

**STUDI PERENCANAAN PLTS SISTEM *ON-GRID* DENGAN ANALISA
TEKNIS DAN ANALISA EKONOMI DI GEDUNG PRODUKSI
POLYFOAM PT. HARTONO ISTANA TEKNOLOGI KUDUS**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh Gelar S1 pada
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam
Sultan Agung Semarang



DISUSUN OLEH :

YAUMA RAFI RIZQULLAH

NIM. 30602200278

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2025

FINAL PROJECT

**PLANNING STUDY OF ON-GRID SYSTEM SOLAR POWER PLANTS
WITH TECHNICAL ANALYSIS AND ECONOMIC ANALYSIS IN THE
POLYFOAM PRODUCTION BUILDING OF PT. HARTONO ISTANA
TEKNOLOGI KUDUS**

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at
Departement of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Universitas Islam Sultan Agung Semarang*



ARRANGED BY:

YAUMA RAFI RIZQULLAH

NIM. 30602200278

**MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “Studi Perencanaan PLTS Sistem *On-Grid* dengan Analisa Teknis dan Analisa Ekonomi di Gedung Produksi Polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi Kudus” ini disusun oleh :

Nama : Yauma Rafi Rizqullah

NIM : 30602200278

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 04 Juni 2025

Pembimbing I



Ir. Arief Marwanto, ST., M.Eng., Ph.D, IPM.

NIDN.0628097501

UNISSULA
جامعة السلطان ابي سفيان الإسلامية
Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Jenny Putri Hapsari, ST., MT

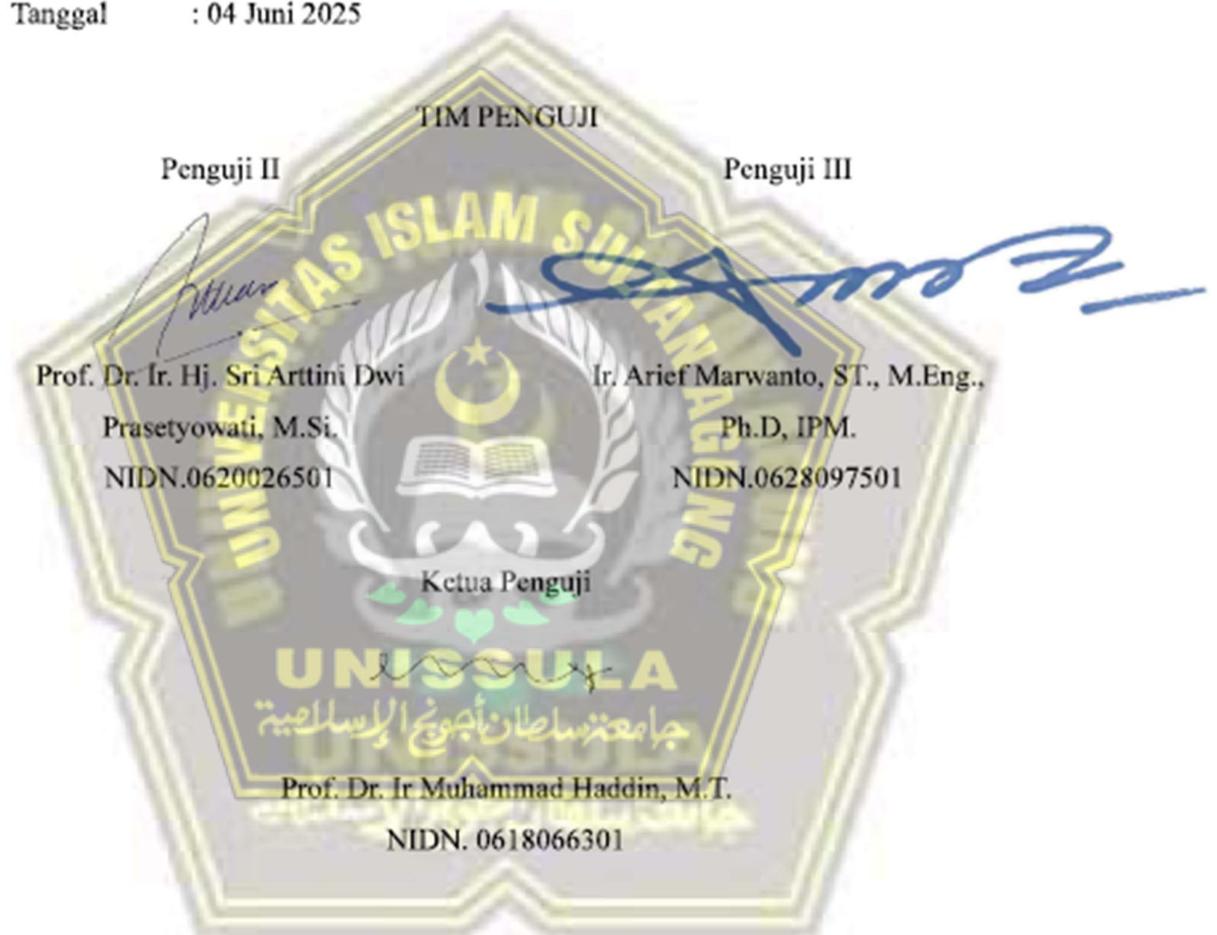
NIDN.0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJIAN

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**Studi Perencanaan PLTS Sistem *On-Grid* dengan Analisa Teknis dan Analisa Ekonomi di Gedung Produksi Polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi Kudus**” ini telah dipertahankan didepan dosen penguji sidang Tugas Akhir pada :

Hari : Rabu,

Tanggal : 04 Juni 2025



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini adalah :

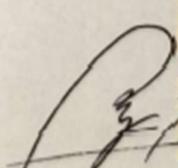
Nama : Yauma Rafi Rizqullah

NIM : 30602200278

Judul Tugas Akhir : Studi Perencanaan PLTS Sistem *On-Grid* Dengan Analisa Teknis dan Analisa Ekonomi di Gedung Produksi Polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi Kudus. Dengan ini saya menyatakan bahwa judul dari isi Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro Tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaa, dan apabila dikemudian hari ternyata bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditullis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 10 Juni 2025

Yang menyatakan,



Yauma Rafi Rizqullah

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Yauma Rafi Rizqullah

NIM : 30602200278

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul : “**Studi Perencanaan PLTS Sistem On-Grid Dengan Analisa Teknis dan Analisa Ekonomi di Gedung Produksi Polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi Kudus**” Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung Semarang serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dalam pangkalan data, dan dipublikasikan di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang akan timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Semarang, 10 Juni 2025

Yang menyatakan,



Yauma Rafi Rizqullah

HALAMAN PERSEMBAHAN

Pertama,

Teruntuk kedua orang tua saya (Bp. Fahrul Umam dan Ibu Yulia Setianingsih) terimakasih untuk motivasi, nasihat serta doa kakak dan adik saya Terimakasih untuk semangat sehingga saya dapat menyelesaikan studi ini.

Kedua,

Teruntuk Dosen Pembimbing serta kepada seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan ilmu dan motivasi dalam menyelesaikan studi.

Ketiga,

Teruntuk sahabat seperjuangan Tugas Akhir dan teman-teman Teknik Elektro angkatan 2022 yang telah memberikan motivasi dukungan dan semangat dalam menyelesaikan studi.



HALAMAN MOTTO

“You have power over your mind – not outside events. Realize this, and you will find strength”

(Marcus Aurelius)

“It's not what happens to you, but how you react to it that matters”

(Epictetus)

“Orang kuat bukanlah yang pandai bergulat, tetapi orang kuat adalah yang mampu mengendalikan dirinya ketika marah”

(HR. Bukhari dan Muslim)

“Jika kiamat terjadi dan di tangan salah satu dari kalian ada benih kurma, maka jika ia mampu menanamnya sebelum kiamat tiba, hendaklah ia tanam”

(HR. Ahmad)



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah rabbi 'Alamin segala puja puji syukur bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia dan hidayah – NYA, sehingga diberikan kesehatan, keselamatan dan kesempatan untuk menyelesaikan Penelitian Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Studi Perencanaan Plts Sistem *On-Grid* Dengan Analisa Teknis Dan Analisa Ekonomi Di Gedung Produksi Polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi Kudus” dengan baik dan lancer. Penulisan Penelitian Laporan Tugas Akhir merupakan bentuk kewajiban untuk meraih Gelar Sarjana (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan secara maksimal dengan penuh dedikasi didalam prosesnya, dan tentunya ada banyak pihak mendukung dan memberikan bantuan baik secara moril dan materil. Untuk itu penulis ucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, SH., MH. Selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Dr. Ir. Hj. Novi Marlyana, ST., MT. sebagai Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Bapak Arief Marwanto, Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu selama proses bimbingan.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen, Tenaga Pendidik dan karyawan Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

6. Seluruh rekan dan tim kerja di PT. Hartono Istana Teknologi Kudus yang memberikan kesempatan untuk mengolah data, menimba ilmu dan tempat mencari rezeki.
7. Kedua orang tua dan segenap keluarga saya yang telah membantu memberikan *support* moril, doa, perhatian, kesabaran dan kepercayaan serta kasih sayang yang tulus kepada saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesainya pembuatan tugas akhir maupun dalam penyusunan Tugas Akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini penulis menyadari masih banyak ketidak sempurna karena masih keterbatasan ilmu, pengalaman dan kemampuan. Oleh karena itu, setiap saran dan kritikan dari para pembaca akan menjadi masukan yang sangat berarti bagi penulis. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan dapat menambah wawasan.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullah Wabarakatuh

Semarang, 10 Juni 2025



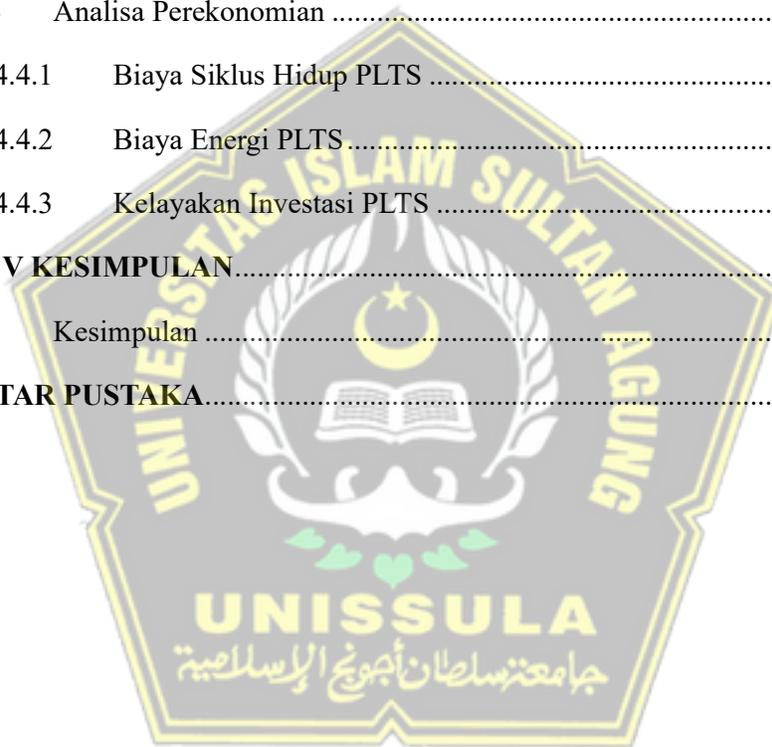
Yauma Rafi Rizqullah

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING | i |
| LEMBAR PENGESAHAN PENGUJIAN | ii |
| SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR | iii |
| PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH | iv |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | v |
| HALAMAN MOTTO | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| ABSTRAK | xv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Pembatasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.5 Mafaat Penelitian | 4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | 6 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka | 6 |
| 2.2 Landasan Teori | 8 |
| 2.3 Panel Surya | 10 |
| 2.3.1 Type dan Jenis Panel Surya | 13 |

| | | |
|--|--|----|
| 2.4 | Inverter PLTS | 14 |
| 2.4.1 | Type dan Jenis Inverter PLTS | 15 |
| 2.4.2 | Penentuan Inverter PLTS | 16 |
| 2.5 | Analisa Teknis | 17 |
| 2.5.1 | Luasan <i>Array</i> Panel Surya | 17 |
| 2.5.2 | Jumlah Panel Surya | 18 |
| 2.5.3 | <i>Output</i> Energi PLTS | 19 |
| 2.5.4 | Konfigurasi Panel Surya | 20 |
| 2.5.5 | Panel dan Kabel Distribusi PLTS | 21 |
| 2.6 | Analisa Ekonomi | 29 |
| 2.6.1 | Biaya Siklus Hidup | 30 |
| 2.6.2 | Biaya Energi / Cost of Energy (CoE) | 31 |
| 2.6.3 | Kelayakan Investasi | 32 |
| BAB III METODE PENELITIAN | | 34 |
| 3.1 | Objek Penelitian | 34 |
| 3.2 | Alat Dan Peralatan Dalam Penelitian..... | 34 |
| 3.3 | Metode Pengumpulan Data | 34 |
| 3.4 | Design PLTS | 37 |
| 3.5 | Data Komponen PLTS | 39 |
| 3.6 | Diagram Alur Penelitian..... | 42 |
| 3.7 | Tahapan – Penelitian | 42 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | | 44 |
| 4.1 | Konsumsi Energi Listrik | 44 |
| 4.2 | Radiasi Matahari | 45 |
| 4.3 | Analisa Teknis | 46 |

| | | |
|-------------------------------|---|----|
| 4.3.1 | Luasan Array Total Panel Surya..... | 47 |
| 4.3.2 | Jumlah & Luasan Array Panel Surya Tiap Gedung | 48 |
| 4.3.3 | Konfigurasi PV dan Kapasitas Inverter..... | 50 |
| 4.3.4 | <i>Output</i> Energi PLTS | 55 |
| 4.3.5 | Komponen Panel Listrik PLTS | 56 |
| 4.3.6 | <i>Design</i> Wiring PLTS | 59 |
| 4.4 | Analisa Perekonomian | 60 |
| 4.4.1 | Biaya Siklus Hidup PLTS | 60 |
| 4.4.2 | Biaya Energi PLTS..... | 62 |
| 4.4.3 | Kelayakan Investasi PLTS | 63 |
| BAB V KESIMPULAN | | 67 |
| 5.1 | Kesimpulan | 67 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 68 |



DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3. 1 Spesifikasi PV Jinko Monocrystalline JKM545M-72HL4 | 39 |
| Tabel 3. 2 Spesifikasi Solar Inverter MPPT | 40 |
| Tabel 4. 1 Pemakaian Energi Listrik Gudang Produksi Polyfoam PT. HIT..... | 44 |
| Tabel 4. 2 Radiasi Matahari dan Temp Udara | 45 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Sistem PLTS Off – Grid | 9 |
| Gambar 2. 2 Sistem PLTS On – Grid(Sianipar, 2017)..... | 10 |
| Gambar 2. 3 Sistem PLTS Hybrid..... | 10 |
| Gambar 2. 4 Kurva I & V Daya Output Panel Surya..... | 11 |
| Gambar 2. 5 Design Kontruksi Panel Surya | 12 |
| Gambar 2. 6 Sel Surya Monocrytalline..... | 13 |
| Gambar 2. 7 Sel Surya Polycrystalline | 14 |
| Gambar 2. 8 Sel Surya Thin Film | 14 |
| Gambar 2. 9 Sistem String Inverter..... | 15 |
| Gambar 2. 10 Sistem Micro Inverter..... | 16 |
| Gambar 2. 11 Hybrif Inverter..... | 16 |
| Gambar 2. 12 Rangkaian Seri PV | 20 |
| Gambar 2. 13 Rangkaian Parallel PV | 21 |
| Gambar 2. 14 Kabel NYM..... | 23 |
| Gambar 2. 15 Kabel NYY..... | 23 |
| Gambar 2. 16 Tabel Penentuan Luas Penampang Kabel PUIL 2011 | 24 |
| Gambar 2. 17 Kabel 2 Core H1Z2Z2-K | 25 |
| Gambar 2. 18 Tabel EN 50618 Luas Penampang kabel DC PLTS | 26 |
| Gambar 2. 19 Tabel Referensi Luas Penampang Busbar | 29 |
| Gambar 3. 1 Denah Lokasi Penelitian | 34 |
| Gambar 3. 2 Design Perencanaan PLTS On – Grid | 37 |
| Gambar 3. 3 Pemodelan Penempatan PV dan Inverter Tiap Atap Gedung..... | 38 |
| Gambar 3. 4 Pemodelan Wiring Instalasi Kelistrikan PLTS On-Grid | 39 |
| Gambar 3. 5 Flow Chart Penelitian..... | 42 |
| Gambar 4. 1 Tabel Konfigurasi Array PV & Inverter Ged 1 | 51 |
| Gambar 4. 2 Konfigurasi PV dan Inverter Gedung 1..... | 52 |
| Gambar 4. 3 Penempatan Array PV Gedung 1 | 53 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4. 4 Tabel Konfigurasi Array PV & Inverter Ged 2 | 53 |
| Gambar 4. 5 Konfigurasi PV dan Inverter Gedung 2..... | 54 |
| Gambar 4. 6 Penempatan Array PV Gedung 2 | 54 |
| Gambar 4. 7 Penempatan Panel Surya Atap dan Inverter Setiap Gedung di Gedung Produksi Polyfoam..... | 59 |
| Gambar 4. 8 Wiring SLD PLTS Sistem On – Grid | 60 |
| Gambar 4. 9 Tabel Komponen dan Biaya Investasi PLTS System On-Grid..... | 61 |
| Gambar 4. 10 Tabel Arus Kas PLTS | 65 |



ABSTRAK

Penelitian ini membahas terkait perencanaan PLTS sistem *On – Grid* pada dua gedung produksi polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi Kudus dengan total luasan 5514 m² dan disuplai daya PLN 690 kVA. Penelitian ini bertujuan sebagai bentuk *improvement* efisiensi energi listrik disertai dengan analisa teknis dan analisa ekonomi. Untuk analisa teknis perencanaan PLTS ini akan mencakup 15% dari konsumsi energi listrik harian dan membutuhkan 572 panel surya 545 Wp yang terpasang dengan konfigurasi array seri 14 – 20 panel surya serta membutuhkan tiga inverter central 50 kW dapat membangkitkan daya kurang lebih sebesar 311,74 kWp. Sehingga didapatkan *Output* Energi per tahun yang dihasilkan PLTS sebesar 474.744,76 kWh/Tahun. Sementara untuk analisa ekonomi nilai Biaya Siklus Hidup PLTS sebesar Rp 3.568.913.587. Biaya Energi PLTS sebesar Rp 531,612/kWh dan untuk nilai kelayakan investasi proyek PLTS ini dinyatakan layak karena hasil NPV 30 Tahun kedepan bernilai (+) sebesar Rp 119.634.400,90, nilai PI yang lebih dari 1 yaitu 1,04 dan DPP yang balik modal sebelum umur proyek di tahun ke 28.

Kata kunci : PT. Hartono Istana Teknologi (HIT) Kudus, PLTS, *On-Grid*, Analisa Teknis dan Analisa Ekonomi.

ABSTRAK

This research discusses the planning of the *On-Grid* solar power system for two polyfoam production buildings in PT. Hartono Istana Teknologi Kudus has a total area of 5514 m² and an electricity supply of 690 kVA from PLN. This research aims to serve as a form of improvement in electricity energy efficiency accompanied by technical analysis and economic analysis. For the technical analysis of this solar power plant planning, it will cover 15% of daily electricity consumption and requires 572 solar panels of 545 Wp installed with a series array configuration of 14 – 20 solar panels, as well as three central inverters of 50 kW that can generate approximately 311.74 kWp. Thus, the annual energy output produced by the solar power plant is 474,744.76 kWh/year. Meanwhile, for the economic analysis, the Life Cycle Cost of the solar power plant is Rp 3,568,913,587. The energy cost of the solar power plant is Rp 531.612/kWh, and the investment feasibility of this solar power project is deemed viable because the NPV results over the next 30 years are positive at Rp 119,634,400.90, the PI is greater than 1 at 1.04, and the DPP indicates the payback period is before the project's lifespan, in year 28.

Keywords : PT. Hartono Istana Teknologi (HIT) Kudus, PLTS, *On-Grid*, Technical Analysis, and Economic Analysis.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu usaha yang berskala industri memerlukan kebutuhan konsumsi listrik yang besar dan energi listrik yang efisien dan stabil untuk mendukung proses produksi, distribusi maupun segala aktivitas lainnya. Terlebih pada proses produksi produk membutuhkan konsumsi energi listrik yang besar, sehingga diperlukan perhitungan yang akurat untuk memastikan ketersediaan daya yang cukup tanpa melakukan pemborosan energi listrik. Seiring dengan usaha yang terus berkembang sebanding juga dengan kenaikan konsumsi energi listrik dan dengan adanya kenaikan konsumsi energi listrik maka biaya pengeluaran energi listrik PLN juga terus meningkat. Dengan mengetahui konsumsi maksimal energi listriknya dapat disusun strategi penghematan dan *improvement* pengelolaan energi listrik. Seiring dengan usaha yang terus berkembang sebanding juga dengan kenaikan konsumsi energi listrik.

Selain permasalahan kenaikan biaya energi listrik terhadap konsumsi energi listrik yang terus meningkat hal ini juga dapat menyebabkan kenaikan gas emisi rumah kaca karena produk listrik yang ikut membesar dan dapat menyebabkan pemanasan global. Pemanasan global adalah salah satu dampak yang terjadi karena ada perubahan iklim global secara ekstrim menjadi perhatian besar bagi seluruh dunia. Hal ini dapat terjadi dikarenakan efek dari Gas Rumah Kaca (GRK) itu sendiri. di Indonesia pada sektor industri menurut data dari Bada Pusat Statistik (BPS) yang berjudul Neraca Arus Energi dan Neraca Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia 2018-2022 Volume 4 (2024) melaporkan adanya peningkatan emis gas rumah kaca. Peningkatan terjadi pada tahun 2022 emisi gas rumah kaca pada sektor industry mencapai 1.008.178 GgCO₂e dengan 78,5% berasal dari sektor industri usaha yang nilai dari emisi gas rumah kacanya diangka 696.505 Gg CO₂e yang Sebagian besar berasal dari emisi karbon sekitar 77% [1]. Pemerintah Indonesia juga berupaya dalam penurunan emisi gas rumah kaca yang dengan

mengeluarkan kebijakan Perpres No. 61 Tahun 2011 terkait Rencana Aksi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca.

