

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) memakai sistem *Combine Cycle* dengan konfigurasi antara Turbin Gas – HRSG – Turbin Uap. Unit ini beroperasi menggunakan *Natural Gas* (Gas alam), Sedangkan untuk Steam Turbin, Uap untuk memutar Turbin Uap dihasilkan dari HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) yang mengubah sisa panas dari *Exhaust Gas Turbine* menjadi Uap dengan cara memanaskan air. Setelah uap tersebut dipakai untuk memutar Turbin Uap lalu dialirkan ke Kondensor untuk diubah kembali menjadi air yang akan dialirkan lagi menuju HRSG. Energi Gerak dari Turbin Gas dan Turbin Uap dikonversi menjadi energi Listrik oleh Generator. Selain dari komponen utama yang dijelaskan sebelumnya Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) juga memiliki komponen bantu untuk mendukung operasional diantaranya sistem bahan bakar, sistem udara, sistem pelumasan, sistem hidrolik, sistem pendingin dan sistem-sistem lainnya.

2.1.2 Pemakaian Sendiri (PS)

Pemakaian Sendiri (PS) Adalah Energi listrik yang digunakan oleh pembangkit untuk menjalankan semua peralatan bantu yang diperlukan agar proses operasional pembangkitan dapat berjalan secara efisien. Energi ini diambil dari sebagian keluaran generator sebelum dinaikkan tegangannya dan disalurkan ke jaringan transmisi. Untuk Pemakaian Sendiri (PS) bermula dari Trafo Bantu yang mengambil sebagian suplai Energi Listrik dari Trafo Utama, lalu energi Listrik tersebut umumnya dibagi menjadi dua suplai yaitu 380 VV dan 6KV menuju motor dan pompa bantu. Pada PLTGU Keramasan 1 total Pemakaian Sendiri (PS) berkisar antara 4% - 6% dari total daya yang dihasilkan. Berikut Adalah daftar motor dan pompa bantu pada PLTGU Keramasan 1 :

Tabel 2.1 Data Motor dan Pompa PLTGU Keramasan unit #1

NOMOR	EQUIPMENT	TEGANGAN
	GT PLANT	V

NOMOR	EQUIPMENT	TEGANGAN
1	Cranking Motor	6000 V
2	Main Lube Oil Pump #1	380 V
3	Main Lube Oil Pump #2	380 V
4	Mist Separator Fan GU 1	380 V
5	Turning Gear	380 V
6	Bearing Cooling Fan	380 V
7	Turbine Compartment Ventilation Fan	380 V
8	Main Hydrolic Supply Pump #1	380 V
9	Water Injection Pump	380 V
10	Gen. JOP	380 V
ST PLANT		V
1	Boiler Feed Water (BFP) A	6000 V
2	Boiler Feed Water (BFP) B	6000 V
3	CPH Recirculation Pump #1	380 V
4	Gas Heater	6000 V
5	Vacuum Pump A	380 V
6	Vacuum Pump B	380 V
7	Gland Exhaust Fan A	380 V
8	Gland Exhaust Fan B	380 V
9	Condensate Extraction Pump (CEP) A	380 V
10	Condensate Extraction Pump (CEP) B	380 V
11	ReCirculating Vacum Pump A	380 V
12	ReCirculating Vacum Pump B	380 V
13	Main Control Oil Pump	380 V
14	Auxiliary Control Oil Pump	380 V
COMMON		V
1	Circulating Water Pump A	6000 V
2	Circulating Water Pump B	6000 V
3	Circulating Water Pump C	6000 V
4	Cooling Tower Fan A	380 V
5	Cooling Tower Fan B	380 V
6	Cooling Tower Fan C	380 V
7	Cooling Tower Fan D	380 V
8	ACWP A	380 V
9	ACWP B	380 V
10	ACWP C	380 V
11	CCWP A	380 V
12	CCWP B	380 V
13	CCWP C	380 V
14	Service Water Pump A	380 V

NOMOR	EQUIPMENT	TEGANGAN
15	Service Water Pump B	380 V
16	Make Up Water Pump A	380 V
17	Make Up Water Pump B	380 V
18	River Water Pump A	380 V
19	River Water Pump B	380 V
20	Air Compressor A	380 V
21	Air Compressor B	380 V
	WTP	V
1	Clarified Water Pump A	380 V
2	Filter BackWash Water Pump	380 V
3	PAC	220 V
4	NaOH	220 V
5	Polymer	220 V
6	Oil Precipitation Dosing	220 V

2.1.3 Efisiensi Pembangkit Listrik

Sesuai dengan SPLN No. 80 Tahun 1989 : “Mengatur tentang efisiensi pembangkit termal, terutama fokus pada perhitungan konsumsi spesifik bahan bakar (*Specific Fuel Consumption* - SFC) dan *heat rate* untuk mengukur seberapa efisien bahan bakar diubah menjadi energi Listrik”. Dan menurut Franco dan Russo (2011) menganalisis peningkatan efisiensi netto pada pembangkit combined cycle melalui optimasi parameter operasi HRSG. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa efisiensi netto sangat dipengaruhi oleh konsumsi daya bantu serta konfigurasi sistem pemulihan panas. Efisiensi netto dihitung berdasarkan daya netto yang dihasilkan dibandingkan energi input bahan bakar, sehingga semakin kecil daya pemakaian sendiri maka semakin tinggi efisiensi netto pembangkit.. Perhitungan Efisiensi pembangkit :

- Efisiensi *Netto* Pembangkit adalah perbandingan antara total energi *Netto* (Bersih) yang dihasilkan dengan total energi yang dimasukkan (energi bahan bakar). Berikut Adalah rumus yang dipakai untuk menghitung Efisiensi *Netto* Pembangkit (%) :

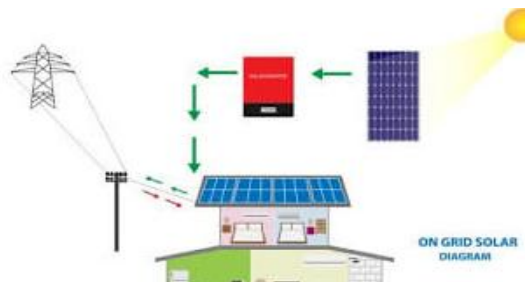
$$\eta = \frac{P_{netto}}{Q_{input}} \times 100\%$$

