

## **TUGAS AKHIR**

# **ANALISIS POTENSI PLTH SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK UNTUK MENSUPLAI BEBAN PADA PETERNAKAN HEWAN QURBAN**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**DERI ARIYA PRAYOGI**  
**1907220144**



# **UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

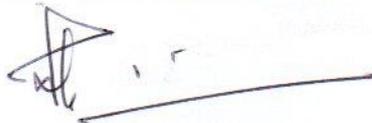
Nama : Deri Ariya Prayogi  
NPM : 1907220144  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisis Potensi PLTH Sebagai Sumber Energi Listrik Untuk  
Mensuplai Beban Pada Peternakan Hewan Qurban  
Bidang ilmu : Sistem Tenaga Listrik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 25 April 2024

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



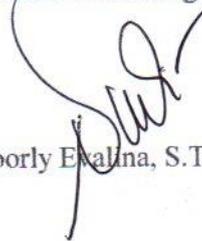
Ir. Abdul Azis Hutasuhut, M.M.

Dosen Pembanding I / Penguji



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Dosen Pembanding II / Peguji



Noorly Evalina, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro  
Ketua,

Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Deri Ariya Prayogi  
Tempat/Tanggal Lahir: Dusun IV Sibarau, 22 07 2001  
NPM : 1907220144  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**“Analisis Potensi PLTH Sebagai Sumber Energi Listrik Untuk Mensuplai Beban Pada Peternakan Hewan Qurban”,**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/ keserjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 25 April 2024

Saya yang menyatakan,



Deri Ariya Prayogi

## ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik di Kabupaten Sergai setiap tahun selalu bertambah yang disebabkan oleh bertambahnya infrastruktur sarana prasarana masyarakat. Untuk membuat ataupun menggunakan pembangkit listrik tenaga Hybrid angin dan matahari memerlukan biaya yang cukup mahal mulai dari turbin, panel surya, baterai, charger controller, inverter dan generator. Maka dari itu sebelum menggunakan pembangkit listrik tenaga Hybrid alangkah lebih baik untuk tempat lokasi pemasangan dianalisa terlebih dahulu potensi energi angin dan matahari yang dihasilkan. Hal ini bertujuan untuk menguji kelayakan lokasi tersebut untuk dipasang pembangkit listrik tenaga Hybrid angin dan matahari. Data kecepatan angin pada penelitian ini diambil dari software HOMER yang telah menyediakan data diseluruh dunia. Data energi matahari pada penelitian ini diambil dari software HOMER yang telah menyediakan data diseluruh dunia. Adapun data yang digunakan diambil dari badan antariksa dunia yaitu Nasa yang telah melakukan pengambilan data dari tahun 1983 sampai tahun 2020. Adapun data yang digunakan diambil dari badan antariksa dunia yaitu Nasa yang telah melakukan pengambilan data dari tahun 1983 sampai tahun 2020. Dari penelitian yang telah dilakukan adapun daya terpasang pada Lokasi Peternakan hewan qurban selama satu hari penuh adalah sebesar 11.076 Wh/hari atau 11,076 kWh/hari. Pada perencanaan PLTS kapasitas yang dibutuhkan untuk mensuplai beban yang ada dibutuhkan kapasitas PLTS dengan modul 100 WP/Modul adalah sebesar 3500 WP dengan banyak nya modul adalah 35 unit serta halaman sebesar 23 m<sup>2</sup>. Pada analisis potensi PLTB lokasi penelitian tidak cukup berpotensi dengan kecepatan angin hanya 2,42 m/s dan diasumsikan apabila menggunakan turbin berkapasitas 10 kW hanya menghasilkan daya sebesar 719 Watt.

**Kata Kunci :** Energi Terbarukan, PLTH, PLTS, PLTB

## **ABSTRACT**

*The need for electrical energy in Sergai Regency always increases every year due to the increase in community infrastructure. To make or use a hybrid wind and solar power plant requires quite expensive costs starting from turbines, solar panels, batteries, charger controllers, inverters and generators. Therefore, before using a hybrid power plant, it would be better for the installation location to first analyze the potential for wind and solar energy produced. This aims to test the suitability of the location for installing a hybrid wind and solar power plant. Wind speed data in this study was taken from the HOMER software which provides data throughout the world. The solar energy data in this research was taken from the HOMER software which provides data throughout the world. The data used was taken from the world space agency, namely Nasa, which collected data from 1983 to 2020. The data used was taken from the world space agency, namely Nasa, which collected data from 1983 to 2020. From research that has been carried out The installed power at the sacrificial animal farming location for one full day is 11,076 Wh/day or 11,076 kWh/day. In PLTS planning, the capacity needed to supply the existing load requires a PLTS capacity with a module of 100 WP/module of 3500 WP with a number of modules of 35 units and a yard of 23 m<sup>2</sup>. In the analysis of the potential of the PLTB, the research location does not have sufficient potential with a wind speed of only 2.42 m/s and it is assumed that if a turbine with a capacity of 10 kW is used, it will only produce 719 Watts of power.*

**Keywords:** Renewable Energy, PLTH, PLTS, PLTB

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Plts Dan Pltb) Sebagai Sumber Energi Listrik Untuk Penerangan Pada Peternakan Hewan Qurban (Studikusus: Kecamatan Dolok Masihul Serdang Bedagai)” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik , Universitas Muhammdiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan. Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini ,untuk itu penulis mengucapkan rasa terimakasih yang tulus kepada :

1. Orang tua saya yang telah mendukung saya dalam keadaan apapun untuk menuliskan studi tugas akhir ini.
2. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T., M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Dan sekaligus Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar , S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara .
4. Ibu Elvy Sahnur Nasution , S.T., M.T. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak / Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Teman-teman seperjuangan berikut : Sandi Purnawan, Ardi Nurman.
7. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2019
8. Teman-teman Asisten Laboratorium Dasar sistem kontrol Periode 2022-2023.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan , untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan keteknik- elektro.

Medan , Agustus 2023

Deri Ariya Prayogi

## DAFTAR ISI

|   | <b>Halaman</b> |
|---|----------------|
| <b>ABSTRAK</b> .....                        | i              |
| <b>ABSTRACT</b> .....                       | ii             |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                 | iii            |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                     | v              |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....              | 1              |
| 1.1. Latar Belakang.....                    | 1              |
| 1.2. Identifikasi Masalah .....             | 2              |
| 1.3. Batasan Masalah .....                  | 3              |
| 1.4. Rumusan Masalah.....                   | 3              |
| 1.5. Tujuan Penelitian .....                | 3              |
| 1.6. Manfaat Penelitian .....               | 4              |
| <b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....         | 5              |
| 2.1. Landasan Teori .....                   | 5              |
| 2.2. Profile Kabupaten Sergai.....          | 6              |
| 2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid ..... | 7              |
| 2.3.1. PLTB .....                           | 8              |
| 2.3.1.1. Energi Angin .....                 | 9              |
| 2.3.1.2. Turbin Angin.....                  | 10             |
| 2.3.1.3. Komponen PLTB .....                | 15             |
| 2.3.1.4. Konfigurasi PLTB.....              | 18             |
| 2.3.1.5. Penentuan Kapasitas PLTB.....      | 19             |
| 2.3.2. PLTS.....                            | 20             |
| 2.3.2.1. Cahaya.....                        | 20             |
| 2.3.2.2. Intensitas Cahaya .....            | 22             |
| 2.3.2.3. Panel Surya .....                  | 22             |
| 2.3.2.4. Cara Kerja PLTS .....              | 25             |
| 2.3.3. Kebutuhan Beban .....                | 32             |
| 2.3.3.1. Profil Beban .....                 | 33             |
| 2.3.3.2. Energi Listrik .....               | 33             |

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 2.3.3.3. Beban Listrik .....        | 34        |
| 2.3.3.4. Daya Listrik .....         | 35        |
| 2.3.3.5. Tarif Listrik .....        | 36        |
| <b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b> | <b>41</b> |
| 3.1 Waktu dan Tempat.....           | 41        |
| 3.2 Diagram Blok PLTH.....          | 42        |
| 3.3 Bagan Alir Penelitian .....     | 43        |
| 3.4 Metode Pengumpulan Data.....    | 44        |
| 3.5 Metode Pengolahan Data .....    | 44        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>               |           |

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sebagai Negara berkembang, Indonesia memiliki kebutuhan energi yang terus meningkat. Kenaikan rata-rata kebutuhan energi ini mencapai 7 % pertahun. Sebagian besar atau sekitar 75 % dari kebutuhan energi ini dipasok oleh bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi. Akan tetapi, ketersediaan bahan bakar fosil terus berkurang dan menimbulkan polusi yang berbahaya bagi lingkungan. Mengingat kebutuhan energi yang terus meningkat dan mendesak serta pentingnya menjaga kelestarian lingkungan, maka pemanfaatan energi terbarukan seperti energi matahari, panas bumi, biomassa dan angin menjadi solusi yang tepat untuk memenuhi kebutuhan energi ini. (Nasa Surface Meteorology, 2017)

Salah satu kebutuhan energi yang sangat dasar adalah energi listrik. Energi listrik memegang peranan penting dalam memenuhi kebutuhan hidup. Kebutuhan energi listrik diperkirakan mengalami peningkatan rata-rata 6,5% pertahun hingga tahun 2020. Hal ini karena penggunaan jumlah peralatan elektronika yang mengkonsumsi energi listrik semakin hari semakin bertambah mulai dari sektor rumah tangga, instansi pemerintah hingga sektor industri. Sehingga menyebabkan kebutuhan energi listrik semakin besar. (Nasa Surface Meteorology, 2017)

Kebutuhan energi listrik di Kabupaten Sergai setiap tahun selalu bertambah yang disebabkan oleh bertambahnya infrastruktur sarana prasarana masyarakat. Selama ini kebutuhan energi listrik dipasok oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Oleh karena itu untuk mengurangi kebergantungan terhadap PLN, Masyarakat harus mampu memanfaatkan energi terbarukan sebagai energi alternatif. Salah satu sumber energi alternatif yang jumlahnya sangat melimpah dan ramah lingkungan adalah energi angin. (Pemkab Sergai, 2017)

Angin dan matahari adalah sumber energi yang tersedia cukup berlimpah di alam. Pemanfaatannya telah dimulai sejak tahun 5000 SM untuk menggerakkan baling-baling perahu di Sungai Nil. Tahun 200 SM, Cina telah memanfaatkan energi angin untuk pompa air, dan di Timur Tengah telah dimanfaatkan untuk

menggiling biji-bijian. Pada abad ke-20, energi angin telah banyak dimanfaatkan untuk pengolahan makanan, pompa air, dan pembangkit listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLT Angin) merupakan pembangkit listrik yang sangat ramah lingkungan. Penerapannya bisa dalam bentuk *wind farm* ataupun *stand alone*, baik yang terhubung ke dalam *grid* maupun tidak. PLT Angin sangat cocok diterapkan pada lokasi terpencil maupun yang telah mempunyai *grid*. Keberadaan dan kelangsungan suatu PLT Angin ditentukan oleh pemilihan lokasi (*sitting*) yang tepat berdasarkan data angin yang akurat dan berlaku sepanjang waktu guna (*service life*) mesin turbin angin. Oleh sebab itu studi potensi angin sepanjang tahun pada lokasi yang mempunyai potensi merupakan sesuatu yang mutlak dilakukan sebelum diputuskan untuk membangun PLT Angin. Begitu juga dengan PLTS yang semakin berkembang pesat sesuai dengan perkembangan zaman. Telah banyak pembangkit yang memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik. (Contaned Energy Indonesia, 2016)

Untuk membuat ataupun menggunakan pembangkit listrik tenaga Hybrid angin dan matahari memerlukan biaya yang cukup mahal mulai dari turbin, panel surya, baterai, charger controller, inverter dan generator. Maka dari itu sebelum menggunakan pembangkit listrik tenaga Hybrid alangkah lebih baik untuk tempat lokasi pemasangan dianalisa terlebih dahulu potensi energi angin dan matahari yang dihasilkan. Hal ini bertujuan untuk menguji kelayakan lokasi tersebut untuk dipasang pembangkit listrik tenaga Hybrid angin dan matahari.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Adapun manfaat dari penelitian yang dilakukan ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana potensi kecepatan angin dan energi matahari untuk pemanfaatan pembangkit tenaga HYBRID sebagai energi cadangan pada peternakan hewan qurban Kecamatan Dolok Masihul Sergai?
2. Bagaimana perencanaan pembangkit tenaga HYBRID sebagai energi cadangan pada peternakan hewan qurban Kecamatan Dolok Masihul Sergai secara teknis dan secara ekonomis.
3. Untuk mengestimasi kecepatan angin dan energi matahari menggunakan HOMER dan hasilnya akan dapat diketahui potensi PLTB dan PLTS sebagai pembangkit masa depan .

### **1.3. Ruang Lingkup Penelitian**

Untuk menjaga agar penelitian ini tetap dan fokus dalam pembasah masalah yang ingin dibahas, maka adapun batasan-batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Data kecepatan angin dan matahari didapat melalui software HOMER yang diambil dari data Nasa Prediction dari tahun 1984
2. Beban pada objek yaitu peternakan hewan qurban dihitung secara manual yang dibantu dengan slip pembayaran listrik ke PLN.
3. Perencanaan dilakukan menggunakan aplikasi HOMER untuk mempermudah proses perencanaan PLTB.

### **1.4. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis kecepatan angin dan energi matahari untuk pemanfaatan pembangkit tenaga HYBRID sebagai energi cadangan pada peternakan hewan qurban Kecamatan Dolok Masihul Sergai.
2. Menganalisis perencanaan pembangkit tenaga HYBRID sebagai energi cadangan pada peternakan hewan qurban Kecamatan Dolok Masihul Sergai secara teknis dan secara ekonomis.
3. Menganalisis estimasi kecepatan angin dan energi matahari menggunakan HOMER dan hasilnya akan dapat diketahui potensi PLTB dan PLTS sebagai pembangkit masa depan

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian adalah sebagai berikut :

1. Bagi Universitas , menjadi refrensi penelitian bagi peneliti dan mahasiswa lainnya pada Program Studi Teknik Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bagi Mahasiswa , dapat mengetahui analisis potensi Pembangkit Listrik Tenaga HYBRID menggunakan software HOMER sehingga dapat diaplikasikan penggunaanya ke masyarakat sebagai wujud penerapan ilmu yang di dapat selama masa perkuliahan.



## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Landasan Teori**

Dilihat dari letak geografis berdasarkan Google Earth®, berdasarkan data dari NASA pada koordinat Kabupaten Sergai berpotensi menghasilkan energi surya dan potensi energi terbarukan lainnya yang dapat di manfaatkan adalah potensi energi angin. Data dari NASA potensi energi angin yang dapat dimanfaatkan dengan kecepatan angin rata rata 3,19 m/s. Dari data tersebut, potensi energi angin di Kabupaten Sergai bagus untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) karena kecepatan angin rata rata berada di atas nilai batas minimum kecepatan angin yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga angin. (Nasa Surface Meteorology, 2017)

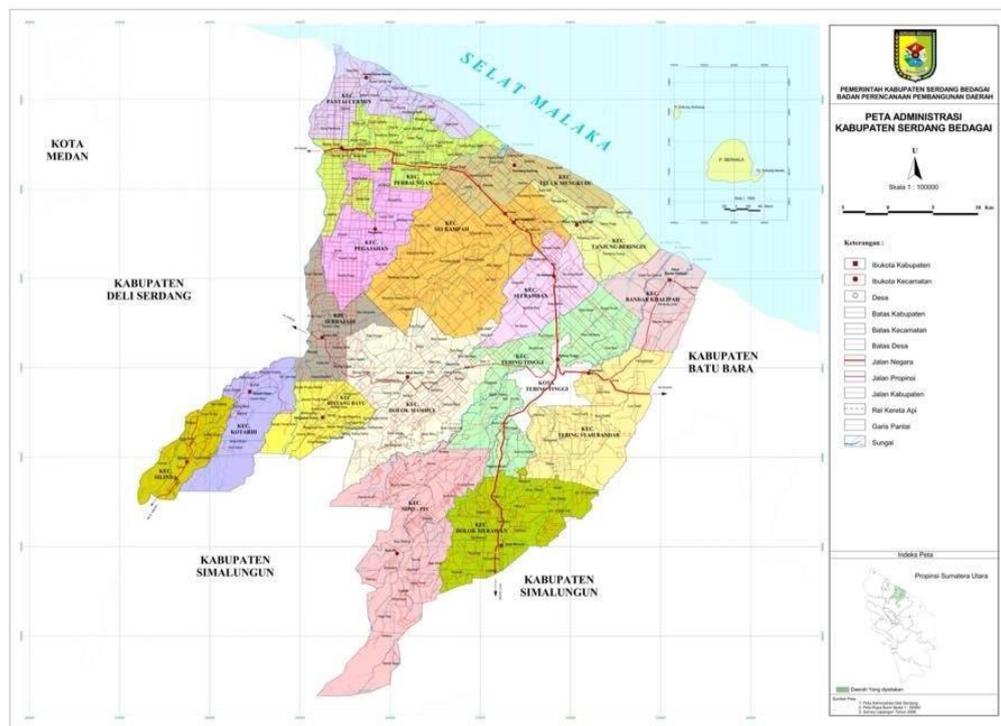
Pembangkit energi listrik dunia maupun khususnya di Indonesia sebagian besar masih menggunakan energi fosil yang tidak dapat diperbaharui serta memiliki batas ketersediaan untuk di manfaatkan dalam jangka panjang. Sesuai dengan cetak biru Pengelolaan Energi Nasional yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2005 cadangan minyak Indonesia diperkirakan akan habis dalam 18 tahun mendatang dengan rasio produksi di dalamnya (Utara, 2005). Selain ketersediaannya yang terbatas penggunaan energi fosil seperti minyak dan batu bara ternyata berdampak buruk untuk kehidupan jika digunakan dalam jangka panjang. Peningkatan kadar gas rumah kaca di atmosfer akibat dari pembakaran energi fosil dapat memicu pemanasan secara global dan perubahan iklim secara ekstrem.

