

**STUDI PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGASURYA  
KAPASITAS 2000 Wp UNTUK SUMBER TENAGA CADANGAN  
LANTAI 2, 3, DAN 4 GEDUNG FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**HENDRIK SIANTURI  
148120024**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2021**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 15/12/21

Access From (repository.uma.ac.id)15/12/21

**STUDI PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA  
KAPASITAS 2000 Wp UNTUK SUMBER TENAGA CADANGAN  
LANTAI 2, 3, DAN 4 GEDUNG FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area



**OLEH:**

**HENDRIK SIANTURI  
148120024**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2021**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 15/12/21

Access From (repository.uma.ac.id)15/12/21

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Studi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya  
Kapasitas 2000Wp Untuk Sumber Tenaga Cadangan  
Lantai 2, 3, Dan 4 Gedung Fakultas Teknik Universitas  
Medan Area

Nama : Hendrik Sianturi

NPM : 148120024

Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh Komisi Pembimbing



Dr. Ir. Dina Maizana, MT  
Pembimbing I



Syarifah Muthia Putri, ST., MT  
Pembimbing II



Dr. Ir. Dina Maizana, MT  
Dekan AS TEKNIK



Syarifah Muthia Putri, ST., MT  
PRODI TEKNIK ELEKTRO

Tanggal Lulus: 18 Januari 2021

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi – sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 18 Januari 2021



Hendrik Sianturi  
148120024

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hendrik Sianturi

NPM : 148120024

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

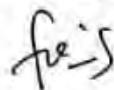
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Studi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 2000Wp Untuk Sumber Tenaga Cadangan Lantai 2, 3, Dan 4 Gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 01 Pebruari 2021



Hendrik Sianturi

## ABSTRAK

Energi surya merupakan sumber energi yang ramah lingkungan. Pemanfaatan energi surya untuk membangkitkan listrik antara lain (1) tidak bergantung pada ketersediaan fosil, (2) tidak memerlukan bahan bakar, (3) tidak menghasilkan emisi karbon yang membahayakan lingkungan, (4) perawatan lebih mudah, dan (5) memiliki umur lebih panjang karena tidak ada bagian yang bergerak. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada lantai 2,3, dan 4 gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area adalah sebagai sumber tenaga cadangan. Sumber tenaga cadangan yang dimaksud adalah apabila terjadi trip dari sumber PLN, PLTS digunakan sebagai sumber listrik untuk setidaknya setiap proyektor disetiap ruang kelas sehingga proses perkuliahan tidak terganggu. PLTS sebagai sumber tenaga cadangan dirancang untuk menyuplai setidaknya 20% dari kebutuhan daya. Kebutuhan daya pada lantai 2, 3, dan 4 gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area adalah 8.834 watt, sehingga PLTS yang dirancang adalah PLTS dengan kapasitas 2000Wp. Konfigurasi PLTS yang dirancang adalah kombinasi antara sistem *on-grid* dan *off-grid*. Panel surya yang digunakan pada perancangan PLTS ini adalah sebanyak 10 buah yang disusun seri 2 buah dan Paralel 5 buah, dan diletakkan pada atap gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Biaya investasi yang dihabiskan dalam perancangan PLTS ini adalah sebesar Rp 84.885.000,00. Penggunaan PLTS ini menghemat biaya listrik sampai dengan 18% setiap bulannya atau sebesar Rp 545.229,78 setiap bulan. Berdasarkan perhitungan ROI (*Return of Investment*), *payback period* hanya selama 13 tahun, serta keuntungan sebesar RP 45.799.301,00 setelah pemakaian 20 tahun.

Kata Kunci: Kebutuhan daya, modul fotovoltaik, sistem *on-grid*, tenaga surya.

## ABSTRACT

Solar energy is an environmentally friendly energy source. The use of solar energy to generate electricity includes (1) does not depend on the availability of fossils, (2) does not require fuel, (3) does not produce carbon emissions that endanger the environment, (4) maintenance is easier, and (5) has a longer lifespan. long because there are no moving parts. Planning a Solar Power Plant (PLTS) on the 2,3 and 4 floors of the Medan Area University Faculty of Engineering building is a source of backup power. The backup power source in question is that in the event of a trip from a PLN source, PLTS is used as a source of electricity for at least every projector in every classroom so that the lecture process is not interrupted. PLTS as a backup power source is designed to supply at least 20% of power needs. The power requirement on the 2nd, 3rd, and 4th floors of the Medan Area University Faculty of Engineering building is 8,834 watts, so the PLTS designed is PLTS with a capacity of 2000Wp. The PLTS configuration designed is a combination of on-grid and off-grid systems. There are 10 solar panels used in the design of this PLTS, which are arranged in 2 series and 5 parallel units, and are placed on the roof of the building of the Faculty of Engineering, Medan Area University. The investment cost spent in designing this PLTS is IDR 84,885,000.00. The use of PLTS saves electricity costs up to 18% per month or Rp. 545,229.78 per month. Based on the calculation of ROI (Return of Investment), the payback period is only for 13 years, and a profit of IDR 45,799,301.00 after 20 years of use.

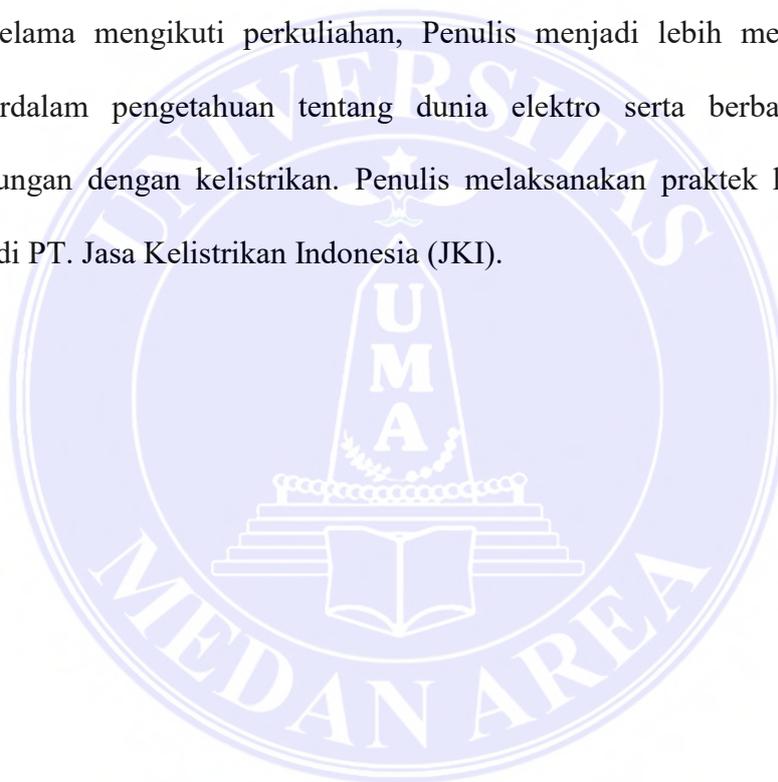
Keywords: On-grid systems, photovoltaic modules, power requirements, solar power.

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Tanjung Balai Pada tanggal 07 Desember 1994 dari ayah R. Sianturi dan ibu R. Br. Regar. Penulis merupakan putra keempat dari enam bersaudara.

Tahun 2012 Penulis lulus dari SMA Swasta Methodist-2 Kisaran dan pada tahun 2014 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Selama mengikuti perkuliahan, Penulis menjadi lebih memahami Serta memperdalam pengetahuan tentang dunia elektro serta berbagai hal yang berhubungan dengan kelistrikan. Penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PT. Jasa Kelistrikan Indonesia (JKI).



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena karena rahmat, karunia, serta petunjuk-Nya penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian ini. Saya mengucapkan terimakasih kepada Bapak/Ibu dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan saya selama proses pembuatan proposal penelitian ini. Tidak lupa juga saya berterimakasih atas bantuan dari segala pihak yang turut berkontribusi dalam penyusunan proposal ini baik materi maupun pikiran.

Tujuan dari pembuatan penelitian ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan program studi sarjana teknik elektro. Secara khusus, penelitian ini dibuat agar dapat membantu mengembangkan dan mencapai target bauran energi baru terbarukan.

Oleh sebab itu, saya mengharap adanya saran, kritik, serta usulan yang membangun demi perbaikan struktur maupun isi dari penelitian ini, agar saya dapat menjadikannya lebih baik di hari yang akan datang.

Sekiranya penelirian yang telah disusun ini dapat berguna bagi saya sendiri maupun orang yang membacanya. Saya sadar akan keterbatasan pengetahuan dan pengalaman saya. Akhir kata, saya mohon maaf apabila terdapat kesalahan kata-kata yang kurang berkenan dan memohon masukan dari pembaca. Terimakasih.

Medan, Oktober 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>ABSTRAK</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Metode Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>8</b>
2.1 Efek Fotovoltaik	8
2.2 Daya dan Energi Listrik	10
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	12
2.4 Komponen Utama PLTS	14
2.5 Konfigurasi Sistem PLTS <i>Off-Grid</i> dan <i>On-Grid</i>	23
2.6 Sistem <i>Net-Metering</i>	25
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>27</b>
3.1 Flowchart Penelitian	27
3.2 Perhitungan Kebutuhan Daya pada Lantai 2, 3, dan 4 Gedung Fakultas Teknik	28
3.3 Potensi Cahaya Matahari Universitas Medan Area	31
3.4 Konfigurasi Sistem PLTS	33
3.5 Penentuan Komponen Utama Perancangan PLTS	33

3.6 Perencanaan PLTS On Grid Pada Lantai 2, 3, dan 4 Gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area	43
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>45</b>
4.1 Analisis Cadangan Daya	45
4.2 Analisis Perbandingan Biaya	46
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>49</b>
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>50</b>



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Struktur Panel Fotovoltaik	9
Gambar 2. 2 Komponen PLTS	13
Gambar 2. 3 Instalasi Modul Fotovoltaik	15
Gambar 2. 4 Sudut Azimut Modul PV	16
Gambar 2. 5 Instalasi Inverter Jaringan	19
Gambar 2. 6 Bank Baterai	20
Gambar 2. 7 Solar Charge Controller	22
Gambar 2. 8 PLTS Off-Grid dan On-Grid	24
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian	27
Gambar 3.2 Informasi Lokasi Fakultas Teknik UMA	31
Gambar 3.3 Data Irradiasi Matahari UMA	32
Gambar 3.4 Rangkaian Modul Fotovoltaik	34
Gambar 3.5 Koneksi Panel Surya dengan Konektor MC4	35
Gambar 3.6 Sudut Azimut dan Sudut Inklinasi Modul Fotovoltaik	36
Gambar 3.7 Bagian Penyangga Fotovoltaik	37
Gambar 3.8 Detail Pemasangan Modul Fotovoltaik	37
Gambar 3.9 Rangkaian Bank Baterai	39
Gambar 3.10 Wiring Diagram Perencanaan PLTS On-Grid dan Off-Grid	43
Gambar 3.11 Denah Letak Komponen PLTS	44

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Besar Konsumsi Energi per Hari	11
Tabel 2.2 Pertimbangan Pemilihan Sistem PLTS	25
Tabel 3.1 Kebutuhan Daya Lantai 2	28
Tabel 3.2 Kebutuhan Daya Lantai 3	29
Tabel 3.3 Kebutuhan Daya Lantai 4	30
Tabel 3.4 Total Kebutuhan Daya Listrik	31
Tabel 3.5 Kebutuhan Kabel Penghantar	42
Tabel 3. 6 Komponen Perancangan PLTS	42
Tabel 4.1 Tabel Daya Proyektor dan Stop Kontak	45
Tabel 4.2 Anggaran Biaya PLTS	46
Tabel 4.3 Anggaran Biaya PLN	47



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi listrik menjadi kebutuhan utama dalam hampir seluruh kegiatan di dunia saat ini. Kebutuhan energi listrik akan meningkat seiring meningkatnya angka pertumbuhan penduduk. Ketersediaan energi listrik saat ini masih mengandalkan sumber energi konvensional yang tidak terbarukan atau konvensional. Sumber energi konvensional yang dimaksud adalah minyak bumi, gas, dan batubara yang tidak dapat terbarukan dan suatu hari akan habis. Sumber energi konvensional menghasilkan sejumlah emisi karbon ke atmosfer bumi. Melihat tingginya kebutuhan energi listrik dunia maka emisi karbon yang akan dihasilkan juga akan bertambah banyak. Emisi karbon inilah yang menjadi salah satu penyebab pemanasan global dan menyebabkan polusi air dan udara. Kerusakan lingkungan dan keterbatasannya mengharuskan menghentikan ketergantungan atas sumber energi konvensional. Kita harus mulai beralih pada sumber energi baru terbarukan (EBT) seperti tenaga surya, angin, air, biomassa, panas bumi, dan tidal.