Keterangan :

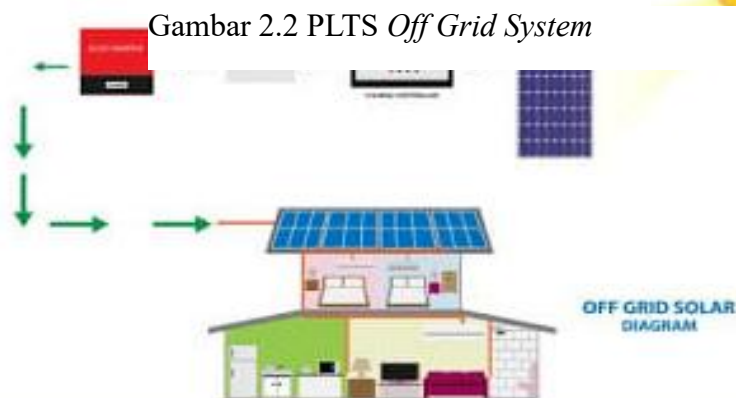
- η = Efisiensi *Netto* Pembangkit (%)
- P_{netto} = Daya *Netto* (kWh)
- Q_{input} = nilai Kalor Bahan Bakar (kWh)

2.1.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

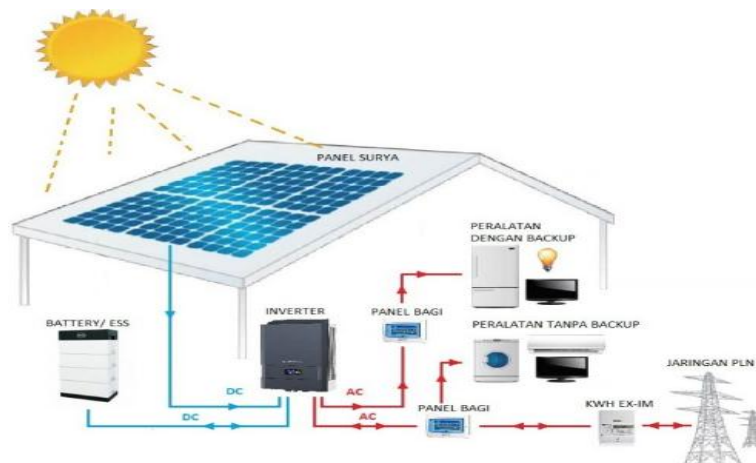
Salah satu upaya dalam mengurangi Pemakaian Sendiri (PS) yaitu pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. PLTS di PLTGU Keramasan memiliki daya sebesar 1,67 MWp yang artinya PLTS ini dapat beroperasi sampai daya puncak sampai dengan atau setara 1,67 MW saat penyerapan Cahaya matahari optimal. Pembangkitan listrik dengan energi surya dapat dilakukan secara langsung menggunakan fotovoltaik, atau secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Fotovoltaik mengubah secara langsung energi surya menjadi energi listrik menggunakan efek fotolistrik, energi Listrik yang dihasilkan berupa arus Listrik searah (DC). Lalu Listrik DC tersebut masuk kedalam *Inverter* yang berfungsi mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak balik (AC). Komponen utama di dalam pembangkit listrik tenaga surya meliputi modul surya (PV), *Inverter*, dan Baterai Listrik. Terdapat tiga jenis konfigurasi utama pada PLTS berdasarkan koneksinya ke jaringan Listrik yaitu :



Gambar 2.1 PLTS *On Grid System*



Gambar 2.2 PLTS *Off Grid System*



Gambar 2.3 PLTS *Hybrid System*

2.1.4.1 PLTS *On Grid System*

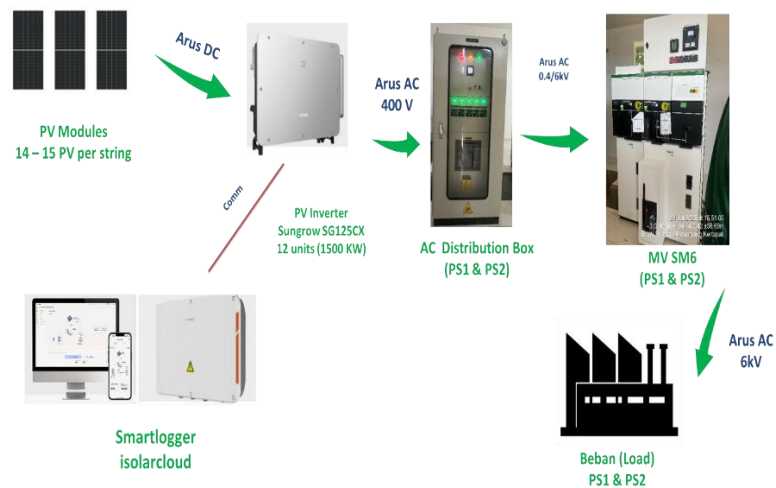
- Sistem PLTS Bisa beroperasi jika ada *power grid* referensi dan Sinar matahari
- Tidak ada *storage energy* (penyimpanan energi listrik)
- Energi bisa dipakai waktu ada sinar matahari (pagi sampai sore hari)