Beberapa energi terbarukan di Indonesia yang saat ini menjadi ramai direncanakan untuk di jadikan pembangkit listrik adalah energi angin dan energi matahari. Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu ( PLTB) yang berlokasi di Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan dengan kapasitas 25 MW yang selesai pada tahun 2018 serta pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang berada di Likupang, Sulawesi Utara dengan kapasitas 15 MW menjadi bukti bahwasanya energi angin dan surya dapat di manfaatkan sebagai sumber energi listrik.

## 2.2 Profil Kabupaten Sergai

Secara geografis kabupaten Sergai terdiri dari dataran pantai, dataran rendah dan dataran tinggi pegunungan. Dengan kondisi seperti ini memberikan gambaran bahwa kabupaten Sergai memiliki sumber daya alam yang dapat diandalkan sebagai sumber devisa dalam memacu pertumbuhan ekonomi yang pada gilirannya akan memberikan kontribusi pada tingkat kesejahteraan masyarakat. (Contaned Energy Indonesia, 2016)

Scara geografis Kabupaten Sergai berada 2°57' Lintang Utara sampai 3°16' Lintang Utara dan 98°33' Bujur Timur sampai 99°27' Bujur Timur dengan ketinggian 0-500 m di atas permukaan laut. Kabupaten Sergai menempati area seluas 2.497,72 km<sup>2</sup> yangn terdiri dari 22 Kecamatan dan 394 Desa/Kelurahan Definitif. Kecamatan tersebut antara lain adalah Gunung Meriah, Sinembah Tanjung Muda Hulu, Sibolangit, Kutalimbaru, Pancur Batu, Namorambe, Biru-Biru, Sinembah Tanjung Muda Hilir, Bangun Purba, Galang, Tanjung Morawa, Patumbak, Deli Tua, Sunggal, Hamparan Perak, Labuhan Deli, Percut Sei Tuan, Batang Kuis, Pantai Labu, Beringin, Lubuk Pakam, Pagar Merbau. Wilayah Kabupaten Sergai di sebelah Utara berbatasan dengan Kabupaten Langkat dan Selat Malaka, di sebelah Selatan dengan Kabupaten Karo dan Simalungun, di sebelah Barat berbatasan dengan Kabupaten Langkat dan Karo dan di sebelah Timur berbatasan dengan Kabupaten Serdang Bedagai. Pada tahun 2016 BPN Kabupaten Sergai telah menerbitkan sebanyak 16.076 sertifikat tanah. Dari jumlah tersebut 13.006 buah berstatus hak guna bangunan, 7 berstatus wakaf dan sisanya 41 buah berstatus hak pakai. (Pemkab Sergai, 2017)



**Gambar 2.1 Kabupaten Sergai [3]**

Dapat dilihat pada gambar 2.1 kabupaten Sergai memiliki wilayah pantai yang cukup luas. Dimana wilayah pantai merupakan tempat yang tingkat kecepatan angin relatif tinggi. Apabila kecepatan angin tinggi maka daerah tersebut cocok untuk memanfaatkan pembangkit listrik tenaga bayu sebagai sumber energi cadangan.

### 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Sistem pembangkit listrik hybrid didefinisikan sebagai suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang menggabungkan dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda, umumnya digunakan untuk isolated grid, sehingga diperoleh sinergi penerapannya dapat menghasilkan keuntungan ekonomis maupun teknis.

Menurut Mario P (2008), sel surya bekerja berdasarkan efek fotoelektrik pada material semikonduktor untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Berdasarkan teori Maxwell tentang radiasi elektromagnet, cahaya dapat dianggap sebagai spektrum gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang

berbeda. Pendekatan yang berbeda dijabarkan oleh Einstein bahwa efek fotoelektrik mengindikasikan cahaya merupakan partikel diskrit atau quanta energi

### **2.3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)**

Pada tahun 2018, dengan beroperasinya pembangkit listrik bertenaga angin (PLTB) pertama yang terletak di Desa Mattirotasi, Kabupaten Sidrap, Sulawesi Tengah. Pembangkit tersebut memiliki kapasitas yang besar, mencapai 75 MW, yang terdiri dari 30 turbin angin yang tersebar di lahan seluas 100 hektar. Terealisasinya PLTB tersebut menjadi salah satu bukti keseriusan Indonesia dalam pemanfaatan sumber energi terbarukan. Di negara-negara lain, terutama negara-negara di Eropa Barat seperti Belanda dan Jerman, pemanfaatan energi angin dalam memenuhi kebutuhan konsumsi listrik sudah sejak lama dilakukan. Hal tersebut dilakukan seiring dengan meningkatnya kekhawatiran akan perubahan iklim dan pemanasan global sebagai akibat dari tingginya emisi karbon yang timbul dari penggunaan sumber energi fosil. (Radwitya, 2019)

Pemanfaatan energi angin sebenarnya sudah dilakukan sejak seribu tahun yang lalu (Nasa Surface Meteorology, 2017). Salah satunya adalah melalui teknologi kincir angin tradisional yang acap dijumpai di Belanda untuk keperluan penggilingan padi. Namun, pemanfaatan energi angin untuk pembangkitan listrik masih tergolong baru jika dibandingkan dengan pembangkit listrik berbahan bakar fosil dan juga pembangkit listrik tenaga air. Percobaan pertama dalam pemanfaatan angin untuk menghasilkan listrik dilakukan di Glasgow, Skotlandia, di tahun 1887 (Nasa Surface Meteorology, 2017).

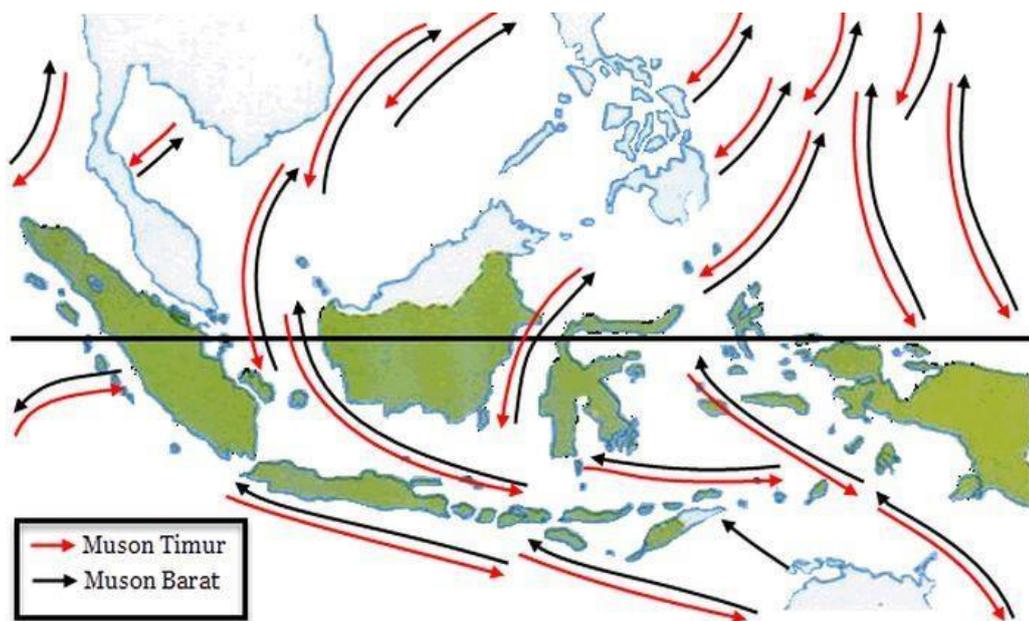
Berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), energi angin merupakan salah satu sumber energi yang akan diprioritaskan dalam pemenuhan konsumsi energi nasional. Potensi energi angin di Indonesia yang dapat dimanfaatkan mencapai 60,647 MW[2]. Provinsi dengan potensi energi angin terbesar adalah Nusa Tenggara Timur dengan nilai energi sebesar 10,188 MW. Provinsi kedua dengan potensi angin terbesar adalah Jawa Timur dengan energi angin mencapai 7,907 MW. DKI Jakarta, mengingat kondisi geografisnya yang berada di dataran rendah serta dipadati dengan bangunan-bangunan, memiliki potensi terendah dari seluruh provinsi di Indonesia, yaitu hanya sebesar 4 MW. Hal

ini menjadi tantangan tersendiri mengingat DKI Jakarta menjadi salah satu provinsi dengan konsumsi energi listrik terbesar se-Indonesia. (Contaned Energy Indonesia, 2016)

Secara mekanisme, cara kerja PLTB memiliki prinsip yang sama dengan PLTA. Perbedaannya, pada PLTB, energi kinetik yang dimanfaatkan untuk memutar turbin adalah energi kinetik yang berasal dari aliran angin. Bentuk sudu turbin dirancang dengan memperhitungkan sifat-sifat aerodinamika yang umumnya dikenal dengan nama aerofoil. Seperti halnya pada desain sayap pesawat terbang, angin yang mengalir ke permukaan sudu turbin akan menghasilkan gaya angkat (lift force) pada sudu turbin. Gaya angkat tersebut lah yang berperan dalam terputarnya sudu turbin.

### 2.3.1.1 Energi Angin

Energi angin merupakan bentuk energi yang penggerakannya berupa angin. Pada peta berikut ditunjukkan daerah-daerah di Indonesia yang memiliki potensi energi angin berdasarkan data kecepatan angin rata-rata pada ketinggian 10 m. Berdasarkan kriteria turbin angin seperti TSD-500 maka dibutuhkan angin berkecepatan minimal 3 m/s untuk mulai memproduksi. Dan daerah yang memiliki kecepatan rata rata angin di atas 3 m/s banyak ditemui pada pesisir Selatan Jawa, Sumatera, dan pulau bagian timur.

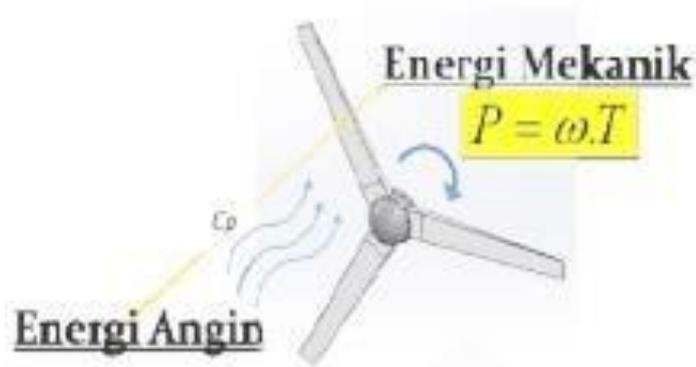


**Gambar 2.2 Peta Angin di Indonesia**

### 2.3.1.2 Turbin Angin

Turbin angin merupakan alat konversi energi angin menjadi energi mekanik. Energi angin ( $P_{wind}$ ) ini sendiri merupakan hasil dari setengah kali massa jenis udara ( $\rho$ ) dengan luas penampang cakupan dari turbin angin ( $A$ ) dan pangkat tiga dari kecepatan anginnya ( $V^3$ ). Jadi, sedikit saja selisih kecepatan anginnya, maka perbedaan energi yang dihasilkannya dapat berkali lipat besarnya.

Setiap sistem pasti memiliki suatu tingkat efisiensi kerja karena hampir tidak ada sistem yang mampu bekerja sempurna, seperti halnya turbin angin ini. Oleh karena itu, untuk mendapatkan Energi Mekanik dari hasil turbin ini maka perlu diperhitungkan juga nilai efisiensi turbin ( $C_p$ ). Energi Mekanik dari turbin ini berupa kecepatan putaran bilah II-18 turbin ( $\omega$ ) dan torsi,  $T$ , (besar gaya yang diberikan pada suatu panjang lengan beban/blade) (Contaned Energy Indonesia, 2016).



**Gambar 2.3 Skema Aliran Konversi Angin**

(Lentera Angin, 2013)

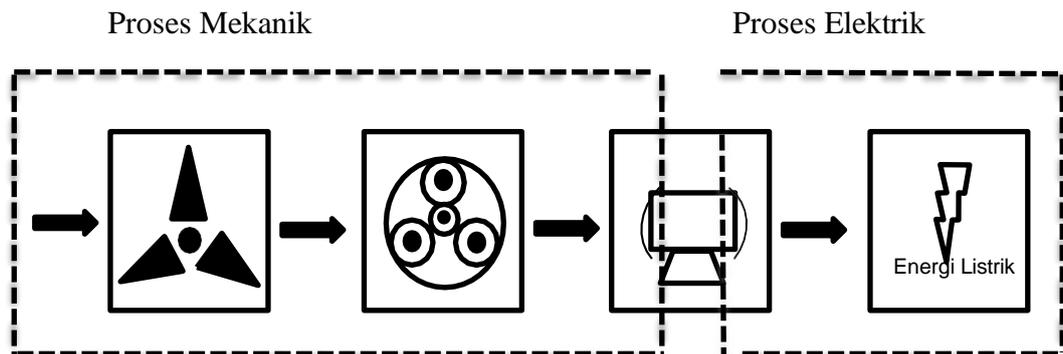
PLTB adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang merubah potensi angin menjadi energi listrik. Angin merupakan udara yang bergerak/mengalir, sehingga memiliki kecepatan, tenaga dan arah. Penyebab dari pergerakan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari. Daya yang dihasilkan energi angin dirumuskan sebagai berikut : (Nico Renaldi, 2012)

$$(P_{wind}) = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.1)$$

Dimana :

- $(P_{\text{wind}})$  = Energi angin (w)  
 $A$  = Luas daerah sapuan turbin angin ( $\text{m}^2$ )  
 $\rho$  = Kerapatan udara ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $v$  = Kecepatan angina ( $\text{m}/\text{det}$ )

PLTB secara umum adalah suatu sistem pembangkit listrik yang dapat mengkonversikan energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik. Secara umum PLTB terbagi menjadi 4 bagian, yaitu rotor turbin, *gearbox*, generator dan pembebanan. Prinsip kerja PLTB adalah mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik dari putaran baling-baling yang dapat memutar rotor. Putaran rotor relatif lambat sehingga PLTB secara umum menggunakan *gearbox* untuk mempercepat laju putaran rotor. Setelah itu generator mengubah putaran dari *gearbox* tersebut menjadi energi listrik



**Gambar 2.4 PLTB Secara Umum**

(M. Hafidz, 2016)

Energi kinetik pada suatu turbin angin dapat dirumuskan seperti pada persamaan berikut : (Nico Renaldi, 2012)

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 \quad (2.2)$$

Dimana :

$E_k$  = Energi kinetik (*joule*),

$m$  = massa udara (kg),

$v$  = kecepatan angin (m/s).

Laju aliran massa dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$m = \rho Av, \quad (2.3)$$

Dimana:

$\rho$  = massa jenis angin ( $\text{kg/m}^3$ )

$$= 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$A$  = luas penampang turbin ( $\text{m}^2$ )

$$= \pi \cdot r^2$$

Dari persamaan (2.4) dan (2.5) dapat diperoleh daya angin seperti persamaan berikut :

$$P_a = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.4)$$

Dimana :

$P_a$  = daya angin (watt).

Persamaan (2.5) merupakan teori perhitungan daya pada turbin angin yang hanya memperhitungkan luas penampang turbin angin yang menyapu turbin. Sedangkan untuk memperhitungkan kemampuan turbin dalam mengekstraksikan angin yaitu menggunakan efisiensi kerja turbin yang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$\rho_m = \frac{\rho}{\rho_a} \quad (2.5)$$

Dimana :

$P_m$  = daya mekanik (watt)

$C_p$  = koefisien daya pada turbin angin,

Efisiensi kerja turbin tidak dapat melebihi 0,593, hal tersebut dikenal sebagai *limit betz*. Dengan menggabungkan persamaan (2.4), (2.5) dan efisiensi kerja turbin maksimal, maka dapat dituliskan seperti persamaan berikut :

$$P_{maks} = 0,2965 \rho A v^3, \quad (2.6)$$

Dimana :

$P_{maks}$  = daya maksimum atau daya turbin angin dalam kondisi ideal.

Turbin angin pada prinsipnya dapat dibedakan atas dua jenis turbin berdasarkan arah putarannya. Turbin angin yang berputar pada poros horisontal disebut dengan turbin angin poros horizontal atau Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT), sementara yang berputar pada poros vertikal disebut dengan turbin angin poros vertikal atau Vertical Axis Wind Turbine (VAWT).

