

## BAB 2

# Tinjauan Pustaka

### 2.1 Perkembangan Energi Terbarukan di Indonesia

Energi terbarukan memiliki peran strategis dalam agenda transisi energi di Indonesia, terutama dalam upaya diversifikasi sumber energi dan pengurangan emisi karbon. Seiring dengan meningkatnya permintaan energi akibat pertumbuhan ekonomi dan populasi, ketergantungan pada bahan bakar fosil menjadi tantangan utama yang harus segera diatasi. Untuk itu, pengembangan energi terbarukan seperti energi surya dan biomassa menjadi relevan.

Studi menekankan bahwa energi surya memiliki potensi teknis yang sangat besar di Indonesia, dengan distribusi radiasi matahari rata-rata yang tinggi sepanjang tahun, menjadikannya sumber energi bersih yang andal untuk wilayah tropis. Biomass juga diidentifikasi sebagai sumber energi terbarukan yang penting, di wilayah pedesaan dan sektor industri berbasis agro, karena ketersediaan bahan baku lokal yang melimpah. Pemanfaatan kedua sumber ini tidak hanya membantu memenuhi kebutuhan energi nasional, tetapi juga berkontribusi terhadap target pengurangan emisi gas rumah kaca dan pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan di sektor energi. Peran energi terbarukan semakin krusial dalam mendukung ketahanan energi jangka Panjang dan transformasi sistem energi nasional yang lebih hijau.

#### 2.1.1 Kontribusi Energi Terbarukan di Indonesia

Energi terbarukan memainkan peran penting dalam sistem energi nasional. Selain sebagai solusi jangka panjang terhadap krisis energi fosil, pengembangan energi terbarukan juga mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan, khususnya dalam hal ketahanan energi, perlindungan lingkungan, dan pertumbuhan ekonomi hijau. Pemerintah Indonesia menargetkan bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025, sebagaimana tercantum dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Energi terbarukan berperan penting dalam menciptakan ketahanan energi

nasional dengan mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan bakar fosil, memberikan akses energi ke daerah terpencil dan belum terjangkau jaringan listrik, diversifikasi sumber energi, sehingga sistem kelistrikan menjadi lebih stabil dan berkelanjutan

Dengan pengembangan teknologi seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Pembangkit Biomassa skala kecil, masyarakat di pedesaan dapat memperoleh akses energi yang murah dan berkelanjutan.

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling potensial di Indonesia, mengingat letak geografisnya yang berada di garis khatulistiwa Indonesia yang terletak di khatulistiwa, memiliki potensi energi surya yang sangat besar. Menurut penelitian dari report software Helioscope, rata-rata intensitas sinar matahari di Indonesia adalah sekitar 4,45 kWh/m<sup>2</sup>/hari, menjadikannya sangat ideal untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga surya.

Dengan rata-rata sinar matahari yang cukup tinggi sepanjang tahun, Indonesia memiliki peluang besar untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sebagai salah satu solusi energi yang bersih dan berkelanjutan Menurut sebuah studi, pemanfaatan teknologi fotovoltaik (PV) dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap penyediaan listrik di daerah-daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik konvensional.

### **2.1.2 Kontribusi Energi Wilayah - Provinsi**

Provinsi Kepulauan Riau (Kepri) merupakan wilayah kepulauan strategis yang terletak di bagian barat Indonesia. Provinsi ini terdiri atas ribuan pulau, baik besar maupun kecil, dan memiliki wilayah laut yang sangat luas. Kondisi geografis yang terdiri dari pulau-pulau terpencil menjadikan tantangan tersendiri dalam penyediaan energi, khususnya dalam menjangkau wilayah-wilayah yang tidak terhubung dengan jaringan listrik nasional (grid). Namun, di balik tantangan tersebut, Kepri juga memiliki potensi besar dalam pengembangan energi terbarukan, khususnya energi surya dan energi biomassa, yang dapat menjadi sumber energi andalan untuk mendukung transisi energi bersih. Kepri memiliki intensitas radiasi matahari rata-rata 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Kondisi ini sangat

mendukung pengembangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), terutama di pulau-pulau yang belum terjangkau jaringan PLN.

Di beberapa pulau, terdapat potensi limbah pertanian, kelapa, sagu dan sisa hasil hutan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi biomassa dalam skala kecil. Namun belum dimanfaatkan secara maksimal. Dampak kontribusi Energi Terbarukan di Kepri membantu pengurangan ketergantungan pada BBM dengan kehadiran PLTS dan Biomassa, konsumsi solar/diesel untuk genset mulai berkurang. Sehingga menurunkan biaya operasional dan emisi karbon. Pulau – pulau kecil mulai mandiri dalam pasokan energi tanpa harus bergantung pada pengiriman BBM dari pulau besar. Dengan akses listrik yang lebih stabil, aktivitas ekonomi, layanan kesehatan, pendidikan dan komunikasi mengalami peningkatan produktifitas dan layanan publik secara signifikan.

### **2.1.3 Potensi Kendala dan Tantangan Energi Terbarukan**

Pengembangan energi terbarukan di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan yang signifikan, yang menghambat percepatan penerapan teknologi dan perkembangan proyek energi bersih di seluruh wilayah. Beberapa hambatan utama yang diidentifikasi meliputi keterbatasan infrastruktur pendukung, ketidakpastian regulasi, dan keterbatasan dalam akses pendanaan untuk proyek skala besar maupun komunitas. Selain itu, keterbatasan teknologi lokal serta minimnya kapasitas sumber daya manusia di bidang energi terbarukan turut memperlambat proses transformasi energi. Kurangnya kesadaran masyarakat dan dukungan politik yang konsisten juga menjadi faktor penghambat utama dalam mendorong transisi energi nasional (IEA, 2021). Tantangan-tantangan ini perlu diatasi melalui kerangka kebijakan yang lebih progresif, dukungan investasi, serta peningkatan edukasi publik agar potensi energi terbarukan di Indonesia dapat dimaksimalkan secara berkelanjutan.

## **2.2 Tantangan Energi Terbarukan dan Transisi Energi**

Transisi ke sumber energi terbarukan sangat penting untuk mengatasi perubahan iklim, ketahanan energi, dan tujuan pembangunan berkelanjutan. Namun, transisi ini menghadapi berbagai tantangan yang mencakup dimensi teknis, ekonomi, sosial, dan politik. Memahami tantangan-tantangan ini sangat penting untuk

merumuskan strategi yang efektif untuk mempercepat adopsi energi terbarukan dan mencapai masa depan energi yang berkelanjutan.

Tantangan teknis Intermittency and Grid Integration sumber energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin bersifat intermiten, yang berarti ketersediaannya berfluktuasi tergantung pada kondisi cuaca. Intermitensi ini menimbulkan tantangan untuk mempertahankan jaringan listrik yang stabil dan dapat diandalkan. Mengintegrasikan sumber-sumber variabel ini membutuhkan teknologi manajemen jaringan yang canggih, solusi penyimpanan energi, dan infrastruktur jaringan yang fleksibel. Keterbatasan Infrastruktur energi yang ada saat ini sering kali dirancang untuk pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil yang terpusat. Transisi ke energi terbarukan membutuhkan peningkatan dan perluasan infrastruktur jaringan untuk mengakomodasi pembangkit listrik terdistribusi dari sumber energi terbarukan. Hal ini mencakup investasi pada jaringan transmisi, jaringan distribusi, dan teknologi smart grid untuk memastikan pengiriman energi terbarukan yang efisien dan dapat diandalkan. Kematangan dan Keandalan Teknologi meskipun teknologi energi terbarukan telah berkembang secara signifikan, beberapa teknologi masih menghadapi tantangan dalam hal efektivitas biaya, efisiensi, dan keandalan. Penelitian dan pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan kinerja dan mengurangi biaya teknologi energi terbarukan agar lebih kompetitif dengan sumber energi tradisional.

Tantangan ekonomi di proyek energi terbarukan sering kali membutuhkan investasi modal di muka yang signifikan. Hal ini dapat menjadi penghalang, terutama bagi negara berkembang dan usaha kecil. Mekanisme keuangan yang mendukung, seperti subsidi, insentif pajak, dan pembiayaan hijau, diperlukan untuk mengurangi beban investasi awal dan menarik investasi sektor swasta. Kelayakan Ekonomi dan Daya Saing kelayakan ekonomi proyek energi terbarukan bergantung pada faktor-faktor seperti biaya teknologi, harga bahan bakar, dan kebijakan penetapan harga karbon. Di beberapa wilayah, energi terbarukan mungkin masih lebih mahal daripada bahan bakar fosil, sehingga sulit untuk bersaing di pasar energi. Intervensi kebijakan, seperti pajak karbon dan mandat energi terbarukan, dapat membantu menyamakan kedudukan dan meningkatkan daya saing ekonomi energi terbarukan. Aset Terbengkalai transisi menuju energi terbarukan dapat menyebabkan devaluasi

atau pengabaian infrastruktur bahan bakar fosil yang sudah ada, sehingga menciptakan aset terbengkalai. Hal ini menimbulkan risiko ekonomi bagi investor dan dapat menimbulkan penolakan terhadap transisi energi dari industri yang bergantung pada bahan bakar fosil. Mengelola transisi dengan cara meminimalkan aset terlantar dan mendukung pekerja dan masyarakat yang terkena dampak sangat penting untuk memastikan transisi energi yang adil dan merata.