2.1.4.2 PLTS *Off Grid System*

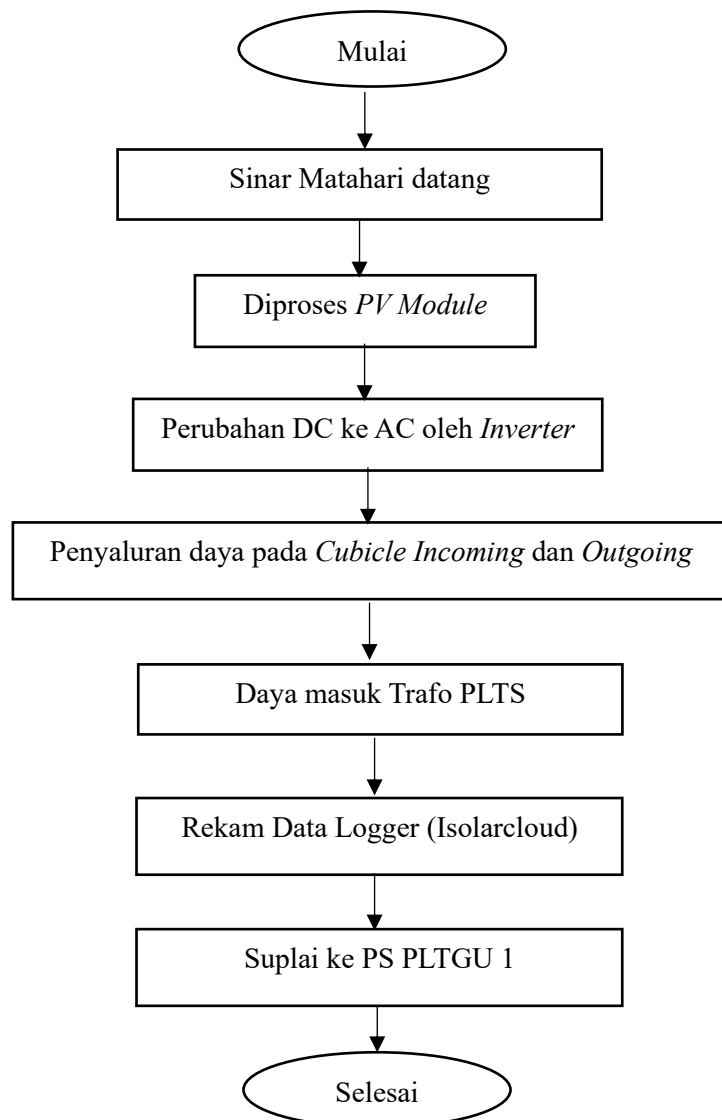
- Sistem PLTS Bisa beroperasi jika tidak ada *power grid* referensi dan Sinar matahari (ada/ tidak)
- Ada *storage energy* (penyimpanan energi listrik)
- Energi bisa di pakai diwaktu tidak ada *supply Grid* (PLN), dan bisa digunakan dalam 24 jam dan perlu diketahui dalam kapasitas baterai kemampuan dalam beroperasi terhadap beba

2.1.4.3 PLTS *Hybrid System*

- Sistem Sistem PLTS Bisa beroperasi jika *power grid* referensi (ada/tidak ada) dan Sinar matahari (ada/ tidak)
- Ada *storage energy* (penyimpanan energi listrik)
- Baterai bersifat backup bisa digunakan atau tidak, biasanya lebih kecil kapasitas dibandingkan dengan system *OFF Grid*



Gambar 2. 4 Siklus PLTS



Gambar 2. 5 *Flowchart* PLTS

2.1.5 Bagian Utama PLTS

Sistem dimulai dari PV Modules yang disusun dalam beberapa string, dimana setiap string terdiri dari 14–15 modul surya yang dirangkai secara seri untuk menghasilkan tegangan sesuai desain. Energi listrik yang dihasilkan dalam bentuk arus searah (DC) kemudian disalurkan ke PV *Inverter* tipe Sungrow SG125CX. Pada sistem ini digunakan 12 unit *Inverter* dengan total kapasitas sekitar 1500 kW AC. *Inverter* berfungsi mengubah arus DC menjadi arus bolak-balik (AC) dengan tegangan 400 Volt serta melakukan sinkronisasi dengan jaringan listrik. Dari *Inverter*, energi listrik dialirkan menuju AC Distribution Box (PS1 dan PS2) yang berfungsi sebagai pusat pengumpulan daya dari beberapa *Inverter* sebelum disalurkan lebih lanjut. Pada tahap ini tegangan masih berada pada level 400 V. Selanjutnya, energi listrik dinaikkan tegangannya melalui transformator dari 0,4 kV menjadi 6 kV untuk menyesuaikan dengan sistem distribusi tegangan menengah. Daya kemudian masuk ke panel MV SM6 (PS1 dan PS2) sebelum akhirnya disalurkan ke sistem beban atau jaringan. Selain sistem daya, PLTS ini juga dilengkapi dengan sistem monitoring menggunakan Smartlogger yang terhubung dengan platform iSolarCloud. Sistem ini memungkinkan pemantauan performa *Inverter*, produksi energi, serta parameter operasional lainnya secara real-time. Berikut adalah bagian – bagian utama pada PLTS :

1. PV Module PV Module (Photovoltaic Module) adalah perangkat yang berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik arus searah (DC) melalui efek fotovoltaiik. PV module tersusun dari beberapa sel surya (solar cell) yang dirangkai secara seri dan/atau paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus sesuai kebutuhan sistem. Sel surya biasanya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon yang akan menghasilkan listrik ketika terkena sinar matahari PLTS ini menggunakan total 2880 modul PV yang terbagi dalam dua sistem utama, yaitu:

- a. PS 1250 kVA

1. Jumlah PV: 1710 modul

2. Jumlah *Inverter*: 7 unit
 3. Kapasitas DC: 991,8 kWp
 4. Kapasitas AC: 875 kW
- b. PS 1000 kVA
1. Jumlah PV: 1170 modul
 2. Jumlah *Inverter*: 5 unit
 3. Kapasitas DC: 678,6 kWp
 4. Kapasitas AC: 625 kW

Setiap string terdiri dari 18 modul dengan tegangan maksimum sekitar 777,96 Volt dan arus MPPT maksimum 26,84 Ampere (2 string per MPPT).

