

**ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU
SECARA TEKNIS DAN EKONOMIS SEBAGAI ENERGI
CADANGAN PADA PT. KAWASAN WISATA PANTAI CERMIN
KABUPATEN DELI SERDANG**

TESIS

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Teknik (M.T)
Dalam Bidang Teknik Elektro**

Oleh :

**DARMA YULIANTI PURBA
NPM: 2020080007**



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

PENGESAHAN TESIS

Nama : **DARMA YULIANTI PURBA**
NPM : **2020080007**
Program Studi : **Magister Teknik Elektro**
Konsentrasi : **Manajemen Energi Listrik**
Judul Tesis : **PERENCANAAN DAN ANALISIS POTENSI
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU SECARA
TEKNIS DAN EKONOMIS SEBAGAI ENERGI
CADANGAN PADA PT. KAWASAN WISATA PANTAI
CERMIN KABUPATEN DELISERDANG**



Pengesahan Tesis

Medan, 3 April 2023

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Muhammad Fitra Zambak, S.T, M.Sc

Rohana , S.T.,M.T

UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

Diketahui

Direktur

Ketua Program Studi

Prof. Dr. TRIONO EDDY, S.H., M.Hum

Assoc. Prof. Dr. Ir. SUWARNO, M.T

PENGESAHAN

**PERENCANAAN DAN ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA BAYU SECARA TEKNIS DAN EKONOMIS SEBAGAI ENERGI
CADANGAN PADA PT. KAWASAN WISAT PANTAI CERMN
KABUPATEN DELISERDANG**

DARMA YULIANTI PURBA

NPM : 2020080007

Program Studi : Magister Teknik Elektro

“Tesis ini telah dipertahankan di Hadapan Komisi Penguji yang dibentuk oleh Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dinyatakan Lulus dalam Ujian Tesis dan berhak menyandang Gelar Magister Teknik Elektro (M.T) Pada Hari Senin, Tanggal 3 April 2023”

Komisi Penguji

1. **Assoc. Prof. Dr.Ir . SURYA HARDI, M.Sc**

Ketua

2. **Assoc. Prof. Dr. Ir. SUWARNO, M.T**

Sekretaris

3. **Ir. EDDY WARMAN, MT**
Anggota

1.

2.

3.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan pernyataan ini saya menyatakan bahwa tesis yang saya tulis dengan judul “Analisa Potensi Pembangkit Listrik Tewnaga Bayu Secara Teknis Dan Ekonomis Sebagai Energi Cadangan Pada PT. Kawasan Wisata Pantai Cermin Kabupaten Deli Serdang” adalah benar merupakan hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain dan saya akui sebagai karya saya sendiri tanpa unsur plagiat. Semua sumber referensi yang dikutip dan ditujuk telah ditulis dengan lengkap pada daftarpustaka.

Apabila dikemudian hari ditemukan judul penelitian yang sama maka dapat dipertanggungjawabkan sepenuhnya.

Medan, 3 April 2023

Penulis,

DARMA YULIANTI PURBA

2020080007

ABSTRAK

ANALISA POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU SECARA TEKNIS DAN EKONOMIS SEBAGAI ENERGI CADANGAN PADA PT. KAWASAN WISATA PANTAI CERMIN KABUPATEN DELI SERDANG

**Darma Yulianti Purba
2020080007**

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu adalah salah satu pembangkit listrik energi terbarukan yang ramah lingkungan dan memiliki efisiensi kerja yang baik. Hasil dari kajian yang telah dilakukan dan dari beberapa literature bahwa berdasarkan dari beberapa data yang telah dilakukan teknologi turbin angin skala besar dapat bekerja dengan baik pada kecepatan angin antara 5 - 20 meter/ detik menggunakan turbin angin Horizontal dan kecepatan kurang dari 5 m/s sesuai untuk diubah menjadi energi mekanik atau pembangkit tenaga angin skala kecil menggunakan turbin Vertikal. Pengembangan dan pemanfaatan teknologi energi angin merupakan upaya peningkatan kontribusi energi terbarukan dalam membantu penyediaan energi listrik khususnya daerah yang tidak dapat terjangkau jaringan listrik PLN . Analisa ekonomis adalah suatu analisa untuk mengetahui apakah layak tidaknya kemampuan suatu proyek untuk mengembalikan dana yang telah digunakan untuk pembangunan suatu proyek. Dalam thsesis ini akan ditunjukkan penerapan analisa keuangan untuk mengetahui kelayakan sistem pembangkit listrik tenaga angin di daerah Pantai Cermin Kabupaten Deli serdang .

Kata Kunci : PLTB, Turbin Angin, Potensi Angin

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE TECHNICALLY AND ECONOMICALLY TECHNICALLY AND ECONOMICALLY POTENTIAL OF POWER PLANT AS ENERGY RESERVE AT PT. KAWASAN WISATA PANTAI CERMIN DISTRICT DELI SERDANG

**Darma Yulianti Purba
2020080007**

Wind Power Plant is a renewable energy power plant that is environmentally friendly and has good work efficiency. The results of the studies that have been carried out and from some literature that based on some of the data that has been carried out, large-scale wind turbine technology can work well at wind speeds between 5 - 20 meters/second using horizontal wind turbines and speeds of less than 5 m/s according to to be converted into mechanical energy or small-scale wind power generation using vertical turbines. The development and utilization of wind energy technology is an effort to increase the contribution of renewable energy in assisting the supply of electrical energy, especially in areas that cannot be reached by the PLN electricity grid. Economic analysis is an analysis to find out whether a project is feasible or not to return the funds that have been used for the construction of a project. In this thesis, it will be shown the application of financial analysis to determine the feasibility of a wind power generation system in the Pantai Cermin area, Deli Serdang Regency.

Keywords: PLTB, Wind Turbine, Wind Potential

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan judul **“ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU SECARA TEKNIS DAN EKONOMIS SEBAGAI ENERGI CADANGAN PADA PT. KAWASAN WISATA PANTAI CERMIN KABUPATEN DELI SERDANG”**, yang merupakan salah satu syarat kelulusan bagi Mahasiswa untuk menyandang gelar Magister.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyajian Tesis ini. Sehingga apa yang sudah ditulis di dalam Tesis menjadi suatu kebanggaan bagi Penulis apabila ada kritik dan saran yang dapat membantu ataupun menambah wawasan dalam kesempurnaan penulisan Tesis ini.

Pada kesempatan ini penulis dengan rasa hormat dan memberikan penghargaan yang tulus serta mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Triono Eddy, S.H., M.Hum, selaku Direktur Pasca Sarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra Zambak, S.T., M, Sc, selaku Wakil Direktur Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno, M.T, selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Pasca Sarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

4. Bapak Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra Zambak, S.T., M, Sc, selaku Dosen Pembimbing I.
5. Ibu Rohana, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing II,
6. Suamiku Herdin Parulian Silalahi, ST, anak-anaku Kevin Ronitua Silalahi, Kelly Christasya Silalahi, Kesya Artaulita Silalahi yang selalu menjadi motivasi dan membantu dalam menyelesaikan tesis ini.
7. Orang tua dan mertua yang selalu memberikan restu dan doanya sepanjang perjalanan hidup dan dalam menempuh perkuliahan ini.
8. Rekan-rekan sejawat Mahasiswa Pascasarjana Program Studi Teknik elektro Angkatan 2020 yang memberikan dukungan dan informasi bagi penulis dalam penyelesaian Tesis ini.
9. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tesis ini.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberikan balasan yang setimpal atas segala jasa dan kebaikan serta bantuan yang telah dibeikan dengan tulus dan ikhlas kepada penulis.

Akhir kata penulis berharap semoga Tesis ini dapat berguna dan bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Medan, April 2023
Penulis,

Darma Yulianti Purba

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|----------------|
| ABSTRAK | i |
| KATA PENGANTAR | ii |
| DAFTAR ISI | iv |
| DAFTAR TABEL | vi |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 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 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1. Landasan Teori | 5 |
| 2.2. Profile Kabupaten Deli Serdang | 6 |
| 2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu | 7 |
| 2.3.1. Energi Angin | 9 |
| 2.3.2. Turbin Angin | 9 |
| 2.3.2.1. Jenis Turbin Angin | 12 |
| 2.3.2.2. Tipe-tipe Turbin Angin | 14 |
| 2.4. Komponen PLTB | 15 |
| 2.5. Konfigurasi PLTB | 23 |
| 2.5.1. Penentuan Kapasitas Komponen | 24 |
| 2.5.2. Kebutuhan Beban | 25 |
| 2.6. Profil Beban | 26 |
| 2.6.1. Energi Listrik | 26 |
| 2.6.2. Beban Listrik | 27 |

| | |
|--|-----------|
| 2.6.3. Daya Listrik | 28 |
| 2.6.4. Tarif Listrik | 30 |
| 2.7. Perencanaan PLTB | 33 |
| 2.7.1. Perencanaan Teknis | 33 |
| 2.7.2. Perencanaan Ekonomis | 34 |
| 2.8. HOMER | 36 |
| 2.9. Kajian Pustaka Relevan | 38 |
| 2.10. Kerangka Berfikir | 43 |
| BAB 3 METODE PENELITIAN..... | 45 |
| 3.1 Pendekatan Penelitian..... | 45 |
| 3.2 Lokasi Penelitian | 45 |
| 3.3 Teknik Pengumpulan Data | 46 |
| 3.4 Teknik Analisis Data | 46 |
| 3.5 Bagan Alir Penelitian..... | 47 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 48 |
| 4.1 Hasil Penelitian..... | 48 |
| 4.1.1 Data Kecepatan Angin..... | 48 |
| 4.1.2 Potensi Angi | 50 |
| 4.1.2.1 Data Beban Listrik..... | 50 |
| 4.1.2.2 Perancangan Secara Teknis | 52 |
| 4.1.2.3 Perencanaan Secara Ekonomis | 55 |
| 4.2 Pembahasan | 59 |
| 4.2.1 Kecepatan Angin | 61 |
| 4.2.2 Investasi Sektor Energi Terbarukan | 63 |
| BAB 5 PENUTUP | 65 |
| 5.1 Kesimpulan | 65 |
| 5.2 Saran | 66 |
| DAFTAR PUSTAKA | 67 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|----------------|
| Tabel 4.1. Kecepatan Angin Lokasi Peneletian | 48 |
| Tabel 4.2. Data Beban Yang Akan Disuplai PLTB | 51 |
| Tabel 4.3. Spesifikasi Turbin Angin | 52 |
| Tabel 4.4. Spesifikasi Baterai..... | 54 |
| Tabel 4.5. Masukan Parameter HOMER | 56 |
| Tabel 4.6. Potensi Angin dibawah 5 m/s..... | 62 |
| Tabel 4.7. Hasil Perencanaan Ekonomis PLTB | 63 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|----------------|
| Gambar 2.1. Kabupaten Deli Serdang | 7 |
| Gambar 2.2. Peta Angin di Indonesia | 9 |
| Gambar 2.3. Skema Aliran Konversi Angin | 10 |
| Gambar 2.4. PLTB Secara Umum | 11 |
| Gambar 2.5. Efisiensi Turbin Berdasarkan Type..... | 14 |
| Gambar 2.6. Bagian Blade | 16 |
| Gambar 2.7. Tipe-tipe Blade..... | 17 |
| Gambar 2.8. Generator..... | 19 |
| Gambar 2.9. Controller | 20 |
| Gambar 2.10. Kontruksi Baterai | 22 |
| Gambar 2.11. Inverter | 23 |
| Gambar 2.12. Skema PLTB | 24 |
| Gambar 2.13. Biaya Produksi dan Harga Jual Listrik (Rp/kWh) | 31 |
| Gambar 2.14. Tampilan Homer | 37 |
| Gambar 2.15. Kerangka Berpikir | 44 |
| Gambar 3.1. Data Angin pada Pantai Cermin Sergai | 45 |
| Gambar 3.2. Flowchart Penelitian..... | 47 |
| Gambar 4.1. Grafik Kecepatan Angin Selama 1 Tahun | 49 |
| Gambar 4.2. Slip Pembayaran Tagihan Listrik PT. Kawasan Wisata Pantai Cermin Kabupaten Serdang Bedagai | 50 |
| Gambar 4.3. Beban Yang akan Disuplai..... | 52 |
| Gambar 4.4. Skema PLTB | 55 |
| Gambar 4.5. Cost Of Energy..... | 57 |
| Gambar 4.6. Daya Keluaran PLTB..... | 58 |
| Gambar 4.7. Daya Keluaran Setiap Bulannya | 59 |

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[1].

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 [2].

Kebutuhan energi listrik di Kabupaten Deli Serdang 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 [3]. Salah satu sumber energi alternatif yang jumlahnya sangat melimpah dan ramah lingkungan adalah energi angin[4].

Angin 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[5].

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

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang di jelaskan diatas, maka adapun identifikasi masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu merupakan pembangkit energy terbarukan yang ramah lingkungan , sehingga dimasa depan sangat perlu menjadi perhatian khusus bagi semua pihak yang menekuni bidang enegi terbarukan (*renewable energy*)
2. Menurut data National Aeronautics and Space Administration (NASA) Kabupaten Deli Serdang , bahwa angin rata-rata berkisar antara 2,4 m/s sampai 3,2 m/s, namun pemanfaatannya belum dilakukan untuk menjadikan energy listrik secara optimal dan komersial.

3. Untuk mengestimasi kecepatan angin menggunakan HOMER dan hasilnya akan dapat diketahui potensi PLTB sebagai pembangkit masa depan .

1.3. Batasan Masalah

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 didapat melalui software HOMER yang diambil dari data Nasa Prediction dari tahun 1984
2. Beban pada objek wisata pantai cermin dihitung secara manual yang dibantu dengan slip pembayaran listrik ke PLN.
3. Perencanaan dilakukan menggunakan aplikasi HOMER untuk mempermudah proses perencanaan PLTB.
4. Tidak membahas tentang proteksi PLTB

1.4. Rumusan Masalah

Adapun manfaat dari penelitian yang dilakukan ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana potensi kecepatan angin untuk pemanfaatan PLTB sebagai energi cadangan pada PT. Kawasan Wisata Pantai Cermin Kabupaten Deli Serdang.
2. Bagaimana perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu sebagai energi cadangan pada PT. Kawasan Wisata Pantai Cermin Kabupaten Deli Serdang secara teknis dan secara ekonomis.