Total potensi EBT yang dimiliki Indonesia mencapai angka 442 GW untuk pembangkit listrik. Potensi tenaga surya di Indonesia memiliki porsi terbesar dengan nilai 208 GWp. Walaupun demikian pemanfaatan EBT untuk pembangkit listrik tahun 2018 sebesar 8,8 GW atau 14% dari total kapasitas pembangkit listrik yaitu sebesar 64,5 GW dan hanya 2% dari total potensi EBT di Indonesia (Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019). Angka tersebut dapat dikategorikan sangat rendah dibandingkan dengan nilai potensi EBT yang dimiliki

Indonesia. Untuk meningkatkan angka tersebut, Indonesia dalam Rencana Umum Energi Negara (RUEN) memiliki target penggunaan EBT di bauran energi nasional sebesar 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2030. Selain itu, pemerintah pusat dan/atau pemerintah daerah dapat memberikan dukungan berupa pemberian insentif fiskal, kemudahan perizinan dan nonperizinan dalam rangka penyediaan tenaga listrik sesuai Perpres No.4 Tahun 2016 Pasal 14 tentang Percepatan Infrastruktur Ketenagalistrikan (IESR, 2017).

Pemakaian energi listrik yang berasal dari sumber terbarukan seperti sinar matahari merupakan konsep yang luar biasa. Keuntungan dari pemanfaatan energi surya dalam pembangkitan energi listrik antara lain (1) konsepnya mudah, (2) tidak memerlukan bahan bakar, (3) tidak menghasilkan emisi karbon yang membahayakan lingkungan, (4) perawatan lebih mudah, (5) memiliki umur lebih panjang karena tidak ada bagian yang bergerak, dan (6) tidak bergantung pada ketersediaan fosil. Azhar Kamal (2016) menyatakan bahwa keuntungan dari energi matahari akan membuat ketahanan energi nasional lebih baik. Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang selalu mendapat sinar matahari sepanjang tahun menjadikannya sangat sesuai untuk penggunaan energi listrik tenaga surya. Walaupun demikian Indonesia saat ini hanya memanfaatkan 0,04% dari total potensi energi surya yaitu 78,5 MW dari total 207,898 MW. Minimnya pemanfaatan EBT terutama energi surya untuk ketenagalistrikan disebabkan masih relatif tingginya harga produksi pembangkit berbasis EBT dibandingkan dengan pembangkit fosil terutama batubara. Selain itu, kurangnya dukungan industri dalam negeri terkait komponen pembangkit energi terbarukan serta masih

sulitnya mendapatkan pendanaan berbunga rendah, juga menjadi penyebab terhambatnya pengembangan energi terbarukan (IESR, 2017).

Berdasarkan hubungannya dengan sistem jaringan listrik yang ada pembangkit listrik tenaga surya memiliki dua jenis sistem pemasangan yaitu sistem PLTS *off grid* dan sistem PLTS *on grid*. Sistem PLTS *off grid* merupakan sistem PLTS yang berdiri sendiri atau biasa disebut stand alone sistem ini beroperasi secara independen tanpa terhubung dengan jaringan PLN. Sedangkan sistem PLTS *on grid* adalah sistem PLTS yang beroperasi bersamaan dengan PLN. sistem PLTS *on grid* bekerja bersamaan dengan sumber daya dari PLN dalam memenuhi kebutuhan beban listrik, dimana PLTS *on grid* bisa saja menjadi backup atau pun menjadi sumber utama. untuk kondisi beban yang sangat bergantung dengan ketersediaan energi listrik maka sistem PLTS yang sesuai adalah sistem PLTS *on grid* dimana PLTS bekerja sebagai sumber energi cadangan apabila sumber energi dari PLN tidak bekerja dengan baik. Pemanfaatan PLTS *on grid* sebagai sumber tenaga cadangan dapat menjadi salah satu cara untuk mengurangi penggunaan bahan bakar konvensional yang biasanya dipakai sebagai bahan utama menyalakan generator set atau genset.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Muhammad Rizal Irhami pada tahun 2020 dengan judul Studi Analisis Perencanaan Instalasi Kelistrikan Yang Efisien Di Gedung Fakultas Teknik UMA berfokus pada ruang biro mahasiswa teknik di lantai 1 gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Peneliti sebelumnya tidak merencanakan sistem untuk lantai 2, 3, dan 4. Penelitian ini akan melanjutkan penelitian yang telah dilakukan Muhammad Rizal Irhami, dimana penelitian ini

akan memfokuskan perancangan PLTS pada lantai 2, 3, dan 4 gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas, penulis mengajukan penelitian dengan judul, “***STUDI PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA KAPASITAS 2000Wp UNTUK SUMBER TENAGA CADANGAN LANTAI 2, 3, DAN 4 GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MEDAN AREA***”.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah spesifikasi kebutuhan listrik (besar daya dan energi) lantai 2, 3, dan 4 gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area?
2. Bagaimanakah desain sistem PLTS yang sesuai untuk sumber tenaga cadangan lantai 2, 3, dan 4gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area?
3. Bagaimanakah perbandingan biaya pemakaian listrik (untung/rugi) sebelum dan sesudah pemasangan PLTS?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai sumber tenaga cadangan untuk lantai 2, 3, dan 4gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

2. Menentukan biaya investasi yang dikeluarkan untuk rancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Sejalan dengan tujuan masalah yang telah ditetapkan, maka penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menentukan kebutuhan listrik Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
2. Mendesain sistem PLTS yang cocok dan sesuai sebagai sumber tenaga cadangan untuk lantai 2, 3, dan 4 gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

#### 1.5 Metode Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan bahan referensi yang berkaitan dengan PLTS. Hal ini dilakukan agar penulis memperoleh informasi maupun data yang diperlukan dalam penyusunan skripsi ini. Referensi yang dikumpulkan dapat berupa buku, jurnal, artikel, *paper*, ataupun makalah baik dalam bentuk media cetak maupun media elektronik.

2. Analisis dan Perancangan

Pada tahap ini dilakukan untuk mengolah data dan informasi yang diperoleh dari hasil studi literatur untuk menghasilkan solusi terbaik dari permasalahan.

Data dan informasi tersebut digunakan juga untuk menganalisis kebutuhan beban, mendesain sistem, menentukan komponen, dan merancang konfigurasi PLTS.

### 3. Pengujian

Pada tahap ini dilakukan pengujian kinerja sistem dalam menghasilkan energi dan melayani beban secara optimal baik dalam kondisi modul fotovoltaik bekerja maupun kondisi modul fotovoltaik tidak bekerja.

### 4. Dokumentasi

Pada tahap ini seluruh hasil dan kesimpulan dari penelitian akan didokumentasikan dalam bentuk karya ilmiah berupa skripsi.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari skripsi ini terdiri atas lima bagian utama, yaitu:

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisi mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang pembahasan teori – teori yang berhubungan dengan pokok pembahasan dalam penelitian ini. Bab ini menjelaskan landasan teori dari sel surya, proses fotovoltaik, daya listrik, energi listrik, konfigurasi PLTS dan komponen PLTS.

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang uraian analisa kebutuhan beban, penentuan spesifikasi komponen, rancangan desain PLTS, dan rancangan konfigurasi PLTS.

#### **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi pembahasan hasil analisa variabel yang diperoleh melalui pengumpulan data dan hasil analisa perancangan PLTS.

#### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari keseluruhan uraian bab – bab sebelumnya dan saran – saran dari hasil yang diperoleh dalam penelitian untuk pengembang selanjutnya.

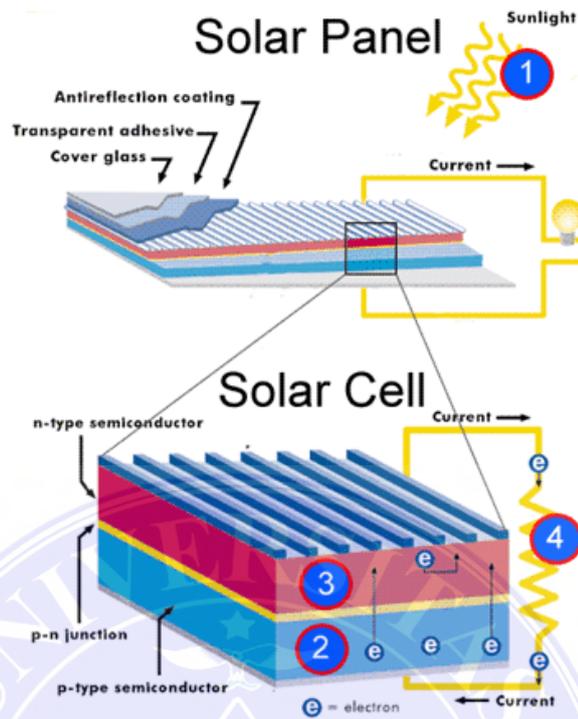


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Efek Fotovoltaik

Matahari dalam intinya mengalami aktifitas nuklir yang tinggi sehingga menghasilkan radiasi dalam jumlah yang besar. Radiasi tersebut menghasilkan energi yang disebut foton. Masing-masing foton membawa cahaya dalam spektrum berbeda-beda. Beberapa foton membawa cahaya yang tak terlihat seperti *infrared* dan *ultraviolet*, sedangkan yang lain membawa cahaya yang terlihat. Seiring waktu, foton tersebut keluar dari inti matahari dan menebus permukaan matahari. Setelah menebus permukaan matahari, foton hanya memerlukan waktu 8 menit untuk mencapai permukaan bumi.

Sel surya adalah suatu komponen yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik dengan prinsip efek fotovoltaik. Efek fotovoltaik merupakan sebuah fenomena yang ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839 saat meneliti beberapa bahan yang memproduksi arus listrik saat disinari cahaya.



Gambar 2. 1 Struktur Panel Fotovoltaik

(Sumber: <https://www.solarbarbados.com/2013/12/07/solar-photovoltaics-pv-actually-work>, diunduh pada 27 Oktober 2020)

Untuk membuat efek fotovoltaiik diperlukan sel fotovoltaiik dengan dua lapis bahan semikonduktor tipe P dan tipe N seperti pada gambar 2.1. Saat sinar matahari mencapai permukaan sel surya, foton menghantam atom dalam semikonduktor sehingga dapat menimbulkan energi yang besar untuk dapat memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang terpisah dan bermuatan positif tersebut akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi semikonduktor. Lapisan semikonduktor yang mengalami kekosongan pada strukturnya (*hole*) bersifat positif dan bertindak sebagai penerima elektron. Sedangkan lapisan semikonduktor dengan elektron bebas bersifat negatif dan bertindak sebagai pendonor elektron. Di persimpangan daerah semikonduktor positif dan negatif akan timbul energi yang mendorong

elektron yang menjauhi daerah negatif dan *hole* yang menjauhi daerah positif. Peristiwa ini menghasilkan tegangan listrik di persimpangan positif dan negatif dan akan menghasilkan arus listrik bila dihubungkan dengan beban.