#### 1. Turbin HAWT

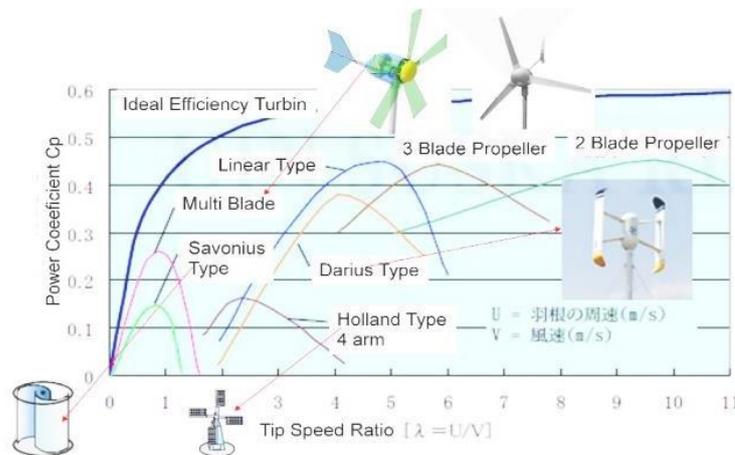
Turbin angin horizontal adalah model umum yang sering kita lihat pada turbin angin. Desainnya mirip dengan kincir angin, memiliki blade yang mirip propeller dan berputar pada sumbu vertikal. Turbin angin horizontal memiliki shaft rotor dan generator pada puncak tower dan harus diarahkan ke arah angin bertiup. Turbin-turbin kecil mengarah ke angin dengan menggunakan wind plane yang diletakkan di rotor, sementara untuk turbin yang lebih besar dilengkapi dengan sensor yang terhubung dengan motor servo yang mengarahkan blade sesuai dengan arah angin. Sebagian besar turbin yang besar memiliki gearbox yang merubah kecepatan putar rotor yang ditransfer ke generator menjadi lebih cepat.

Karena tower menghasilkan turbulensi di belakangnya maka turbin biasanya mengarah ke arah angin dari depan. Blade turbin dibuat kaku untuk mencegah terdorong ke tower oleh angin yang kencang. Disamping itu, blade di tempatkan pada jarak yang mencukupi di depan tower dan kadang melengkung kedepan. Downwind turbine atau turbin dengan arah angin dari belakang juga dibuat, meskipun adanya masalah turbulensi, karena turbin ini tidak membutuhkan mekanisme yang mengharuskan searah dengan dengan angin. Disamping itu dalam keadaan angin kencang blade dibolehkan untuk melengkung yang menurunkan area sapuan dan resistansi angin. Namun dikarenakan turbulensi dapat menyebabkan fatigue, dan keandalan sangat dibutuhkan maka sebagian besar turbin angin horizontal menggunakan jenis upwind.

## 2. Turbin VAWT

Turbin angin vertikal memiliki shaft rotor vertikal. Kegunaan utama dari penempatan rotor ini adalah turbin angin tidak perlu diarahkan ke arah angin bertiup. Hal ini sangat berguna pada daerah dimana arah angin sangat variatif atau memiliki turbulensi. Dengan sumbu vertikal, generator dan komponen primer lainnya dapat ditempatkan dekat dengan permukaan tanah, sehingga tower tidak perlu support dan hal ini menyebabkan maintenance lebih mudah. Kekurangan utama dari turbin angin vertikal adalah menciptakan dorongan saat berputar. Sangat sulit untuk memasang turbin angin di tower, sehingga jenis tower ini biasanya di install dekat dengan permukaan. Kecepatan angin lebih lambat pada altitude yang rendah, sehingga energi angin yang tersedia lebih rendah.

Semakin tinggi efisiensi suatu turbin, semakin maksimal pula turbin tersebut mengkonversi energi yang didapatnya. Tipe turbin yang memiliki tingkat efisiensi paling tinggi adalah tipe 3 blade propeller ( $C_p$  mendekati 45 dan holland efisiensinya yang terendah. Tipe 2 dan 3 blade propeller saat ini banyak dijumpai pada produk-produk komersil. Pemanfaatan turbin angin terbagi ke dalam beberapa skala ketinggian dan kapasitasnya, yaitu skala besar menengah, kecil, dan mikro. Semakin besar skalanya, semakin besar pula kapasitas yang mampu dihasilkan suatu turbin angin.



**Gambar 2.5 Efisiensi Turbin Berdasarkan Tipe**

(Contaned Energy Indonesia, 2016)

Adapun beberapa tipe turbin angin yang ada di dunia berdasarkan tingkat efisiensinya diantara lain: (Contaned Energy Indonesia, 2016)

- a. Tipe Holland (Belanda)
- b. Tipe Savonius
- c. Tipe Darius
- d. Tipe Linear
- e. Tipe 2 blade propeller
- f. Tipe 3 blade propeller
- g. Tipe multi blade

Dalam pemilihan tipe blade yang perlu diperhatikan adalah  $C_p$  dan Tip Speed Ratio (TSR)  $C_p$  adalah tingkat efisiensi dari blade, semakin besar efisiensinya maka semakin besar juga kemampuan suatu turbin untuk mengambil energi yang didapatnya (konversi energi). TSR merupakan perbandingan kecepatan ujung blade

terhadap angin, maka semakin besar TSR akan semakin besar putarannya. Dari berbagai tipe turbin angin, tipe 3 blade propeller paling mendekati nilai efisiensi ideal (koefisiennya mencapai 40%) dan juga bias digunakan untuk putaran tinggi. Pada perkembangannya saat ini, produk komersil lebih banyak mengembangkan tipe 2 dan 3 blade Propeller.

Dalam pemilihan dan pengembangan suatu system selain dari segi kualitas, hal yang perlu diutamakan lainnya adalah biaya produksi dan instalasi dari sistem tersebut harus disesuaikan dengan kondisi pasar sistem tersebut nantinya, serta bagaimana penyampaian terhadap penggunaanya (Lentera Angin, 2013).

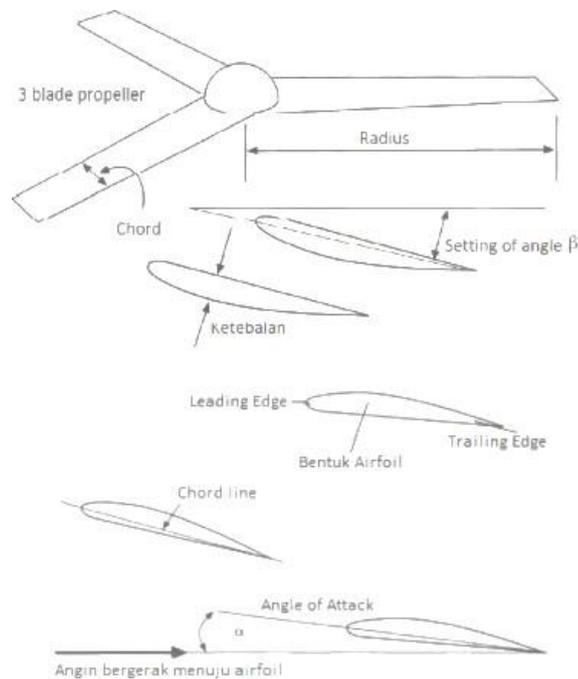
### **2.3.1.3 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Bayu**

Untuk membuat pembangkit listrik tenaga bayu, dibutuhkan beberapa komponen yang memiliki peranan dan fungsi masing-masing yang berbeda untuk dapat merubah energi mekanik oleh angin menjadi energi listrik.

Blade merupakan bagian penting dalam suatu sistem turbin angin sebagai komponen yang berinteraksi langsung dengan angin. Secara umum terdiri dari 2 tipe yaitu horizontal axis wind turbine (HAWT) dan vertical axis wind turbine (VAWT). Kedua tipe ini dapat disesuaikan dengan orang yang ingin mengimplementasikannya dan kemampuannya dalam mewujudkan. Untuk tipe vertikal pembuatannya jauh lebih sulit dibandingkan horizontal dan tergantung pada keterampilan pembuatnya. The Sky Dancer merupakan turbin angin tipe.

HAWT dengan 3 blade propeller yang memiliki nilai  $C_p$  40%, yang berarti mampu mengambil 40% dari total energi angin yang diterimanya (energi per luas sapuan blade) menjadi energi mekanik. Dalam pemilihan tipe blade yang perlu diperhatikan adalah  $C_p$  dan Tip Speed Ratio (TSR).  $C_p$  adalah tingkat efisiensi dari blade, semakin besar efisiensinya maka semakin besar juga kemampuan suatu turbin untuk mengambil energi yang didapatnya (konversi energi. TSR merupakan perbandingan kecepatan ujung blade terhadap angin, maka semakin besar TSR akan semakin besar putarannya. Dari berbagai tipe turbin angin, tipe 3 blade propeller paling mendekati nilai efisien (koefisiennya mencapai 40%) dan juga bisa digunakan untuk putaran tinggi. Pada perkembangannya saat ini, produk komersil lebih banyak mengembangkan tipe 2 dan 3 blade propeller. Untuk ukuran angin yang tidak terlalu kencang penambahan jumlah blade merupakan solusi yang dapat

dilakukan supaya turbin angin dapat menangkap daya angin secara maksimal. Sebaliknya apabila kecepatan angin di suatu daerah memiliki kecepatan yang tinggi maka pengurangan blade menjadi solusinya karena apabila angin di kecepatan tinggi memakai jumlah blade yang banyak maka turbin angin tersebut memiliki sifat yang sama seperti dinding apabila di terpa oleh angin. Pemilihan jumlah blade yang sesuai dengan kondisi di asia tengah yaitu memakai jumlah blade 3, dimana kecepatan angin rata rata di asia bisa di kategorikan kepada angin sedang [9].

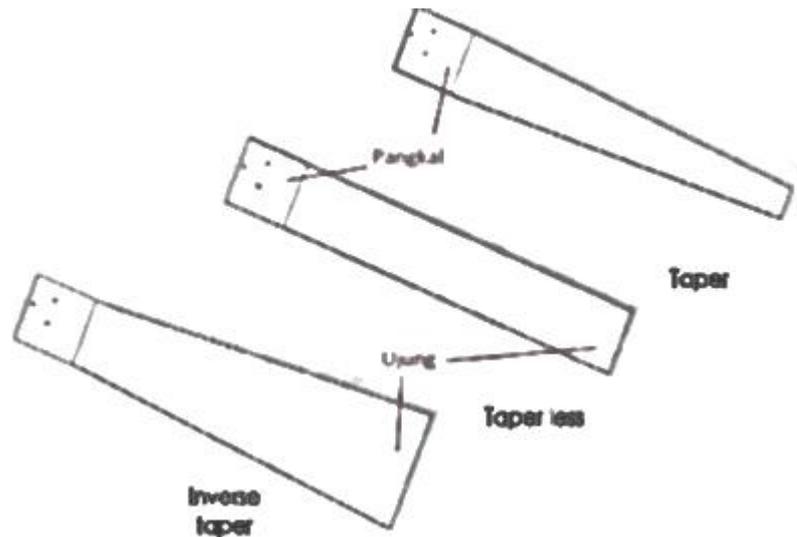


**Gambar 2.6 Bagian Blade**

(Nico Renaldi, 2012)

Blade terdiri dari beberapa bagian, seperti :

- a. *Radius* (jari-jari blade)
- b. *Chord* (lebar blade)
- c. *Leading edge*
- d. *Trailing edge*
- e. *Chord line* (garis yang men ghubungkan leading dan trailing edge)
- f. *Setting of angle* (pitch, sudut antara chord line dan bidang rotasi dari rotor)
- g. *Angle of attack* (sudut antara chord line dengan arah gerak udara relatif)

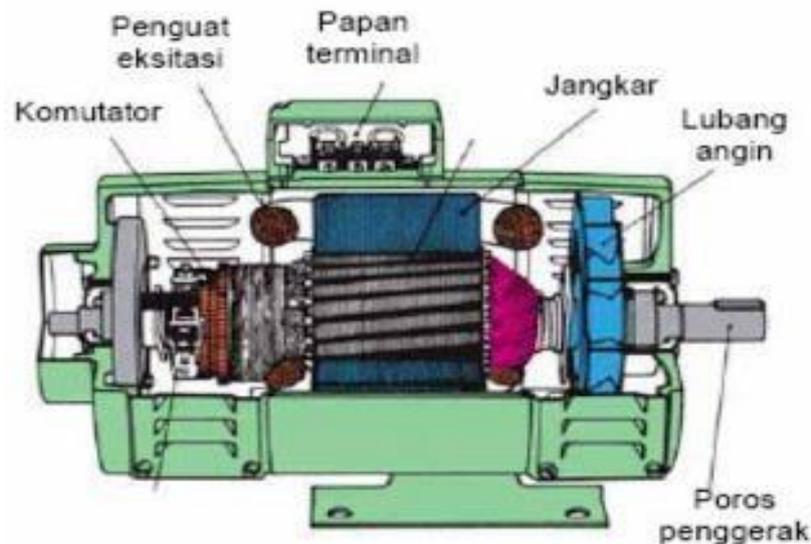


**Gambar 2.7 Tipa-tipe Blade**

(Nico Renaldi, 2012)

Blade memiliki 3 jenis berdasarkan desainnya, yaitu, taper ( mengecil ujungnya), taperless (pangkal dan ujungnya memiliki lebar yang sama), dan inverse-taper (membesar ke ujungnya). Ketiga blade ini memiliki kapasitasnya masing-masing, seperti blade taper cocok untuk angin berkecepatan tinggi, sementara inverse-taper cocok untuk kecepatan angin rendah (putaran rendah, torsi tinggi) dan blade taperless di antara keduanya. Pemilihan material harus seimbang dan tepat guna berdasarkan kualitas, harga, dan penyampaiannya kepada pengguna (QCD). Turbin angin TSD-500 menggunakan bahan kayu pinus karena bahannya yang ringan, kuat, murah, dan bahannya yang mudah ditemui di Indonesia. Bahan lain yang lebih baik yaitu dengan styrofoam karena bahan ini ringan, mudah dibentuk, murah, dan tidak berbahaya. Blade juga harus diuji dari segi ketahanan terhadap lingkungan, baik itu terhadap badai ataupun pada kecepatan angin tertentu. Kemungkinan yang harus diperhatikan seperti patah blade, cacat akibat bertabrakan dengan butiran pasir, debu, ataupun material lainnya karena kecepatan tinggi dan juga dapat mempengaruhi berat blade bila ada retakan (kemungkinan air/fluida lainnya menyerap), serta kemungkinan blade dapat melengkung. Dan hal lainnya yang harus diperhatikan adalah dari segi keamanan baik dalam proses pemasangan ataupun setelah dipasang.

Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah Energi Mekanik menjadi Energi Listrik. Energi Mekanik tersebut dapat berupa turbin angin, turbin air dan turbin uap. Dari turbin tersebut, dapat memutar poros generator dimana yang bisa menghasilkan energi listrik dari kumparan yang ada di dalam generator itu sendiri.

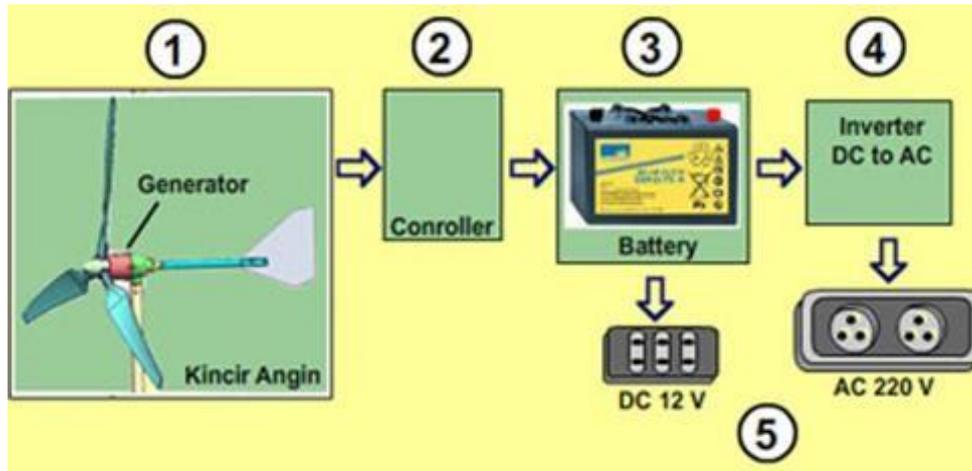


**Gambar 2.8 Generator**

(Saputra, 2020)

#### **2.3.1.4 Konfigurasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu**

Putaran blade membuat generator berputar dan menghasilkan tegangan AC 3 fasa yang mewakili vektor arah angin, yaitu  $u$ ,  $v$ , dan  $w$ . Kemudian dialirkan menuju controller (teknologi pengamanan dan konversi energi) dan hasil keluaran dari controller ini berupa tegangan DC (telah dikonversi dari AC menjadi DC karena media penyimpanan energi dalam bentuk DC). Setelah itu, dialirkan kembali menuju data logger untuk dilakukan perekaman data dan selanjutnya disimpan ke dalam baterai/aki. Sebelum digunakan ke beban (peralatan listrik AC), energy yang telah disimpan ini harus dikonversi terlebih dahulu melalui inverter (tegangan DC menjadi AC) (Proyadi, 2018).



