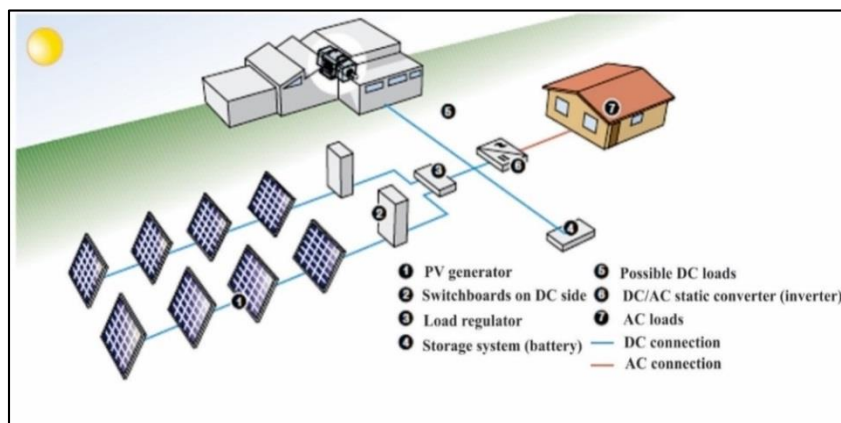
- Berdasarkan lokasi pemasangan, sistem PLTS terbagi menjadi pola tersebar (*distributed PV plant*) dan sistem terpusat (*centralized PV plant*) (Setiawan, dkk., 2014);
- Berdasarkan daya yang dihasilkan, sistem PLTS dibagi menjadi 3 kategori, yaitu: PLTS skala kecil dengan batas 10 kW atau kurang, skala menengah dengan batas antara 10 kW hingga 500 kW, dan skala besar dengan batas di atas 500 kW (Omran, 2010);
- Berdasarkan teknologi aplikasi pada gedung terintegrasi BIPV, sistem PLTS terbagi menjadi PLTS yang dipasang pada atap (*PLTS rooftop*) dan PLTS yang dipasang pada dinding bangunan (*PLTS fasade*) (Biyik, dkk., 2017);
- Berdasarkan aplikasi dan konfigurasinya, sistem PLTS dibagi menjadi PLTS yang tidak terhubung jaringan (*off grid PV plant*), sistem PLTS yang terhubung jaringan (*on grid PV plant*), dan penggabungan dengan sistem pembangkit listrik yang lain disebut dengan *PLTS hybrid* (Setiawan, dkk., 2014).



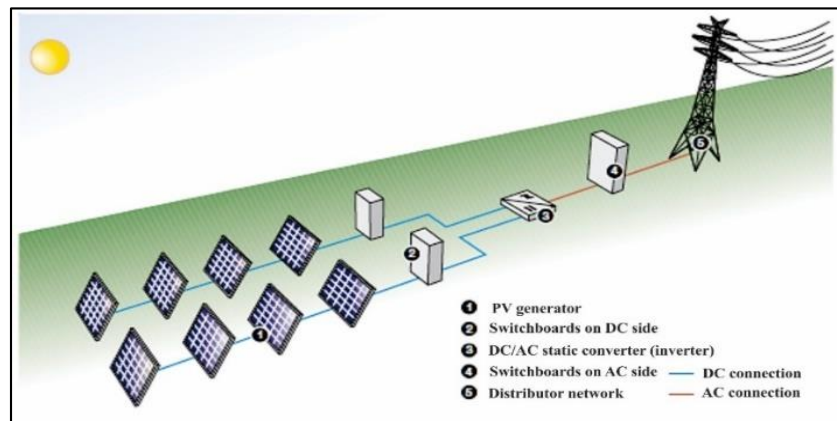
**Tabel 2.3.** Jenis-jenis PLTS

	<b>PLTS <i>off grid</i></b>	<b>PLTS <i>on grid</i></b>	<b>PLTS <i>Hybrid</i></b>
Deskripsi	Sistem PLTS yang <i>output</i> daya listriknya secara mandiri menyuplai listrik ke jaringan distribusi pelanggan atau tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN.	Bisa beroperasi tanpa baterai, karena <i>output</i> listriknya disalurkan ke jaringan distribusi yang telah disuplai pembangkit lainnya (misalnya jaringan PLN).	Gabungan dari sistem PLTS dengan pembangkit yang lainnya, misalnya: PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Disel), PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu).
Baterai	Ya, supaya bisa memberikan suplai listrik sesuai kebutuhan beban.	Tidak.	Bisa <i>off grid</i> (pakai baterai) atau <i>on grid</i> (tanpa baterai).
Manfaat	Untuk menjangkau daerah yang belum ada jaringan listrik PLN.	Untuk berbagi beban atau mengurangi beban pembangkit lain yang terhubung pada jaringan yang sama.	Memaksimalkan penyediaan energi dari berbagai potensi sumber daya.
PLTS terpusat	PLTS yang memiliki sistem jaringan distribusi untuk menyalurkan daya listrik ke beberapa rumah pelanggan. Keuntungan dari PLTS terpusat adalah penyaluran daya listrik dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban yang berbeda-beda di setiap rumah pelanggan.		
PLTS tersebar/ terdistribusi	PLTS yang tidak memiliki sistem jaringan distribusi, sehingga setiap rumah pelanggan memiliki sistem PLTS tersendiri.		
	Contoh PLTS <i>off grid</i> tersebar: Solar Home Sistem (SHS)	Contoh PLTS <i>on grid</i> tersebar: Solar PV <i>Rooftop</i>	