1.5. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis potensi kecepatan angin untuk pemanfaatan PLTB sebagai energi cadangan pada PT. Kawasan Wisata Pantai Cermin Kabupaten Deli Serdang.
2. Menganalisis perencanaan PLTB untuk mensuplai beban yang ada pada PT. Kawasan Wisata Pantai Cermin Kabupaten Deli Serdang secara teknik dan ekonomis.

1.6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian adalah sebagai berikut :

1. Bagi Universitas , menjadi refrensi penelitian bagi peneliti dan mahasiswa lainnya pada Program Pascasarjana Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bagi Mahasiswa , dapat mengetahui analisis potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu menggunakan software HOMER sehingga dapat diaplikasikan penggunaannya ke masyarakat sebagai wujud penerapan ilmu yang di dapat selama masa perkuliahan.
3. Bagi Pemerintah Kabupaten Deli Serdang dapat memanfaatkan PLTB pada objek wisata pantai cermin di PT. Kawasan Wisata Pantai Cermin .

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Dilihat dari letak geografis berdasarkan Google Earth®, berdasarkan data dari NASA pada koordinat Kabupaten Deli Serdang 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 Deli Serdang 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 [6].

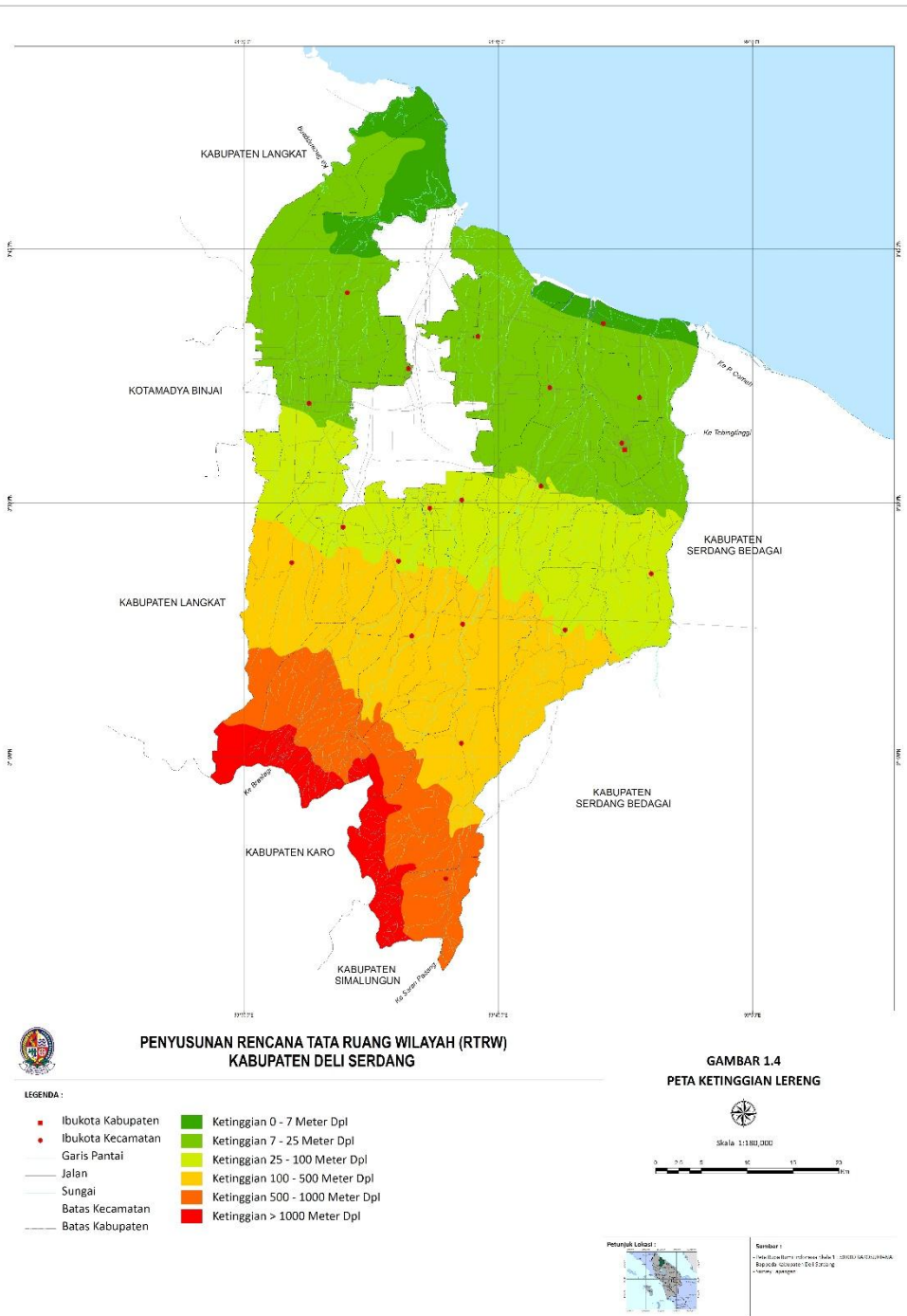
Pembangkit energi listrik dunia maupun khususnya di Indonesia sebagian besar masih menggunakan energi fosil yang tidak dapat diperbaharui serta memiliki batas ketersediaan untuk di manfaatkan dalam jangka panjang. Sesuai dengan cetak biru Pengelolaan Energi Nasional yang dikeluarkan oleh Kementerian 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 [7].

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 Deli Serdang

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

Secara geografis Kabupaten Deli Serdang berada $2^{\circ}57'$ Lintang Utara sampai $3^{\circ}16'$ Lintang Utara dan $98^{\circ}33'$ Bujur Timur sampai $99^{\circ}27'$ Bujur Timur dengan ketinggian 0-500 m di atas permukaan laut. Kabupaten Deli Serdang menempati area seluas 2.497,72 km² yang 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 Deli Serdang 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 Deli Serdang 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.



Gambar 2.1 Kabupaten Deli Serdang

Dapat dilihat pada gambar 2.1 kabupaten Deli Serdang 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 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 [8].

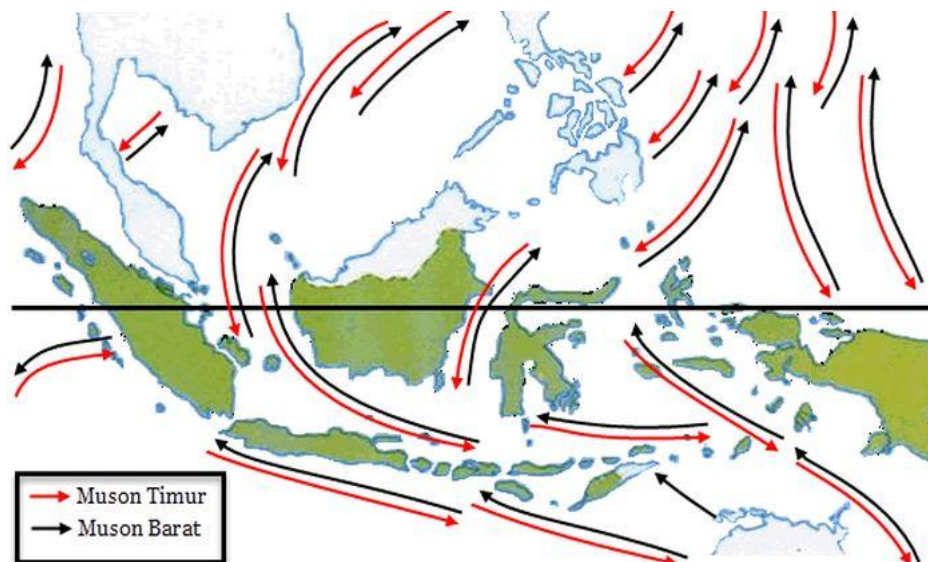
Berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), energi angin merupakan salah satu sumber energi yang akan diprioritaskan dalam pemenuhan konsumsi energi nasional. Potensi energi angin di Indonesia yang dapat dimanfaatkan mencapai 60,647 MW. Provinsi dengan potensi energi angin terbesar adalah Nusa Tenggara 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.

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 [11]. 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 [12].

2.3.1 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 berproduksi. Dan daerah yang memiliki kecepatan rata rata angin di atas 3 m/s banyak ditemui pada pesisir Selatan Jawa, Sumatera, dan pulau bagian timur

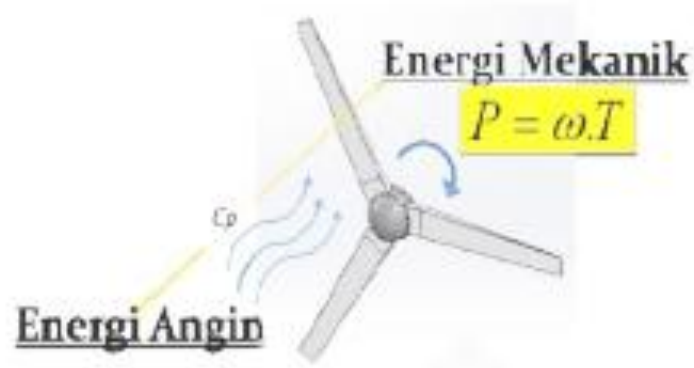


Gambar 2.2 Peta Angin di Indonesia [2]

2.3.2 Turbin Angin

Turbin angin merupakan alat konversi energi angin menjadi energi mekanik [13]. Energi angin (P_{wind}) ini sendiri merupakan hasil dari setengah kali massa jenis udara (ρ) dengan luas penampang cakupan dari turbin angin (A) dan pangkat tiga dari kecepatannya (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 (ω) dan torsi, T , (besar gaya yang diberikan pada suatu panjang lengan beban/blade) .



Gambar 2.3 Skema Aliran Konversi Angin

PLTB adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang merubah potensi angin menjadi energi listrik [14]. Angin merupakan udara yang bergerak/mengalir, sehingga memiliki kecepatan, tenaga dan arah. Penyebab dari pergerakan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari [15]. Daya yang dihasilkan energi angin dirumuskan sebagai berikut :

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

Dimana :

(P_{wind}) = Energi angin (w)

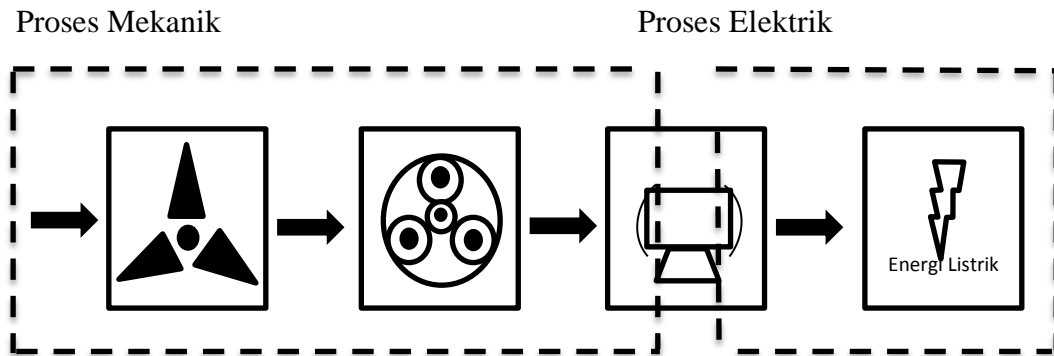
A = Luas daerah sapuan turbin angin (m^2)

ρ = Kerapatan udara (kg/m^3)

v = Kecepatan angina (m/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

Energi kinetik pada suatu turbin angin dapat dirumuskan seperti pada persamaan berikut :

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

Dimana :

E_k = Energi kinetik (*joule*),

m = massa udara (kg),

v = kecepatan angin (m/s).

Laju aliran massa dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$m = \rho A v, \quad (2.3)$$

Dimana:

ρ = massa jenis angin (kg/m^3)

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

A = luas penampang turbin (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:

$$C_p = \frac{P_m}{P_a} \quad (2.5)$$

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 :

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

Dimana :

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

2.3.2.1 Jenis Turbin Angin

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) [16][17].

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 horisontal memiliki shaft rotor dan generator pada puncak tower dan harus diarahkan ke arah angin bertiup [18]. Turbin-turbin kecil mengarah ke angin dengan menggunakan winde 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 didepan 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 mnurunkan area sapuan dan resistansi angin. Namun dikarenakan turbulensi dapat menyebabkan fatigue, dan keandalan sangat dibutuhkan maka sebagian besar turbin angin horisonal menggunakan jenis upwind.

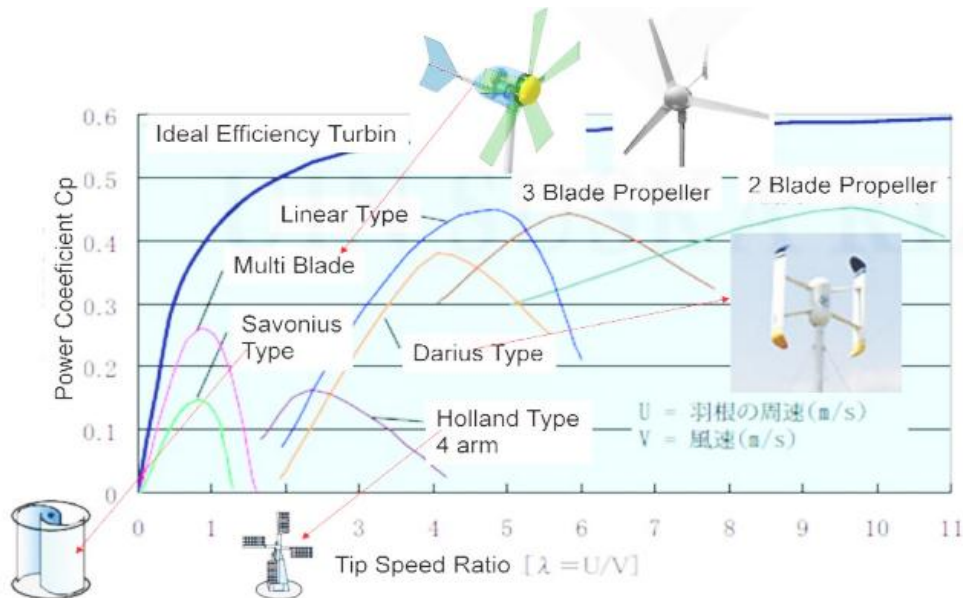
a. Turbin VAWT

Turbin angin vertikal memiliki shaft rotor vertikal. Kegunan utama dari penempatan rotor ini adalah turbin angin tidak perlu diarahkan ke arah angin bertiup [19]. 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.

2.3.2.2 Tipe Turbin Angin

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 Type

Adapun beberapa tipe turbin angin yang ada di dunia berdasarkan tingkat efisiensinya diantara lain:

- 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 [20]. 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 penggunanya .