Semakin besar intensitas cahaya matahari maka semakin besar foton yang bisa diserap, semakin besar pula elektron yang bisa dipisahkan dari struktur atom salah satu semikonduktor sehingga arus listrik yang dibangkitkan semakin besar. Iradiasi adalah kuantitas yang menggambarkan fluks radiasi matahari yang sampai pada suatu permukaan ( $\text{kWh/m}^2$ ). Sel surya atau sel fotovoltaik memproduksi energi listrik dari cahaya matahari. Sebuah sel fotovoltaik hanya menghasilkan energi listrik yang kecil. Untuk mendapatkan energi listrik yang lebih banyak, beberapa sel fotovoltaik digabungkan dan dihubungkan seri menjadi modul fotovoltaik. Beberapa modul fotovoltaik digabungkan dan dihubungkan seri menjadi *string* modul fotovoltaik. Seluruh *string* modul fotovoltaik di dalam suatu sistem dapat disebut larik atau rangkaian modul fotovoltaik.

## 2.2 Daya dan Energi Listrik

Daya merupakan peristiwa dimana sejumlah arus listrik  $I$  digerakkan melalui tegangan sebesar  $V$  volt.

$$P = V \times I \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana,

$$P = \text{Daya (Watt)}$$

$$V = \text{Tegangan (Volt)}$$

$$I = \text{Arus listrik (Ampere)}$$

Perhitungan daya dalam mendesain PLTS sangat penting. Besarnya daya yang dipakai beban sangat mempengaruhi banyaknya modul agar saat pemakaian beban tidak kekurangan daya dan memutus saklar *circuit breaker*. Untuk perhitungan daya maksimal dengan cepat maka kita dapat melihat besaran daya pada kWh-meter dari PLN. Nilai daya berada pada kisaran 900 VA, 1300VA, 2200 VA, dst.

Energi adalah besarnya daya yang dipakai per satuan waktu. Besar nilai energi dapat diperoleh dari perkalian daya dengan satu jam sehingga menghasilkan besaran dengan satuan *watt-hours* Wh. Perhitungan energi listrik yang dibutuhkan beban dalam mendesain PLTS mempengaruhi banyaknya modul agar seluruh beban dapat terpenuhi.

Contoh perhitungan energi listrik yang dipakai adalah sebagai berikut, misalkan sebuah rumah setiap harinya menggunakan 5 buah lampu berdaya 15 W selama 6 jam, sebuah televisi dengan daya 120 W selama 5 jam, sebuah kulkas 400 W selama 24 jam, dan sebuah pendingin ruangan 375 W selama 6 jam. Besarnya energi listrik yang dikonsumsi oleh rumah tersebut dapat dijelaskan melalui tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Besar Konsumsi Energi per Hari

Nama Alat	Jumlah Alat	Lama Pemakaian (jam)	Besar Daya (Watt)	Energi Listrik (Wh)
Lampu	5	6	15	450
Televisi	1	5	120	600
Kulkas	1	24	400	9600
Pendingin ruangan	1	6	375	2250
TOTAL			910	12900

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa beban memerlukan daya sebesar 910 W tiap harinya dengan konsumsi energi sebesar 12,9 kWh per hari.

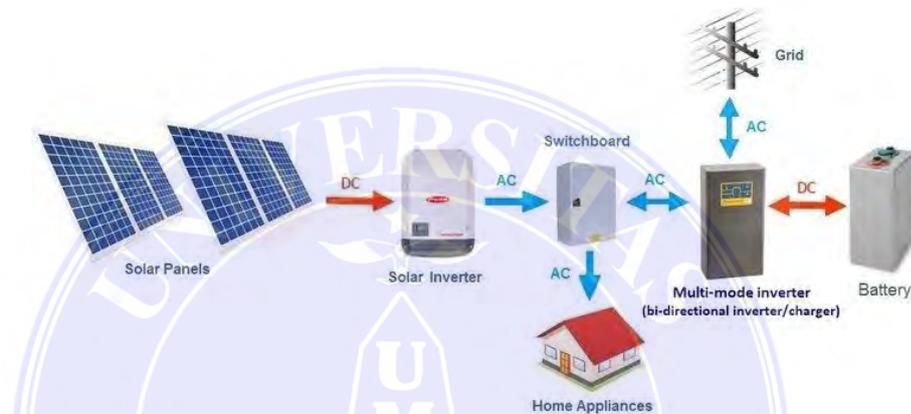
### 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Alasan utama penggunaan teknologi fotovoltaik adalah sebagai berikut: (1) tanpa biaya, (2) tidak memerlukan transmisi, (3) biaya pengoperasian dan pemeliharaan relatif kecil, (4) tidak perlu pemeliharaan yang sering, dan (5) ramah lingkungan (Ramadhani, 2018).

Ada dua jenis PLTS berdasarkan konfigurasinya yaitu PLTS *off-grid* dan PLTS *on-grid*. PLTS *off-grid* atau biasa disebut *standalone* adalah PLTS mandiri yang hanya melayani diri sendiri dan tidak terhubung dengan jaringan PLN. PLTS *on-grid* adalah PLTS yang terhubung dengan jaringan PLN, sehingga memungkinkan sistem menyalurkan atau menarik energi listrik dari PLN apabila sistem kelebihan atau kekurangan energi (Boxwell, 2012).

Sebuah sistem PLTS pada umumnya terdiri atas modul fotovoltaik, inverter jaringan, baterai, dan beberapa komponen pendukung lainnya. Pada umumnya panel fotovoltaik menghasilkan tegangan 12 V dengan tegangan tanpa beban  $\pm 26$  V namun tegangan akan turun menjadi 14 – 18 V bila terhubung dengan beban. Panel fotovoltaik dapat dihubungkan satu sama lain menjadi modul fotovoltaik. Dengan menghubungkannya kita bisa mendapatkan arus yang lebih besar jika dihubungkan secara paralel dan tegangan yang lebih besar jika dihubungkan secara seri. Inverter diperlukan agar energi yang dihasilkan modul fotovoltaik dapat digunakan pada alat dengan arus bolak – balik (AC). Baterai digunakan untuk

menyimpan energi listrik yang dihasilkan modul fotovoltaik sehingga memungkinkan ketersediaan energi pada malam hari atau pada saat tidak ada cahaya matahari. Untuk melindungi baterai dari kerusakan akibat kelebihan daya (*overcharge*) diperlukan sebuah kontroler pengisian daya atau biasa disebut *solar charge inverter (SCC)*.



Gambar 2. 2 Komponen PLTS

(Sumber: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/hybrid-solar-selection-guide>, diunduh pada 31 September 2020)

Di Sumatera Utara sendiri potensi pembangkitan PLTS pada atap bangunan rumah mencapai 10,2 – 34,6 GWp (IESR, 2020). *Institute for Essential Services Reform* (IESR) menyatakan bahwa penggunaan PLTS atap mencapai kapasitas 18,2 MW dengan total pelanggan sebanyak 2.556 orang. Selain pemasangan PLTS atap, Indonesia juga telah menggunakan PLTS untuk penerangan jalan.

Pemasangan PLTS juga dilakukan di daerah terpencil di Sumatera Utara yang belum menerima suplai listrik dari PLN secara konstan. PLTS berdaya 800 Wp dengan menggunakan tenaga baterai 2 x 120AH telah dapat menyediakan listrik yang mencukupi untuk 15 rumah yang ada di dusun Tg. Beringin, Desa Lau Damak,

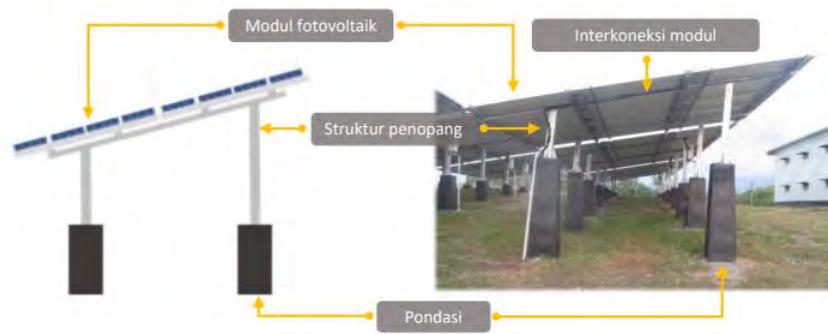
Kecamatan Bohorok, Kabupaten Langkat (Utomo, Tanjung, & Siregar, 2020). Contoh lain pemasanga PLTS dilakukan oleh Himsar Ambarita, yaitu teknologi pengisi baterai menggunakan energi surya di Ds. Petungguhan Kec. Galang Kab. Deli serdang adalah teknologi baru dalam bidang pengisian baterai menggunakan energi surya, sebagai alternatif mengatasi kenaikan harga tarif listrik dari PLN (Ambarita & Nasution, 2018).

## 2.4 Komponen Utama PLTS

Ada beberapa hal yang perlu diperhitungkan dalam menentukan komponen PLTS, yaitu besar dan jumlah modul fotovoltaik, inverter, baterai, *solar charge controller*, dan kabel penghantar (Ndagijimana & Kunjithapathan, 2019).

### 2.4.1 Modul Fotovoltaik

Modul fotovoltaik merupakan komponen yang paling utama di PLTS. Modul fotovoltaik mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik melalui proses yang disebut efek fotovoltaik. Modul fotovoltaik terdiri dari sejumlah sel fotovoltaik yang saling terhubung secara seri dan diproduksi menjadi sebuah unit. Instalasi rangkaian modul fotovoltaik sendiri terdiri dari komponen-komponen seperti modul fotovoltaik, interkoneksi modul, struktur penopang, dan pondasi.



Gambar 2. 3 Instalasi Modul Fotovoltaik

(Sumber: Ramadhani, 2018)

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi keluaran dari modul fotovoltaik antara lain adalah sebagai berikut: (1) radiasi matahari, (2) orientasi dan kemiringan modul fotovoltaik, (3) gangguan transmisi sinar akibat bayangan benda yang atau penumpukan debu pada permukaan modul, dan (4) kenaikan temperatur modul fotovoltaik.

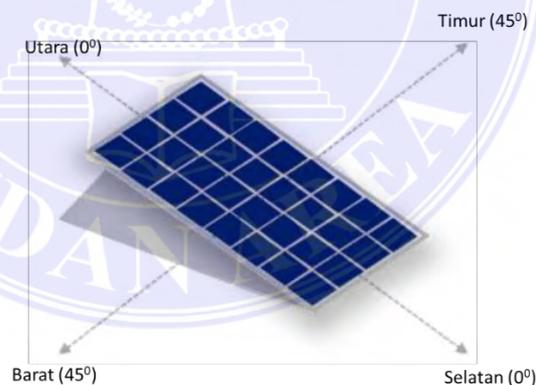
Jarak minimum antar rangkaian modul fotovoltaik yang diperlukan sangat tergantung pada titik lintang lokasi, ketinggian permukaan rangkaian modul fotovoltaik, dan waktu, terutama di tempat dimana lintasan matahari berubah secara signifikan sepanjang tahun. Dalam hal lokasi dekat dengan daerah khatulistiwa, ketentuan praktisnya adalah bahwa jarak tersebut setidaknya dua kali lipat ketinggian dari permukaan modul fotovoltaik.

$$\frac{\text{jarak antar modul}}{\text{tinggi modul}} \geq 2 \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

Sebuah modul fotovoltaik yang baik harus tahan terhadap korosi, memiliki toleransi daya kurang dari 2,5%, dan memiliki daya tahan lebih dari 20 tahun

dengan penurunan kinerja maksimal 10% per 10 tahun. Modul fotovoltaik juga harus mampu bekerja pada tegangan 1000 V<sub>DC</sub> dan tidak direkomendasikan bekerja pada tegangan lebih dari 1000 V<sub>DC</sub> (Kamal, 2016).

Arah hadap rangkaian modul fotovoltaik perlu dipertimbangkan untuk mendapat hasil konversi optimal. Dalam hal ini perlu diperhatikan dua sudut penting, yaitu sudut kemiringan dan sudut azimuth. Sudut kemiringan (inklinasi) ditentukan oleh garis lintang. Di daerah khatulistiwa seperti Indonesia sudut inklinasi optimal adalah 0° karena sinar matahari hampir tegak lurus. Walaupun demikian, dianjurkan menerapkan sudut inklinasi 10° untuk memperoleh mekanisme pembersihan diri. Sudut azimuth adalah sudut arah datangnya sinar matahari yang dipengaruhi oleh garis lintang dan waktu. Di daerah khatulistiwa seperti Indonesia modul fotovoltaik harus menghadap ke utara atau 0° dengan arah hadap boleh menyimpang hingga 45° ke timur atau barat sesuai waktu.