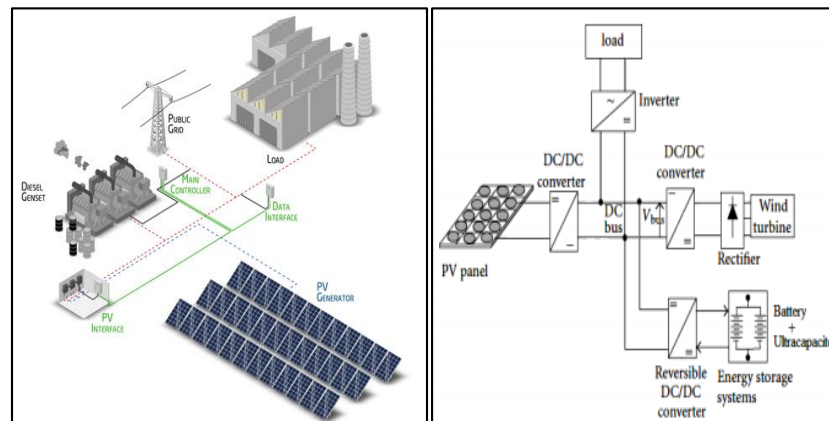
Sumber: (Budi Prasetyo, dkk., 2018)



**Gambar 2.5.** Prinsip kerja PLTS *off grid* (ABB, 2014)



**Gambar 2.6.** Prinsip kerja PLTS *on grid* (ABB, 2014)



**Gambar 2.7.** Skema PLTS *hybrid* (Djellad, dkk., 2014)

## 2.4. Kebijakan Pengembangan PLTS

### 2.4.1. Kebijakan Nasional

Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk ikut mensukseskan Kesepakatan Paris (*Paris Agreement*), salah satunya dengan cara melakukan pengembangan energi baru terbarukan secara terstruktur dan terencana melalui penerbitan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) serta Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang merupakan amanat dari Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi. Dalam KEN dan RUEN, Pemerintah Indonesia memproyeksikan pengembangan tenaga sinar matahari untuk tenaga listrik sebesar 6,5 GW

pada tahun 2025 dan 45 GW pada tahun 2050 atau sekitar 22% dari total seluruh potensi energi sinar matahari yang ada di Indonesia yaitu sebesar 207,9 GW. Dalam KEN disebutkan beberapa strategi pemanfaatan sumber daya energi sinar matahari secara nasional yang dilaksanakan oleh pemerintah dan/atau pemerintah daerah, antara lain:

- b. Pemanfaatan sumber energi terbarukan dari jenis energi sinar matahari diarahkan untuk ketenagalistrikan, dan energi nonlistrik untuk industri, rumah tangga, dan transportasi;
- c. Peningkatan pemanfaatan sumber energi sinar matahari melalui penggunaan sel surya pada transportasi, industri, gedung komersial, dan rumah tangga;
- d. Pemaksimalan dan kewajiban pemanfaatan sumber energi sinar matahari dilakukan dengan syarat seluruh komponen dan sistem pembangkit energi sinar matahari dari hulu sampai hilir diproduksikan di dalam negeri secara bertahap;
- e. Penguatan perkembangan industri energi dengan cara mendorong industri sistem dan komponen peralatan instalasi pembangkit listrik tenaga sinar matahari dan pembangkit listrik tenaga gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut.

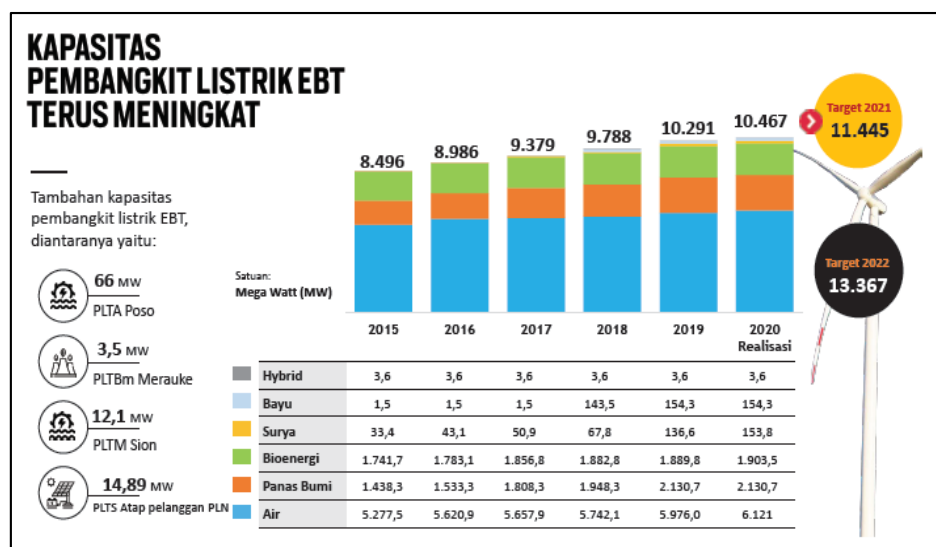
Sedangkan untuk dapat mencapai sasaran pengembangan PLTS, RUEN telah mencanangkan beberapa kegiatan yang akan dilakukan oleh pemerintah, antara lain:

- a. Memberlakukan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 30% dari luas atap untuk seluruh bangunan Pemerintah;
- b. Memberlakukan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 25% dari luas atap (*rooftop*) bangunan rumah mewah, kompleks perumahan, apartemen, kompleks melalui Izin Mendirikan Bangunan (IMB);
- c. Memfasilitasi pendirian industri hulu hilir PLTS.