Salah satu perusahaan sektor industri terletak di Kabupaten Kudus adalah Perusahaan PT. Hartono Istana Teknologi yang bergerak dalam bidang produksi peralatan elektronik. Untuk menunjang proses produksi pada setiap gedung - gedung produksi yang ada di area pabrik diperlukan konsumsi energi listrik yang besar untuk menggerak alat – alat dan kebutuhan kantor lainnya. Konsumsi energi listrik yang dipakai dalam proses produksi terkhusus area produksi polyfoam, kurang lebih dalam satu harinya dapat mencapai 8000an kWh per Hari. Disamping itu juga ada langkah pengembangan produksi yang diambil perusahaan untuk menghasilkan produk yang berkualitas dan mampu bersaing dengan produk lain. Hal ini akan mengakibatkan terjadi kenaikan konsumsi energi listrik sehingga akan berdampak juga pada kenaikan emisi gas rumah kaca yang dapat berasal dari emisi karbon dan kenaikan biaya tarif konsumsi energi listrik yang dihasilkan selama proses produksi produk.

Untuk mendukung kebutuhan energi listrik perusahaan yang terus meningkat dan dapat meminimalisir biaya tarif energi listrik yang dikeluarkan, maka diperlukan upaya penghematan dan *improvement* untuk konsumsi energi listrik tersebut. Area pabrik produksi polyfoam yang ada di PT. Hartono Istana Teknologi terpasang daya PLN sebesar 690 kVA. Untuk dapat membantu mengurangi konsumsi energi listrik Perusahaan dengan salah satu cara memaksimalkan penggunaan energi listrik terbarukan seperti tenaga surya. Tenaga surya sangat sesuai dengan letak Indonesia yang dilalui oleh garis khatulistiwa yang mengakibatkan penyebaran energi panas atau geothermal dapat menyebar merata di seluruh Indonesia (Hakim et al., 2022) dan luasan atap dari gedung produksi polyfoam dapat dimanfaatkan untuk tempat panel surya sehingga efisien tempat.

Sementara itu pemerintah Indonesia juga mengatur untuk pemasangan PLTS terkhusus sistem PLTS *On-Grid* untuk mendukung pengimplementasi energi terbaru disemua sektor khususnya sektor industri yang diatur oleh Lembaga ESDM. Dimana Menteri ESDM memberikan beberapa kebijakan bagi semua sektor, terkhusus sektor industri dalam pemasangan PLTS Atap yang pada

Peraturan Menteri ESDM No. 2 Tahun 2024 yang kurang lebih berisikan penghapusan biaya kapasitas PLTS *On – Grid*, penghapusan mekanisme ekspor impor energi listrik dan penghapusan batasan kapasitas pemasangan serta adanya kouta pengembangan PLTS pada tiap daerah. Dengan dasar tersebut penggunaan energi surya sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik terbarukan dengan memanfaatkan atap gedung sebagai tempat meletakkan modul Photovoltaik (PV) dan penggunaan energi listrik konvensional dari PLN dijadikan satu dengan energi listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya menggunakan sistem *On-Grid*. Dengan memaksimalkan luasan atap gedung produksi polyfoam sistem PLTS atap *On – Grid* dapat men-cover PLN dengan perkiraan sebesar 15% beban ter-cover PLTS dan 85% sisa listrik PLN.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka peneliti dapat mengambil rumusan masalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana pola konsumsi energi listrik di Gedung Produksi Polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi Kudus ?
- 2) Bagaimana analisa perencanaan dan perhitungan pemasangan PLTS *On-Grid* untuk men-cover beban di Gedung Produksi Polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi Kudus ?
- 3) Bagaimana analisa perekonomian PLTS *On-Grid* di Gedung Produksi Polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi Kudus?

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilakukan lebih fokus dan mendalam maka penulis memandang permasalahan penelitian yang diangkat dan dibuat perlu dibatasi variabelnya. Oleh karena itu, peneliti membatasi sebuah batasan masalahnya sebagai berikut :

- 1) Penelitian ini hanya merancang Perencanaan Sistem Kelistrikan PTLs *On-Grid*.

- 2) Penelitian dilakukan untuk mengetahui analisa perencanaan desain dan perhitungan kapasitas PLTS *On-Grid* dengan fokus beban di Gedung Produksi Polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi Kudus.
- 3) Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui analisa perekonomian PLTS *On-Grid* dalam cakupan yang terbatas.
- 4) Sistem PLTS yang peneliti rancang mampu bekerja secara optimal.
- 5) Sistem PLTS *On-Grid* untuk men-cover PLN dengan perkiraan sebesar 15% beban ter-cover PLTS.
- 6) Sistem PLTS *On-Grid* yang dirancang bertujuan hanya sebagai suplai pembantu pada sistem kelistrikan konvensional.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan tugas akhir ini untuk :

- 1) Menghitung kebutuhan beban di Gedung Produksi Polyfoam yang akan dicover oleh PLTS.
- 2) Merencanakan kapasitas PLTS sistem *On-Grid* yang sesuai dengan beban di Gedung Produksi Polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi Kudus.
- 3) Menganalisa perekonomian PLTS sistem *On-Grid* di Gedung Produksi Polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi Kudus.

1.5 Mafaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- 1) Mengetahui kebutuhan beban di Gedung Produksi Polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi yang akan dicover oleh PLTS.
- 2) Mengetahui desain perencanaan PLTS *On-Grid* yang dikombinasikan dengan PLN.
- 3) Mengetahui kelayakan investasi dari pemasangan PLTS *On-Grid* di Gedung Produksi Polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada sistematika penulisan ini adalah gambaran secara garis besar, yang memiliki 5 bab dengan masing-masing bab yang berisi :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan penelitian.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka dan landasan teori yang berisi tentang hasil penelitian perencanaan analisa teknis dan analisa perekonomian dari sistem PLTS yang dijadikan referensi oleh penulis untuk melakukan penelitian.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menerangkan tentang model penelitian, objek penelitian, data penelitian, dan langkah- langkah dalam penelitian.

BAB IV : HASIL DAN ANALISIS

Bab ini berisi tentang hasil analisa teknis baik dari perencanaan dan perhitungan secara teknis sistem PLTS dan analisa perekonomian seperti perhitungan kelayakan ekonomi sistem PLTS yang telah dirancang.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari pembahasan mengenai Tugas Akhir sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk lebih sempurna lagi



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

1. Penelitian yang berjudul Konsep Fotovoltaik Terintegrasi *On-Grid* dengan Gedung STT-PLN. Di susun oleh Rinna Hariyanti, Muh Nur Qosim, dan Ass Wasni Hasanah (2019), Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui layak tidak sistem PLTS *On-Grid* untuk direalisasikan dipasang sebagai bentuk mengurangi pemakaian listrik konvensional dengan cara memperhitungkan faktor radiasi matahari, kebutuhan beban yang bisa dicover oleh PLTS, perencanaan perhitungan kebutuhan komponen – komponen untuk PLTS, yang pada akhirnya akan diperhitungkan *Performance Ratio* (PR), yang menentukan layak tidaknya sistem PLTS *On-Grid* ini direalisasikan. Hasil dari penelitian ini dengan kebutuhan konsumsi listrik yang dapat dicover PLTS 60% pada golongan R3> yang sebesar 33.000 VA, menjadi sebesar 20.000 VA memiliki efisiensi solar panel sebesar 17,4% dan menghasilkan perhitungan *Performance Ratio* 81% di kualitas wilayah yang akan diserapkan oleh PLTS yang disinkronasikan oleh KWH EXIM[2].
2. Penelitian ini berjudul Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Sistem *On-Grid* di Gedung Kantor Pelabuhan PT. Pupuk Kalimantan Timur. Di susun oleh Wahyu Syahrir (2023), Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perencanaan pemasangan sistem PLTS *On-Grid* di Gedung Kantor Pelabuhan PT. Pupuk Kalimantan Timur dengan memperhitungkan kapasitas daya PLTS berdasarkan konsumsi listriknya, desain rancangan rangkaian PLTS *On-Grid* dan penentuan komponen – komponen yang dibutuhkan untuk perencanaan PLTS *On-Grid*. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui *Performance Ratio* (PR) dan nilai investasinya yang ditentukan dari perhitungan *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period*. Sistem PLTS *On-Grid* yang dirancang akan disimulasi dengan Software HelioScope dan sistem PLTS *On-Grid* ini. Penelitian ini memiliki hasil, pada PT. Pupuk

Kalimantan Timur yang produksi listrik per tahunnya sebesar 109,8 MWh, yang *discover* oleh PLTS sistem *On-Grid* sebesar 85,3 kWp dengan 158 panel surya kapasitas 540 Wp, memiliki *Performance Ratio* 79,6% dan energi spesifik 1.286,8 kWh/kWp, serta nilai investasi sebesar Rp 872.515.500,-, IRR sebesar 11,18% ($IRR > WACC$) dan NPV sebesar Rp 8.789.894,50 ($NPV > 0$) memiliki ROI pada tahun ke 7 [3].

3. Penelitian ini berjudul, Tinjauan Terhadap PLTS 24 kW Atap Gedung PT. Indonesia Power Pesanggaran Bali. Di susun oleh Vidhia Kumara, Ketut Satya Kumara, I Nyoman, Ariastina, dan Wayan Gede (2018). Penelitian bertujuan untuk melakukan peninjauan unjuk kerja dari PLTS 24 KW yang terletak di PT. Indonesia Power unit Pesanggaran untuk mengetahui kondisi komponen dan instalasi dari PLTS serta mempertimbangkan sudut elevasi panel suryanya. Penelitian ini mendapat hasil modul surya yang terpasang pada PLTS 24 KW memiliki sudut 22° dengan sudut optimunya mencapai 15° menghadap ke utara atau Azimuth 0° dan pada komponen – komponen yang terpasang seperti pada modul Surya tipe CHN240-60P polycrystalline silicon dengan 60 *cells* dan inverter tipe grid-connected ABB PVS300-TL-800W-2, dengan output AC = 8000 W. Pemilihan kompenennya juga didasarkan pada standar internasional dengan sertifikat (*Conformité Europeenne*) dan RoHS (*Restriction of Hazardous Substances*) [4].
4. Penelitian ini berjudul Perencanaan PLTS Roof Top *On-Grid* Untuk Gedung Kantor PLTU Amurang Sebagai Upaya Mengurangi Auxiliary Power dan Memperbaiki Nilai *Nett Plant Heat Rate* Pembangkit. Di susun oleh Burhandono, Ardian Windarta, Jaka Sinaga, dan Nazaruddin (2022). Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perencanaan Pembangunan PV sel surya *roof top On-Grid* di gedung kantor PLTU Amurang. Perencanaan ini berfokus untuk memperbaiki Nilai *Nett Plant Heat Rate* (NPHR) Pembangkit yang dimana nilai NPHR pembangkit besaran nilai kalori batubara untuk memproduksi energi listrik. Semakin kecil nilai kalori yang diperlukan untuk memproduksi 1 kWh listrik dikatakan unit operasi efisien.

Perbaiki nilai NPHR dengan cara mengurangi *Auxiliary Power*. Penelitian ini juga melakukan perhitungan penentuan kapasitas komponen – komponen PLTS yang akan dipasang beserta analisa prediksi penghematan dan prediksi nilai NPHRnya. Sehingga, penelitian ini memiliki hasil modul surya yang terpasang sebanyak enam buah dengan kapasitas 300 Wp tipe monocrystalline, inverter kapasitas 2000 Watt sebanyak 1 buah dengan Sizing Factor Inverter (SFI) dan penghematan sebesar 133 kWh setiap bulan sementara nilai NPHR diperkirakan menurun minimal 20,15 kCal/kWh setiap bulan [5].

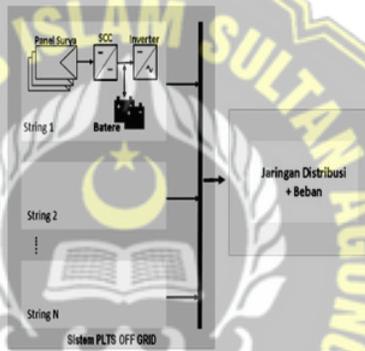
5. Penelitian ini berjudul *Analisa Finansial Perancangan Sistem PLTS Atap Off-Grid Untuk Suplai Utama Kebutuhan Listrik Pada Rumah Tinggal Kapasitas 14,15 KWP*. Di susun oleh Ghiffari Nurbany (2024). Penelitian bertujuan melakukan Analisa perekonomian PTLIS *Off – Grid* di Rumah Tinggal Kapasitas 14,15 kWP dengan beberapa analisa ekonomi seperti perhitungan Net Present Value (NPV) dan Profitability Index (PI) sebagai parameter kelayakan finansial. Penelitian ini mendapatkan hasil nilai NPV Positif sebesar Rp10.626.183,24 dan nilai PI sebesar 1,15. Selain itu dalam analisa perhitungan Discounted Payback Periode (DPP), keuntungan perancangan PLTS ini terjadi di tahun ke-23 dan Internal Rate of Return (IRR) menunjukkan hasil 6,95%. Dari perhitungan NPV, PI, DPP, dan IRR dapat disimpulkan investasi untuk PLTS ini dapat menguntungkan atau layak untuk dijalankan [6].

2.2 Landasan Teori

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sebuah sistem pembangkitan energi listrik dengan memanfaatkan energi terbarukan yaitu energi matahari untuk nantinya akan dikonversi menjadi energi listrik. Dalam sistem penangkapan energi matahari dan pengkonversianya ke energi listrik PLTS menggunakan panel surya (solar panel) untuk melakukan proses tersebut atau dapat disebut dengan efek fotovoltaik.

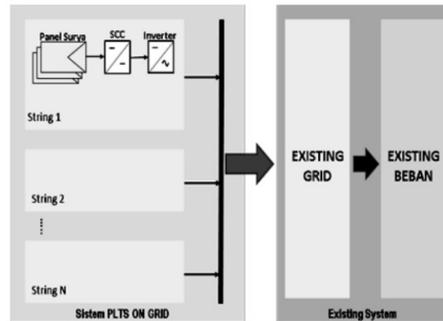
Secara umum terdapat tiga jenis konfigurasi *grid*, yaitu PLTS *Off-Grid*, PLTS *On-Grid*, dan PLTS *Hybrid*. Setiap konfigurasi *grid* PLTS memiliki kelebihan dan kekurangan masing – masing yang harus diperhatikan sebelum dilakukannya pemasangan. Berikut penjelasan singkat dari ke tiga tipe PLTS sebagai berikut [7]:

1. PLTS *Off-Grid* memiliki sistem yang berdiri secara mandiri dan tidak terhubung dengan jaringan listrik umum. Daya yang dihasilkan dari PV akan disimpan langsung ke baterai dan digunakan sesuai dengan kebutuhan namun yang perlu diperhatikan energy yang dapat disimpan oleh baterai terbatas sesuai dengan kapasitas baterai yang digunakan.



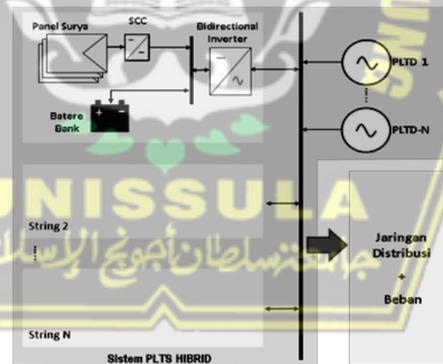
Gambar 2. 1 Sistem PLTS Off – Grid

2. PLTS *On – Grid* memiliki skema dasar dengan sistem PLTS nya terhubung langsung dengan jaringan listrik umum. Pada sistem PLTS *On – Grid* tidak memerlukan baterai sebagai penyimpanan daya energi listriknya. Daya yang dihasilkan oleh PV akan dikonversikan inveter dan melalui kWh Meter Exim langsung *diinject* atau disuntikan secara langsung ke jala – jala jaringan listrik umum atau PLN, namun perlu diperhatikan fokus utama dari PLTS sistem *On – Grid* hanya sebatas pengurangan penggunaan energi listrik umum dan tidak dapat berdiri sendiri dalam pemasangannya.



Gambar 2. 2 Sistem PLTS On – Grid[7]

3. PLTS *Hybrid* merupakan bentuk penerapan gabungan antara sistem PLTS *On – Grid* dan PLTS *Off – Grid*, dimana PLTS *Hybrid* ini juga memiliki baterai sebagai cadangan daya, dan terhubung dengan jaringan listrik umum. Sehingga sistem PLTS *Hybrid* mampu memaksimalkan penggunaan energi dari berbagai sumber baik dari baterai maupun jaringan listrik umum yang nantinya inverter *hybrid* akan mengatur distribusinya. Namun perlu diperhatikan dalam penerapan sistem PLTS ini cukup kompleks dan membutuhkan biaya yang relative mahal.



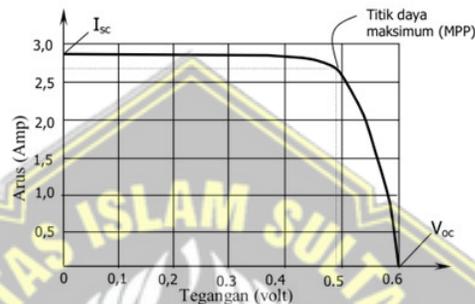
Gambar 2. 3 Sistem PLTS Hybrid

2.2.1 Panel Surya

Salah satu perangkat utama dalam penerapan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah Panel Surya. Panel Surya itu sendiri dirancang untuk dapat melakukan proses efek fotovoltaik dimana dapat mengkonversikan energi matahari menjadi energi listrik. Prinsip kerja dari *cell* surya pada dasarnya bekerja dengan prinsip fotovoltaik yang dimana foton dari sinar matahari akan diserap oleh *cell* surya yang berbahan semikonduktor, kemudian setelah foton berhasil

diserap oleh panel surya, electron yang terdapat pada bahan semikonduktor panel surya akan bereaksi memperoleh energi dan berpindah, sehingga dapat menciptakan aliran electron yang menghasilkan arus listrik searah / *Direct Current*(DC) [8].

Terkait performa daya *output* panel surya, memiliki beberapa karakteristik yang dapat digambarkan melalui kurva arus dan tegangan sebagai berikut [9]:



Gambar 2. 4 Kurva I & V Daya Output Panel Surya

1. *Open Circuit Voltage (Voc) & Short Circuit Current (Isc)*, pada saat panel surya dalam keadaan tanpa beban ataupun sama dengan nol akan diperoleh tegangan beban nol (*Voc*) yang merupakan tegangan maksimum sel surya dikarenakan arus sama dengan nol. Sementara untuk *Isc* kondisi dimana saat panel surya yang dibebani sampai mencapai keadaan hubung singkat dan diperoleh tegangan sel surya sama dengan nol.
2. *MPP(Max Point Power)*, kurva(Gambar4) diatas menunjuk apabila beban divariasikan maka akan menghasilkan arus dan tegangan yang juga bervariasi. Sehingga dapat dikatakan panel surya dengan keadaan beban nol dan hubung singkat daya yang dihasilkan akan nol. Dapat dilihat pada kurva(Gambar4) juga terdapat titik daya maksimum (*Pmax*) yang merupakan hasil kali antara tegangan maksimal (*Vmp*) dan arus maksimal (*Imp*) sehingga dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{max} = V_{mp} \cdot I_{mp}$$

Keterangan:

- *Pmax* = Daya maksimum panel surya (W)
- *Vmp* = Tegangan maksimum panel surya(V)

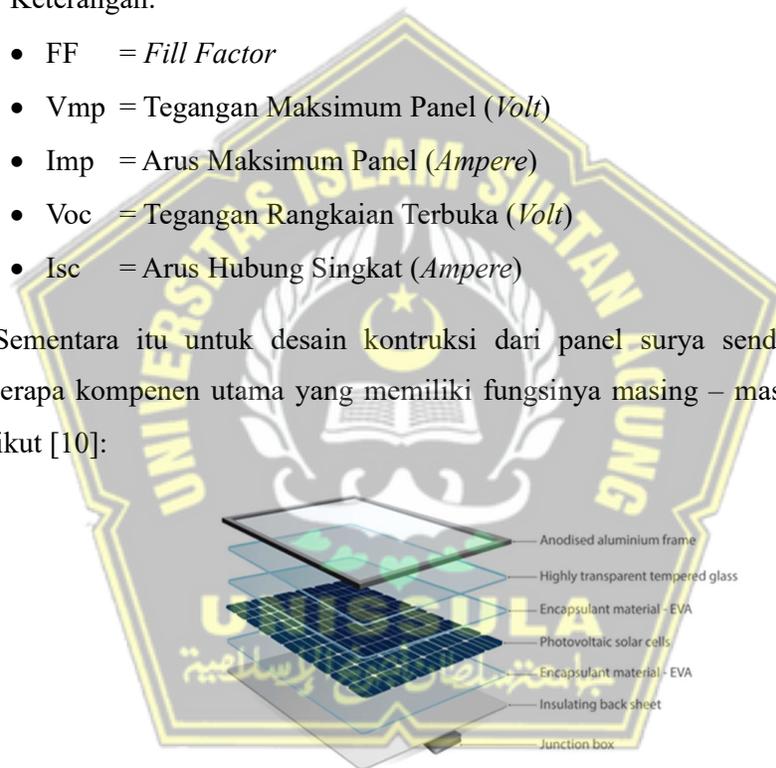
- I_{mp} = Arus maksimum panel surya(A)
3. *Fill Factor* (FF), semakin besar nilai *fill factor* maka kinerja panel surya akan semakin baik. Pada titik daya maksimum (MPP) dengan hasil kali antara I_{max} dan V_{max} lalu dibagi dengan hasil kali antara V_{oc} dan I_{sc} atau dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

Keterangan:

- FF = *Fill Factor*
- V_{mp} = Tegangan Maksimum Panel (*Volt*)
- I_{mp} = Arus Maksimum Panel (*Ampere*)
- V_{oc} = Tegangan Rangkaian Terbuka (*Volt*)
- I_{sc} = Arus Hubung Singkat (*Ampere*)

Sementara itu untuk desain konstruksi dari panel surya sendiri memiliki beberapa komponen utama yang memiliki fungsinya masing – masing, sebagai berikut [10]:



Gambar 2. 5 Design Kontruksi Panel Surya

1. Anodised Aluminium Frame, merupakan frame/bingkai terbuat dari aluminium yang berfungsi untuk memberikan kekuatan struktur modul PV, mempermudah pemasangan serta melindungi dari kondisi lingkungan yang tidak diinginkan seperti terpaan angin dan guncangan.
2. Highly Transparent Tempered Glass, merupakan lapisan kaca tempered yang memiliki transparansi yang tinggi dan tahan terhadap goresan maupun benturan, serta berfungsi untuk melindungi dari hujan, dan debu yang ekstrem

3. Encapsulant, merupakan lapisan pelindung yang terbuat dari material (EVA - Ethylene Vinyl Acetate), yang memiliki fungsi sebagai menjaga ke stabilan posisi sel surya diantara lapisan kaca dan backsheet. Serta meningkatkan efesiensi cahaya matahari dalam menembus ke sel surya.
4. Photovoltaic Solar Cells, merupakan lapisan yang memiliki peranan utama dalam melakukan pengkonversian energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya terbuat dari silikon, yang nantinya untuk mencapai kapasitas daya tertentu sel surya harus memiliki konfigurasi seri dan parallel yang tepat.
5. Insulating Back Sheet, merupakan lapisan yang terbuat dari polimer ataupun kaca, berfungsi sebagai pelindung dari kerusakan mekanis, cuaca ekstrem dan kelembapan, serta sebagai isolasi listrik yang aman.
6. Junction Box, merupakan komponen yang berfungsi sebagai tempat kabel konektor listrik untuk menghubungkan dari konektor panel surya lain ataupun ke sistem listrik lain seperti inveter dan dilengkapi juga diode bypass yang dapat mencegah kehilangan daya akibat bayangan.