Gambar 2. 4 Sudut Azimut Modul PV

(Sumber: Ramadhani, 2018)

Ramadhani (2018) menjelaskan bahwa untuk memperoleh besar modul fotovoltaik kita perlu menghitung total *watt-peak* yang dibutuhkan dari modul fotovoltaik untuk dapat memenuhi beban. Banyaknya modul fotovoltaik yang

diperlukan dalam sebuah sistem = total *watt-peak* yang diperlukan dibagi dengan nilai *watt-peak* yang dimiliki modul fotovoltaik.

Total *watt-peak* yang diperlukan untuk memenuhi beban ekuivalen dengan total energi yang diperlukan dibagi dengan nilai iradiasi harian matahari.

$$\text{Jumlah minimum modul} = \frac{\text{watt-peak rating}}{\text{watt-peak modul fotovoltaik}} \dots\dots (2.3)$$

$$\text{watt - peak rating} = \frac{\text{total energi yang diperlukan}}{\text{nilai terendah iradiasi harian matahari}} \dots\dots (2.4)$$

Nilai iradiasi harian matahari berbeda di setiap lokasi. Ramadhani (2018) menjelaskan bahwa rata – rata iradiasi harian di Indonesia adalah sebesar 6,22 kWh/m<sup>2</sup> per hari dengan nilai diantara 5,59 – 7,34 kWh/m<sup>2</sup> per hari. Data ini dapat diperoleh melalui Global Solar Atlas, NASA, atau Solargis.

Setelah mengetahui jumlah minimum modul maka kita perlu mengetahui berapa banyak modul yang akan dihubungkan secara seri atau paralel. Ndagijimana (2019) menjelaskan bahwa banyaknya rangkaian seri atau paralel modul fotovoltaik dapat ditentukan dengan cara berikut:

$$N_{ms} = V_s \div V_{modul} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$N_{mt} = N_{ms} \times N_{mp} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$N_{mp} = N_{mt} \div N_{ms} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$P_{array} = N_{ms} \times N_{mp} \times P_{modul} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana,

$N_{ms}$  = Jumlah modul fotovoltaik dihubungkan seri

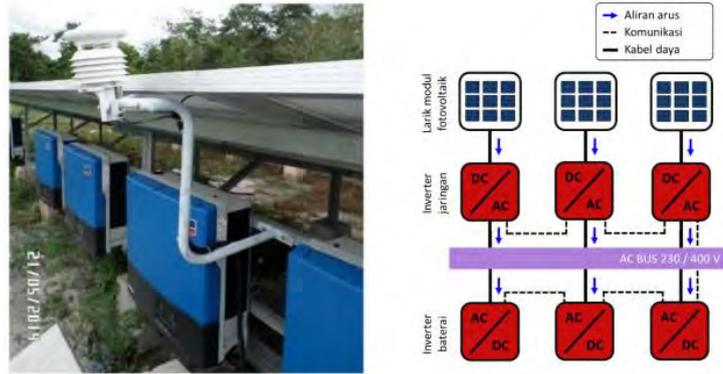
$V_s$  = Tegangan sistem (V)

$V_{\text{modul}}$	= Tegangan yang dihasilkan oleh modul (V)
$N_{\text{mp}}$	= Jumlah modul fotovoltaik dihubungkan paralel
$N_{\text{mt}}$	= Jumlah keseluruhan modul fotovoltaik
$P_{\text{array}}$	= Daya yang dihasilkan oleh sistem (watt)
$P_{\text{modul}}$	= Daya yang dihasilkan oleh satu modul (watt)

#### 2.4.2 Inverter Jaringan

Inverter jaringan adalah komponen elektronik daya yang mengonversi tegangan DC dari larik modul fotovoltaik menjadi tegangan AC baik untuk pemakaian langsung atau untuk menyimpan kelebihan daya ke dalam baterai. Inverter berfungsi sebagai *anti islanding* dan memaksimalkan transfer daya dari larik modul fotovoltaik menuju baterai.

Ada beberapa poin penting yang harus diperhatikan dalam pemilihan inverter jaringan. Inverter jaringan yang baik dilengkapi dengan MPPT (*maximum power point tracker*) sebagai pengoptimal daya yang dikonversikan oleh modul fotovoltaik. Daya keluaran inverter jaringan harus berada pada kisaran 0,9 sampai 1,25 kali dari kapasitas terpasang larik modul fotovoltaik yang tersambung (Ramadhani, 2018). Nilai masukkan inverter tidak boleh lebih kecil dari nilai total daya yang diperlukan oleh beban. Besar masukkan inverter harus bernilai 25 – 30% lebih besar dari nilai total daya yang diperlukan oleh beban (Ndagijimana & Kunjithapathan, 2019). Inverter harus memiliki nilai tegangan yang sama dengan baterai yang dipakai dalam sistem.



Gambar 2. 5 Instalasi Inverter Jaringan

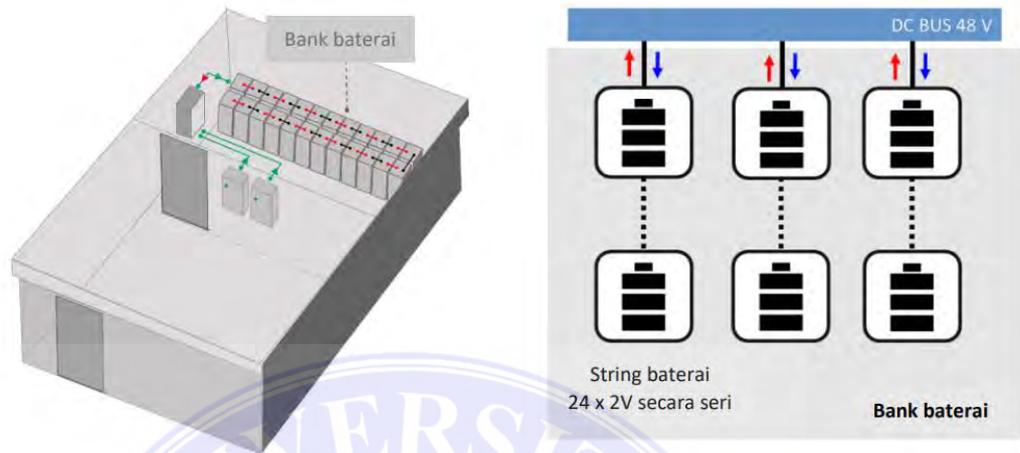
(Sumber: Ramadhani, 2018)

Inverter jaringan dapat dipasang di dalam maupun di luar ruangan dengan memperhatikan jarak antar komponen agar keadaan panas berlebih (*overheat*) dapat diminimalisir. Jarak minimum yang disarankan adalah 30 cm secara horizontal dan 50 cm secara vertikal. Untuk mengurangi rugi – rugi daya dan efisiensi biaya kabel maka inverter jaringan akan lebih baik jika dipasang di dekat larik modul fotovoltaik.

### 2.4.3 Baterai

Baterai digunakan dalam sistem PLTS untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik di siang hari, lalu memasok ke beban di malam hari atau saat cuaca berawan. Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi sementara (*buffer*) untuk mengatasi perbedaan antara pasokan listrik dari modul fotovoltaik dan permintaan listrik. Poin utama dari penetapan ukuran dan jumlah baterai dalam PLTS adalah kehandalan baterai untuk menampung daya dari modul

fotovoltaik dan dapat menyimpan energi yang cukup untuk kebutuhan beban saat modul surya tidak bekerja atau keadaan tidak ada sinar matahari.



Gambar 2. 6 Bank Baterai  
(Sumber: Ramadhani, 2018)

Teknologi baterai untuk sistem PLTS bermacam – macam mulai dari *lead acid*, *zinc air*, *nickel cadmium*, *lithium ion*, dll. *Lithium ion* dan *zinc air* memerlukan sistem manajemen baterai tersendiri untuk keamanannya dan daya tahan pemakaian. *Lead acid* memiliki *charge (deep cycle)* rendah dibanding *lithium-ion* yang memiliki densitas tinggi sehingga lebih sering digunakan karena aman, awet, mudah, dan murah.

Ndagijimana (2019) menjelaskan bahwa jumlah dan ukuran baterai serta banyaknya rangkaian seri atau paralel baterai dapat ditentukan dengan cara berikut:

$$\text{Ukuran baterai} = \frac{C \times n}{0,85 \times 0,6 \times V_s}$$

$$\text{Jumlah baterai} = \frac{\text{Ukuran baterai}}{\text{Kapasitas baterai}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana,

$C$  = kebutuhan energi per hari (Wh)

$n$  = jumlah hari dimana modul fotovoltaik tidak dapat bekerja

0,85 = efisiensi baterai

0,6 = nilai *depth of discharge*

$V_s$  = tegangan sistem

Setelah mengetahui jumlah minimum baterai maka kita perlu mengetahui berapa banyak baterai yang akan dihubungkan secara seri atau paralel.

$$N_{bs} = \frac{V_s}{V_b}$$

$$N_{bp} = \frac{N_{bt}}{N_{bs}}$$

$$N_{bt} = N_{bs} \times N_{bp} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana,

$N_{bs}$  = Jumlah baterai dihubungkan seri

$N_{bp}$  = Jumlah baterai dihubungkan paralel

$N_{bt}$  = Jumlah keseluruhan baterai

#### 2.4.4 Solar Charge Controller (SCC)

SCC berfungsi untuk mengatur proses pengisian daya dari modul fotovoltaik menuju baterai. Selain itu, SCC juga berfungsi sebagai proteksi yang mencegah terjadinya kelebihan pengisian daya atau *overcharging* dan mencegah aliran arus yang berbalik dari baterai saat modul surya tidak bekerja. Perangkat ini mengatur tegangan dan arus pengisian berdasarkan daya yang tersedia dari larik modul fotovoltaik dan status pengisian baterai (*SoC, state of charge*).



Gambar 2. 7 Solar Charge Controller

(Sumber: Ramadhani, 2018)

Untuk mencapai arus pengisian yang lebih tinggi, beberapa SCC dapat dipasang secara paralel di baterai yang sama dan menggabungkan daya dari larik modul fotovoltaik. Kontroler yang paling sering digunakan adalah jenis *pulse width modulation* (PWM) atau *maximum power point tracing* (MPPT). Spesifikasi SCC ditentukan berdasarkan konfigurasi larik modul fotovoltaik, sistem tegangan yang dipakai, dan karakteristik baterai. Tegangan dan arus masukan maksimum SCC harus lebih tinggi dari nilai maksimum modul fotovoltaik. SCC harus memiliki *rating* arus paling sedikit 125% dari besar arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) modul fotovoltaik. Dengan demikian, batas aman dari SCC adalah sebesar 1,25 (Ramadhani, 2018). SCC dihubungkan secara paralel untuk sehingga besar dari *rating* arus ( $I_{rated}$ ) SCC dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I_{rated} = (N_{bs} \times I_{sc}) \times 1,25 \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana,