Tantangan Sosial Penerimaan dan Kesadaran Publik sangat penting untuk keberhasilan penyebaran proyek energi terbarukan. Kurangnya kesadaran tentang manfaat energi terbarukan, kekhawatiran tentang dampak visual atau kebisingan, dapat menghambat pengembangan fasilitas energi terbarukan. Keterlibatan publik, pendidikan, dan keterlibatan masyarakat sangat penting untuk membangun dukungan terhadap energi terbarukan dan mengatasi kekhawatiran publik. Keadilan dan Keadilan Sosial transisi energi harus inklusif dan adil, memastikan bahwa semua anggota masyarakat mendapat manfaat dari akses ke energi bersih dan terjangkau. Proyek energi terbarukan harus dirancang untuk menciptakan lapangan kerja lokal, mendukung pengembangan masyarakat, dan mengatasi kemiskinan energi. Penting juga untuk mempertimbangkan dampak potensial dari pengembangan energi terbarukan terhadap masyarakat yang terpinggirkan dan memastikan bahwa mereka tidak terbebani secara tidak proporsional oleh transisi tersebut. Hambatan Perilaku dan Budaya mengubah pola konsumsi energi dan mengadopsi teknologi baru sering kali membutuhkan perubahan perilaku dan norma budaya. Mengatasi resistensi terhadap perubahan dan mendorong perilaku konservasi energi membutuhkan komunikasi, pendidikan, dan insentif yang efektif.

Tantangan Kebijakan dan Peraturan ketidakpastian dan ketidakkonsistenan Kebijakan dapat menimbulkan ketidakpastian dan menghambat investasi dalam energi terbarukan. Kerangka kerja kebijakan jangka panjang yang jelas diperlukan untuk memberikan stabilitas dan kepercayaan diri bagi para investor dan pengembang. Hal ini termasuk menetapkan target energi terbarukan yang ambisius, menetapkan feed-in tariff atau kredit energi terbarukan, dan merampingkan proses perizinan. Hambatan dan Kompleksitas Regulasi proses yang rumit dan memberatkan dapat menunda atau menghalangi proyek energi terbarukan. Merampingkan peraturan, mengurangi rintangan birokrasi, dan menetapkan

prosedur perizinan yang jelas dan transparan dapat mempercepat penyebaran energi terbarukan. Kurangnya Koordinasi Kebijakan transisi energi yang efektif membutuhkan koordinasi di berbagai tingkat pemerintahan dan sektor. Ketidakkonsistenan kebijakan dan peraturan yang saling bertentangan dapat menghambat pengembangan energi terbarukan dan menciptakan inefisiensi. Perencanaan energi terpadu dan koordinasi kebijakan diperlukan untuk menyelaraskan tujuan, merampingkan proses, dan mempromosikan pendekatan holistik terhadap transisi energi.

### **2.2.1 Transisi Energi Global**

Transisi Energi Global adalah peralihan global dari sistem energi berbasis fosil ke sumber yang lebih bersih dan berkelanjutan, seperti energi terbarukan. Transisi ini didorong oleh kekhawatiran atas mitigasi perubahan iklim, keamanan energi, dan pembangunan berkelanjutan. Peralihan ini memerlukan integrasi teknologi, ekonomi, kebijakan, dan aspek sosial. Studi telah menunjukkan bahwa sumber energi terbarukan dapat memasok hingga dua pertiga energi primer global pada tahun 2050.

Beberapa faktor mendorong transisi energi global, termasuk inisiatif kebijakan, kemajuan teknologi, dan pertimbangan ekonomi. Kebijakan Transisi Energi banyak negara menerapkan kebijakan untuk beralih dari bahan bakar fosil ke sumber energi terbarukan. Kebijakan ini dapat mencakup target energi terbarukan, mekanisme penetapan harga karbon, dan insentif untuk industri hijau. Kompleksitas Ekonomi dari Penelitian menunjukkan bahwa kompleksitas ekonomi dapat menghambat efisiensi energi dan transisi energi terbarukan dalam perspektif global. Insentif dari Pemerintah dapat mendorong penerapan teknologi energi hijau melalui insentif seperti keringanan pajak, subsidi, dan dukungan regulasi.

### **2.2.2 Transisi Energi Indonesia**

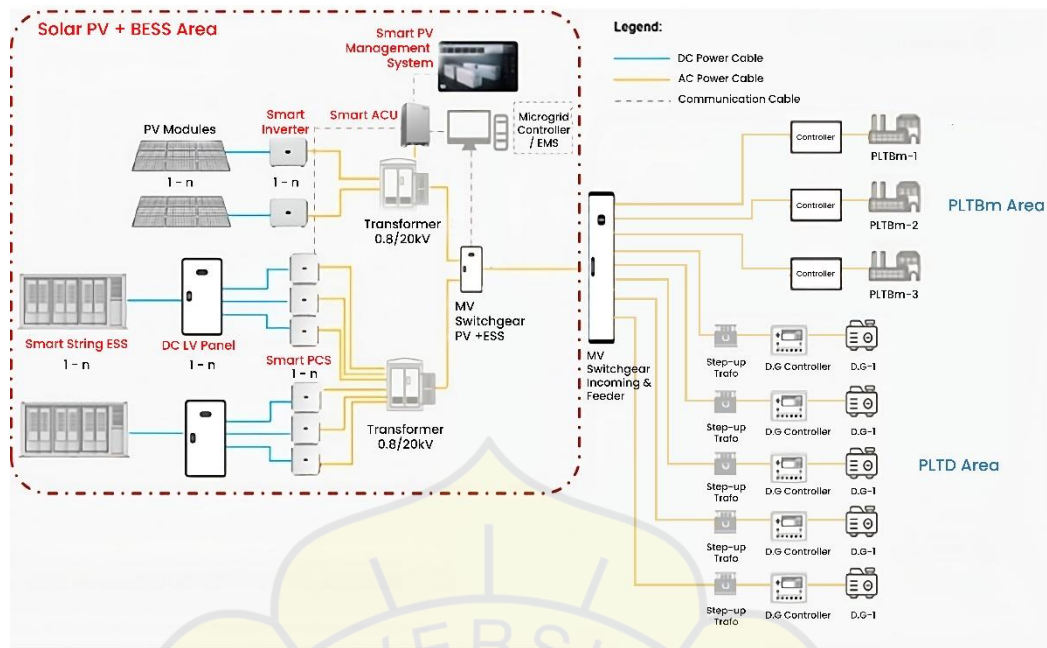
Transisi energi terbarukan merupakan tantangan multifaset yang menuntut pemahaman komprehensif tentang kemajuan teknologi, kerangka kerja kebijakan, faktor sosial ekonomi, dan banyak lagi. Strategi utama untuk transisi energi terbarukan membutuhkan kombinasi inovasi teknologi, dukungan kebijakan, dan mekanisme keuangan. Strategi utama meliputi Inovasi dan Penerapan Teknologi

dengan berinvestasi dalam penelitian dan pengembangan untuk meningkatkan teknologi energi terbarukan seperti tenaga surya dan biomassa. Hal ini termasuk meningkatkan sistem penyimpanan energi untuk mengatasi intermitensi sumber energi terbarukan. Kerangka Kerja menyelaraskan kebijakan energi dengan tujuan pembangunan berkelanjutan sangatlah penting.

Mekanisme Keuangan menciptakan iklim investasi yang memungkinkan untuk merangsang investasi swasta dalam energi terbarukan dan efisiensi energi. Modernisasi Jaringan Listrik meningkatkan infrastruktur jaringan listrik untuk mengintegrasikan sumber energi terbarukan secara efisien. Hal ini mencakup jaringan pintar dan teknologi transmisi canggih. Efisiensi Energi menerapkan teknologi hemat energi di berbagai sektor, termasuk bangunan, transportasi, dan industri.

### **2.3 Hybrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Biomassa**

*Hybrid* Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Biomassa adalah gabungan sistem PLTS dan Biomassa yang bertujuan untuk menjaga kesinambungan suplai energi dan mengoptimalkan penggunaan energi hijau. Sama seperti skema sistem sebelumnya, PLTS pada sistem *hybrid* tidak menggunakan energi matahari sebagai satu satunya sumber energinya untuk menyuplai daya ke beban. Skema sistem *hybrid*, menggabungkan PLTS dan Biomassa dengan sumber pembangkit tenaga listrik PLTD eksisting. Pembangkit listrik yang digunakan PLN di Pulau Kundur antara lain Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm). Karena kombinasi beberapa pembangkit inilah sehingga disebut *hybrid*. Skema sistem *hybrid* ditunjukkan pada **Gambar** di bawah ini



**Gambar** Konfigurasi Sistem Hybrid

Untuk dapat dilakukan controlling system hybrid, kondisi berikut sangat diperlukan kondisi diesel generator controller dalam keadaan baik, seluruh diesel generator dapat melakukan load sharing secara auto, pembacaan total beban pada titik interkoneksi dengan cara menjumlahkan pembacaan power pada setiap outgoing feeder.

#### 2.4 Sistem dan Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. PLTS menggunakan fotovoltaik sebagai bentuk teknologi energi terbarukan. Skema sistem PLTS terbagi dua yaitu sistem *on grid* dan *off grid*. Berkembangnya dunia kelistrikan menambah satu jenis skema sistem dari PLTS yaitu sistem *hybrid*. Dimana skema pembangkitan daya tidak hanya dilakukan oleh PLTS namun di kombinasikan dengan pembangkit listrik lainnya. Gambar 2 di bawah menunjukkan sistem pembangkitan PLTS.