2.2.2 Type dan Jenis Panel Surya

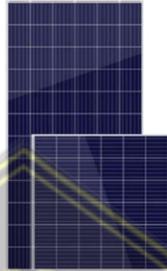
Pada struktur panel surya memiliki komponen utama seperti sel surya dan berdasarkan materialnya sel surya itu sendiri terdapat beberapa jenis yang dimana setiap jenis sel surya memiliki pengaruh terhadap *output* daya yang dihasilkan, berikut jenis sel surya [11]:

1. Sel Surya Monocrytalline, memiliki nilai efesiensi kurang lebih sebesar 15 – 20%, dikarenakan materialnya terbuat dari *single cristal silicon* yang dimana struktur kristal atomnya yang seragam dan murni. Sel Monocrytalline memiliki tampilan fisik hitam pekat dengan sudut membulat.



Gambar 2. 6 Sel Surya Monocrytalline

2. Sel Surya Polycrystalline, memiliki nilai efisiensi yang lebih rendah dari pada Sel Surya Monocrytalline kurang lebih sebesar 13 – 16%, yang material selnya terbuat dari leburan kristal silikon yang dimana struktur kristalnya tidak seragam dan selnya memiliki tampilan fisik tektur bintik – bintik dengan warna kristalnya biru.



Gambar 2. 7 Sel Surya Polycrystalline

3. Sel Surya Thin Film Solar Panel, memiliki nilai efisiensi yang paling rendah kurang lebih sebesar 4 – 12% dengan material dasar terbuat dari lapisan tipis bahan PV seperti Cadmium Telluride (CdTe), Amorphous Silicon (a-Si), dan Copper Indium Gallium Selenide (CIGS). Sel surya ini memiliki tampilan fisik abu – abu tanpa adanya pola kristal.



Gambar 2. 8 Sel Surya Thin Film

2.3 Inverter PLTS

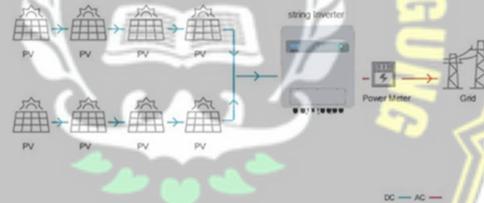
Inverter merupakan salah satu komponen penting dalam sistem PLTS yang memiliki fungsi untuk melakukan tindakan pengkonversian dari hasil panel surya atau penyimpanan baterai yang berupa arus (DC) diubah menjadi arus (AC) yang nantinya dapat disalurkan ke jaringan listrik umum ataupun langsung dimanfaatkan untuk suplai peralatan elektronik. Selain bertugas untuk melakukan pengkonversian arus dalam penerapannya ke beberapa jenis dan kapasitas sistem PLTS, inverter juga memiliki fungsi penting lainnya seperti, inverter MPPT

(*Maximum Power Point Tracking*) yang dapat memaksimalkan efisiensi daya *output* panel surya, inverter *modern* juga dapat berfungsi untuk melindungi sistem dari lonjakan arus ataupun tegangan, dan dilengkapi juga dengan sistem monitoring kinerja panel surya serta kemampuan untuk melakukan sinkronisasi parameter listrik ke jaringan PLN. Sementara itu juga pada inverter *modern* mampu beroperasi sampai dengan tegangan maksimum sekitar 1500 V DC dan inverter *modern* umumnya bekerja secara optimal pada tegangan kurang lebih di 300 – 1300 V DC [12].

2.3.1 Type dan Jenis Inverter PLTS

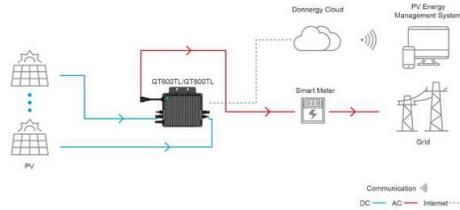
Inverter dalam pengaplikasiannya harus memperhatikan sistem PLTS yang diterapkan. Karena inverter sendiri memiliki beberapa jenis dan tipe yang menyesuaikan sistem PLTS, berikut tipe inverter:

1. *String* Inverter, Inverter tipe ini digunakan pada skala PLTS kecil sampai menengah ataupun skala komersial seperti rumah tangga.



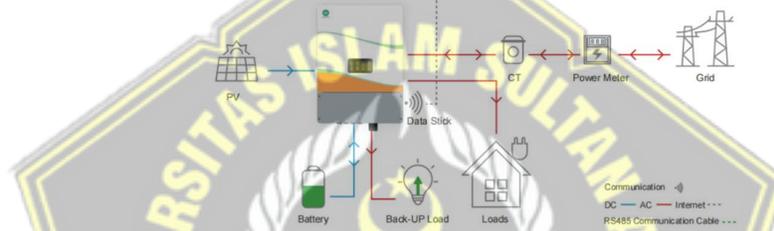
Gambar 2. 9 Sistem String Inverter

2. *Central* Inverter, perbedaan antara *central* inverter dan *string* inverter salah satu adalah *central* inverter dirancang untuk digunakan pada skala PLTS skala besar atau industrial yang dimana inverter ini mampu mengkombinasikan daya dari banyak *string* panel surya dalam satu unit inverter.
3. *Microinverters*, Inverter ini penerapannya hanya dipasang pada setiap panel surya secara individu, hal ini bertujuan untuk mengoptimalkan *output* masing - masing panel surya serta cocok untuk diaplikasikan didaerah yang penyebaran iradiasi ke panel surya tidak merata.



Gambar 2. 10 Sistem Micro Inverter

4. *Hybrid* Inverter, Inverter ini memiliki kemampuan untuk melakukan pengelolaan sumber daya secara bersamaan dari beberapa sumber seperti panel surya, baterai, dan jaringan listrik umum, sehingga memungkinkan adanya sistem pengelolaan baterai untuk penyimpanan daya.



Gambar 2. 11 Hybrid Inverter

2.3.2 Penentuan Inverter PLTS

Untuk menentukan kapasitas inverter PLTS yang akan digunakan, selain tipe inverter ada beberapa hal lain yang harus diperhatikan sebagai berikut:

1. Perhitungan kapasitas inverter harus pada umumnya memperhatikan *safety factor* yang sebesar 1,25. Sehingga dapat dituliskan dengan rumus:[13]

$$\text{Kapasitas Inverter} = \text{Permintaan Daya} \times \text{Safety Factor}$$

Keterangan:

- Kapasitas Inverter = Sesuai spesifikasi Inverter (W/kW)
 - Permintaan Daya = Daya *Output* panel surya (W)
 - *Safety Factor* = Faktor keamanan
2. Rasio *Oversizing* antara *input* DC PV dan kapasitas *output* inverter sebesar 125 – 130% dari kapasitas inverter dengan pertimbangan kinerja inverter pada batas normal dan jarang beroperasi.

3. Parameter tegangan (V), Arus (I) dan temperature (T), memastikan inverter yang dipilih memiliki spesifikasi tegangan masukan, arus masukan dan kemampuan inverter bekerja di suhu lebih dari 45°C.
4. Memiliki sistem *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), kualitas siklus murni dan kemampuan sistem komutasi elektronik.

2.4 Analisa Teknis

2.4.1 Luasan *Array* Panel Surya

Dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga surya memerlukan beberapa perhitungan seperti daya yang akan dihasilkan, jumlah dan area luasan panel surya yang terjangkau dari sinar matahari. Area panel surya yang sudah ditentukan kemudian perlu untuk dilakukan perencanaan dan penyusunan array panel surya yang tepat dan efisien. Sehingga, tidak memakan tempat yang banyak. Array panel surya sendiri merupakan susunan panel surya yang memiliki formasi tertentu untuk dapat menangkap sinar matahari secara optimal dan mengeluarkan output daya yang sesuai dengan perencanaan. Untuk memperhitungkan luasan array panel surya yang dibutuhkan dapat dirumuskan dengan sebagai berikut:[13], [3]:

1. Luas array panel surya

$$Luas\ Array = \frac{EL}{Gav \times \eta_{PV} \times \eta_{Out} \times FKT} \quad (\text{Persamaan 2.1})$$

Keterangan ;

- Luas Array = Luas permukaan area array panel surya (m²)
- EL = Energi yang dibangkitkan per Hari (kWh/hari)
- Gav = Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m²/hari)
- η_{PV} = Efisiensi Panel Surya (%), sesuai spesifikasi PV
- η_{Out} = Efisiensi Keluaran Sistem (%), 95%
- FKT = Faktor Koreksi Temperature

2. Faktor Koreksi

Dalam menentukan faktor koreksi temperature pada persamaan 2.1, dapat dirumus sebagai berikut:

$$FKT = \frac{P_{max\ t^{\circ}}}{P_{max}} \times 100\% \quad (\text{Persamaan 1.2})$$

Keterangan:

- FKT = Faktor Koreksi Temperature (%)
- $P_{max\ t^{\circ}}$ = Daya pada suhu tertentu (W)
- P_{max} = Daya maksimum panel surya (W), spesifikasi PV

3. Daya saat suhu tertentu

Dan dalam menentukan $P_{max\ t^{\circ}}$ pada persamaan 2.2 dengan asumsi setiap terjadi kenaikan suhu 1°C lebih dari 25°C akan mengakibatkan penurunan kinerja panel surya sebesar 0,35%, sehingga dapat dirumus sebagai berikut;

$$P_{max\ t^{\circ}} = P_{max} - P_{\text{saat } \Delta^{\circ}t} \quad (\text{Persamaan 2.2})$$

$$P_{\text{saat } \Delta^{\circ}t} = \text{Temp Coef of } P_{max} \times P_{max} \times \Delta^{\circ}t \quad (\text{Persamaan 2.3})$$

Keterangan:

- $P_{max\ t^{\circ}}$ = Daya pada suhu tertentu (W)
- P_{max} = Daya maksimum panel surya (W)
- $P_{\text{saat } \Delta^{\circ}t}$ = Daya saat kenaikan suhu tertentu (W)
- $\Delta^{\circ}t$ = Kenaikan suhu intensitas matahari ($^{\circ}\text{C}$)

2.4.2 Jumlah Panel Surya

Untuk dapat penentuan jumlah panel surya yang akan terpasang, maka diperlukan perhitungan daya maksimal pembangkitan yang dapat dihasilkan PLTS. Penentuan daya maksimal pembangkitan ini yang nanti akan di bagi dengan Wattpeak PV atau daya maksimalan yang dapat dihasilkan per PV nya. Sehingga dapat dihitung dengan beberapa rumus sebagai berikut:

1. Daya maksimal pembangkitan

$$P_{\text{wattpeak}} = \text{Luas Array} \times PSI \times \eta_{PV} \quad (\text{Persamaan 2.4})$$

Keterangan:

- $P_{max\ t^{\circ}}$ = Daya pada suhu tertentu (W)
- P_{max} = Daya maksimum panel surya (W)
- $P_{\text{saat } \Delta^{\circ}t}$ = Daya pada saat suhu tertentu (W)
- $\Delta^{\circ}t$ = Kenaikan suhu intensitas matahari ($^{\circ}\text{C}$)

2. Jumlah Panel

Dari daya yang dapat dibangkitkan oleh panel surya, maka selanjutnya dapat dihitung jumlah panel surya yang akan terpasang dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P \text{ wattpeak}}{P \text{ max}} \quad (\text{Persamaan 2.5})$$

Keterangan:

- $P \text{ wattpeak}$ = Daya yang akan dibangkitkan (W)
- $P \text{ max}$ = Daya maksimum panel surya (W)

2.4.3 Output Energi PLTS

Perencanaan PLTS juga memperhitungkan energi yang dapat dihasilkan. Dimana energi yang dihasilkan dipengaruhi oleh intensitas matahari serta perhitungan persentase efisiensi target yang terback up oleh PLTS dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Energi yang dihasilkan PLTS dan Efisiensi yang dicover PLTS

Dari daya yang dapat dibangkitkan oleh panel surya, maka selanjutnya dapat dihitung jumlah panel surya yang akan terpasang dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$EOut(\text{Hasil PLTS/Hari}) = Ein \times Gav \quad (\text{Persamaan 2.6})$$

$$\begin{aligned} \eta(\text{Efisiensi PLTS}) \\ = \frac{EOut}{\text{Pemakaian Rata" E. Lis harian}} \end{aligned} \quad (\text{Persamaan 2.7})$$

Keterangan:

- $EOut$ = Energi yang dihasilkan dengan pengaruh intensitas matahari (Wh) per hari
- Ein = Energi Masuk (W)
 $Ein = \text{Jumlah Panel} \times P \text{ max} \times t^o$ (Wp)
- Gav = Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m²/hari)
- η = Nilai Efisiensi yang dapat dicover PLTS (%)

Untuk mengetahui kWh yang dihasilkan setiap tahunnya (AkWh), dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$AkWh = E_{out} \times 365$$

(Persamaan 2.8)

2.4.4 Konfigurasi Panel Surya

Pada panel surya untuk mendapatkan nilai besaran arus, tegangan, dan daya yang sesuai dengan perencanaan, maka diperlukan kombinasi konfigurasi antar panel surya dalam bentuk sambungan secara seri, parallel, atau keduanya. Berikut penjelasan sambungan panel surya sebagai berikut [14]:

1. Rangkaian Seri Panel Surya

Panel surya yang dihubungkan secara seri yang bertujuan meningkatkan tegangan dan menghasilkan arus yang konstan. Rangkaian seri panel surya dilakukan dengan menghubungkan bagian positif (+) panel surya utama dihubungkan dengan bagian negative (-) sel surya lainnya. Dari hubungan seri didapatkan bahwa tegangan panel surya menjadi bertambah dan arus panel surya menjadi konstan.



Gambar 2. 12 Rangkaian Seri PV

$$V_{total} = V_{sel\ 1} + V_{sel\ 2} + V_{sel\ n}$$

Keterangan:

- V_{total} = Tegangan total panel surya (V)
- $V_{sel\ 1}$ = Tegangan panel surya ke 1 (V)
- $V_{sel\ n}$ = Tegangan panel surya ke n (V)

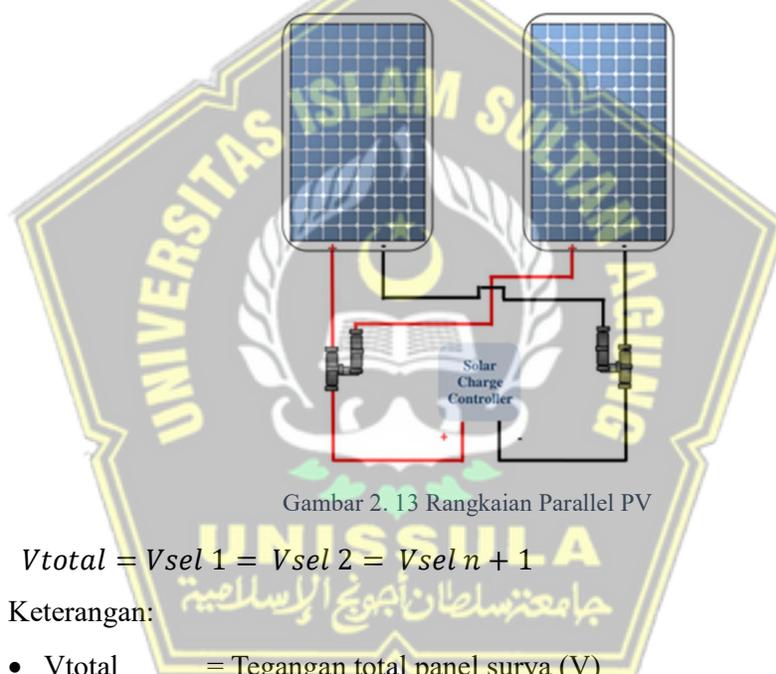
$$I_{total} = I_{sel\ 1} = I_{sel\ 2} = I_{sel\ n} + 1$$

Keterangan:

- I_{total} = Arus total panel surya (A)
- $I_{sel\ 1}$ = Arus panel surya ke 1 (A)
- $I_{sel\ n}$ = Arus panel surya ke n (A)

2. Rangkaian Paralel Panel Surya

Rangkaian paralel pada panel surya dilakukan dengan menghubungkan bagian (+) panel surya utama dengan bagian (+) panel surya lainnya begitu juga dengan bagian negative (-) panel surya. Panel surya yang dihubungkan secara paralel satu dengan yang lain akan dapat menghasilkan tegangan yang konstan dan meningkat nilai arus.



Gambar 2. 13 Rangkaian Paralel PV

$$V_{total} = V_{sel\ 1} = V_{sel\ 2} = V_{sel\ n + 1}$$

Keterangan:

- V_{total} = Tegangan total panel surya (V)
- $V_{sel\ 1}$ = Tegangan panel surya ke 1 (V)
- $V_{sel\ n}$ = Tegangan panel surya ke n (V)

$$I_{total} = I_{sel\ 1} + I_{sel\ 2} + I_{sel\ n + 1}$$

Keterangan:

- I_{total} = Arus total panel surya (A)
- $I_{sel\ 1}$ = Arus panel surya ke 1 (A)
- $I_{sel\ n}$ = Arus panel surya ke n (A)

2.4.5 Panel dan Kabel Distribusi PLTS

1. Kabel Koneksi

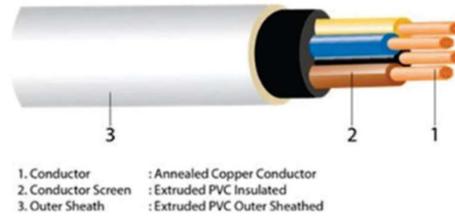
Dalam melakukan perencanaan PLTS selain memperhitungkan kapasitas PLTS juga harus memperhatikan kabel yang digunakan sebagai konduktor. Konduktor berfungsi untuk mengalirkan arus listrik baik arus listrik DC dan AC. Konduktor yang memiliki resistansi rendah akan semakin baik dalam menghantarkan arus listrik. Material dari konduktor atau penghantar listrik yang sering digunakan terbuat dari aluminium ataupun tembaga yang memiliki nilai hambatan jenisnya masing – masing [15].

Pada sistem PLTS yang akan dirancang menggunakan kabel listrik sebagai media penghantar arus listrik dan setiap tipe kabel listrik memiliki spesifikasi yang berbeda – beda seperti, jenis bahan konduktor, jumlah inti kabel, jenis bahan isolasi, area pengaplikasian dan lain sebagainya. Kabel listrik dibedakan menjadi dua berdasarkan penerapannya di sistem PLTS, sebagai berikut:

a. Kabel Penghantar Arus AC

Kabel listrik AC yang digunakan pada sistem PLTS mulai dari bagian *outout* inverter, jalur distribusi listrik AC sampai ke beban. Kabel penghantar arus AC memiliki beberapa karakteristik yang perlu diperhatikan, seperti kemampuan daya hantar arus bolak – balik yang efisien tegangan operasional kurang lebih di sekitar 220 – 380 Volt, berbahan tembaga atau pun aluminium dan memiliki isolasi berbahan PVC, PE, atau XLPE. Untuk tipe kabel penghantar arus AC yang sering digunakan di sistem distribusi listrik industrial adalah kabel tipe NYM ataupun NYY [16].

Kabel NYM sering kali digunakan pada instalasi *indoor* di dalam ruangan yang pengaplikasian dapat di dalam (dengan diselubungi pipa *conduit*) ataupun diluar tembok, dan kabel jeni NYM ini kurang cocok apabila penempatannya di *outdoor*.