$N_{bs}$  = Jumlah baterai dihubungkan seri

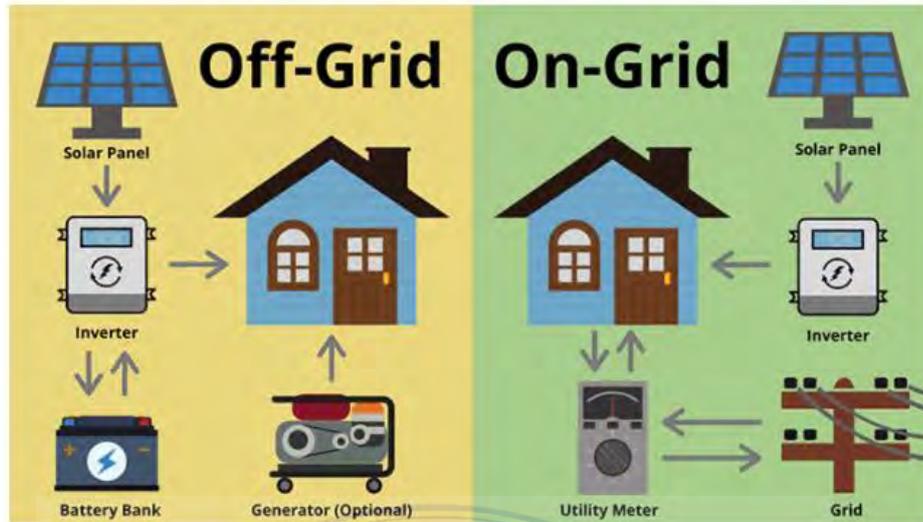
$N_{bp}$  = Jumlah baterai dihubungkan paralel

$N_{bt}$  = Jumlah keseluruhan baterai

## 2.5 Konfigurasi Sistem PLTS *Off-Grid* dan *On-Grid*

Sistem PLTS *on-grid* merupakan sistem fotovoltaik yang harus tersambung dengan jaringan PLN agar dapat beroperasi. Sistem ini dapat mengirim ataupun menerima daya dari jaringan PLN dengan bantuan kWh Ex-Im (*export – import*). Sistem akan mengirim daya yang dihasilkan modul fotovoltaik ke jaringan PLN apabila produksi dayanya surplus. Begitupun sebaliknya, sistem akan menerima daya dari jaringan PLN apabila daya yang dihasilkan modul fotovoltaik kurang untuk mencukupi kebutuhan beban atau saat modul tidak bisa bekerja. Sistem PLTS *off-grid* tidak terhubung dengan jaringan PLN, sedangkan sistem PLTS *on-grid*

Sistem PLTS *off-grid* merupakan sistem fotovoltaik yang berdiri sendiri (*standalone*). Sistem ini tidak tersambung dengan jaringan PLN. Untuk memenuhi kebutuhan daya pada kondisi tidak ada matahari sistem ini menyimpan energi listrik yang diproduksi pada baterai.



Gambar 2. 8 PLTS Off-Grid dan On-Grid

(Sumber: <https://www.paradisolarenergy.com/blog/difference-between-off-grid-and-on-grid-solar-energy>, diunduh pada 01 November 2020)

Ada beberapa faktor pertimbangan untuk menentukan pemasangan sistem PLTS *off-grid* atau sistem PLTS *on-grid*. Faktor tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Pertimbangan Pemilihan Sistem PLTS

<i>Off-Grid</i>	<i>On-Grid</i>
Lokasi tidak terjangkau jaringan PLN	Lokasi memiliki akses listrik dari PLN
Lokasi yang memiliki akses listrik dari PLN namun belum berfungsi 24 jam.	Lokasi rumah, bangunan swasta ataupun pemerintah yang tertarik melakukan efisiensi dan pengurangan biaya dan penggunaan bahan bakar minyak.
Lokasi yang menggunakan genset atau sistem pembangkit daya lainnya, dan menginginkan bantuan daya dari energi surya	Lokasi yang telah memiliki atau yang akan memiliki sertifikat SLO untuk koneksi terpasang
Lokasi yang jauh, terpencil, pulau terluar dan kepulauan, perbatasan, pedalaman hutan, lautan lepas, dan lokasi ekstrim lainnya, yang tidak memiliki sumber listrik mandiri.	Lokasi yang telah terpasang kWh meter EXIM ( <i>Export-Import</i> ) atau yang akan dan sedang dalam pengurusan pemasangan kWh meter EXIM

## 2.6 Sistem *Net-Metering*

*Net metering* merupakan sebuah sistem layanan yang disediakan oleh PLN untuk pelanggan yang memasang PLTS pada properti mereka. Sistem ini telah diatur dalam Peraturan Direksi PLN No. 0733 K/DIR/2013 tentang Pemanfaatan

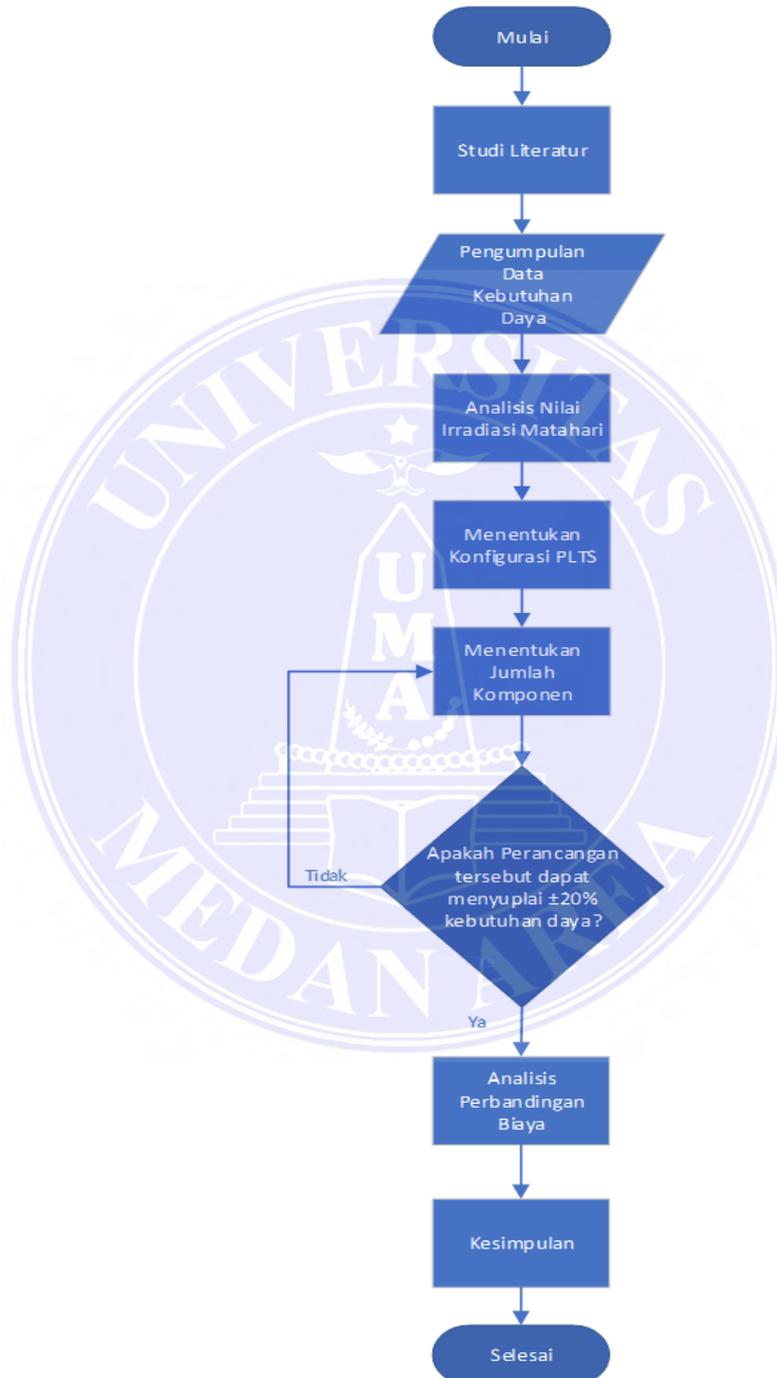
Energi Listrik dari Fotovoltaik oleh Pelanggan PLN. Transaksi energi listrik yang terjadi antara PLTS milik pelanggan dan PLN diatur pada pasal 5 seperti berikut ini:

1. PLN memasang jenis kWh meter *export import* (exim) untuk pelanggan PLN yang memanfaatkan energi listrik dari fotovoltaik, selain dari listrik PLN.
2. Energi listrik yang diterima PLN dari fotovoltaik akan di *offset* dengan energi listrik yang dikirim PLN ke pelanggan.
3. Dalam hal energi yang diterima PLN dari Fotovoltaik sebagaimana dimaksud pada ayat 2 lebih besar daripada energi yang dikirim PLN, maka selisihnya menjadi deposit kWh untuk diperhitungkan di bulan-bulan berikutnya, demikian seterusnya.
4. Pelanggan tetap dikenakan Rekening Minimum sesuai daya tersambung dengan PLN.

Sistem layanan *net metering* memungkinkan pelanggan PLN yang memiliki PLTS pada properti mereka untuk mengekspor energi listrik berlebih yang dihasilkan PLTS ke jaringan PLN. Sistem ini juga memungkinkan pelanggan menerima energi listrik dari jaringan PLN apabila PLTS tidak mampu memenuhi kebutuhan beban pelanggan.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

### 3.2 Perhitungan Kebutuhan Daya pada Lantai 2, 3, dan 4 Gedung Fakultas Teknik

Tabel 3.1 Kebutuhan Daya Lantai 2

Ruang Kelas	Item	Unit	Daya (Watt)	Total (Watt)
II.1	Lampu Led	6	18	108
	Kipas Angin Baling-Baling	2	75	150
	Speaker Aktif	1	300	300
	Proyektor	1	270	270
	Stop Kontak	1	100	100
				-
II.2	Lampu Led	6	18	108
	Kipas Angin Baling-Baling	2	75	150
	Speaker Aktif	1	300	300
	Proyektor	1	270	270
	Stop Kontak	1	100	100
				-
II.3	Lampu Led	3	18	54
	Kipas Angin Baling-Baling	2	75	150
	Proyektor	1	270	270
	Stop Kontak	1	100	100
				-
II.4	Lampu Led	3	18	54
	Kipas Angin Baling-Baling	1	75	75
	Proyektor	1	270	270
	Stop Kontak	1	100	100
				-
II.5	Lampu Led	3	18	54
	Kipas Angin Baling-Baling	2	75	150
	Proyektor	1	270	270
	Stop Kontak	1	100	100
<b>Total Daya Lantai 2</b>				<b>3.503</b>

Tabel 3.2 Kebutuhan Daya Lantai 3

Ruang	Item	Unit	Daya (Watt)	Total (Watt)
III.1	Lampu Led	4	18	72
	Kipas Angin Baling-Baling	2	75	150
	Proyektor	1	270	270
	Stop Kontak	1	100	100
				-
III.2	Lampu Led	4	18	72
	Kipas Angin Baling-Baling	2	75	150
	Proyektor	1	270	270
	Stop Kontak	1	100	100
				-
III.3	Lampu Led	4	18	72
	Kipas Angin Baling-Baling	1	75	75
	Proyektor	1	270	270
	Stop Kontak	1	100	100
				-
III.4	Lampu Led	4	18	72
	Kipas Angin Baling-Baling	1	75	75
	Proyektor	1	270	270
	Stop Kontak	1	100	100
				-
III.5- III.6	Lampu Led	6	18	108
	Kipas Angin Baling-Baling	1	75	75
	Kipas Angin Dinding	2	60	120
	Proyektor	1	270	270
	Stop Kontak	1	100	100
<b>Total Daya Lantai 3</b>				<b>2.891</b>

Tabel 3.3 Kebutuhan Daya Lantai 4

Ruang	Item	Unit	Daya (Watt)	Total (Watt)
IV.1	Lampu Led	4	18	72
	Kipas Angin Dinding	2	60	120
	Proyektor	1	270	270
	Stop Kontak	1	100	100
				-
IV.2	Lampu Led	4	18	72
	Kipas Angin Dinding	2	60	120
	Speaker Aktif	1	300	300
	Proyektor	1	270	270
	Stop Kontak	1	100	100
				-
IV.3	Lampu Led	6	18	108
	Kipas Angin Baling-Baling	2	75	150
	Kipas Angin Dinding	1	60	60
	Proyektor	1	270	270
	Stop Kontak	1	100	100
				-
IV.4	Lampu Led	6	18	108
	Kipas Angin Baling-Baling	2	75	150
	Proyektor	1	270	270
	Stop Kontak	1	100	100
<b>Total Daya Lantai 4</b>				<b>2.440</b>