**Gambar 2.12 Skema PLTB**

(Proyadi, 2018)

### 2.3.1.5 Penentuan Kapasitas Komponen

Sebuah desain hemat biaya dari sistem pembangkit listrik tenaga bayu harus tepat sesuai dengan kapasitas produksi dan permintaan lokal. Kelebihan kapasitas (*over sizing*) akan mengakibatkan pemborosan biaya. Misalnya, kelebihan kapasitas untuk pembangkit akan meningkatkan biaya investasi, menghasilkan produksi listrik yang tidak dapat digunakan. Untuk Genset, kelebihan kapasitas dapat memiliki efek negatif pada usia pakai turbin angin sendiri. Pemilihan baterai yang melebihi kapasitas juga meningkatkan biaya modal. Namun, Pemilihan dibawah kapasitas (*under sizing*) terhadap permintaan beban dapat mengakibatkan ketidakpuasan pelanggan sehingga dapat menyebabkan kegagalan proyek. Kekurangan kapasitas juga dapat mengakibatkan dampak pada komponen, sehingga menurunkan usia komponen. Dari masalah tersebut akan berdampak pada biaya produksi energi (*levelized cost of energi/LCOE*), sehingga perlu pemilihan kapasitas yang efektif (Allience, ARE, 2011).

Kecepatan angin digunakan berdasarkan data yang diperoleh dari BMKG atau dari data yang telah berhasil didapatkan yaitu 7 m/s, Masa jenis udara adalah sesuai dengan standar yang ada yaitu  $1,2 \text{ kg/m}^3$ , luas penampang yang digunakan yaitu dengan diameter 57 meter (turbin poros horizontal) Perhitungan menggunakan formula untuk menghitung energi angin sebagai berikut :

Luas Penampang Blade :

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (2.9)$$

Masa Udara (kg)

$$m = \rho \cdot v \cdot A \quad (2.10)$$

Energi :

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2.11)$$

Dimana :

A = Luas Penampang (m<sup>2</sup>)

$\pi$  = Konstanta (3,14)

r = Jari – Jari Turbin (m)

m = masa udara (kg)

E = Energi (Joule/dt)

v = Kecepatan Angin (m/s)

### 2.3.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

#### 2.3.2.1 Cahaya

Energi dalam bentuk gelombang elektro magnetic yang dapat dilihat dengan mata telanjang yang memiliki panjang gelombang 380 dan 750 nm disebut dengan cahaya. Cahaya adalah partikel yang disebut foton. Dimana foton adalah medan elektromagnetik kuantum yang berinteraksi dengan electron dan inti. Didalam kamus besar Bahasa Indonesia, Cahaya diartikan sebagai sinar atau terang (dari sesuatu yang bersinar seperti matahari, bulan, lampu) yang memungkinkan mata menangkap bayangan benda-benda disekitarnya.

Menurut Pamungkas, Dkk (2015) cahaya adalah gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat dengan mata. Suatu sumber cahaya memancarkan energi, sebagian energi ini diubah menjadi cahaya tampak (visible light). Perambatan cahaya di ruang bebas dilakukan oleh gelombang elektromagnetik. Menurut Suharyanto, dkk (2009) Panjang gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat manusia yaitu 380-750 mm. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang tidak memerlukan medium untuk merambat. Intensitas cahaya dengan satuan

lux ( $1 \text{ lm/m}^2$ ), dimana lm adalah lumens atau lux cahaya. Sifat-sifat cahaya sebagai berikut :

1. Cahaya dapat merambat lurus
2. Cahaya dapat dipantulkan
3. Cahaya dapat menembus benda bening
4. Cahaya dapat dibiaskan
5. Cahaya dapat diuraikan

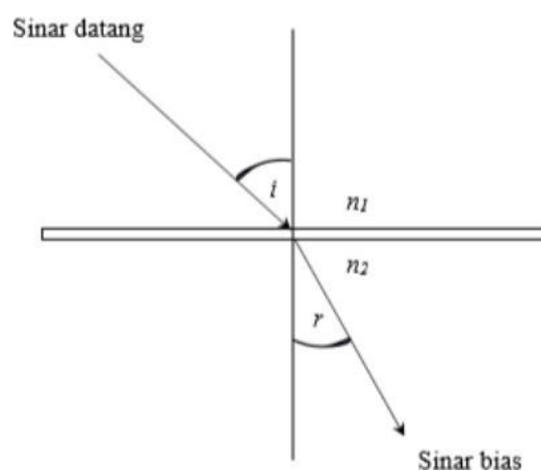
Menurut Lasmi (2008) pemantulan cahaya dibedakan menjadi 2 sebagai berikut :

1. Pemantulan difus atau pemantulan baur, merupakan pemantulan ke segala arah yang terjadi karena berkas sinar datang jauh pada permukaan yang tidak rata. Pemantulan ini dapat menyilaukan mata.
2. Pemantulan teratur, merupakan pemantulan yang terjadi sinar datang jatuh pada permukaan halus atau rata. Cahaya yang dipantulkan ke satu arah dan pemantulan ini menyejukkan mata.

Jarak terdekat cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia normal yaitu 25 cm dan jarak terjauh yang dapat dilihat bernilai tak terhingga. Pada saat ini cahaya yang digunakan untuk penerangan adalah cahaya matahari dan energi listrik.

Hukum Snellius tentang pembiasan :

1. Sudut datang, garis normal, dan sinar pantul terletak pada satu bidang datar.
2. Sudut datang sama dengan sudut pantul ( $i = r$ )



**Gambar 2.13 Pembiasan Cahaya**

### 2.3.2.2 Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya adalah kuantitas fisik utama yang menunjukkan kekuatan sumber cahaya dalam arah tertentu per unit sudut. Symbol untuk intensitas cahaya adalah  $I$  (huruf kapital). Defenisi standar untu 1 candela adalah intensitas cahaya dalam arah tertentu dari sumber cahaya dengan frekuensi  $540 \times 10^{12}$  Hz dengan intensitas radian dalam arah  $1/1682$  watt per steradian. Biasanya intensitas cahaya diukur dengan alat yang bernama lux meter. (Martawati, 2018)

Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi bergantung pada jarak antara matahari dengan bumi. Jarak ini bervariasi pada tiap tahunnya antara  $1,47 \times 10^8$  km dan  $1,52 \times 10^8$  km dan hasil besar pancarannya  $E_0$  naik turun antara  $1325 \text{ W/m}^2$  sampai  $1412 \text{ W/m}^2$ . Nilai rata-ratanya disebut sebagai konstanta matahari dengan nilai  $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ . Pancaran ini tidak dapat mencapai ke permukaan bumi. Atmosfer bumi mengurangi insolation yang melewati pemantulan, penyerapan (oleh ozon, uap air, oksigen, dan karbon dioksida), serta penyebaran (disebabkan oleh molekul udara, partikel debu atau polusi).

### 2.3.2.3 Panel Surya

*Solar cell* atau biasa disebut dengan panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atau matahari atau “sol” karena matahari merupakan sumber cahaya yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel photovoltaic, photovoltaic dapat diartikan sebagai “cahaya listrik”. Sel surya bergantung pada efek photovoltaic untuk menyerap energi (Purwoto, 2018)



Gambar 2.4. Solar Cell  
(Purwoto, 2018)

Pada umumnya, panel surya merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel surya tersebut dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Pada sel surya terdapat sambungan (function) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing - masing yang diketahui sebagai semikonduktor jenis “P” (positif) dan semikonduktor jenis “N” (Negatif). Silikon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung mencapai junction. Bagian P ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif . Dibawah bagian P terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negative (Purwoto, 2018)

Panel surya adalah suatu perangkat yang dapat mengubah energy cahaya menjadi energy listrik, prinsip yang diikuti adalah photovoltaic, adanya energy dari cahaya (foton) pada panjang gelombang tertentu akan mengeksitasi sebagian selektron pada suatu material ke pita energy , hal ini ditemukan oleh Alexandre Edmond Bacquerel (Belgia) Pada tahun 1894.

Ada dua pita energy yaitu konduksi dan valensi, kedua pita nergi ini berturut – turut dari yang berenergi lebih renda adalah pita valensi dan pita konduksi, sedangkan keadaan tanpa electron disebut dengan celah pita. Celah pita ini besarnya

berbeda – beda untuk setiap material semikonduktor, tapi disyaratkan tidak melebihi 3 atau 4 Ev. (Purwoto, 2018)

Sel Surya atau Solar Cell adalah suatu perangkat atau komponen yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek Photovoltaic. Yang dimaksud dengan Efek Photovoltaic adalah suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Oleh karena itu, Sel Surya atau Solar Cell sering disebut juga dengan Sel Photovoltaic (PV). Efek Photovoltaic ini ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839. Arus listrik timbul karena adanya energi foton cahaya matahari yang diterimanya berhasil membebaskan elektron-elektron dalam sambungan semikonduktor tipe N dan tipe P untuk mengalir. Sama seperti Dioda Foto (Photodiode), Sel Surya atau Solar Cell ini juga memiliki kaki Positif dan kaki Negatif yang terhubung ke rangkaian atau perangkat yang memerlukan sumber listrik. Pada dasarnya, Sel Surya merupakan Dioda Foto (Photodiode) yang memiliki permukaan yang sangat besar. Permukaan luas Sel Surya tersebut menjadikan perangkat Sel Surya ini lebih sensitif terhadap cahaya yang masuk dan menghasilkan Tegangan dan Arus yang lebih kuat dari Dioda Foto pada umumnya. Contohnya, sebuah Sel Surya yang terbuat dari bahan semikonduktor silikon mampu menghasilkan tegangan setinggi 0,5V dan Arus setinggi 0,1A saat terkena (expose) cahaya matahari. Saat ini, telah banyak yang mengaplikasikan perangkat Sel Surya ini ke berbagai macam penggunaan. Mulai dari sumber listrik untuk Kalkulator, Mainan, pengisi 17 baterai hingga ke pembangkit listrik dan bahkan sebagai sumber listrik untuk menggerakkan satelit yang mengorbit bumi kita.

Sinar Matahari terdiri dari partikel sangat kecil yang disebut dengan Foton. Ketika terkena sinar Matahari, foton yang merupakan partikel sinar Matahari tersebut menghantam atom semikonduktor silikon Sel Surya sehingga menimbulkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang terpisah dan bermuatan Negatif (-) tersebut akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor. Atom yang kehilangan elektron tersebut akan terjadi kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan

dengan “hole” dengan muatan Positif (+). Daerah Semikonduktor dengan elektron bebas ini bersifat negatif dan bertindak sebagai pendonor elektron, daerah semikonduktor ini disebut dengan semikonduktor tipe N (N-type). Sedangkan daerah semikonduktor dengan hole bersifat positif dan bertindak sebagai penerima (Acceptor) elektron yang dinamakan dengan Semikonduktor tipe P (P-type). Dipersimpangan daerah positif dan negatif (PN Junction), akan menimbulkan energi yang mendorong elektron dan hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah negatif sedangkan hole akan bergerak menjauhi daerah positif. Ketika diberikan sebuah beban berupa lampu maupun perangkat listrik lainnya di persimpangan positif dan negatif (PN Junction) ini, maka akan menimbulkan arus listrik.

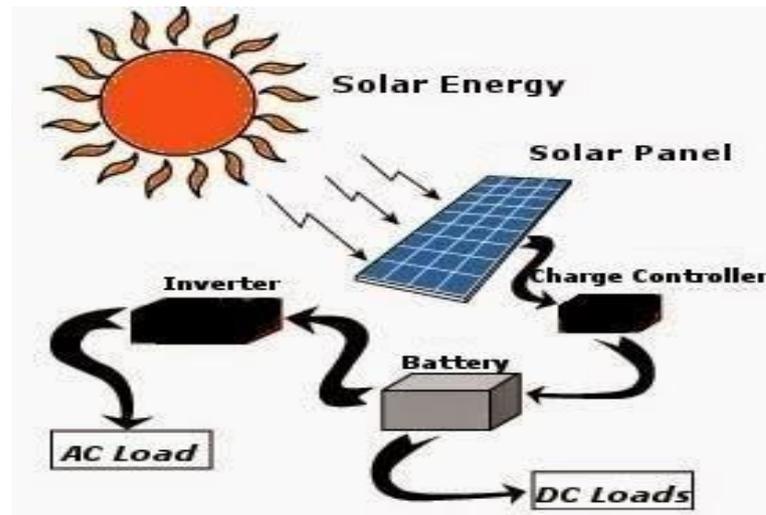
#### **2.3.2.4 Cara Kerja PLTS**

Pembangkit listrik tenaga surya konsepnya sederhana, yaitu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Sumber daya alam matahari ini sudah banyak digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. Sel surya ini dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak terbatas langsung diambil dari matahari, tanpa ada bagian yang berputar dan tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga sistem sel surya sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan. Bandingkan dengan sebuah generator listrik, ada bagian yang berputar dan memerlukan bahan bakar untuk dapat menghasilkan listrik. Suaranya bising, selain itu gas yang dihasilkan dapat menimbulkan efek gas rumah kaca (*green house gas*) yang pengaruhnya dapat merusak ekosistem planet bumi kita.

Sistem sel surya yang dapat digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian (*charge controller*), dan aki (baterai) 12 volt yang *maintenance free*. Panel sel surya merupakan modul yang terdiri dari beberapa sel surya yang dihubungkan seri dan paralel tergantung ukuran dari kapasitas yang diperlukan. Rangkaian kontroler pengisian aki dalam sistem sel surya merupakan rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian akinya. Kontroler ini dapat mengatur tegangan aki dalam selang tegangan 12 volt. Bila tegangan turun sampai 10.8 volt berarti sisa tegangan pada aki 2.2 volt, maka kontroler akan

mengisi aki dengan panel surya sebagai sumber dayanya. Tentu saja proses pengisian itu akan terjadi bila berlangsung pada saat ada cahaya matahari. Jika penurunan tegangan terjadi pada malam hari, maka kontroler akan memutuskan pemasokan energi listrik. Setelah proses pengisian itu berlangsung selama beberapa jam, tegangan aki itu akan naik bila tegangan aki itu mencapai 12 volt, maka kontroler akan menghentikan proses pengisian aki itu. Rangkaian kontroler pengisian aki sebenarnya mudah untuk dirakit sendiri. Tapi, biasanya rangkaian kontroler ini sudah tersedia dipasaran. Memang harga kontroler itu cukup mahal kalau dibeli sebagai unit sendiri. Kebanyakan sistem sel surya itu hanya dijual dalam bentuk paket lengkap itu jelas lebih murah dibandingkan dengan bila merakit sendiri. Biasanya panel surya itu diletakkan dengan posisi lurus menghadap matahari. Padahal bumi itu bergerak mengelilingi matahari, agar dapat terserap secara maksimum sinar matahari itu harus diusahakan selalu jatuh tegak lurus pada permukaan panel surya. (Purwoto, 2018)

Sebuah solar cells menghasilkan kurang lebih tegangan 0.5 Volt. Jadi sebuah panel surya 12 Volt terdiri dari kurang lebih 36 sel (untuk menghasilkan 17 Volt tegangan maksimum). (Diantari Aita Retno, Erlina 2018) Bahan sel surya sendiri terdiri dari kaca pelindung dan material *adhensive* transparan yang melindungi bahan sel surya dari keadaan lingkungan kemudian material anti-refleksi untuk menyerap lebih banyak cahaya dan mengurangi jumlah cahaya yang dipantulkan, semikonduktor P-type dan N-type (terbuat dari campuran silikon) untuk menghasilkan medan listrik, saluran awal dan saluran akhir (terbuat dari logam tipis) untuk mengirim elektron ke perabot listrik. Cara kerja sel surya sendiri sebenarnya identik dengan piranti semikonduktor dioda. Ketika cahaya bersentuhan dengan sel surya dan diserap oleh bahan semi-konduktor, terjadi pelepasan elektron. Apabila elektron tersebut bisa menempuh perjalanan menuju bahan semi-konduktor pada lapisan yang berbeda, terjadi perubahan sigma gaya-gaya pada bahan. Gaya tolakan antar bahan semi-konduktor, menyebabkan aliran medan magnet listrik. Dan menyebabkan elektron dapat disalurkan ke saluran awal dan akhir untuk digunakan pada perabot listrik



**Gambar 2. 5 Sistem Instalasi Menggunakan PLTS**

(Stefanie and Bangsa 2021)

Sinar Matahari terdiri dari partikel sangat kecil yang disebut dengan Foton. Ketika terkena sinar Matahari, Foton yang merupakan partikel sinar Matahari tersebut menghantam atom semikonduktor silikon Sel Surya sehingga menimbulkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari strukturnya. Elektron yang terpisah dan bermuatan Negatif (-) tersebut akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor. Atom yang kehilangan Elektron tersebut akan terjadi kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan dengan “hole” dengan muatan Positif (+). (Stefanie and Bangsa 2021)

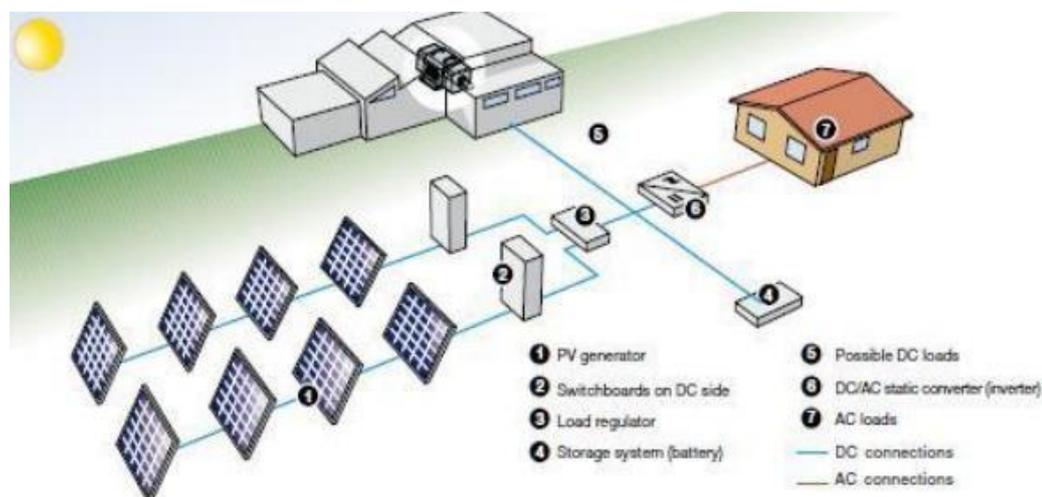
Prinsip kerja dari panel surya adalah jika cahaya matahari mengenai panel surya, maka elektron-elektron yang ada pada sel surya akan bergerak dari N ke P, sehingga pada terminal keluaran dari panel surya akan menghasilkan energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya berbeda-beda tergantung dari jumlah sel surya yang dikombinasikan didalam panel surya tersebut. Keluaran dari panel surya ini adalah berupa listrik arus searah (DC) yang besar tegangan keluarannya tergantung dengan jumlah sel surya yang dipasang didalam panel surya dan banyaknya sinar matahari yang menyinari panel surya tersebut. (Ramadhan, Diniardi, and Mukti 2016).