2.4 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

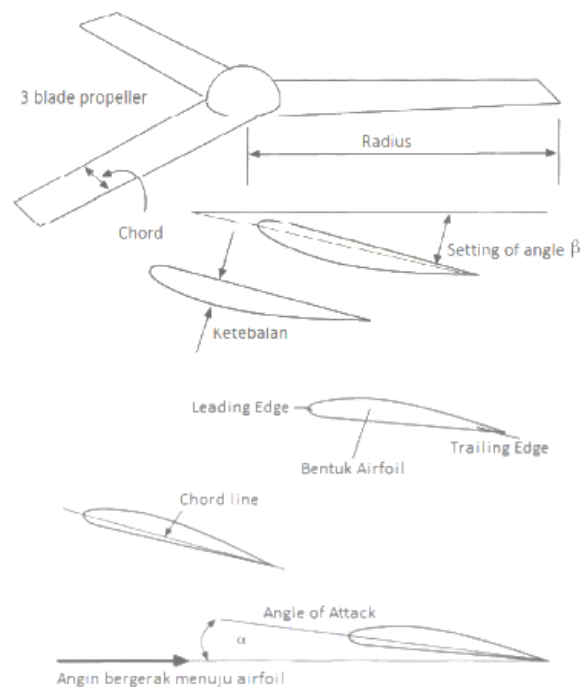
Untuk membuat pembangkit listrik tenaga bayu, dibutuhkan beberapa komponen yang memiliki peranan dan fungsi masing-masing yang berbeda untuk dapat merubah energi mekanik oleh angin menjadi energi listrik. Adapun komponen-komponen pembangkit listrik tenaga bayu adalah sebagai berikut :

i. Blade

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 [21].

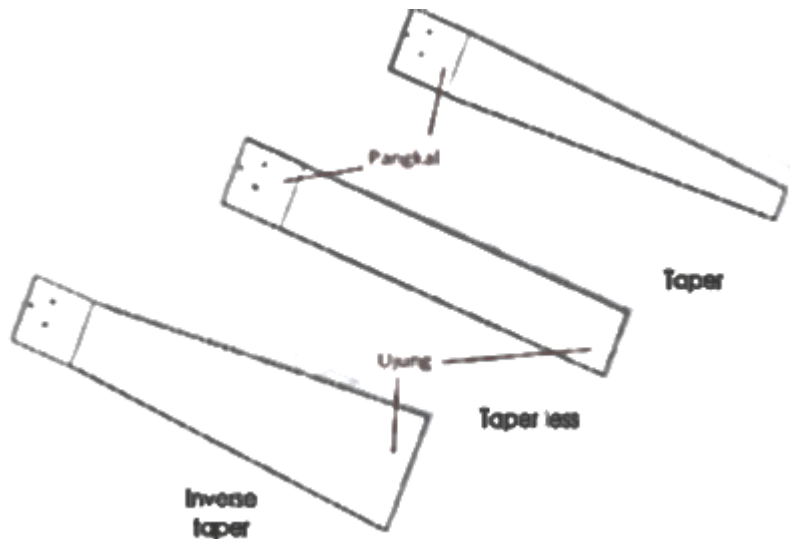


Gambar 2.6 Bagian Blade

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 menghubungkan 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 [18]

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 taper-less 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.

Standart deviasi kecepatan angin (v) ditulis sebagai :

$$\sigma = \sqrt{\int_0^{\infty} (v - \bar{v})^2 f(v) dv}$$

Dapat dikembangkan menjadi :

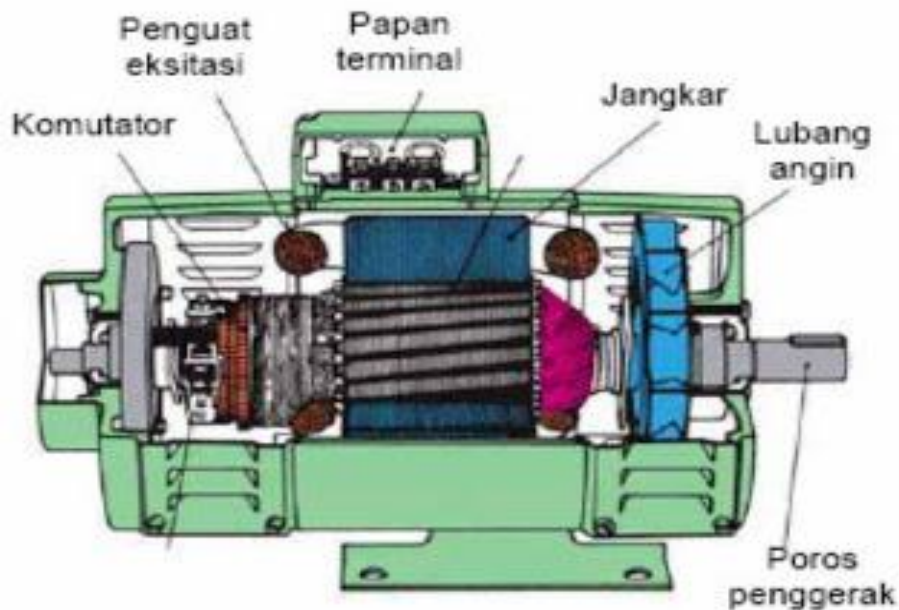
$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\int_0^{\infty} (v^2 - 2v\bar{v} + \bar{v}^2) f(v) dv} \\ \sigma &= \sqrt{\int_0^{\infty} v^2 f(v) dv - 2\bar{v} \int_0^{\infty} v f(v) dv + \bar{v}^2} \\ \sigma &= \sqrt{\int_0^{\infty} v^2 f(v) dv - 2\bar{v} \cdot \bar{v} + 2\bar{v}^2} \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} v^2 f(v) dv &= \int_0^{\infty} v^2 \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} dv \\ &= \int_0^{\infty} c^2 x^k \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} dv = \int_0^{\infty} c^2 x^{\frac{2}{k}} \exp(-x) dx \end{aligned}$$

ii. Generator

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 [22].



Gambar 2.8 Generator

iii. Controller

Sebagai perangkat yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik ke beban dan akumulator yang dibangkitkan oleh sel surya. Alat ini juga memilih dan memindahkan secara otomatis, apabila PLTS tidak mencukupi beban, maka yang menyuplai energi listrik adalah baterai. Untuk menjaga kesetimbangan energi didalam baterai, diperlukan alat pengatur elektronik yang disebut *battery charge controller*.

Hal yang perlu diperhatikan dalam memilih *battery charge controller* :

1. *Voltage* 12 volt DC / 24 DC
2. Kemampuan dari *controller*. Misalnya Ampere. 10 Ampere dll
3. *Full charge* dan *low voltage cut*
4. *Battery charge* yang baik, biasanya mampu mendeteksi kapasitas baterai.

Bila baterai sudah penuh, maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya berhenti.



Gambar 2.9 Controller

4. Baterai

Baterai adalah suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran/discharge energi kimia diubah menjadi energi listrik [23]. Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia. Baterai atau akkumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia *reversibel* adalah didalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel. Baterai terdiri dari dua jenis yaitu, baterai primer dan baterai sekunder. Fungsi baterai sangat beragam dalam kehidupan sehari-hari, namun fungsi baterai memiliki inti yang sama yaitu sebagai sumber energi. Hampir pada semua alat elektronik yang sifatnya mobile juga menggunakan baterai sebagai sumber energi. Seperti contoh yaitu senter, *power bank*, *drone*, *remote* dan lain sebagainya. Semua alat-alat tersebut membutuhkan baterai agar bisa bekerja

Adapun Jenis-jenis baterai menurut ada beberapa jenis baterai yaitu :

a. Baterai Asam

Baterai asam yang bahan elektrolitnya (*sulfuric acid* = H_2SO_4). Didalam baterai asal, elektroda-elektrodanya terdiri dari plat-plat timah peroksida $PbSO_2$ sebagai anoda (kutub positive) dan timah murni Pb sebagai katoda (kutub negatif)[24].

b. Baterai Alkali

Baterai alkali bahan elektrolitnya adalah larutan alkali yang terdiri dari :

1. *Nickel iron alkaline battery Ni-Fe Battery*
2. *Nickel cadmium alkaline battery Ni Cd*

Baterai pada umumnya yang paling banyak digunakan adalah baterai alkali. besarnya kapasitas baterai tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negative yang bereaksi, dipengaruhi oleh jumlah plat tiap – tiap sel ukuran, dan tebal plat, kualitas elektrolit serta umur baterai. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam ampere jam (Ah), misalkan kapasitas baterai 100 Ah 12 volt artinya secara ideal arus yang dapat dikeluarkan sebesar 5 ampere selama 20 jam pemakaian. Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh banyak sedikitnya sel baterai yang ada di dalamnya. Sekalipun demikian, arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan ke baterai. Kapasitas baterai menunjukkan kemampuan baterai untuk mengeluarkan arus (*discharging*) selama waktu tertentu. Pada saat baterai diisi (*charging*), terjadilah penimbunan muatan listrik. Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai disebut kapasitas baterai dan dinyatakan dalam ampere jam (Ampere hour). Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

$$N = I \times t \quad (2.9)$$

Dimana :

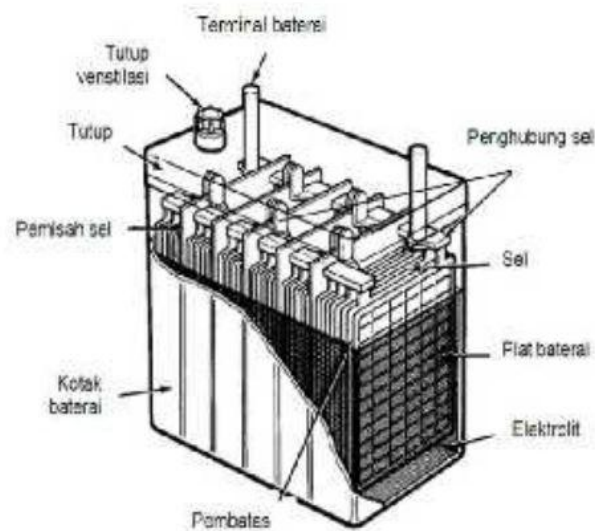
N = kapasitas baterai aki (Ah)

I = kuat arus (*ampere*)

t = waktu (jam/*sekon*)

Komponen-komponen baterai terdiri atas :

- a. Kotak baterai
- b. Elektrolit baterai
- c. Sumbat Ventilasi
- d. Plat positif dan plat negatif
- e. Separator
- f. Lapisan serat gelas (*Fiber Glass*)
- g. Sel baterai



Gambar 2.10. Kontruksi Baterai

Prinsip Kerja Baterai merupakan perangkat yang mampu menghasilkan tegangan DC, yaitu dengan cara mengubah energi kimia yang terkandung didalamnya menjadi energi listrik melalui reaksi elektro kimia, Redoks (Reduksi-Oksidasi). Baterai terdiri dari beberapa sel listrik, sel listrik tersebut menjadi penyimpan energi listrik dalam bentuk energy kimia. Sel baterai tersebut terdiri dari elektroda negative dan elektroda positif. Elektroda negatif disebut katoda, yang berfungsi sebagai pemberi electron. Elektro positif yang disebut anoda berfungsi sebagai penerima electron. Antara anoda dan katoda akan mengalir arus

yaitu dari kutub positif ke kutub negatif. Sedangkan elektron akan mengalir dari kutub negatif ke kutub positif.

5. Inverter

Inverter adalah suatu alat merubah tegangan DC dari akumulator menjadi tegangan AC yang berupa sinyal sinus setelah melalui pembentukan gelombang dan rangkaian *filter*. Tegangan *output* yang dihasilkan harus *stabil* baik *amplitude* tegangan maupun frekuensi tegangan yang dihasilkan, distorsi yang rendah, tidak terdapat tegangan transien serta tidak dapat diinterupsi oleh keadaan. *Inverter* merupakan rangkaian yang digunakan untuk mengubah sumber tegangan DC tetap menjadi sumber tegangan AC dan *frekuensi* tertentu [25].

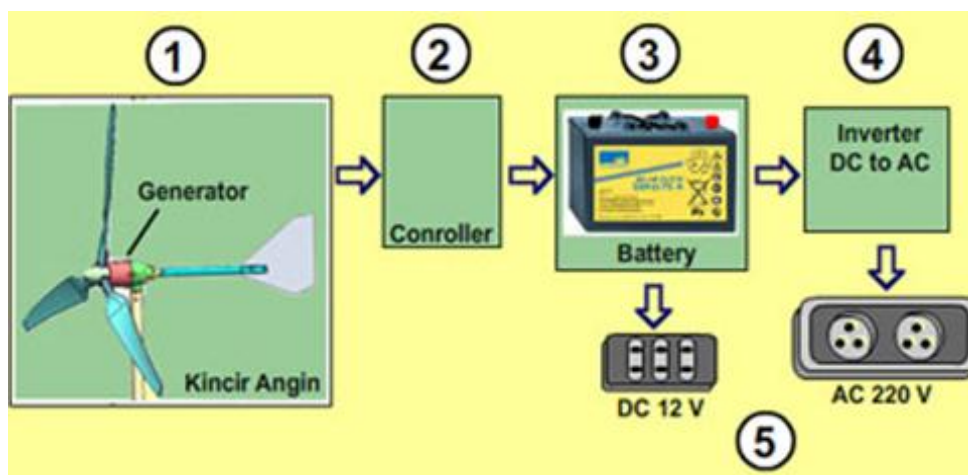


Gambar 2.11 Inverter

2.5 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) [26]. 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)



Gambar 2.12 Skema PLTB

2.5.1 Penentuan Kapasitas Komponen

Sebuah desain hemat biaya dari sistem pembangkit listrik tenaga bayu harus tepat sesuai dengan kapasitas produksi dan permintaan lokal. Kelebihan kapasitas (*oversizing*) 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 (*undersizing*) 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 .

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 :

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

Massa Udara (kg)

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

Energi :

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

Dimana :

A = Luas Penampang (m²)

π = Konstanta (3,14)

r = Jari – Jari Turbin (m)

m = masa udara (kg)

E = Energi (Joule/dt)

v = Kecepatan Angin (m/s)

2.5.2 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

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

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.

2.6 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.

2.6.1 Energi Listrik

Energi Listrik 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) [27]. 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.

