

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

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

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi dijelaskan sebagai berikut:

1. Sumber energi baru adalah sumber energi yang dapat dihasilkan oleh teknologi baru baik yang berasal dari sumber energi terbarukan maupun sumber energi tak terbarukan.
2. Energi baru adalah energi yang berasal dari sumber energi baru.
3. Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik.
4. Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber energi terbarukan.

Permasalahan energi di Indonesia saat ini adalah berkurangnya cadangan bahan bakar fosil serta terbatasnya akses warga terhadap energi, terutama di daerah 3T (terdepan, terluar dan tertinggal). Dengan demikian, pemanfaatan energi terbarukan yang sumbernya banyak 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%. Energi baru dan terbarukan 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*). PT PLN (Persero) sebagai Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dibidang energi berkomitmen menurunkan emisi GRK sesuai

*Nationally Determined Contribution* (NDC). Sesuai dengan RUPTL tahun 2021–2030, PT PLN (Persero) akan menambahkan porsi pembangkit listrik berbasis EBT sekitar 20,9 GW atau 51,6% dari total penambahan pembangkit baru hingga tahun 2030.

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan hingga 417,8 GW, namun hingga tahun 2020 pemanfaatannya baru mencapai 2,5% atau sekitar 10,4 GW (Kementerian ESDM, 2021). Potensi energi terbarukan yang besar menjadi modal ketahanan energi nasional, apabila dimanfaatkan secara bijak dan optimal. Pelaksanaan strategi ketahanan energi nasional perlu mempertimbangkan kondisi pengembangan saat ini dan memperhatikan tren keekonomian EBT. Perbandingan antara pemanfaatan dan potensi energi terbarukan di Indonesia hingga tahun 2020 dapat dilihat pada Gambar 2.1. berikut:



**Gambar 2.1. Pemanfaatan dan Potensi Energi Terbarukan di Indonesia (Kementerian ESDM, 2021)**

## 2.2. Energi Surya

Salah satu energi terbarukan yang saat ini sedang fokus dikembangkan oleh pemerintah Indonesia adalah energi surya. Energi surya merupakan sumber energi utama yang memancarkan energi luar biasa besar ke permukaan bumi

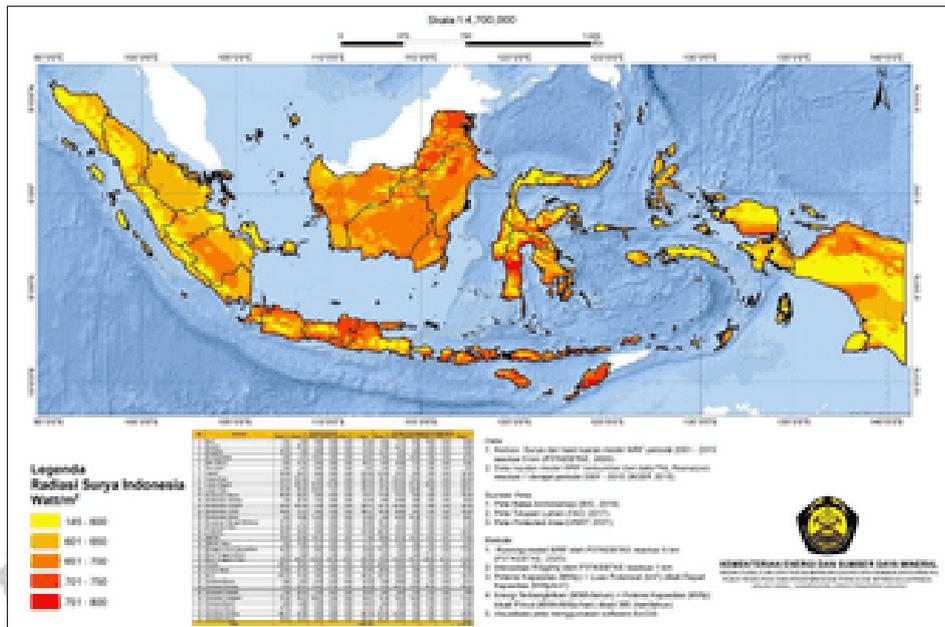
(Widayana, 2012). Permukaan bumi dapat menerima sekitar 1.000 watt energi surya per-meter persegi pada saat kondisi cuaca cerah. Energi surya dapat dimanfaatkan secara langsung dalam bentuk panas (energi termal) dan sebagai listrik (fotovoltaik). Beberapa keunggulan energi surya, antara lain: sumber energi yang mudah didapatkan, ramah lingkungan, sesuai untuk berbagai macam kondisi geografis, instalasi relatif mudah, pengoperasian dan perawatan lebih rendah, serta listrik dari energi surya dapat disimpan dalam baterai (Hasan, 2012).

Energi surya dapat dimanfaatkan dimana saja di seluruh wilayah selama lokasi terkena sinar matahari dan tidak terhalang oleh bayangan benda apapun. Dengan potensinya yang sangat besar serta merupakan sumber energi yang tak terbatas dan ramah lingkungan, energi matahari dapat menjadi sumber energi utama di masa depan. Pemanfaatan potensi energi surya tersebut terdapat 2 (dua) macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu: teknologi energi surya fotovoltaik dan teknologi energi surya termal. Fotovoltaik tenaga matahari melibatkan pembangkit listrik dari cahaya. Inti dari proses ini adalah penggunaan bahan semi konduktor yang dapat disesuaikan untuk melepas elektron, partikel bermuatan negatif yang membentuk dasar listrik.

### **2.3. Potensi Energi Surya di Indonesia**

Indonesia merupakan negara tropis dan terletak pada garis khatulistiwa yang diuntungkan karena memiliki intensitas sinar matahari yang tersedia sepanjang tahun, sehingga mempunyai potensi sumber energi surya yang cukup tinggi. Potensi pembangkitan energi surya di Indonesia diperkirakan dapat mencapai 207,89 GW dengan intensitas sebesar 4,80 kWh/m<sup>2</sup>/hari berdasarkan data pada Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Sehubungan dengan 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. Kalimantan Barat dengan

potensi pembangkitan mencapai 20.113 MW menjadi provinsi dengan potensi energi sinar matahari terbesar, disusul Sumatera Selatan sebesar 17.233 MW, Kalimantan Timur sebesar 13.479 MW, Sumatera Utara sebesar 11.851 MW dan Jawa Timur sebesar 10.335 MW (Ditjen EBTKE, 2020).



**Gambar 2.2. Peta Potensi Radiasi Energi Surya di Indonesia (P3Tek KEBTKE, 2021)**

Program PT PLN (Persero) untuk mengkonversi PLTD ke PLTS dengan menggunakan baterai diprioritaskan untuk daerah yang jam nyalanya rendah (dibawah 12 jam/hari), sedangkan untuk PLTD yang di-hybrid dengan PLTS dapat digunakan untuk daerah dengan jam nyala sudah 24 jam/hari. Berbagai pembangunan PLTS telah dilaksanakan di Indonesia oleh pemerintah (Kementerian ESDM), PT PLN (Persero) maupun swasta. Hingga tahun 2020, PLTS yang sudah beroperasi di Indonesia mencapai 70 MW dengan sebaran 1 MW di Kalimantan, 4 MW di Sumatera, 2 MW di Bali, 31 MW di Sulawesi, 2 MW di Maluku, 28 MW di Nusa Tenggara dan 2 MW di Papua (RUPTL PLN tahun 2021–2030, 2021).



daerah *isolated*. Kuota kapasitas pembangkit di Provinsi NTB dapat diisi oleh potensi energi surya dengan harga jual listrik sesuai ketentuan yang berlaku.

## 2.5. Potensi Energi Surya di Provinsi NTB

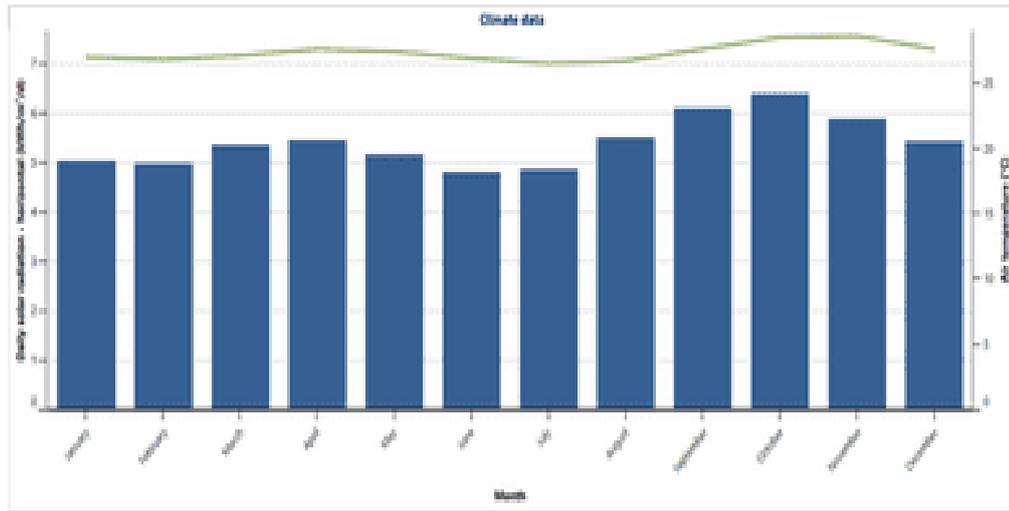
Pemerintah Provinsi NTB telah menyusun rencana detail implementasi RUED-NTB yang terharmonisasi dengan dokumen perencanaan sektor lain agar dapat menjalankan program *sustainable island initiative* pada 2 (dua) pulau utama yang ada di Provinsi NTB, yaitu: Pulau Lombok dan Pulau Sumbawa serta pulau kecil yang terpisah dari daratan utama dan memiliki sistem kelistrikan tersendiri. Peraturan daerah yang mengadaptasi gagasan pembangunan berkelanjutan di Provinsi NTB, antara lain: Peraturan Daerah Nomor 01 Tahun 2019 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Provinsi NTB, Peraturan Daerah Nomor 03 Tahun 2019 tentang Rencana Umum Energi Daerah (RUED) NTB dan Peraturan Gubernur Nomor 51 Tahun 2012 tentang Rencana Aksi Daerah (RAD) Gas Rumah Kaca (GRK) Provinsi NTB.