Daerah Semikonduktor dengan elektron bebas ini bersifat negatif dan bertindak sebagai pendonor elektron, daerah semikonduktor ini disebut dengan

semikonduktor tipe N (N-type). Sedangkan daerah semikonduktor dengan hole bersifat positif dan bertindak sebagai penerima (*Acceptor*) elektron yang dinamakan dengan Semikonduktor tipe P (P-type). Di persimpangan daerah positif dan negatif (PN Junction), akan menimbulkan energi yang mendorong elektron dan hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah negatif sedangkan hole akan bergerak menjauhi daerah positif. Ketika diberikan sebuah beban berupa lampu maupun perangkat listrik lainnya dipersimpangan positif dan negatif (PN Junction) ini, maka akan menimbulkan arus listrik.

#### A. PLTS Terpusat (Offgrid)

Stand alone PV system atau Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (PLTS Terpusat) merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah-daerah terpencil/pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN. Sistem PLTS terpusat disebut juga Stand Alone PV System yaitu sistem pembangkit yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian photovoltaic module untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan. Secara umum konfigurasi PLTS sistem terpusat dapat dilihat seperti gambar



Gambar 2.6 PLTS Offgrid

Prinsip kerja PLTS sistem terpusat dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Sumber energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya (PV) pada siang

hari akan disimpan dalam baterai. Proses pengisian energi listrik dari PV ke baterai diatur oleh Solar Charge Controller agar tidak terjadi over charge. Besar energi yang dihasilkan oleh PV sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh PV dan efisiensi cell. Intensitas matahari maksimum mencapai  $1000 \text{ W/m}^2$ , dengan efisiensi cell 14% maka daya yang dapat dihasilkan oleh PV adalah sebesar  $140 \text{ W/m}^2$ .

2. Selanjutnya energi yang tersimpan dalam baterai digunakan untuk menyuplai beban melalui inverter saat dibutuhkan. Inverter mengubah tegangan DC pada sisi baterai menjadi tegangan AC pada sisi beban

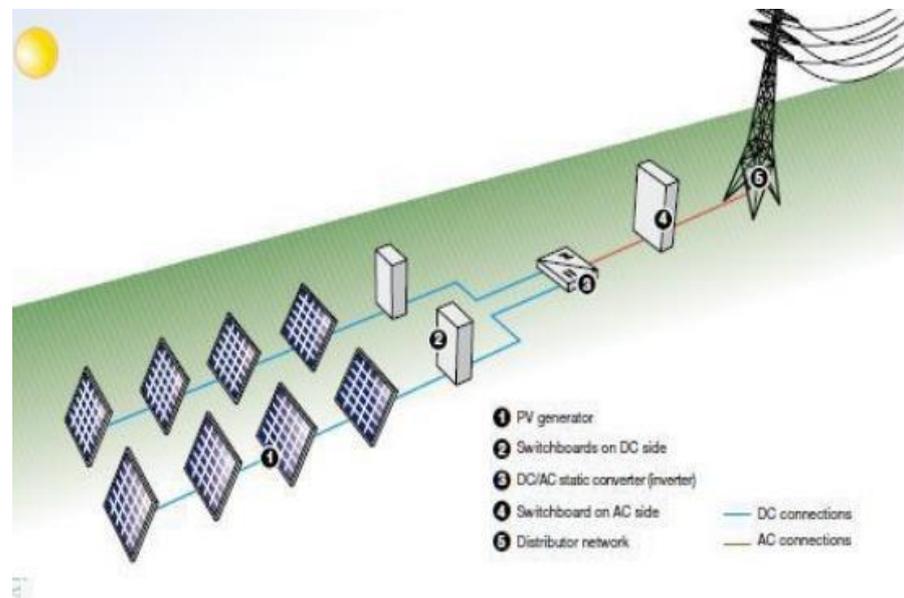
#### B. PLTS Terinterkoneksi (Ongrid)

Grid Connected PV System atau PLTS terinterkoneksi merupakan solusi Green Energi bagi penduduk perkotaan baik perumahan ataupun perkantoran. Sistem ini menggunakan modul surya (photovoltaic module) untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Dengan adanya sistem ini akan mengurangi tagihan listrik rumah tangga, dan memberikan nilai tambah pada pemiliknya. Sesuai namanya, grid connected PV, maka sistem ini akan tetap berhubungan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi PV untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin (ABB, 2010). Berdasarkan pola operasi sistem tenaga listrik ini dibagi menjadi dua yaitu, sistem dengan penyimpanan (storage) atau disebut Grid-connected PV with a battery back up, menggunakan baterai sebagai cadangan dan penyimpanan tenaga listrik dan tanpa baterai atau disebut Grid-connected PV without a battery back up. Baterai pada PLTS On-grid berfungsi sebagai suplai tenaga listrik untuk beban listrik apabila jaringan mengalami kegagalan untuk periode tertentu dan sebagai suplai tenaga listrik ke jaringan listrik negara (PLN) apabila ada kelebihan daya listrik (exces power) yang dibangkitkan PLTS. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, Grid-connected distributed PV dan Grid-connected centralized PV. Prinsip kerja PLTS sistem on-grid dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Pada siang hari, modul surya yang terpasang akan mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). Selanjutnya sebuah

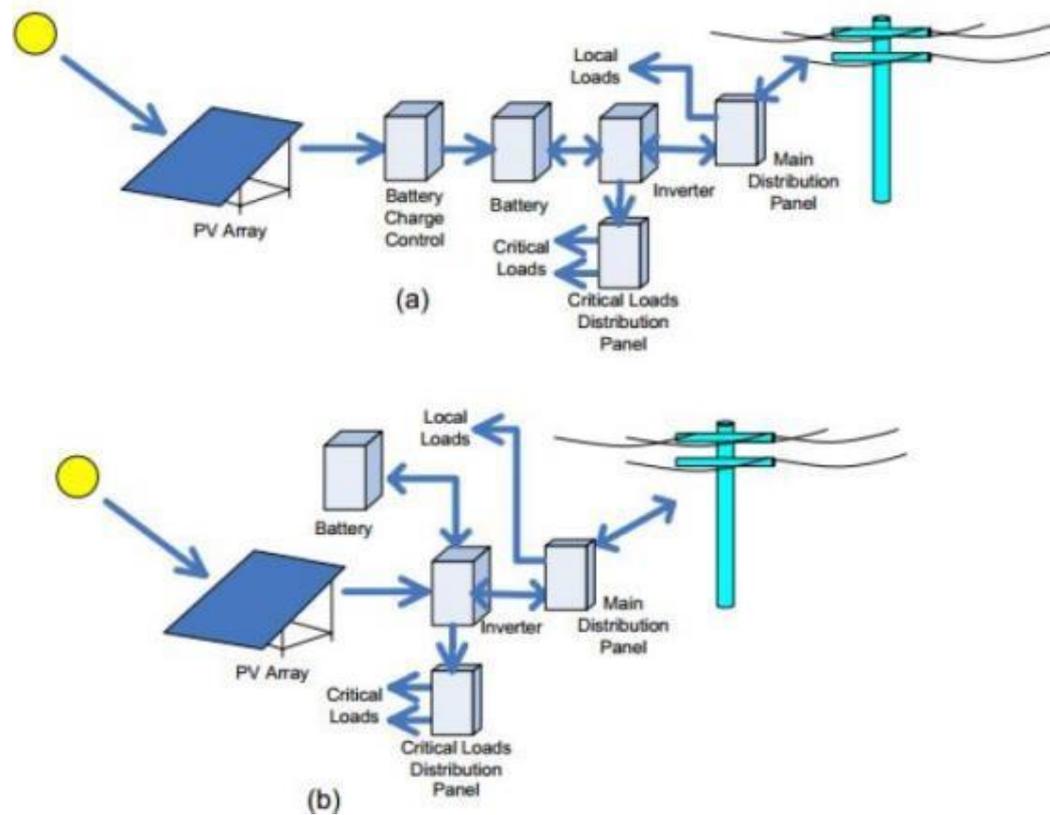
komponen yang II-6 disebut grid inverter merubah listrik arus DC tersebut dari PV menjadi listrik arus bolak-balik (AC) yang kemudian dapat digunakan untuk mensuplai berbagai peralatan rumah tangga. Jadi pada siang hari, kebutuhan energi listrik berbagai peralatan disuplai langsung oleh modul surya. Jika pada kondisi ini terdapat kelebihan energi dari PV maka kelebihan energi ini dapat dijual ke PLN sesuai kebijakan.

2. Pada malam hari atau jika kondisi cuaca mendung maka peralatan akan disuplai oleh jaringan PLN. Hal ini dimungkinkan karena sistem ini tetap terkoneksi dengan jaringan PLN.

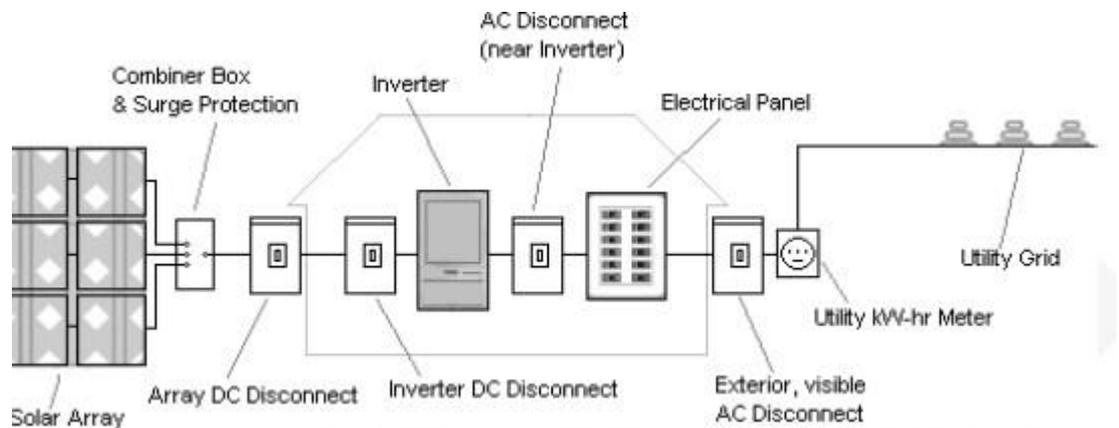


Gambar 2.7 PLTS On Grid

Selain itu sistem PLTS on-grid ini dapat menggunakan baterai sebagai cadangan atau backup energi. Sistem ini disebut sebagai grid connected PV system with battery backup. Sistem ini berfungsi sebagai backup energi listrik untuk menjaga kontinuitas operasional peralatan-peralatan elektronik. Jika suatu saat terjadi kegagalan pada suplai listrik PLN (pemadaman listrik) maka peralatan-peralatan II-7 elektronik dapat beroperasi secara normal dalam jangka waktu tertentu tanpa adanya gangguan.



Gambar 2.8 Sistem PLTS Grid Connection



Gambar 2.9 Konfigurasi Grid Sistem

Dengan baterai back-up memiliki keunggulan dalam pemenuhan kebutuhan listrik. Namun, menambahkan baterai ke sistem dilengkapi dengan beberapa kelemahan yang harus di pertimbangkan terhadap keuntungannya. Kerugian ini antara lain:

- a. Batrai mengkonsumsi energi selama pengisian dan pemakaian, mengurangi

- b. Efisiensi dan output dari sistem PV sekitar 10 persen untuk baterai timbalasam.
- c. Baterai meningkatkan kompleksitas sistem. Kedua biaya pertama dan instalasi
- d. Biaya meningkat.
- e. Kebanyakan baterai biaya yang lebih rendah membutuhkan perawatan.
- f. Baterai biasanya akan perlu diganti sebelum bagian lain dari sistem dan di biaya yang cukup besar

### **2.3.3 Kebutuhan Beban**

Dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga bayu perkiraan permintaan beban yang tepat sangat dibutuhkan. Perkiraan permintaan beban secara sederhana bisa dilakukan dengan mengalikan jumlah pengguna dengan rata-rata estimasi penggunaan listrik per pengguna. Namun, pendekatan ini tidak benar-benar cukup karena memiliki tingkat akurasi yang rendah untuk pedesaan yang besar. Sebaliknya, lebih baik untuk menggabungkan estimasi permintaan listrik masing-masing calon pengguna, seperti rumah tangga, bangunan sosial, dan layanan ekonomi (Widyanto, 2018).

Memperkirakan permintaan listrik membutuhkan usaha yang intensif ketika observasi langsung kelapangan dari pintu ke pintu (door to door). Dua faktor penting dalam perencanaan listrik pedesaan, yaitu kesediaan pengguna untuk terhubung ke akses listrik yang akan dibangun dan konsumsi peralatan listrik yang akan digunakan ketika terhubung ke akses listrik (Widyanto, 2018).

Masalah kemungkinan terjadinya kelebihan permintaan beban harus diperhitungkan langsung dari tahap perencanaan awal. Permintaan cenderung tumbuh setelah tahun pertama penyediaan listrik, karena beberapa alasan. Pertama, peningkatan taraf hidup dan ekonomi lokal memungkinkan pengguna untuk membeli lebih banyak peralatan. Kedua, jumlah pengguna juga kemungkinan akan meningkat karena manfaat elektrifikasi berdampak pada pengguna yang pada awal pembangunan tidak menerima terhubung ke jaringan listrik yang dibangun, dan perkembangan desa juga mempengaruhi kelebihan beban. Untuk mengantisipasi peningkatan permintaan tanpa mengorbankan kualitas layanan, beberapa

komponen dari sistem harus menggunakan kapasitas yang lebih besar saat perencanaan awal. Untuk menghindari besarnya biaya modal awal, maka kapasitas cukup ditingkatkan sebesar 30%, terutama pada kabel dan baterai. Teknologi pembangkit dapat ditingkatkan setelah sesuai dengan permintaan (Widyanto, 2018).

### 2.3.3.1 Profil Beban

Beban listrik dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu beban motor, beban penerangan dan beban elektronik dan lain – lain. Pada penelitian ini beban akan dibedakan menjadi 3 bagian tersebut untuk mempermudah proses penentuan beban yang akan disuplai oleh PLTB nantinya setelah mendapatkan hasil perencanaan dan perancangan.

### 2.3.3.2 Energi Listrik

Energi Listrik Energi menurut Eugene C. Lister yang diterjemahkan oleh Hanapi Gunawan (1993) bahwa energi merupakan kemampuan untuk melakukan kerja, energi merupakan kerja tersimpan. Pengertian ini tidaklah jauh beda dengan ilmu fisika yaitu sebagai kemampuan melakukan usaha (Kamajaya, 1986). Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat pula dimusnahkan. Energi hanya dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk energi yang lain. Demikianlah pula energi listrik yang merupakan hasil perubahan energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik. Keberadaan energi listrik ini dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin. Adapun kegunaan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari merupakan penerangan, pemanas, motormotor listrik dan lain-lain. Energi yang digunakan alat listrik merupakan laju penggunaan energi (daya) dikalikan dengan waktu selama alat tersebut digunakan. (Ahmad Wahin, 2018)

Bila daya diukur dalam watt jam, maka:

$$W = P \times t \quad (2.12)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

t = Waktu (Jam)

W = Energi (Watt-hour)

### 2.3.3.3 Beban Listrik

Beban sistem tenaga listrik merupakan pemakaian tenaga listrik dari para pelanggan listrik. Oleh karenanya, besar kecilnya beban beserta perubahannya tergantung pada kebutuhan para pelanggan akan tenaga listrik. Tidak ada perhitungan eksak mengenai besarnya beban sistem pada suatu saat, yang bisa dilakukan hanyalah membuat perkiraan beban. Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik harus selalu diusahakan agar daya yang dibangkitkan sama dengan beban sistem. Maka masalah perkiraan beban merupakan masalah yang sangat menentukan bagi kelembagaan listrik baik segi-segi manajerial maupun bagi segi operasional, oleh karena itu perlu mendapat perhatian khusus. Untuk dapat membuat perkiraan beban yang sebaik mungkin perlu beban sistem tenaga listrik yang sudah terjadi di masa lalu dianalisa (Ahmad Wahin, 2018)

Menurut Djiteng Marsudi (2006) pembagian kelompok perkiraan beban yaitu, Perkiraan beban jangka panjang Perkiraan beban jangka panjang adalah untuk jangka waktu di atas satu tahun. Dalam perkiraan beban jangka panjang masalah-masalah makro ekonomi yang merupakan masalah ekstern kelembagaan listrik merupakan faktor utama yang menentukan arah perkiraan beban. Perkiraan beban jangka menengah Perkiraan beban jangka menengah adalah untuk jangka waktu dari satu bulan sampai dengan satu tahun. Poros untuk perkiraan beban jangka menengah adalah perkiraan beban jangka panjang. Perkiraan beban jangka pendek Perkiraan beban jangka pendek adalah untuk jangka waktu beberapa jam sampai satu minggu (168 jam). Dalam perkiraan beban jangka pendek batas atas untuk beban maksimum dan batas bawah untuk beban minimum yang ditentukan dalam perkiraan beban jangka menengah.