Pada tabel diatas masing – masing daya pada lantai 2, 3, dan 4 berturut – turut adalah 3. 503 W, 2.891 W, dan 2.440 W. Total daya yang diperlukan dari seluruh lantai adalah 8.834 watt. Pemakaian utama energi listrik pada gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area hanya terbatas pada jam perkuliahan (08.00-16.00),yaitu 8 jam per hari. Total energi listrik yang diperlukan setiap harinya adalah 8.834 watt 8 jam = 70.672Wh atau sebesar 70,7 kWh

Tabel 3.4 Total Kebutuhan Daya Listrik

Lantai	Daya
2	3.503
3	2.891
4	2.440
<b>Total Daya</b>	<b>8.834 W</b>
<b>Total Energi (Daya x 8 jam)</b>	<b>70.672 Wh</b>

### 3.3 Potensi Cahaya Matahari Universitas Medan Area

Intensitas cahaya matahari berpengaruh besar atas kelayakan lokasi dan penentuan jumlah modul fotovoltaik. Intensitas cahaya matahari pada SKRIPSI ini diperoleh dari Global Solar Atlas. Saat mengakses data irradiasi matahari diperlukan koordinat lokasi yang dimaksud. Melalui aplikasi Google Earth maka diperoleh nilai latitude, longitude, dan altitude dari Gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

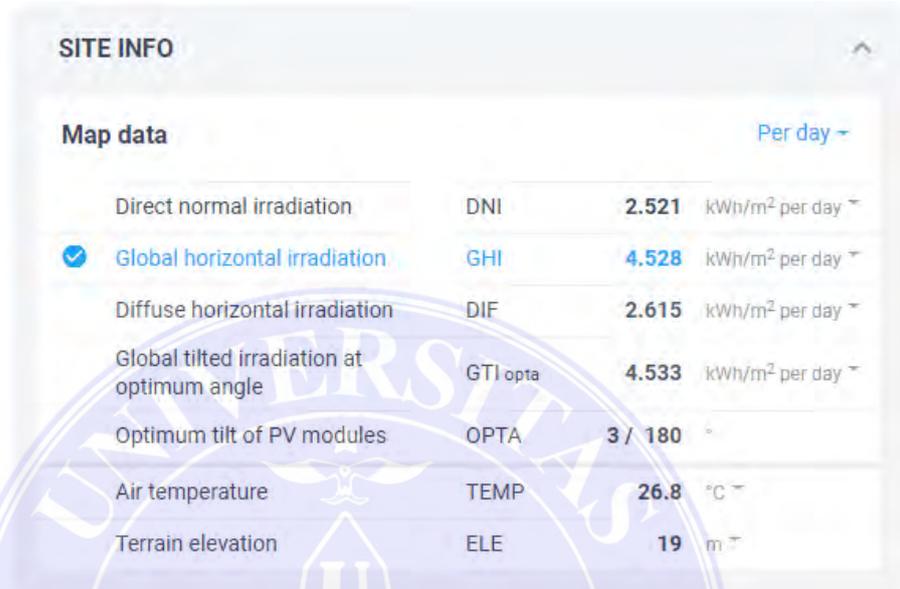


Gambar 3.2 Informasi Lokasi Fakultas Teknik UMA

Kenangan Baru (03°36'04", 98°43'06")

Jalan Kolam, Kenangan Baru, North Sumatra, Indonesia Time zone:

UTC+07, Asia/Jakarta [WIB]



SITE INFO			
Map data		Per day	
Direct normal irradiation	DNI	2.521	kWh/m <sup>2</sup> per day
<input checked="" type="checkbox"/> Global horizontal irradiation	GHI	4.528	kWh/m <sup>2</sup> per day
Diffuse horizontal irradiation	DIF	2.615	kWh/m <sup>2</sup> per day
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI <sub>opta</sub>	4.533	kWh/m <sup>2</sup> per day
Optimum tilt of PV modules	OPTA	3 / 180	°
Air temperature	TEMP	26.8	°C
Terrain elevation	ELE	19	m

Gambar 3.3 Data Irradiasi Matahari UMA

(Sumber: <https://globalsolaratlas.info/map?c=3.601109,98.71852,19>, diunduh pada 17 Januari 2021)

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa nilai irradiasi matahari di kawasan Universitas Medan Area adalah 4,528 kWh/m<sup>2</sup> per hari. Nilai 4,528 kWh/m<sup>2</sup> berarti area tersebut menerima energi sebesar 4,528 kWh dari setiap 1 m<sup>2</sup>. Dengan tingkat efisiensi panel surya sebesar 15% (Vourvoulis, 2020) maka area tersebut memiliki potensi mengkonversi sebanyak 0,68 kWh setiap hari hanya dari 1 m<sup>2</sup> panel surya. Hal ini tentunya tergantung seberapa besar kapasitas panel surya. Angka potensi konversi energi tersebut menunjukkan nilai rata – rata irradiasi 4,528 kWh/m<sup>2</sup> layak untuk memenuhi perancangan PLTS berkapasitas 2000 Wp ini.

### 3.4 Konfigurasi Sistem PLTS

Konfigurasi sistem PLTS dalam perancangan ini adalah kombinasi antara sistem on-grid dan off-grid. Penggunaan kombinasi sistem on-grid dan off-grid dikarenakan PLTS akan digunakan sebagai tenaga cadangan untuk menyuplai +/- 20% dari total kebutuhan daya. Penggunaan sistem *on-grid* adalah untuk penghematan biaya listrik dari PLN setiap bulannya. Sementara penggunaan sistem *off-grid* adalah sebagai sumber tenaga cadangan listrik untuk setiap proyektor dan stop kontak pada lantai 2 gedung Fakultas Teknik.

### 3.5 Penentuan Komponen Utama Perancangan PLTS

#### a. Modul Fotovoltaik

PLTS ini akan menggunakan modul fotovoltaik *poly crystalline* 200 Wp bermerek Luminous sebanyak 10 buah. Dari jumlah dan ukuran modul fotovoltaik dapat dilihat bahwa daya yang akan diproduksi oleh PLTS adalah sebesar 2000 Wp.

Selanjutnya rangkaian modul fotovoltaik dapat ditentukan dengan persamaan 2.6 dan persamaan 2.7.

$$N_{ms} = V_s \div V_{modul}$$

$$N_{ms} = 48 \div 24$$

$$N_{ms} = 2 \text{ buah}$$

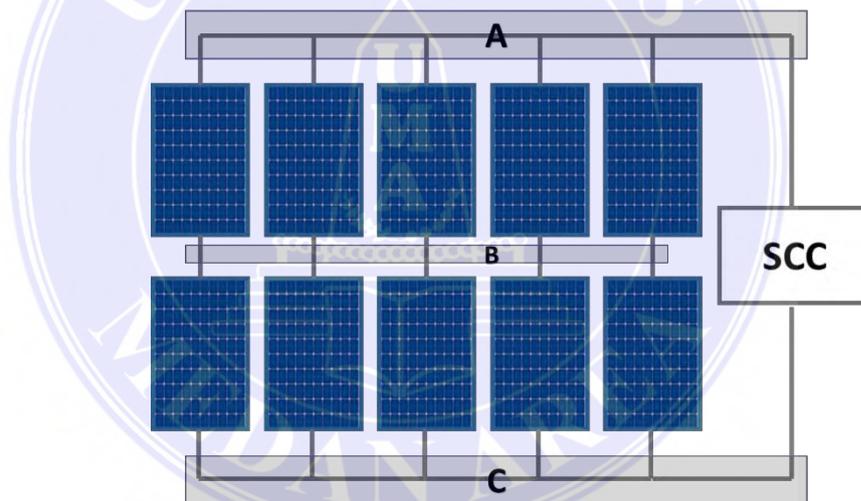
$$N_{mt} = N_{ms} \times N_{mp}$$

$$N_{mp} = N_{mt} \div N_{ms}$$

$$N_{mp} = 10 \div 2$$

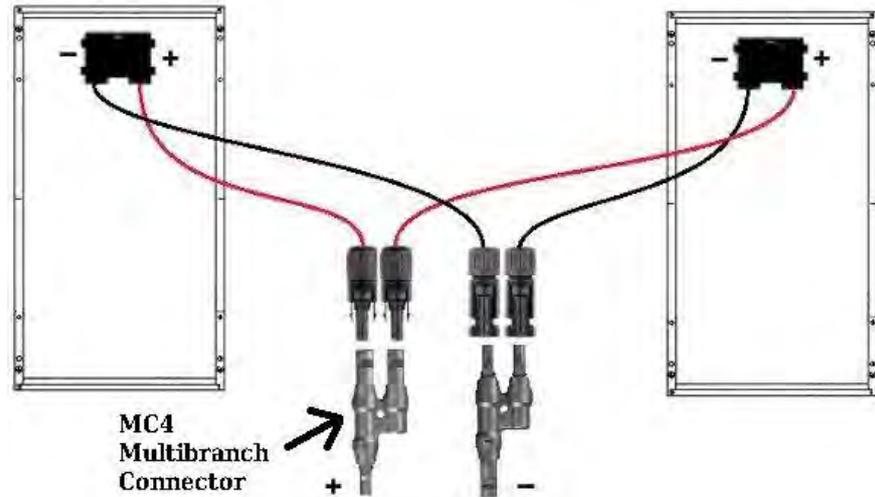
$$N_{mp} = 5 \text{ buah}$$

Dengan modul fotovoltaik sebanyak 10 buah maka rangkaian panel berbentuk array terdiri dari 5 rangkaian string yang terhubung paralel dengan 1 rangkaian terdiri dari 2 panel yang terhubung seri. Berikut adalah gambar penyusunan panel berdasarkan hasil perhitungan.



Gambar 3.4 Rangkaian Modul Fotovoltaik

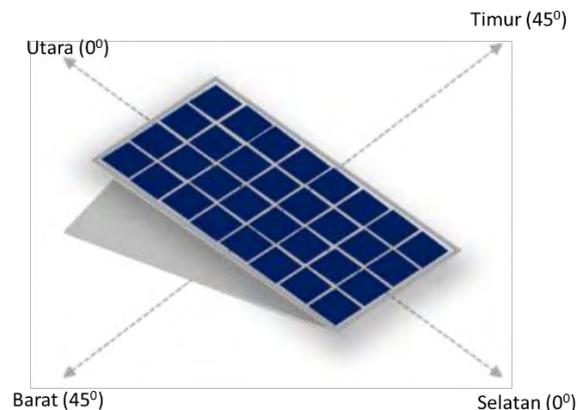
Dalam penyambungan antar panel surya digunakan konektor MC4 yang disambungkan ke kabel output yang berada di belakang panel surya seperti gambar 4.4. Untuk menyambung semua kabel panel pada *junction* A dan C gambar 3.5 digunakan konektor MC4 5 to 1, sedangkan pada *junction* B digunakan konektor MC4 *male/female*.