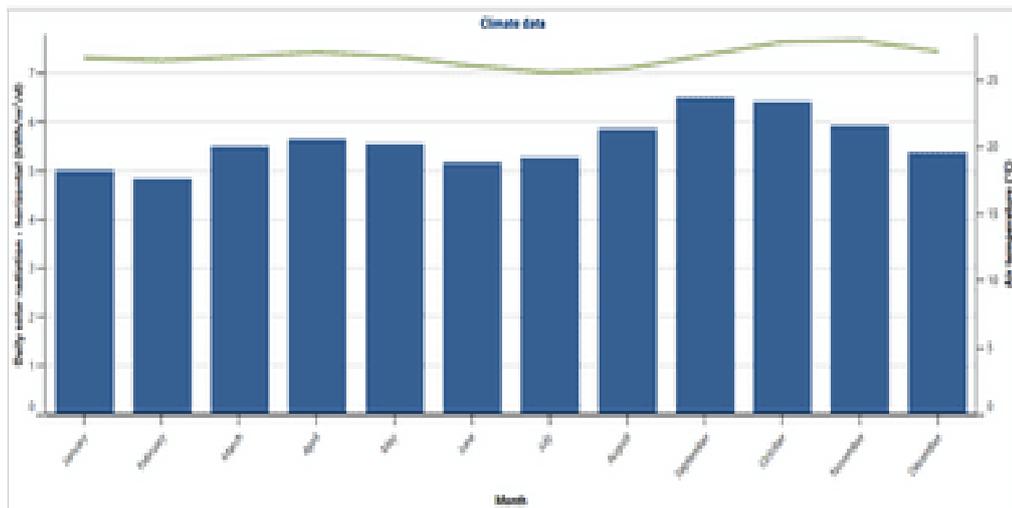
**Gambar 2.4. PLTS di Gili Meno, Gili Air dan Gili Trawangan**

Hingga Maret 2019, sesuai laporan Institute for Essential Services Reform (IESR) pada Provinsi NTB memiliki potensi EBT mencapai 21.991 MW, namun kemampuan produksi EBT melalui pembangkit listrik milik pemerintah yang dikelola PT PLN (Persero) maupun pemerintah daerah dan

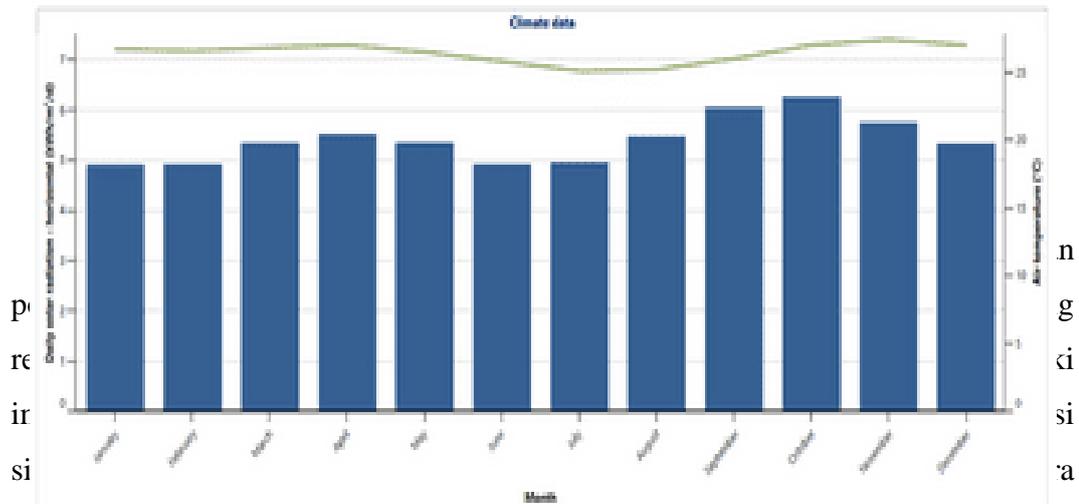
milik swasta baru mencapai 37,52 MW. Hasil data *software* RETScreen pada NASA tahun 2023 menunjukkan wilayah Provinsi NTB memiliki rata-rata *Daily Solar Radiation* (DSR) sebesar 5,47 kWh/m<sup>2</sup> atau setara dengan 19,69 MJ/m<sup>2</sup> sesuai grafik di bawah ini untuk beberapa wilayah utama di Provinsi NTB:



**Gambar 2.5. Grafik *Daily Solar Radiation* Kota Bima (NASA, 2023)**



**Gambar 2.6. Grafik *Daily Solar Radiation* Kota Sumbawa Besar (NASA, 2023)**



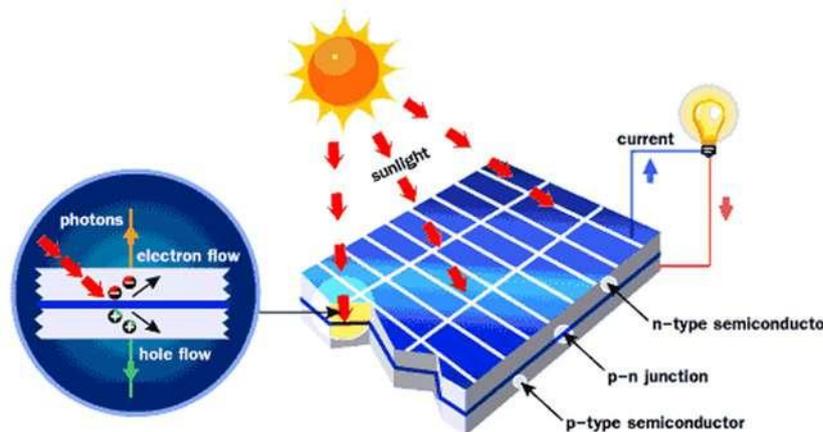
dengan 17,78 MW/m. Potensi ini dapat diaplikasikan dalam berbagai sektor, seperti industri peternakan skala kecil, penerangan jalan umum, hingga penyediaan listrik dengan PLTS.

Berdasarkan laporan tahunan Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi NTB pada akhir tahun 2019 menunjukkan bahwa telah terdapat PLTS sebanyak 7 (tujuh) unit yang tersebar di Kabupaten Lombok Timur, Kabupaten Lombok Tengah dan Kabupaten Lombok Utara. Selain itu, sejak tahun 2017 hingga 2019 telah dikeluarkan 4 (empat) rekomendasi teknis perusahaan pembangunan pembangkit EBT di beberapa wilayah Provinsi NTB, termasuk didalamnya terdapat penambahan kapasitas PLTS.

## 2.6. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS adalah pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari sebagai sumber energinya melalui modul sel surya (fotovoltaik) untuk mengkonversikan radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik. Modul sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya (Boxwell, 2017). Prinsip kerja PLTS dimulai saat radiasi sinar matahari (foton) mengenai modul sel surya yang berbahan semikonduktor tipe n dan tipe p yang kemudian menghasilkan energi kinetik dan menyebabkan pelepasan elektron ke pita konduksi yang mengalir menjadi arus listrik searah (DC). Sel-sel semikonduktor tersebut melepaskan elektron-elektronnya saat disinari oleh cahaya matahari (foton). Semakin besar

intensitas cahaya (foton) yang diterima, maka energi kinetik yang dihasilkan akan semakin besar. Proses tersebut dikenal sebagai efek fotovoltaiik. Listrik DC yang dihasilkan dapat diubah menjadi listrik AC apabila diperlukan.



Gambar 2.8. Ilustrasi Prinsip Kerja Modul Surya (Sanspower, 2020)

PLTS merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan, tidak menimbulkan kebisingan karena tidak ada bagian yang berputar serta tidak mengeluarkan limbah maupun emisi yang dapat merugikan lingkungan sekitarnya. Selain itu, instalasi konstruksi, operasi dan perawatan PLTS relatif mudah dibanding pembangkit EBT lainnya, sehingga tidak sulit diadopsi oleh masyarakat (Kementerian ESDM, 2016). Namun, hambatan pengembangan PLTS adalah biaya investasi infrastruktur relatif mahal karena beberapa komponen seperti sel surya masih impor dengan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) rendah (Kementerian ESDM, 2021) sehingga, perkembangan industri sel surya lokal menjadi sangat strategis dalam pengembangan PLTS kedepannya. Disamping itu, kebijakan *feed in tariff* yang menarik bagi investor juga menjadi hal yang sangat penting bagi pertumbuhan investasi dalam pembangunan PLTS.