Beban rata-rata (Br) didefinisikan sebagai perbandingan antara energi yang terpakai dengan waktu pada periode. Atau dituliskan menurut persamaan 1 periode tahunan : (Ahmad Wahin, 2018)

$$Br = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{365 \cdot 24} \quad (2.13)$$

Faktor beban didefinisikan sebagai perbandingan antara beban rata-rata dengan beban puncak yang diukur untuk suatu periode waktu tertentu. Beban puncak

(Lf) yang dimaksud adalah beban puncak sesaat atau beban puncak rata-rata dalam interval tertentu, pada umumnya dipakai beban puncak pada waktu 15 menit atau 30 menit. Untuk prakiraan besarnya faktor beban pada masa yang akan datang dapat didekati dengan data statistik yang ada. Dari definisi faktor beban dapat dituliskan : (Ahmad Wahin, 2018)

$$K_f = \frac{P_{rata-rata}}{P_{maksimum}} \quad (2.14)$$

Persamaan tersebut mengandung arti bahwa beban rata-rata akan selalu bernilai lebih kecil dari kebutuhan maksimum atau beban puncak, sehingga faktor beban akan selalu kecil dari satu (Ahmad Wahin, 2018)

#### 2.3.3.4 Daya Listrik

Daya listrik adalah tingkat konsumsi energi dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Daya listrik menyatakan banyaknya energi listrik yang terpakai setiap detiknya. Satuan daya listrik adalah Watt. Di mana 1 Watt = 1 Joule/detik. (Nanang Setiaji, 2020)

$$P = \frac{E}{t} \quad (2.15)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

t = Waktu (Jam)

E = Energi (Joule)

Pada dasarnya daya listrik terbagi menjadi 3 yaitu : (Nanang Setiaji, 2020)

##### a. Daya nyata atau daya aktif (Watt)

Daya nyata merupakan daya yang dibutuhkan beban dan biasanya daya aktif nilainya lebih rendah dibandingkan dengan daya semu. Daya Aktif dihasilkan dari hasil perkalian Daya Semu dengan Faktor Daya (Cosphi). Daya aktif akan mengalami penurunan nilai yang diakibatkan adanya beban-beban listrik yang menghasilkan daya reaktif. (Nanang Setiaji, 2020)

$$P = P_s \cos \phi \quad (2.16)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

$V$  = Tegangan (Volt)  
 $I$  = Arus (Ampere)  
 $\cos \phi$  = Faktor Daya

b. Daya Semu (VA)

Daya Semu merupakan daya yang dihasilkan dari perhitungan-perhitungan listrik sebelum dibebani dengan bebanbeban listrik. Satuan daya nyata adalah VA (Volt.ampere). beban yang bersifat daya semu adalah beban yang bersifat resistansi (R). Peralatan listrik atau beban pada rangkaian listrik yang bersifat resistansi tidak dapat dihemat karena tegangan dan arus listrik memiliki nilai faktor daya adalah 1.

$$S = VI \quad (2.17)$$

Dimana :

$S$  = Daya Semu (VA)  
 $V$  = Tegangan (Volt)  
 $I$  = Arus (Ampere)

c. Daya Reaktif (VAR)

Daya Reaktif merupakan daya yang mengakibatkan terjadinya kerugiankerugian daya, sehingga daya dapat mengakibatkan terjadinya penurunan nilai factor daya ( $\cos \phi$ ). Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt. Amper Reaktif). Untuk menghemat daya reaktif dapat dilakukan dengan memasang kapasitor pada rangkaian yang memiliki beban bersifat induktif.

$$Q = VI \sin \phi \quad (2.18)$$

Dimana :

$Q$  = Daya reaktif (VAR)  
 $S$  = Daya semu (VA)  
 $P$  = Daya Aktif (Watt)

### 2.3.3.5 Tarif Listrik

Tarif Tenaga Listrik (TTL) adalah tarif yang dikenakan oleh pemegang Ijin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPTL) kepada konsumen/pelanggan, yang mana besaran tarifnya ditetapkan oleh Pemerintah/Pemerintah Daerah. Berdasarkan UU Kelistrikan No. 30/2009, TTL ditentukan oleh pemerintah (c.q. Kementerian

ESDM)/pemerintah daerah dengan persetujuan DPR/DPRD. Sebagian besar wilayah usaha PT PLN menggunakan TTL yang seragam (uniform) untuk setiap kelompok pelanggan, kecuali untuk Pulau Batam dan Tarakan dimana TTL ditentukan oleh pemerintah daerah dan disetujui oleh DPRD. Adanya keterlibatan DPR dalam penetapan TTL dan subsidi menjadikan proses ini sarat dengan kepentingan politik, selain daripada teknis ekonomi. Sementara itu, untuk melaksanakan percepatan penyediaan tenaga listrik di desa tertinggal, terpencil, dan terluar (3T) pemerintah mengadakan program Listrik Desa (LisDes) yang mengutamakan penggunaan sumber energi setempat. Untuk daerah isolated yang sulit dijangkau oleh jaringan PLN, pemerintah melalui direktorat jenderal EBTKE menyediakan lampu tenaga surya hemat energi (LTSHE) sebagai bagian dari program pra-elektifikasi. (Pamela Simamora, 2019)

Ada dua jenis mekanisme tarif yang digunakan di program LisDes, dengan dan tanpa subsidi. Tarif bersubsidi akan dikenakan pada wilayah usaha yang ditetapkan oleh Menteri ESDM atas usulan gubernur (Permen ESDM No. 38/2016). Diluar itu, akan dikenakan tarif non-subsidi yang ditetapkan oleh gubernur. Dalam hal gubernur tidak dapat menetapkan tarif non-subsidi, pemerintah akan menetapkan tarif berdasarkan TTL PT. PLN. Besaran subsidi yang diberikan kepada badan usaha bergantung pada TTL rumah tangga daya 450 VA, Biaya Pokok Penyediaan (BPP), ditambah margin. Adapun mekanisme penyesuaian TTL (tari adjustment) PT. PLN bergantung pada BPP, nilai tukar mata uang Dollar Amerika terhadap Rupiah (kurs), Indonesian Crude Price (ICP), dan inflasi. Terdapat dua tipe pembayaran listrik di Indonesia, tarif pascabayar yang dibayar setelah pemakaian listrik oleh konsumen pada bulan berikutnya dan tarif Prabayar, dimana konsumen membayar kuota listriknya terlebih dulu. Listrik dianggap sebagai barang untuk kepentingan strategis sehingga tidak dikenakan pajak pertambahan nilai (PPN), kecuali untuk rumah dengan kapasitas daya lebih dari 6600 VA. (Pamela Simamora, 2019)

Seperti terlihat pada Gambar 2.12, biaya produksi listrik selalu lebih tinggi daripada harga jual listrik rata-rata. Selisih ini akan dibayarkan oleh pemerintah ke PLN melalui mekanisme subsidi. Jumlah subsidi listrik yang dibayarkan oleh pemerintah per tahun dapat dilihat pada Gambar 2. Walaupun sejak 2015 jumlah subsidi listrik menurun drastis karena dicabutnya subsidi listrik untuk semua golongan kecuali golongan rumah tangga 450 VA dan 900 VA, tren tiga tahun terakhir menunjukkan adanya pembengkakan subsidi listrik (subsidi lebih besar

daripada yang dianggarkan). Penurunan subsidi listrik dari Rp 60.4 triliun di 2016 menjadi Rp 45.7 triliun di 2017 terjadi bersamaan dengan dicabutnya subsidi listrik bagi golongan 900 VA yang dianggap mampu sejak Januari 2017, mengikuti terbitnya Permen ESDM No. 29/2016 (Pamela Simamora, 2019).



Gambar 1 Biaya produksi listrik dan harga jual listrik rata-rata. Biaya produksi listrik mencakup biaya pembangkitan dan biaya transmisi dan distribusi. Sumber: Statistik PLN.

### **Gambar 2.13 Biaya Produksi dan Harga Jual Listrik (Rp/kWh)**

(Pamela Simamora, 2019)

Meskipun Permen ESDM No. 18/2017 mengatur penyesuaian tarif (tari adjustment) untuk dilakukan setiap 3 bulan (setiap bulan dalam pada Permen ESDM No. 28/2016 sebelumnya), sejak Januari 2017 pemerintah belum menaikkan TTL ke pelanggan PLN, bahkan berjanji untuk tidak menaikkan TTL hingga 2019. Menurut pemerintah, hal ini dilakukan untuk menjaga daya beli masyarakat dan mendukung stabilitas ekonomi nasional. Sementara itu, sejumlah pengamat energi berpendapat keputusan untuk tidak menaikkan TTL ini berkaitan erat dengan tahun politik dan sudah sering dilakukan oleh pemerintahan sebelumnya untuk menjaga dukungan politik dari masyarakat dalam pemilihan umum (pemilu). Golongan tarif listrik di Indonesia dibagi menjadi 37 golongan, 13 diantaranya terikat dengan mekanisme penyesuaian tarif (tari adjustment). Golongan tarif listrik dibedakan berdasarkan penggunaannya (sosial, rumah tangga, bisnis, industri, kantor pemerintah dan penerangan umum, traksi, curah, dan layanan khusus) dan kapasitas daya listriknya (450 VA, 900 VA, 1300 VA, 2200 VA, 3500-5500 VA, >6600 VA). Penetapan TTL dan penyesuaian tarif diatur dalam peraturan Menteri (Permen)

ESDM No. 28/2016 (diubah oleh Permen ESDM No. 18/2017 dan Permen ESDM No. 41/2017) tentang Tarif Tenaga Listrik yang disediakan oleh PT. PLN (Persero).

Banyaknya golongan tarif ini menjadi sorotan karena dinilai terlalu rumit. Praktik di negara-negara lain umumnya tidak menggunakan penggolongan tarif berdasarkan kapasitas daya, namun hanya berdasarkan sektor penggunaannya. Pada umumnya di liberalized market perusahaan listrik mengenakan tarif yang tetap (fixed) untuk semua pelanggannya (e.g. Jerman). Adapun praktik lainnya, perusahaan listrik dapat mengenakan tarif progresif dimana semakin besar penggunaan listrik maka semakin besar pula tarif listrik per unitnya (e.g. Italia). Selain itu, ada juga negara yang menerapkan perubahan tarif listrik berdasarkan waktu penggunaan (Time of Use) dimana tarif ketika beban puncak akan lebih tinggi daripada tarif pada waktu lainnya (e.g. Australia dan Taiwan).

Beberapa negara menerapkan sistem subsidi untuk masyarakat miskin (yang tingkat konsumsi listriknya rendah). Sebagai contoh, sejak tahun 2008 hingga 2018, perusahaan listrik Malaysia memberikan rabat (rebate) sebesar RM20 (sekitar Rp 68,000) untuk semua pelanggan listrik. Jika konsumsi listriknya melebihi RM20, maka pelanggan harus membayar tarif penuh (bukan hanya kelebihannya). Sejak 1 Januari 2019, pemerintah Malaysia mengubah skema rabatnya menjadi RM40, namun rabat ini hanya diberikan kepada masyarakat miskin yang terda-ar. Jika konsumsi listriknya melebihi RM40, maka pelanggan hanya perlu membayar kelebihannya. Sementara itu, beberapa negara lain menetapkan tarif listrik yang lebih tinggi dibanding biaya produksinya. Di Jerman, selain biaya pembangkitan, komponen tarif listrik terdiri dari komponen tarif jaringan, pungutan (levies/surcharge) untuk pembiayaan Energi Terbarukan (ET), dan pajak lainnya. Di tahun 2018, lebih dari setengah (54%) tarif listrik untuk rumah tangga dan usaha kecil merupakan komponen pungutan dan pajak- 23% nya adalah pungutan (surcharge) untuk ET, 25% untuk biaya jaringan, dan hanya 21% untuk biaya pembangkitan (BDEW, 2018). Tingginya surcharge untuk ET sejalan dengan komitmen pemerintah Jerman dalam pengembangan ET untuk menggantikan energi nuklir dan juga batubara. Meskipun tarif listrik di Jerman merupakan tarif listrik termahal kedua di EU setelah Denmark, tagihan listrik per bulan untuk rumah tangga di negara tersebut tidak lebih mahal dari negara-negara OECD lainnya. Hal

ini dimungkinkan oleh program Efisiensi Energi yang berjalan dengan efektif di Jerman. (Pamela Simamora, 2019)

Belajar dari pengalaman di negara lain, kebijakan tarif listrik di Indonesia hendaknya memperhitungkan rencana jangka panjang untuk memastikan ketahanan energi. Salah satu komponen yang masih belum diakomodasi dalam skema tarif saat ini adalah komponen tarif untuk pengembangan ET. Penggunaan surcharge di Indonesia mungkin bisa diterapkan untuk golongan masyarakat mampu. Hal ini menjadi penting, mengingat perkembangan ET di Indonesia cukup lambat karena tidak adanya insentif untuk PLN untuk menggunakan ET. Sementara itu, untuk memastikan akses energi ke semua golongan masyarakat, pemerintah bisa mempertimbangkan untuk membebaskan golongan masyarakat tidak mampu dari tagihan listrik. (Pamela Simamora, 2019)

**BAB 3**  
**METODE PENELITIAN**

**3.1. Waktu dan Tempat**

**3.1.1. Waktu**

Waktu pelaksanaan penelitian ini ditargetkan dilakukan dalam waktu selama 6 bulan terhitung dari tanggal 2 Agustus 2023 sampai 6 Februari 2024. Dimulai dengan persetujuan proposal ini sampai selesai penelitian. Penelitian diawali dengan kajian awal (tinjauan pustaka), kecepatan angin, cahaya matahari, lalu analisa data, terakhir kesimpulan dan saran. Rincian dari penelitian ini seperti pada tabel berikut :

**3.1.2. Tabel Jadwal Penelitian**

| No. | Uraian                         | Bulan Ke- |   |   |   |   |   |
|-----|--------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|
|     |                                | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1.  | Kajian literatur               |           |   |   |   |   |   |
| 2.  | Penyusunan proposal penelitian |           |   |   |   |   |   |
| 3.  | Penulisan Bab 1 s/d Bab 3      |           |   |   |   |   |   |
| 4.  | Seminar proposal penelitian    |           |   |   |   |   |   |
| 4.  | Pengambilan Data               |           |   |   |   |   |   |
| 5.  | Pengolahan Data                |           |   |   |   |   |   |
| 6.  | Seminar hasil penelitian       |           |   |   |   |   |   |
| 7.  | Sidang akhir                   |           |   |   |   |   |   |

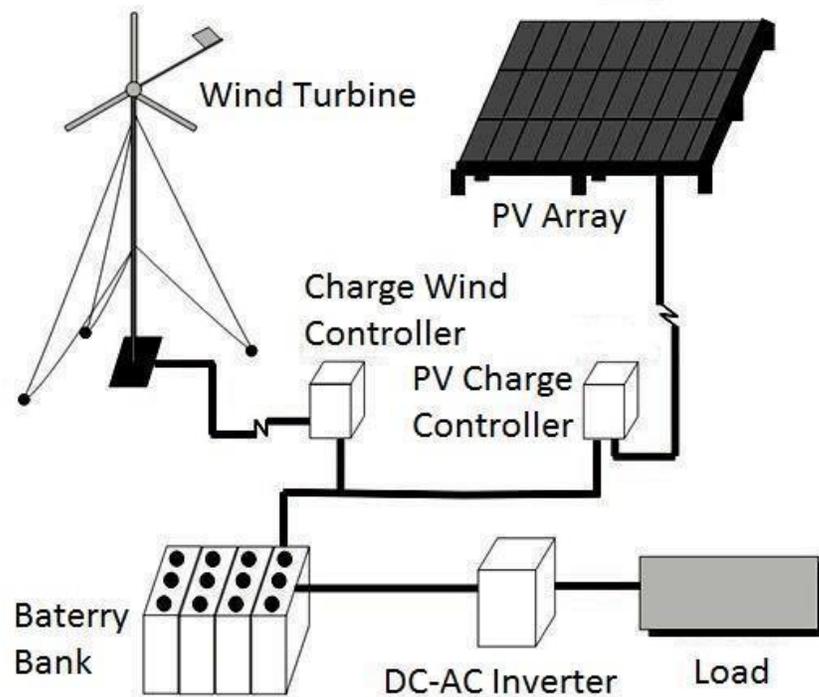
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

### 3.1.3. Tempat

Penelitian dilaksanakan pada **PETERNAKAN HEWAN QURBAN KECAMATAN DOLOK MASIHUL KABUPATEN SERDANG BEDAGAI SUMATERA UTARA.**