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)

2.6.2 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[28]. 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

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 :

$$Br = \frac{\text{KWh yang terpakai selama 1 tahun}}{365 \times 24} \quad (2.13)$$

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 :

$$Lf = \frac{Bp \text{ (Beban Rata-Rata)}}{Bc \text{ (Beban Puncak)}} \quad (2.14)$$

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 [32]

2.6.3 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.

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

Dimana :

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

- t = Waktu (Jam)
E = Energi (Joule)

Pada dasarnya daya listrik terbagi menjadi 3 yaitu :

b. 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 [29].

$$P = V \times I \times \cos \phi \quad (2.16)$$

Dimana :

- P = Daya Aktif (Watt)
V = Tegangan (Volt)
I = Arus (Ampere)
Cos ϕ = Faktor Daya

c. 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.

$$S = V \times I \quad (2.17)$$

Dimana :

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

d. 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.

$$Q = V \times I \times \sin \phi \quad (2.18)$$

Dimana :

Q = Daya reaktif (VAR)

S = Daya semu (VA)

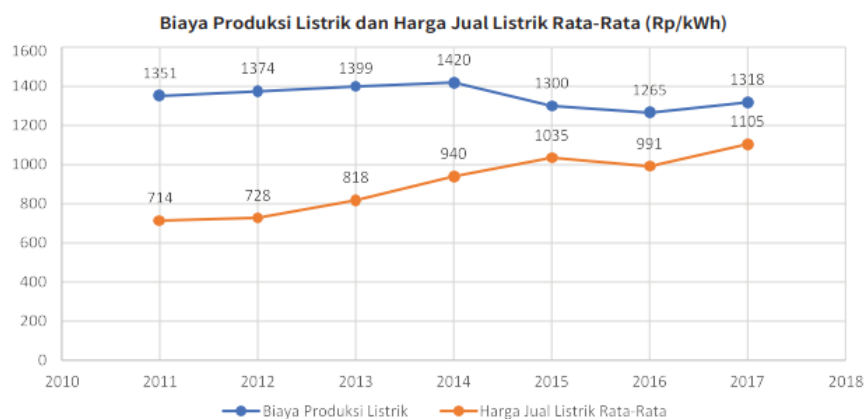
P = Daya Aktif (Watt)

2.6.4 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-elektrifikasi.

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. 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.



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)

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. 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.

2.7 Perencanaan Pembangkit Listrik

Dalam perencanaan pembangkit listrik ada perencanaan teknis dan ada perencanaan ekonomis. Dimana ke dua perencanaan ini saling berhubungan untuk merealisasikan rencana yang telah disusun

2.7.1 Perencanaan Teknis

Perencanaan teknis pembangkit listrik ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu sebagai berikut :

1. Perkiraan beban

Perkiraan beban merupakan hal yang perlu dilakukan dalam perencanaan pembangkit listrik dalam sistem interkoneksi maupun yang berdiri sendiri/terisolir (*isolated*), yang meliputi analisis kebutuhan beban selama umur proyek (lifetime), termasuk memperkirakan beban puncak, beban harian, dan beban tahunan.

2. Perencanaan Fisik Pembangkit

Perencanaan teknis pembangkit yang meliputi pemilihan teknologi pembangkit yang akan digunakan, seperti pemilihan jenis Turbin yang akan digunakan atau pemilihan tipe bilah (blade) yang akan mengkonversi energi angin secara langsung. Sebagai contoh, untuk pemilihan turbin yang melayani beban dasar yang membutuhkan suplai listrik kontinyu setiap hari, maka akan digunakan turbin yang tidak memiliki cogging sehingga tidak menghambat putaran turbin sedangkan untuk Baterai yang digunakan hanya sebagai back-up dengan jam operasi hanya beberapa jam per hari.

3. Perencanaan Pengembangan

Pada tahap ini dilakukan perencanaan pengembangan awal dengan menentukan kapasitas produksi pembangkit yang akan dibangun, investasi dan biaya produksi energi listrik.

4. Perencanaan Pengoperasian

Pada tahap ini, dilakukan tahap perencanaan sistem pengoperasian. Untuk sistem pembangkit skala kecil yang berdiri sendiri, maka akan merencanakan manajemen sistem otomatis, manual maupun semi otomatis.

5. Perencanaan Lingkungan

Memperhatikan lingkungan sekitar juga termasuk hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan pembangkit listrik, sehingga perencanaan lingkungan juga berhubungan dengan lokasi yang akan dipilih agar tidak mengganggu lingkungan sekitar. Dalam tahap ini juga akan dilakukan perencanaan dalam mengatasi limbah maupun polusi yang ditimbulkan pembangkit.

2.7.2 Perencanaan Ekonomis

Nilai Ekonomis dari suatu investasi adalah deret seragam dari modal yang tertanam dalam suatu investasi selama umur dari investasi tersebut. Nilai ekonomis bisa digunakan untuk melihat apakah suatu investasi akan memberikan pendapatan yang cukup untuk menutupi modal yang dikeluarkan termasuk bunga yang mestinya dihasilkan selama umur dari investasi tersebut. Nilai sisa dalam suatu perhitungan ekonomis dianggap sebagai pendapatan atau keuntungan.

1. Payback Periode

Pada dasarnya periode pengembalian (Payback Period) adalah jumlah periode (tahun) yang diperlukan untuk mengembalikan (menutup) ongkos investasi awal dengan tingkat pengembalian tertentu. Perhitungannya dilakukan berdasarkan alirankas baik tahunan maupun yang merupakan nilai sisa. Untuk mendapatkan periode pengembalian pada suatu tingkat pengembalian (rate of return) tertentu digunakan model formula berikut:

$$0 = -P_w + \sum_{t=0}^N A_w t \left(\frac{P_w}{F_w}, i \%, t \right) \quad (2.7)$$

Dimana :

$A_w t$ = Aliran Kas Yang Terjadi pada periode t

N = Periode pengembalian

t = Waktu Pengembalian

Apabila suatu alternatif memiliki masa pakai ekonomis lebih besar dari periode pengembalian N maka alternatif tersebut layak diterima. Sebaliknya, bila N lebih besar dari estimasi masa pakai suatu alat atau umur suatu investasi maka investasi atau alat tersebut tidak layak diterima karena tidak akan cukup waktu untuk mengembalikan modal yang dipakai sebagai biaya awal dari investasi tersebut.

2. Break Even Point

Break even point merupakan keadaan dimana nilai investasi dan pendapatan berada di titik 0, atau dapat dikatakan berada pada kondisi tidak mengalami kerugian dan tidak mengalami keuntungan. Nilai BEP diperlukan untuk dapat memperkirakan pada tahun ke berapa investor mulai mengalami keuntungan. Dikarenakan software PVSyst tidak menghitung nilai BEP, maka digunakan perhitungan secara manual. Menurut penelitian yang serupa, BEP adalah suatu keadaan impas yaitu apabila telah dihitung laba dan rugi suatu periode tertentu, maka perusahaan tersebut tidak mendapat keuntungan dan sebaliknya tidak menderita kerugian. Adapun titik BEP dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$BEP = \frac{FC}{P-VC} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

BEP = Break Even Point (Rupiah)

FC = Biaya tetap (Rupiah)

VC = Biaya Variabel (Rupiah)

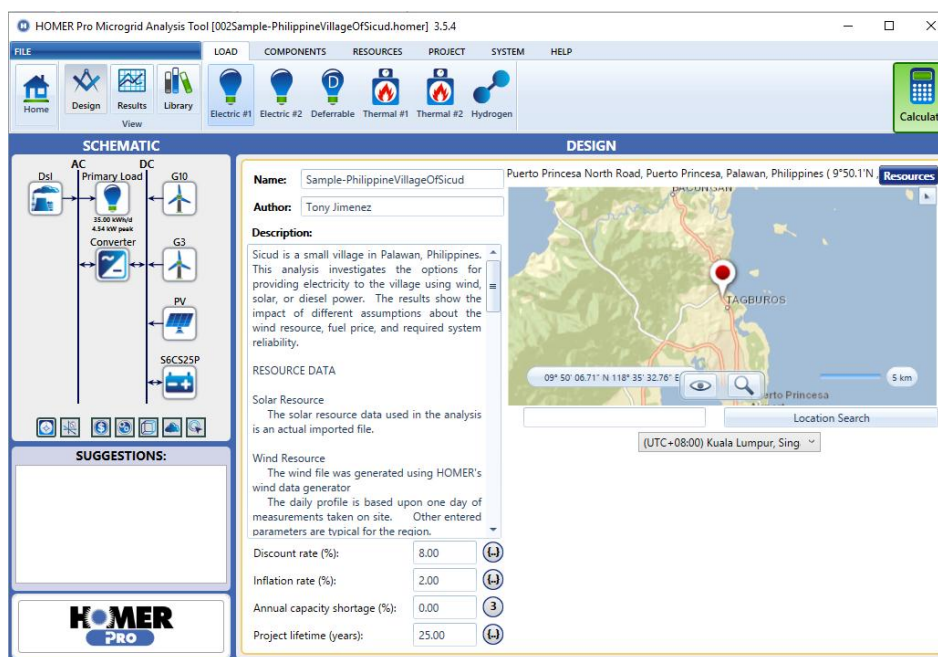
P = Harga Per Unit (Rupiah)

BEP juga dapat dicari dengan menggunakan aplikasi. Pada pembahasan ini menggunakan aplikasi analisis titik impas (break even point = BEP) untuk menentukan berapa tahun waktu yang dibutuhkan (berapa ongkos atau tariff yang harus dikeluarkan atau dijual)agar kinerja PLT-Angin pada titik impas. Permasalahan produksi energi listrik biasanya digunakan untuk menentukan ongkos, tarif dan tingkat produksi energi listrik yang bisa mengakibatkan perusahaan berada pada kondisi impas. Untuk mendapatkan titik impas ini maka harus dicari fungsi-fungsi biaya maupun pendapatannya. Pada saat kedua fungsi tersebut bertemu maka total biaya sama dengan total pendapatan.

2.8 HOMER

Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (HOMER) adalah perangkat lunak komputer yang dikembangkan oleh US National Renewable

Energy Laboratory (NREL) untuk membantu dalam desain sistem pembangkit listrik hybrid menggunakan teknologi energi terbarukan[30][31]. HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit hybrid yang berdiri sendiri (*stand-alone*) maupun terhubung ke jaringan listrik utama (*grid connected*). HOMER juga memungkinkan modeler untuk membandingkan banyak pilihan desain yang berbeda berdasarkan manfaat teknis dan ekonomi. Dalam perangkat lunak HOMER menyediakan banyak pilihan pembangkit listrik yang terdiri dari PV, turbin angin, micro-hidro, hidro kinetik, biomasa, Genset (diesel, bensin, biodiesel, biogas), *fuel-cell*, baterai, dan lain sebagainya.



Gambar 2.14 Tampilan Homer

HOMER melakukan tiga tugas pokok: simulasi, optimasi, dan analisis sensitivitas. Dalam proses simulasi, HOMER mensimulasikan operasi sistem untuk setiap 8.760 jam dalam setahun untuk menentukan kelayakan teknis dan biaya siklus hidup (*life-cycle cost*). Dalam proses optimasi, HOMER mensimulasikan banyak konfigurasi sistem yang berbeda menampilkan secara berurutan beberapa hasil simulasi yang dimulai dari *Net Present Cost* (NPC) terendah. Dalam proses simulasi ini HOMER juga memperkirakan semua biaya investasi awal sampai

biaya selama masa operasi sistem seperti biaya penggantian komponen-komponen, biaya Operasi dan Maintenance (O&M), biaya bahan bakar, dan lain-lain. Dalam proses analisis sensitivitas, HOMER melakukan beberapa optimasi berbagai asumsi masukan untuk mengukur efek dari ketidakpastian atau perubahan dalam model input.

Prinsip Kerja Homer

a. Simulasi

Proses simulasi menentukan bagaimana konfigurasi dari sistem, kombinasi dari besarnya kapasitas komponen-komponen sistem, dan strategi operasi yang menentukan bagaimana komponen-komponen tersebut dapat bekerja bersama dalam periode waktu tertentu. HOMER dapat mensimulasikan berbagai macam konfigurasi sistem tenaga mikro, yang berisikan beberapa kombinasi dari photovoltaic, turbin angin, turbin air, generator, hidrogen, baterai, inverter, dan lain-lain. Sistem tersebut dapat terhubung ke jaringan transmisi ataupun terpisah, digunakan untuk melayani beban ac ataupun dc dan beban thermal.

b. Optimasi

Proses optimisasi dilakukan setelah proses simulasi dilakukan simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus, maka proses optimasi dilakukan untuk menentukan kemungkinan teroptimal dalam konfigurasi sistem. Pada daftar hasil optimisasi, HOMER menggunakan nilai NPC yang terendah hingga tertinggi. Sistem dikatakan optimal, apabila salah satu konfigurasi sistem menunjukkan NPC terendah untuk jangka waktu yang telah ditentukan. Tujuan dari proses optimisasi adalah menentukan nilai optimal dari konfigurasi sistem dimana variabel nilai masukan dapat diubah-ubah sesuai keinginan pengguna.

c. Analisis Sensitivitas

Tahap selanjutnya adalah tahap analisis sensitivitas. Analisis sensitivitas ini akan menunjukkan bagaimana hasil konfigurasi sistem yang optimal apabila nilai parameter masukan (input) berbeda-beda. Pengguna dapat menunjukkan analisis sensitivitas dengan memasukan beberapa nilai variabel sensitivitas. Pada tahap ini, pengguna HOMER dapat memasukan rentang nilai untuk nilai variabel tunggal

ataupun nilai variabel ganda yang dinamakan variabel sensitifitas. Contohnya termasuk harga tenaga listrik pada jaringan transmisi, harga bahan bakar, suku bunga per tahun, dan lain-lain

2.9 Kajian Pustaka Relevan

Penelitian yang makalah ini memaparkan potensi angin di Medan, Sumatera Utara, yang dapat dimanfaatkan sebagai energi ramah lingkungan sumber tenaga angin. Metode yang digunakan dalam analisis karakteristik kecepatan angin adalah metode distribusi Weibull. Ini metode telah terbukti keakuratannya dalam hal kemampuannya untuk menentukan nilai terbaik. Penyajian data selama 3 tahun dari tahun 2008 sampai dengan 2010 dengan kecepatan angin rata-rata 3.159273 m/s dan kelembaban rata-rata 80.22 dan probabilitas masing-masing 0.3386%. Hasil menunjukkan bahwa pada bulan Januari hingga April dan Oktober hingga Desember, potensi kecepatan angin terbesar dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga angin, tetapi selain bulan-bulan ini pada kecepatan angin rendah kecepatannya sangat rendah bahkan tidak mungkin untuk digunakan sebagai standar dan untuk menghasilkan listrik simpangan rata-rata sebesar 0,304333