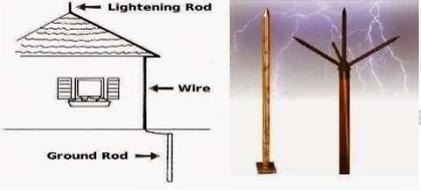
Beberapa hal yang menjadi pertimbangan umum pengembangan PLTS di Indonesia, antara lain: ketersediaan lahan, kesiapan jaringan untuk penyambungan PLTS, pertimbangan pemanfaatan baterai dan keekonomian

proyek berbasis skala kapasitas (*economies of scale*). Beberapa keunggulan pemanfaatan PLTS menurut Kementerian ESDM, antara lain:

1. Sumber energi surya tersedia dengan jumlah yang melimpah, sehingga tidak pernah menimbulkan konflik sosial terhadap pemanfaatan sumber energi,
2. Teknologi PLTS mudah dipahami, dapat dipasang oleh tenaga lokal dan dapat dioperasikan oleh pengguna dengan perawatan relatif mudah,
3. PLTS ramah lingkungan, tidak menghasilkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK), tidak mengeluarkan suara, bekerja pada temperatur ruang dan tidak ada risiko bencana terhadap keselamatan manusia maupun lingkungan,
4. Material dan komponen PLTS sudah banyak tersedia dengan beragam pilihan daya, harga dan kualitas.

Komponen PLTS terdiri dari komponen utama dan tambahan sesuai lokasi instalasi PLTS yang berada di atas tanah (*ground mounted*) sebagai berikut:

Nama Komponen	Gambar Komponen	Fungsi
Modul fotovoltaik (PV)		Mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik DC.
<i>Solar Charger Controller</i>		Mengendalikan proses pengisian ( <i>charging</i> ) baterai dari fotovoltaik (PV array).
Inverter		Mengubah energi DC dari modul PV atau baterai menjadi energi AC atau sebaliknya.
Penyangga PV Modul		<i>Support</i> untuk menyimpan dan menyangga modul PV sesuai dengan posisi dan kemiringan yang telah ditentukan.

Baterai		Menyimpan energi listrik hasil produksi siang hari agar dapat dipakai malam hari atau bila energi dari PV tidak mencukupi.
Combiner Box		Panel DC untuk menggabungkan output dari beberapa <i>string</i> PV menjadi satu dan sebagai panel isolasi dan proteksi terhadap arus atau tegangan.
Nama Komponen	Gambar Komponen	Fungsi
Baterai Inverter		Mengubah listrik arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) serta sebagai panel isolasi dan proteksi terhadap arus atau tegangan lebih dan <i>lightning</i> .
Panel Distribusi		Panel AC tegangan rendah 1 fasa atau 3 fasa untuk menyalurkan daya dari pembangkit ke beban (terdiri dari beberapa <i>output feeder</i> ).
Kabel Listrik		Terdiri dari kabel fotovoltaik, kabel baterai, kabel tahan air dan kabel <i>power</i> lain yang disesuaikan dengan kebutuhan.
Rumah Pembangkit ( <i>Power House</i> )		Bangunan untuk menempatkan peralatan dan kegiatan operasional pembangkit.
Sistem Pentanahan dan Penangkal Petir		Melindungi peralatan PV <i>array</i> dan rumah baterai atau inverter dari sambaran petir yang terdiri dari <i>rod</i> tembaga.
Tiang Distribusi		Terdiri dari pipa besi atau beton untuk tempat penyangga kabel jaringan.

Pyranometer		Sensor untuk mengukur besarnya intensitas radiasi matahari pada permukaan bidang modul PV dengan satuan $W/m^2$ .
-------------	---	---

**Gambar 2.9. Komponen pada PLTS**

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

1. Pola tersebar (*distributed PV plant*) dan sistem terpusat (*centralized PV plant*) ditinjau dari lokasi pemasangan (Setiawan, dkk., 2014),
2. PLTS atas tanah (*ground mounted*), PLTS atap (*rooftop*) dan PLTS atas air (*floating*) ditinjau dari tempat pemasangan (Dirjen EBT dan Konservasi Energi Kementerian ESDM, 2022),
3. PLTS skala kecil dengan batas 10 kW atau kurang, skala menengah dengan batas 10–500 kW dan skala besar dengan batas di atas 500 kW ditinjau dari daya yang dihasilkan (Omran, 2010),
4. PLTS yang dipasang pada atap (*PLTS rooftop*) dan yang dipasang pada dinding bangunan (*PLTS fasade*) ditinjau dari teknologi aplikasi pada gedung terintegrasi (Biyik, dkk., 2017),
5. Sistem PLTS tidak terhubung jaringan (*off grid PV plant*), terhubung jaringan (*on grid PV plant*) dan penggabungan dengan sistem pembangkit listrik yang lain (*PLTS hybrid*) ditinjau dari aplikasi dan konfigurasi (Setiawan, dkk., 2014).

1. **Tabel 2.1. Jenis-Jenis PLTS (International Conference on Education and Development, 2018)**

Jenis PLTS	PLTS <i>Off Grid</i>	PLTS <i>On Grid</i>	PLTS <i>Hybrid</i>
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> listrik disalurkan ke jaringan distribusi yang telah disuplai pembangkit lain (misal jaringan PLN).	Gabungan sistem PLTS dengan pembangkit yang lainnya (misalnya dengan PLTD, PLTB atau lainnya).
Baterai	Ya, supaya bisa memberikan suplai listrik sesuai dengan kebutuhan beban.	Tidak.	Bisa dengan <i>off grid</i> (dengan baterai) atau <i>on grid</i> (tanpa baterai).
Manfaat	Untuk menjangkau daerah yang belum ada jaringan listrik PLN.	Untuk berbagi atau mengurangi beban pembangkit lain yang terhubung pada satu jaringan.	Memaksimalkan penyediaan energi dari berbagai potensi sumber daya.
PLTS terpusat	PLTS yang memiliki sistem jaringan distribusi untuk menyalurkan daya listrik ke beberapa pelanggan. Keuntungan dari PLTS terpusat adalah penyaluran daya listrik dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban yang berbeda-beda pada tiap pelanggan.		
PLTS tersebar/ terdistribusi	PLTS yang tidak memiliki sistem jaringan distribusi, sehingga setiap konsumen memiliki sistem PLTS tersendiri.		
	Contoh: <i>Solar Home Sistem (SHS)</i>	Contoh: PV <i>Rooftop</i>	

## 2.7. Strategi Pengembangan PLTS

PLTS merupakan salah satu pembangkit yang bersifat *intermittent* atau *Variable Renewable Energy* (VRE) baik *utility scale* maupun terdistribusi, sehingga dalam integrasinya ke sistem dengan pembangkit jenis lain atau dengan penambahan baterai harus memperhatikan dan memenuhi hal-hal dibawah ini (RUPTL PLN tahun 2021–2030):

1. Sifat *intermittent* PLTS membuat produksi energi dari PLTS harus terprediksi dengan proyeksi perubahan cuaca (*weather forecast*) untuk menjaga kestabilan sistem, sehingga pengembangannya perlu dilengkapi dengan peralatan sensor cuaca (pyranometer) serta peralatan sensor lain yang terintegrasi dengan sistem komunikasi *control center* PT PLN (Persero) agar termonitor dan memiliki resolusi dalam satuan waktu tertentu,
2. Apabila PLTS ingin di-*hybrid* dengan pembangkit konvensional, maka instalasi dan operasi pembangkit konvensional perlu ditunjang peralatan pengaturan frekuensi otomatis dan pengatur tegangan otomatis agar tidak mengganggu kestabilan sistem,
3. Instalasi penggunaan *Battery Energy System Storage* (BESS) sebagai *buffering* atau stabilitas sistem,
4. Diperlukan teknologi *inverter* sebagai antisipasi PLTS yang terkoneksi ke sistem agar dapat menjaga keseimbangan (inersia) sistem,
5. Diperlukan antisipasi *duck curve* akibat produksi PLTS pada jaringan distribusi periode siang hari dengan pemanfaatan pembangkit yang memiliki *ramping rate* yang tinggi, apabila mau di-*hybrid* dengan PLTS,
6. Penentuan *technical minimum load* yang rendah dari pembangkit *base* yang akan di-*hybrid* dengan PLTS sebagai beban pengikut (*load follower*) untuk mengimbangi *intermittent* dari PLTS,
7. Peralatan *power electronic* pada PLTS yang terkoneksi ke sistem memiliki fitur kemampuan *low voltage ride through* (saat gangguan di sistem yang menyebabkan penurunan tegangan tidak menyebabkan PLTS ikut *trip*), kemampuan *support* tegangan yang tercantum pada aturan jaringan yang

berlaku, kemampuan *low frequency ride through* (saat terjadi gangguan di sistem yang menyebabkan penurunan frekuensi, maka tidak akan menyebabkan PLTS ikut *trip*) dan kemampuan *half frequency control* pada saat frekuensi sistem naik namun keluaran daya PLTS turun, namun pada saat frekuensi sistem turun keluaran daya dari PLTS tidak boleh ikut turun juga (tetap).