2. *Inverter* merupakan komponen utama yang berfungsi mengubah arus DC menjadi AC sesuai standar grid. Di dalam *Inverter* terdapat beberapa bagian penting seperti DC Switch, DC SPD, EMI Filter, MPPT (Maximum Power Point Tracking), rangkaian *Inverter*, AC Filter, AC Relay, dan AC SPD. MPPT berperan mengoptimalkan daya keluaran panel surya agar bekerja pada titik daya maksimum. Setelah dikonversi menjadi AC, *Inverter* akan melakukan sinkronisasi dengan jaringan sebelum energi disalurkan. Berikut adalah tipe – tipe dari *Inverter* :
 - a. On Grid *Inverter* adalah *Inverter* yang digunakan pada sistem PLTS yang terhubung langsung dengan jaringan. *Inverter* ini berfungsi mengubah arus searah (DC) dari modul surya menjadi arus bolak-balik (AC) yang memiliki tegangan dan frekuensi sesuai standar jaringan listrik. Operasinya bergantung pada adanya referensi dari grid sehingga ketika jaringan padam, *Inverter* akan otomatis berhenti beroperasi demi menjaga keselamatan sistem.
 - b. Off grid *Inverter* adalah *Inverter* yang digunakan pada sistem mandiri tanpa terhubung ke jaringan. *Inverter* ini mengubah energi DC dari panel surya atau baterai menjadi AC untuk menyuplai beban secara langsung. Sistem ini umumnya

digunakan di daerah terpencil karena mampu menyediakan listrik secara independen dengan dukungan penyimpanan energi.

- c. *Hybrid Inverter* merupakan kombinasi antara sistem on-grid dan off-grid. *Inverter* ini mampu mengatur aliran energi dari panel surya, baterai, dan jaringan secara otomatis sesuai kondisi kebutuhan beban. Sistem hybrid memberikan fleksibilitas karena dapat menyimpan energi sebagai cadangan sekaligus tetap terhubung dengan jaringan listrik.
 - d. *String Inverter* adalah *Inverter* yang menerima input dari beberapa rangkaian panel surya (string) dan mengubahnya menjadi listrik AC. Tipe ini umum digunakan pada PLTS skala rumah tangga hingga komersial karena instalasinya lebih sederhana dan efisien untuk kapasitas menengah. Setiap string biasanya dikontrol oleh MPPT untuk mengoptimalkan produksi daya.
 - e. *Central Inverter* adalah *Inverter* berkapasitas besar yang digunakan pada PLTS skala utilitas atau solar farm. *Inverter* ini menggabungkan banyak string panel surya dalam satu sistem konversi daya terpusat. Penggunaannya cocok untuk pembangkit berskala besar karena mampu menangani daya dalam kapasitas ratusan kilowatt hingga megawatt.
3. *AC Distribution Box* (ACDB) adalah panel distribusi listrik pada sisi arus bolak-balik (AC) dalam sistem PLTS yang berfungsi sebagai pusat pengumpulan dan penyaluran daya dari inverter menuju beban atau jaringan listrik. ACDB menerima output AC dari satu atau beberapa inverter, kemudian mendistribusikannya ke sistem instalasi listrik atau ke panel tegangan menengah melalui transformator. Di dalam ACDB terdapat perangkat proteksi seperti MCCB/MCB, ACB, relay proteksi, dan surge protection device (SPD) yang berfungsi untuk melindungi sistem dari arus

lebih, hubung singkat, gangguan tegangan, serta gangguan lainnya. Selain sebagai panel proteksi, *AC Distribution Box* juga memudahkan proses pengoperasian seperti penyalan (startup), pemadaman (shutdown), serta isolasi sistem saat dilakukan perawatan atau terjadi gangguan. Dengan demikian, ACDB berperan penting dalam menjaga keamanan, keandalan, dan kestabilan distribusi daya pada sistem PLTS

4. *Medium Voltage Switchgear* (MV SM6) yang digunakan pada sistem tegangan menengah (umumnya 6 kV–20 kV) untuk pengamanan, pengendalian, dan pemutusan jaringan listrik. Dalam sistem PLTS, MV SM6 berfungsi sebagai penghubung antara sisi tegangan menengah dari transformator step-up dengan jaringan distribusi atau sistem internal pembangkit. Panel ini dilengkapi dengan circuit breaker, disconnecting switch, relay proteksi, serta sistem pentanahan yang berfungsi untuk melindungi peralatan dari gangguan seperti hubung singkat, arus lebih, maupun gangguan tanah. MV SM6 memungkinkan proses penyambungan dan pemutusan daya dilakukan dengan aman saat kondisi normal maupun saat terjadi gangguan. Dengan adanya panel ini, sistem PLTS dapat beroperasi secara andal serta memenuhi standar keselamatan pada jaringan tegangan menengah
5. Trafo (6 kV) pada PLTS adalah transformator yang berfungsi menaikkan tegangan listrik dari sisi tegangan rendah (biasanya 400 Volt keluaran inverter) menjadi tegangan menengah 6 kV sebelum disalurkan ke sistem distribusi atau jaringan internal pembangkit. Pada sistem PLTS skala menengah hingga besar, inverter menghasilkan listrik AC pada tegangan rendah (± 400 V). Agar daya dapat ditransmisikan dengan lebih efisien dan rugi-rugi daya (losses) lebih kecil, tegangan tersebut dinaikkan melalui trafo step-up menjadi 6 kV. Tegangan menengah ini kemudian masuk ke panel MV (Medium Voltage) seperti switchgear sebelum disalurkan ke beban atau jaringan utama. Selain menaikkan tegangan, trafo juga berfungsi sebagai

isolasi listrik antara sisi inverter dan sistem distribusi, sehingga meningkatkan keselamatan dan keandalan operasi PLTS

2.1.6 Perhitungan Produksi PLTS

Menurut “*Literatur IEEE & Renewable Energy Journal*” perhitungan daya dan energi PLTS berdasarkan metode yang umum digunakan dalam jurnal teknik energi surya adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan Daya Output Array PV :

$$PPV = P_{rated} \times (G/STCG) \times [1 + \gamma(T_c - T_{ref})]$$

Dimana :