Gambar 2. 14 Kabel NYM

Penempatan kabel NYY dapat diaplikasikan di kondisi indoor maupun outdoor dan dapat ditanam langsung ke dalam tanah atau tembok tanpa pipa conduit. Tetapi dengan kabel NYY memiliki harga yang relative lebih mahal dibandingkan dengan kabel NYM.



Gambar 2. 15 Kabel NYY

Untuk menentukan luas penampang kabel yang diperlukan dalam sistem PLTS, terlebih dahulu diperlukan data mengenai kekuatan hantar arus. Kekuatan hantar arus merupakan arus maksimal yang dapat mengalir terus menerus dalam kondisi tertentu melalui konduktor. Arus pengenal dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut [15]:

$$\text{Arus satu phase } I = \frac{P}{V \times \text{csc } \varphi}$$

$$\text{Arus tiga phase } I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \text{csc } \varphi}$$

Keterangan:

- I = Arus nominal (A)
- P = Daya aktif (W)
- V = Tegangan (V)

$\text{Cos } \phi = \text{Faktor daya } (0,8 - 1)$

Setelah mengetahui nilai kekuatan hantar arus (KHA), dan jenis kabel yang akan digunakan, maka selanjutnya menyesuaikan luasan penampang kabel dengan nilai KHA. Hal tersebut telah ditentukan di PUIL 2011 dan dapat dijadikan sebagai pedoman, berikut gambar tabelnya:

| Jenis kabel | Luas penampang mm ² | KHA terus menerus | | | | | |
|-------------|-----------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|-------------------|----------|
| | | Inti tunggal | | 2-inti | | 3-inti dan 4-inti | |
| | | di tanah | di udara | di tanah | di udara | di tanah | di udara |
| 1 | 2 | A | A | A | A | A | A |
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | 1,5 | 40 | 26 | 31 | 20 | 26 | 18,5 |
| | 2,5 | 54 | 35 | 41 | 27 | 34 | 25 |
| | 4 | 70 | 46 | 54 | 37 | 44 | 34 |
| | 6 | 90 | 58 | 68 | 48 | 56 | 43 |
| NYN | 10 | 122 | 79 | 92 | 66 | 75 | 60 |
| NYBY | 16 | 160 | 105 | 121 | 89 | 98 | 80 |
| NYFGbY | | | | | | | |
| NYRgBY | 25 | 206 | 140 | 153 | 118 | 128 | 106 |
| NYCY | 35 | 249 | 174 | 187 | 145 | 157 | 131 |
| NYCWY | 50 | 296 | 212 | 222 | 176 | 185 | 159 |
| NYSY | | | | | | | |
| NYCEY | 70 | 365 | 269 | 272 | 224 | 228 | 202 |
| NYSEY | 95 | 438 | 331 | 328 | 271 | 275 | 244 |
| NYHSY | 120 | 499 | 386 | 375 | 314 | 313 | 282 |
| NYKY | | | | | | | |
| NYKBY | 150 | 561 | 442 | 419 | 361 | 353 | 324 |
| NYKFGBY | 185 | 637 | 511 | 475 | 412 | 399 | 371 |
| NYKRgBY | 240 | 743 | 612 | 550 | 484 | 464 | 436 |
| | 300 | 843 | 707 | 525 | 590 | 524 | 481 |
| | 400 | 986 | 859 | 605 | 710 | 600 | 560 |
| | 500 | 1125 | 1000 | - | - | - | - |

Gambar 2. 16 Tabel Penentuan Luas Penampang Kabel PUIL 2011

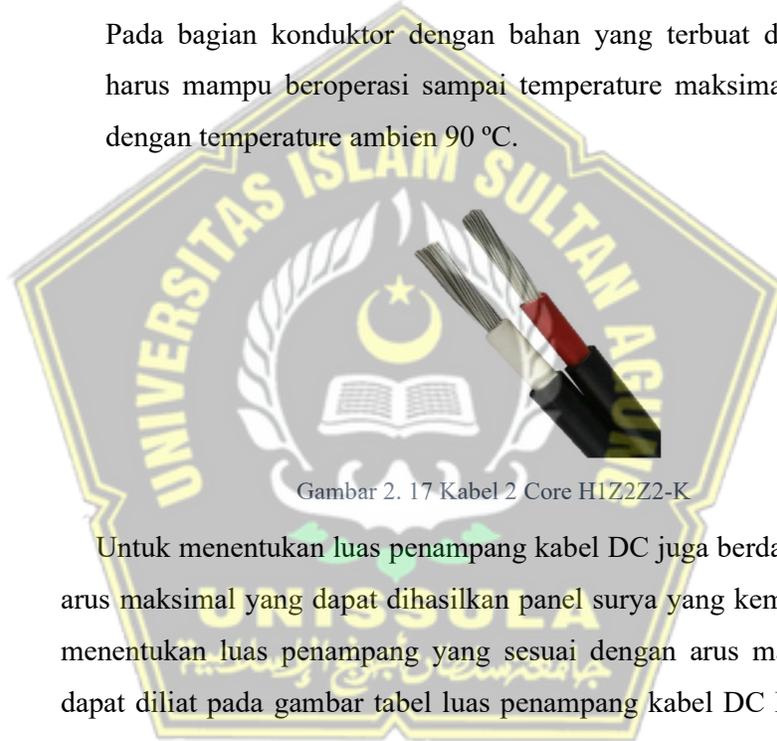
b. DC

Kabel listrik dengan arus DC pada sistem PLTS dirancang untuk beberapa komponen – komponen DC pada PLTS, seperti menghubungkan konfigurasi antar panel surya, dan output panel surya ke inverter, MPPT, ataupun ke baterai. Pada sistem PLTS khususnya untuk kelas industrial.

Kabel listrik DC harus sesuai standar EN 50618. Standar EN 50618 merupakan standar untuk kabel DC yang digunakan pada sistem PLTS. Standar ini ada untuk dapat memastikan kabel DC PLTS dapat bertahan dalam kondisi lingkungan yang ekstrem dan berumur panjang. Ada

beberapa karakteristik kabel DC PLTS yang perlu diperhatikan, sebagai berikut [17]:

- 1) Kabel DC PLTS harus memiliki kemampuan tegangan maksimal operasi sampai dengan 1,5 kV DC.
- 2) Konduktor pada kabel DC harus terbuat dari bahan tembaga dan diisolasi dengan bahan *cross-linked polyethylene* (XLPE) atau kabel dengan kode "H1Z2Z2-K" serta berwarna hitam dengan harapan mampu menahan paparan sinar UV matahari qdan cuaca *ekstreme*. Pada bagian konduktor dengan bahan yang terbuat dari tembaga harus mampu beroperasi sampai temperature maksimal di 120 °C dengan temperature ambien 90 °C.



Gambar 2. 17 Kabel 2 Core H1Z2Z2-K

Untuk menentukan luas penampang kabel DC juga berdasarkan pada arus maksimal yang dapat dihasilkan panel surya yang kemudian dapat menentukan luas penampang yang sesuai dengan arus maksimal dan dapat dilihat pada gambar tabel luas penampang kabel DC PLTS sesuai standart EN 50618 sebagai berikut:

| Nominal cross sectional area mm ² | Current carrying capacity according to method of installation | | |
|--|---|------------------------------------|---|
| | Single cable free in air A | Single cable on a surface A | Two loaded cables touching, on a surface A |
| 1,5 | 30 | 29 | 24 |
| 2,5 | 41 | 39 | 33 |
| 4 | 55 | 52 | 44 |
| 6 | 70 | 67 | 57 |
| 10 | 98 | 93 | 79 |
| 16 | 132 | 125 | 107 |
| 25 | 176 | 167 | 142 |
| 35 | 218 | 207 | 176 |
| 50 | 276 | 262 | 221 |
| 70 | 347 | 330 | 278 |
| 95 | 416 | 395 | 333 |
| 120 | 488 | 464 | 390 |
| 150 | 566 | 538 | 453 |
| 185 | 644 | 612 | 515 |
| 240 | 775 | 736 | 620 |
| Ambient temperature: 60 °C (see Table A.4 for other ambient temperatures) max. conductor temperature: 120 °C. | | | |
| NOTE The expected period of use at a max. conductor temperature of 120 °C and at a max. ambient temperature of 90 °C is limited to 20 000 h. | | | |

Gambar 2. 18 Tabel EN 50618 Luas Penampang kabel DC PLTS

c. *Grounding System*

Sistem Grounding / Pentanahan merupakan sistem keamanan terhadap peralatan – peralatan yang menggunakan ataupun menghasilkan listrik. Nilai pentanahan yang sesuai dengan Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011), 0 s/d 5 Ohm, dan untuk penangkal petir disarankan dibawah 5 Ohm (Ta'ali et al., 2021). Pada sistem PLTS juga membutuhkan sistem pentanahan yang baik untuk mengamankan komponen – komponen PLTS seperti panel surya, inverter dan lain sebagainya dari lonjakan arus atau arus bocor apabila terjadi. Dalam pengaplikasian sistem pentanahan pada PLTS dilakukan dibagian DC (Panel Surya, dan Baterai) dan dibagian sisi AC (Panel Distrbusi Listrik dan Inverter).

Untuk menentukan luas penampang kabel yang digunakan pada sistem pentanahan PLTS terdapat beberapa karakteristik yang harus

diperhatikan dan harus sesuai dengan Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011) yang berlaku, karakteristik sebagai berikut:

- 1) Kabel sistem pentanahan harus cukup besar dengan tujuan dapat mengalirkan arus gangguan tanpa menimbulkan kenaikan suhu yang berlebih.
- 2) Kabel sistem pentanahan jika memilih konduktor tembaga minimal luas penampang 16 mm², untuk konduktor aluminium luas penampang 25 mm² dan konduktor baja berlapis tembaga minimal luas penampang 50 mm² digunakan pada pentanahan dengan beban tinggi.

2. Panel Listrik

Panel listrik khususnya di industrial pada sistem pembangkit listrik tenaga surya memiliki beberapa fungsi untuk mengatur, mendistribusikan, dan melindungi sistem kelistrikan. Beberapa panel listrik yang ada di sistem PLTS *On-Grid* adalah Panel Listrik *AC Combiner*, dimana panel ini berfungsi untuk mengkombinasikan beberapa *output inverter Central* pada sistem panel surya menjadi satu. Sehingga dapat memungkinkan arus listrik yang dihasilkan lebih dari satu panel surya atau inverter yang berbeda untuk digabungkan kemudian diteruskan ke baterai ataupun ke panel interkoneksi yang nantinya akan diteruskan ke listrik konvensional PLN. Panel *AC Combiner* juga memiliki beberapa fungsi lainnya seperti sebagai proteksi arus lebih, mempermudah pemeliharaan ataupun perbaikan dan monitoring sistem [18].

Untuk panel listrik ada beberapa komponen – komponen yang harus diketahui, sabagai berikut [19]:

a. Circuit Breaker

Pemutus sirkuit atau *circuit breaker* merupakan peralatan kelistrikan yang digunakan untuk mem-proteksi dari arus lebih dan hubung singkat serta dapat digunakan juga sebagai saklar manual untuk menghidupkan dan mematikan sistem kelistrikan. Dalam industrial pemutus sirkuit yang umum digunakan adalah MCCB dan MCB. Berikut penjelasannya;

- 1) MCCB (*Module Case Circuit Braker*) merupakan komponen yang berfungsi sebagai pemutus arus apabila terjadinya gangguan hubung singkat atau arus lebih. MCCB memiliki speksifikasi proteksi arus yang tinggi dan biasanya menggunakan 3 phase, karena umum digunakan pada sistem kelistrikan berdaya besar.
- 2) MCB (*Miniatur Circuit Breaker*), merupakan salah satu komponen kelistrikan yang memiliki fungsi sebagai proteksi ganggu arus lebih dan hubung singkat. MCB memiliki speksifikasi proteksi arus yang kecil atau menengah, dikarenakan sering digunakan pada daya yang relative kecil dan bisa digunakan pada sistem satu phase atau tiga phase busbar.

Untuk menentukan kapasitas MCCB dan MCB baik tiga atau dua phase harus berpedoman pada PUIL 2011 yang telah mengatur. Dimana terlebih dahulu menentukan arus nominal yang mengalir untuk sistem kelistrikan satu phase atau sistem kelistrikan tiga phase. Setelah mengetahui arus nominal yang mengalir maka selanjutnya arus nominal dikalikan dengan 125% (toleransi pemutus sirkuit) dapat ditulis sebagai berikut:

$$I_{mccb \text{ atau } mcb} = \text{Arus nominal} \times 125\% \quad (\text{Persamaan 2.9})$$

b. Busbar

Busbar merupakan komponen kelistrikan yang berfungsi sebagai konduktor yang terbuat dari plat tembaga ataupun aluminium. Busbar memiliki bentuk fisik persegi panjang dengan Tingkat ketebalan yang berbeda. Untuk menentukan ukuran busbar yang akan digunakan harus mempertimbangkan beberapa hal seperti dimensi busbar, tegangan yang dihasilkan, luasan penampang. Dimana luas penampang ditentukan oleh arus yang akan mengalir dan jenis bahan konduktor yang digunakan.

Berikut referensi gambar tabel untuk penentuan luasan busbar dengan jenis konduktor tembaga [20].

| Width x Thickness | Cross section | Weight | AC current in (A) up to 60 Hz | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|--------|-------------------------------|------|------|------|------------------|------|------|------|
| | | | Painted | | | | Bare | | | |
| | | | No of Conductors | | | | No of Conductors | | | |
| [mm] | [mm ²] | [kg/m] | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 12x2 | 23,5 | 0,209 | 123 | 202 | 228 | | 108 | 182 | 216 | |
| 15x2 | 29,5 | 0,262 | 148 | 240 | 261 | | 128 | 212 | 247 | |
| 15x3 | 44,5 | 0,396 | 187 | 316 | 381 | | 162 | 282 | 361 | |
| 20x2 | 39,5 | 0,351 | 189 | 302 | 313 | | 162 | 264 | 298 | |
| 20x3 | 59,9 | 0,529 | 237 | 394 | 454 | | 204 | 348 | 431 | |
| 20x5 | 99,1 | 0,882 | 319 | 560 | 728 | | 274 | 500 | 690 | |
| 20x10 | 199 | 1,77 | 497 | 924 | 1320 | | 427 | 825 | 1180 | |
| 25x3 | 74,5 | 0,663 | 287 | 470 | 525 | | 245 | 412 | 498 | |
| 25x5 | 124 | 1,11 | 384 | 662 | 839 | | 327 | 586 | 795 | |
| 30x3 | 89,5 | 0,796 | 337 | 544 | 593 | | 285 | 476 | 564 | |
| 30x5 | 149 | 1,33 | 447 | 760 | 944 | | 379 | 672 | 896 | |
| 30x10 | 299 | 2,66 | 676 | 1200 | 1670 | | 573 | 1050 | 1480 | |
| 40x3 | 119 | 1,06 | 435 | 692 | 725 | | 366 | 600 | 690 | |
| 40x5 | 199 | 1,77 | 573 | 952 | 1140 | | 482 | 836 | 1090 | |
| 40x10 | 399 | 3,55 | 850 | 1470 | 2000 | 2580 | 715 | 1290 | 1770 | 2280 |
| 50x5 | 249 | 2,22 | 697 | 1140 | 1330 | 2010 | 583 | 994 | 1260 | 1920 |
| 50x10 | 499 | 4,44 | 1020 | 1720 | 2320 | 2950 | 852 | 1510 | 2040 | 2600 |
| 60x5 | 299 | 2,66 | 826 | 1330 | 1510 | 2310 | 688 | 1150 | 1440 | 2210 |
| 60x10 | 599 | 5,33 | 1180 | 1960 | 2610 | 3290 | 985 | 1720 | 2300 | 2900 |
| 80x5 | 399 | 3,55 | 1070 | 1680 | 1830 | 2830 | 865 | 1450 | 1750 | 2720 |
| 80x10 | 799 | 7,11 | 1500 | 2410 | 3170 | 3930 | 1240 | 2110 | 2790 | 3450 |
| 100x5 | 499 | 4,44 | 1300 | 2010 | 2150 | 3300 | 1080 | 1730 | 2050 | 3190 |
| 100x10 | 999 | 8,89 | 1810 | 2850 | 3720 | 4530 | 1490 | 2490 | 3260 | 3680 |
| 120x10 | 1200 | 10,7 | 2110 | 3280 | 4270 | 5130 | 1740 | 2860 | 3740 | 4500 |
| 160x10 | 1600 | 14,2 | 2700 | 4130 | 5360 | 6320 | 2220 | 3590 | 4680 | 5530 |
| 200x10 | 2000 | 17,8 | 3290 | 4970 | 6430 | 7490 | 2690 | 4310 | 5610 | 6540 |

Gambar 2. 19 Tabel Referensi Luas Penampang Busbar

c. CT

CT (*Current Transformer*) merupakan komponen kelistrikan yang berfungsi sebagai pembaca arus listrik yang mengalir pada kabel penghantar dengan cara mengubah besar arus pada sistem menjadi lebih kecil sesuai spesifikasi skala perbandingan pada CT yang nantinya CT akan dihubungkan pada sistem metering seperti kWh meter atau alat ukur lainnya.

2.5 Analisa Ekonomi

Perhitungan ekonomi PLTS sistem On – Grid dapat dilakukan dengan memperhitungkan siklus hidup sistem PLTS, Biaya Energi dan mempertimbangkan kelayakan investasi dari pemasangan PLTS. Perhitungan siklus hidup PLTS dapat meliputi perhitungan biaya investasi awal, biaya maintenance dan operasional, dan factor diskonto. Untuk perhitungan analisa kelayakan investasinya dapat dihitung dengan metode e Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), dan Discound Payback Periode (DPP). Menurut [21] berikut penjelasannya:

2.5.1 Biaya Siklus Hidup

Semua biaya yang dikeluarkan untuk keperluan suatu sistem dalam sepanjang kehidupannya disebut dengan biaya siklus hidup, Biaya siklus hidup dapat ditentukan dari nilai sekarang dari biaya total sistem PLTS yang dapat terdiri dari biaya investasi awal, biaya pemeliharaan dan operasional.

1. Biaya Investasi Awal PLTS

Biaya investasi awal merupakan seluruh biaya material maupun jasa dari pekerjaan pemasangan PLTS sistem *On – Grid*.

2. Biaya Pemeliharaan dan Operasional PLTS

Biaya pemeliharaan dan operasional PLTS mencakup beberapa hal seperti biaya jasa perawatan, biaya material bahan baku, biaya distribusi dan akomodasi serta biaya operasional lapangan dan kantor. Dimana hal – hal tersebut diperlukan untuk memastikan sistem tetap dapat berfungsi normal. Nilai dari biaya pemeliharaan sekitar satu – dua persen dari biaya investasi awal dapat dirumus sebagai berikut:

$$M = 1\% \times II \text{ (Total Investasi)} \quad \text{(Persamaan 2.10)}$$

Keterangan:

- M = Biaya Pemeliharaan dan Operasional (Rp)
- II = Initial Investasi (Rp)

Kemudian untuk memperhitungkan biaya siklus hidup sistem PLTS dapat ditentukan dari nilai sekarang dari biaya total sistem PLTS dan biaya investasi awalnya. Biaya siklus hidup atau *Life Cycle Cost (LCC)* dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$LCC = II + Mpw \quad \text{(Persamaan 2.11)}$$

Keterangan:

- LCC = Biaya Siklus Hidup (Rp)
- II = Biaya Investasi Awal / Initial Investasi (Rp)
- Mpw = Biaya Nilai Sekarang (Rp)

Biaya Mpw atau perhitungan biaya nilai sekarang merupakan biaya tahunan sistem PLTS yang diperkirakan akan dikeluarkan pada beberapa tahun kedepan atau selama umur proyek PLTS. Dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$Mpw = M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad \text{(Persamaan 2.12)}$$

Keterangan:

- M = Biaya Tahunan atau biaya *Maintenance & Operasional* (Rp)
- n = Umur Investasi
- i = Tingkatan Diskonto

3. Faktor Diskonto

Faktor Diskonto merupakan perhitungan untuk menentukan nilai penerimaan pada tahun sekarang dengan nilai penerimaan pada masa yang akan datang (akhir umur proyek). Dengan mengetahui nilai factor diskonto pada setiap tahunnya maka akan dapat membandingkan dengan biaya pengeluaran pada masa sekarang. Factor diskonto dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \quad \text{(Persamaan 2.13)}$$

Keterangan:

- DF = Faktor Diskonto
- i = Tingkatan Diskonto
- n = Umur Investasi pada Periode tahun ke - n

2.5.2 Biaya Energi / Cost of Energy (CoE)

Cost of Energy (CoE) pada sistem PLTS diperlukan untuk mengetahui biaya yang diperlukan sistem PLTS untuk menghasilkan setiap nilai kWh listrik PLTS. Biaya CoE listrik PLTS yang lebih rendah ataupun kompetitif dengan biaya listrik PLN dapat menjadi tolok ukur kelayakan ekonomi PLTS tersebut. Perhitungan CoE ditentukan oleh beberapa factor seperti biaya pemulihan modal (CRF), biaya siklus hidup (LCC) CoE dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{CoE} = \frac{LCC \times CRF}{AkWh} \quad (\text{Persamaan 2.14})$$

Keterangan:

- CoE = Biaya Energi (Rp/kWh)
- LCC = Biaya Siklus Hidup (Rp)
- CRF = Faktor Pemulihan Modal
- AkWh = Nilai Energi PLTS dalam setahun (kWh)

Untuk perhitungan faktor pemulihan modal dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

2.5.3 Kelayakan Investasi

Menentukan suatu sistem PLTS itu dinyatakan layak untuk diimplementasikan sebagai bentuk investasi dapat dianalisa melalui beberapa metode analisa perhitungan ekonomi seperti perhitungan nilai *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI), dan *Discount Payback Periode* (DPP).