Gambar 3.5 Koneksi Panel Surya dengan Konektor MC4

(Sumber: Boxwell, 2012)

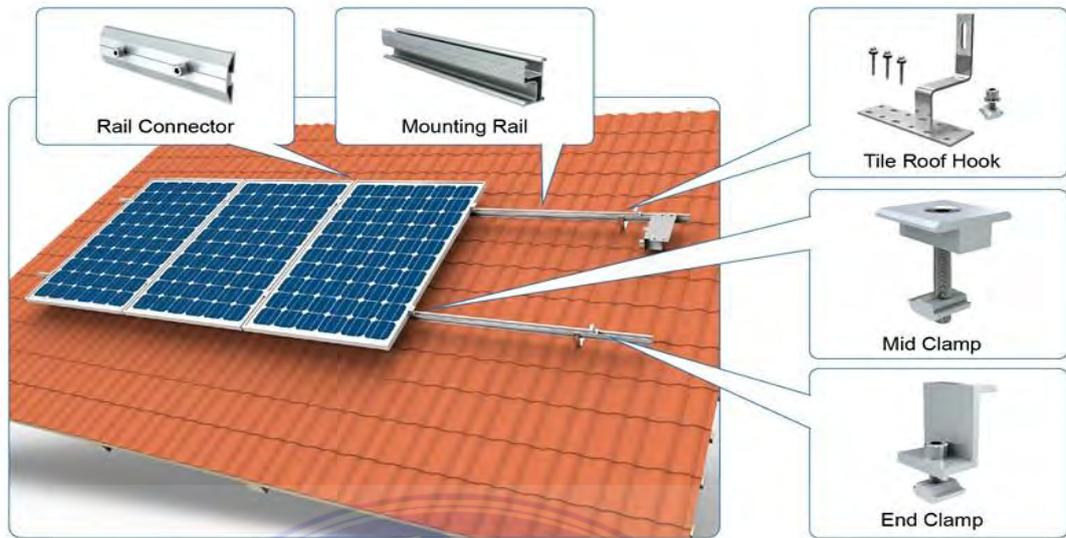
Modul fotovoltaik harus diletakkan pada sudut kemiringan (inklinasi) yang sama dengan derajat lintang lokasi (ketentuan standar Australia AS 4509.2-2002) Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Menurut data yang didapat dari Google Earth maka besar derajat lintang lokasi adalah  $3,6^{\circ}$ . Posisi ini kurang baik karena menghambat pembersihan yang dilakukan oleh air hujan. Oleh karena itu pemasangan akan menggunakan rekomendasi standar Australia AS 4509.2-2002 yaitu  $10^{\circ}$ . Sedangkan sudut azimut yang cocok untuk PLTS yang dirancang adalah  $0^{\circ}$  utara dan  $0^{\circ}$  selatan.





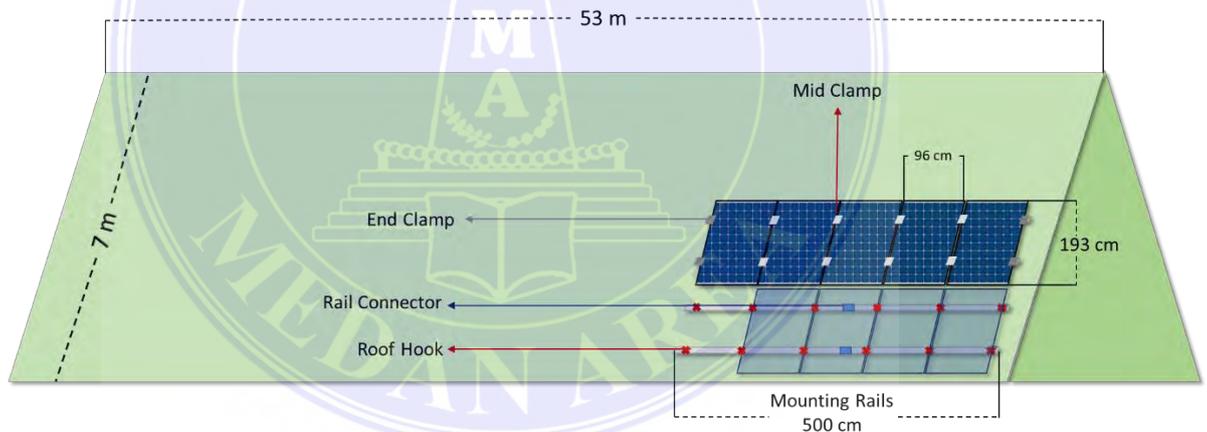
Gambar 3.6 Sudut Azimut dan Sudut Inklinali Modul Fotovoltaik

Rangkaian modul fotovoltaik akan dipasang pada atap gedung Fakultas Teknik. Instalasi rangkaian modul pada atap gedung memerlukan beberapa alat tambahan sebagai penyangga modul fotovoltaik. Modul fotovoltaik akan diletakkan di atas *mounting rail* yang akan ditempel ke atap menggunakan *roof hook*. Sebuah *mounting rail* biasanya memiliki panjang sekitar 2 – 3 meter, sehingga perlu dilakukan penyambungan antara *mounting rail* dengan menggunakan *rail connector*. Pada ujung *mounting rail*, panel surya akan ditahan dan dikunci posisinya dengan menggunakan *end clamp*. Sedangkan untuk menyambungkan sebuah panel surya dengan panel surya disebelahnya digunakan *mid clamp*. Bagian penyangga fotovoltaik dapat dilihat secara jelas pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Bagian Penyangga Fotovoltaik

(Sumber: [http://id.pvsolarfirst.com/js/htmledit/kindeditor/attached/20181101/20181101165903\\_50542.jpg](http://id.pvsolarfirst.com/js/htmledit/kindeditor/attached/20181101/20181101165903_50542.jpg), diunduh pada 9 Januari 2021)



Gambar 3.8 Detail Pemasangan Modul Fotovoltaik

Dari gambar 3.8 dapat dilihat detail komponen penyangga modul fotovoltaik di atap gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area dengan luas atap 53 x 7 m. Modul fotovoltaik diletakkan pada dua rangkaian *mounting rail* di atas dan di bawah rangkaian modul fotovoltaik. Satu rangkaian *mounting rail* memiliki panjang 680 cm yang terdiri dari 2 buah *mounting rail* yang disambung dengan

sebuah *rail connector*. Satu rangkaian *mounting rail* ini melekat di atap menggunakan 6 buah *metal roof hook*. Dua buah *end clamp* dipasang di ujung – ujung rangkaian *mounting rail* untuk mengikat dan mengunci modul fotovoltaik. Terdapat pula 4 buah *mid clamp* untuk menyambungkan dan mengikat satu modul fotovoltaik dengan modul lainnya. Rangkaian modul fotovoltaik yang terdiri dari 10 panel ini membutuhkan 4 buah rangkaian *mounting rail*. Dengan begitu jumlah masing-masing komponen penyangga modul fotovoltaik adalah 8 buah *mounting rails*, 4 buah *rail connector*, 24 buah *metal roof hook*, 8 buah *end clamp*, dan 16 buah *mid clamp*.

b. Bank Baterai

Baterai yang baterai Luminous *Lead Acid* dengan kapasitas 200 Ah dan bertegangan 12 V. Total energi yang dihasilkan oleh baterai adalah:

$$E = V \times I = 12 \text{ V} \times 200 \text{ Ah} = 2400 \text{ Wh}$$

Total energi yang dibangkitkan oleh sistem adalah 13.200 Wh. Sehingga jumlah baterai yang diperlukan untuk dapat menyimpan energi tersebut adalah  $13.200 \text{ Wh} : 2.400 \text{ Wh} = 5,5$ . Maka bank Baterai yang dibangun terdiri dari 6 buah baterai.

$$N_{bt} = N_{bs} \times N_{bp}$$

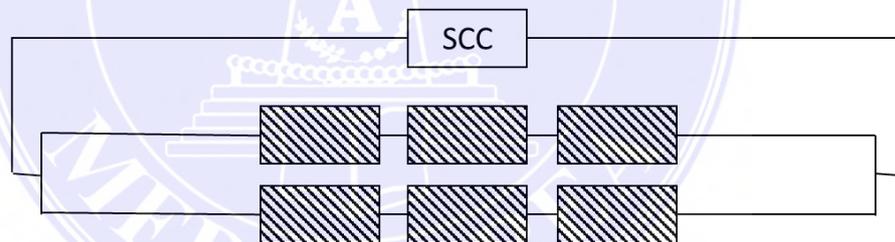
$$N_{bs} = \frac{V_s}{V_b}$$

$$= \frac{48 \text{ V}}{12 \text{ V}}$$

$$= 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 N_{bp} &= \frac{N_{bt}}{N_{bs}} \\
 &= \frac{6}{4} \\
 &= 1,5 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas bank baterai akan tersusun dari 1,5 rangkaian baterai seri yang diparalelkan, dimana rangkaian seri baterai masing – masing terdiri dari 4 baterai. Nilai 1,5 pada rangkaian paralel kurang cocok untuk diaplikasikan secara langsung, maka bank baterai akan dibangun dengan 2 rangkaian baterai seri yang diparalelkan, dimana rangkaian seri baterai terdiri dari 3 baterai. Lebih jelasnya rangkaian bank baterai dapat dilihat pada gambar 3.9 berikut.



Gambar 3.9 Rangkaian Bank Baterai

Sebuah baterai *valve regulated lead–acid* (VRLA) didesain untuk dapat bekerja dalam jangka waktu 3 – 10 tahun (Power Thru, 2013). Usia 10 tahun merupakan usia maksimal baterai. Usia maksimal tersebut dapat dicapai dengan perawatan khusus selama pemakaian. Ada banyak faktor yang mempengaruhi usia baterai, diantaranya adalah temperatur, pemakaian UPS, *Depth of Discharge* (DoD), dan jumlah siklus baterai. CD Technologies dalam buku panduannya 10

Years VRLA Battery Periodic Maintenance Instructions menjelaskan bahwa untuk mencapai usia maksimal ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Sebaiknya baterai VRLA bekerja pada temperatur 21 – 27<sup>0</sup>C.
2. Baterai seharusnya tidak diisi daya jika temperaturnya diatas 50<sup>0</sup>C (CD Technologies, 2014).

Upaya yang dilakukan tersebut dapat menjaga usia baterai sampai 10 tahun. Sehingga agar PLTS dapat beroperasi terus selama usia panel surya diperlukan pergantian baterai sebanyak satu kali. Biaya pergantian akan dimasukkan ke dalam biaya maintenance.

c. Inverter Jaringan

Inverter jaringan yang akan digunakan adalah Inverter Souer 3000 W. Daya keluaran inverter jaringan harus berada pada kisaran 0,9 sampai 1,25 kali dari kapasitas terpasang larik modul fotovoltaik yang tersambung (Ramadhani, 2018).

$$\begin{aligned}\text{Daya inverter} &= P_{\text{array}} \times 1,25 \\ &= 2000 \times 1,25 \\ &= 2.500 \text{ W}\end{aligned}$$

Dengan demikian inverter yang diperlukan untuk PLTS ini adalah sebuah inverter Souer 3000W.

d. *Solar Charge Controller (SCC)*

Dalam menentukan ukuran SCC yang perlu diperhatikan adalah besar arus *short-circuit* ( $I_{sc}$ ) modul PV dan jumlah baterai paralel.

$$\begin{aligned} I_{\text{rated}} &= (N_{\text{bp}} \times I_{\text{sc}}) \times 1,3 \\ &= (3 \times 5.65) \times 1,3 \\ &= 22,035 \text{ A} \end{aligned}$$

Arus SCC minimal untuk PLTS ini adalah 22,035 A. Dengan spesifikasi SCC PowMr MPPT 60 A maka hanya diperlukan 1 buah SCC.

e. *Earth-Leakage Circuit Breaker* (ELCB)

ELCB merupakan alat proteksi listrik yang mengamankan dari resiko kobocoran arus listrik. ELCB bekerja dengan mendeteksi arus listrik yang abnormal (tidak seimbang). Pada instalasi PLTS ini, ELCB akan dipasang di dua titik, yaitu setelah kWh Exim dan saluran setelah panel box pembagi daya. Pada perancangan ini spesifikasi ELCB yang akan dipakai adalah ELCB dengan rating daya 40 A dengan proteksi 30 mA.

f. Kabel Penghantar

Kabel penghantar yang akan digunakan pada PLTS ini untuk menghantarkan arus listrik dari panel surya sampai ke SCC adalah NYMHY 2 x 0,75. Sedangkan kabel penghantar untuk menghantarkan arus listrik dari Inverter sampai ke kWh Exim adalah kabel NYY 3 x 2,5 mm. Alasan penggunaan kabel NYMHY 2 x 0,75 mm adalah untuk meningkatkan efisiensi penghantaran arus listrik DC yg

dibangkitkan oleh panel surya. Sementara penggunaan kabel NYY dikarenakan kabel penghantar akan dipasang timbul dan beban tidak terlalu besar. Panjang kabel NYMHY 2 x 0,75 mm yang diperlukan adalah 5m sementara anjangan kabel NYY 3 x 2,5 mm yang diperlukan adalah 20 m.