Dalam RUEN secara eksplisit telah mengamanatkan pemerintah daerah untuk segera menyusun Rencana Umum Energi Daerah (RUED).

Sesuai data yang dirilis oleh DEN (2021), hingga periode bulan Juli 2021, tercatat sudah ada 21 provinsi yang telah mengundang peraturan daerah tentang RUED-Provinsi.

Pengembangan dan pemanfaatan energi surya di Indonesia hingga tahun 2020 baru mencapai 153,8 MW atau sekitar 0,073% dari keseluruhan potensi energi surya di Indonesia (Ditjen EBTKE, 2020). Hal tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan energi sinar matahari dibandingkan dengan sumber EBT lainnya seperti tenaga air, tenaga biomassa dan panas bumi masih tergolong rendah. Sebagai gambaran, pada tahun 2020, kapasitas terpasang PLTA mencapai 6.121 MW, PLTP sebesar 2.130,7 MW dan PLTBm mencapai 1.903,5 MW. Pembangkitan PLTS bahkan menduduki peringkat di bawah PLTB dengan total 154,3 MW.



**Gambar 2.8.** Kapasitas pembangkit PLT EBT tahun 2015 s/d 2020 (Ditjen EBTKE, 2020)

Grafik sebagaimana dalam Gambar 2.8. tersebut di atas, menunjukkan bahwa masih banyak pekerjaan rumah yang harus dilakukan dalam memaksimalkan potensi energi surya oleh seluruh *stakeholder*. Perlu adanya akselerasi dalam pelaksanaan pengembangan potensi energi sinar matahari dalam rangka memenuhi target sebagaimana diamanatkan dalam RUEN, yaitu produksi listrik terbesar diharapkan berasal dari PLTS

dengan total pembangkitan sebesar 421,3 TWh pada Tahun 2050 sebagaimana pada skenario Pembangunan Berkelanjutan (PB) dan pembangkitan PLTS diharapkan menjadi produsen terbesar listrik dengan target pembangkitan sebesar 529 TWh pada Tahun 2050 sebagaimana pada skenario Rendah Karbon (RK) (DEN, 2019).

#### 2.4.2. Kebijakan Provinsi Jawa Tengah

Dalam rangka mewujudkan visi pengelolaan energi daerah yaitu: “Terwujudnya percepatan bauran energi yang berkeadilan, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan dalam rangka kemandirian dan ketahanan energi daerah”, Pemerintah Provinsi Jawa Tengah telah menyusun Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 12 Tahun 2018 tentang Rencana Umum Energi Daerah Provinsi Jawa Tengah. Kebijakan tersebut dalam rangka melaksanakan amanat KEN, RUEN serta Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2014 tentang Pemerintah Daerah yang mengatur kewenangan pemerintah daerah provinsi di sektor energi, termasuk EBT dan ketenagalistrikan.

Pemerintah Provinsi Jawa Tengah melalui RUED-P, menargetkan capaian porsi EBT pada bauran energi pada tahun 2030 sebesar 22,55%. Dalam rangka mencapai target tersebut, Pemerintah Provinsi Jawa Tengah secara konsisten melakukan pengembangan EBT, salah satunya melalui pemanfaatan energi surya untuk pembangkitan listrik. Hal tersebut juga sejalan dengan amanat Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi dimana pemerintah daerah wajib meningkatkan pemanfaatan EBT, serta Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan yang mengamanatkan bahwa sumber EBT harus dimanfaatkan secara optimal sesuai KEN untuk menjamin penyediaan tenaga listrik yang berkelanjutan. Beberapa poin penting dalam kebijakan pengembangan PLTS pada Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 12 Tahun 2018 tentang Rencana Umum Energi Daerah Provinsi Jawa Tengah dapat dilihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4.** Poin Penting Perda Jawa Tengah tentang RUED

Pasal	Poin Penting
Pasal 5 ayat (1)	Pencapaian target program RUED-P diprioritaskan melalui peningkatan peran energi baru terbarukan dalam Energy Mix
Pasal 5 ayat (2)	Energy Mix dari energi baru terbarukan dalam RUED-P sebagaimana dimaksud pada ayat (1) ditargetkan sebesar: sampai dengan tahun 2020 sebesar 11,60% tahun 2025 sebesar 21,32% tahun 2030 sebesar 22,55% tahun 2035 sebesar 23,82% tahun 2040 sebesar 25,50% tahun 2045 sebesar 27,11% tahun 2050 sebesar 28,82%
Pasal 6 huruf e	Pencapaian target program RUED-P sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 diprioritaskan pada pembangunan infrastruktur, antara lain: pembangunan pembangkit listrik (tenaga air, surya, sampah, biomass, bayu, batubara dan gas bumi)