1. *Net Present Value* (NPV)

Untuk menentukan nilai NPV dapat diperoleh dari beberapa factor yang harus diperhatikan seperti nilai arus kas masuk, arus kas keluar dan tingkatan diskonto dari tahun ke tahun. Nilai NPV jika mendapat hasil positif maka dapat dikata perhitungan investasi proyek PLTS yang akan direncanakan akan memberikan keuntungan sampai periode yang telah diperhitungkan. Perhitungan NPV dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - II \quad (\text{Persamaan 2.15})$$

Keterangan:

- NPV = *Net Present Value* (Rp)
- NCF_t = *Net Cash Flow* dari periode 1 sampai periode ke -n
- II = Investasi Awal (Rp)
- i = Tingkat Diskonto

- n = Umur Investasi pada Periode tahun ke - n

2. Profitability Index (PI)

Metode PI merupakan bentuk perhitungan yang bertujuan untuk mengukur keuntungan suatu proyek dengan membandingkan nilai keseluruhan arus kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Untuk nilai PI jika nilainya dibawah atau kurang dari 1 (<1), maka dinilai investasi yang akan direncanakan tidak layak. Jika nilai lebih dari 1 (>1), maka dinilai investasinya layak untuk direalisasikan. Perhitungan PI dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$PI = \frac{\sum_{t=i}^n NCF_t(1+i)^{-t}}{II} \quad (\text{Persamaan 2.16})$$

Keterangan:

- PI = Profitability Index
- NCF_t = Net Cash Flow dari periode 1 sampai periode ke - n
- II = Investasi Awal (Rp)
- i = Tingkat Diskonto
- n = Umur Investasi pada Periode tahun ke - n

3. Discount Payback Periode (DPP)

Metode perhitungan DPP dilakukan untuk mengetahui periode pengembalian modal investasi awal dengan mempertimbangkan nilai waktu uang (*time value of money*). Dimana apabila nilai DPP tidak melebihi umur proyek maka investasi dapat dikata layak. Untuk perhitungan DPP dapat dituliskan dengan persamaan sabagai berikut:

$$DPP = \text{Year Before Return} + \frac{II}{NPV \text{ Kumulatif}} \quad (\text{Persamaan 2.17})$$

Keterangan:

- DPP = Discount Payback Periode
- Year Before Return = Jumlah tahun sebelum tahun pengembalian final
- II = Investasi Awal (Rp)
- NPV Kumulatif = Jumlah Nilai Kas Bersih

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek penelitian dalam perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga surya *On-Grid* di Gedung Produksi Polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi Kudus menjadi bahan analisa penulis. Luasan gedung satu adalah 3876m² dan luasan gedung dua adalah 1638m².



Gambar 3. 1 Denah Lokasi Penelitian

3.2 Alat Dan Peralatan Dalam Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan penyusunan tugas akhir ini, untuk hardware berupa, sebuah handphone Realme 5i, dan Laptop Acer TravelMate P dan untuk software aplikasi AutoCAD 2020 dan Microsoft Office.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Sebelum melakukan perencanaan hal pertama yang harus dilakukan adalah menentukan lokasi dan objek penelitian kemudian melakukan pengumpulan data – data penelitian yang dibutuhkan. Data – data yang diperlukan seperti data pengukuran dan perhitungan objek secara langsung ditempat penelitian dapat disebut juga dengan data primer. Untuk mendukung data primer yang telah diperoleh, maka butuh juga data sekunder yang berupa jurnal – jurnal atau buku yang relevan dengan penelitian dilakukan.

Dalam menyusun Laporan Tugas Akhir ini menggunakan metode pengumpulan data sebagai berikut:

1. Observasi

Metode observasi dapat dilakukan dengan secara langsung dan tidak langsung. Observasi langsung dilakukan dengan cara melakukan pengamatan langsung ke lapangan untuk memperoleh data – data objek penelitian seperti berikut :

- a. Kondisi Geografis
- b. Faktor - Faktor Lingkungan
- c. Konsumsi energi listrik per hari, dan bulan

Sementara untuk observasi tidak langsung dapat menggunakan data dari sumber lainnya seperti sumber data dari NASA, BMKG, Citra Satelit dan lainnya.

2. Perhitungan Data

Metode perhitungan dilakukan dengan cara menghitung hasil dari data – data dari kegiatan observasi. Perhitungannya meliputi beberapa hal seperti:

- a. Penentuan konsumsi energi listrik harian yang nanti akan menjadi acuan target persentase minimal energi yang akan *tercover* PLTS.
- b. Penentuan luasan area array panel surya yang dibutuhkan supaya mendapatkan susunan panel surya yang tepat dan efisiensi tempat dengan menggunakan (Persamaan 2.1).
- c. Penentuan perhitungan daya maksimal pembangkitan energi PLTS berdasarkan luasan array panel surya yang dapat dituliskan dengan (Persamaan 2.5).
- d. Penentuan perhitungan jumlah panel surya yang didasarkan daya maksimal dibagi dengan spesifikasi daya maksimal panel surya yang dipilih atau dituliskan dengan (Persamaan 2.6).
- e. Penentuan perhitungan dan penyusunan konfigurasi panel surya sesuai kebutuhan daya maksimal pembangkitan dan spesifikasi inverter.

- f. Penentuan perhitungan Energi dan hasil efisiensi daya beban yang mampu tercover PLTS dengan (Persamaan 2.7 & 2.8).
- g. Penentuan perhitungan sederhana terkait spesifikasi inverter serta penentuan spesifikasi kabel dan spesifikasi *Breaker Circuit*) yang akan dipakai disistem PLTS tersebut.
- h. Memperhitungkan nilai investasi meliputi biaya awal investasi, biaya pemeliharaan dan operasional dengan (Persamaan 2.11)
- i. Menentukan perhitungan siklus hidup dengan (Persamaan 2.12) dan memperhitungkan factor pemulihan modal dengan (Persamaan 2.13) serta menghitung tingkatan diskonto dengan (Persamaan 2.14)
- j. Membuat tabel Arus Kas dari PLTS.
- k. Memperhitungkan nilai NPV dengan (Persamaan 2.16), PI dengan (Persamaan 2.17) dan DPP dengan (Persamaan 2.18) Untuk mengetahui kelayakan investasi sistem PLTS.

3. Studi Literature

Metode literature merupakan pengumpulan teori – teori yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir yang dilakukan. Teori – teori dapat berupa jurnal yang telah dipublikasikan dan dapat diakses di internet. Jurnal – jurnal yang dijadikan referensi seperti perencanaan PLTS sistem *On-Grid*, analisa kinerja, unjuk kerja PLTS sistem *On-Grid*, rumus perhitungan terkait penentuan spesifikasi komponen - komponen PLTS dan analisa ekonomi meliputi beberapa metode untuk menentukan kelayakan sistem PLTS . Pedoman umum instalasi listrik atau PUIL 2011 juga dapat dijadikan referensi untuk menyelesaikan penelitian tugas akhir.

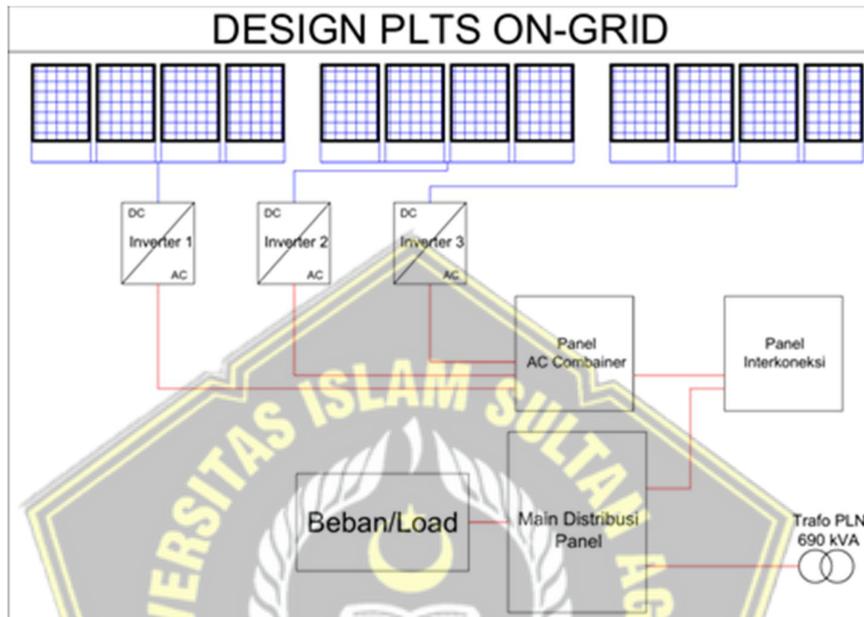
4. Studi Geografis

Metode studi geografis dilakukan menggunakan software Google Earth untuk mendapatkan lokasi akurat dari objek penelitian. Letak dari gedung produksi polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi yang terletak di kota Kudus memungkinkan mendapatkan intensitas sinar matahari yang cukup.

Berdasarkan letak geografis yang didapatkan, gedung produksi polyfoam PT. HIT Kudus yakni : $6^{\circ}47'59.2''S$ $110^{\circ}49'50.5''E$

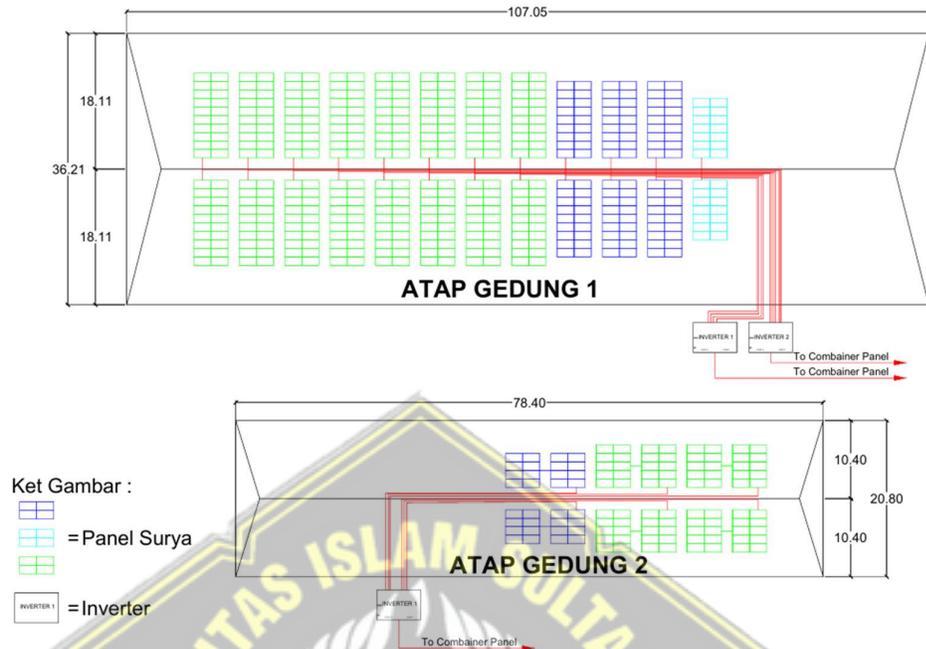
Garis Lintang (latitude) : 6°47'59.2" S
Garis Bujur (longituide) : 110°49'50.5"E

3.4 Design PLTS



Gambar 3. 2 Design Perencanaan PLTS On – Grid

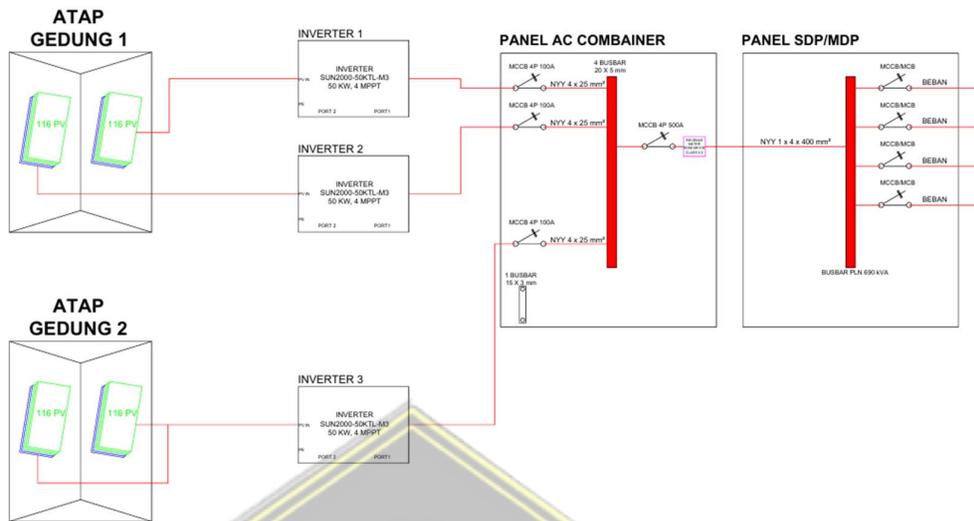
Perencanaan pembangkit listrik tenaga surya sistem *On – Grid* pada skala industrial dapat dilihat seperti gambar di atas. Dimana ada beberapa *string* panel surya dan inverter yang sebelum dikoneksikan dengan jaringan PLN akan melalui panel AC *combiner* dan Panel *Interkoneksi*. Untuk gambaran pemodelan yang lebih jelas dapat dilihat pada gambar berikut:



Pemodelan Penempatan PV Inverter Tiap Atap Gedung

Gambar 3. 3 Pemodelan Penempatan PV dan Inverter Tiap Atap Gedung

Pemodelan penempatan PV dan Inverter pada gambar 3.3 nanti akan menyesuaikan jumlah panel surya dan konfigurasi inverter. Untuk inverter berlokasi disamping setiap gedungnya yang nanti *ouput* inverter akan dikombinasikan ke dalam panel AC Combainer, berikut gambar pemodelananyanya:



Pemodelan Wiring Instalasi Kelistrikan PLTS On-Grid

Gambar 3. 4 Pemodelan Wiring Instalasi Kelistrikan PLTS On-Grid

Pada gambar 3.4 setelah *inputan* masing – masing inverter menjadi satu pada panel AC *combainer*; *output* panel AC *combainer* akan menuju ke panel SDP/MDP dari kelistrikan konvensional untuk nanti *diinject* dan digunakan secara bersamaan ke beban konsumsi.

3.5 Data Komponen PLTS

Pada perencanaan PLTS ini menggunakan panel surya dengan jenis monocrystalline dengan daya maksimal 545 Wp. Pemilihan jenis panel surya monocrystalline dikarenakan efisiensi yang paling baik dari jenis lainnya. Panel surya monocrystalline dapat memaksimalkan intensitas radiasi matahari dengan sangat baik. Untuk spesifikasi panel surya yang akan digunakan pada sistem PLTS ini menggunakan module type JKM545M-72HL4 Jinko Monocrystalline, spesifikasi pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3. 1 Spesifikasi PV Jinko Monocrystalline JKM545M-72HL4

| PV Jinko Monocrystalline | |
|--------------------------|---------------|
| Modul Type | JKM545M-72HL4 |
| Maximum Power (Pmax) | 545 Wp |

| | |
|--|--------------------|
| Maximum Power Voltage (Vmp) | 40,80 V |
| Maximm Power Current (Imp) | 13,36 A |
| Open-circuit Voltage (Voc) | 49,52 V |
| Short-circui Current (Isc) | 13,94 A |
| Module Efficiency STC (%) | 21,10% |
| Operating Temperature(°C) | -40°C~+85°C |
| Maximum System Voltage | 1000/1500VDC (IEC) |
| Maximum Series Fuse Rating | 25 A |
| Power Tolerance | 0~+3 % |
| Temperature Coefficients of Pmax | 0.35%/°C |
| Temperature Coefficients of Voc | 0.28%/°C |
| Temperature Coefficients of Isc | 0.048%/°C |
| Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) | 45±2°C |

Untuk jenis inverter akan menggunakan *central* inveter yang dilengkapi dengan MPPT. Pemilihan *central* inverter dikarena PLTS berada pada skala industri yang memiliki kapasitas yang cukup besar dan dapat mengkombinasikan daya dari banyak *string* panel surya dalam satu unit inverter. Contoh spesifikasi *central* inverter pada Tabel 4 berikut:

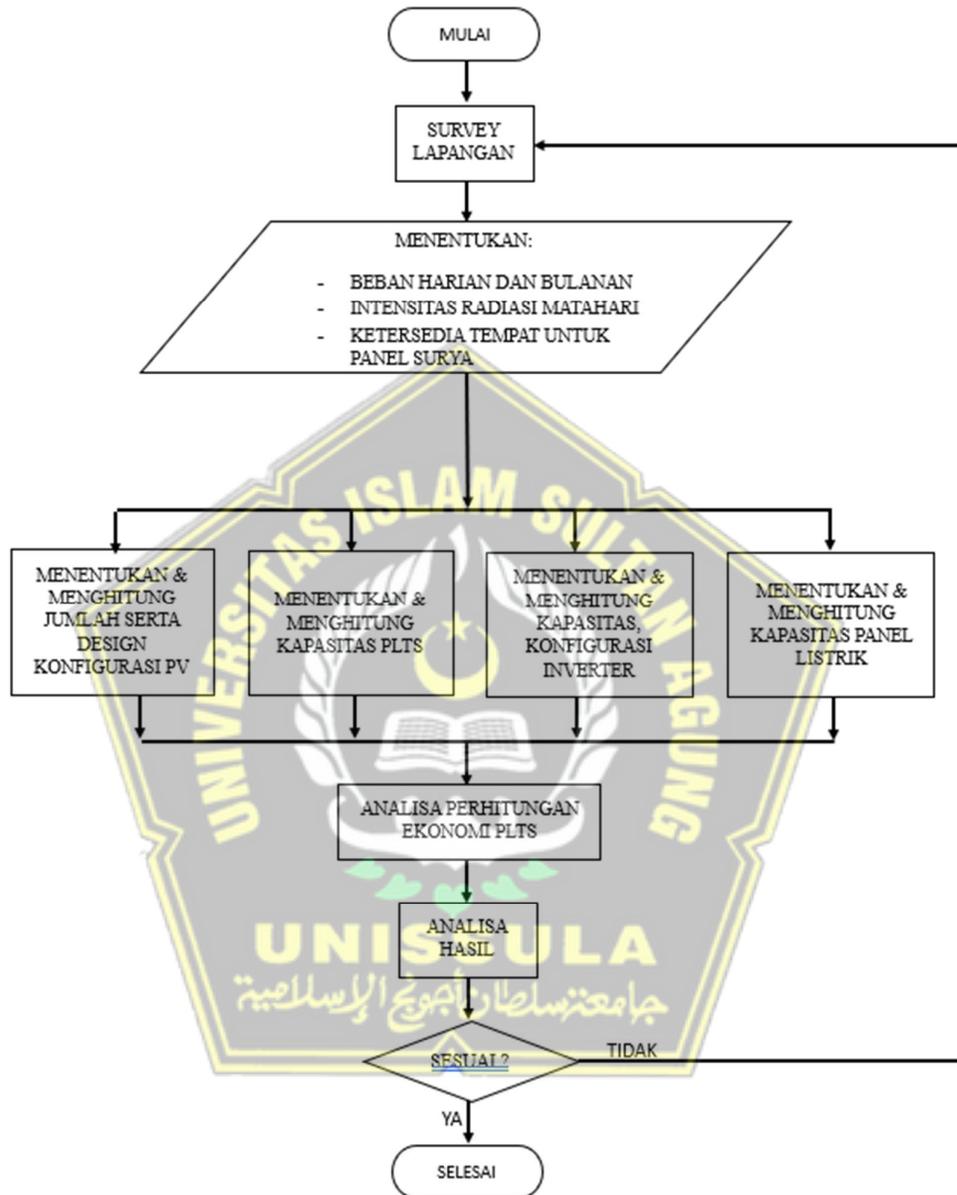
Tabel 3. 2 Spesifikasi Solar Inverter MPPT

| Solar Inverter MPPT | |
|--|------------------|
| Inverter Type | SUN2000-50KTL-M3 |
| Efesiensi Inverter | |
| Max. efficiency | 98.5% |
| Speksifikasi Input | |
| Max. input voltage | 1,100 V |
| Max. current per MPPT | 30 A |
| Max. current per input | 20 A |
| Max. short circuit current per MPPT | 40 A |
| Start voltage | 200 V |
| MPPT operating voltage range | 200 V ~ 1,000 V |
| Rated input voltage | 600 V |
| Number of inputs | 8 |

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Number of MPP trackers | 4 |
| Speksifikasi Output | |
| Rated AC active power | 50,000 W |
| Max. AC apparent power | 55,000 VA |
| Max. AC active power (cosφ=1) | 55,000 W |
| Rated output voltage | 400 Vac / 480 Vac, 3W+(N) + PE |
| Rated AC grid frequency | 50 Hz / 60 Hz |
| Rated output current | 72.2 A @ 400Vac, 60.1 A @ 480Vac |
| Max. output current | 79.8 A @ 400Vac, 66.5 A @ 480Vac |
| Adjustable power factor range | 0.8 LG ... 0.8 LD |
| Max. total harmonic distortion | <3% |



3.6 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3. 5 Flow Chart Penelitian

3.7 Tahapan – Penelitian

1. Menentukan lokasi perencanaan PLTS dengan sistem *On-Grid* yang nantinya dilanjutkan pengambilan data – data yang dibutuhkan. Data yang didapatkan di gedung produksi polyfoam PT. Hartono Istana Teknologi Kudus.

2. Menentukan beberapa parameter seperti luasan area panel surya, intensitas radiasi matahari, beban harian dan bulan,
3. Setelah data – data dan parameter sudah terkumpul, selanjutnya dilakukan perhitungan yang meliputi perhitungan konsumsi energi listrik harian dan bulanan, luasan area array panel surya, daya maksimal pembangkitan, jumlah panel surya, konfigurasi panel surya, dan perhitungan penentuan komponen – komponen PLTS lainnya seperti inverter dan panel listrik.
4. Melakukan perhitungan analisa ekonomi setelah mengetahui data energi yang dihasilkan PLTS dalam kurun waktu setahun. Perhitungan analisa ekonominya meliputi nilai NPV, PI, dan DPP sebagai tolok ukur kelayakan nilai investasi
5. Pengambilan Kesimpulan berdasarkan analisa perencanaan yang telah dibuat.



BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Konsumsi Energi Listrik

Konsumsi energi listrik pada gedung produksi polyfoam PT. HIT Kudus yang disuplai listrik PLN dengan daya 690 kVA. Sistem operasionalnya sendiri pada hari senin – jumat beroperasi 24 jam (06:00 – 06:00), hari sabtu beroperasi 15 Jam (06:00 – 21:00) dan pada hari minggu libur. Berdasarkan data dari Perusahaan untuk pemakaian energi listrik pada paling tinggi terdapat pada bulan November 2024 di angka 8.518,4 kWh dan jumlah kWh per bulan pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Pemakaian Energi Listrik Gedung Produksi Polyfoam PT. HIT

| PLN 690 KVA | | | |
|--------------------|------------------|--------------|--|
| TANGAL | DAYA (KW) | Hours | PEMAKAIAN ENERGI LISTRIK PER HARI (KWH) |
| 1 Nov 24 | 339,1 | 24 | 8138,7 |
| 2 Nov 24 | 316,3 | 15 | 4744,7 |
| 3 Nov 24 | LIBUR | | |
| 4 Nov 24 | 342,2 | 24 | 8213,3 |
| 5 Nov 24 | 291,3 | 24 | 6992,2 |
| 6 Nov 24 | 326,2 | 24 | 7828,3 |
| 7 Nov 24 | 323,9 | 24 | 7774,3 |
| 8 Nov 24 | 337,9 | 24 | 8109,2 |
| 9 Nov 24 | 305,3 | 15 | 4578,9 |
| 10 Nov 24 | LIBUR | | |
| 11 Nov 24 | 354,9 | 24 | 8518,4 |
| 12 Nov 24 | 287,3 | 24 | 6894,3 |
| 13 Nov 24 | 292,3 | 24 | 7015,3 |
| 14 Nov 24 | 347,7 | 24 | 8344,6 |
| 15 Nov 24 | 314,4 | 24 | 7544,5 |
| 16 Nov 24 | 294,1 | 15 | 4411,9 |
| 17 Nov 24 | LIBUR | | |
| 18 Nov 24 | 335,4 | 24 | 8050,5 |
| 19 Nov 24 | 338,6 | 24 | 8125,4 |
| 20 Nov 24 | 311,3 | 24 | 7472,1 |
| 21 Nov 24 | 279,8 | 24 | 6715,8 |
| 22 Nov 24 | 310,4 | 24 | 7450,0 |
| 23 Nov 24 | 308,8 | 15 | 4632,0 |
| 24 Nov 24 | LIBUR | | |

| | | | |
|--------------------------------------|-------|----|----------------------|
| 25 Nov 24 | 262,7 | 24 | 6305,8 |
| 26 Nov 24 | 220,3 | 24 | 5286,8 |
| 27 Nov 24 | 268,5 | 24 | 6444,1 |
| 28 Nov 24 | 310,4 | 24 | 7450,0 |
| 29 Nov 24 | 342,2 | 24 | 8213,7 |
| 30 Nov 24 | 292,0 | 15 | 4380,1 |
| Beban Energi Tertinggi : | | | 8518,4 kWh, |
| Jumlah Pemakaian Satu Bulan : | | | 179.634,9 kWh |

Perencanaan ini menggunakan nilai beban energi pada tanggal 11 November 2024 dengan nilai energi yang dikonsumsi sebesar 8518,4 kWh. Digunakan nilai konsumsi energi pada tanggal 11 November 2024 dikarenakan nilai konsumsi energinya yang paling besar dibandingkan dengan hari lainnya dengan demikian diharapkan perencanaan perhitungan kapasitas energi PLTS menjadi lebih efisien dan maksimal dalam mencover konsumsi energi yang naik dan turun setiap harinya dalam satu bulan tersebut.

4.2 Radiasi Matahari

Data radiasi sinar matahari menurut sumber seperti data radiasi matahari melalui *software* HOOMER yang didasarkan pada data radiasi matahari NASA yang diambil dari tahun 1993 – 2005 seperti pada Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Radiasi Matahari dan Temp Udara

| Homer Pro Base On NASA Source | | | |
|--------------------------------------|---|-----------------------------------|------------------------------|
| Bulan | Solar GHI (kWh/m²/hari) | Temperature Udara (°C) | Kecepatan Angin (m/s) |
| Januari | 4,22 | 26,39 | 5,0 |
| Februari | 4,53 | 26,26 | 5,0 |
| Maret | 5,43 | 26,64 | 3,6 |
| April | 5,52 | 27,02 | 3,2 |
| Mei | 5,50 | 27,02 | 3,8 |
| Juni | 5,27 | 26,63 | 4,2 |
| Juli | 5,73 | 26,49 | 4,4 |
| Agustus | 6,41 | 27,07 | 4,4 |
| September | 6,80 | 28,02 | 4,1 |
| Oktober | 6,40 | 28,23 | 3,4 |
| November | 5,33 | 27,62 | 2,9 |
| December | 4,61 | 26,85 | 3,7 |
| Rata - Rata | 5,48 | 27,02 | 3,97 |

Pada perencanaan ini menggunakan nilai intensitas radiasi matahari pada bulan januari yang nilainya sebesar 4,22 kWh/m²/hari. Digunakan perhitungan perencanaan nilai radiasi matahari pada bulan januari dikarenakan nilai intensitas radiasi matahari yang paling rendah dibandingkan dengan bulan lainnya. Di harapkan dengan menggunakan perencanaan nilai radiasi matahari yang paling rendah akan mendapatkan perhitungan energi listrik yang dihasilkan PLTS menjadi maksimal.

4.3 Analisa Teknis

Terdapat dua gedung produksi polyfoam PT. HIT Kudus yang luasan totalnya mecapai 5514m² dengan luasan gedung satu 3876m² dan luasan gedung dua adalah 1638m². Dengan diketahui luasan dua gedung produksi tersebut akan di jadikan acuan sebagai luasan atap yang tersedia pada gedung produksi polyfoam PT. HIT Kudus.

Pada perencanaan ini kapasitas yang akan dibangkitkan oleh PLTS sistem *On – Grid* sebesar 15% dari konsumsi energi listrik tertinggi pada bulan November 2024 yang sebesar 8518,4 kWh (Tabel 4.1). Dapat dihitung Energi Listrik (EL) yang harus dibangkitkan PLTS sebagai berikut:

$$EL = 15\% \times \text{Konsumsi Energi Listrik Tertinggi/hari}$$

$$EL = 15\% \times 8518,4 \text{ kWh}$$

$$EL = 1.277,76 \text{ kWh}$$

Temperature udara juga menjadi pertimbangan dalam mempengaruhi kinerja panel surya. Spesifikasi panel surya yang telah dipilih seperti pada tabel 3.1 pada menunjukan *Temperature Coefficients of Pmax* sebesar 0.35%/°C dan Pmax sebesar 545 Wp , dimana untuk setiap kenaikan 1°C suhu pada panel surya (lebih dari 25°C) akan mengurai kinerja daya pembangkitan sebesar 0.35%. Suhu tertinggi pada data Tabel 4.2 sebesar 28,23°C pada bulan oktober, sehingga terdapat kenaikan selisih suhu (Δt) sebesar 3,23°C. Sehingga daya saat terjadi kenaikan suhu (*P saat Δt*) dapat dihitung dengan persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P \text{ saat } \Delta t &= \text{Temp Coef of } P_{max} \times P_{max} \times \Delta t \\ &= 0,35\% \times 545 \text{ Wp} \times 3,23^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,35\% \times 545 \text{ Wp} \times 3,23^\circ\text{C} \\
 &= 1,9075 \times 3,23
 \end{aligned}$$

$$P \text{ saat } \Delta^\circ t = 6,16 \text{ W}$$

Dengan diketahui nilai daya saat terjadi kenaikan suhu ($P \text{ saat } \Delta^\circ t$) panel surya. Maka dapat dihitung daya maksimal pembangkitan panel surya pada suhu tertentu ($P_{\max} t^\circ$). Perhitungan $P_{\max} t^\circ$ dapat menggunakan persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{\max} t^\circ &= P_{\max} - P \text{ saat } \Delta^\circ t \\
 &= 545 \text{ Wp} - 6,16 \text{ W}
 \end{aligned}$$

$$P_{\max} t^\circ = 538,84 \text{ W}$$

Untuk menentukan FKT atau Faktor Koreksi Temperature dapat menggunakan persamaan 2.2, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 FKT &= \frac{P_{\max} t^\circ}{P_{\max}} \\
 &= \frac{538,84}{545}
 \end{aligned}$$

$$FKT = 0,98$$

4.3.1 Luasan Array Total Panel Surya

Spesifikasi panel surya pada tabel 3.1 memiliki *Module Efficiency STC* sebesar 21,10% hal tersebut akan mempengaruhi penentuan luasan array panel surya. Selain *module efficiency*, ada beberapa faktor seperti efisiensi inverter yang nilainya sebesar 98,5%, intensitas radiasi matahari pada tabel 4.2 yang telah ditentukan sebesar 4,22 kWh/m²/hari dan Faktor Koreksi *Temperature* sebesar 98,87%. Dengan demikian dapat dihitung luasan array total dua gedung produksi polyfoam yang dibutuhkan, dengan menggunakan persamaan 2.1, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Array} &= \frac{EL}{G_{av} \times \eta_{PV} \times \eta_{Out} \times FKT} \\
 &= \frac{1277,76}{4,22 \times 21,10\% \times 98,5\% \times 0,98}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{1277,76}{0,87}$$

$$\text{Luas Array} = 1473,5 \text{ m}^2$$

Untuk PLTS dapat membangkitkan energi sebesar 1277,76 kWh setiap harinya membutuhkan luasan array panel surya untuk dua gedung produksi polyfoam sekitar 1473,5 m².

4.3.2 Jumlah & Luasan Array Panel Surya Tiap Gedung

Dengan luasan array 1964,7m² dan beberapa faktor seperti efisiensi panel surya sebesar 21,10% dan Peak fo Sun di Indonesia sekitar 1000 W/m². Maka dapat dihitung daya maksimal pembangkitan PLTS dengan persamaan 2.5. Sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P \text{ wattpeak} &= \text{Luas Array} \times \text{PSI} \times \eta_{PV} \\ &= 1473,5 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ W/m}^2 \times 21,10\% \\ &= 310.910,99 \text{ Wp} \end{aligned}$$

$$P \text{ wattpeak} = 310,91 \text{ kWp}$$

Dari nilai daya maksimal pembangkitan yang dihasilkan selanjutnya dibagi dengan daya maksimal panel surya yang telah ditentukan untuk mengetahui jumlah panel surya yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan 2.6, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Panel Surya} &= \frac{P \text{ wattpeak}}{P \text{ max}} \\ &= \frac{310910,99 \text{ Wp}}{545 \text{ Wp}} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Panel Surya} = 570,5$$

Jumlah panel surya akan dibulat menjadi 572 dengan pembagian pada gedung satu terdapat 456 PV dan gedung dua 116 PV. Dimana untuk jumlah array akan menyesuaikan spesifikasi Inverter pada tabel 3.2 dan untuk kapasitas maksimal

pembangkitan pada setiap gedung berdasar PV yang akan terpsang dapat dihitung dengan persamaan 2.6, sebagai berikut:

1. Gedung satu

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P \text{ wattpeak Ged 1}}{P \text{ max}}$$

$$\begin{aligned} P \text{ wattpeak Ged 1} &= \text{Jumlah Panel Surya} \times P \text{ max} \\ &= 456 \times 545 \text{ Wp} \end{aligned}$$

$$P \text{ wattpeak Ged 1} = 248520 \text{ Wp}$$

$$P \text{ wattpeak Ged 1} = 248,52 \text{ kWp}$$

Pada Gedung satu dengan jumlah PV yang telah ditentukan dapat menghasilkan daya maksimal pembangkitan sekitar 248520 Wp, maka luasan array yang dibutuhkan pada atap gedung satu dapat dihitung dengan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$P \text{ wattpeak Ged 1} = \text{Luas Array} \times \text{PSI} \times \eta_{PV}$$

$$\text{Luas Array ged 1} = \frac{P \text{ wattpeak Ged 1}}{\text{PSI} \times \eta_{PV}}$$

$$= \frac{248520 \text{ Wp}}{1000 \text{ W/m}^2 \times 21,10\%}$$

$$= \frac{248520 \text{ Wp}}{211}$$

$$\text{Luas Array ged 1} = 1177,82 \text{ m}^2$$

2. Gedung dua

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P \text{ wattpeak Ged 2}}{P \text{ max}}$$

$$\begin{aligned} P \text{ wattpeak Ged 2} &= \text{Jumlah Panel Surya} \times P \text{ max} \\ &= 116 \times 545 \text{ Wp} \end{aligned}$$

$$P \text{ wattpeak Ged 2} = 63220 \text{ Wp}$$

$$P \text{ wattpeak Ged 2} = 63,22 \text{ kWp}$$

Pada Gedung dua dengan jumlah PV yang telah ditentukan dapat menghasilkan daya maksimal pembangkitan sekitar 63220 Wp, maka luasan array yang dibutuhkan pada atap gedung satu dapat dihitung dengan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$P \text{ wattpeak Ged 2} = \text{Luas Array} \times \text{PSI} \times \eta_{PV}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Array ged 2} &= \frac{P \text{ wattpeak Ged 2}}{\text{PSI} \times \eta_{PV}} \\ &= \frac{63220 \text{ Wp}}{1000 \text{ W/m}^2 \times 21,10\%} \\ &= \frac{63220 \text{ Wp}}{211} \end{aligned}$$

$$\text{Luas Array ged 2} = 299,62 \text{ m}^2$$

Total dari luasan array gedung satu dan dua sekitar 1.477,44 m² dengan total daya maksimal pembangkitan dari dua gedung tersebut sebesar 311.740 Wp atau 311,74kWp.

4.3.3 Konfigurasi PV dan Kapasitas Inverter

Dalam perencanaan konfigurasi array panel surya akan dibagi ke dua gedung produksi polyfoam seperti yang telah ditentukan pada perhitungan 4.2.2. Terdapat dua gedung, gedung ke – satu dengan jumlah panel surya atau PV sekitar 456, dan gedung ke – dua dengan jumlah PV sekitar 116.

Spesifikasi PV yang telah ditentukan sesuai dengan tabel 3.1 dan spesifikasi Inverter sesuai dengan tabel 3.2. Dengan mengetahui spesifikasi PV yang memiliki Vmp sebesar 40,80 V & Imp 13,36, dan pada spesifikasi inverter yang memiliki empat inputan MMPT dan masing – masing inputan memiliki delapan inputan array dengan Max Current MPPT sebesar 30A dan MPPT *operating voltage range* sebesar 200 V ~ 1,000 V akan mempengaruhi penentuan konfigurasi array panel surya yang akan disusun. Maka diperlukan perhitungan

tegangan, arus dan daya dari susunan seri dan parallel panel surya dan jumlah inverter pada masing – masing gedung sebagai berikut:

1. Gedung Satu

Dalam perencanaan gedung satu akan terdapat 456 dapat disusun secara seri untuk mendapatkan tegangan *operating voltage range* MPPT sebanyak 14 – 20 PV per array, kemudian disesuaikan dengan jumlah PV yang dibutuhkan dan inputan array per inverternya. Berikut perhitungan konfigurasi PV gedung satu pada gambar tabel 4.1 dibawah:

| Konfigurasi PV Gedung 1 | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------|-----------------------|---------|-----------|--|----------|----------------------------|---------------|---------------|
| No. Array | Type Konfigurasi | Spek Panel Surya / PV | | Jumlah PV | Total V, A, & Daya konfigurasi per Array | | No. Inputan Array Inverter | No. MPPT ke - | Inverter ke - |
| | | Vmp (V) | Imp (A) | | Voltage (V) | Arus (A) | | | |
| 1 | Seri | 40,8 | 13,36 | 18 | 734,4 | 13,36 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | | | | | 0 | 0 | 2 | | |
| 3 | | | | | 0 | 0 | 3 | | |
| 4 | Seri | 40,8 | 13,36 | 18 | 734,4 | 13,36 | 4 | | |
| 5 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 5 | | |
| 6 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 6 | | |
| 7 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 7 | | |
| 8 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 8 | | |
| Jumlah PV pada Inverter 1 | | | | 116 | | | | | |
| 1 | Seri | 40,8 | 13,36 | 18 | 734,4 | 13,36 | 1 | 2 | 2 |
| 2 | | | | | 0 | 0 | 2 | | |
| 3 | | | | | 0 | 0 | 3 | | |
| 4 | Seri | 40,8 | 13,36 | 18 | 734,4 | 13,36 | 4 | | |
| 5 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 5 | | |
| 6 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 6 | | |
| 7 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 7 | | |
| 8 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 8 | | |
| Jumlah PV pada Inverter 2 | | | | 116 | | | | | |
| 1 | Seri | 40,8 | 13,36 | 18 | 734,4 | 13,36 | 1 | 3 | 3 |
| 2 | | | | | 0 | 0 | 2 | | |
| 3 | | | | | 0 | 0 | 3 | | |
| 4 | Seri | 40,8 | 13,36 | 18 | 734,4 | 13,36 | 4 | | |
| 5 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 5 | | |
| 6 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 6 | | |
| 7 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 7 | | |
| 8 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 8 | | |
| Jumlah PV pada Inverter 3 | | | | 116 | | | | | |
| 1 | Seri | 40,8 | 13,36 | 14 | 571,2 | 13,36 | 1 | 3 | 3 |
| 2 | | | | | 0 | 0 | 2 | | |
| 3 | | | | | 0 | 0 | 3 | | |
| 4 | Seri | 40,8 | 13,36 | 14 | 571,2 | 13,36 | 4 | | |
| 5 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 5 | | |
| 6 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 6 | | |
| 7 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 7 | | |
| 8 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 8 | | |
| Jumlah PV pada Inverter 4 | | | | 108 | | | | | |
| Jumlah Total PV pada Gedung 1 | | | | 456 | | | | | |

Gambar 4. 1 Tabel Konfigurasi Array PV & Inverter Ged 1

Berdasar perhitungan gambar tabel 4.1 array panel surya disusun secara seri terdapat 32 array panel surya yang setiap 2 array dengan jumlah voltage yang sama akan masuk ke setiap inputan per MPPT. Dengan perhitungan kapasitas PV dan kapasitas inverter sebagai berikut:

a. PV Capacity

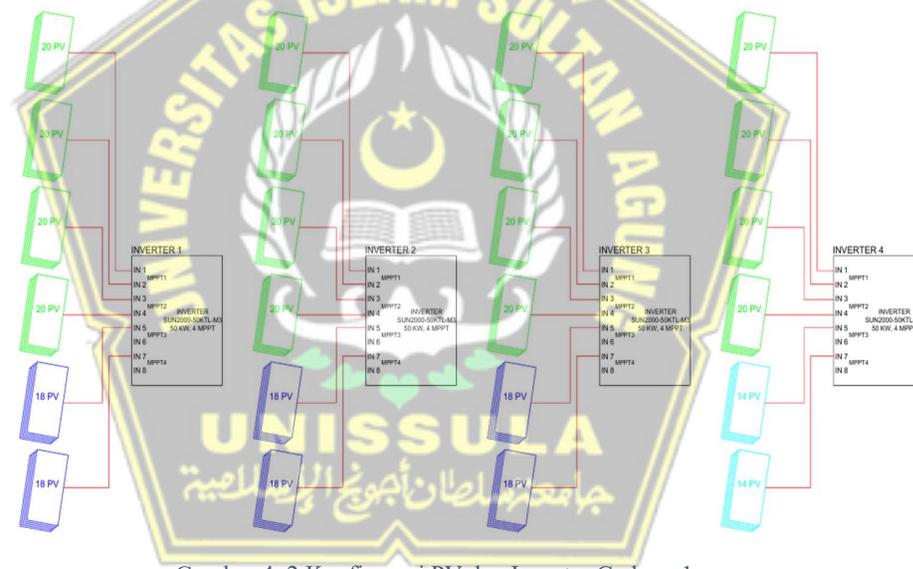
- Type PV JINKO Solar JKM545M-72HL4 (545 Wp)
- $20PV \times 16 Array \times 545Wp = 174400 Wp$ atau $174,4 kWp$
- $18PV \times 6 Array \times 545Wp = 58860 Wp$ atau $58,86 kWp$
- $14PV \times 2 Array \times 545Wp = 15260 Wp$ atau $15,26 kWp$

Total Capacity = 248520 Wp atau 248,52 kWp

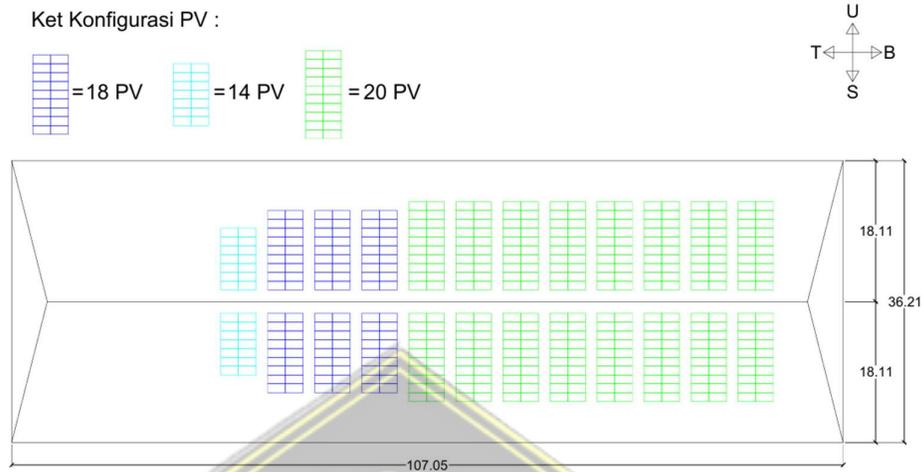
b. Max DC Current (Array) = 13,36 A

c. Inverter Capacity (50kW, 3 Phase, 4 Wire & 50kW, 3 Phase, 4 Wire)

Rasio *Oversizing* per Inverter sebesar 65 kW, dengan kapasitas PV sebesar 248,52 kWp maka dibutuhkan empat inverter dengan spesifikasi yang telah ditentukan pada tabel 3.2 dan memiliki max AC Current : 79,8A & 79,8A.