Poin di atas menjadi perhatian dalam pengembangan PLTS, sehingga dapat memenuhi aspek teknis, aspek ekonomis, serta sudah memenuhi aturan jaringan (*grid code*) dan standar yang berlaku di PT PLN (Persero). Dukungan dari pemerintah diperlukan untuk menetapkan dan menekankan pelaksanaan *grid code* yang mengakomodir isu keandalan sistem akibat injeksi dari PLTS. Meskipun implementasi untuk mempertahankan keandalan sistem tersebut akan berdampak pada penambahan biaya yang menjadi tantangan tersendiri dalam pengembangan PLTS di sistem kelistrikan PT PLN (Persero). Rencana pengembangan PLTS pada program PT PLN (Persero) sudah termasuk PLTS lides (listrik desa), PLTS dedieselisasi dan PLTS *grid* (terkoneksi ke sistem).

Strategi lain untuk pengembangan PLTS adalah dengan menggabungkan PLTS dengan *Battery Energy Storage System* (BESS) baik yang terkoneksi pada level tegangan tinggi maupun pada distribusi untuk mengurangi fluktuasi *output* daya, mengurangi sifat *variability* dan kecukupan daya sesuai dengan *demand* (sehingga dapat difungsikan untuk bersaing dengan pembangkit konvensional pemikul beban dasar atau *merit order baseload*). Fungsi BESS yang di-*hybrid* dengan PLTS adalah *blackstart*, *peak shaving*, *frequency regulated* (*frequency smoothing*) dan sebagai *firming capacity*. Berikut adalah jenis *storage* dan aplikasinya pada sistem tenaga listrik:

**Tabel 2.2. Jenis *Storage* dan Aplikasinya pada Sistem Tenaga Listrik (IRENA, 2019)**

Grid Services	Behind the Meter	Off Grid
---------------	------------------	----------

	Enhanced Frequency Response	Frequency Containment Reserve	Frequency Restoration Reserve	Energy Shifting/Load Levelling	Small Consumption	Community Storage	Increased Power Quality	Peak Shaving	Microgrid	Village Electrification	Island Grid
Pumped Hydro											
CAES											
Flywheel											
Flooded LA											
VRLA											
Li-ion											
NaNiCl											
NaS											
VRFB											
ZBFB											

Aplikasi dan pemanfaatan dari *Battery Energy Storage System* (BESS) pada PLTS yang di-*hybrid* dengan pembangkit konvensional atau PLTS *baseload* dengan penambahan baterai adalah:

1. Sebagai *frequency regulation* yang mengurangi sifat *variability* dan fluktuasi daya *output* dari PLTS, sehingga *output* dayanya menjadi lebih halus dan tidak menyebabkan fluktuasi tegangan dan frekuensi pada sistem kelistrikan (fungsi *smoothing*),
2. Sebagai *firming capacity* agar memberikan *output* yang lebih pasti dengan kecukupan daya sesuai *demand* (sebagai *baseload*), sehingga berimplikasi biaya tambahan (fungsi *firming*). Untuk kebutuhan baterai yang dipersyaratkan relatif besar agar dapat bersaing dengan pembangkit *baseload* yang andal dan secara finansial setidaknya harus setara dengan biaya operasi di beban dasar atau tidak lebih tinggi dari *marginal cost* sistem,
3. Sebagai *storage* untuk menyimpan kelebihan energi, sehingga dapat beroperasi pada periode siang hari dan juga malam hari,

4. Sebagai pengaman dari sifat intermiten akibat *shading* ataupun mendung, dimana seluruh energi yang dihasilkan dapat berubah secara tiba-tiba tergantung kondisi cuaca.

Kelebihan PLTS dengan menggunakan tambahan baterai dibandingkan tanpa baterai adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan stabilitas jaringan untuk mengatur sumber cahaya matahari yang terputus (*intermittent*),
2. Dapat mengoptimalkan pemanfaatan sumber energi karena baterai dapat mengakomodasi surplus energi yang dihasilkan dari panel surya,
3. Sumber energi yang disimpan pada baterai dapat digunakan dikemudian waktu tergantung kebutuhan sistem,
4. Hasil studi terbaru didapatkan PLTS dengan baterai dapat mengurangi penggunaan pembangkit fosil sebesar 23% ketimbang tanpa baterai yang hanya 19% pada suatu sistem kelistrikan.

3.

## **2.8. Kebijakan Pengembangan PLTS**

### **2.8.1. Kebijakan Nasional**

Mengacu pada *Paris Agreement*, Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk ikut serta mensukseskan, salah satunya dengan cara melakukan pengembangan EBT secara terencana dan terstruktur 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. Sesuai peraturan di atas, pemerintah memproyeksikan pengembangan energi surya untuk tenaga listrik sebesar 6,5 GW pada tahun 2025 dan 45 GW pada tahun 2050 atau sekitar 22% dari total potensi energi surya yang ada di Indonesia sebesar 207,9 GW. Dalam KEN disebutkan beberapa strategi pemanfaatan sumber daya energi nasional yang dilaksanakan oleh pemerintah dan/atau pemerintah daerah terkait energi sinar matahari, antara lain:

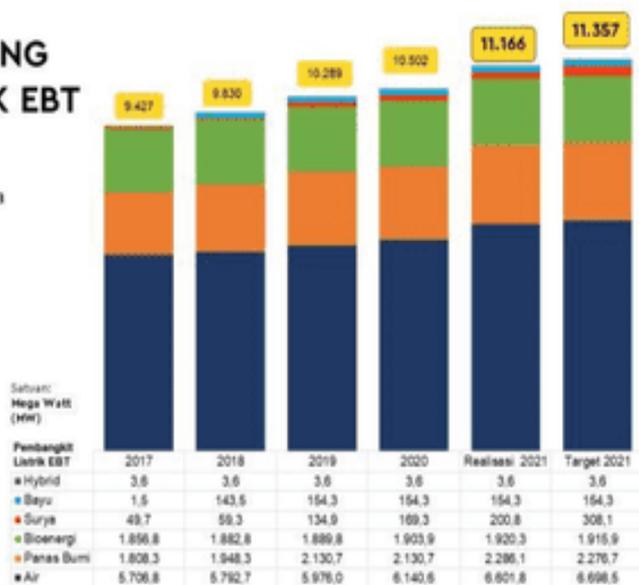
1. *Roadmap* pemanfaatan sumber energi terbarukan dari jenis energi surya diperuntukkan ketenagalistrikan maupun non listrik untuk industri, rumah tangga dan transportasi,
2. Peningkatan pemanfaatan sumber energi sinar matahari melalui penggunaan komponen dan sistem pembangkit energi sinar matahari dari hulu sampai hilir diproduksi di dalam negeri secara bertahap,
3. Penguatan perkembangan industri energi dengan cara mendorong industri sistem dan komponen peralatan instalasi pembangkit listrik tenaga sinar matahari,
4. Pemaksimalan dengan melakukan upaya sinergi stakeholder terkait, antara lain BUMN, kementerian, lembaga, pemerintah daerah dan lainnya.

Pengembangan dan pemanfaatan energi surya di Indonesia hingga tahun 2021 baru mencapai total kapasitas terpasang sebesar 200,8 MWp dengan tambahan kapasitas terpasang selama tahun 2021 sebesar 31,45 MWp yang berasal dari kontribusi PLTS *rooftop* 27,4 MWp dan PLTS komunal sebesar 4,05 MWp. Dilihat dari target PLTS tahun 2021 sebesar 308,1 MW, sehingga terdapat selisih yang sangat signifikan antara target dengan realisasi sebesar 107,3 MW. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan energi sinar matahari dibandingkan dengan sumber EBT lainnya seperti pembangkit tenaga air, tenaga biomassa dan panas bumi masih tergolong rendah. Sebagai gambaran, pada tahun 2021 kapasitas terpasang PLTA mencapai 6.601,8 MW, PLTP sebesar 2.286,1 MW dan PLTBm telah mencapai 1.920,3 MW.

## KAPASITAS TERPASANG PEMBANGKIT LISTRIK EBT

Dalam kurun waktu 5 (lima) tahun terakhir, penambahan kapasitas pembangkit EBT sebesar 1.740 MW dengan kenaikan rata-rata sebesar 4,3% per tahunnya.

Tambahan kapasitas pembangkit listrik EBT tahun 2021 sebesar 664,5 MW, diantaranya:



**Gambar 2.10. Kapasitas Pembangkit PLT EBT Tahun 2021  
(Ditjen EBTKE, 2021)**

Dari grafik gambar di atas, menunjukkan bahwa pemanfaatan potensi energi surya oleh seluruh *stakeholder* terkait agar dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin. Perlu adanya akselerasi dalam pelaksanaan pemanfaatan potensi energi sinar matahari dalam rangka memenuhi target sesuai amanat 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 PLTS diharapkan menjadi produsen terbesar listrik dengan target pembangkitan sebesar 529 TWh pada tahun 2050 sebagaimana pada skenario Rendah Karbon (RK) (DEN, 2019). PT PLN (Persero) telah melakukan kajian terkait kuota pembangkit jenis VRE (salah satunya adalah PLTS) baik *utility scale* maupun terdistribusi yang dapat diserap oleh sistem kelistrikan di Indonesia. Setiap sistem mempunyai karakter dan kuota yang berbeda, sesuai dengan kekuatan sistem tersebut menerima pembangkit jenis VRE dan kebutuhan sistem terhadap jenis pembangkit tertentu. Pengembangan pembangkit EBT dengan sifat *intermiten* (VRE) diharapkan memenuhi aspek teknis, aspek ekonomis, serta memenuhi aturan jaringan (*grid code*) dan standar yang berlaku. Dukungan pemerintah diperlukan untuk menekankan pelaksanaan *grid code* yang mengakomodir isu keandalan sistem akibat injeksi VRE.