Sumber: (Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 12 Tahun 2018 tentang Rencana Umum Energi Daerah Provinsi Jawa Tengah)

Menurut Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah (2021), ada beberapa kebijakan yang diambil oleh para pimpinan dalam pengembangan energi surya di Provinsi Jawa Tengah, mulai dari Gubernur, Sekda, hingga Kepala Organisasi Perangkat Daerah (OPD) antara lain:

- a. Surat Edaran Gubernur Jawa Tengah Nomor: 671.25/0004468 tanggal 1 Maret 2019 tentang Implementasi Pembangunan PLTS Atap di Jawa Tengah;
- b. Surat Sekda Provinsi Jawa Tengah Nomor: 671/4649 tanggal 13 Juni 2019 tentang Pelaksanaan Instalasi PLTS Atap (*Rooftop*) di Lingkungan OPD Provinsi Jawa Tengah;
- c. Surat Sekda Provinsi Jawa Tengah Nomor: 671/0015817 tanggal 23 November 2021 tentang Percepatan Program Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap;

- d. Tujuh belas OPD di Provinsi Jawa Tengah menganggarkan rencana pembangunan PLTS *Rooftop* Tahun 2020, namun belum dapat terlaksana karena pandemi COVID-19;
- e. Pada tanggal 17 September 2019, bertempat di Kantor Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah telah diadakan forum “JAWA TENGAH SOLAR PROVINCE 2019” sebagai bentuk komitmen Pemerintah Provinsi Jawa Tengah dalam meningkatkan pemanfaatan PLTS Atap di Jawa Tengah bekerjasama dengan IESR, AESI dan Kementerian ESDM-RI.

## 2.5. Pemanfaatan PLTS di Jawa Tengah

Indikasi rencana pengembangan energi surya di Jawa Tengah sebagaimana tercantum dalam Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional, menargetkan sebesar 44,9 MW pada tahun 2021; 71,7 MW (2022); 106,6 MW (2023); 143,8 MW (2024); dan 186,4 MW (2025); mendasari pada konsumsi listrik per kapita dan ketersediaan potensi surya di Provinsi Jawa Tengah. Pemanfaatan energi surya di Jawa Tengah hingga saat ini terbatas pada PLTS SHS, PLTS Komunal, PLTS Penerangan Jalan Umum (PJU) dan PLTS *Rooftop*. Untuk pembangunan PLTS SHS, Komunal dan PJU, sistem kelistrikan yang digunakan masih *off grid* (tidak tersambung dalam sistem interkoneksi jaringan PLN) sedangkan khusus untuk PLTS *Rooftop* sudah tersambung dengan sistem interkoneksi jaringan PLN (*on grid*).

Menurut data Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah (2021), sampai dengan bulan Mei tahun 2021, di Jawa Tengah sudah terbangun PLTS SHS sebanyak 575 unit dengan kapasitas terpasang 33,1 kWp; PLTS Komunal *off grid* sejumlah 21 unit dengan total kapasitas 561 kWp; PJU TS sejumlah 8.160 unit; PLTS Atap (*Rooftop*) sebanyak 228 unit baik *on grid* maupun *off grid* dengan kapasitas sekitar 6.425 kWp. Dalam rangka melaksanakan amanat RUEN berupa kewajiban pemanfaatan energi surya minimal sebesar 30% dari total luas atap bangunan pemerintah, Pemerintah Provinsi Jawa Tengah melalui APBD telah membangun sebanyak 3 unit PLTS atap sistem *on grid* di gedung kantor pemerintahannya dengan total kapasitas terpasang sebesar 95 kWp.

### 2.5.1. PLTS atap gedung kantor Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah

PLTS atap (*rooftop*) gedung kantor Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah berlokasi di Jl. Madukoro Blok AA-BB No. 44, Kelurahan Tawangmas, Kecamatan Semarang Barat, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah 50144, tepatnya pada koordinat  $6^{\circ} 57' 42''$  LS dan  $110^{\circ} 23' 38''$  BT. Dengan kapasitas terpasang sebesar 35 kWp, termasuk ke dalam kategori PLTS skala menengah. Berdasarkan sistem pemasangannya, PLTS atap yang dibangun pada tahun 2017 tersebut merupakan sistem PLTS *on grid* (terkoneksi ke jaringan PLN) tanpa menggunakan baterai/sistem penyimpanan. PLTS atap di kantor Dinas ESDM memiliki sistem monitoring yang berfungsi untuk menampilkan data dan informasi dari operasi sistem PLTS. Fitur tersebut sangat bermanfaat bagi operator untuk mengetahui jumlah energi yang diproduksi (harian, bulanan dan tahunan).