Tabel 3.5 Kebutuhan Kabel Penghantar

Koneksi Kabel	Panjang
Kabel dari panel surya menuju SCC (NYMHY)	5 m
Kabel dari SCC menuju baterai (NYY)	2 m
Kabel dari SCC menuju inverter (NYY)	2 m
Kabel dari inverter menuju kWh Exim dan panel distribusi beban (NYY)	11 m
<b>Total</b>	<b>20 m</b>

Komponen - komponen utama dalam perancang PLTS ini dapat dilihat pada table 3.5 di bawah.

Tabel 3. 6 Komponen Perancangan PLTS

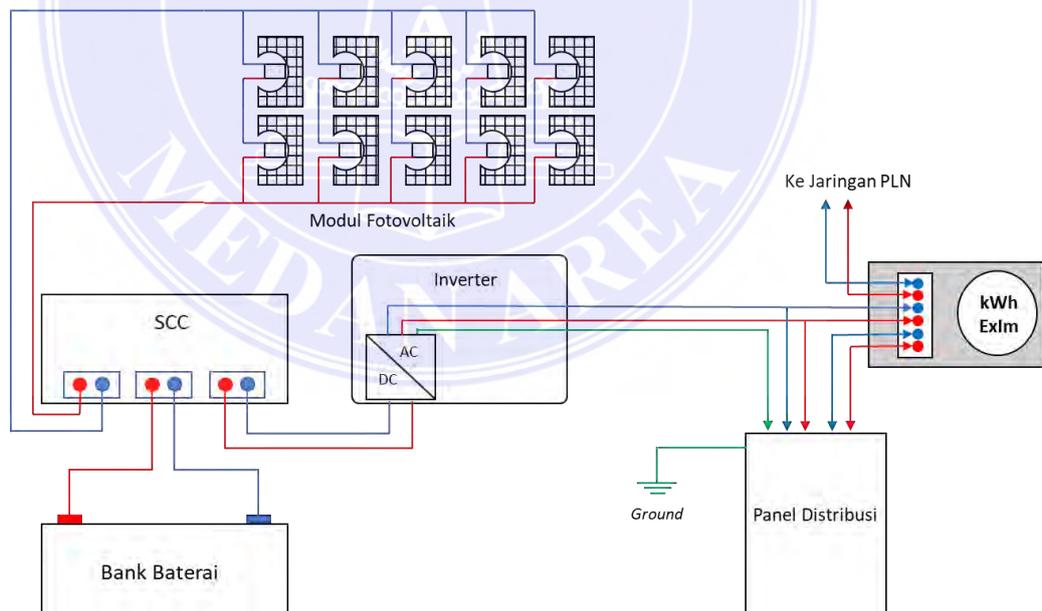
No	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Output Komponen
1	Modul Fotovoltaik	200 Wp	10	2000 Wp
2	Baterai	100Ah	10	1000 Ah
3	Inverter	3000 W	1	3000 W
4	SCC	60 A	1	60 A
5	ELCB	4,5 A – 30 mA	2	-
6	Kabel Penghantar	NYN 3x2,5mm	11 m	-
		NYMHY 2x0,75mm	5 m	-

### 3.6 Perencanaan PLTS On Grid Pada Lantai 2, 3, dan 4 Gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area

#### a. Diagram Blok Perencanaan

Daya yang diperoleh dari modul fotovoltaik akan diteruskan ke SCC agar dapat disalurkan ke baterai dan inverter jaringan. Dari inverter jaringan inilah energi listrik akan disalurkan ke panel distribusi yang didalamnya termasuk kWh Ex-Im agar arus listrik dapat dialirkan ke beban atau diekspor ke PLN.

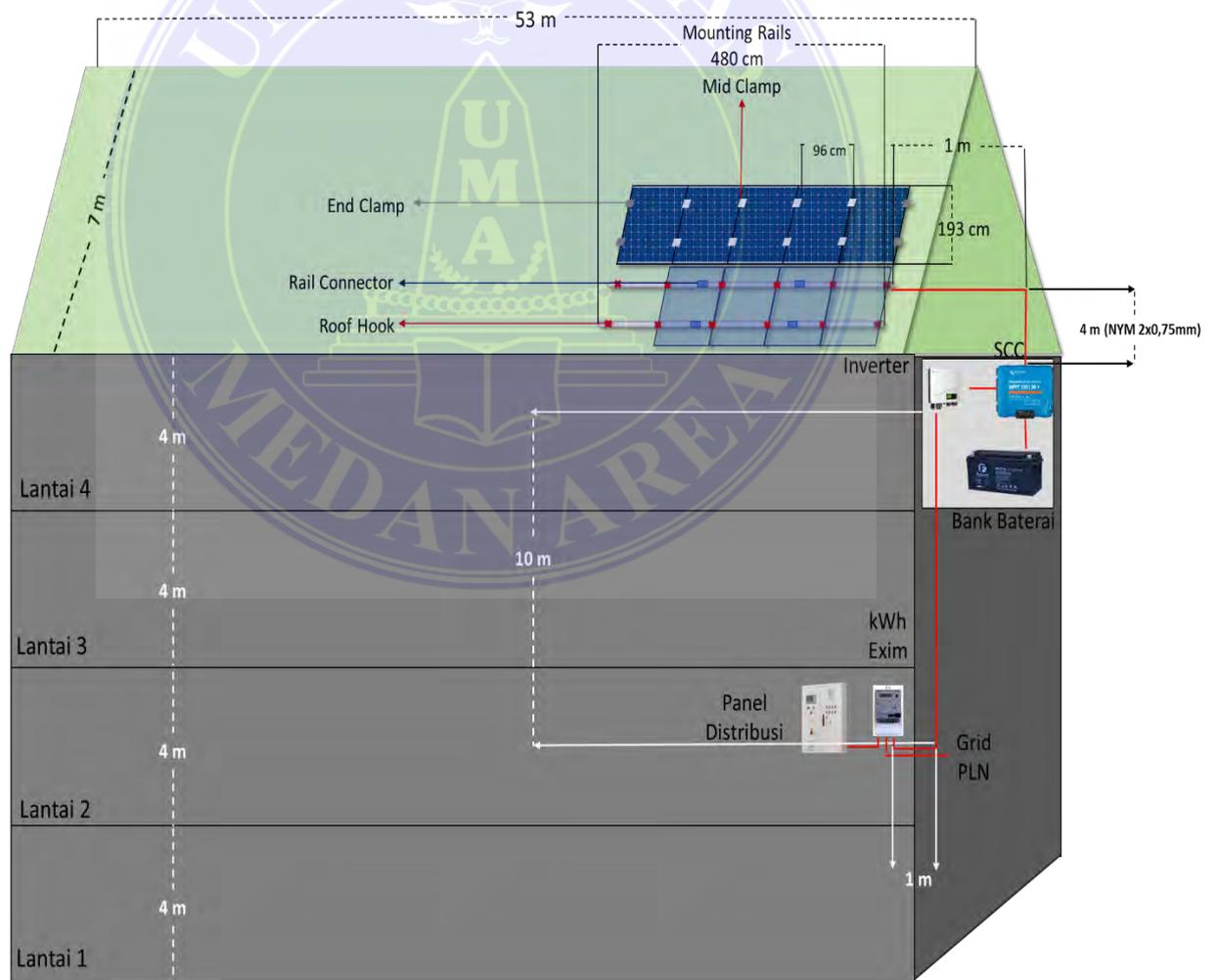
PLTS *on grid* yang akan dirancang sebagai sumber tenaga cadangan untuk lantai 2, 3, dan 4 Gedung Fakultas Teknik Universitas Medan Area dapat dilihat pada gambar 3.10 di bawah.



Gambar 3.10 Wiring Diagram Perencanaan PLTS *On-Grid* dan *Off-Grid*

b. Tata Letak Komponen – Komponen PLTS

Rangkaian panel surya direncanakan akan dipasang di atas atap bangunan Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Kemudian panel surya dihubungkan ke SCC. SCC, inverter, dan bank baterai diletakkan di lantai 4, untuk mengurangi rugi-rugi daya pada saat penghantaran arus listrik dari panel surya. Sementara kWh exim dan panel distribusi berada pada lantai 2, dikarenakan panel distribusi sudah ada di lantai 2 sebelum pemasangan PLTS. Sehingga kWh Exim diletakkan di lantai 2, untuk efisiensi PLTS dan sumber PLN.



Gambar 3.11 Denah Letak Komponen PLTS

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Fakultas Teknik Universitas Medan Area mempunyai potensi membangun PLTS karena memiliki nilai iradiasi matahari yang cukup baik, yaitu sebesar 4,528 kWh/m<sup>2</sup> per hari.
2. PLTS sebagai sumber tenaga cadangan dapat menyuplai +/- 20% dari total kebutuhan daya.
3. Konfigurasi sistem yang digunakan adalah kombinasi antara sistem on-grid dan off-grid, supaya PLTS sebagai tenaga cadangan dapat bekerja secara efektif.
4. Pemasangan PLTS ini menghemat biaya pembayaran listrik sebesar Rp. Rp 545.229,78 atau lebih hemat 18% setiap bulannya. Dengan data hasil perhitungan ROI (*return of investment*), *payback period* hanya selama 13 tahun serta keuntungan sebesar Rp 45.799.301 setelah pemakaian 20 tahun.

### 5.2 Saran

Pengukuran intensitas radiasi matahari sebaiknya dilakukan secara langsung dengan menggunakan alat ukur *solar power meter*, agar hasil penelitian lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ambarita, H., & Nasution, H. (2018). Teknologi Pengisi Baterai Menggunakan Energi Surya. *Jurnal Aplikasi Dan Inovasi Ipteks Vol.1*, 53-58.
- Boxwell, M. (2012). *Solar Electricity Handbook 6th Edition*. Warwickshire: Greenstream Publishing.
- CD Technologies. (2014). *10 Years VRLA Battery Periodic Maintenance Instructions*. Manila: CD Technologies.
- Global Solar Atlas. (2020). *Global Photovoltaic Power Potential Study, Country Factsheet*. New York: World Bank Group.
- Hafez, Soliman, El-Metwally, & Ismail. (2017). Tilt and azimuth angles in solar energy applications – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 77*, 147-168.
- IESR. (2017). *Energi Terbarukan: Energi untuk Kini dan Nanti*. Jakarta: Institute for Essential Services Reform.
- IESR. (2020). *Membuka Pasar Surya Atap di Sumatera Utara*. Jakarta: IESR.
- Irhami, M. R. (2020). *Studi Analisis Perencanaan Instalasi Kelistrikan Yang Efisien Di Gedung Fakultas Teknik UMA*. Medan: Universitas Medan Area.
- Joint Standards Australia/Standards New Zealand Committee EL-042. (2001). *Standard 4509.2—2002*. Sydney: Standard Australia.
- Kamal, A. (2016). *Easy Solar Indonesia*. Jakarta: IEC - AIQSC.
- Kementerian ESDM. (2016). *Peraturan Menteri ESDM Nomor 3 Tahun 2020*. Jakarta: Kementrian ESDM.
- Ndagijimana, & Kunjithapathan, b. (2019). Design and Implementation PV Energy System for Electrification Rural Areas. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 23-40.
- Power Thru. (2013). *LEAD ACID BATTERY working – LIFETIME STUDY*. Livonia: Phillips Service Industries Company.
- Ramadhani, B. (2018). *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya: Dos & Don'ts*. Jakarta: GIZ dan EnDev.

- Renogy. (2020, Juli 26). *IS A 24V INVERTER BETTER THAN 12V*. Diambil kembali dari Renogy.com: <https://www.renogy.com/blog/is-a-24v-inverter-better-than-12v/>
- Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional. (2019). *Outlook Energi Indonesia (OEI) 2019*. Jakarta: Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional.
- Utomo, B., Tanjung, K., & Siregar, S. M. (2020). Penyediaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Bagi Rumah Masyarakat Desa Lau Damak. *Prosiding PKM-CSR USU Vol. 3*, 184-188.
- Vourvoulias, A. (2020, September 17). *How Efficient Are Solar Panels?* Retrieved from Green Match: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/11/how-efficient-are-solar-panels>