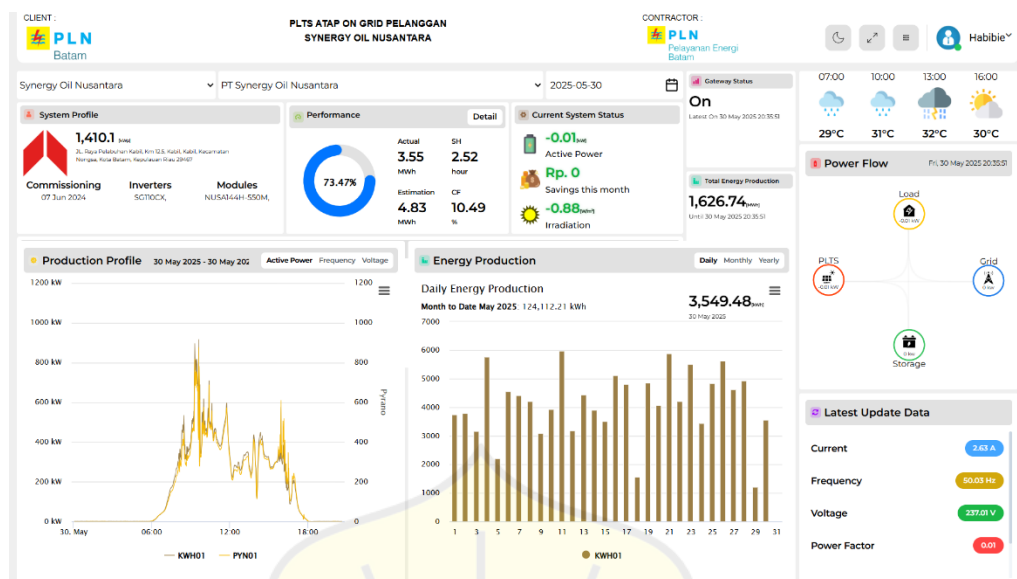


**Gambar** PLTS 1MWp Tanjung Uma – Batam

#### 2.4.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On Grid*

PLTS *on grid* merupakan pembangkit Listrik yang tidak hanya menggunakan energi matahari sebagai sumber energi untuk menyuplai daya ke beban tetapi juga menggunakan jaringan listrik eksisting. Sehingga, sistem PLTS *on grid* dikatakan sebagai sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan PLN atau sistem eksisting sehingga disebut *on grid*. Pada skema sistem *on grid*, PLTS tidak menggunakan baterai sebagai tempat penyimpanan energi yang telah dihasilkan oleh panel surya. Ketika siang hari modul *photovoltaic* (pv) bekerja sebagai suplai daya utama ke beban dan pembangkitan berlebih akan disalurkan ke jaringan distribusi sedangkan pada malam hari modul pv tidak bekerja sehingga daya disuplai oleh listrik PLN.

Skema sistem *on grid* memiliki kelebihan yaitu biaya instalasi yang relatif murah karena tidak menggunakan komponen penyimpanan daya seperti baterai. Tetapi memiliki kekurangan, ketika modul pv tidak bekerja dan jaringan listrik PLN terjadi pemadaman maka tidak ada daya yang tersuplai ke beban. Skema sistem PLTS *On Grid* ditunjukkan pada Gambar 3



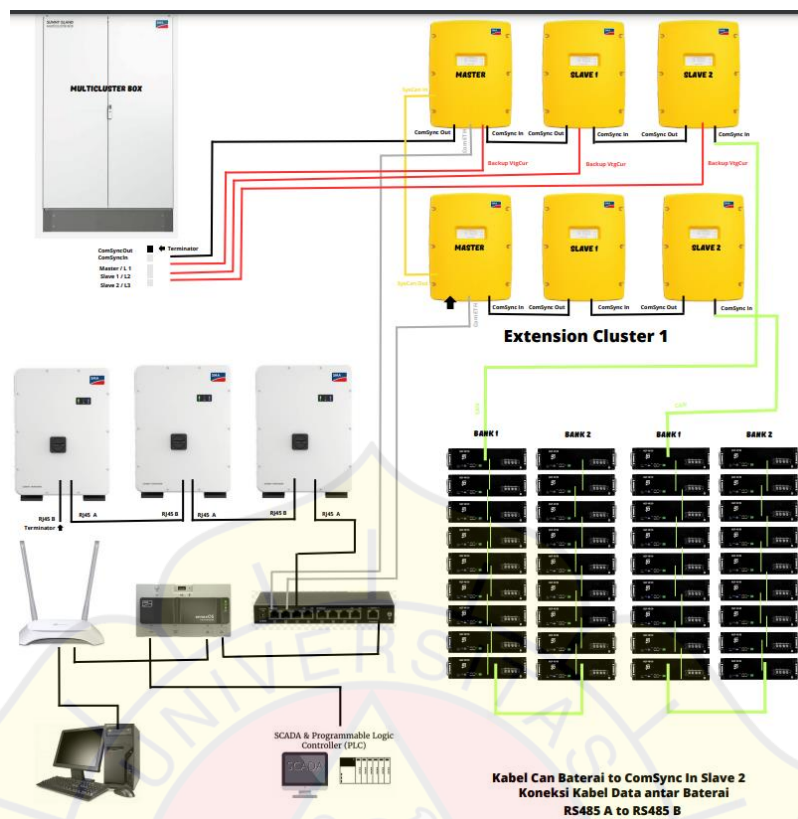
**Gambar** Dashboard HMI PLTS On Grid Pelanggan di Batam

#### 2.4.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off Grid

PLTS *off grid* merupakan pembangkit listrik yang menggunakan energi matahari sebagai satu satunya sumber energinya. Sistem PLTS *off grid* merupakan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan PLN dan sumber pembangkitannya hanya dari cahaya matahari yang diterima oleh sel surya sehingga disebut *off grid*.

Selain itu, sistem PLTS menggunakan baterai sebagai tempat penyimpanan energi yang telah dihasilkan oleh panel surya. Ketika siang hari modul PV bekerja sebagai suplai daya utama ke beban sedangkan kelebihan daya yang dihasilkan oleh modul pv akan disalurkan ke baterai dan disimpan sebagai energi cadangan dan baterai digunakan ketika malam hari atau ketika modul PV tidak bekerja.

Skema sistem off grid memiliki kelebihan yaitu ketika modul PV tidak bekerja dan jaringan listrik PLN terjadi pemadaman maka baterai akan bekerja untuk meyuplai beban. Namun biaya inslatasi yang lebih mahal dibanding skema sistem *on grid*. Skema sistem PLTS *off grid* ditunjukkan pada **Gambar**



**Gambar** System Architecture PLTS Off Grid Komunal Pulau Panjang – Batam

## 2.5 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

### 2.5.1 Jenis – Jenis Panel Surya

#### 2.5.1.1 Monocrystalline silicon

*Monocrystalline silicon* merupakan panel surya yang memiliki banyak keunggulan seperti terbuat silikon yang diiris tipis menggunakan bantuan mesin potong. Hasil irisan yang tipis tersebut membuat karakteristik *monocrystalline silicon* lebih menonjol. Selain itu, penampang *monocrystalline silicon* bisa menyerap cahaya matahari lebih optimal jika dibandingkan dengan jenis sel surya yang lainnya. Meski memiliki banyak keunggulan, *monocrystalline silicon* juga memiliki kekurangan. Agar bisa berfungsi secara efisien, cahaya harus memiliki kadar terang dan tinggi. Jika cuaca sedang mendung dan berawan, *monocrystalline silicon* tidak bisa menyerap energi matahari secara maksimal dan efisiensi panel berpotensi menurun.



**Gambar** Panel Surya *Monocrystalline Silicon*

#### **2.5.1.2 *Polycrystalline silicon***

*Polycrystalline silicon* merupakan jenis panel surya yang umum digunakan di banyak jenis bangunan. Kebanyakan panel surya yang ditemukan di Indonesia menggunakan jenis yang satu ini. Teknologi panel surya tersebut terbuat dari batang silikon yang bisa dicairkan. *Polycrystalline silicon* juga memiliki kelebihan dari segi susunan yang lebih rapat dan rapi.

Karakteristik *polycrystalline silicon* adalah mempunyai tampilan yang cukup unik. Jika dilihat lebih detail, panel surya akan terlihat lebih unik karena terkesan seperti ada retakan-retakan pada bagian dalam sel surya. Sama seperti panel surya yang lain, *polycrystalline silicon* juga memiliki kelemahan atau kekurangan. *Polycrystalline silicon* tidak cocok dengan wilayah atau area yang memiliki curah hujan tinggi. pada saat seperti itu efisiensi dari panel *polycrystalline silicon* akan menurun atau tidak berfungsi sama sekali.



**Gambar** Panel Surya *polycrystalline silicon*

### 2.5.1.3 *Thin Film Solar Cell*

Jenis panel surya selanjutnya adalah *thin film solar cell*. Dibandingkan dengan kedua jenis panel surya sebelumnya, *thin film solar cell* jarang dipakai untuk bangunan di skala rumahan dan hanya digunakan untuk kebutuhan komersial saja. sesuai dengan namanya jenis panel surya yang satu ini memiliki ukuran yang sangat tipis dan memiliki bobot yang lebih ringan. Selain itu, sifatnya juga sangat fleksibel.