Prinsip dasar kincir angin adalah mengkonversi tenaga mekanik dari putaran kincir menjadi energi listrik dengan induksi magnetik. Putaran kincir dapat terjadidengan efektif dengan mengaplikasikan dasar teori aerodinamika pada desainbatangkincir. Ketersediaan angin dengan kecepatan yang memadai menjadi faktor utama dalam implementasi teknologi kincir angin. Untuk mendesain sebuah kincir angin, ada banyak hal yang harus diperhatikan. Hal pertama yang harus dipertimbangkan yaitu berapa besar daya yang kita butuhkan, kemudian kecepatan angin, setelah itu yang tidak kalah penting yaitu berapa jumlah blade (bilah kincir) yang harus digunakan, dan masih banyak hal teknis lainnya. Turbin angin atau dalam bahasa sederhana kincir angin merupakan turbin yang digerakkan oleh angin, yaitu udara yang bergerak diatas permukaan bumi. Sudah sejak dahulu angin berjasa bagi kehidupan manusia, salah satunya adalah para nelayan. Selain itu, turbin angin pada awalnya juga dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para

petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, memompa air dan menggiling jagung. Penggunaan turbin angin terus mengalami perkembangan guna memanfaatkan energi angin secara efektif, terutama pada daerah - daerah dengan aliran angin yang relatif tinggi sepanjang tahun. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negaranegara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill. Pengkajian potensi angin harus dilakukan dengan baik guna memperoleh suatu sistem konversi angin yang tepat. Pengkajian potensi angin pada suatu daerah dilakukan dengan cara mengukur serta menganalisa kecepatan maupun arah angin. Dasar dari alat untuk merubah energi angin adalah kincir angin. Meskipun masih terdapat susunan dan perencanaan yang beragam, biasanya kincir angin digolongkan menjadi dua tipe (horisontal dan vertikal) dan yang paling banyak digunakan adalah kincir jenis horizontal. Kincir jenis ini mempunyai rotasi horisontal terhadap tanah (secara sederhana yaitu sejajar dengan arah tiupan angin).

Penelitian yang menggunakan metode eksperimen menunjukkan hasil penelitian kincir angin mampu mengikuti datangnya arah angin sehingga hasil yang diperoleh cukup maksimal. Adapun hasil pengukuran angin yang berlokasi didepan gedung laboratorium jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tidar diperoleh rata-rata kecepatan angin sebesar 1,53 m/s dan tidak mampu menghasilkan tegangan keluaran, sedangkan untuk penempatan lokasi kincir diatas gedung lantai 4 Fakultas Ekonomi Universitas Tidar rata-rata kecepatan angin diperoleh 5,52 m/s dan dapat menghasilkan tegangan keluaran 78,47 Volt Ac. Generator akan menghasilkan tegangan keluaran minimal kecepatan angin sebesar 2,5 m/s. Daya yang dihasilkan 172 Watt dengan efisiensi daya *inverter* sebesar 80% atau 138,24 Watt.

Studi eksperimen variasi jumlah sirip dan kecepatan angin terhadap unjuk kerja turbin angin sumbu vertikal tipe bilah bersirip yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah sirip dan kecepatan angin terhadap unjuk kerja turbin angin sumbu verikal tipe bilah bersirip. Variabel bebas penelitian ini adalah jumlah sirip pada bilah (7,9, dan 11) dan kecepatan angin mulai 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s, 8 m/s. Variable terikat penelitian ini adalah unjuk kerja turbin

yaitu BPH (*Break Horse Power*), torsi dan efisiensi. Sedangkan variable terkontrolnya adalah jumlah bilah pada turbin angin tipe bilah bersirip sebanyak 3 buah dengan tinggi $2,5 \times 10^{-1}$ m dan lebar 6×10^{-2} m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan jumlah sirip pada bilah sirip yang berbeda-beda berpengaruh terhadap unjuk kerja turbin angin tipe bilah bersirip. BHP dan torsi maksimal diperoleh pada penggunaan bilah bersirip 7 buah pada kecepatan angin 8 m/s. Daya yang dihasilkan sebesar 0,04 watt dengan torsi sebesar 0,043 Nm. Sedangkan efisiensi maksimal adalah 0,27%. Efisiensi maksimal pada penggunaan bilah bersirip 7 dengan kecepatan angin 6 m/s.

Menganalisis potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin di PT Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras yaitu, potensi angin dipantai ciheras memiliki potensi angin yang cukup baik untuk membuat Pembangkit Listrik Tenaga Angin, dimana kecepatan angin berkisar diantara 3-12 m/s. Besar listrik yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu ini cukup akurat untuk memasok beban listrik, dalam satu tahun *Wind Turbine* dapat menghasilkan rata-rata daya listrik melalui simulasi Homer yaitu 129 W dan dalam perhitungan didapat sebesar 137 W.

Berikut juga penelitian pengaruh kecepatan angin dan variasi jumlah sudu terhadap unjuk kerja turbin angin poros *horizontal* menguji performansi turbin angin poros *horizontal* dengan variasi kecepatan angin dan variasi jumlah *blade* ditinjau dari efisiensi sistem dan *Tip Speed Ratio* (TSR). Pengujian dilakukan dengan sumber angin berasal dari kipas angin dengan *Wind Tunnel* untuk mengarahkan angin. Kecepatan angin yang digunakan terdapat 3 variasi yaitu 3 m/s, 3.5 m/s, dan 4 m/s serta variasi jumlah *blade* yaitu 3,4,5 dan 6 *blade*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai terbaik diperoleh pada kecepatan angin maksimal 4 m/s dan jumlah *blade* 5 dengan nilai 3.07% sedangkan untuk nilai terkecil diperoleh pada kecepatan angin 3 m/s dan jumlah *blade* 3 yaitu dengan nilai 0.05%. untuk nilai TSR maksimal pada kecepatan maksimal 4 m/s terjadi pada jumlah *blade* 5 yaitu sebesar $\lambda = 2.11$, sedangkan untuk nilai terendah pada kecepatan angin 3m/s dihasilkan pada jumlah *blade* 3 sebesar $\lambda = 1.49$.

Pembuatan turbin angin sumbu vertikal dengan variasi jumlah sudu dan sistem buka-tutup sirip, ini merupakan suatu alat konveksi energi yang mengubah energi

gerak dari sudu turbin menjadi energi listrik. Tujuan ini adalah untuk membuat turbin angin sumbu vertikal tipe sudu bersirip dengan jumlah variasi jumlah sudu dan menguji kinerja turbin angin tersebut. Pada penelitian ini menggunakan metodologi penelitian kuantitatif dengan cara mengumpulkan data. Variabel bebas pada penelitian ini adalah jumlah sudu 2,3,4,5,6 dan kecepatan angin 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s, 10 m/s, 11 m/s, 12 m/s. Variable terikat pada penelitian ini adalah unjuk kerja turbin angin sumbu bersirip yaitu daya kinetik, Daya generator dan efisiensi. Sedangkan variabel terkontrolnya adalah jumlah sudu turbin angin tipe sudu bersirip sebanyak 6 buah dengan tinggi 600 mm dan lebar 300 mm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengujian menggunakan jumlah sudu yang berbeda beda mempengaruhi unjuk kerja turbin angin tipe bersirip. Efisiensi system tertinggi diperoleh pada jumlah sudu 3 sebesar 1,409% pada kecepatan 11 m/s. Daya tertinggi pada turbin angin diperoleh dengan jumlah sudu 6 sebesar 6,6 watt pada kecepatan angin 12 m/s dengan putaran generator 202,92 rpm pada beban 30 watt. Berdasarkan analisa, efisiensi maksimal turbin angin hanya dapat dicapai jika intensitas angin konstan sehingga menghasikan tegangan dan arus yang besar.

Pemanfaatan tenaga angin sebagai pelapis energi surya pada pembangkit listrik tenaga hibrid dipulau wangi-wangi dengan tujuan untuk mengetahui kecepatan angin di Pulau wangi-wangi, Wakatobi, Sulawesi Tenggara, khusus saat ini intensitas radiasi matahari menurun, sehingga bisa diketahui apakah pemanfaatan tenaga angin sebagai pelapis energi surya merupakan langkah yang efektif atau tidak. Metode utama yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan teknik non statistik menggunakan grafik. Hasil pengolahan data mengungkapkan bahwa rata-rata kecepatan angin maksimal sebesar 2,847 m/s, sehingga potensi daya listrik maksimal sebesar 37,160 watt. Rata-rata kecepatan angin tertinggi saat malam hari sebesar 2,877 m/s dan kecepatan angin rata-rata setahun saat hujan sebesar 2,405 m/s. Kesimpulannya adalah rata-rata kecepatan angin yang dapat membangkitkan listrik (minimal 3,3 m/s), sehingga pemanfaatan energi angin sebagai pelapis energi surya pada PLTH kurang efektif, kecuali jika digunakan turbin angin yang bisa bekerja dengan kecepatan angin rendah. Adapun faktor lain

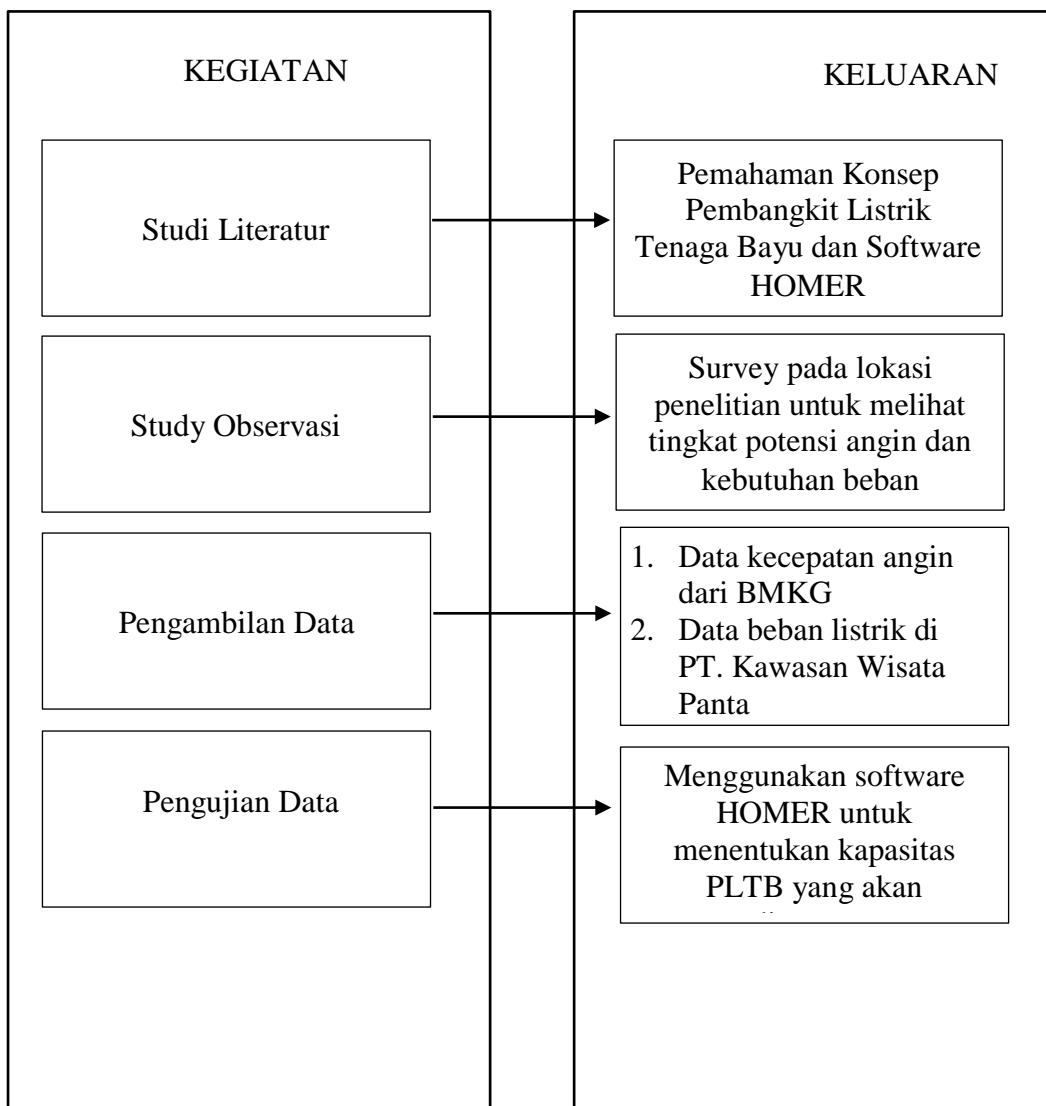
yang mempengaruhi kencangnya bertiup adalah panjangnya siang dan malam. Bila dirasakan kecepatan angin pada waktu siang dan malam berbeda. Angin bertiup lebih cepat pada siang hari dibandingkan dengan malam hari. Panjang siang dan malam pada beberapa daerah tidak sama sehingga menyebabkan tekanan udara maksimum dan minimum berubah-ubah. Akibatnya, arah aliran udara tidak tetap atau tidak menentu.

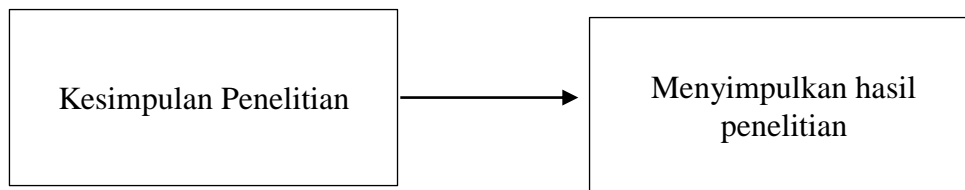
Rancang bangun turbin angin poros *horizontal double multiflat blade* dengan tujuan penelitian membandingkan kinerja turbin angin poros *horizontal single multiflat blade* dengan turbin angin poros *horizontal double multiflat blade* perlakuan sisi masuk dan perlakuan sisi keluar. Pengujian turbin angin *single multiflat blade* dilakukan dengan kecepatan angin 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s dengan sudut *blade* 35°, 38°, 40°, 43° dan 45°. Berdasarkan pengujian turbin angin poros *horizontal double multiflat blade* dibuat dengan sudu *flat* yang terbuat dari besi plat dengan ketebalan 0,9 mm, panjang sudu sebesar 300 mm, dan lebar sudu sebesar 100 mm. bagian sisi masuk sudu dibuat dengan lebar 20 mm, sedangkan sisi keluar sudu dibuat dengan lebar 10 mm. Turbin ini mempunyai tinggi sebesar 1,205 m dengan diameter sapuan sudu sebesar 83 cm. Dengan efisiensi sistem tertinggi pada pengujian turbin angin *single multiflat blade* untuk masing-masing kecepatan adalah 4,87% (kecepatan 5 m/s, sudut *blade* 35°), dan 8,397% (kecepatan 5 m/s, sudut *blade* 40°). Efisiensi sistem tertinggi pada pengujian turbin angin *double multiflat blade* perlakuan sisi keluar dengan sudut *blade* 40° untuk kecepatan 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s masing-masing sebesar 3,62%, 10,11% dan 11,74%. Sedangkan efisiensi sistem pada pengujian turbin angin *double multiflat blade* perlakuan sisi masuk dengan sudut *blade* 40° untuk kecepatan 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s masing-masing sebesar 2,11%, 5,304% dan 5,16%.