- a. P_{pv} = Daya aktual modul (W)
- b. P_{rated} = Daya terpasang pada STC (W)
- c. G = Iradiasi aktual (W/m²)
- d. G_{STC} = Iradiasi standar 1000 W/m²
- e. γ = Koefisien temperatur (%/°C)
- f. T_c = Suhu sel aktual (°C)
- g. T_{ref} = Suhu referensi 25°C

2. Perhitungan Energi Harian (Metode Yield) :

$$E_{daily} = P_{Installed} \times H_{peak} \times \eta_{system}$$

Dimana :

- a. E_{daily} = Energi Harian
- b. $P_{Installed}$ = Daya terpasang
- c. H_{peak} = *Peak Sun Hour* (jam)
- d. η_{system} = Efisiensi sistem total

3. Perhitungan *Performance Ratio* (PR) :

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r}$$

$$Y_r = \frac{E_{actual}}{P_{installed}}$$

$$Y_r = \frac{H_{total}}{G_{STC}}$$

Dimana :

- a. PR = *Performance Ratio*
- b. Y_f = Final Yield
- c. Y_r = Refrence Yield

- d. E_{actual} = Energi Actual
- e. $P_{installed}$ = Daya Terpasang
- f. H_{total} = Total iradiasi
- g. G_{STC} = irradiansi standar

2.1.7 Kelebihan dan Kekurangan pada PLTS

a. Kelebihan PLTS

Salah satu kelebihan utama PLTS adalah sifatnya yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi karbon selama proses pembangkitan listrik. Energi matahari sebagai sumber energi bersifat terbarukan dan tersedia secara alami, sehingga mendukung keberlanjutan sistem energi jangka panjang. Selain itu, PLTS memiliki biaya operasional yang relatif rendah setelah instalasi awal. Tidak diperlukan bahan bakar dalam proses pembangkitan sehingga biaya produksi listrik menjadi lebih stabil dibanding pembangkit berbasis fosil. Sistem ini juga memiliki jumlah komponen mekanis yang lebih sedikit, sehingga kebutuhan pemeliharaan cenderung lebih sederhana. PLTS juga memiliki fleksibilitas dalam penerapan, mulai dari skala rumah tangga (rooftop) hingga skala pembangkit besar (utility scale). Sistem ini dapat diintegrasikan dengan jaringan listrik (on-grid), berdiri sendiri (off-grid), maupun dikombinasikan dengan sistem penyimpanan energi dalam konfigurasi hybrid.

b. Kekurangan PLTS

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, PLTS memiliki keterbatasan utama yaitu sifat produksinya yang intermiten. Intermiten berarti produksi energi listrik tidak berlangsung secara kontinu dan stabil, melainkan bergantung pada ketersediaan radiasi matahari. Daya keluaran PLTS berfluktuasi mengikuti siklus harian (siang dan malam), kondisi cuaca (mendung atau hujan), serta variasi musim. Pada malam hari, PLTS tidak menghasilkan energi sama sekali, sehingga diperlukan sistem penyimpanan energi atau dukungan dari jaringan listrik untuk menjaga kontinuitas suplai. Selain sifat intermiten, PLTS juga memerlukan luas area instalasi yang relatif besar untuk menghasilkan daya dalam kapasitas tinggi, khususnya pada sistem skala utilitas. Hal ini dapat menjadi kendala di wilayah dengan keterbatasan lahan. Biaya investasi awal yang cukup tinggi juga menjadi

salah satu tantangan dalam pengembangan PLTS, terutama jika sistem dilengkapi dengan baterai penyimpanan energi. Walaupun harga teknologi terus menurun, kebutuhan modal awal tetap menjadi faktor penting dalam perencanaan proyek. Di samping itu, terdapat rugi-rugi sistem (system losses) yang dapat menurunkan efisiensi keseluruhan, seperti rugi-rugi pada inverter, kabel, temperatur modul yang tinggi, serta faktor bayangan (shading). Oleh karena itu, desain sistem dan pemilihan komponen yang tepat sangat mempengaruhi performa PLTS.

2.1.8 Pemanfaatan PLTS untuk Pemakaian Sendiri (PS) di Pembangkit Listrik

Tujuan utama PLN menggunakan energi baru terbarukan (EBT) yaitu untuk mendukung transisi energi dan mencapai *Net Zero Emissions (NZE) 2060*, dengan tujuan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan emisi karbon. Selain itu pemanfaatan EBT juga bertujuan meningkatkan kemandirian energi nasional, menciptakan lapangan kerja baru, mendukung pertumbuhan ekonomi, serta memastikan pasokan listrik yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Salah satu upaya untuk mendukung tujuan tersebut yaitu pemanfaatan PLTS untuk Pemakaian Sendiri (PS) di sebuah unit pembangkit. Dimana daya yang dihasilkan oleh PLTS dipakai untuk daya konsumsi dari peralatan bantu sebuah Pembangkit Listrik, seperti Motor, Pompa, Fan, dan alat bantu lainnya. Hal ini diharapkan dapat mengurangi konsumsi Pemakaian Sendiri yang dihasilkan dari Pembangkit tersebut. Semakin besar daya yang diberikan oleh sebuah PLTS, semakin besar pula daya bersih (*Netto*) yang bisa dihasilkan dan efisiensi pada sebuah pembangkit akan menjadi lebih baik. Untuk melihat sebesar mana pemanfaatan PLTS untuk mengurangi pemakaian sendiri dan meningkatkan efisiensi dalam sebuah pembangkit dapat kita lihat dalam rumusan berikut :

1. Menurut W. Hanaldi, P. Puspitasari, and S. Ramaputra, “Analisis Dampak Penggunaan Panel Surya Terhadap Pemakaian Sendiri Pada Pembangkit Listrik,”. Dimana analisis terhadap hubungan antara produksi energi panel surya dengan pemakaian listrik internal (*self-consumption*) pada pembangkit listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat pemakaian sendiri energi PLTS dipengaruhi oleh pola beban lokal dan kapasitas sistem PV yang

diinstal, di mana produksi puncak PLTS pada siang hari berhasil memenuhi sebagian besar kebutuhan internal pembangkit. Berikut Pemanfaatan Daya PLTS terhadap Pemakaian Sendiri :

$$\text{Kontribusi PLTS (\%)} = \frac{P_{plts}}{P_{ps}} \times 100\%$$

Keterangan :