*Thin film solar cell* bisa bekerja sangat baik pada cahaya *fluorescent* atau cahaya lampu pijar yang banyak dijadikan sebagai alat penerangan baik di rumah maupun di kantor. Kekurangannya yaitu efisiensi yang dimiliki panel surya jenis ini memang cukup rendah. Anda hanya bisa mendapatkan penangkapan cahaya

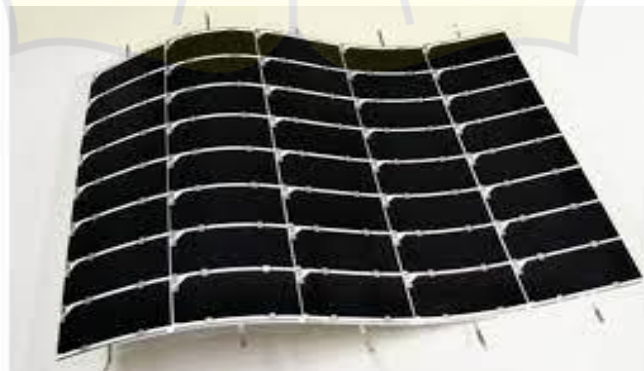
matahari sebesar 8,5% untuk penampang yang luasnya sama dengan *monocrystalline*.



**Gambar** Panel Surya *Thin film solar cell*

#### 2.5.1.4 *Componed Thin Film Triple Junction Photovoltaic*

*Compound thin film triple junction photovoltaic*. Sesuai dengan namanya, jenis panel surya yang satu ini hanya memiliki tiga lapisan. Kita tidak bisa menggunakan *compound thin film triple junction photovoltaic* untuk kebutuhan sehari-hari. Hal itu dikarenakan jenis panel surya yang satu ini hanya bisa digunakan di luar angkasa. Kemampuan dan efisiensi *compound thin film triple junction photovoltaic* yang dimiliki sangat tinggi. Pasalnya, panel surya ini mampu menghasilkan daya listrik sebesar 45% lebih besar dibandingkan dengan jenis panel lainnya. Sayangnya, panel surya *compound thin film triple junction photovoltaic* lebih berat dan rapuh dibandingkan yang lain.



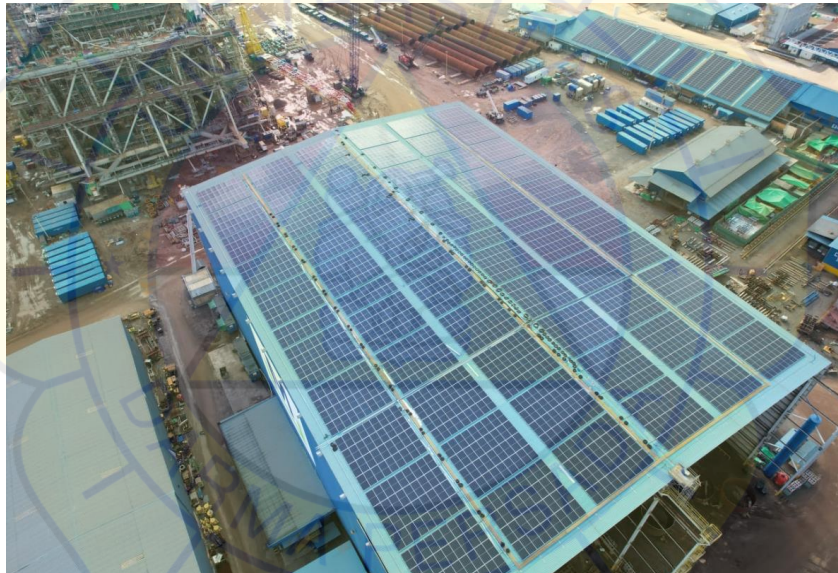
**Gambar** Panel Surya *Compound thin film triple junction photovoltaic*

## 2.6 Syarat – Syarat Teknik PLTS

### 2.6.1 Modul PV

Jenis modul PV yang di gunakan dalam untuk perencanaan pembangunan adalah *monocrystalline* seperti ditunjukkan pada **Gambar** , Karena kelebihan dari modul ini adalah memiliki tingkat efisiensi paling tinggi dibandingkan dengan jenis modul PV lainnya serta memiliki masa pemakaian yang lebih lama dan dapat digunakan hingga 25 tahun. Namun, kekurangan dari modul PV dengan harga termahal dan tingkat kinerja cenderung lebih cepat menurun pada suhu yang semakin tinggi dari keadaan standar.

Pada **Gambar** di bawah ini menunjukkan contoh Modul PV dengan type *Monocrystalline* yang di pasang di Pelanggan PLTS Atap di Batam



**Gambar** PV Modul Type *Monocrystalline* 550 Wp yang terpasang di salah satu Pelanggan PLTS Atap di Batam

Modul surya dirancang, disediakan, dipasang dan di uji sesuai dengan dokumen RKS pengadaan PLTS hybrid tersebar PLN Batam. Harus mengoptimalkan konfigurasi, kemiringan dan azimuth dari modul PV untuk mendapatkan desain dan output yang optimal dari PV Solar. Spesifikasi modul PV yang tersedia harus memenuhi minimum kriteria syarat – syarat teknik seperti pada Tabel 1 di bawah ini.

**Tabel** Spesifikasi Modul PV (*Sumber: Dokumen RKS PLN Batam*)

DESAIN	PERSYARATAN SPESIFIKASI
Pabrikan	TBA
Modul Surya (PV)	Harus memenuhi TKDN
Teknologi	<i>Monocrystalline</i> atau <i>Polycrystalline</i>
Efisiensi luasan	Min 18% @STC
Daya nominal	Minimal 400 Wp @STC
Jumlah Sel	minimal 72 cell ( <i>Crystalline</i> )
Nominal Voc	Sesuai dengan rekomendasi pabrikan.
Nominal Vmpp	Disesuaikan dengan range daya nominal 400 Wp
Nominal Isc	Sesuai dengan rekomendasi pabrikan.
Nominal Impp	Disesuaikan dengan range daya nominal 400 Wp
Temperature Coeff of P	-0,42% / °C atau lebih baik
Frame	<i>Aluminum alloy</i> atau <i>Anodized aluminum</i>
	IP65 atau lebih baik,
Junction box	3-bagian dengan 3- <i>bypass diode</i> atau lebih
Static Load	<i>solar cable</i> min. 4 mm <sup>2</sup>
Tegangan sistem maksimum	5400Pa (depan) / 2400Pa (belakang) 1500 VDC
Garansi	Minimal 25 tahun operasi dan Mitra Kerjasama wajib melakukan penggantian terhadap peralatan yang mengalami kerusakan selama masa garansi tersebut.
Acuan Desain	IEC 61215 IEC 61730 IEC 61701 IEC 62716 (Diproduksi oleh pabrikan yang telah memiliki sertifikasi ISO 9001 series, ISO 14001 <i>series</i> / Sistem Management Lingkungan (SML), serta ISO 18001 <i>series</i> / ISO 45001 / Sistem Management Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3)). (Rangkaian modul surya yang digunakan harus identik dengan merk dan kinerja yang sama.)
Ketentuan lain	

### 2.6.2 Inverter

Inverter adalah komponen rangkaian elektronika yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC) yang tersusun oleh beberapa komponen yang masing-masing komponen mempunyai fungsinya sendiri sebagai saklar dan pengubah tegangan. Pada sistem PLTS, umumnya inverter terbagi ke dalam dua jenis instalasi, central inverter dan string inverter. Central inverter adalah sistem instalasinya terpusat sedangkan string inverter adalah jenis instalasinya tersebar. Inverter PV di tunjukkan pada Gambar 6 di bawah ini



**Gambar** Inverter

Inverter harus mempunyai akses jarak jauh untuk mengakses data, histori kejadian Saat menghubungkan ke grid, inverter harus mampu meningkatkan daya secara bertahap mulai dari 0% sampai 100% selama periode waktu yang dapat dikonfigurasi dengan ramping rate 3% sampai dengan 10% per menit. Dalam kondisi *emergency*, daya keluaran pembangkit dapat dibatasi pada rentang 20% sampai dengan 100% dari kapasitas terpasang. Spesifikasi inverter di tunjukkan pada tabel 2 di bawah ini.