**Gambar 2.9.** PLTS atap di Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah

### 2.5.2. PLTS atap gedung kantor Bappeda Provinsi Jawa Tengah

PLTS atap (*rooftop*) gedung kantor Bappeda Provinsi Jawa Tengah berlokasi di Jl. Pemuda No. 127-133, Kelurahan Sekayu, Kecamatan Semarang Tengah, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah 50132, tepatnya pada koordinat  $6^{\circ} 58' 50''$  LS dan  $110^{\circ} 24' 48''$  BT. Dengan kapasitas terpasang sebesar 30 kWp, termasuk ke dalam kategori PLTS skala



menengah. Berdasarkan sistem pemasangannya, PLTS atap yang dibangun pada tahun 2018 tersebut merupakan sistem PLTS *on grid* (terkoneksi ke jaringan PLN) tanpa menggunakan baterai/sistem penyimpanan. PLTS atap di kantor Bappeda memiliki sistem monitoring yang berfungsi untuk menampilkan data dan informasi dari operasi sistem PLTS. Fitur tersebut sangat bermanfaat bagi operator untuk mengetahui jumlah energi yang diproduksi (harian, bulanan dan tahunan).



**Gambar 2.10.** PLTS atap di Bappeda Provinsi Jawa Tengah

### 2.5.3. PLTS atap gedung kantor Sekretariat DPRD Provinsi Jawa Tengah

PLTS atap (*rooftop*) gedung kantor Sekretariat DPRD Provinsi Jawa Tengah berlokasi di Jl. Pahlawan No. 7, Kelurahan Mugassari, Kecamatan Semarang Selatan, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah 50249, tepatnya pada koordinat  $6^{\circ} 59' 35''$  LS dan  $110^{\circ} 25' 16''$  BT. Dengan kapasitas terpasang sebesar 30 kWp, termasuk ke dalam kategori PLTS skala menengah. Berdasarkan sistem pemasangannya, PLTS atap yang dibangun pada tahun 2019 tersebut merupakan sistem PLTS *on grid* (terkoneksi ke jaringan PLN) tanpa menggunakan baterai/sistem penyimpanan. PLTS atap di kantor Sekretariat DPRD memiliki sistem monitoring yang berfungsi untuk menampilkan data dan informasi dari

operasi sistem PLTS. Fitur tersebut sangat bermanfaat bagi operator untuk mengetahui jumlah energi yang diproduksi (harian, bulanan dan tahunan).



**Gambar 2.11.** PLTS atap di Sekretariat DPRD Provinsi Jawa Tengah

## 2.6. Studi Evaluatif

Menurut Sukmadinata (2009), evaluasi merupakan kegiatan untuk mengumpulkan informasi tentang bekerjanya sesuatu, yang selanjutnya informasi tersebut digunakan untuk menentukan alternatif yang tepat dalam mengambil keputusan. Fungsi utama evaluasi adalah menyediakan informasi-informasi yang berguna bagi pihak *decision maker* untuk menentukan kebijakan yang akan diambil berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan. Penelitian evaluatif adalah kegiatan penelitian yang sifatnya mengevaluasi suatu program atau kegiatan yang bertujuan untuk mengukur dan menentukan apakah suatu program atau kegiatan tersebut telah sesuai dengan yang diharapkan. Penelitian evaluatif mengacu pada prosedur ilmiah sistematis yang dilakukan untuk mengukur hasil suatu program atau kegiatan (efektivitas), dengan cara mengumpulkan, menganalisis dan mengkaji pelaksanaan program yang dilakukan secara objektif, kemudian merumuskan dan menentukan kebijakan dengan terlebih dahulu mempertimbangkan nilai-nilai positif dan keuntungan suatu program.

Penelitian evaluatif bersifat komprehensif yang membutuhkan data kuantitatif dan kualitatif. Secara umum tujuan dari penelitian evaluatif adalah

untuk merancang, menyempurnakan, dan menguji pelaksanaan suatu program atau kegiatan. Salah satu tujuan dari penelitian evaluatif adalah untuk memberikan masukan kepada pengambil kebijakan dalam menentukan keputusan penyempurnaan atau perubahan terhadap suatu program/kegiatan (Hayati, 2021). Menurut Arikunto (2012), terdapat 4 (empat) jenis kebijakan yang kemungkinan dapat dilaksanakan berdasarkan hasil dari pelaksanaan evaluasi, yaitu: menghentikan program karena dianggap kurang benefit atau tidak dapat berjalan sesuai dengan harapan untuk ke depannya; merevisi program karena terdapat sedikit kesalahan pada bagian-bagian tertentu dari program yang kurang sesuai; melanjutkan program karena telah berjalan sesuai dengan rencana dan harapan, serta memberi dampak benefit yang baik; serta desimilasi atau melaksanakan program dan menyebarkannya di lembaga atau satuan unit lain secara berulang kali karena dianggap sukses/berhasil terlaksana dengan baik.

## **2.7. Studi Keberlanjutan**

Menurut Basiago (1999), pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan yang didasarkan pada upaya pemenuhan kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan sumber daya yang ada untuk memenuhi kebutuhan generasi mendatang. Munculnya program *Sustainable Development Goals* (SDGs) menjadi bukti bahwa pembangunan berkelanjutan merupakan tujuan bersama bagi negara-negara di dunia untuk menciptakan masa depan yang lebih baik. Menurut Wulf, dkk. (2018), SDGs adalah indikator yang disepakati bersama untuk mengukur keberhasilan suatu negara dalam mencapai pembangunan berkelanjutan, yang terdiri dari 17 tujuan, termasuk memastikan kehidupan yang sehat (tujuan 3), akses energi berkelanjutan (tujuan 7), dan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan (tujuan 8).