- P_{plts} = Daya yang dihasilkan PLTS (kWh)
 - P_{ps} = Daya total Pemakaian Sendiri (PS) Pembangkit (kWh)
2. Sesuai dengan SPLN No. 80 Tahun 1989 : “Mengatur tentang efisiensi pembangkit termal, terutama fokus pada perhitungan konsumsi spesifik bahan bakar (*Specific Fuel Consumption* - SFC) dan *heat rate* untuk mengukur seberapa efisien bahan bakar diubah menjadi energi Listrik”. Dan menurut Franco dan Russo (2011) menganalisis peningkatan efisiensi netto pada pembangkit combined cycle melalui optimasi parameter operasi HRSG. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa efisiensi netto sangat dipengaruhi oleh konsumsi daya bantu serta konfigurasi sistem pemulihan panas. Efisiensi netto dihitung berdasarkan daya netto yang dihasilkan dibandingkan energi input bahan bakar, sehingga semakin kecil daya pemakaian sendiri maka semakin tinggi efisiensi netto pembangkit. Berikut Pemanfaatan Daya PLTS terhadap peningkatan efisiensi *Netto* Pembangkit :

$$\eta = \frac{P_{netto}}{Q_{input}} \times 100\%$$

Keterangan :

- η = Efisiensi *Netto* Pembangkit (%)
- P_{netto} = Daya *Netto* (kWh)
- Q_{input} = nilai Kalor Bahan Bakar (kWh), dikonversi dari MMBtu

Dikarenakan daya yang disuplai oleh PLTS sangat *Fluktuatif* (tergantung sinar matahari), maka jumlah alat bantu yang dapat di cover oleh PLTS tidak menentu. Berikut adalah data Motor dan Pompa alat bantu yang mampu disuplai oleh PLTS ketika berada dibeban puncak nya (1,6 MWP) :

1. Gas Heater (416 kWh)
2. Cooling Water Pump A (320 kWh)

3. Cooling Water Pump C (320 kWh)
4. Boiler Feedwater Pump A atau B (185 kWh)
5. Cooling Tower Fan A (132 kWh)
6. Cooling Tower Fan B (132 kWh)
7. Condensate Extraction Pump A atau B (75 kWh)
8. Close Cooling Water Pump A (75 kWh)
9. Auxiliaty Cooling Water Pump A (55 kWh)

2.2. Penelitian yang Relevan

Pada penelitian ini penulis melakukan tinjauan literatur pada beberapa penelitian yang relevan untuk dijadikan referensi. Referensi dapat berasal dari jurna, artikel, skripsi, atau buku yang - relevan. Beberapa referensi yang penulis dapatkan sebagai berikut :

1. Menurut Ardian Burhandono. 2022, dalam jurnal yang berjudul “Perencanaan PLTS *Rooftop On-Grid* untuk Gedung Kantor (Studi Kasus PLTU Amurang)”. menyatakan bahwa Penelitian ini membahas perencanaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Rooftop On-Grid* sebagai alternatif penyedia energi untuk gedung kantor di lingkungan PLTU Amurang. Tujuannya adalah untuk mengurangi konsumsi listrik yang berasal dari jaringan pembangkit utama sehingga menekan nilai *auxiliary power* dan memperbaiki *Nett Plant Heat rate (NPHR)*. Metode penelitian dilakukan melalui analisis potensi iradiasi matahari lokal, penentuan kapasitas sistem PLTS yang optimal, serta perhitungan energi listrik tahunan yang dihasilkan. Hasil perencanaan menunjukkan bahwa penerapan PLTS *Rooftop* mampu menurunkan sebagian beban listrik gedung dengan kontribusi energi surya yang signifikan, sehingga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi operasi pembangkit. Studi ini menegaskan pentingnya integrasi energi terbarukan di sektor pendukung pembangkit untuk mendukung transisi energi berkelanjutan di Indonesia.
2. Menurut Irwan Firmanto Nainggolan. 2022, dalam jurnal yang berjudul “Perancangan PLTS *Rooftop* untuk Pemakaian Sendiri (*Self-Consumption*)” menyatakan bahwa Penelitian ini bertujuan merancang sistem PLTS *Rooftop* yang ditujukan untuk pemakaian sendiri (*self-consumption*) pada bangunan industri di wilayah Jawa Tengah. Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan data iradiasi matahari, karakteristik beban listrik harian, dan efisiensi panel surya.

Metodologi yang digunakan meliputi analisis teknis terhadap kapasitas optimal panel serta simulasi produksi energi tahunan dengan *software* pendukung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem PLTS yang dirancang mampu memenuhi sebagian besar kebutuhan energi siang hari dan mengurangi ketergantungan terhadap listrik dari jaringan PLN. Kontribusi energi surya terhadap penghematan biaya listrik mencapai 25–30%. Studi ini memberikan gambaran bahwa PLTS *Rooftop* memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi konsumsi energi, meskipun belum diterapkan secara luas pada fasilitas pembangkit listrik.