**Tabel** Spesifikasi Inverter

**Tabel** Spesifikasi Inverter (*Sumber: Dokumen RKS PLN Batam*)

DESAIN	PERSYARATAN SPESIFIKASI
Pabrikan	TBA
Tipe	Inverter dilengkapi dengan MPPT
Jumlah Fasa	3 fasa
<i>Max Input Voltage</i>	1100 - 1500 VDC
<i>AC Grid Nominal Frequency</i>	50 Hz
<i>Total Harmonic Distortion</i>	≤ 3%
Topology	<i>Transformerless</i>
	<i>Input Reverse Polarity</i>
	<i>Ground Fault Protection</i>
	<i>Over/under frequency</i>
	<i>Over/under voltage</i>
Minimum Proteksi Inverter	<i>Overheat protection</i>
	<i>Surge dissipation</i>
	<i>Over temperature</i>
	<i>Overcurrent protection at AC and DC side</i>
	<i>DC ground fault detector</i>
Material nameplate	Stainless Steel
Garansi	Minimal 5 tahun dan wajib diperpanjang sehingga mengakomodir seluruh periode Operasi & Pemeliharaan.
Kelembaban relatif	0-95% rh
Interface komunikasi	RS485
Acuan disain	Sesuai IEC 62109 (semua bagian)
Lembaga pensertifikasi	Sertifikasi produk kepatuhan terhadap standar desain harus dari perusahaan bereputasi internasional.
<i>Minimum MPPT Voltage</i>	600V atau lebih rendah
<i>Maximum MPPT Voltage</i>	800V atau lebih tinggi
<i>Efficiency (EURO)</i>	> 98%
<i>DC Nominal Power</i>	Sesuai dengan rekomendasi pabrikan
<i>AC Nominal Power</i>	Sesuai dengan rekomendasi pabrikan
<i>Grid Voltage</i>	400V – 800V
<i>Power Factor</i>	Dapat disesuaikan 0,8 lag – 0,8 leading
MPPT	2 atau lebih
<i>DC Input</i>	4 atau lebih
<i>IP Rating</i>	IP65 atau lebih baik
Tingkat Kebisingan	Sesuai dengan rekomendasi pabrikan
Temperatur kondisi operasi	-20°C – + 60°C
Ketentuan lain	Diproduksi oleh perusahaan terkemuka yang memiliki rekam jejak yang baik dengan prosedur garansi yang jelas dan produk sudah beredar di Indonesia lebih dari 5 tahun

### 2.6.3 Battery Energy Storage System (BESS)

Baterai merupakan sebuah komponen *elektrochemical* yang berfungsi untuk menyimpan daya yang dihasilkan dari modul pv kemudian disalurkan ke beban. Pada sistem PLTS, baterai berfungsi sebagai sistem penyimpanan energi yang berasal dari modul pv sehingga dapat digunakan kembali ketika modul pv tidak bekerja atau pada malam hari. Tidak semua baterai dapat digunakan pada sistem PLTS, karena proses *charge-discharge* yang terjadi pada PLTS membuat tidak semua jenis baterai dapat digunakan. Baterai Lithium Iron Phosphate merupakan

jenis baterai yang dapat digunakan untuk sistem PLTS, yang memiliki masa siklus sebanyak 2500 siklus atau memiliki masa penggunaan selama 7 tahun. Untuk baterai ini sudah ada type di pasang yang menggunakan sistem modular dengan kapasitas dengan 2 MWH seperti yang ditunjukkan pada **Gambar** di bawah ini



**Gambar** Battery Energy Storage System (BESS)

Baterai harus dirancang untuk aplikasi penyimpanan energi. Jenis sel baterai harus di pilih agar sesuai dengan persyaratan dan kebutuhan proyek dan mode aplikasi. Teknologi baterai harus salah satu dari jenis berikut : Lithium Cobalt Oxide (LCO), Lithium Iron Phosphate (LFP), Lithium Nickel Cobalt Aluminium (NCA), Lithium Nickel Manganese Cobalt (NMC), Lithium Titanate (LTO).

Sel baterai harus dipasang di gedung atau kontainer yang sesuai untuk sel baterai yang diusulkan. Jika sel dipasang ke dalam gedung atau kontainer, ventilasi yang cukup harus disediakan untuk memastikan aliran udara yang cukup di sekitar baterai. Ruang baterai harus dirancang untuk menjaga baterai pada suhu rendah menggunakan pengkondisi udara dan atau exhaust fan.

Elemen positif dan negatif harus diindikasikan dengan jelas, dan diberi kode warna. Sel baterai harus diangkut sesuai dengan instruksi Pabrik dalam peraturan dan standar yang berlaku. Dalam kasus bahaya listrik, kimia, mekanis dan termal, penandaan yang memadai harus ada. Harus terdapat juga tanda-tanda peringatan risiko potensi kebakaran dan ledakan. Solusi aman untuk mencegah kegagalan termal harus dengan jelas ditunjukkan. Selain itu, petunjuk pemadaman kebakaran

yang sesuai harus dituliskan, spesifikasi Battery di tunjukkan pada **table** di bawah ini

**Tabel** Spesifikasi *Battery Energy Storage System (BESS)* (Sumber: Dokumen RKS PLN Batam)

Battery	Spesifikasi
Manufacturer	: TBA
Material	: Lithium
Jumlah cell	: TBA
Kapasitas penyimpanan (kWh)	: Berdasarkan Design
Arus Kerja (Ah)	: Berdasarkan Design
DC Voltage Range	: 500 – 1500 VDC
Discharge Capacity	: Minimal 0.5C
Siklus Battery	: Minimal 4000 cycle @DOD80%
<i>Operating Temperature</i>	: TBA
<i>Product Warranty</i>	: Min 5 tahun

BESS harus memiliki sistem rangkaian elektronik, Battery Management System (BMS) yang berfungsi untuk memonitor dan/atau mengatur kondisi baterai, memutus baterai dari rangkaian luar untuk menghindari *overcharge* atau *overdischarge*. Kontrol pengisi baterai mengacu kepada IEC 62509. BMS berfungsi untuk memastikan baterai beroperasi pada kondisi yang sesuai dengan spesifikasi baterai (safe operation condition). BMS harus mempunyai fungsi sebagai berikut:

Pemantauan tegangan sel/modul dan battery pack tiap string seri baterai sel, temperatur tiap tingkat susunan baterai sel jika baterai sel disusun bertingkat, arus masuk dan arus keluar battery pack, *State of Charge (SoC)* atau *Depth of Discharge (DoD)* battery pack.

Pengendalian rentang tegangan input BMS disesuaikan dengan desain battery memiliki pengaturan (*setting*) *charge current limit* dan menghentikan proses pengisian *battery* penyimpanan dari *charger* jika arus pengisian melebihi *charge current limit*. Memiliki pengaturan (*setting*) *discharge current limit* dan memutus *battery* penyimpanan dari instalasi jika arus output melebihi *discharge current limit*, mengatur proses charging.

Proteksi memutuskan battery pack dari charger jika tegangan pengisian melebihi batas tegangan maksimum, memutuskan battery pack dari charger atau instalasi jika suhu baterai melebihi batas maksimum, menghentikan proses pengisian battery pack jika SoC telah mencapai batas maksimal untuk menghindari overcharge. Pada proses discharging, memutuskan battery pack dari instalasi jika SoC telah mencapai batas minimum untuk menghindari overdischarge untuk menjaga umur baterai.

Penyimpanan data memory memiliki fasilitas memori yang berisikan data name plate (antara lain cycle life, ID number/serial, pabrikan, tahun pembuatan, kapasitas baterai), SoC terendah, suhu lebih, tegangan dan arus maksimal charging.

**Tabel** Spesifikasi *Battery Management System* (BMS) (Sumber: Dokumen RKS PLN Batam)

Battery Management System	Spesifikasi
Manufaktur	: TBA
Battery Control & Charge	: ISO 13849
Proteksi	: ISO 13849
Data Storage	: TBA
Product Warranty	: Min 5 tahun

#### 2.6.4 Power Conversion System/Bidirectional Inverter

Jenis Inverter yang digunakan adalah *Bidirectional*. Tegangan keluaran Inverter baterai adalah 400 Vac atau 800 Vac. Baterai Inverter mengacu kepada IEC 62477 dan IEC 61000. Bidirectional Inverter beroperasi dengan mode sebagai berikut:

Mode *Stand Alone* yaitu *Bidirectional Inverter* beroperasi menyuplai daya ke beban dengan menggunakan energy yang tersimpan dalam baterai. Mode *Micro Grid* yaitu *Bidirectional Inverter* beroperasi menyuplai daya ke beban bersama-sama dengan *Solar Inverter* pada sisi AC output (*AC Coupling*). Adapun *Bidirectional Inverter* bertindak sebagai *grid creator* untuk kemudian di sinkronkan dengan Solar Inverter. Apabila beban kecil, maka *bidirectional inverter* akan menggunakan energy dari *solar inverter* untuk melakukan charge battery melalui sisi AC. Apabila beban besar, maka *bidirectional inverter* akan mengambil daya dari battery untuk menyuplai beban. Mode *Grid Stabilization* yaitu *Bidirectional inverter* beroperasi dengan terkoneksi ke grid existing dan berfungsi menstabilkan grid dengan cara menambah daya ataupun menyerap daya dari jaringan. Mode ini mirip dengan

mode Micro Grid, namun dalam mode ini, proteksi Anti Islanding aktif. Sehingga bila jaringan terdeteksi hilang, maka bidirectional inverter akan berhenti beroperasi. *Power Conversion System (PCS)/Bidirectional inverter* sudah di packaged dalam system modular/containerized seperti yang di tunjukkan pada Gambar 8 di bawah ini



**Gambar** *Power Conversion System (PCS)/Bidirectional Inverter*

Ketika *Bidirectional Inverter* beroperasi dengan mode *Micro Grid*, jika baterai bank mendekati titik over voltage, maka harus terdapat mekanisme untuk menjaga agar proteksi over voltage baterai bank bekerja secara otomatis tanpa membutuhkan peran langsung dari operator dengan parameter-parameter yang bisa disesuaikan. Namun tidak menutup kemungkinan juga untuk bisa dioperasikan secara manual bila dibutuhkan. Terdapat proteksi pada Bidirectional Inverter untuk over voltage, over current, earth fault untuk mengamankan peralatan dari kerusakan. Spesifikasi *Power Conversion System (PCS)/ Bidirectional Inverter* di tunjukkan pada Tabel 5 di bawah ini