**2.8.2. Kebijakan Provinsi NTB**

Sesuai data yang dirilis oleh DEN tahun 2021, hingga periode bulan Juli 2021 tercatat sudah ada 21 provinsi yang telah membuat peraturan daerah tentang RUED Provinsi, termasuk Provinsi NTB. Sedangkan dalam RUEN secara eksplisit telah mengamanatkan pemerintah daerah yang belum untuk segera menyusun Rencana Umum Energi Daerah (RUED). Pedoman penyusunan RUED Provinsi NTB tertuang dalam Peraturan Daerah Provinsi

NTB Nomor 3 Tahun 2019 yang merupakan penjabaran dan rencana pelaksanaan kebijakan energi Provinsi NTB yang bersifat lintas sektor hingga tahun 2050. Kebijakan pengelolaan energi Provinsi NTB berdasarkan asas berkeadilan, berkelanjutan, berwawasan lingkungan, kemandirian energi dan ketahanan energi. Pada peraturan daerah ini menjadi panduan Pemerintah Provinsi NTB dalam mencapai kemandirian pengelolaan energi, ketersediaan energi, pengelolaan sumber energi secara optimal, terpadu dan berkelanjutan, pemanfaatan energi secara efisien di semua sektor, akses untuk masyarakat terhadap energi secara adil dan merata, pengembangan kemampuan teknologi, industri energi dan jasa energi agar Daerah mandiri dan meningkatkan kapasitas sumber daya manusia, terciptanya lapangan kerja dan terjaganya kelestarian fungsi lingkungan hidup.

### 2.8.3. Pemanfaatan PLTS di Provinsi NTB

Saat ini produksi tenaga listrik di Provinsi NTB sebagian besar masih diperoleh dari PLTD, sehingga mengakibatkan BPP listrik masih cukup tinggi (RUPLT PLN tahun 2021–2030). Rincian komposisi kapasitas pembangkit per sistem ditunjukkan sebagai berikut:

**Tabel 2.3. Kapasitas Pembangkit Eksisting Provinsi NTB (RUPTL PLN, 2022)**

Pembangkit	Sistem Tenaga Listrik	Jumlah Unit	Total Kapasitas (MW)	Daya Mampu Netto (MW)	DMP Tenaga 1 Tahun Terakumulasi
<b>PLN</b>					
PLTU	Lombok	3	90,0	75,0	69,140
	Tambara	2	17	14	10,2
PLTD	Lombok	19	62,91	59,92	48,66
	Tambara	66	31,77	19,71	16,16
PLTG/MG/CGU	Lombok	13	134,88	134,8	123,39
	Tambara	6	104,07	100	100
PLTMH	Lombok	3	1,5	1,2	0,805
	Tambara	1	0,52	0,4	0,4
PLTS	Lombok	6	0,82	0,82	0,49
<b>Jumlah PLN</b>		<b>119</b>	<b>454,88</b>	<b>398,45</b>	<b>361,15</b>
<b>IPP</b>					
PLTU	Lombok	2	50,0	50,0	50,0
PLTM	Lombok	7	14,45	14,45	14,45
PLTS	Lombok	4	20	20	20
<b>Jumlah IPP</b>		<b>13</b>	<b>84,45</b>	<b>84,45</b>	<b>84,45</b>
<b>Sewa</b>					
PLTD	Lombok	4	30,0	40,0	40,0
	Tambara	5	14,0	14,0	12,0
<b>Jumlah Sewa</b>		<b>9</b>	<b>44,0</b>	<b>54,0</b>	<b>52,0</b>
<b>Jumlah Total</b>		<b>141</b>	<b>583</b>	<b>533,9</b>	<b>493,0</b>

Sesuai dengan potensi alam yang sangat indah di Provinsi NTB khususnya di Pulau Lombok, maka pemerintah melalui Kementerian Pariwisata dan Ekonomi Kreatif telah mengembangkan menjadi salah satu wisata prioritas di Indonesia. 2 (dua) kawasan pariwisata di Pulau Lombok yang menjadi pusat tujuan wisata internasional adalah Mandalika dan Gili MATRA (Meno, Air dan Trawangan). Dengan demikian, ekonomi Provinsi NTB kedepan diharapkan akan tumbuh lebih baik lagi, sehingga kebutuhan akan pasokan listrik juga ikut naik. Melayani kebutuhan listrik di pulau-pulau yang ada di Provinsi NTB, khususnya pulau-pulau yang menjadi tujuan wisata seperti Gili Meno, Gili Air dan Gili Trawangan, PT PLN (Persero) telah memenuhi infrastruktur sistem tenaga listrik sisi pembangkitan dengan *green energy* berupa PLTS dan PLTMH. Pembangkit EBT ini selain ramah lingkungan juga dapat meningkatkan citra positif dunia pariwisata Indonesia di mata wisatawan dan investor baik local maupun mancanegara.

PLTS di Gili Meno, Gili Air dan Gili Trawangan memiliki kapasitas terpasang yang berbeda-beda mengikuti kebutuhan tenaga listrik setempat. Data PLTS terpasang sebagai berikut:

#### 1. PLTS Gili Meno

4. Gili Meno termasuk ke Taman Wisata Perairan (TWP) Gili MATRA atau Gili Indah yang berada diantara Gili Air dan Gili Trawangan. Gili Meno merupakan pulau terkecil dari tiga gugusan dan merupakan kawasan konservasi yang ditetapkan sebagai kawasan pelestarian alam perairan berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan Nomor 99/Kpts-II/2001. Luas Gili Meno sebesar  $\pm 150$  ha dan keliling pulau sebesar  $\pm 4$  km dengan batas wilayah pada bagian utara dengan Laut Jawa, bagian selatan berbatasan dengan Selat Lombok, bagian barat berbatasan dengan Laut Jawa dan bagian timur berbatasan dengan Tanjung Sire. Berdasarkan data monografi Pemerintah Desa Gili Indah tahun 2021, Dusun Gili Meno memiliki 4 Rukun Tetangga (RT) dan jumlah Kepala Keluarga (KK)

sebanyak 245 KK dengan jumlah penduduk sebanyak 798 jiwa (laki-laki sebanyak 394 jiwa dan perempuan sebanyak 404 jiwa). Lantaran daratannya paling kecil, pulau ini menarik lebih sedikit wisatawan dan memiliki jumlah penduduk paling sedikit dibanding Gili Indah lainnya.



**Gambar 2.11. PLTS Gili Meno dan Peta Wilayah Gili Meno**

5. Daya Terpasang (DTP) PLTS Gili Meno sebesar 60 kWp dan Daya Mampu Pasok (DMP) 60 kWp dengan tipe *photovoltaic* (PV), yaitu tipe PV LEN 180 (*monocritalline*).

6.

7.

**9. Tabel 2.4. Data PLTS Gili Meno**

Type PV	LEN 180, monocritalline
Daya PV	@ 180 Wp
Jumlah Modul	336 buah
Jumlah Array Panel	28 string array @ 12 seri modul
Type Inverter	Apollo GTP 507
Rated	@ 125 kW (2 unit)

15.

## 2. PLTS Gili Air

16. Gili Air merupakan salah satu dari tiga pulau gili terkenal di Lombok, selain Gili Trawangan dan Gili Meno. Ketiga pulau ini terkenal dengan keindahan pantainya, maka tak heran apabila Gili Air menjadi salah satu destinasi wisata

favorit di Pulau Lombok. Dari ketiga pulau tersebut, Gili Air merupakan pulau yang letaknya paling dekat dengan daratan Pulau Lombok. Lokasi Gili Air tepatnya terletak di Desa Gili Indah, Kecamatan Pemenang, Kabupaten Lombok Utara. Masyarakat setempat menyebut Gili Air dengan nama ‘Tengah Aiq’ yang berarti ditengah-tengah laut. Kawasan Gili Air memiliki luas daratan sebesar ±175 ha dengan keliling pulau hingga ±5 km. Berdasarkan data monografi Pemerintah Desa Gili Indah tahun 2021, Dusun Gili Air memiliki 6 Rukun Tetangga (RT) dan jumlah Kepala Keluarga (KK) sebanyak 623 KK dengan jumlah penduduk sebanyak 1.978 jiwa (laki-laki sebanyak 989 jiwa dan perempuan sebanyak 989 jiwa).

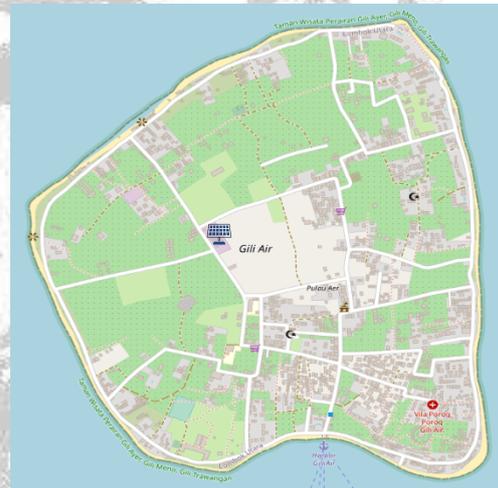
17.