3. Menurut Fidelchristo Pijoh. 2024, dalam jurnal yang berjudul “Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Energi Ramah Lingkungan yang Berkelanjutan” menyatakan bahwa Ketergantungan terhadap energi fosil seperti batu bara dan minyak bumi masih mendominasi sistem kelistrikan nasional, yang menyebabkan peningkatan emisi karbon dan kerusakan lingkungan. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini membahas potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis manfaat penerapan PLTS terhadap pengurangan emisi karbon, efisiensi energi, serta potensi penghematan biaya jangka panjang. Metode penelitian yang digunakan bersifat *deskriptif kualitatif*, dengan pendekatan analisis literatur dan data sekunder dari berbagai studi terkait kinerja PLTS di Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan PLTS dapat menghemat konsumsi listrik hingga 30% dan menekan emisi karbon secara signifikan dibandingkan sistem pembangkit berbasis fosil. Meskipun investasi awal PLTS relatif tinggi, dalam jangka panjang sistem ini lebih ekonomis karena sumber energinya tidak terbatas dan bebas emisi. Penelitian ini menegaskan bahwa pengembangan PLTS berperan penting dalam mendukung transisi energi bersih serta kemandirian energi nasional di masa depan.
4. Menurut Pamor Gunoto. 2022, dalam jurnal yang berjudul “Analisa Daya pada Panel Surya di Pembangkit Listrik Tenaga Surya 30 kVA *On-Grid*” menyatakan bahwa Penelitian ini menganalisis *performa* sistem PLTS *On-Grid* berkapasitas 30 kVA yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik internal sebuah gedung. Tujuan utamanya adalah mengevaluasi daya keluaran panel surya, efisiensi sistem

Inverter, dan tingkat pemakaian sendiri (*self-consumption ratio*). Metode pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran langsung terhadap tegangan, arus, dan energi listrik yang dihasilkan sistem selama periode tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem PLTS mampu menghasilkan energi dengan efisiensi tinggi dan memenuhi sebagian besar kebutuhan listrik siang hari. Rata-rata tingkat pemanfaatan langsung mencapai lebih dari 70% dari total energi yang dihasilkan. Studi ini menunjukkan potensi nyata PLTS sebagai sumber energi bersih yang dapat diintegrasikan ke sistem eksisting, meskipun skalanya masih terbatas.

5. Menurut Syafriansyah. 2024, dalam jurnal yang berjudul “*Design of Solar Power Plant Capacity for Auxiliary Load at Labuan Steam Power Plant (PLTU)*” menyatakan bahwa Penelitian ini mengkaji desain kapasitas PLTS yang optimal untuk menyuplai sebagian beban *auxiliary* di PLTU Labuan. Tujuan utamanya adalah mengidentifikasi kapasitas dan konfigurasi sistem PLTS yang paling efisien dalam mengurangi konsumsi daya internal dan meningkatkan kinerja termal pembangkit. Metode yang digunakan meliputi perhitungan potensi iradiasi, estimasi kapasitas output PLTS berdasarkan kondisi lokal, serta analisis keekonomian melalui perbandingan biaya investasi dan penghematan energi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penerapan PLTS berpotensi mengurangi konsumsi daya internal pembangkit hingga 5–10% dan memberikan penghematan energi tahunan yang signifikan. Meskipun demikian, penelitian ini masih berbasis perencanaan simulatif dan belum mencakup pengujian langsung di lapangan, sehingga diperlukan studi lanjut berbasis data operasional aktual.

Tabel 2.2 Penelitian yang Relevan

No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
1.	“Perencanaan PLTS <i>Rooftop On-Grid</i> untuk Gedung	Beban gedung perkantoran yang masih disuplai dari pembangkit	Perencanaan teknis PLTS <i>Rooftop On-Grid</i> (kapasitas desain),	Desain PLTS <i>Rooftop</i> mampu menurunkan	Fokus pada gedung kantor dan perencanaan teknis; belum membahas

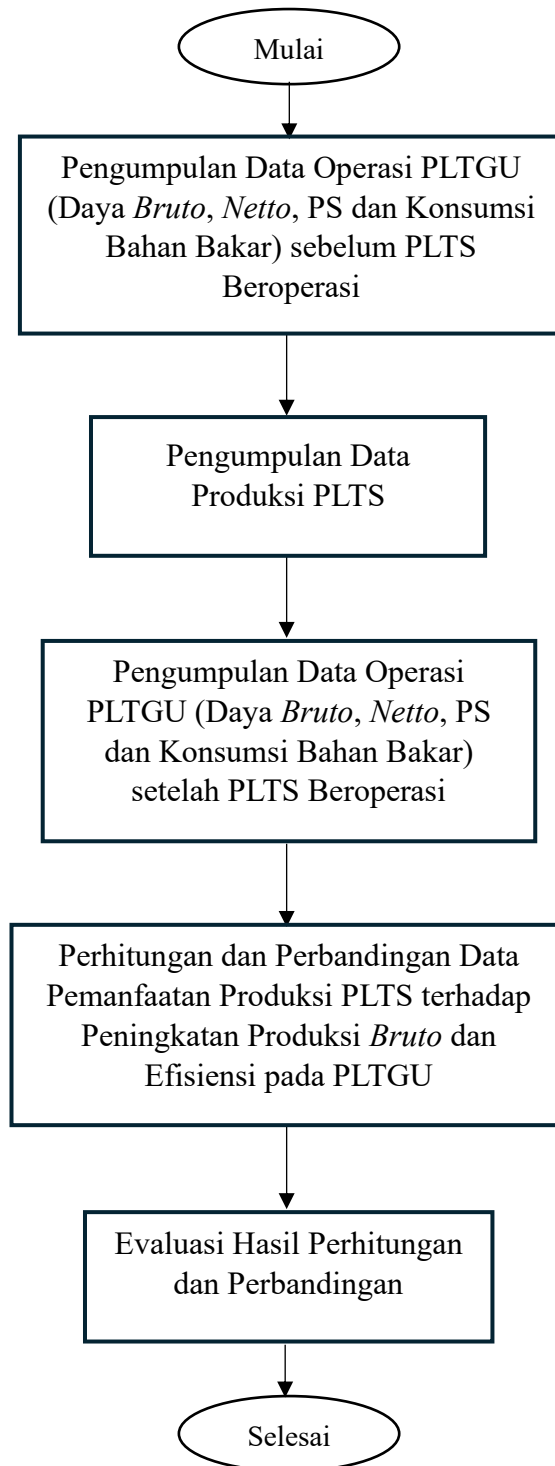
No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
	Kantor (Studi Kasus PLTU Amurang)” (Ardian Burhandon. 2022)	(PLTU) menambah <i>auxiliary power</i> pada pembangkit; perlu alternatif untuk mengurangi beban internal dan memperbaiki <i>Nett Plant Heat rate</i>	perhitungan produksi energi berdasarkan data iradiasi lokal, dan analisis dampak terhadap <i>auxiliary load</i> dan NPHR secara kualitatif/kuantitatif	kebutuhan listrik gedung dari sumber pembangkit utama sehingga potensi perbaikan NPHR dan pengurangan <i>auxiliary</i> tercatat pada studi kasus	integrasi langsung PLTS untuk men-suplai beban <i>auxiliary</i> di skala unit pembangkit (PLTGU/PLTU) dengan analisis perubahan daya <i>Bruto/ Netto</i>
2.	“Perancangan PLTS <i>Rooftop</i> untuk Pemakaian Sendiri (Self-Consumption)” (Irwan Firmanto Nainggolan. 2022)	Kebutuhan perencanaan PLTS atap yang optimal untuk <i>self-consumption</i> (pemakaian sendiri) pada bangunan/industri menuntut analisis produksi dan penyesuaian kapasitas	Analisis iradiasi lokal, perhitungan kapasitas panel, pemodelan produksi kWh tahunan, serta estimasi persentase <i>self-consumption</i>	Menunjukkan potensi produksi PLTS sesuai zona iradiasi Indonesia dan perencanaan yang dapat menghasilkan persentase	Studi berfokus pada skala atap/industri kecil; belum mengeksplor pengaruh langsung PLTS terhadap parameter operasional pembangkit besar (daya <i>Bruto</i> , konsumsi