**Tabel** Spesifikasi *Power Conversion System (PCS)* (Sumber: Dokumen RKS PLN Batam)

DESAIN	PERSYARATAN SPESIFIKASI
Manufaktur	: TBA
Jumlah Inverter	: Berdasarkan design
Kapasitas Inverter	: Berdasarkan design
Operating Mode	: On-Grid dan Off-Grid (grid interactive)
Fasa	: 3 fasa
Efisiensi	: Minimal 97%
Power Factor	: 0.5 lagging dan 0.5 leading
Nominal AC Voltage	: 400V – 800V
Nominal grid frequency	: 50Hz
Nominal DC Voltage	: 500 – 1500 V
Fitur Inverter	: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Virtual Generator Mode</li> <li>- Active damping</li> <li>- Over Temperature Protection</li> <li>- AC Under Voltage Protection / Over Voltage Protection</li> <li>- Emergency Shutdown</li> </ul>
Proteksi Inverter	: <ul style="list-style-type: none"> <li>- AC Phase reverse / Phase Angle Offset Protection</li> <li>- Fan/relay failure</li> <li>- Over Load protection</li> <li>- Anti Islanding</li> </ul>
THD	: Lebih kecil atau sama dengan 3 %
Operating ambient temperature	: -20°C hingga 50°C
Communication	: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modbus RS-485</li> <li>- Modbus TCP</li> <li>- IEC104</li> <li>- IEC 62477</li> </ul>
Standar	: <ul style="list-style-type: none"> <li>- IEC 61000</li> <li>- UL1741 atau IEC 62116</li> </ul>
Proteksi AC dan DC	: Berdasarkan design
Fault ride through capability	Low voltage ride through and high voltage ride through
Product warranty	Minimum 5 tahun

## 2.6.5 *Komponen Balance of System (BOS)*

### 2.6.5.1 *Low Voltage Medium Distribution Panel (LVMDP)*

Spesifikasi Panel LVMDP harus disediakan dengan memenuhi minimum kriteria yang ditunjukkan pada **Tabel** dibawah ini

**Tabel** Spesifikasi *Low Voltage Medium Distribution Panel* (LVMDP)

(Sumber: Dokumen RKS PLN Batam)

DESAIN	PERSYARATAN SPESIFIKASI
Pabrikasi	: TBA
Panel	: Harus Memenuhi TKDN
Material	: Thermoplastic polycarbonate, metal, atau yang lebih baik
IP Rating	: Minimal IP 65. Tahan Sinar UV (jika berada di outdoor)
Katup pernapasan dan pembuangan di sediakan	: Ya
Peralatan proteksi	: Proteksi arus lebih (di sertifikasi oleh IEC 60898-2 untuk circuit breaker dan IEC 60269-6 untuk skring) : Sakelar pemutus (disertifikasi sesuai IEC 60947- 1) : Proteksi tegangan surja
<i>Cable entry</i>	: <i>Cable gland</i>
<i>Material nameplate</i>	: <i>Stainless Steel</i>
Pintu dilengkapi pelindung untuk memisahkan bagian bertegangan ketika pintu di buka	: Ya
Selungkup harus memiliki minimum jarak bebas 100 mm dari terminal block untuk memudahkan terminasi <i>wire</i> atau kabel	: Ya
Ketentuan lain	: Warna kabel menyesuaikan PUIL 2011 : Mitra Kerjasama wajib melampirkan SLD <i>combiner box</i> dan keterangan spesifikasi teknis seperti fuse, isolator switch, surge protection, dan peralatan lainnya yang terdapat di dalam <i>combiner box</i> : Setiap kabel yang masuk dan keluar dari dan ke dalam <i>combiner box</i> harus dilengkapi dengan <i>nametag</i> kabel

### 2.6.5.2 *Medium Voltage Switchgear Panel* (MV)

Peralatan harus memenuhi persyaratan sesuai standar IEC 60529 dengan tipe *metal-clad sheet steel cubicles* dengan akses dari pintu depan. Mitra Kerjasama harus mendesain, memasang dan menguji panel 20 kV yang harus disediakan dan dipasang di setiap switchgear. 20 kV switchgear juga dilengkapi surge arrester yang terhubung antara setiap fasa dan plat pembumian. Surge arrester juga dilengkapi dengan counter yang dapat dibaca dari depan panel. Surge arrester harus sesuai dengan IEC 60099-4.

20 kV switchgear terletak di bangunan elektrik termasuk peralatan proteksi, metering dan control. 2 incoming dari trafo, 1 outgoing dan 1 VT harus disediakan oleh Mitra Kerjasama. Minimum proteksi untuk 20 kV switchgear harus disediakan

overcurrent dan earth fault protection. Metering harus disediakan minimum untuk pengukuran *ampere*, *voltage*, kW dan kWh.

Kelas akurasi untuk tarif metering adalah kelas 0,2. Switchboard harus sesuai untuk iklim tropis dan harus memiliki tingkat perlindungan minimal IP 31 (di dalam ruangan dilengkapi *air conditioner*). 20 kV switchgear harus dilengkapi dengan sistem proteksi, sistem monitoring dan sistem control lengkap dengan interkoneksi SCADA antara pembangkit PLTS dan PLN bagian Distribusi termasuk jika ada interfacing. Spesifikasi Panel Tegangan Menengah harus disediakan dengan memenuhi minimum kriteria pada Tabel 7 di bawah ini

**Tabel** Spesifikasi *Medium Voltage Switcgear Panel (MV)* (Sumber: Dokumen RKS PLN Batam)

DESAIN	PERSYARATAN SPESIFIKASI
Tegangan nominal	: 20 kV
Tegangan tertinggi	: 24 kV
Frekuensi	: 50 Hz
Pentanahan netral	: Solid
Kapasitas tegangan maksimal	: 24 kV
Frekuensi daya satu menit menahan tegangan	: 50 kV rms
Ketahanan Impuls tegangan	: 125 kV peak
Ketahanan arus 3 detik	: *) kA rms
Ketahanan arus puncak	: *) kA peak
Arus busbar	: *) A
Spring winding motor voltage	: 220 V ac
Tripping and closing coil voltage	: 110 V ac

Busbar harus terbuat dari tembaga elektrolitik yang sepenuhnya diinsulasi keseluruhan dengan kekuatan dielektrik yang tinggi. Sambungan antar-panel harus melalui *barrier* berinsulasi yang dirancang untuk menjaga *seal* efektif antara kubikel dari kondisi gangguan *arcing*. Panel harus disediakan adalah tipe *form 4*. *Circuit Breaker* harus tipe *vacuum* atau *SF6* dan harus dioperasikan oleh 220 V motor 1 fasa (*motorized*) untuk pengisian pegas. Tripping dan closing coil harus 110 V DC. Sarana mekanis harus disediakan untuk menunjukkan apakah pemutus sirkuit terbuka atau tertutup. *Interlock* listrik / mekanik harus disediakan untuk memastikan bahwa pemutus sirkuit hanya dapat ditarik saat terbukapemutus sirkuit hanya dapat dikembalikan ke posisi layanan saat terbuka.

### 2.6.5.3 Trafo Step-Up 400 Volt/20 kV

Transformator yang akan disuplai dan dipasang harus berupa transformator *step-up* tiga fase untuk setiap kapasitas yang dinilai pada *output* blok inverter dengan belitan tegangan rendah pada tegangan inverter dan belitan tegangan tinggi 20 kV. Trafo harus berpendingin ONAN yang direndam oli, dilengkapi *off load tap changer* dan lengkap dengan semua aksesoris.

Karakteristik operasi berikut harus berlaku untuk semua transformator:

**Tabel** Spesifikasi Transformator 400Volt/20kV (Sumber: Dokumen RKS PLN Batam)

DESAIN	PERSYARATAN SPESIFIKASI
Standar Desain	: IEC 60076 dan SPLN 50:1997
Nominal Tegangan Tinggi	: 20 kV
Belitan Tegangan Tinggi	: 24 kV
Isolasi Tegangan uji impuls (BIL)	: 125 kV
Kapasitas Nominal	: TBA kVa
Nominal tegangan rendah	: <i>Inverter voltage</i>
Jumlah Fase	: 3
Frekuensi Nominal	: 50 Hz
Grup Vektor (SPLN)	: Dy-y atau Dy
Jenis Pendinginan	: ONAN
Impedansi	: 4%
Jenis pengubah Tap	: <i>Off load</i>
Penyadapan	: +/- 5% tiap step 2,5%
Isolasi suhu kelas (SPLN)	: A
Lokasi	: Luar ruangan / Dalam ruangan

Transformer harus dirancang dengan perhatian khusus pada penekanan tegangan harmonisa, terutama yang ketiga dan kelima, dan untuk meminimalkan efek merugikan yang dihasilkan darinya. Distorsi harmonik total tidak boleh melebihi 3%.

Pengujian harus menunjukkan nilai impedansi yang dijamin yang diukur pada penyadapan normal dan regulasi tegangan untuk tanpa-beban ke kapasitas maksimum kontinu (CMR) pada faktor daya satu dan pada faktor daya 0.85 dengan tegangan konstan belitan primer. Rugi-rugi daya transformator harus memenuhi SPLN D3.002-1 2007 tabel 3 tentang rugi-rugi transformator fasa tiga.