18.

19.

20.

21.



Gambar 2.12. PLTS Gili Air dan Peta Wilayah Gili Air

sis  
PL  
M  
PV



masuk kedalam sub sistem Tanjung dan  
a oleh PT PLN (Persero) UP3 Mataram.  
ng (DTP) sebesar 160 kWp, serta Daya  
dengan tipe *photovoltaic* (PV), yaitu tipe

**Data PLTS Gili Air**

	180 monocritalline
	0 Wp
	25 buah
	ring array @ 12 seri modul
Type Inverter	Apollo GTP 507
Rated	@ 12500 W (2 unit)

### 3. PLTS Gili Trawangan

29. Gili Trawangan adalah yang terbesar dari ketiga pulau kecil atau gili yang terdapat di barat laut Pulau Lombok. Gili Trawangan juga satu-satunya gili yang ketinggiannya di atas permukaan laut cukup signifikan karena berbentuk bukit landai dengan ketinggian maksimum 100 meter dengan panjang 3 km dan lebar 2 km. Luas Gili Trawangan disisi daratan  $\pm 340$  ha dengan keliling pulau  $\pm 7,5$  km. Berdasarkan data monografi Pemerintah Desa Gili Indah tahun 2021, Dusun Gili Trawangan memiliki 7 Rukun Tetangga (RT) dan jumlah Kepala Keluarga (KK) sebanyak 595 KK dengan jumlah penduduk sebanyak 2.089 jiwa (laki-laki sebanyak 1.085 jiwa dan perempuan sebanyak 1.004 jiwa).



**Gambar 2.13. PLTS Gili Trawangan dan Peta Wilayah Gili Trawangan**

32. Daya Terpasang (DTP) PLTS Gili Trawangan sebesar 600 kWp dan Daya Mampu Pasok (DMP) sebesar 268 kWp dengan 2 (dua) tipe PV, yaitu tipe PV 200 kWp Suntech-STP220-20 (*polycrystalline*) dan tipe PV 400 kWp LEN 180 (*monocritalline*).

**33. Tabel 2.6. Data PLTS Gili Trawangan**

Type PV 200 kWp	Suntech-STP220-20 polycrystalline
Daya PV	@220 Wp
Jumlah Modul	920 buah
Jumlah Array Panel	46 string array @20 seri modul
Type PV 400 kWp	LEN 180 monocritalline
Daya PV	@180 Wp
Jumlah Modul	2.240 buah
Jumlah Array Panel	140 string array @16 seri modul
Type Inverter	Apollo GTP 512
Rated	@250 kW (3 unit)

39.

40.

41.

## **2.9. Penelitian Kuantitatif**

### **2.9.1. Pengertian Penelitian Kuantitatif**

Metodologi penelitian merupakan serangkaian tata cara yang digunakan dalam mendapatkan pengetahuan ilmiah atau ilmu (Suryana, 2010), dalam hal ini adalah tujuan yang ingin dicapai dalam suatu penelitian. Sedangkan metode penelitian merupakan cara atau upaya untuk memperoleh suatu data. Data ini nantinya akan dideskripsikan, dibuktikan, dikembangkan dan ditemukan akan adanya teori pasti dari data tersebut. Menurut Robert Donmoyer (Norjanah, 2014), penelitian kuantitatif merupakan pendekatan-pendekatan terhadap kajian empiris untuk mengumpulkan, menganalisis dan menampilkan data dalam bentuk numerik (angka) dari pada naratif. Penelitian ini biasanya dilakukan apabila hendak memperoleh hasil yang akurat karena mengandalkan penghitungan.

Pengumpulan data pada penelitian kuantitatif dilakukan melalui pengukuran dengan menggunakan alat yang objektif dan baku, kemudian dilakukan analisis data setelah semua data terkumpul. Setelah pengumpulan data selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis data. Dalam penelitian kuantitatif, analisis data merupakan tahapan yang dilakukan setelah keseluruhan data penelitian terkumpul. Kegiatan dalam analisis data, antara lain: mengelompokkan data berdasarkan variabel dan jenis responden, melakukan tabulasi data berdasarkan variabel dari seluruh responden, menyajikan data dari tiap variabel yang diteliti, melakukan penghitungan untuk menjawab rumusan masalah dan melakukan penghitungan untuk menguji hipotesis yang telah dibuat dan diajukan oleh peneliti.

### **2.9.2. Tujuan Penelitian Kuantitatif**

Penelitian dengan pendekatan kuantitatif arah dan fokus penelitiannya adalah untuk membangun teori dari data atau fakta yang ada (Kurniawan dan Puspitaningtyas, 2016). Pada penelitian kuantitatif, prosedur yang digunakan jelas dan dapat dicek secara empiris, dimana kesimpulan didasarkan atas sifat-sifat data yang diolah dan segala penemuan dijelaskan dalam taraf ketelitian tertentu. Tujuan utama dari penelitian kuantitatif adalah dapat menjelaskan, mengontrol dan meramalkan suatu fenomena melalui pengumpulan data yang fokusnya pada data numerik (angka). Pada penelitian kuantitatif, subjek yang diteliti, data yang dikumpulkan dan sumber data yang dibutuhkan, serta alat pengumpul data yang dipakai sesuai dengan apa yang telah direncanakan sebelumnya. Oleh karena itu, penelitian kuantitatif lebih sistematis, terencana, terstruktur, jelas dari awal hingga akhir penelitian dan tidak dipengaruhi oleh keadaan yang ada pada lapangan.

### **2.9.3. Manfaat Penelitian Kuantitatif**

Spesifikasi penelitian kuantitatif adalah pada struktur yang tegas dan teratur, maka tahapan dari awal hingga akhir penelitian sudah dapat diramalkan. Disisi lain, disebutkan bahwa penelitian kuantitatif banyak menuntut penggunaan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut serta penyajian hasil. Penyajian hasil dari penelitian kuantitatif dalam bentuk gambar, tabel, grafik atau tampilan lain yang representatif akan meningkatkan serapan pembaca serta mempermudah penyampaian informasi. Manfaat penelitian kuantitatif adalah untuk melihat validitas, kredibilitas dan keabsahan sesuatu yang ingin diukur. Kelebihan menggunakan penelitian kuantitatif adalah peneliti memiliki modal untuk mendapatkan objektivitas hasil penelitian, dapat mengaplikasikan angka rata-rata sehingga penelitian dapat digunakan sesuai dengan kondisi atau keadaan, serta dapat menghindari bias karena peneliti menjaga jarak dengan partisipan. Penelitian kuantitatif menitikberatkan pada masalah disain, pengukuran serta perencanaan yang dirinci secara jelas sebelum pengumpulan sampel dan analisis data (Sutinah, 2007).

## 2.10. Studi Keberlanjutan

Pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan yang didasarkan pada upaya pemenuhan kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan sumber daya yang ada untuk memenuhi kebutuhan generasi mendatang (Basiago, 1999). Pemerintah Provinsi NTB menyikapi program SDGs dengan menerbitkan Peraturan Daerah NTB Nomor 01 Tahun 2019 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Provinsi NTB, dimana salah satu target dari kebijakannya adalah untuk menjamin akses energi yang terjangkau, andal, berkelanjutan dan modern melalui peningkatan pangsa energi baru terbarukan. Memastikan terlaksananya SDGs, Pemerintah Provinsi NTB memperkuat peran dan kapasitas dalam menyelaraskan percepatan pencapaian SDGs dengan memfasilitasi terbentuknya riset *center* SDGs yang beranggotakan para pakar dari perwakilan akademik yang ada di NTB dan *stakeholder* terkait.

Program *Sustainable Development Goals* (SDGs) menjadi salah satu acuan pembangunan berkelanjutan merupakan tujuan bersama untuk menciptakan masa depan lebih baik. Menurut Wulf, dkk., (2018), dimana SDGs adalah indikator yang disepakati 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 berkelanjutan (tujuan 8). Menurut Boyer, dkk., (2016) konsep pembangunan berkelanjutan memiliki 3 (tiga) aspek utama, yaitu: aspek ekonomi, aspek lingkungan dan aspek sosial. Pengembangan energi terbarukan setidaknya dapat memberikan beberapa kontribusi penting bagi pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (Sathaye, dkk., 2012), antara lain: pembangunan ekonomi dan sosial, peningkatan akses energi, peningkatan ketahanan energi dan mitigasi perubahan iklim serta pengurangan dampak terhadap kesehatan dan lingkungan. Dari pernyataan tersebut, maka pemanfaatan energi terbarukan telah mencakup 3 (tiga) 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 terhadap kesehatan dan harapan hidup manusia.