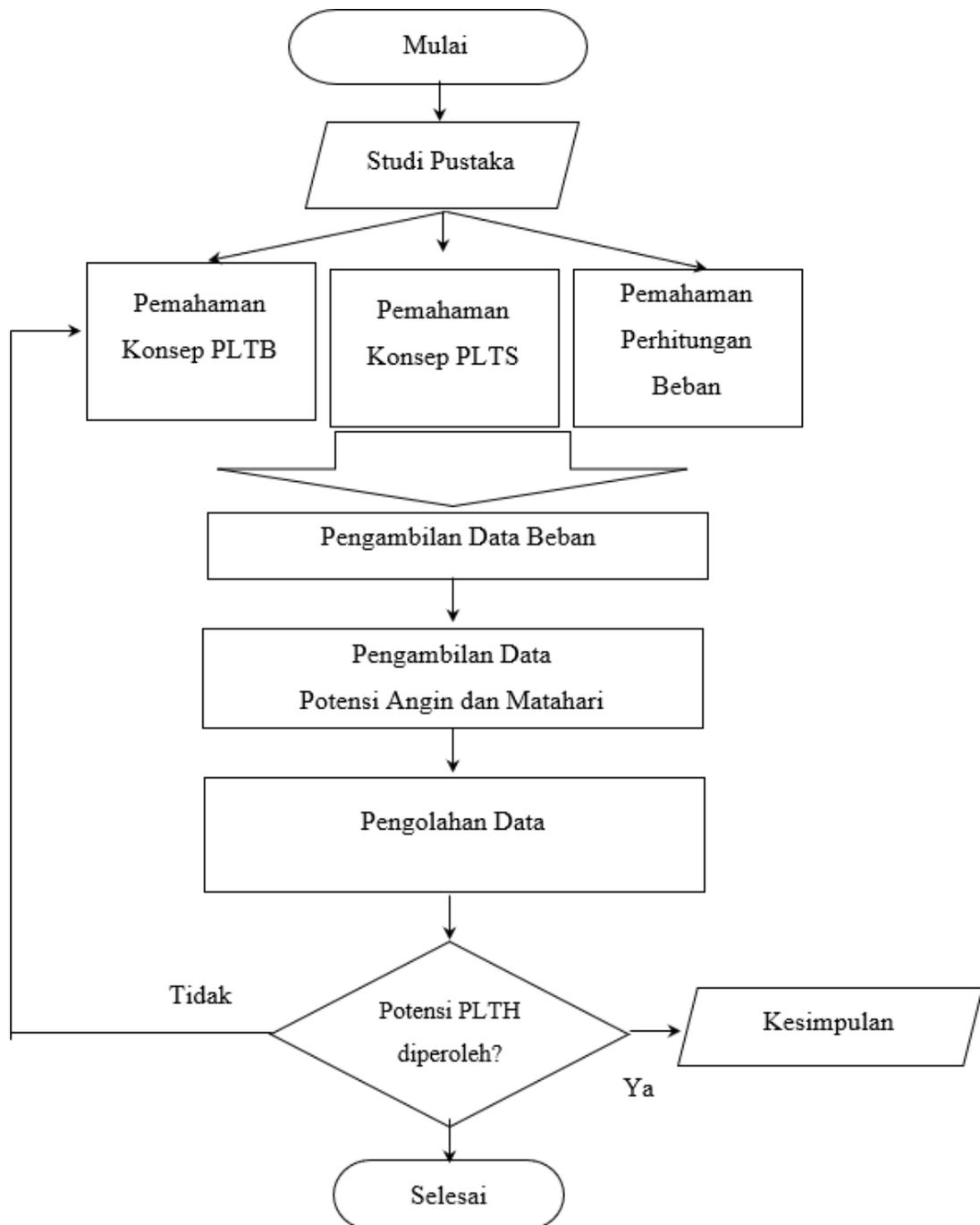
### 3.2. Konfigurasi PLTH

Adapun diagram blok pembangkit listrik tenaga Hybrid untuk mempermudah penulis dalam mengambil data penelitian adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Konfigurasi Sistem PLTH

### 3.3. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.6. Bagan Alir Penelitian

### **3.4. Metode Pengumpulan Data**

Adapun Metode pengumpulan data adalah sebagai berikut :

1. Data Angin

Data kecepatan angin pada penelitian ini diambil dari software HOMER yang telah menyediakan data diseluruh dunia. Adapun data yang digunakan diambil dari badan antariksa dunia yaitu Nasa yang telah melakukan pengambilan data dari tahun 1983 sampai tahun 2020

2. PLTS

Data energi matahari pada penelitian ini diambil dari software HOMER yang telah menyediakan data diseluruh dunia. Adapun data yang digunakan diambil dari badan antariksa dunia yaitu Nasa yang telah melakukan pengambilan data dari tahun 1983 sampai tahun 2020

### **3.5. Metode Pengolahan Data**

Adapun metode pengolahan data adalah sebagai berikut :

1. Data kecepatan angin dan data intensitas cahaya matahari yang didapat akan dilakukan analisa potensi daya yang dapat dihasilkan data tersebut.
2. Kemudian akan dijumlahkan dari ke 2 pembangkit listrik yaitu PLTS dan PLTB mana yang paling berpotensi untuk menghasilkan daya listrik. Kemudian akan dilihat keseluruhan daya yang dihasilkan
3. Dari pemabangkit listrik tenaga HYBRIND diperoleh daya yang akan dihubungkan dengan beban yang ada, dimana hasil akhir akan ditentukan kapasitas yang diperlukan untuk mensuplai beban yang ada.
4. Setelah kapasitas didapat maka selanjutnya menghitung nilai ekonomis apabila PLTH ini dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi listrik pada lokasi penelitian.

## BAB 4

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Penelitian

Hasil penelitian didapat melalui pengambilan data yang kemudian akan dihitung dan dianalisis sesuai dengan kebutuhan penelitian. Adapun hasil penelitian meliputi tujuan penelitian yaitu perhitungan beban pada lokasi penelitian, menentukan kapasitas PLTS dan PLTB untuk mensuplai beban dan menganalisis nilai ekonomis untuk perencanaan PLTH.

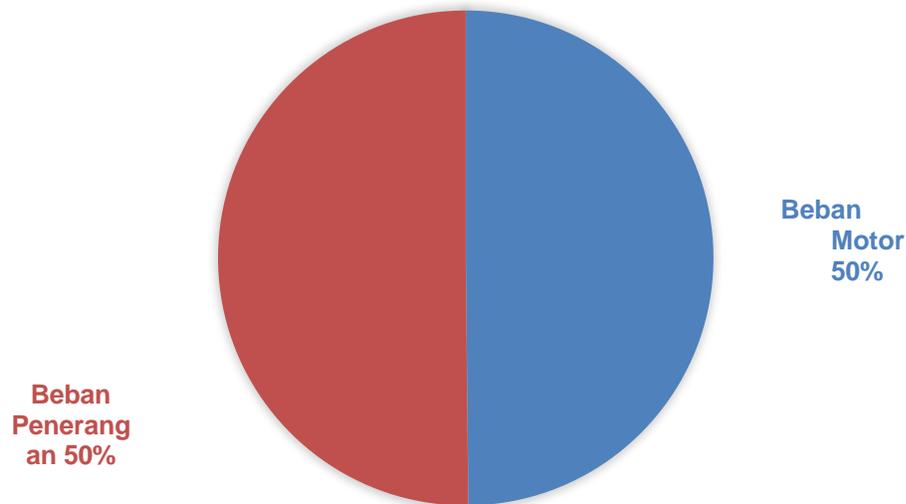
##### 4.1.1. Total Beban pada Peternakan Hewan Qurban

Beban listrik pada Peternakan Hewan Qurban ini Setelah melakukan survey adapun Tabel klasifikasi beban yang ada pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data Beban Pada Lokasi Penelitian

| No                   | Nama Beban      | Jumlah | Kapasitas<br>Daya | Total<br>Daya | Waktu<br>Pakai | Total<br>Daya<br>Terpakai |
|----------------------|-----------------|--------|-------------------|---------------|----------------|---------------------------|
|                      |                 |        | (Watt)            | (Watt)        | (Hour)         | (Wh/Hari)                 |
| <b>Penetas Telur</b> |                 |        |                   |               |                |                           |
| 1                    | Lampu           | 2      | 15                | 30            | 24             | 720                       |
| 2                    | Motor           | 1      | 200               | 200           | 24             | 4800                      |
| Total                |                 |        |                   | 230           | -              | 5520                      |
| <b>Penerangan</b>    |                 |        |                   |               |                |                           |
| 1                    | Lampu Panasonic | 5      | 11                | 55            | 12             | 660                       |
| 2                    | Lampu Panasonic | 10     | 7                 | 70            | 12             | 840                       |
| 3                    | Lampu Philips   | 5      | 42                | 210           | 12             | 2520                      |
| 4                    | Lampu Panasonic | 4      | 32                | 128           | 12             | 1536                      |
| Total                |                 |        |                   | 463           |                | 5556                      |
| <b>Keseluruhan</b>   |                 |        |                   | 923           |                | 11076                     |

Dari hasil survey penggunaan beban lokasi penelitian, terdapat 2 klasifikasi beban pada Tabel 4.1 dimana beban motor pompa air untuk mandi ternak memakai daya sebesar 5520 Wh/hari dan beban untuk penerangan memakai daya sebesar 5556 Wh/hari. Dari 2 klasifikasi beban dapat dihasilkan grafik beban berdasarkan 2 klasifikasi beban pada Gambar 4.2 berikut :



Gambar 4.1 Presentase Beban Pada Peternakan Hewan Qurban

Pada gambar grafik presentasi penggunaan beban Peternakan Hewan Qurban dapat dilihat bahwa beban alat penetas terus dengan beban penerangan yang ada pada lokasi penelitian relatif sama, dapat dilihat pada grafik presentasi yang dihasilkan besar antara 2 klasifikasi beban yaitu masing – masing 50%.

#### 4.1.2. Analisis Kebutuhan Kapasitas PLTS

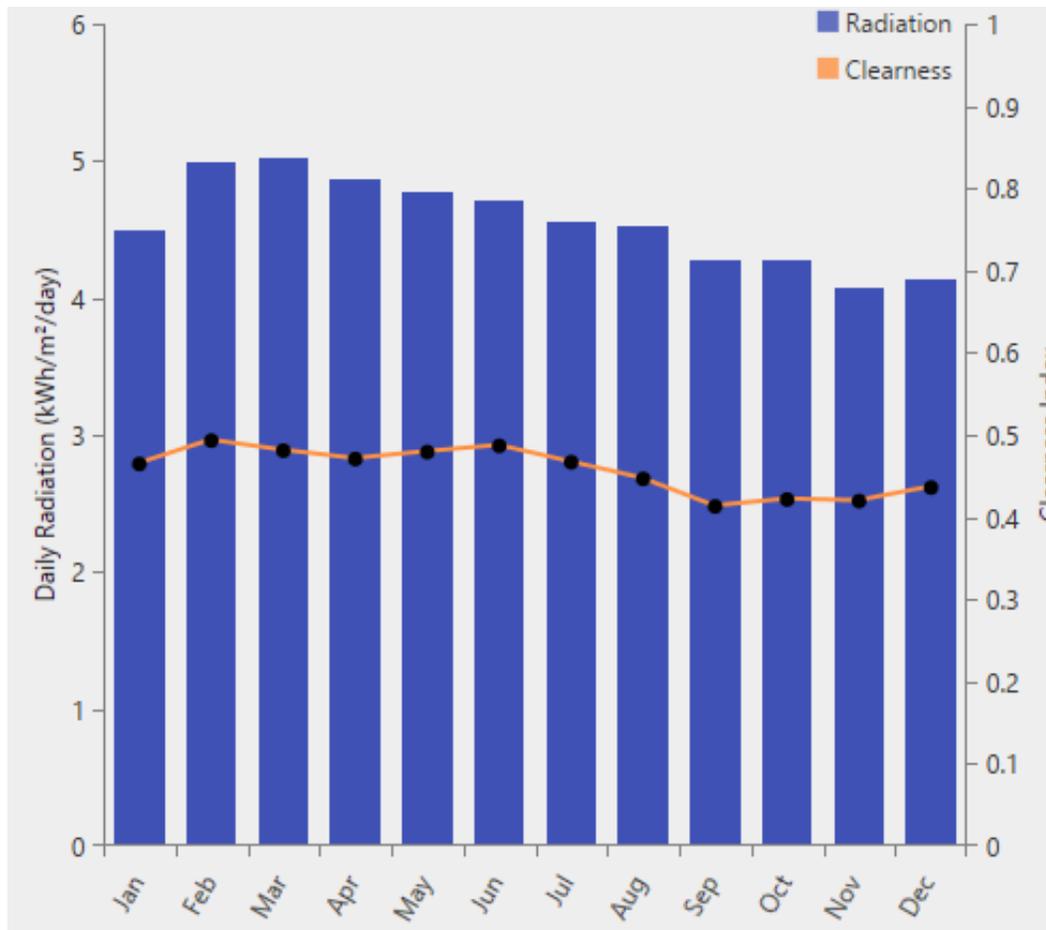
Pada analisis kebutuhan kapastias PLTS, akan ditentukan dan disesuaikan dengan kebutuhan beban yang ada. Dimana pada penelitian ini beban yang akan ditentukan kapastias PLTS adalah beban pompa air dan beban penerangan. Untuk mengetahui kapasitas PLTS dibutuhkan ESH pada lokasi penelitian. Nilai ekuivalen ESH di Indonesia adalah 4,8 dan secara spesifik pada Kabupaten Sergai tingkat

intensitas rata – rata cahaya matahari adalah sebesar 4,56 kWh/kWp seperti data yang didapat pada aplikasi HOMER berikut ini :

Tabel 4.2 Intensitas Cahaya Matahari Kabupaten Sergai

| Bulan | Daily Radition (kWh/m <sup>2</sup> /day) |
|-------|--|
| Jan   | 4.490                                    |
| Feb   | 4.990                                    |
| Mar   | 5.020                                    |
| Apr   | 4.870                                    |
| May   | 4.770                                    |
| Jun   | 4.710                                    |
| Jul   | 4.560                                    |
| Aug   | 4.520                                    |
| Sep   | 4.270                                    |
| Oct   | 4.280                                    |
| Nov   | 4.080                                    |
| Dec   | 4.130                                    |

Sumber : Nasa Prediction of World wide Energu Resource (POWER) database. Mothly averages fot global horizontol radiation over 22 year peroid (1993 – 2015)



Gambar 4.2 Grafik Intensitas Cahaya Matahari Kabupaten Sergai

Pada perencanaan digunakan PLTS dengan spesifikasi yang telah ditentukan, adapun jenis spesifikasi PLTS yang akan digunakan pada perencanaan ini dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Spesifikasi PLTS yang digunakan

| Spesifikasi                        | Keterangan |
|------------------------------------|------------|
| Max. Power (Pmax)                  | 100W       |
| Max. Power Voltage (Vmp)           | 18.4V      |
| Max. Power Current (Imp)           | 5.68A      |
| Open Circuit Voltage (Voc)         | 22V        |
| Short Circuit Current (Isc)        | 6.33A      |
| Nominal Operating Cell Temp (NOCT) | 45±2°C     |
| Max. System Voltage                | 1000V      |

| Spesifikasi      | Keterangan          |
|------------------|---------------------|
| Max. Series Fuse | 16A                 |
| Weight           | 8.3 Kg              |
| Dimension        | ±1005 x 670 x 35 mm |
| Efisiensi        | 25%                 |
| FF               | 75%                 |

a. Beban Total

1. Kapasitas PLTS

Pada beban total beban yang digunakan adalah sebesar 353,752 kWh / hari, kemudian tingkat ESH pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.6 dimana rata – rata ESH perbulan adalah 4,6. Maka kapasitas PLTS yang dibutuhkan adalah :

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas PLTS} &= \frac{\text{Beban Total} \times \text{ESH}}{\text{FF}} \\ \text{Kapasitas PLTS} &= \frac{11076}{4,56} \\ &= 2.428,9 \text{ Wp} \\ &= 2,43 \text{ kWp} \end{aligned}$$

Kapasitas PLTS yang didapat kemudian dikalikan dengan rugi – rugi sistem sebesar 25% , adapun PLTS yang dipasang setelah dikalikan dengan rugi – rugi sistem adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Daya Puncak PLTS} &= (\text{Kapasitas PLTS}) + (\text{Kapasitas PLTS} \times \text{Rugi Rugi Sistem}) \\ &= 2.428,9 \text{ Wp} + (2.428,9 \text{ Wp} \times 25\%) \\ &= 3.036,13 \text{ Wp} \end{aligned}$$

2. Rugi – Rugi Inverter

Inverter memiliki tingkat efisiensi sebesar 85%, maka rugi – rugi penggunaan inverter mencapai 15%. Maka kapasitas daya puncak PLTS tambah dengan 15% dari daya puncak untuk menutupi rugi – rugi yang ditimbulkan oleh penggunaan inverter. Maka daya PLTS yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\text{Daya PLTS} = (\text{Daya Puncak PLTS}) + (\text{Daya Puncak PLTS} \times \text{Rugi Rugi Inverter})$$

$$\begin{aligned}
 &= 3.036,13 \text{ Wp} + (3.036,13 \text{ Wp} \times 15\%) \\
 &= 3.491,55 \text{ Wp}
 \end{aligned}$$

### 3. Jumlah Panel

Dimana banyaknya panel surya dengan kapasitas 100 WP yang dibutuhkan untuk mendapatkan daya puncak PLTS adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah PLTS} &= \frac{3491,55}{100} \\
 &= 34,91 \text{ Modul} \\
 &= 35 \text{ Digenapkan}
 \end{aligned}$$

### 4. Luas Area yang dibutuhkan

Dari Tabel 4.6 luas area modul panel surya adalah  $0,67\text{m}^2$  untuk setiap modulnya.