Gambar 4. 2 Konfigurasi PV dan Inverter Gedung 1



Gambar 4. 3 Penempatan Array PV Gedung 1

2. Gedung Dua

Dalam perencanaan gedung satu akan terdapat 116 dapat disusun secara seri untuk mendapatkan tegangan operating voltage range MPPT sebanyak 18 & 20 PV per array, kemudian disesuaikan dengan jumlah PV yang dibutuhkan dan inputan array per inverternya. Berikut perhitungan konfigurasi PV gedung satu pada gambar tabel 4.4 dibawah:

| Konfigurasi PV Gedung 2 | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------|-----------------------|---------|-----------|--------------------------------|----------|-------------------|---------------|---------------|
| No. Array | Type Konfigurasi | Spek Panel Surya / PV | | Jumlah PV | Total V, A, & Daya konfigurasi | | No. Inputan Array | No. MPPT ke - | Inverter ke - |
| | | Vmp (V) | Imp (A) | | Voltage (V) | Arus (A) | | | |
| 1 | Seri | 40,8 | 13,36 | 18 | 734,4 | 13,36 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | | | | | 0 | 0 | 2 | | |
| 3 | | | | | 0 | 0 | 3 | | |
| 4 | Seri | 40,8 | 13,36 | 18 | 734,4 | 13,36 | 4 | 2 | |
| 5 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 5 | 3 | |
| 6 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 6 | | |
| 7 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 7 | 4 | |
| 8 | Seri | 40,8 | 13,36 | 20 | 816 | 13,36 | 8 | | |
| Jumlah PV pada Inverter 1 | | | | 116 | | | | | |
| Jumlah Total PV pada Gedung 2 | | | | 116 | | | | | |

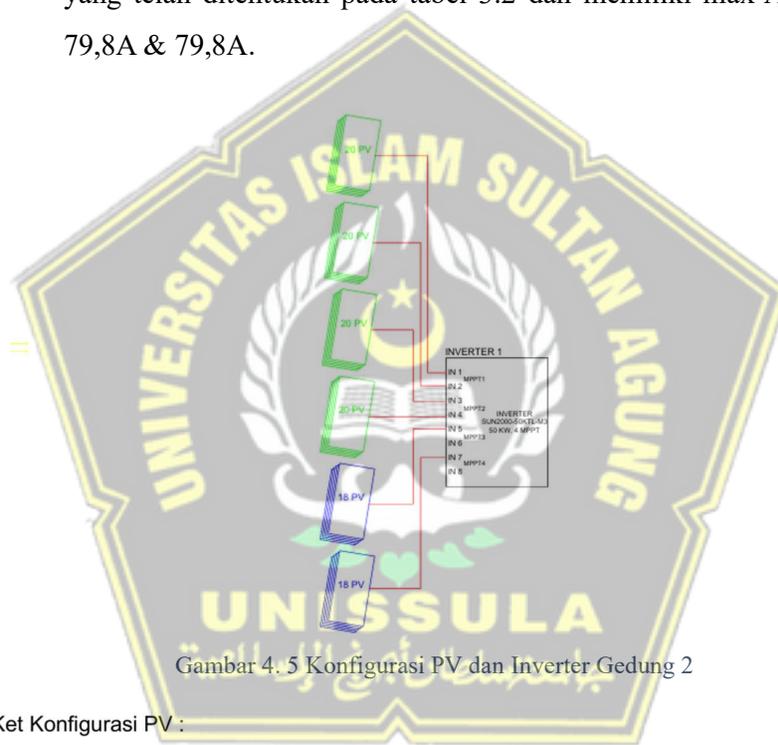
Gambar 4. 4 Tabel Konfigurasi Array PV & Inverter Ged 2

Berdasar perhitungan gambar tabel 4.1 array panel surya disusun secara seri terdapat 8 array panel surya yang setiap 2 array dengan jumlah voltage yang sama akan masuk ke inputan per MPPT. Dengan perhitungan kapasitas PV dan kapasitas inverter sebagai berikut:

a. PV Capacity

- Type PV JINKO Solar JKM545M-72HL4 (545 Wp)

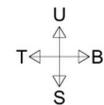
- $20PV \times 4 \text{ Array} \times 545Wp = 43600 Wp \text{ atau } 43,6 kWp$
 - $18PV \times 2 \text{ Array} \times 545Wp = 19620 Wp \text{ atau } 19,62 kWp$
- Total Capacity = 63220 Wp atau 63,22 kWp
- Max DC Current (Array) = 13,36 A
 - Inverter Capacity (50kW, 3 Phase, 4 Wire & 50kW, 3 Phase, 4 Wire)
Rasio Oversizing per Inverter sebesar 65 kW, dengan kapasitas PV sebesar 63,22 kWp maka dibutuhkan satu inverter dengan spesifikasi yang telah ditentukan pada tabel 3.2 dan memiliki max AC Current : 79,8A & 79,8A.



Ket Konfigurasi PV :

= 20 PV

= 18 PV



Gambar 4. 6 Penempatan Array PV Gedung 2

4.3.4 Output Energi PLTS

Perencanaan pembangkitan energi listrik oleh PLTS yang telah dipengaruhi intensitas matahari yang paling rendah pada tabel 4.2 dengan nilai sebesar 4,22 kWh/m²/hari sehingga dengan demikian dapat menghitung energi listrik yang dihasilkan dalam satu tahun dan efisiensi PLTS menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_{in} = \text{Jumlah Panel} \times P_{max} \times t^o \text{ (Wp)}$$

$$= 572 \times 538,84$$

$$= 308.215,78 \text{ Wp}$$

$$= 308,22 \text{ Wp}$$

$$E_{Out}(\text{Hasil PLTS}) = E_{in} \times G_{av} \text{ (kW)}$$

$$= 308.215,78 \times 4,22$$

$$= 1.300.670,59 \text{ Wh}$$

$$= 1.300,67 \text{ kWh}$$

$$\eta(\text{Efisiensi PLTS}) = \frac{E_{Out}}{\text{Pemakaian Rata-rata} E. \text{ Lis harian}}$$

$$= \frac{1.300,67}{8.518,40} \%$$

$$= 15\%$$

Dari perhitungan yang direncanakan dalam sehari PLTS dapat menghasilkan energi listrik yang telah dipengaruhi intensitas matahari sebesar 1.300,67 kWh dan nilai efisiensi PLTS diangka 15 %. Energi listrik PLTS yang dapat dihasilkan dalam satu tahun sebagai berikut:

$$A_{kWh} = E_{Out} \times 365 \text{ (kWh)}$$

$$= 1.300,67 \text{ kWh} \times 365$$

$$= 474.744,76 \text{ kWh / Tahun}$$

4.3.5 Komponen Panel Listrik PLTS

Sebelum menentukan spesifikasi komponen yang ada di dalam panel listrik PLTS diperlukan besaran kabel koneksi penghantar AC, DC dan *Grounding* yang akan digunakan. Untuk menentukan besaran diameter kabel penghantar AC, DC dan *Grounding* perlu mengetahui kuat hantar arus atau arus maksimal sebagai berikut:

1. Penghantar DC

Pada perencanaan sistem PLTS *On – Grid* penghantar DC digunakan pada koneksi antar PV dalam satu array dan dari array PV ke inverter. Untuk menentukan besaran dimensi kabel penghantar DC di perlukan data kuat hantar arus DC. Berdasarkan data tabel 3.1 spesifikasi arus maksimal yang dapat dihasil PV (Imp) sebesar 13,36 A dan PV dalam konfigurasi yang telah ditentukan yaitu konfigurasi seri maka arus maksimal array juga sama dengan 13,36. Sehingga arus maksimal akan dikalikan dengan toleransi 125% sebagai berikut:

$$\begin{aligned} KHA_{DC} &= 1,25 \times I_n (A) \\ &= 1,25 \times 13,36 (A) \\ &= 16,7 A \end{aligned}$$

Dengan besaran KHA DC sebesar 16,7 A maka berdasarkan tabel 2.18 luasan penampang kabel DC akan menggunakan dua kali kabel isi tunggal dengan luasan penampang sebesar 2,5 mm² dan spesifikasi kabel DC H1Z2Z2-K 2 x 1 x 2,5 mm².

2. Penghantar AC

Pada perencanaan sistem PLTS *On – Grid* penghantar AC digunakan pada koneksi dari sisi *Output* Inverter ke panel listrik atau ke panel AC *Combainer*. Berdasarkan data tabel 3.2 spesifikasi dari inverter *output* maksimal arus AC per satu inverter sebesar 79,8 A, dan tiga phase dengan tegangan maksimal

sebesar 400 V, maka dapat ditentukan kuat hantar arus dari inveter ke input MCCB panel AC *Combainer*, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}KHA AC &= 1,25 \times I_n (A) \\ &= 1,25 \times 79,8 (A) \\ &= 99,75 A\end{aligned}$$

Dengan besaran KHA AC pada sisi inverter ke input MCCB panel AC *Combainer* sebesar 99,75 A, maka berdasarkan tabel 2.16 luasan penampang kabel AC akan menggunakan kabel empat inti dengan luasan penampang sebesar 25 mm² atau spesifikasi kabel AC NYY 4 x 25 mm².

Sementara untuk luasan kabel koneksi AC yang ada di dalam panel AC *Combainer* bisa disamakan dengan catatan KHA AC sebesar 99,75 A. Untuk koneksi kabel MCCB *Output* AC *Combainer* atau koneksi kabel MCCB yang menuju ke panel listrik SDP atau MDP dapat didasarkan dari hasil perhitungan KHA total dari empat MCCB inverter sebagai berikut:

$$\begin{aligned}KHA AC Combainer &= KHA AC \times 5 (A) \\ &= 99,75 \times 5 \\ KHA AC Combainer &= 498,75 A\end{aligned}$$

Maka dapat menggunakan kabel empat inti dengan luasan penampang sebesar 240 mm² atau spesifikasi kabel AC NYY 4 x 1 x 400 mm².

3. *Grounding System*

Dalam penentuan luas penampang kabel *grounding* dapat dilihat jenis konduktor apa yang akan dipakai. Untuk perencanaan sistem PLTS ini kabel koneksi *grounding* akan menggunakan kabel inti satu dengan konduktor tembaga tunggal yang berwarna kuning hijau, maka luas penampang yang direkomendasikan minimal 16 mm² atau dengan spesifikasi kabel NYA 1 x 16 mm² dengan warna kuning hijau. Perlu diperhatikan sistem *grounding* akan membuat titik *grounding* tersendiri dan kemudian di parallel dengan sistem *grounding* pada panel listrik yang sudah ada untuk menjaga nilai ohm tetap dibawah lima ohm.

4. Panel AC *Combainer*

Untuk komponen yang ada di dalam panel AC *Combainer* meliputi MCCB, Bus Bar RSTNG, CT, dan lain sebagainya. Penentuan spesifikasi masing – masing Komponen sebagai berikut:

a. MCCB

Isi pada panel AC *Combainer* akan terdapat empat MCCB yang menjadi pengaman dari *output* inverter dan satu MCCB yang akan menjadi pengaman dari *output* panel AC *Combainer* yang menuju ke panel MDP atau SDP panel listrik konvensional.

Speksifikasi MCCB inverter dapat ditentukan dari nilai kuat hantar arus AC yang telah ditentukan sebesar 99,75 A, maka dapat menggunakan MCCB 100 A 4 phase sebanyak lima buah. Sementara untuk MCCB *output* panel AC *Combainer* berdasarkan perhitungan KHA AC *Combainer*. Maka dapat menggunakan spesifikasi MCCB *output* panel AC *Combainer* sebesar 500 A 4 Phase.

b. Busbar

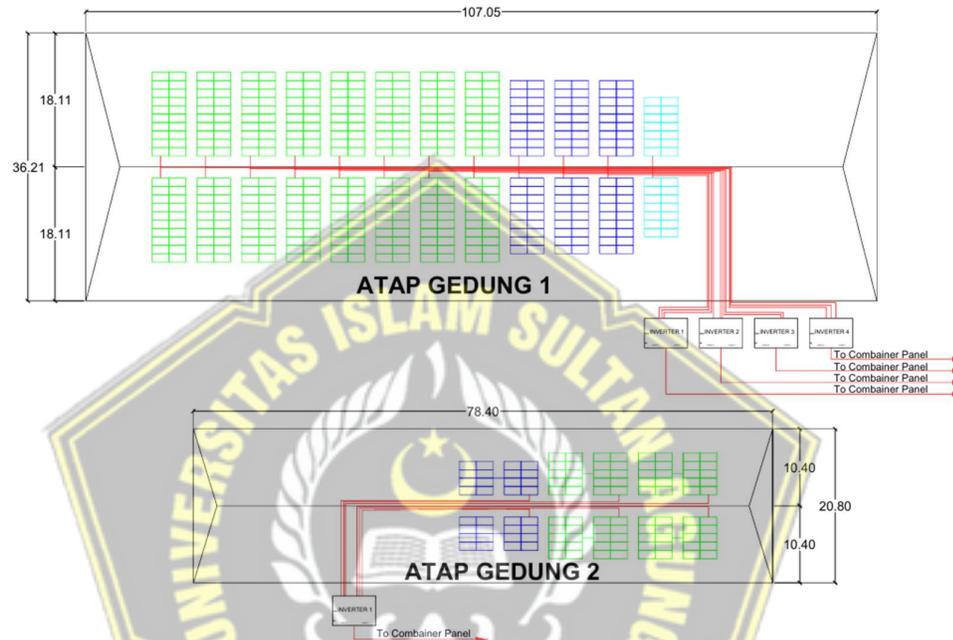
Untuk menentukan luasan dimensi busbar RST dikarenakan total arus yang masuk dari lima MCCB sebesar 498,75 A. maka berdasarkan gambar tabel 2.19 dapat menggunakan busbar RSTN dengan dimensi lebar 20 mm tebal 5 mm dan panjang yang menyesuaikan panel yang ada sebanyak 4 buah atau spesifikasi busbar tembaga 4 x 20 x 5 mm. Dan untuk busbar ground berdasarkan kabel ground yang telah ditentukan sebesar 16mm² dengan arus maksimal di 160 A maka akan menggunakan dimensi lebar 15 mm tebal 3 mm atau spesifikasi busbar tembaga 1 x 15 x 3 mm.

c. CT & Monitoring System

Untuk penentuan CT dapat menggunakan spesifikasi CT 500/5A dan perlu diperhatikan CT yang telah ditentukan akan menyesuaikan sistem monitoringnya. Untuk sistem monitoring akan menggunakan beberapa komponen seperti Revenue Meter Edmi Mk10e Class 0,5 yang digunakan sebagai kWh meter digital yang nanti akan terhubung dengan CT, dan *Smart Logger* 3000 A. *Smart Logger* 3000 A merupakan alat

yang digunakan sebagai alat komunikasi dengan ModBus RS485, serta alat pengumpulan dan penyimpanan data irradiansi, suhu dan data energy yang dihasilkan PLTS.

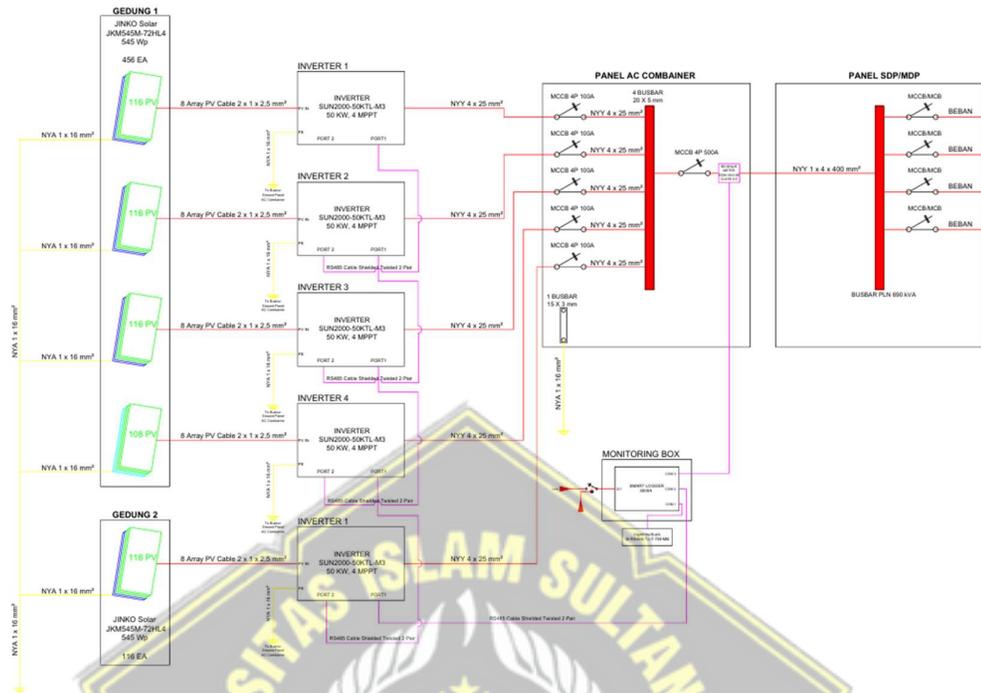
4.3.6 Design Wiring PLTS



Penempatan PV & Inverter Atap Gedung Produksi Polyfoam

Gambar 4. 7 Penempatan Panel Surya Atap dan Inverter Setiap Gedung di Gedung Produksi Polyfoam

Penempatan Panel Surya dan inverter pada setiap gedung polyfoam akan menyesuaikan kondisi yang dilapangan dimana untuk lokasi inverter berada disamping gedung. Untuk lokasi dari panel AC *combiner* akan berada di dekat gedung 2 dikarenakan lokasinya yang paling dekat dengan ruang panel MDP.



Gambar 4. 8 Wiring SLD PLTS Sistem On – Grid

Dalam perencanaan sistem PLTS On – Grid yang telah dirancang *output* dari panel AC *Combiner* akan di *Inject* langsung dengan busbar panel SDP ataupun MDP yang ada dengan daya PLN 690 kVA.

4.4 Analisa Perekonomian

4.4.1 Biaya Siklus Hidup PLTS

Untuk menentukan biaya siklus hidup diperlukan beberapa perhitungan seperti perhitungan biaya investasi awal PLTS, biaya pemeliharaan dan operasional PLTS dan nilai *present value* sepanjang waktu tertentu. Pada perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sistem *On – Grid* ini sudah dapat diketahui jumlah beberapa komponen utama seperti Panel Surya, Inverter dan lain sebagainya. Dengan data – data komponen yang telah ditentukan maka dapat disusun biaya investasi awal pada gambar tabel 4.8 dibawah ini:

| INITIAL INVESTMENT COST - PLTS SYSTEM ON - GRID | | | | | | |
|---|--|---|------|-----|----------------|-------------------------|
| OPE | DESCRIPTION | MERK; SPEK | QTY | SAT | HARGA | |
| | | | | | Satuan | TOTAL HARGA |
| A | Komponen Utama PLTS | | | | | |
| 1 | Panel Surya | Jinko; JKM545M-72HL4 545 Wp | 572 | EA | Rp 3.400.000 | Rp 1.944.800.000 |
| 2 | Inverter | Huawei; SUN2000-50KTL-M3 50 KW, 4 MPPT | 5 | EA | Rp 35.609.000 | Rp 178.045.000 |
| 3 | Monitoring System | Monitoring Box - Smart Logger; 3000A | 1 | SAT | Rp 679.967.000 | Rp 679.967.000 |
| | | kWh - EDM Limited; MK10E CLASS 0,5 | | | | |
| | | Box Panel Monitoring | | | | |
| B | Komponen - komponen lainnya | | | | | |
| 1 | MCCB Inverter | Schneider; 4 Phase - 100A | 5 | EA | Rp 800.000 | Rp 4.000.000 |
| 2 | MCCB Panel AC Combainer | Schneider; 4 Phase - 500A | 1 | Btg | Rp 6.030.000 | Rp 6.030.000 |
| 3 | Busbar RSTN & G(1 x15 x 3) | Tembaga, Lebar 20mm, Tebal 5mm | 4 | EA | Rp 62.500 | Rp 250.000 |
| 4 | Kabel DC (PV to Inverter) | PnTech; H12222-K 2 x 1 x 2,5 mm ² | 4524 | M | Rp 9.500 | Rp 42.978.000 |
| 5 | Kabel AC (Inverter to Panel AC Combainer) | Eterna/Supreme; NYY 4 x 25 mm ² | 90 | M | Rp 215.000 | Rp 19.350.000 |
| 6 | Kabel AC (Panel AC Combainer to MDP Panel) | Eterna/Supreme; NYY 4 x 1 x 400 mm ² | 140 | M | Rp 675.000 | Rp 94.500.000 |
| 7 | Kabel Grounding | Eterna/Supreme; NYA 1 x 16 mm ² | 450 | M | Rp 25.000 | Rp 11.250.000 |
| 8 | Current Transformer (CT) | Larkin LXP-58;400/5 A | 3 | EA | Rp 546.000 | Rp 1.638.000 |
| 9 | Box Panel AC Combainer | ; Spek Outdoor, 80 x 120 x 30 mm | 1 | SAT | Rp 1.950.000 | Rp 1.950.000 |
| C | Akomodasi, Tool Set, dan Komponen Pendukung | | | | | |
| 1 | Biaya Akomodasi | | 1 | AU | Rp 2.000.000 | Rp 2.000.000 |
| 2 | Jasa Pemasangan | | 1 | AU | Rp 75.000.000 | Rp 75.000.000 |
| 3 | Komponen Pendukung | Mur Baut; Skun dll | 1 | AU | Rp 15.000.000 | Rp 15.000.000 |
| 4 | Aksesories Tambahan (Biaya Darurat) | | 1 | AU | Rp 50.000.000 | Rp 50.000.000 |
| 5 | Biaya Maintenance PLTS 5 Tahun Kedepan | | 1 | AU | Rp 155.000.000 | Rp 155.000.000 |
| Total Biaya Investasi | | | | | | Rp 3.126.758.000 |

Gambar 4. 9 Tabel Komponen dan Biaya Investasi PLTS System *On-Grid*

Didapatkan bahwa biaya investasi awal atau *Initial Investment* (II) dikisaran Rp 3.442.115.000 dan untuk perhitungan biaya pemeliharaan dan operasional dapat diperhitungkan dengan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$M = 1\% \times II \text{ (Total Investasi)}$$

$$= 1\% \times \text{Rp } 3.126.758.000$$

$$M = \text{Rp } 31.267.580$$

Didapatkan biaya pemeliharaan dan operasional sebesar Rp 30.900.140 dengan *life time* PLTS sistem *On – Grid* diasumsikan beroperasi sampai dengan 30 tahun. Dengan asumsi PLTS beroperasi 30 tahun kedepan maka perlu diperhitungkan

nilai *present value* selama 30 tahun kedepan dengan mempertimbangkan besaran diskonto (*i*) menggunakan acuan tingkat suku bunga kredit bank Indonesia sebesar 5,75% per tahun menurut keputusan Rapat Dewan Gubernur (RDG) pada 18 – 19 Maret 2025. Dengan demikian nilai *present value* (*Mpw*) dihitung dengan persamaan 2.13 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Mpw &= M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \\
 &= Rp\ 31.267.580 \times \left[\frac{(1+5,75\%)^{30} - 1}{5,75\%(1+5,75\%)^{30}} \right] \\
 &= Rp\ 31.267.580 \times \left[\frac{4,350708372}{0,307665731} \right] \\
 &= Rp\ 31.267.580 \times 14,14102361 \\
 Mpw &= Rp\ 442.155.587
 \end{aligned}$$

Kemudian dapat dihitung LCC (*Life Cycle Cost*) dengan persamaan 2.12 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 LCC &= II + Mpw \\
 &= Rp\ 31.267.580 + Rp\ 442.155.587 \\
 LCC &= Rp\ 3.568.913.587
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan nilai biaya siklus hidup PLTS sistem *On – Grid* PT. HIT Gedung Produksi Polyfoam selama umur proyek 30 tahun sebesar Rp Rp3.568.913.587.