Menurut Sathaye, dkk., (2011), pengembangan energi terbarukan setidaknya dapat memberikan beberapa kontribusi penting bagi pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan, antara lain: (1) pembangunan ekonomi dan sosial, (2) peningkatan akses energi, (3) peningkatan ketahanan energi, dan (4) mitigasi perubahan iklim serta pengurangan dampak terhadap kesehatan dan lingkungan. Dari pernyataan tersebut, maka pemanfaatan energi terbarukan setidaknya telah

mencakup 3 aspek utama menurut Basiago (1999) dan Boyer, dkk. (2016), yaitu aspek ekonomi untuk tujuan pembangunan ekonomi, aspek lingkungan untuk tujuan mitigasi perubahan iklim dan pengurangan dampak terhadap lingkungan, serta aspek sosial untuk tujuan pengurangan dampak negatif terhadap kesehatan.

Selain ketiga aspek tersebut, dalam mendukung program pembangunan keberlanjutan yang dilakukan oleh pemerintah Indonesia, energi terbarukan khususnya PLTS juga memiliki tujuan untuk menghemat tagihan listrik pelanggan PLTS atap sebagaimana tertuang dalam Permen ESDM Nomor 26 Tahun 2021 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Yang Terhubung Pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Umum. Pemerintah Provinsi Jawa Tengah secara lebih spesifik melalui Peraturan Gubernur Jawa Tengah Nomor 62 Tahun 2019 tentang Rencana Aksi Daerah Tujuan Pembangunan Berkelanjutan Provinsi Jawa Tengah Tahun 2019-2023, menargetkan untuk dapat menjamin akses energi andal melalui peningkatan pangsa energi baru terbarukan. Mendasari hal tersebut, dalam penelitian ini dilakukan evaluasi atas implementasi kebijakan pengembangan energi baru terbarukan khususnya PLTS atap dengan melihat 5 (lima) aspek evaluasi yaitu kontribusi, teknis, lingkungan, sosial, dan ekonomi untuk mengetahui tingkat keberhasilannya dalam mendukung program pembangunan berkelanjutan.

### 2.7.1. Analisis aspek kontribusi

Analisis aspek kontribusi dilakukan dengan cara membandingkan realisasi besaran produksi energi listrik PLTS atap terhadap pemakaian listrik *on grid* PLN. Perhitungan kontribusi produksi energi listrik PLTS atap terhadap total kebutuhan energi listrik gedung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E_{\text{Beban PLTS}} = E_{\text{Produksi PLTS}} - E_{\text{Ekspor PLTS}} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$E_{\text{Total}} = E_{\text{Impor PLN}} + E_{\text{Beban PLTS}} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Penghematan} = \frac{E_{\text{Beban PLTS}}}{E_{\text{Total}}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{Pendapatan} = \frac{E_{\text{Ekspor PLTS}} \times 0,65}{E_{\text{Total}}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Kontribusi} = \text{Penghematan} + \text{Pendapatan} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

- $E_{\text{Impor PLN}}$  : Energi listrik yang diimpor dari PLN (kWh)
- $E_{\text{Produksi PLTS}}$  : Energi listrik yang diproduksi oleh PLTS atap (kWh)
- $E_{\text{Ekspor PLTS}}$  : Energi listrik PLTS atap yang diekspor ke *grid* PLN (kWh)
- $E_{\text{Beban PLTS}}$  : Energi listrik PLTS atap yang dikonsumsi gedung (kWh)
- $E_{\text{Total}}$  : Total energi listrik yang dikonsumsi gedung (kWh)
- Penghematan : Kontribusi penghematan energi listrik PLTS atap (%)
- Pendapatan : Kontribusi pendapatan/ekspor energi listrik PLTS atap (%)
- Kontribusi : Total kontribusi energi listrik yang dihasilkan PLTS atap (%)

### 2.7.2. Analisis aspek teknis

Analisis aspek teknis dilakukan dengan menghitung 3 (tiga) parameter kinerja sistem PLTS atap secara keseluruhan, yaitu: *final yield* (YF), *reference yield* (YR), dan *performance ratio* (PR) berdasarkan standar IEC 61724 (Martha, dkk., 2022).