No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
				<i>self-consumption</i> yang signifikan untuk beban internal	bahan bakar, <i>heat rate</i>)
3.	“Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Energi Ramah Lingkungan yang Berkelanjutan” (Fidelchristo Pijoh, 2024)	Ketergantungan tinggi terhadap energi fosil menyebabkan peningkatan emisi karbon dan biaya energi jangka panjang. Diperlukan solusi energi bersih yang berkelanjutan dan dapat diterapkan secara luas.	Metode deskriptif kualitatif dengan analisis literatur dan data sekunder dari berbagai sumber terkait efisiensi PLTS, biaya investasi, dan potensi penghematan energi	PLTS mampu menghemat konsumsi listrik hingga 30%, menurunkan emisi CO ₂ secara signifikan, serta memberikan keuntungan ekonomi jangka panjang dibanding energi fosil. Penerapan PLTS juga mendukung	Penelitian masih berbasis literatur dan belum menggunakan data operasional nyata di pembangkit listrik. Fokus pada aspek lingkungan dan ekonomi makro, belum meneliti pengaruh PLTS terhadap <i>performa</i> teknis pembangkit (<i>daya Bruto</i> , pemakaian sendiri, dan efisiensi).

No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
				kemandirian energi nasional.	
4.	“Analisa Daya pada Panel Surya di Pembangkit Listrik Tenaga Surya 30 kVA <i>On-Grid</i> ” (Pamor Gunoto. 2022)	Evaluasi <i>performa</i> PLTS <i>On-Grid</i> skala kecil yang dipasang untuk men-suplai kebutuhan internal gedung, termasuk seberapa besar energi yang benar-benar digunakan (self-consumption)	Sistem berhasil menyediakan pasokan signifikan untuk kebutuhan gedung; tercatat kWh tahunan dan presentase <i>self-consumption</i> yang membantu mengurangi pembelian energi dari jaringan	Sistem berhasil menyediakan pasokan signifikan untuk kebutuhan gedung; tercatat kWh tahunan dan presentase <i>self-consumption</i> yang membantu mengurangi pembelian energi dari jaringan	Skala studi relatif kecil (gedung/30 kVA); belum merepresentasikan dinamika beban <i>auxiliary</i> pada pembangkit besar (variasi beban, sinkronisasi dengan SCADA pembangkit, dampak konsumsi bahan bakar)
5.	“ <i>Design of Solar Power Plant Capacity</i> ”	Menentukan kapasitas PLTS yang optimal untuk memenuhi beban <i>auxiliary</i>	Kajian teknis dan ekonomis: pemodelan produksi PLTS pada area	Rekomendasi kapasitas PLTS yang layak secara teknis dan	Walau mendekati topikmu, hasil sering bersifat desain/teoritis;

No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
	<i>for Auxiliary Load at Labuan Steam Power Plant (PLTU)''</i> (Syafriansyah. 2024)	di area PLTU/PLTGU (studi kasus Labuan)	tersedia, analisis kebutuhan beban <i>auxiliary</i> , dan perhitungan keekonomian pemasangan PLTS untuk beban internal	ekonomis untuk menurunkan beban internal; potensi pengurangan NPHR dan penghematan <i>fuel</i> dicatat dalam analisis	kurang data operasional nyata sebelum-sesudah untuk mengkuantifikasi perubahan daya <i>Bruto/Netto</i> , efisiensi <i>Bruto</i> , dan penghematan bahan bakar yang terukur

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2 6 Kerangka Pemikiran

Sesuai dengan kerangka pemikiran penulis, Analisis ini diawali dengan pengambilan Data Operasi PLTGU (Daya *Bruto*, *Netto*, PS dan Konsumsi Bahan Bakar) sebelum PLTS Beroperasi. Data ini digunakan sebagai dasar untuk mengetahui kondisi awal dari kinerja PLTGU. Selanjutnya akan dilakukan pengambilan data Produksi PLTS untuk mengetahui berapa besar Produksi Daya yang dihasilkan. Lalu dilakukan lagi pengambilan Data Operasi PLTGU (Daya *Bruto*, *Netto*, PS dan Konsumsi Bahan Bakar) setelah PLTS Beroperasi untuk perbandingan dengan data awal. Setelah semua data yang dibutuhkan terkumpul lakukan tahap perhitungan dan perbandingan data antara kondisi sebelum dan sesudah beroperasinya PLTS. Hasil dari perhitungan dan perbandingan data tersebut akan dievaluasi untuk mengetahui sejauh mana manfaat dari produksi PLTS dalam mengurangi Pemakaian Sendiri (PS) dan meningkatkan Efisiensi *Netto* pada PLTGU Keramasan Unit #1.