Untuk memasang 824 Modul dibutuhkan luas area sebagai berikut :

Luas Area = Jumlah Modul x Luas PLTS permodul

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Area} &= 35 \times 0,67 \\
 &= 23,45 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Maka untuk mensuplai beban penerangan pada lokasi penelitian dibutuhkan kapasitas PLTS sebesar 3.491,55 Wp dengan 35 Modul panel surya berkapasitas 100 Wp dengan luas area yang dibutuhkan adalah sebesar  $23,45 \text{ m}^2$ .

### 5. Kapasitas Baterai yang dibutuhkan

Untuk menentukan kapasitas baterai yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\text{Kebutuhan Baterai} = \frac{11076}{12}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan Baterai} &= \frac{11076 \text{ Wh}}{12} \\
 &= 923 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

Apabila menggunakan baterai berkapasitas 100 Ah maka yang dibutuhkan adalah sebanyak 10 Unit.

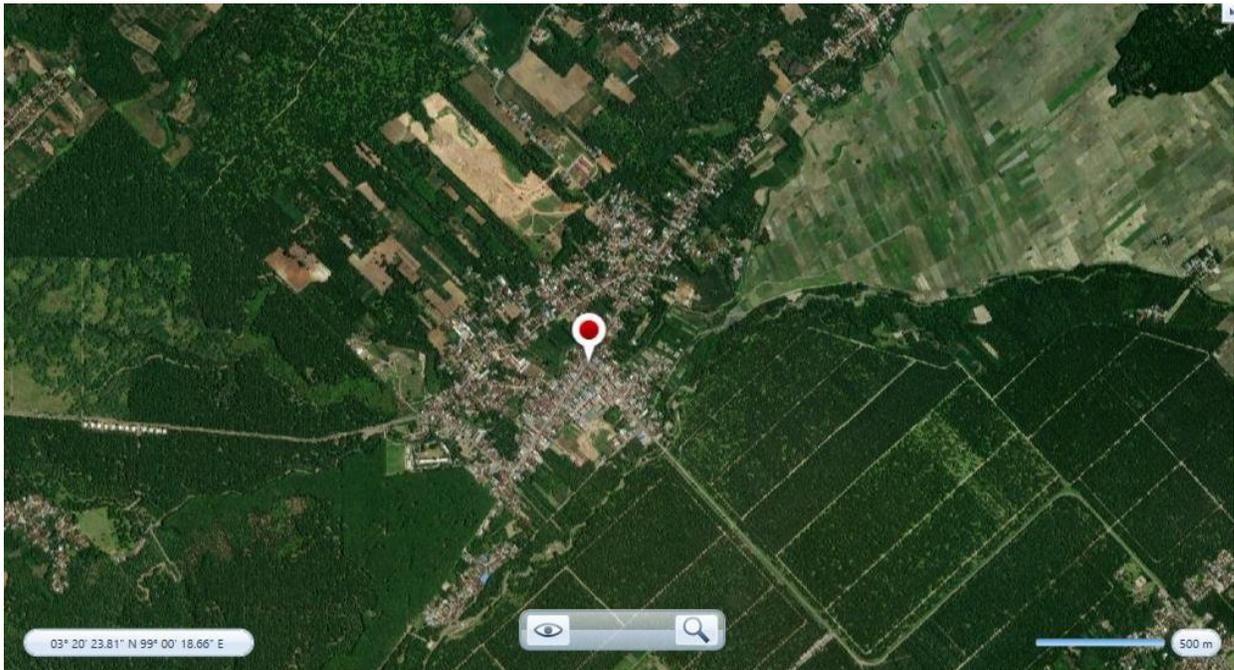
Dari hasil analisis penentuan kapasitas PLTS beserta kebutuhan lahan yang dapat dipasang sesuai dengan kebutuhan PLTS Adapun hasil dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut :

Tabel 4.4 Hasil Penentuan Kapasitas PLTS

| Daya/Hari (Wh) | Kapasitas PLTS yang dibutuhkan (Wp) | Jumlah PLTS 100Wp yang dibutuhkan | Jumlah Baterai 100 Ah yang dibutuhkan | Luas Area yang dibutuhkan (m <sup>2</sup> ) |
|----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---|
| 11.076         | 3.491,55                            | 35                                | 10                                    | 23,45                                       |

#### 4.1.3. Analisis Potensi PLTB

Untuk melihat potensi PLTB maka data yang diperlukan terlebih dahulu adalah data kecepatan angin yang ada pada lokasi penelitian.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian

Adapun data kecepatan angin yang ada pada penelitian adalah sebagai berikut :

| Bulan     | Kecepatan Angin (m/s) |
|-----------|-----------------------|
| Januari   | 2.720                 |
| Februari  | 2.650                 |
| Maret     | 2.590                 |
| April     | 2.340                 |
| Mei       | 2.080                 |
| Juni      | 2.070                 |
| Juli      | 2.070                 |
| Agustus   | 2.200                 |
| September | 2.180                 |
| Oktober   | 2.490                 |
| November  | 2.680                 |
| Desember  | 2.940                 |

Sumber : Nasa Prediction of World wide Energu Resource (POWER) database. Mothly averages fot global horizontol raiation over 22 year peroid (1993 – 2015) Koordinat : X8WR+MJQ Dolok Masihul, Kab. Serdang Bedagai, Sumatera Utara 20991, Indonesia (3°59.8’N, 97°20.5’E)

Dari data yang diperoleh dapat dilihat kecepatan angin tertinggi pada bulan Desember yaitu 2,940 m/s, sedangkan kecepatan angin paling rendah yaitu 2,07 pada bulan Juni dan Juli. Sedangkan rata – rata kecepatan angin dalam kurun waktu selama satu tahun pada Blangkejeren Kota adalah 2,42 m/s. adapun grafik tingkat kecepatan angin setiap bulannya yang diambil dari aplikasi HOMER yaitu sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik Kecepatan Angin

Energi angin dapat di konversi atau di transfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin. Berikut merupakan data-data hasil perhitungan dimana daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara. Untuk mencari nilai daya spesifik digunakan persamaan 2.3, Dari pengambilan sampel data sebanyak 6 lokasi pada Kecamatan Blangkejeran Kabupaten Gayo Lues Aceh dapat diketahui daya spesifik pada setiap titik lokasi pengambilan data adalah :

$$\begin{aligned}
 P_s &= \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 2,42^3 \cdot 1,2 \\
 &= 8,75 \text{ Watt/m}^2
 \end{aligned}$$

Maka dari perhitungan diatas daya spesifik yang dapat dihasilkan pada lokasi penelitian adalah sebesar 8,75 Watt/m<sup>2</sup>. Dapat dilihat pada lokasi penelitian merupakan daerah yang kurang potensial untuk pemanfaatan PLTB. Untuk memanfaatkan potensi energi angin dibawah 5 m/s yang diterima poros turbin kincir, diperlukan turbin angin poros horizontal, generator berdaya besar yang dapat menghasilkan daya listrik besar dan didukung dengan teknologi yang baik, seperti menggunakan sistem untuk pengaturan turbin terhadap kecepatan angin dan arah angin yaitu aktif stall control. Kemudian untuk mengantisipasi kelemahan fluktuasi keberadaan angin serta menjaga kontinuitas penyaluran daya dan faktor kapasitas dapat diantisipasi dengan sistem penyimpanan menggunakan baterai, atau dapat menggunakan sistem on-grid.

#### **4.1.3.1. Penerapan Potensi PLTB**

Pada lokasi penelitian dapat dilihat potensi angin yang ada sangatlah kecil, tidak mencapai 2 m/s. maka teknologi turbin yang digunakan adalah yang sesuai dengan standar dibawah 5 m/s (kecepatan angin minimal untuk berpotensi). Diasumsikan digunakan turbin dengan teknologi kecepatan angin dibawah 5 m/s

dengan kapasitas 10 kW. Adapun spesifikasi turbin yang diasumsikan kedalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Spesifikasi Turbin Angin [24]

|                          |                 |
|--------------------------|-----------------|
| Tipe Turbin              | Vertikal        |
| Daya Keluaran Maksimal   | 10 Kw           |
| Kecepatan Angin Minimal  | 2.0 m/s         |
| Kecepatan Angin Terbaik  | 10 m/s          |
| Kecepatan Angin Maksimal | 50 m/s          |
| Efisiensi Generator      | 80%             |
| Kebisingan               | < 45 Db         |
| Berat Turbin             | 78 kg           |
| Material Baling – Baling | Aluminium Alloy |
| Jumlah Baling – Baling   | 2               |
| Diameter Turbin          | 9,2 m           |
| Luas Sapuan Turbin       | 84,64 m         |
| Berat Turbin             | 42 Kg           |

Dengan asumsi penggunaan turbin yang ada pada Tabel 4.3 maka dapat dihasilkan potensi angin pada lokasi penelitian pada Tabel 4.4 berikut :

Masa Udara :

$$\begin{aligned}
 m &= \rho \cdot A \cdot v \\
 &= 1,225 \cdot 84,64 \cdot 2,42 \\
 &= 250,91 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

Energi Kinetik :

$$\begin{aligned}
 E_k &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 250,92 \cdot 2,42^2 \\
 &= 734,74 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

Daya Turbin :

$$\begin{aligned}
 P_a &= \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \cdot A \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,08^3 \cdot 1,2 \cdot 86,64 \\
 &= 719,73 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan potensi daya dan energi yang dihasilkan per satuan luas jika digunakan turbin angin pros vertikal dengan asumsi luas sapuan turbin 84 m<sup>2</sup> serta berbagai komponen turbin angin yang ada pada asumsi sebelumnya.

Dari hasil yang terdapat pada tabel di atas menunjukkan potensi energi angin pada lokasi penelitian berbanding lurus dengan potensi daya yang dihasilkan. Lokasi penelitian tidak cukup berpotensi untuk PLTB dikarenakan daya yang dihasilkan sangat kecil untuk pemanfaatan turbin berkapasitas 10 kW. Kecepatan angin rata – rata pada tiap daerah hanya sebesar 2.42 m/s berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan sangatlah kecil.

#### **4.2. Pembahasan**

Dapat dilihat dari ke-2 potensi energi baru terbarukan energi matahari dan energi angin masing – masing dapat menghasilkan daya yang berbeda – bedan. Dimana pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) pada lokasi penelitian tidak berpotensi untuk menjadi energi alternatif dikarenakan tingkat intensitas kecepatan angin rata – rata pada lokasi penelitian menurut data yang didapatkan adalah relatif kecil. Dari hasil perhitungan potensi dan energi yang dihasilkan persatuan luas jika menggunakan turbin poros vertikal dengan asumsi luas sapuan tersebut kapasitas turbin 10 kW hanya menghasilkan 719,73 saja. Hal ini disebabkan oleh tingkat intensitas kecepatan angin pada daerah penelitian hanya sebesar 2,42 m/s.

Dikatakan tidak berpotensi dikarenakan dengan turbin yang berkapasitas 10 kW seharusnya dapat menghasilkan minimal 50% dari kapasitas turbin. Namun yang dihasilkan adalah 7% dari kapasitas turbin yang ada. Maka pada penelitian ini lokasi penelitian tidak berpotensi untuk pembangkit listrik tenaga hybrid PLTS dan PLTB, maka sebagai alternatif dapat menggunakan PLTS sebagai sumber energi. Dimana kapasitas PLTS yang dapat dipasang untuk mensuplai beban yang ada yaitu 3.491 Wp atau 3,5 kWp dimana kapasitas ini dapat mensuplai beban 11.075 Watthour atau 11,07 kWh perharinya.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil penelitian yang dilakukan, adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Daya terpasang pada Lokasi Peternakan hewan qurban selama satu hari penuh adalah sebesar 11.076 Wh/hari atau 11,076 kWh/hari
2. Pada perencanaan PLTS kapasitas yang dibutuh untuk mensuplai beban yang ada dibutuhkan kapasitas PLTS dengan modul 100 WP/Modul adalah sebesar 3500 WP dengan banyak nya modul adalah 35 unit serta halaman sebesar 23 m<sup>2</sup>
3. Pada analisis potensi PLTB lokasi penelitian tidak cukup berpotensi dengan kecepatan angin hanya 2,42 m/s dan diasumsikan apabila menggunakan turbin berkapasitas 10 kW hanya menghasilkan daya sebesar 719 Watt.

#### **5.2 Saran**

1. Dapat melakukan perencanaan PLTS dengan berbagai macam software untuk mempermudah proses perencanaan
2. Melakukan analisis tentang rugi – rugi daya hasil keluaran yang dapat dialami oleh PLTS

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Wahin, Ir Junaidi, M Iqbal Arsyad (2018) “Analisis Kapasitas Dan Kebutuhan Daya Listrik Untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik Di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura” Program Studi Teknik Elektro Universitas Tanjung Pura Pontianak
- Alifyanti, d. F. (n.d.). Dian furqani alifyanti. 1(1), 79–95.
- Alliance Rural Electrification (ARE). 2011b. Rural Electrification with Renewable Energy: Technologies, quality standards and business models. pdf [Accessed : Oct. 1 2017]
- Contaned Energy Indonesia, “Energi Yang Terbarukan”. PNPM Mandiri. 2016.
- Fachri, m. R. (2017). Analisa potensi energi angin dengan distribusi weibull untuk pembangkit listrik tenaga bayu ( pltb ) banda aceh. 1(1), 1-8.
- Hasan Hasnawiya,” Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Pulau Saugi,”Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK) Volume 10, Nomor 2, Juli-Desember 2012.
- Hutagalung, s. N., panjaitan, m., & pendahuluan, i. (2017). Protype rangkaian inverter dc ke ac 900 watt. 6, 64-66.
- Lentera Angin Nusantara. “Pengenalan Energi Angin”. 2013
- Martawati, Mira. 2018. “Intensitas Cahaya Terhadap Daya Dari Panel Surya.” Jurnal ELTEK 16:125–36.
- Mohammad Hafidz ;, Sigit Sukmajati. 2015. “Perancangan Dan Analisis Teknis dan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Kapasitas 10 Mw On Grid Di Yogyakarta.” Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik Pln 7(Jurnal Energi & Kelistrikan Vol. 7 No. 1, Januari-Mei 2015): 49.
- Nanang Setiaji, Ir Sumpena, Agus Sugiharto (2020) “Analisis Konsumsi Daya Dan Distribusi Tenaga Listrik” 3Jurusan Teknik Elektro, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma
- Nasa,”.Surface meteorology and Solar Energy.” 2017. [Online]. Available. <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>. [Accessed : Sep. 19, 2017]
- Nico Ronaldi, “Study Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Dengan Interkoneksi Dengan Sumber Listrik Utama Pada Gedung Direktorat Jenderal

- Ketenagalistrikan Jakarta”. Ejournal Kajian Teknik Elektro Vol.2 No.2 , 2012.
- Nico Ronaldi, “Study Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Interkoneksi Dengan Sumber Listrik Utama Pada Gedung Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Jakarta”. Ejournal Kajian Teknik Elektro Vol.2 No.2 , 2012.
- Pamela Simamora (2019) “ Kebijakan Tarif Listrik Indonesia” Koordinator Tim Riset Di Institute For Essential Services Reform (IESR) Energi Terbarukan Dan Sistem Tenaga Listrik.
- Pemerintah Kota Kabupaten Sergai “Profile Kabupaten Sergai” Tahun 2017, Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Sergai
- Priyadi, i., surapati, a., putra, v. T., angin, a. E., & belakang, a. L. (2018). Rancang bangun turbin angin horizontal sebagai salah satu pembangkit daya pada mobil hybrid. 147-158.
- Purwoto, Bambang Hari. 2018. “Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif.” Emitor: Jurnal Teknik Elektro 18(01):10–14.
- Radwitya, Erick, and Akhdiyatul Akhdiyatul. 2019. “Kajian Ekonomis PLT-Angin Dan PLTS Untuk Penerangan Jalan Umum (PJU).” Elkha 10(1): 33.
- Ramadhan, Anwar Ilmar, Ery Diniardi, and Sony Hari Mukti. 2016. “Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP.” Teknik 37(2):59.
- Saputra, w. N., despa, d., soedjarwanto, n., samosir, a. S., teknik, j., universitas, e., encoder, r., & uno, a. (n.d.). Prototype generator dc dengan penggerak. 1.
- Setiawan, Wira, Rio Hermawan, and Suardi Suardi. 2018. “Analisa Potensi Angin Dan Cahaya Matahari Sebagai Alternatif Sumber Tenaga Listrik Di Wilayah Laut Sawu.” JST (Jurnal Sains Terapan) 4(1):57–62.
- Stefanie, Arnisa and Insani Abdi Bangsa. 2021. “Hybrid Generator Thermoelektrik Panel Surya Thin Film Sf 170-S Cis 170 Watt Pada Plts 1 Mw Cirata.” Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA) 6(1):154–60.
- Wangi-wangi, d. I. P., widyanto, s. W., wisnugroho, s., & agus, m. (2018). Surya pada pembangkit listrik tenaga hibrid. 1-12.