Pemerintah melalui Kementerian BUMN (Badan Usaha Milik Negara) juga sedang mengencangkan aspek risiko *Environment, Social and Governance* (ESG) pada perusahaan yang ada di bawah Kementerian BUMN termasuk PT PLN (Persero) karena menilai *exposure* perusahaan terhadap risiko jangka panjang ESG memiliki implikasi terhadap keuangan serta investor lebih memilih untuk berinvestasi pada perusahaan dengan risiko ESG yang rendah, tak terkecuali untuk pengembangan EBT. Isu ESG meliputi emisi non GRK dan limbah, emisi karbon, penggunaan material dan bahan baku ramah lingkungan serta hubungan dengan masyarakat sekitar (secara sosial). Fokus utama pengembangan *green energy* di Indonesia adalah mengurangi emisi dari infrastruktur eksisting dan mengurangi potensi tambahan emisi dari infrastruktur baru. Mendasari hal tersebut di atas, dalam penelitian ini dilakukan studi kelayakan atas implementasi penggantian PLTD ke PLTS dengan penambahan baterai untuk mengetahui tingkat keberhasilannya dalam mendukung program pembangunan berkelanjutan ditinjau dari 5 (lima) aspek, yaitu: perencanaan kapasitas pembangkit dan baterai, kontribusi energi, ekonomi, lingkungan dan sosial sebagai berikut:

#### **2.10.1. Perencanaan Kapasitas Pembangkit dan Baterai**

Perencanaan kapasitas PLTS dengan penambahan baterai sesuai periode perencanaan menggunakan aplikasi PVsyst versi 7.3.3 dengan metode *trial and error* agar didapat besaran kapasitas pembangkit dan baterainya sesuai kebutuhan untuk menggantikan PLTD eksisting yang ada di Gili Meno, Gili Air dan Gili Trawangan. Proses perencanaan kapasitas dimulai dengan mencari tingkat kapasitas yang ada saat ini, setelah diketahui dapat melakukan langkah-langkah sebagai berikut (Krajewski, dkk., 1999):

1. Menentukan kebutuhan kapasitas yang dibutuhkan,
2. Mencari *gap* kapasitas dengan cara membandingkan antara kebutuhan dengan ketersediaan kapasitas,

3. Membuat alternatif untuk mengisi *gap* yang ada,
4. Evaluasi tiap alternatif, baik secara kualitas maupun kuantitas dan tentukan keputusan akhirnya.

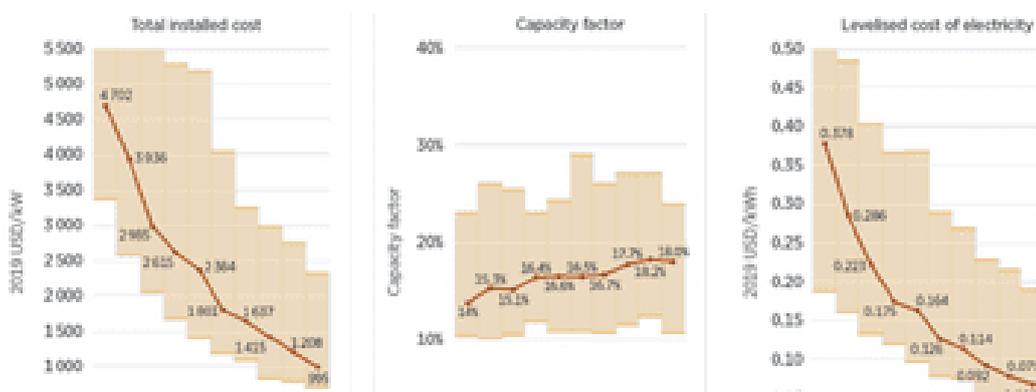
### 2.10.2. Analisis Aspek Kontribusi Energi

Membandingkan realisasi penggunaan energi listrik dan beban puncak yang terjadi di Gili Meno, Gili Air dan Gili Trawangan dari laporan pencatatan data perusahaan PT PLN (Persero) UIW NTB terhadap rencana pemanfaatan PLTS dengan penambahan baterai sebagai pembangkit *baseload* pengganti PLTD merupakan cara untuk menganalisis aspek kontribusi energi pada penelitian ini sesuai periode perencanaan. Pengukuran terhadap aspek kontribusi energi hasil *outputnya* akan dikonversi menjadi satuan nilai mata uang agar menjadi pembeda dengan penelitian yang sudah ada dengan acuan nilai BPP PLTS dengan penambahan baterai yang sudah ada di PT PLN (Persero).

### 2.10.3. Analisis Aspek Ekonomi

Sesuai RUPTL tahun 2021–2030, pemerintah melalui PT PLN (Persero) akan menambah porsi pembangkit berbasis EBT sekitar 20,9 GW (51,6% dari kapasitas total pembangkit yang akan dibangun). Pembangunan yang masif perlu analisis aspek ekonomi yang cermat, khususnya pada PLTS karena membutuhkan investasi yang cukup tinggi, sehingga perlu dilakukan evaluasi dari aspek ekonomi untuk mengetahui hasil yang diperoleh selama periode waktu pemanfaatan. Pembangunan PLTS selain harus memenuhi aspek ekonomi, harus memenuhi standar mutu dan keandalan pada sistem kelistrikan eksisting.

Tren tekno-ekonomi pengembangan PLTS di dunia terdiri dari total biaya terpasang (*total installed cost*), faktor kapasitas (*capacity factor*) dan *Levelised Cost of Electricity* (LCOE) dalam periode tertentu. Pada periode 2010–2019 ditunjukkan hasil data sebagai berikut:



**Gambar 2.14. Tren Total Biaya Terpasang, Faktor Kapasitas dan LCOE PLTS di Dunia Tahun 2010–2019 (IRENA, 2020)**

Pada grafik di atas, nilai rata-rata terbobotkan total biaya terpasang proyek PLTS di dunia dari tahun 2010 hingga 2019 mengalami penurunan secara signifikan, dari 4.700 USD/kW menjadi 995 USD/kW. Tren penurunan ini dipengaruhi oleh peningkatan kualitas proses manufaktur, penurunan biaya tenaga kerja dan peningkatan efisiensi modul karena modul PV di pasaran semakin *cost-effective*. Faktor kapasitas PLTS mengalami peningkatan dari 14% pada tahun 2010 menjadi 18% pada tahun 2019. Hal ini didorong oleh meningkatnya penerapan PLTS pada lokasi dengan iradiasi tinggi, peningkatan penggunaan alat *tracking* dan penurunan rugi-rugi (*losses*) pembangkitan listrik. Tren peningkatan ini juga menjadi indikasi bahwa teknologi PLTS semakin diminati dalam pemanfaatan energi terbarukan dan menggambarkan semakin besarnya peluang investasi pengembangan PLTS. Nilai rata-rata terbobotkan LCOE secara global tahun 2010–2019 menurun sekitar 82% dari 37,8 cent-USD/kWh menjadi 6,8 cent-USD/kWh. Penurunan ini dipengaruhi penurunan tren total biaya terpasang, peningkatan faktor kapasitas dan penurunan biaya O&M yang bersifat regional atau berbeda-beda di setiap negara.

Di Indonesia, pada rentang waktu 5 (lima) tahun terakhir terjadi 80% pengurangan investasi pembangunan PLTS dan sistem penyimpanan energi, dimana tahun 2015 proses pelelangan energi surya pada PT PLN (Persero) sebesar USD 25 cent dapat direduksi menjadi USD 3,6 cent tahun 2020 dan proses pelelangan PLTS dengan penambahan baterai tahun 2015 nilai investasinya sebesar USD 50 cent/kWh menjadi sekitar USD 12–13 cent/kWh diakhir 2020.

## 1. Biaya Investasi

Anggaran yang dikeluarkan baik untuk mendapatkan sesuatu (*supply price*) maupun untuk memproduksi sesuatu (*cost of production*) merupakan gambaran umum biaya pada aspek keekonomian PLTS dengan menggarisbawahi prinsip *economies of scale* dalam investasi sesuai *capital budgeting techniques*. Elemen-elemen biaya terdiri atas biaya investasi dan biaya operasional maupun perawatan. Biaya investasi terdiri dari biaya pengadaan lahan, bangunan, mesin (*hardware*), peralatan pendukung, peralatan kantor, biaya instalasi dan biaya lainnya. Komponen biaya tersebut bersifat regional, dimana porsi masing-masing komponen dapat berbeda-beda di setiap negara. Digunakan persentase sebesar 1–2% dari biaya investasi merupakan biaya operasional dan perawatan pembangkit (Abdel-Ghani, 2008) yang terdiri dari biaya pengadaan bahan baku, pemakaian listrik sendiri, bahan bakar, kemasan, bahan pendukung, biaya distribusi dan operasional kantor. Keekonomian biaya investasi juga akan memberikan pengaruh pada daya saing (*competitiveness*) harga jual listrik dari PLTS untuk mencapai kriteria profitabilitas yang diinginkan.

Kondisi aktual sistem kelistrikan Gili MATRA saat ini disuplai oleh PLTD dan PLTS, dimana PLTS akan menyuplai pada periode waktu pagi sampai sore (tergantung kondisi intensitas cahaya sinar matahari) dan PLTD akan menyuplai pada periode waktu sore sampai pagi (periode beban puncak). Menariknya Gili MATRA merupakan kawasan pariwisata, sehingga perbandingan beban (*demand*) antara periode waktu pagi sampai sore dengan periode waktu sore sampai pagi tidak terlalu berbeda. Oleh sebab itu, potensi penggantian PLTD ke PLTS dengan penambahan baterai menarik untuk ditinjau kelayakannya secara ekonomis.