Sistem 20 kV harus dibumikan melalui netral transformator *step-up* dengan resistor pembumian. Resistansi yang ditentukan harus  $2 \times 80$  ohm pada  $25^{\circ}\text{C}$  dan harus mampu melewati arus beban penuh dari belitan transformator terkait selama 10 detik. Resistor harus ditempatkan di selungkup luar dengan tingkat perlindungan IP23 sesuai dengan IEC. Bushing netral harus memiliki tingkat insulasi tidak kurang dari BIL sistem. Contoh jenis trafo 400 Volt/20kV ditunjukkan pada Gambar 2.14 di bawah ini.

Minimum proteksi pada trafo adalah sebagai berikut :

1. *Differential transformer protection (87 T)*
2. *Restricted Earth Fault (64 REF)*
3. *Over current (50/51) and Earth Fault (50N/51N)*
4. *Transformer Over Winding Temperature (49 WT)*
5. *Transformer Over Oil Temperature (49 OT)*
6. *Transformer Gas Protection/ Bucholz for main tank and OLTC (63)*
7. *Transformer Over Flux Protection (24)*



**Gambar** Transformator 400Volt/20kV

### 2.6.5.4 Energy Management System (EMS)

*Hardware* dan *software* harus memenuhi kriteria arsitektur open system dan mempunyai kemudahan untuk dilakukan upgrade dan pengembangan baik workstation maupun server tanpa perlu mengganggu operasional Sistem Kontrol PLTS Hybrid.

*Hardware* yang ditawarkan harus berbasis pada arsitektur *open system* dengan teknologi 32/64-bit *processor*. *Hardware* yang ditawarkan harus merupakan teknologi ter-update di kelasnya. Hal ini sebagai antisipasi untuk pemasangan aplikasi dari vendor lain dikemudian hari

**Tabel** Spesifikasi *Energy Management System (EMS)* (Sumber: Dokumen RKS PLN Batam)

<b>Teknologi Energy Management System (EMS)</b>	: Sistem Hybrid Controller harus sudah pernah diimplementasikan pada PLTS Hybrid
<b>Hybrid Controller</b>	
Manufaktur	: TBA
COO	: Negara OECD
Tipe	: RTU atau setara
Sistem Operasi	: Linux atau setara
CPU Clock speed	: 800 Mhz
Memory Size	: 1 GB
Memory Expansion	: 1 GB
Real time clock	: Yes
Ethernet Port	: Min 2x 10/100 Mbps
Serial Port	: 2x RS485, 1x RS232
Power Supply	: 24..60 VDC
Expansion module	: Up to 96 DI/DO
Built-in temperature sensor	: -25..100 degC
Communication Protocol (Uplink)	: DNP3 & DNP3 over TCP/IP IEC 60870-5-104
Communication Protocol (Downlink)	: MQTT NTP DNP3 & DNP3 over TCP/IP IEC 60870-5-101 IEC 60870-5-103 IEC 60870-5-104
PLC Programming	: Modbus TCP & Modbus RTU IEC 61850 SNMP Function block Based on IEC 61131-3
Web-server	: Built-in Download alarm log View online value

**Tabel** Spesifikasi Mini Scada Server (Sumber: Dokumen RKS PLN Batam)

<u>Mini Scada Server</u>	<u>Persyaratan Spesifikasi</u>
Manufaktur	: TBA
Type	: Tower Server
Operating System	: Windows Server
Architecture	: 64 bits architecture
CPU Clock speed	: Min 2.7 GHz
Processor	: Intel Xeon up to 4.8 GHz
Memory Size	: 8 GB UDIMM, expandable
Ethernet interface controller	: 2x RJ45
USB Port	: $\geq 2$
Storage Capacity	: 4 TB
Power Supply	: Dual, Hot-plug, Redundant Power Supply
Data storage	: Minimum 2 years
HMI Software	: Web-based HMI (HTML 5) SLD Dashboard (pie chart, bar graph) Alarm & Event Integration to cloud via HTTP Data aggregation (min, max, avg, delta) Download datalog in CSV/XLSX format User-level management SLD Dashboard (pie chart, bar graph) P, Q, S, I, Vac, Vdc, cos phi, f
HMI Display	: Performance ratio CO2 emission contribution Daily yield, monthly yield Inverter error log
Engineering station license	: Unlimited
Operator station license	: Unlimited

**Tabel** Spesifikasi Workstation (Sumber: Dokumen RKS PLN Batam)

<u>Workstation</u>	<u>Persyaratan Spesifikasi</u>
<u>Operator Workstation</u>	
Type	: Mini Tower
Operating System	: WINDOWS 10 Pro
Word length	: 64 bits
CPU Clock speed	: 2.10 GHz to 4.90 GHz Turbo
Processor	: i7
Core Number	: 12 core
Memory Size	: 16 GB
Ethernet interface port	: 1x RJ45
USB Port	: min 2
Hard disk Capacity	: 2 TB
Monitor	: $\geq 23$ -inch LED
No. of Monitors	: 2
<u>Engineering Workstation</u>	
Type	: Mini Tower
Operating System	: WINDOWS 10 Pro
Word length	: 64 bits
CPU Clock speed	: 2.10 GHz to 4.90 GHz Turbo
Processor	: i7
Core Number	: 12 core
Memory Size	: 16 GB
Ethernet interface port	: 1x RJ45
USB Port	: min 2
Hard disk Capacity	: 2 TB
Monitor	: $\geq 23$ -inch LED
No. of Monitors	: 1

## 2.7 Metode Pemasangan Modul PV

### 2.7.1 *Ballast*

*Ballast* merupakan metode pemasangan modul pv dengan menggunakan bahan dari beton yang digunakan sebagai penopang atau pemberat frame mounting pv. Pemasangan modul pv dengan metode *ballast* biasanya diaplikasikan pada area atap Gedung atau lahan yang terbuat dari dak beton. Tujuan dari penambahan beton adalah sebagai penopang rangka mounting agar tidak merusak Gedung. **Gambar** menunjukkan metode pemasangan *ballast*.



**Gambar** Metode pemasangan *ballast* PLTS Atap 359,6 kWp Pelanggan di Batam

### 2.7.2 *Ground Mounted*

*Ground mounted* merupakan metode pemasangan modul pv dengan menggunakan tiang sebagai penopang panel dengan ketinggian tertentu sebagai *ground clearance* dari tanah untuk memaksimalkan sinar matahari mengenai modul pv. Pemasangan modul pv dengan metode *ground mounted* biasanya diaplikasikan pada area tanah lapang dan memiliki objek lain disekitarnya yang dapat menghasilkan bayangan ke panel. Gambar 11 menunjukkan metode pemasangan *Ground Mounted*.



**Gambar** Metode pemasangan *Ground Mounted* PLTS 1 MWp Tanjung Uma di Batam

### 2.7.3 *Rooftop Racking*

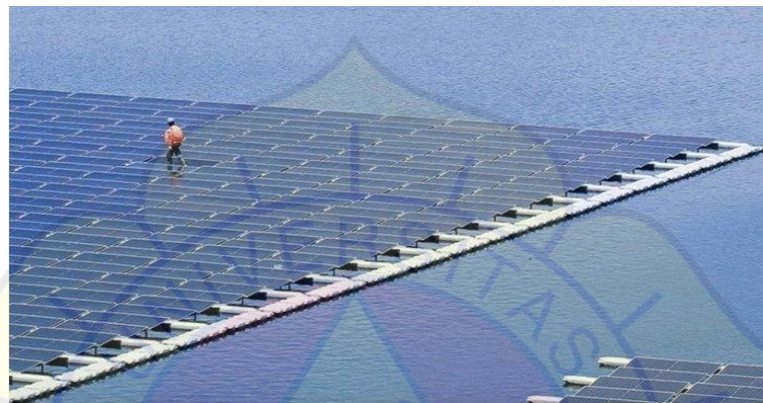
*Rooftop Rack* merupakan metode pemasangan modul pv dengan memanfaatkan atap rumah ataupun bangunan yang memiliki kemiringan untuk diaplikasikan sebagai tempat pemasangan modul PV. Besi penyangga atau *roof rail* dipasang dengan menggunakan baut sebagai penguat dan sebagai dudukan modul PV. Pemasangan modul PV dengan metode *rooftop rack* menggunakan bangunan yang memiliki atap miring, sehingga modul pv ditempatkan sesuai dengan kemiringan dan kontur atap bangunan tempat pemasangan. Gambar 12 di bawah menunjukkan metode pemasangan *rooftop rack*.



**Gambar** Metode pemasangan *Rooftop Racking* di salah satu PLTS Atap 6,2 MWp Pelanggan di Batam

#### 2.7.4 *Floating*

*Floating* merupakan metode pemasangan modul pv yang diaplikasikan pada lahan perairan seperti di danau, waduk, dan lainnya. Untuk menopang modul PV agar tidak tenggelam, dalam metode ini menggunakan bahan apung untuk menopang modul PV. Penopang pada modul pv terbuat dari bahan styrofoam atau gabus yang menjaga modul panel tetap berada di atas air dan tidak tenggelam. Gambar 13 di bawah ini menunjukkan metode pemasangan modul PV dengan *floating*.



**Gambar** Metode pemasangan *Floating* di salah satu PLTS Waduk Cirata-Jabar

#### 2.8 **Software Simulasi Helioscope**

Helioscope adalah sebuah software atau program desain berbasis web yang diperkenalkan oleh Folsom Labs yang memungkinkan para peneliti untuk melakukan simulasi lengkap perencanaan berupa tampilan 3D sehingga pengguna mampu mengetahui potensi shading ataupun performa masing-masing panel yang akan di tempatkan dari berbagai bidang.