4.4.2 Biaya Energi PLTS

Untuk menentukan biaya energi PLTS yang direncanakan maka diperlu perhitungan factor pemulihann modal (CRF). Dimana nilai CRF akan mengkonversikan nilai LCC menjadi biaya tahunan yang sama. Nilai CRF dapat dihitungan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 CRF &= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\
 &= \frac{0,0575 \times 5,35}{5,35 - 1} \\
 &= \frac{0,30767}{4,35}
 \end{aligned}$$

$$CRF = 0,07072$$

Nilai factor pemulihan modal PLTS sebesar 0,07072 yang nantinya akan dikalikan dengan biaya siklus hidup (LCC) PLTS lalu dibagi dengan AkWh pertahun yang dihasilkan, sehingga dapat diperhitungkan biaya energi (CoE) PLTS dengan persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 CoE &= \frac{LCC \times CRF}{AkWh} \\
 &= \frac{Rp\ 3.568.913.587 \times 0,07072}{474.744,76}
 \end{aligned}$$

$$CoE = Rp\ 531,612 \text{ per kWh}$$

Sehingga didapatkan nilai biaya energi PLTS sistem *On – Grid* PT. HIT Gedung Produksi Polyfoam sebesar Rp 531,612 per kWh.

4.4.3 Kelayakan Investasi PLTS

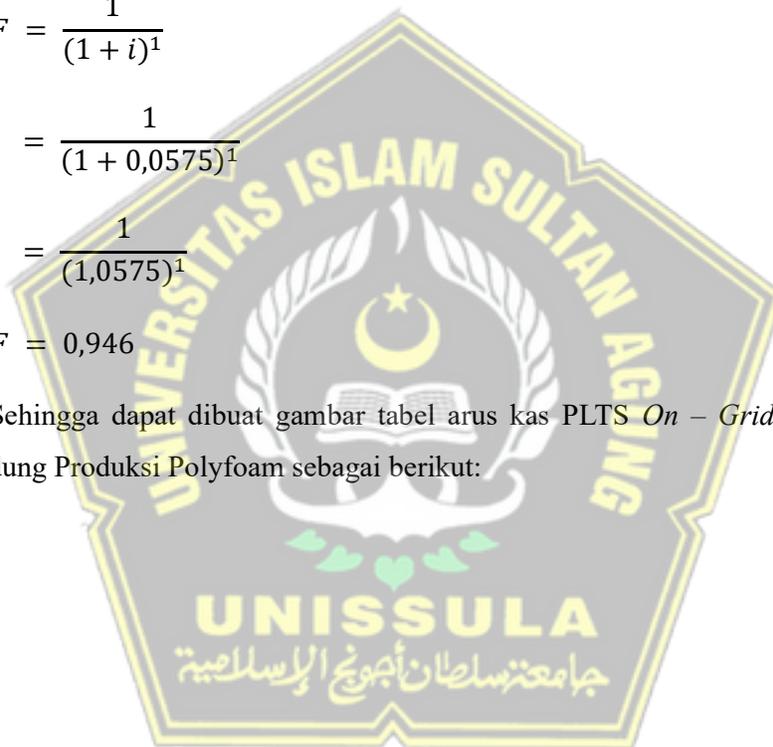
Perencanaan PLTS sistem *On – Grid* di PT. HIT Gedung Produksi Polyfoam yang telah ditentukan. Di asumsikan akan berjalan sesuai dengan biaya investasi awal. Dimana periode lima tahun awal biaya pemeliharaan dan operasional sudah *include* pada biaya investasi awal. Untuk mengetahui kelayakan investasi PLTS dapat dihitung menggunakan tiga metode yaitu NPV, PI, dan DPP. Sebelum dapat memperhitungkan tiga metode tersebut dibutuhkan tabel arus kas proyek PLTS ini.

Tabel arus kas terdiri dari arus kas masuk, arus kas keluar, *Net Cash Flow* (NCF) atau arus kas bersih, Diskonto Faktor (DF), *Present Value Net Cash Flow*

(PVNCF) atau nilai arus kas bersih pada periode – n, dan kumulatif PVNCF atau penjumlahan NCF dari tahun 1 sampai tahun ke – n. Arus kas masuk dapat dihitung dengan mengalikan kWh tahunan (AkWh) sebesar 474.744,76 kWh/tahun dengan biaya energi yang PLTS sebesar Rp 531,612, maka arus kas masuk sebesar Rp 252.380.144,83. Untuk arus kas keluar diambil dari nilai biaya pemeliharaan dan operasional sebesar Rp 31.267.580. Sementara untuk contoh Diskonto Faktor dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 DF &= \frac{1}{(1 + i)^1} \\
 &= \frac{1}{(1 + 0,0575)^1} \\
 &= \frac{1}{(1,0575)^1} \\
 DF &= 0,946
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat dibuat gambar tabel arus kas PLTS *On – Grid* di PT. HIT Gedung Produksi Polyfoam sebagai berikut:



| Periode | Intitial Invesment | Arus Kas Masuk | Arus Kas Keluar | NCF | DF | PVNCF | Kumulatif PVNCF |
|---------|--------------------|------------------|------------------|------------------|-------|------------------|--------------------|
| 0 | Rp 3.126.758.000 | Rp252.380.144,83 | | | 1 | | |
| 1 | | Rp252.380.144,83 | | Rp252.380.144,83 | 0,946 | Rp238.657.347,35 | Rp225.680.706,72 |
| 2 | | Rp252.380.144,83 | | Rp252.380.144,83 | 0,894 | Rp225.680.706,72 | Rp451.361.413,43 |
| 3 | | Rp252.380.144,83 | Free Maintenance | Rp252.380.144,83 | 0,846 | Rp213.409.651,74 | Rp664.771.065,18 |
| 4 | | Rp252.380.144,83 | | Rp252.380.144,83 | 0,800 | Rp201.805.817,25 | Rp866.576.882,43 |
| 5 | | Rp252.380.144,83 | | Rp252.380.144,83 | 0,756 | Rp190.832.924,11 | Rp1.057.409.806,54 |
| 6 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,715 | Rp158.099.743,74 | Rp1.215.509.550,28 |
| 7 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,676 | Rp149.503.303,77 | Rp1.365.012.854,05 |
| 8 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,639 | Rp141.374.282,53 | Rp1.506.387.136,57 |
| 9 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,605 | Rp133.687.264,80 | Rp1.640.074.401,37 |
| 10 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,572 | Rp126.418.217,30 | Rp1.766.492.618,68 |
| 11 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,541 | Rp119.544.413,53 | Rp1.886.037.032,20 |
| 12 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,511 | Rp113.044.362,67 | Rp1.999.081.394,87 |
| 13 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,483 | Rp106.897.742,48 | Rp2.105.979.137,35 |
| 14 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,457 | Rp101.085.335,68 | Rp2.207.064.473,03 |
| 15 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,432 | Rp95.588.969,91 | Rp2.302.653.442,94 |
| 16 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,409 | Rp90.391.460,91 | Rp2.393.044.903,85 |
| 17 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,387 | Rp85.476.558,78 | Rp2.478.521.462,63 |
| 18 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,366 | Rp80.828.897,19 | Rp2.559.350.359,81 |
| 19 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,346 | Rp76.433.945,33 | Rp2.635.784.305,15 |
| 20 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,327 | Rp72.277.962,49 | Rp2.708.062.267,64 |
| 21 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,309 | Rp68.347.955,07 | Rp2.776.410.222,71 |
| 22 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,292 | Rp64.631.636,00 | Rp2.841.041.858,71 |
| 23 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,276 | Rp61.117.386,29 | Rp2.902.159.245,00 |
| 24 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,261 | Rp57.794.218,71 | Rp2.959.953.463,71 |
| 25 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,247 | Rp54.651.743,47 | Rp3.014.605.207,18 |
| 26 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,234 | Rp51.680.135,66 | Rp3.066.285.342,84 |
| 27 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,221 | Rp48.870.104,65 | Rp3.115.155.447,49 |
| 28 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,209 | Rp46.212.864,91 | Rp3.161.368.312,41 |
| 29 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,198 | Rp43.700.108,67 | Rp3.205.068.421,07 |
| 30 | | Rp252.380.144,83 | Rp 31.267.580 | Rp221.112.564,83 | 0,187 | Rp41.323.979,83 | Rp3.246.392.400,90 |

Gambar 4. 10 Tabel Arus Kas PLTS

1. *Net Present Value* (NPV)

Nilai NPV jika mendapat hasil positif maka dapat dikata perhitungan invetasi proyek PLTS yang akan direncanakan akan memberikan keuntungan sampai periode yang telah diperhitungkan. Perhitungan NPV dapat dituliskan dengan persamaan 2.16 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 NPV &= \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - II \\
 &= Rp 3.246.392.400,90 - Rp 3.126.758.000 \\
 NPV &= Rp 119.634.400,90
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan NPV pada proyek perencanaan PLTS sistem *On – Grid* PLTS *On – Grid* di PT. HIT Gedung Produksi Polyfoam bernilai positif (+) senilai Rp 119.634.400,90. Sehingga dapat di kata perencanaan PLTS ini layak di implementasikan.

2. *Profitability Index* (PI)

Untuk nilai PI jika nilainya dibawah atau kurang dari 1 (<1), maka dinilai investasi yang akan direncanaan tidak layak. Jika nilai lebih dari 1 (>1), maka

dinilai investasinya layak untuk direalisasikan. Perhitungan PI dapat dituliskan dengan persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}PI &= \frac{\sum_{t=i}^n NCF_t(1+i)^{-t}}{II} \\ &= \frac{Rp\ 3.246.392.400,90}{Rp\ 3.126.758.000}\end{aligned}$$

$$PI = 1,04$$

Dari hasil perhitungan PI didapat nilai sebesar 1,04 yang dimana nilai lebih dari 1 (>1), maka investasi proyek PLTS dinyatakan layak.

3. *Discounted Payback Periode (DPP)*

Apabila nilai DPP tidak melebihi umur proyek maka investasi dapat dikata layak. Untuk perhitungan DPP dapat dituliskan dengan persamaan 2.18 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}DPP &= Year\ Before\ Return + \frac{II}{NPV\ Kumulatif} \\ &= 27 + \frac{Rp\ 3.126.758.000}{Rp3.115.155.447,49}\end{aligned}$$

$$DPP = 28,004$$

Didapatkan nilai perhitungan DPP senilai 28,004 tahun atau ± 28 Tahun yang artinya Investasi PLTS ini dinyatakan layak karena memiliki periode lebih pendek dari umur proyek.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian terkait analisa perencanaan dan analisa ekonomi dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya di PT. Hartono Istana Teknologi Gedung Produksi Polyfoam Kudus dapat diambil Kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk dapat mengurangi konsumsi energi listrik konvensional di PT. HIT Gedung Produksi Polyfoam Kudus dapat dilakukan dengan mengimplementasikan PLTS dengan sistem *On – Grid*. Didapatkan hasil perhitungan dengan beban yang akan *dicover* PLTS kurang lebih 15% dari beban puncak per harinya di angka 8.518,4 kWh adalah 1.277,76 kWh.
2. Perencanaan PLTS sistem *On – Grid* PT. HIT Gedung Produksi Polyfoam Kudus membutuhkan luas *roof top* untuk array panel surya pada gedung 1 luasan array sebesar 1177,82m² dengan daya pembangkitan sebesar 248,52 kWp dan pada gedung 2 luasan array sebesar 299,62m² dengan daya pembangkitan sebesar 63,22kWp sehingga luasan array total sebesar 1.477,44 m² dan daya pembangkitan total sebesar 311,74kWp. Sehingga didapatkan *Output* Energi per tahun yang dihasilkan PLTS sebesar 474.744,76 kWh/Tahun
3. Perencanaan PLTS ini menggunakan PV Jinko Monocrystalline 545 Wp dan Inverter SUN2000-50KTL-M3 50 kW sehingga total panel surya sejumlah 572, 456 PV dan 4 Inverter pada gedung 1 serta 116 PV dan 1 Inverter pada gedung 2 dengan konfigurasi antar PV di Seri 14 – 20 PV tiap stringnya.
4. Dengan pengasumsian operasional proyek PLTS 30 Tahun kedepan. Perhitungan analisa ekonomi yang didapatkan nilai Biaya Siklus Hidup PLTS sebesar Rp 3.568.913.587, Biaya Energi PLTS sebesar Rp 531,612/kWh dan ketiga metode yang digunakan untuk menilai kelayakan investasi proyek PLTS ini menyatakan layak seperti hasil NPV 30 Tahun kedepan bernilai (+) sebesar Rp 119.634.400,90, nilai PI yang lebih dari 1 yaitu 1,04 dan DPP yang balik modal sebelum umur proyek di tahun ke 28.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Akšamović, A., Konjicija, S., Odžak, S., Pašalić, S., & Grebović, S. (2022). DC Cabling of Large-Scale Photovoltaic Power Plants. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/app12094500>
- [2]. Al-Ezzi, A. S., & Ansari, M. N. M. (2022). Photovoltaic Solar Cells: A Review. *Applied System Innovation*, 5(67), 1–17. <https://doi.org/10.3390/asi5040067>
- [3]. Al Dulaimi, N. H., & Alkhalidi, A. A. T. (2018). *Design of an Off-Grid Solar PV System for a Rural Shelter Presented by* (Issue January) [German Jordanian University]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24352.07689>
- [4]. ALKHOLISH, M. C. (2023). *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Dengan Sistem On-Grid Di Cv. Qirana Meubel Jepara*. [http://repository.unissula.ac.id/30021/%0Ahttp://repository.unissula.ac.id/30021/1/Teknik Elektro 30601800028_fullpdf.pdf](http://repository.unissula.ac.id/30021/%0Ahttp://repository.unissula.ac.id/30021/1/Teknik%20Elektro%2030601800028_fullpdf.pdf)
- [5]. Amalia, D., Abdillah, H., & Hariyadi, T. W. (2022). Analisa Perbandingan Daya Keluaran Panel Surya Tipe Monokristalin 50wp Yang Dirangakai Seri Dan Paralel Pada Instalasi Plts Off-Grid. *Jurnal Elektro Dan Mesin Terapan*, 8(1), 12–21. <https://doi.org/10.35143/elementer.v8i1.5187>
- [6]. Badan Pusat Statistik. (2022). *Neraca Arus Energi Dan Neraca Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia Badan Pusat Statistik Bps-Statistics Indonesia*. 120.
- [7]. Burhandono, A., Windarta, J., & Sinaga, N. (2022). Perencanaan PLTS Roof Top *On-Grid* Untuk Gedung Kantor PLTU Amurang Sebagai Upaya Mengurangi Auxiliary Power dan Memperbaiki Nilai Nett Plant Heat Rate Pembangkit. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(2), 61–79. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13051>
- [8]. DONNERGY. (2024). *Microinverters vs String Inverters vs Hybrid Inverters vs off Grid Inverter, How to choose?* Donnergy.Com.

<https://donnergy.com/blog/microinverters-vs-string-inverters-vs-hybrid-inverters-vs-off-grid-inverter-how-to-choose.html>

- [9]. *Electric cables for photovoltaic systems (BT(DE/NOT)258) / EN 50618: Vol. EN50618:20*. (2014). CENELEC.
- [10]. Hakim, A. F. K., Sholihah, F., Ismawati, R., & Dewantari, N. (2022). Potensi dan Pemanfaatan Energi Panas Bumi di Indonesia. *Indonesian Journal of Conservation*, 2(11), 71–77. <https://doi.org/10.15294/ijc.v11i2.40599>
- [11]. Hariyati, R., Qosim, M. N., & Hasanah, A. W. (2019). Konsep Fotovoltaik Terintegrasi *On-Grid* dengan Gedung STT-PLN Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah. *Energi Dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah*, 11(1), 17–26.
- [12]. Jannah, H. H. N., Styana, U. I. F., Kurniawan, A., & Hindarti, F. (2023). Analisis Teknik dan Ekonomi Perencanaan PLTS Rooftop Sistem *On-Grid* di SDN 1 Temuwuh. *Prosising Webinar ITY Green Technology*, 55–69.
- [13]. Lestari, A. E. P., & Oetomo, P. (2021). Analisis Pemilihan Penghantar Tenaga Listrik Paling Efisien Pada Gedung Bertingkat. *Sinusoida*, 23(2), 61–68. <https://doi.org/10.37277/s.v23i2.1122>
- [14]. Muhammad Abdul Mumin. (2023). *Studi Perencanaan Panel Surya Untuk Kebutuhan Petani Sebagai Pengusir Hama Babi Liar Yang Takut Cahaya Di Ladang Desa Pasir Pernalang*.
- [15]. Nasional, B. S. (2011). Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011) Amandemen 1 2013. In *DirJen Ketenagalistrikan*.
- [16]. Nurbany, G., Nufus, T. H., & Abadi, S. (2024). *Analisa Finansial Perancangan Sistem PLTS Atap OFF- Grid Untuk Suplai Utama Kebutuhan Listrik Pada Rumah Tinggal Kapasitas 14 , 15 KWP*. 374–380.
- [17]. *Pentingnya rangkaian penyambung (combiner box) dalam sistem panel surya*. (2024). Gurumuda.Net. <https://gurumuda.net/plts/pentingnya-rangkaian-penyambung-combiner-box-dalam-sistem-panel-surya.htm>

- [18]. Sianipar, R. (2017). Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jetri : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 11, 61–78. <https://doi.org/10.25105/jetri.v11i2.1445>
- [19]. Strauss, M. (2021). Analisa Hubungan Seri Dan Paralel Terhadap Karakteristik Solar Sel Di Kota Medan. *R E L E RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 3, No. 2, Januari 2021 (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : *Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 88–109. <https://doi.org/10.1007/bf02598062>
- [20]. Sutrisno, T., Dinata, S., & Nurtiyanto, W. A. (2023). Perancangan Panel Distribusi Daya Listrik (SDP) Untuk Gedung Kampus Universitas Sutomo. *EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control*, 5(2), 177. <https://doi.org/10.32493/epic.v5i2.27538>
- [21]. Syahrir, W. (2023). Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Sistem *On-Grid* di Gedung Kantor Pelabuhan PT. Pupuk Kalimantan Timur. *Journal Syntax Idea*, 6(1), 2375–2382.
- [22]. Ta'ali, T., Pulungan, A. B., Hambali, H., & Shalvadila, S. (2021). Analisis Sistem Grounding Di Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 7(2), 320. <https://doi.org/10.24036/jtev.v7i2.114819>
- [23]. Tan, J., Jia Shuyue, & Ramakhirsnam Seeram. (2022). *End-of-Life Photovoltaic Modules*. 15(5113), 1–16.
- [24]. Vidhia Kumara, K., Satya Kumara, I. N., & Ariastina, W. G. (2018). Tinjauan Terhadap Plts 24 Kw Atap Gedung Pt Indonesia Power Pesanggaran Bali. *Jurnal SPEKTRUM*, 5(2), 26. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2018.v05.i02.p04>
- [25]. Widiharsa, F. A. (2006). Karakteristik Panel Surya dengan Variasi Intensitas Radiasi dan Temperatur Permukaan Panel. *Transmisi*, 4, 233–242. <https://jurnal.unmer.ac.id/index.php/jtmt/article/view/4457>