2.10 Kerangka Berfikir

Untuk membantu dalam penyusunan penelitian ini, maka diperlukan adanya susunan kerangka berpikir yang jelas tahapannya. Kerangka ini merupakan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penyelesaian masalah

yang akan dibahas. Adapun langkah-langkah dari kerangka berpikir dalam penelitian ini akan dijelaskan pada gambar 2.13





Gambar 2.15 Kerangka Berfikir

Dari gambar 2.8 yaitu tentang kerangka berpikir yang dimulai dari study literatur yang didapat dari jurnal-jurnal penelitian serupa terdahulu. Kemudian dilanjutkan dengan observasi yang meliputi survey pada lokasi penelitian. Kemudian dilakukan pengambilan data, adapun data yang diambil adalah data total beban yang digunakan pada lokasi penelitian, data pemakaian listrik. Selanjutnya adalah proses analisis dan perencanaan yang dibantu oleh software HOMER untuk mempermudah dalam menentukan kapasitas PLTB . selanjutnya kesimpulan pada penelitian yang dilakukan.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Potensi energi angin pada team park pantai cermin kabupaten Deli Serdang Sumatera Utara sebagai energi alternatif PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) sangat memungkinkan. Melihat dari letak geografis dan tingkat rata-rata kecepatan angin pada lokasi penelitian memiliki potensi untuk dibangunnya PLTB. Namun pemanfaatan PLTB karna relati mahal haruslah efektif dan efisien. Untuk mendapatkan hasil perancangan yang lebih tepat dan akurat maka dibutuhkan bantuan dari aplikasi HOMER. Dimana aplikasi yang digunakan akan membantu untuk merancang dan menentukan kapasitas PLTB yang mampu membebani beban dihitung. Dilihat dari aplikasi HOMER adapun data angin yang terdapat pada Pantai Cermin Deliserdang dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Data Angin pada Pantai Cermin Sergai

Dapat dilihat kecepatan angin selama setahun berkisaran antara 2,4 m/s sampai dengan 3,2 m/s

3.2 Tempat Dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada team park pantai cermin yang berlokasi pada kabupaten Deli Serdang Sumatera Utara. Waktu penelitian dilakukan selama 3 bulan yaitu pada bulan November 2022 sampai dengan Januari 2023.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Demi mendukung penelitian ini, adapun data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

a. Data Pengukuran Intensitas Matahari

Nilai kecepatan angin pada lokasi penelitian. Nilai kecepatan ini didapat melalui sampel pengukuran manual dan menggunakan aplikasi HOMER. Untuk pengukuran manual digunakan alat naometer, untuk data menggunakan aplikasi HOMER telah menyediakan data kecepatan angin dari tiap-tiap daerah yang ada di Indonesia.

b. Data Menghitung total Beban dengan Rincian Biaya Pengeluaran Untuk Penggunaan Daya Listrik minimal 2 bulan terakhir. Total beban didapat dari slip setoran pembayaran yang ada, data yang digunakan untuk kebutuhan team park pantai cermin tersebut akan dihitung secara keseluruhannya.

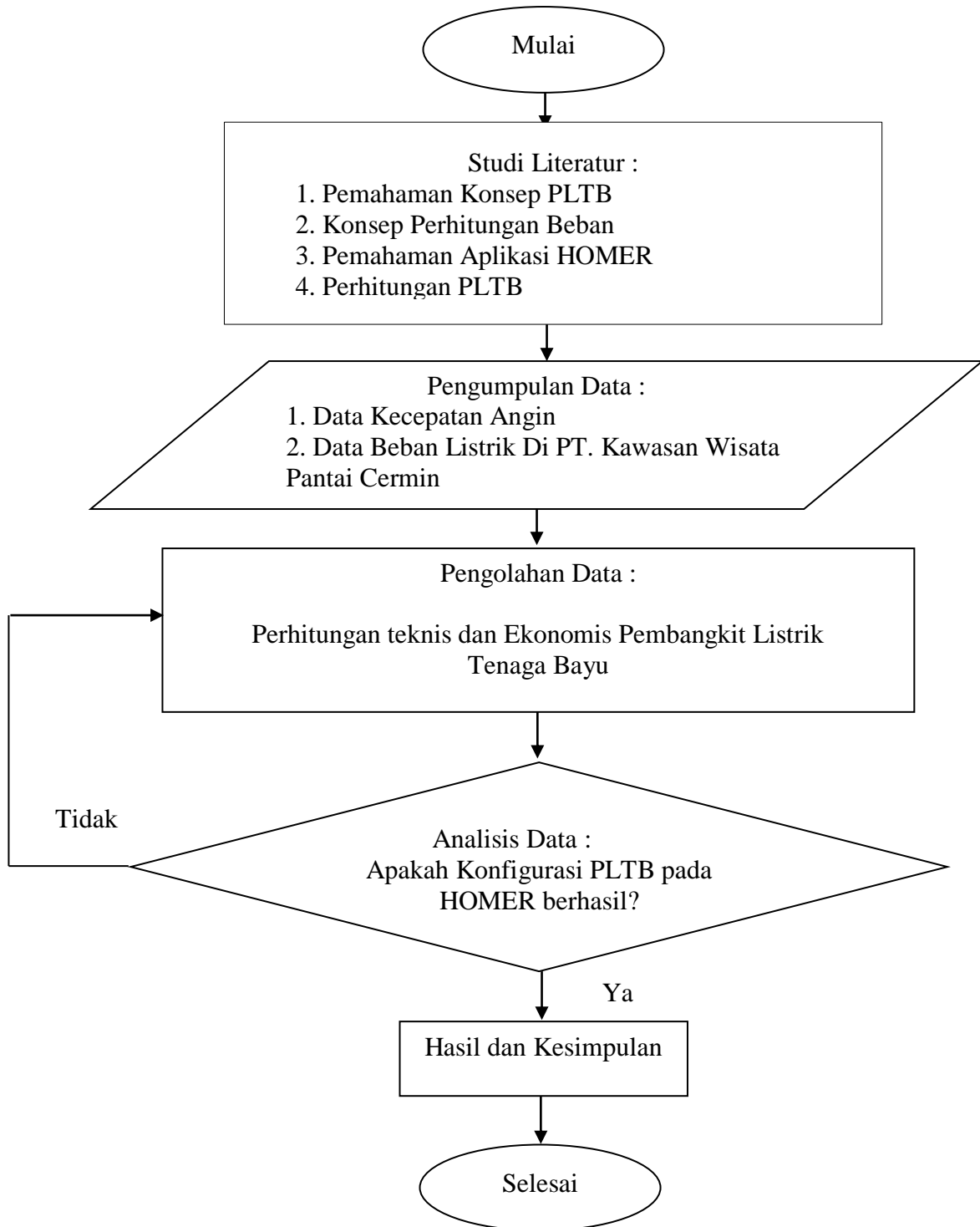
3.4 Teknik Analisis

Dari data yang telah dikumpulkan, maka langkah selanjutnya adalah proses analisis data yang ada. Adapun langkah – langkah teknik analisis data pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data kecepatan angin yang ada kemudian diinput kedalam software HOMER untuk mendapatkan kapasitas PLTB yang dapat dipasang untuk mensuplai beban pada lokasi penelitian
2. Pada aplikasi homer juga terdapat perancangan secara teknis dan ekonomis, akan dilihat harga dari pemasangan kapasitas dari PLTB yang telah ditentukan sesuai dengan kebutuhan beban yang ada.
3. Selanjutnya mencari nilai BEP (Break event Point) yaitu keadaan dimana modal untuk merancang suatu PLTB akan kembali.

3.5 Bagan Alir Penelitian

Adapun bagan alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2 Flowchart Penelitian

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan perencanaan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) pada lokasi penelitian yaitu daerah wisata PT. Pantai Cermin Serdang Bedagai. Adapun perencanaan yang dilakukan meliputi analisis secara teknis perencanaan PLTB yang akan mensuplai beban yang ada, kemudian analisis secara ekonomis untuk mengetahui modal awal yang dibutuhkan dalam pembangunan PLTB dan kapan periode pengembalian modal yang digunakan. Perencanaan pada penelitian ini dibantu dengan *software* HOMER.

4.1.1 Data Kecepatan Angin

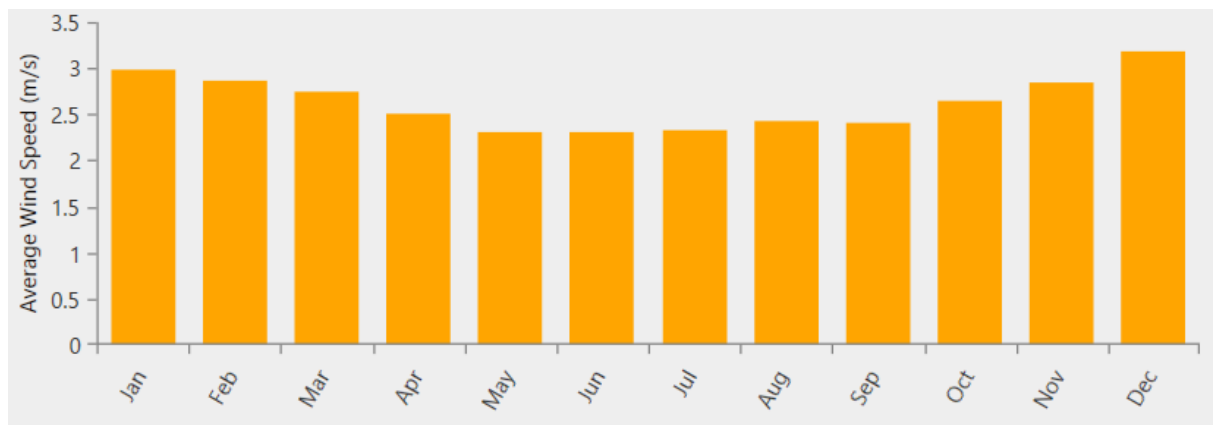
Data kecepatan angin pada lokasi penelitian diambil melalui aplikasi HOMER yang juga digunakan sebagai aplikasi untuk menghitung kebutuhan daya pembangkit listrik tenaga bayu nantinya, adapun data kecepatan angin yang diambil dari sumber NASA melalui aplikasi HOMER adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Kecepatan Angin Lokasi Penelitian

| Bulan | Kecepatan Angin (m/s) |
|----------|-----------------------|
| Januari | 2.990 |
| Februari | 2.860 |
| Maret | 2.750 |
| April | 2.500 |
| Mei | 2.300 |
| Juni | 2.310 |
| Juli | 2.330 |
| Agustus | 2.420 |

| Bulan | Kecepatan Angin (m/s) |
|-------------|-----------------------|
| September | 2.410 |
| Oktober | 2.650 |
| November | 2.850 |
| Desember | 3.180 |
| Rata - Rata | 2.63 |

Dari data yang diperoleh dapat dilihat kecepatan angin paling tinggi terjadi pada bulan Desember yaitu 3,180 m/s, sedangkan kecepatan angin terendah yaitu 2,5 m/s pada bulan Februari dan Mei. Sedangkan rata – rata kecepatan angin dalam kurun waktu selama satu tahun pada lokasi penelitian adalah 2,63 m/s. adapun grafik tingkat kecepatan turbin setiap bulannya yang diambil dari aplikasi HOMER adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik Kecepatan Angin Selama 1 Tahun

Hasil pengambilan data yang dilakukan secara manual menggunakan anemometer yang diambil sebagai sampel selama 1 hari penuh dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengukuran Kecepatan Angin Manual

| Waktu | Kecepatan Angin (m/s) |
|-------------|-----------------------|
| 01.00 | 2,9 |
| 02.00 | 3,2 |
| 03.00 | 3,2 |
| 04.00 | 3,5 |
| 05.00 | 3,3 |
| 06.00 | 3,2 |
| 07.00 | 3,2 |
| 08.00 | 2,9 |
| 09.00 | 2,7 |
| 10.00 | 3,3 |
| 11.00 | 3,4 |
| 12.00 | 3,5 |
| 13.00 | 3,8 |
| 14.00 | 3,3 |
| 15.00 | 3,2 |
| 16.00 | 3,8 |
| 17.00 | 4,1 |
| 18.00 | 4,3 |
| 19.00 | 4,0 |
| 20.00 | 3,5 |
| 21.00 | 3,4 |
| 22.00 | 3,4 |
| 23.00 | 2,9 |
| 24.00 | 3,1 |
| Rata - Rata | 3,38 |

Dapat dilihat pada Tabel 4.2 data kecepatan angin yang diukur secara manual selama 1 hari penuh memiliki tingkat rata – rata sebesar 3,38 m/s dimana nilai kecepatan angin hasil pengukuran secara manual jauh lebih tinggi dibandingkan hasil yang didapat dari software Homer dengan nilai 2,64 m/s

4.1.2 Potensi Kecepatan Angin

Parameter potensi dari kecepatan angin pada lokasi penelitian adalah mampu menghasilkan daya keluaran yang optimal dengan kecepatan angin yang ada. Dimana daya yang dihasilkan akan digunakan sebagai pensuplai beban yang ada pada lokasi penelitian. Pada sub bab potensi angin ini akan dianalisis total penggunaan beban pada lokasi penelitian, perencanaan teknis dan ekonomis dari PLTB.