#### a. Hasil Akhir/*Final Yield* (YF)

Diperoleh dari perhitungan produksi energi listrik setelah pemasangan sistem PLTS atap (kWh) dibagi dengan daya puncak yang dihasilkan dari *PV array* (kWp). Nilai *final yield* (YF) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$YF = \frac{E_{pv}}{P_o} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

- YF : Produksi energi yang dihasilkan PLTS per daya terpasang
- $E_{pv}$  : Energi yang dihasilkan PLTS (kWh)
- $P_o$  : Daya PLTS yang terpasang (kWp)

b. Hasil Acuan/*Reference Yield* (YR)

Diperoleh dari nilai total radiasi cahaya matahari dalam satu bidang permukaan bumi (Ht) dengan satuan kWh/m<sup>2</sup> dibagi radiasi referensi saat kondisi ideal/STC (Gstc) dengan nilai 1.000 W/m<sup>2</sup>. Nilai *reference yield* (YR) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$YR = \frac{Ht}{Gstc} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

- YR : Potensi energi yang dihasilkan PLTS saat kondisi ideal/STC
- Ht : Radiasi pada bidang *array* (kWh/m<sup>2</sup>)
- Gstc : Radiasi referensi saat kondisi ideal/STC (1.000 W/m<sup>2</sup>)

c. Rasio Kinerja/*Performance Ratio* (PR)

Diperoleh dari perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh arus DC dengan daya keluaran pada arus AC. Nilai *performance ratio* (PR) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$PR = \frac{YF}{YR} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

- PR : *Performance ratio* atau rasio kinerja (%)
- YF : *Final yield* atau hasil akhir
- YR : *Referance yield* atau hasil acuan

2.7.3. Analisis aspek lingkungan

Analisis aspek lingkungan dilakukan dengan cara menghitung emisi gas rumah kaca (GRK) yang dapat dikurangi dari pemanfaatan PLTS atap sebagai substitusi penggunaan energi fosil melalui suplai energi listrik *on grid* PLN. Faktor emisi gas rumah kaca (GRK) sistem interkoneksi ketenagalistrikan dihitung berdasarkan data Ditjen Ketenagalistrikan (2019). Perhitungan penurunan emisi GRK dengan pemanfaatan PLTS atap dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Penurunan Emisi} = E \times FE \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

E : Penghematan energi fosil (MWh)

FE : Faktor emisi *on grid* PLN Jawa Tengah (tonCO<sub>2e</sub>/MWh)

#### 2.7.4. Analisis aspek sosial

Analisis aspek sosial dilakukan dengan cara menghitung perkalian antara dampak penurunan emisi GRK (hasil evaluasi lingkungan) dengan faktor pengali *midpoint to endpoint*. Emisi GRK menjadi salah satu penyebab terjadinya perubahan iklim (*climate change*) yang merupakan salah satu kategori dampak *midpoint* yang kemudian berpengaruh terhadap kesehatan manusia (*human health*) sebagai kategori dampak *endpoint* dalam metode penilaian dampak ReCiPe 2016 (Huijbregts et al., 2017). Perhitungan untuk dampak terhadap kesehatan manusia dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CF_e = CF_m \times F_m \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

CF<sub>e</sub> : Dampak terhadap kesehatan manusia (DALY)

CF<sub>m</sub> : Dampak terhadap perubahan iklim/penurunan emisi GRK (kgCO<sub>2e</sub>)

F<sub>m</sub> : Faktor pengali *midpoint to endpoint* (DALY/kgCO<sub>2e</sub>)

Hasil perhitungan dampak terhadap kesehatan manusia tersebut (dalam DALY) diasumsikan akan merepresentasikan harapan hidup penduduk Jawa Tengah utamanya yang tinggal di sekitar daerah pembangkitan energi listrik berbahan fosil. Selama kurun waktu tertentu akan diperoleh nilai DALY untuk kemudian nilai DALY tersebut dikonversikan dalam jumlah hari yang mampu merepresentasikan penambahan harapan hidup penduduk atas pemanfaatan PLTS atau mewakili jumlah hari yang hilang karena penyakit yang diakibatkan penggunaan energi fosil (jumlah hari sakit dalam setahun) bahkan mungkin mengakibatkan berkurangnya umur.

### 2.7.5. Analisis aspek ekonomi

Analisis aspek ekonomi dilakukan dengan cara menghitung kelayakan investasi yang diekspresikan melalui nilai *Net Present Value* (NPV), *Benefit Cost Ratio* (BCR), dan *Payback Periode* (PP) dari proyek pemanfaatan PLTS atau berdasarkan biaya investasi awal, biaya operasional dan pemeliharaan, serta *benefit* yang diperoleh. Analisis ekonomi dalam penelitian ini menggunakan nilai *benefit* dan *intangible benefit*. *Benefit* dihitung dari hasil energi listrik yang dikonversi dalam besaran rupiah (tarif dasar listrik) sementara *intangible benefit* merupakan harga pengurangan emisi GRK atau dikenal dengan istilah *carbon pricing* (Alvarez, dkk., 2016).

#### a. Biaya (*cost*)

Biaya adalah anggaran yang dikeluarkan baik untuk mendapatkan sesuatu (*supply price*) maupun untuk memproduksi sesuatu (*cost of production*). Elemen-elemen biaya terdiri atas biaya investasi dan biaya operasional maupun perawatan. Biaya investasi terdiri dari biaya pengadaan lahan, bangunan, mesin, peralatan pendukung dan peralatan kantor. Biaya operasional dan perawatan diasumsikan sebesar 1%-2% dari biaya investasi, yang terdiri dari biaya pengadaan bahan baku, listrik, bahan bakar, kemasan, bahan pendukung, biaya distribusi dan operasional kantor.

$$\text{Biaya (Cost)} = \text{Investasi Awal} + \text{Operasional \& Perawatan} \dots\dots\dots (2.11)$$