## 2. Pendapatan (*Revenue*)

Pendapatan (*revenue*) yang akan dibahas adalah penggantian PLTD ke PLTS yang terkoneksi ke jaringan listrik PT PLN (Persero), sedangkan proyeksi dengan skema bisnis menggunakan skema penyaluran listrik yang lain (suplai dari pembangkit non PLTS), seperti berdasarkan kelebihan daya (*excess power*),

*captive power* dan pembangkit listrik swasta atau IPP terintegrasi (*private power utility*) tidak dibahas pada penelitian ini. Pendapatan dalam hal ini pada PT PLN (Persero) dapat dibagi menjadi 2 (dua), yaitu: pendapatan bersih (*net revenue*) dan pendapatan kotor (*gross revenue*).

Perkiraan kelayakan suatu proyek investasi yang akan dilakukan, diukur berdasarkan selisih (*margin*) antara besarnya pendapatan (*revenue*) dengan besarnya biaya pada suatu periode waktu, sehingga memperkirakan pendapatan yang akan diperoleh merupakan aspek yang sangat penting dalam analisis ekonomi teknik (Ramadhan dan Rangkuti, 2016). Sumber perkiraan pendapatan (*revenue*) diperoleh dari penggantian PLTD ke PLTS dengan penambahan baterai yang berasal dari penjualan energi listrik yang diperhitungkan dari total produksi listrik selama periode investasi dikalikan dengan Tarif Dasar Listrik (TDL) untuk pendapatan kotor (*gross revenue*) atau Biaya Pokok Penyediaan (BPP) untuk pendapatan bersih (*net revenue*) pada PT PLN (Persero).

### 3. *Net Present Value* (NPV)

Metode *Net Present Value* (NPV) merupakan metode dengan menghitung selisih antara nilai investasi awal dengan nilai sekarang atau saat ini (*present*) penerimaan kas bersih di masa yang akan datang (M. Giatman, 2011), sehingga dengan metode ini kelayakan perencanaan investasi dan proyeksi *cash flow* di masa depan harus dinyatakan pada nilai yang sekarang atau didiskontokan dengan tingkat suku bunga yang sesuai dengan acuan. Perhitungan NPV dibuat dengan proyeksi perhitungan pendapatan dan biaya yang terjadi selama masa proyek yang umumnya 20–25 tahun (Ramadhan dan Rangkuti, 2016). Pada penelitian ini untuk target umur rencana proyek diasumsikan 25 tahun sesuai *lifetime* modul surya pada umumnya, mengingat modul surya merupakan salah satu komponen utama PLTS.

### 4. *Benefit Cost Ratio* (BCR)

*Benefit Cost Ratio* (BCR) merupakan metode analisis tambahan dalam rangka validasi hasil evaluasi yang telah dilakukan dengan metode lain. Secara teoritis, BCR dihitung dengan menekankan nilai perbandingan antara aspek nilai manfaat

(*benefit*) yang akan diperoleh terhadap semua aspek biaya (*cost*) dan investasi (*investment*) yang akan ditanggung dengan adanya investasi tersebut. Pengambilan keputusan terhadap kelayakan dengan melihat apakah nilai BCR lebih dari 1 (*feasible*) atau kurang dari 1 (*unfeasible*). BCR dapat membantu mengevaluasi kelayakan suatu proyek dengan memberikan gambaran apakah harapan manfaat akan bisa mengkompensasi biaya yang keluar. Selain itu, proyek dengan BCR lebih tinggi dianggap lebih menguntungkan dan lebih layak ketimbang proyek dengan BCR lebih rendah. Pada penelitian ini, penggunaan BCR menjadi salah satu parameter untuk membantu memperhitungkan manfaat ekonomi yang meliputi peningkatan pendapatan, pengurangan biaya operasional, peningkatan efisiensi dan dampak sosial yang mungkin terjadi.

#### 5. *Payback Period* (PP)

Pada konteks investasi proyek PLTS dengan penambahan baterai sebagai pengganti PLTD di Gili MATRA, prinsip *economies of scale* akan menunjukkan hubungan penghematan biaya investasi spesifik terhadap rencana kapasitas terpasang dari PLTS, salah satu parameternya adalah *payback period*. *Payback period* adalah cara untuk menentukan lama waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi, sehingga dapat diketahui lamanya *Break Even Point* (BEP). Cara perhitungan *payback period* adalah dengan menghitung waktu yang dibutuhkan (tahun) agar aliran kas bersih nilai sekarang kumulatif yang ditaksir akan sama dengan investasi awal (Ramadhan dan Rangkuti, 2016). Kelebihan dari metode ini adalah dapat digunakan untuk mengetahui jangka waktu pengembalian investasi pada proyek dengan risiko besar dan sulit seperti pemanfaatan PLTS di Gili MATRA yang lokasinya terpisah dari daratan utama, sehingga untuk perawatan maupun penggantian kerusakan material membutuhkan biaya ekstra untuk mobilisasi material maupun tenaga kerja.

#### **2.10.4. Analisis Aspek Lingkungan**

Analisis aspek lingkungan dilakukan dengan membandingkan dampak lingkungan berupa emisi GRK yang dihasilkan dari penggantian PLTD ke PLTS dengan penambahan baterai yang di-*hybrid* dengan PLTS. Dalam hal ini analisis kontribusi dilakukan melalui perhitungan penurunan emisi GRK yang didapat dari selisih antara emisi dan karbon ekuivalen sesuai dengan tujuan dari penelitian. Perhitungan penurunan emisi mengacu dari monitoring karbon ekuivalen yang ada pada output database PLTD dan PLTS. Tujuan analisis ini berkaitan dengan ketercapaian outcome melalui penilaian dampak lingkungan terhadap kinerja pembangkit, mengingat penggantian PLTD ke PLTS dengan penambahan baterai diharapkan dapat meningkatkan aspek *sustainability* dibidang energi. Pada penelitian ini dibatasi hanya melakukan analisis dampak lingkungan dari keluaran energi yang dihasilkan oleh pembangkit saja serta tidak memperhitungkan dampak lingkungan dari penggunaan baterai, mengingat kandungan tinggi akan substansi bahan kimia tertentu yang ada pada baterai perlu dievaluasi tersendiri secara komperhensif.

#### **2.10.5. Analisis Aspek Sosial**

Mengingat kawasan Gili Meno, Gili Air dan Gili Trawangan merupakan destinasi pariwisata internasional, maka analisis aspek sosial sangat penting dilakukan. Hal ini terkait dengan kampanye dunia internasional agar energi yang disuplai ke kawasan pariwisata lebih *green and clean*. Selain itu, Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk mengimplementasikan program *green energy* di berbagai destinasi pariwisata terutama kawasan pariwisata super prioritas, salah satunya Pulau Lombok. Penelitian ini dibatasi dengan pengaruh penurunan emisi GRK terhadap kesehatan manusia (wisatawan, pelaku usaha pariwisata dan masyarakat sekitar kawasan). Seperti diketahui salah satu penyebab dari perubahan iklim global adalah tingginya emisi dari pembangkit. Perubahan iklim sendiri merupakan kategori dampak untuk *global warming potential (midpoint characterisation factors)* hingga *human health (endpoint*

*characterisation factors*) dalam *Life Cycle Analysis* (LCA). Pada studi LCA terdapat 2 (dua) jenis kategori dampak, yaitu: *midpoint categories* merupakan kategori dampak yang timbul terhadap lingkungan secara langsung dan *endpoint categories* merupakan kategori dampak yang timbul sebagai akibat dari perubahan lingkungan atau dapat dikatakan sebagai dampak tidak langsung. Data LCA bisa didapatkan dari Dinas Sosial Provinsi NTB yang dikompilasi dengan data yang lebih sederhana pada laporan monografi Pemerintah Desa Gili Indah.

Hasil perhitungan dampak terhadap kesehatan manusia (dalam DALY) merupakan ukuran jumlah waktu yang hilang untuk hidup sehat manusia akibat penyakit pada individu atau populasi, sehingga dapat diasumsikan akan merepresentasikan harapan hidup masyarakat sekitar kawasan Gili Meno, Gili Air dan Gili Trawangan yang memanfaatkan PLTS baik saat ini PLTS yang masih di-*hybrid* dengan PLTD, maupun rencana kedepan yang akan di-*hybrid* PLTS dengan penambahan baterai sebagai *baseload*. Metode DALY sebagai perencanaan untuk intervensi kesehatan manusia ditinjau dari periode tertentu akan diperoleh nilai DALY yang selanjutnya akan dikonversikan dalam jumlah hari yang mampu merepresentasikan penambahan harapan hidup Masyarakat dari penggantian PLTD ke PLTS atau mewakili jumlah hari yang hilang dari masyarakat sekitar karena penyakit yang diakibatkan penggunaan energi fosil dari PLTD (jumlah hari sakit dalam setahun) bahkan mungkin mengakibatkan berkurangnya umur. Pada metode DALY digunakan nilai faktor karakterisasi yang mengindikasikan dampak lingkungan atau emisi yang dikeluarkan pada skala global dan dapat digunakan di Indonesia, dimana emisi GRK menjadi salah satu penyebab terjadinya perubahan iklim (*climate change*). Faktor karakterisasi tersebut 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, dkk., 2017).