Dalam hal ini helioscope akan di gunakan untuk melakukan simulasi kapasitas modul PV dengan opsi lahan yang ada, sehingga di ketahui jumlah kapasitas modul pv yang akan di gunakan, jumlah inverter pv serta proyeksi produksinya, serta mengetahui apakah ada potensi shading atau tidak.

#### 2.9 **Software Simulasi PVSyst**

PVSyst merupakan sebuah software yang digunakan untuk menganalisa, mengukur, mempelajari, dan mensimulasikan system PV dan juga penyimpanan energi untuk

melakukan analisa kelayakan teknologi energi baru yaitu PLTS. Setiap model juga mencakup integrasi produk, sistem dan database iklim sehingga dapat membantu secara cepat dan mudah melakukan Analisa kelayakan sistem PLTS yang ingin di bangun. Gambar 18 di bawah ini menunjukkan tampilan software PVSyst.

## 2.10 Aspek Teknis

Perhitungan aspek teknis *capacity factor* (CF) pada PLTS melibatkan beberapa faktor penting, termasuk data meteorologi, karakteristik panel fotovoltaik, dan sistem instalasi. CF merupakan indikator kinerja yang mengukur seberapa efektif sebuah pembangkit listrik beroperasi dibandingkan dengan kapasitas maksimalnya selama periode waktu tertentu. langkah-langkah dan pertimbangan utama dalam perhitungan CF PLTS ini antara lain pengumpulan data meteorologi, irradiasi solar, kecepatan angin dan temperatur, karakteristik PV, efisiensi PV

### 2.10.1 Capacity Faktor (CF)

CF salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kinerja pembangkit listrik tenaga surya, yang merepresentasikan perbandingan antara energi listrik aktual yang dihasilkan dalam satu tahun terhadap energi maksimum yang bisa dihasilkan jika sistem beroperasi pada kapasitas penuh secara terus-menerus sepanjang tahun. CF dihitung dengan rumus:

$$CF = \frac{\text{Energi yang dihasilkan (kWh)}}{\text{Kapasitas terpasang (kW)} \times \text{Jumlah jam dalam periode (jam)}}$$

### 2.10.2 Bauran Energi

Perhitungan rumus bauran energi PLTS melibatkan beberapa faktor penting untuk menentukan kapasitas, efisiensi, dan performa sistem secara keseluruhan. Dalam sistem kelistrikan terpadu, pemahaman mengenai bauran energi sangat penting untuk menilai sejauh mana kontribusi sumber energi terbarukan terhadap pemenuhan kebutuhan energi total. Bauran energi dihitung dengan rumus:

$$\text{Bauran Energi PLTS (\%)} = \frac{E_{PLTS}}{E_{\text{beban total}}} \times 100\%$$

Keterangan:

EPLTS = Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS dalam periode tertentu

(kWh)

Ebeban total = Total energi listrik yang dibutuhkan atau digunakan oleh sistem  
(beban) dalam periode yang sama (kWh)

## **2.11 Sistem dan Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm)**

### **2.11.1 Potensi Energi Biomassa**

Biomassa adalah sumber energi terbarukan lain yang memiliki potensi besar di Indonesia, terutama dari limbah pertanian, kehutanan, dan sampah organik. Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi tidak hanya membantu mengurangi emisi gas rumah kaca tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi dari pengelolaan limbah. Biomassa di Indonesia tersedia dalam jumlah yang melimpah dari limbah pertanian, kehutanan, dan perkebunan. Teknologi pengolahan biomassa dapat mengubah bahan organik ini menjadi sumber energi yang berkelanjutan. Studi menunjukkan bahwa potensi biomassa di Indonesia mencapai 32 GW, yang sebagian besar belum dimanfaatkan. Proses konversi biomassa menjadi energi, baik melalui pembakaran langsung maupun melalui teknologi canggih seperti pirolisis dan gasifikasi, dapat menyediakan pasokan listrik yang stabil dan berkelanjutan, khususnya di daerah pedesaan dan terpencil.

### **2.11.2 Bahan Baku Biomassa**

Biomassa akan diperoleh dari limbah pertanian dan kehutanan lokal yang ada dipulau kundur dan daerah sekitar di Kepulauan Riau, seperti sekam padi, kayu kaliandra merah, kayu hutan, akar kayu, tongkol jagung, Oilseed Rape, kulit tebu, jerami padi/gandum, kulit kacang, kulit sagu dan bahan-bahan biomassa lainnya di area Kepulauan Riau sampai daerah Sumatra dan di wilayah lain di Indonesia yang mudah diperoleh seperti ditunjukkan pada **Gambar** bahan baku sistem kelistrikan PLTBm Pulau Kundur bisa di temui di semua daerah di wilayah Indonesia.



**Gambar** Bahan-bahan Baku Sistem Kelistrikan PLTBm Pulau Kundur (*Sumber : Powermax Biomass to Energy*)

### 2.11.3 Gasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm)

Gasifikasi dalam pembangkit listrik tenaga biomassa adalah proses konversi termokimia yang mengubah biomassa padat menjadi gas yang mudah terbakar, yang disebut syngas. Proses ini melibatkan serangkaian reaksi kompleks yang terjadi pada suhu tinggi dengan adanya agen gasifikasi seperti udara, oksigen, uap air, atau karbon dioksida. Syngas ini terutama terdiri dari CO dan H<sub>2</sub>, dan dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik, bahan bakar transportasi, atau bahan baku untuk produksi bahan kimia

#### 2.11.3.1 Prinsip Dasar Gasifikasi

Gasifikasi biomassa adalah proses parsial pembakaran biomassa pada suhu tinggi (biasanya antara 700-1000°C) dengan jumlah oksigen yang terbatas. Proses ini mengubah biomassa menjadi gas yang terutama terdiri dari karbon monoksida (CO), hidrogen (H<sub>2</sub>), dan sejumlah kecil metana (CH<sub>4</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), nitrogen (N<sub>2</sub>), dan senyawa lainnya. Syngas yang dihasilkan dapat digunakan

sebagai bahan bakar untuk menghasilkan listrik melalui berbagai teknologi, seperti turbin gas, mesin pembakaran internal, atau sel bahan bakar.

### **2.11.3.2 Tahapan Proses Gasifikasi**

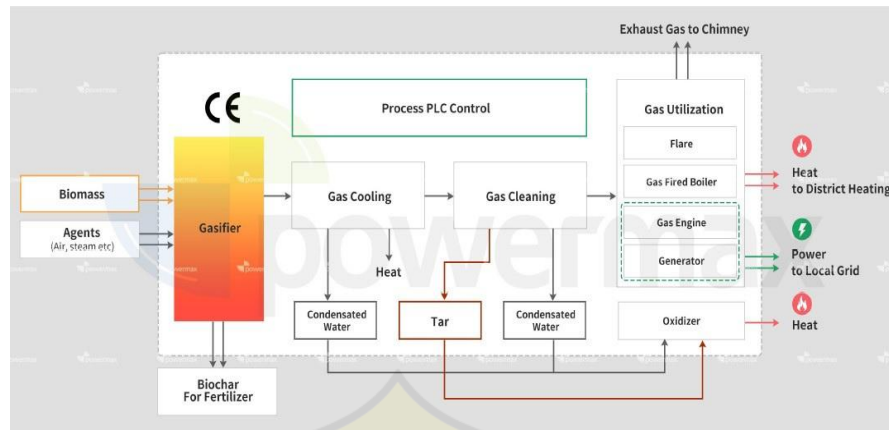
Proses gasifikasi biomassa melibatkan beberapa tahapan utama pertama pengeringan (drying) tahap ini melibatkan penghilangan kadar air dari biomassa. Biomassa biasanya mengandung kadar air yang signifikan, yang dapat mengurangi efisiensi gasifikasi jika tidak dihilangkan terlebih dahulu. Pengeringan biasanya dilakukan dengan menggunakan panas buang dari proses gasifikasi atau sumber panas lainnya.

Kedua pirolisis (pyrolysis) pada tahap ini, biomassa dipanaskan pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen. Proses pirolisis menyebabkan biomassa terurai menjadi tiga produk utama: padatan (char), cairan (tar dan minyak), dan gas (CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>). Suhu pirolisis biasanya berkisar antara 400-600°C.

Ketiga oksidasi (oxidation) pada tahap ini, sebagian dari biomassa dan produk pirolisis (char dan gas) bereaksi dengan oksigen yang masuk ke dalam gasifier. Reaksi oksidasi bersifat eksotermik (menghasilkan panas), yang menyediakan energi yang dibutuhkan untuk mempertahankan suhu tinggi dalam gasifier. Reaksi utama yang terjadi adalah pembakaran karbon menjadi karbon dioksida dan karbon monoksida.

Keempat reduksi (reduction) tahap ini melibatkan reaksi antara gas-gas hasil oksidasi dengan char dan produk pirolisis lainnya. Reaksi reduksi bersifat endotermik (membutuhkan panas) dan menghasilkan gas-gas yang diinginkan, seperti hidrogen dan karbon monoksida. Beberapa reaksi reduksi yang penting meliputi reaksi Boudouard ( $C + CO_2 \rightarrow 2CO$ ) dan reaksi pergeseran air-gas ( $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ ).

### **2.11.3.3 Jenis – jenis Gasifier**



Gambar Proses Gasifikasi PLTBm (Sumber : Power Max Desain)