#### b. Pendapatan (*benefit*)

Menurut Ramadhan dan Rangkuti (2016), perkiraan kelayakan dari suatu investasi yang akan dilakukan diukur berdasarkan selisih (margin) antara besarnya pendapatan (*benefit*) dengan besarnya biaya (*cost*) pada suatu periode waktu (bulan atau tahun) selama masa investasi, sehingga memperkirakan pendapatan yang akan diperoleh merupakan aspek yang sangat penting dalam analisis ekonomi teknik. Sumber perkiraan pendapatan (*benefit*) yang diperoleh bisa berasal



dari penjualan produk atau layanan, pendapatan dari penjualan suatu aset pada saat penggantian atau pada akhir umur ekonomis aset tersebut, penghematan dari peralatan yang lebih efisien, dan pendapatan dari pinjaman.

$$Benefit = \text{Tarif Listrik per kW} \times \text{Total Penghematan Listrik} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$Intangible Benefit = \text{Total Penghematan Listrik} \times \text{Harga Karbon} \dots\dots\dots (2.13)$$

c. *Net Present Value* (NPV)

*Net Present Value* (NPV) digunakan untuk menentukan nilai tunai penerimaan dan pencairan uang di masa depan, sehingga dengan metode ini kelayakan investasi dan proyeksi *cashflow* di masa depan harus dinyatakan pada nilai yang sekarang atau didiskontokan dengan tingkat suku bunga yang sesuai. NPV dapat diperoleh dari nilai *Present Worth Benefit* (PWB) dikurangi nilai *Present Worth Cost* (PWC). Perhitungan NPV dibuat dengan proyeksi perhitungan pendapatan dan biaya yang terjadi selama masa proyek yang umumnya 20-25 tahun (Ramadhan dan Rangkuti, 2016) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$NPV = PWB - PWC \dots\dots\dots (2.14)$$

$$= \sum_{t=0}^n Cb_t (FBP)_t - \sum_{t=0}^n Cc_t (FBP)_t$$

Dimana:

- NPV : *Net Present Value* (Rp)
- PWB : *Present Worth Benefit* (Rp)
- PWC : *Present Worth Cost* (Rp)
- Cb : *Cashflow Benefit* (Rp)
- Cc : *Cashflow Cost* (Rp)
- FPB : *Fakto Bunga Present*
- n : Umur investasi/proyek infrastruktur (tahun)
- t : Lama investasi (tahun)

Nilai NPV menentukan kelayakan dari suatu investasi, bila nilai NPV positif maka proyek tersebut layak, namun bila nilai NPV yang didapatkan adalah negatif maka proyek tersebut tidak layak dilaksanakan.

d. *Benefit Cost Ratio* (BCR)

*Benefit Cost Ratio* (BCR) dihitung dengan menekankan nilai perbandingan antara aspek pendapatan (*benefit*) yang akan diperoleh dengan aspek biaya (*cost*) dan investasi (*investment*) yang akan ditanggung dengan adanya proyek tersebut. BCR dapat ditentukan dari nilai *Present Worth Benefit* (PWB) dibagi nilai *Present Worth Cost* (PWC). Menurut Newnan, dkk. (2004), dalam melakukan perhitungan BCR dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$BCR = \frac{PWB}{PWC} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$= \frac{\sum_{t=0}^n Cb_t (FBP)_t}{\sum_{t=0}^n Cc_t (FBP)_t}$$

Dimana:

- BCR : *Benefit Cost Ratio*
- PWB : *Present Worth Benefit* (Rp)
- PWC : *Present Worth Cost* (Rp)
- Cb : *Cashflow Benefit* (Rp)
- Cc : *Cashflow Cost* (Rp)
- FPB : *Fakto Bunga Present*
- n : Umur investasi/proyek infrastruktur (tahun)
- t : Lama investasi (tahun)

Jika BCR lebih besar dari 1, maka proyek tersebut layak (*feasible*) karena nilai manfaat yang dihasilkan selama umur ekonomis proyek lebih besar dari biaya dan investasi (*investment*). Bila nilai BCR kurang dari 1 menunjukkan nilai manfaat selama umur ekonomis proyek tidak cukup untuk menutupi *cost* dan *investment* sehingga proyek tersebut benefit tidak baik (*unfeasible*).

e. *Payback Period (PP)*

*Payback Period (PP)* digunakan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi. Cara perhitungan *PP* adalah dengan menghitung waktu yang dibutuhkan (tahun) agar aliran arus kas bersih kumulatif yang ditaksir akan sama dengan investasi awal (Ramadhan dan Rangkuti, 2016). *Payback Period (PP)* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$PP = (n - 1) + \frac{\text{Arus Kas Bersih Kumulatif tahun } n-1}{\text{Arus Kas Bersih tahun } n} \times 1 \text{ tahun} \dots\dots (2.16)$$

Dimana:

*PP* : *Payback Period* (tahun)

*n* : Umur investasi/proyek infrastruktur (tahun)

Bila periode waktu *PP* lebih pendek dari umur proyek maka investasi proyek akan dinilai layak dan bila periode waktu *PP* lebih panjang dari umur proyek maka investasi proyek dinilai belum layak.