4.1.2.1 Data Beban Listrik

Data beban listrik pada lokasi penelitian yaitu daerah wisata pantai cermin dengan tarif dasar Rp.1.114,74 golongan B-3/TM berkapasitas daya 555 kVA yang didapat dari selip pembayaran bulanan penggunaan daya listrik. Adapun slip pembayaran bulanan penggunaan daya listrik pada lokasi penelitian adalah sebagai berikut :

| | | |
|--|---------------------------|------------|
| NAMA | : PT KAWASAN WST P.CERMIN | |
| TARIF/DAYA | : B3 /555000 VA | |
| RP TAG PLN | : Rp | 58.369,039 |
| NO REF | : [REDACTED] | 13317 / Rp |
| PLN menyatakan struk ini sebagai bukti pembayaran yang sah. | | |
| ADMIN BANK | : Rp | 2,500 |
| TOTAL BAYAR | : Rp | 58,371,539 |

Gambar 4.2 Slip Pembayaran Tagian Listrik PT. Kawasan Wisata P.Cermin Kabupaten Serdang Bedagai

Maka dari tarif dasar penggunaan daya listrik per kWh ini dapat diketahui penggunaan daya listrik pada lokasi penelitian adalah sebesar :

$$= \frac{58369030}{1114,74}$$

$$= 52.363 \text{ kWh/Bulan}$$

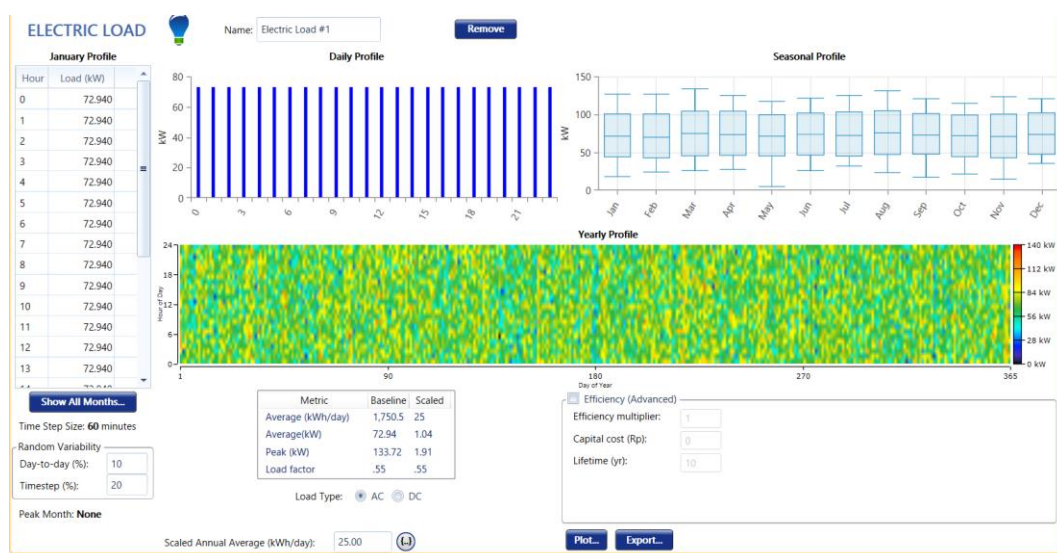
Adapun beban yang akan disuplai PLTB adalah sebagian dari total beban yang ada yaitu beban pemakaian sehari-hari. Adapun klasifikasi beban dan total beban yang akan disuplai oleh PLTB yang akan dirancang adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Data Beban Yang akan disuplai PLTB

| No | Nama | Banyaknya | Kapasitas (Watt) | Total Daya (Watt) | Waktu Menyala (Jam) | Total Kapasitas (Wh/Day) |
|-------|-----------------|-----------|------------------|-------------------|---------------------|--------------------------|
| 1 | Lampu | 38 | 50 | 1900 | 14 | 26600 |
| 2 | Lampu | 83 | 60 | 4980 | 14 | 69720 |
| 3 | Pompa Air Taman | 8 | 3000 | 24000 | 12 | 288000 |
| 4 | AC Kamar | 50 | 950 | 47500 | 12 | 570000 |
| 5 | AC Kantor | 22 | 1700 | 37400 | 12 | 448800 |
| 6 | Komputer | 8 | 1000 | 8000 | 6 | 48000 |
| 7 | Kulkas | 6 | 400 | 2400 | 24 | 57600 |
| 8 | Kipas Angin | 14 | 250 | 3500 | 12 | 42000 |
| 9 | TV | 50 | 200 | 10000 | 5 | 50000 |
| 10 | Water Heater | 50 | 300 | 15000 | 3 | 45000 |
| 11 | Mesin Cuci | 5 | 450 | 2250 | 5 | 11250 |
| 12 | CCTV | 20 | 20 | 400 | 24 | 9600 |
| 13 | Sound Sistem | 2 | 3000 | 6000 | 6 | 36000 |
| 14 | Setrika | 50 | 300 | 15000 | 3 | 45000 |
| 15 | Printer | 5 | 20 | 100 | 5 | 500 |
| 16 | Infokus | 5 | 100 | 500 | 5 | 2500 |
| Total | | | | 178.930 | | 1.750.570 |

Maka jika Kawasan Wisata Pantai cermin memiliki total beban yang terpasang adalah 178.930 Watt dan menghabiskan daya listrik sebesar 1.750.570 Wh/hari dan sebesar 72.940 Watt/jam atau 72,94 kWh/jam. Apabila PLTB

mensuplai total beban yang ada pada lokasi penelitian, maka PLTB membutuhkan kapasitas yang besar dan lahan yang luas, maka atas dasar pertimbangan ini beban yang akan disuplai oleh PLTB dibatasi dengan hanya mensuplai beban penerangan saja pada lokasi penelitian. Adapun total beban penerangan adalah sebesar 96.320 Wh/hari, maka daya yang digunakan selama satu jam adalah sebesar 4.013 Wh/Jam. nilai ini akan diinput kedalam HOMER sebagai beban yang akan disuplai PLTB, Adapun grafik beban setelah diinput kedalam HOMER adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3 Beban yang akan disuplai

Dapat dilihat pada gambar 4.3 dimana beban rata – rata yang akan disuplai adalah sebesar 4,013 kWh/Jam dan 96,23 kWh/Hari.

4.1.2.2 Perancangan Secara Teknis

Pada perancangan secara teknis akan ditentukan berapa kapasitas PLTB yang mampu untuk mensuplai beban. Dimana turbin yang digunakan adalah turbin yang berkapasitas sebesar 10 kW. Adapun spesifikasi turbin sesuai dengan Tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.4 Spesifikasi Turbin Angin

| | |
|--------------------------|-----------------------|
| 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 |
| Densitas Turbin | 0,6 kg/m ³ |
| Berat Turbin | 42 Kg |

Untuk mengetahui daya keluaran yang dapat dihasilkan oleh turbin dengan memanfaatkan potensi angin pada lokasi penelitian digunakan persamaan 2.4, Maka dari spesifikasi turbin yang ada dapat diketahui daya keluaran yang dapat dihasilkan PLTB 10kW adalah :

$$P_a = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$= \frac{1}{2} 1,225 \times 84,64 \times 3,38^3$$

$$= 2.001,85 \text{ Watt atau } 2 \text{ kW}$$

Dalam satu haru turbin angin berkapastias 10 kW dapat menghasilkan daya listrik sebesar 2kW x 24 Jam yaitu 48 kW 1 hari. Maka untuk mensuplai beban dengan kapasitas beban terpasang adalah 96,32 kW maka jumlah turbin yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\text{Jumlah Turbin} = \frac{96,32 \text{ kW}}{48 \text{ kW}}$$

$$= \frac{178.930}{965,36}$$

$$= 2,06 \text{ Turbin}$$

$$= 3 \text{ Turbin (Pembulatan)}$$

Maka untuk mensuplai beban dengan total beban terpasang adalah 96,32 kW adalah sebanyak 3 Turbin dengan kapasitas masing – masing turbin sebesar 10 kW. Untuk menampung daya yang dihasilkan oleh turbin maka digunakan baterai, adapun spesifikasi baterai yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.5.

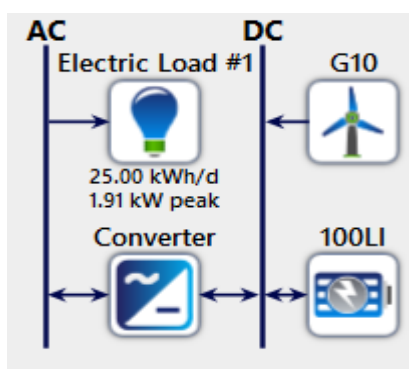
Tabel 4.5 Spesifikasi Baterai

| Tipe Baterai | Generic Li-Ion |
|------------------------------------|----------------|
| Nominal Tegangan (V) | 600 |
| Kapasitas (kWh) | 100 |
| Nominal Kapasitas (Ah) | 167 |
| Effisiensi | 90% |
| Arus Maksimal (<i>Charge</i>) | 167 A |
| Arus Maksimal (<i>Discharge</i>) | 500 A |

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat kapasitas dalam satu baterai adalah sebesar 100 kWh. Maka untuk menampung daya beban sebesar 96.320 Watt dibutuhkan sebanyak 1 baterai dengan kapasitas masing – masing baterai adalah 100 kWh.

4.1.2.3 Perencanaan Ekonomis

Untuk mendapatkan hasil ekonomis dari perencanaan PLTB, dilakukan simulasi menggunakan aplikasi HOMER. Adapun skema bus pembangkit listrik tenaga bayu yang dilakukan simulasi pada aplikasi HOMER pada Gambar 4.4 berikut :



Gambar 4.4 Skema PLTB

Pada gambar 4.4 skema PLTB, perangkat yang digunakan meliputi beban, converter, wind turbin dan baterai. Parameter ini dapat dilihat pada tabel 4,6 dibawah ini :

Tabel 4.6 Masukan Parameter HOMER

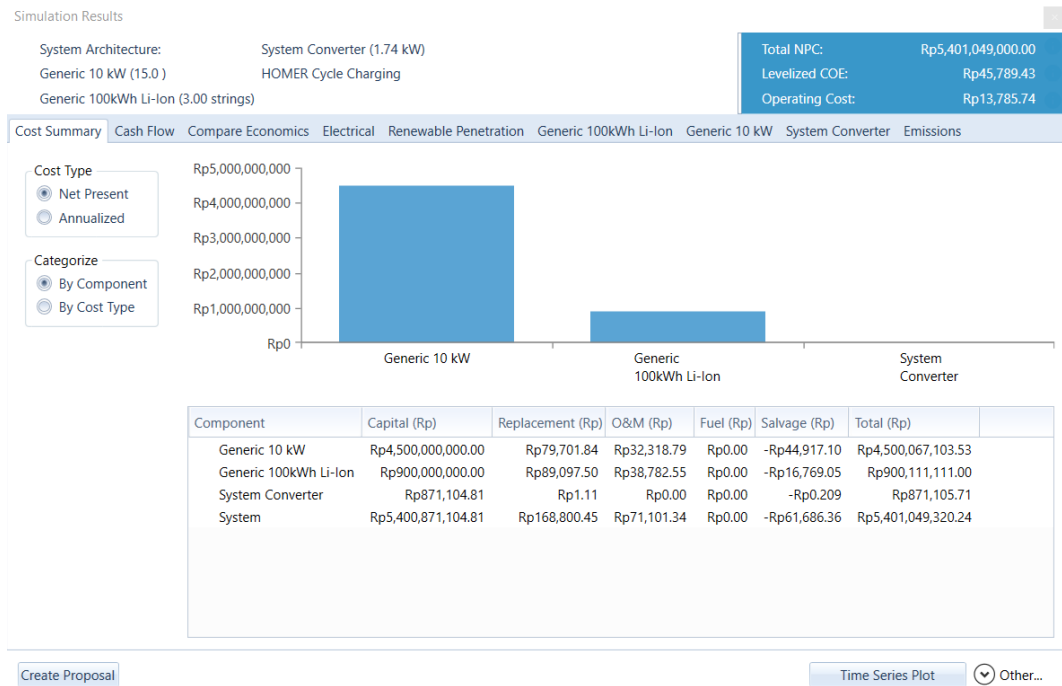
| Input | Keterangan | Kapasitas Terpasang | Harga (Rp) | Masa Pakai | Operasi dan Perawatan/Tahun |
|-------------|--------------------------|---------------------|-------------|------------|-----------------------------|
| Beban | Beban yang disimulasikan | 96 kWh/d | - | - | - |
| Wind Turbin | Aelos-V10 KW | 30 kW | 900.000.000 | 20 Tahun | 10.000.000 |
| Converter | SIE G120X | 30 kW | 100.000.000 | 20 Tahun | 0 |

| | | | | | |
|-------------------|--|--------|-------------|----------|---|
| | 3YE30 Frequenzumri chter SINAMICS G120X, 10KW | | | | |
| Storage Sistem | Li-Ion 100 KW | 100 kW | 300.000.000 | 10 Tahun | 0 |

Kemudian simulasi dilakukan dengan parameter perangkat yang digunakan sesuai pada tabel 4.6 adapun hasil simulasi yang dikeluarkan pada aplikasi HOMER adalah sebagai berikut:

a. *Cost Of Energy*

Cost of Energy merupakan biaya yang dibutuhkan untuk membangun suatu pembangkit listrik dengan spesifikasi yang dibutuhkan dan direncanakan. Adapun tabel biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan PLTB keluaran software HOMER adalah sebagai berikut:

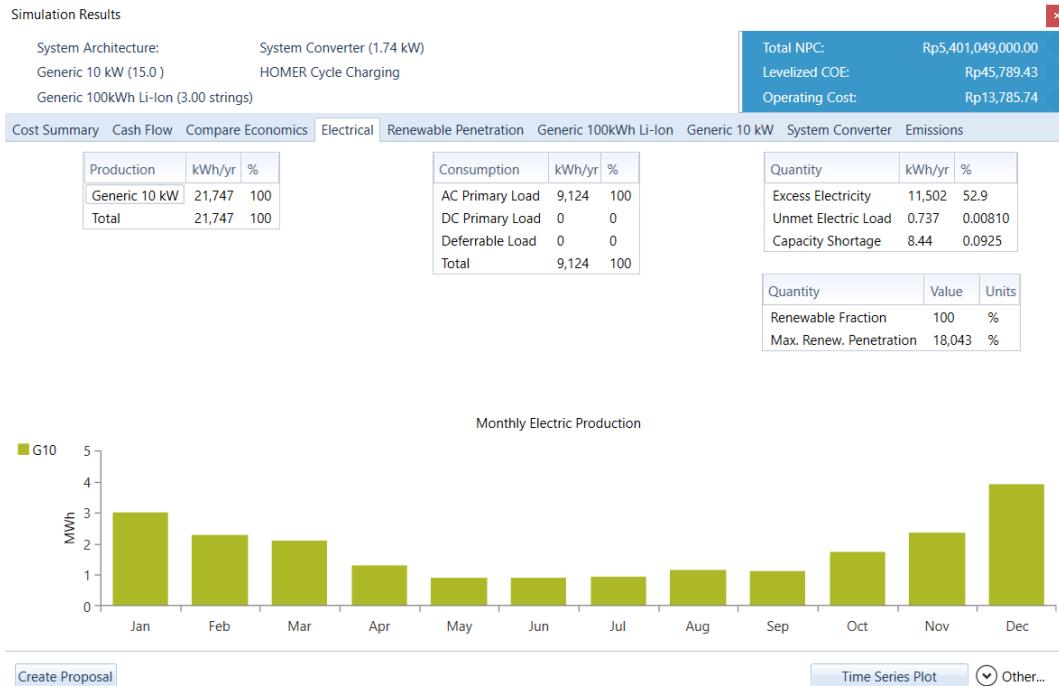


Gambar 4.6 Cost of Energy

Dapat dilihat bahwa biaya keseluruhan pembangunan sistem pembangkit listrik tenaga bayu berkapasitas 10 kW adalah sebesar Rp.5.400.871.104 Dimana total nilai biaya produksi jika menggunakan pembangkit ini adalah sebesar Rp.45.789/kWh. dapat dilihat pada gambar biaya turbin merupakan pengeluaran yang paling besar yaitu Rp. 4.500.000.000

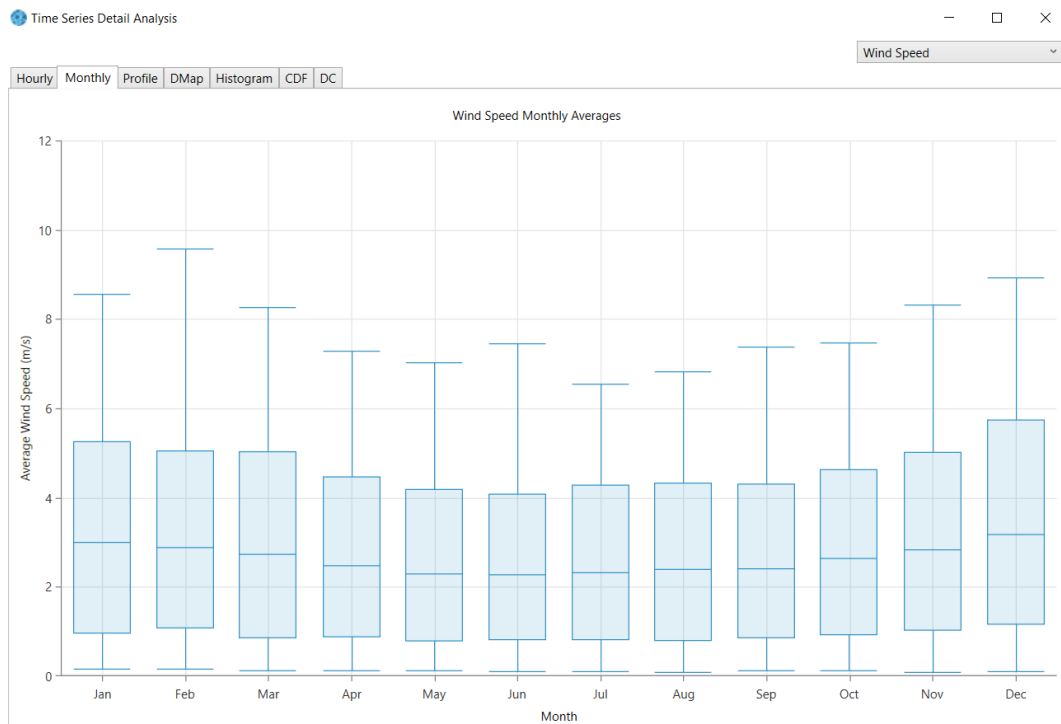
b. Daya Keluaran PLTB

Daya keluaran PLTB pada simulasi yang dilakukan pada HOMER dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.7 Daya Keluaran PLTB

Dapat dilihat pada Gambar 4.7 pada grafik keluaran daya pada PLTB. Keluaran daya PLTB paling besar terjadi pada bulan desember. Kemudian pada bulan januari juga relative besar. Namun pada bulan April sampai oktober daya keluaran PLTB relative kecil jauh dibandingkan daya keluaran yang dihasilkan pada bulan Desember dan Januari.



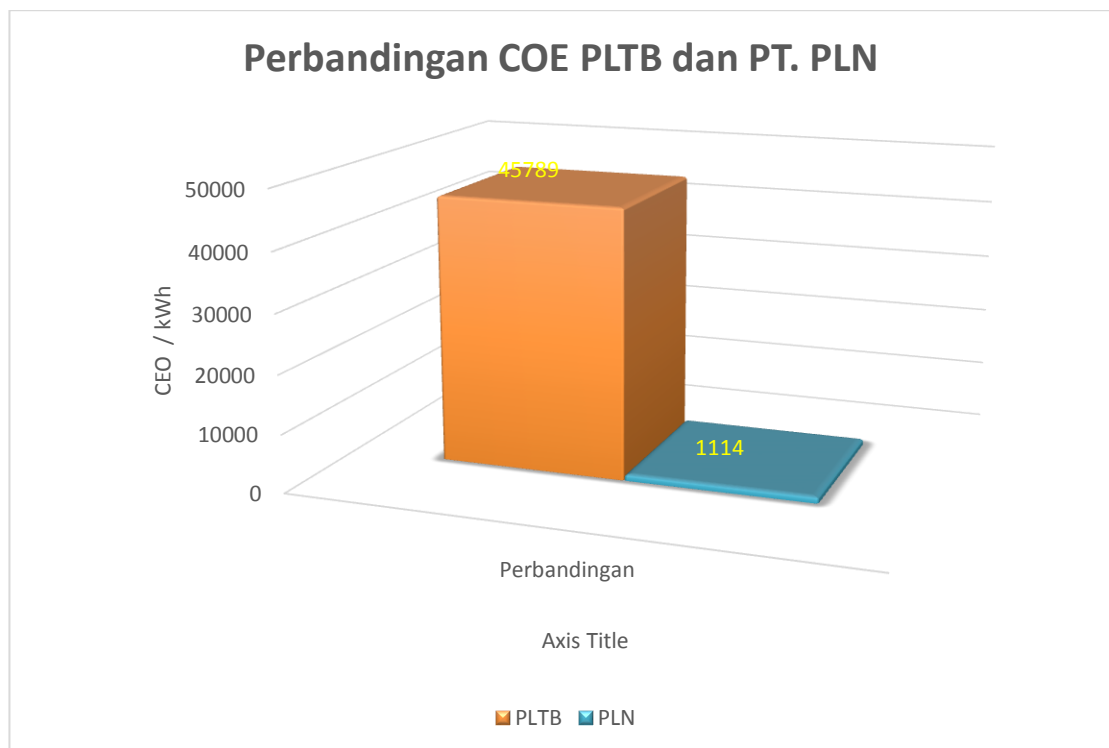
Gambar 4.8 Daya Keluaran Setiap Bulannya

Pada bulan Desember PLTB dapat menghasilkan maksimal daya pada bulan Desember yaitu sebesar 8,92 kW dan rata – rata keluaran PLTB perharinya pada bulan Desember adalah sebesar 5,73 kW. Sedangkan terkecil terjadi pada bulan Mei yaitu daya keluaran pada bulan ini yang dihasilkan adalah sebesar 7,46 kW dan rata – rata keluaran daya setiap harinya adalah sebesar 4,11 kW.

4.2 Pembahasan

Berdasarkan simulasi yang dilakukan COE dari simulasi PLTB pada daerah wisata pantai cermin adalah sebesar Rp.45.789/kWh sedangkan tarif dasar penjualan listrik oleh PT. PLN terhadap pengguna diatas 200 kVA adalah

Rp.1114/kWh, maka adapun perbandingan COE PLTB dan PT. PLN adalah sebagai berikut :



Gambar 4.9 Perbandingan COE PLTB dan PT. PLN

Berdasarkan perbandingan pada grafik di atas dapat di simpulkan biaya produksi pembangkit listrik tenaga bayu pada Area Wisata Pantai Cermin jauh lebih mahal di bandingkan dengan tarif dasar listrik yang di tetapkan oleh PT.PLN. Maka jika di lihat dari sisi ekonomi pemasangan PLTB belum potensial untuk di kembangkan menjadi daerah pembangkit listrik energi terbarukan yaitu pembangkit listrik tenaga bayu. Faktor faktor yang mempengaruhi tingginya harga produksi listrik setiap kWh yakni karena nilai investasi yang relatif mahal serta energi terbarukan terutama kecepatan angin yang tidak begitu tinggi sehingga tingkat efisiensi pada turbin kurang maksimal, namun jika di lihat dari sisi

ketersediaan energi fosil serta keberlangsungan masa depan umat manusia maka lokasi penelitian yaitu daerah wisata pantai cermin dapat lebih di pertimbangkan sebagai alternatif lokasi perencanaan pembangkit energi terbarukan

4.2.1 Kecepatan Angin di bawah 5 m/s

Jika perhitungan potensi daya efektif dan energi listrik persatuan luas tersebut ditinjau berdasarkan potensi kecepatan angin pada tabel 4.1 di bawah 5 m/s yang ada pada lokasi penelitian, untuk mengetahui terkait daya dan energi yang dapat dihasilkan jika diterapkan asumsi penggunaan turbin sesuai dengan spesifikasi pada Tabel 4.3 maka akan didapatkan sebagai berikut.

Laju Aliran Massa (m) :

$$\begin{aligned} m &= \rho v A \\ &= 0,6 \times 2,63 \times 84,64 \\ &= 133,46 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Daya yang dapat dihasilkan turbin pada lokasi penelitian adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\ &= \frac{1}{2} 1,225 \times 84,64 \times 3,83^3 \\ &= 2001 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Kemudian adapun daya efisiensi yang dihasilkan turbin adalah :

$$\begin{aligned} P_{\text{eff}} &= P_a \times \text{Eff Turbin} \\ &= 2001 \times 80\% \\ &= 1600 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Adapun daya pada sistem turbin adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{syst}} &= P_{\text{eff}} \times A \\
 &= 772,288 / 84,64 \\
 &= 18,9 \text{ Watt/m}^2
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan potensi kecepatan angin pada lokasi penelitian maka dapat dilihat hasil pada Tabel 4.7 berikut :

Tabel 4.7 Potensi Angin dibawah 5 m/s

| | |
|---|--------------------------|
| Kecepatan Angin Rata – Rata (v) | 2.63 m/s |
| Laju Aliran Masa (m) | 133,46 kg/s |
| Potensi Daya yang dihasilkan turbin angin (P_a) | 2001 Watt |
| Daya Effisiensi | 1600 Watt |
| Daya Sistem | 18,9 Watt/m ² |

Tabel 4.7 merupakan hasil perhitungan potensi daya dan energi yang dapat dihasilkan persatuan luas jika digunakan turbin dengan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Dari hasil yang didapat pada tabel menunjukkan potensi pada lokasi penelitian dimana lokasi penelitian memiliki kecepatan angin yang rendah berbanding lurus dengan potensi daya yang dihasilkan.

4.2.1 Investasi Sektor Energi Terbarukan

Dari hasil perencanaan ekonomis adapun hasil perencanaan pembangunan turbin yang didapat adalah pada Tabel 4.8 sebagai berikut :

Tabel 4.8 Hasil Perencanaan Ekonomis PLTB

| Beban | Daya Keluaran PLTB | Biaya Produksi PLTB Rp/kWh | Net Present Cost (Rp) |
|-------------|--------------------|----------------------------|-----------------------|
| 96 kWh/hari | 26.096 kWh/Tahun | 45.000 | 5.400.000.000 |

Untuk kapasitas terpasang pada perencanaan turbin dapat dilihat total cost sebesar Rp. 5.400.000.000 (Tanpa Bunga), maka dari total biaya pembangunan.

Maka perencanaan pay back periode pada NPC adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{PBP} &= \text{NPC} / \text{Keuntungan Pertahun} \\
 &= 5.400.000.000 / (3.208.000 \times 12) \\
 &= 5.400.000.000 / 38.499.840 \\
 &= 140 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasannya yang dilakukan pada penelitian Tesis ini, maka penulis mengambil kesimpulan bahwa :

1. Kecepatan angin pada lokasi penelitian relatif kecil yaitu terbesar terjadi pada bulan Desember dengan kecepatan sebesar 3,18 m/s. sedangkan rata – rata kecepatan angin pada lokasi penelitian adalah sebesar 2,63 m/s dimana kecepatan ini relatif kecil untuk pembangunan suatu turbin angin atau PLTB.
2. Untuk mensuplai beban dengan kWh sebesar 1.144 kWh/hari dibutuhkan turbin angin dengan kapasitas 10 kW sebanyak 3 Turbin dengan daya keluaran sebesar 2001 Watt setiap turbinnya.
3. Biaya pembangunan turbin setelah dilakukan simulasi adalah sebesar Rp.5.400.000.000 Dimana total nilai biaya produksi jika menggunakan pembangkit ini adalah sebesar Rp.45.709/ kWh. dapat dilihat pada gambar biaya turbin merupakan pengeluaran yang paling besar yaitu Rp. 4.500.000.000 dengan pay back periode selama 140 tahun.
4. Adapun potensi angin pada lokasi penelitian yaitu kecepatan angin sebesar 2,63 m/s, Laju aliran masa 133,46 kg/s, Potensi Daya sebesar 2001 Watt, daya efisiensi 1600 Wat serta daya sistem yaitu 18,9 Watt/m².

5.2 Saran

1. Agar dapat menggunakan jenis software yang berbeda selain software HOMER yang digunakan pada penelitian ini.
2. Melakukan penelitian pada daerah yang lebih berpotensi angin yaitu dengan kecepatan angin rata – rata sebesar sama dengan 5 m/s atau lebih dari pada itu agar mendapatkan hasil yang maksimal.

- [1] M. S. Anrokhi, M. Y. Darmawan, A. Komarudin, K. Kananda, and D. L. Puspitarum, "Analisis Potensi Energi Matahari di Institut Teknologi Sumatera: Pertimbangan Faktor Kelembaban dan Suhu," *Journal of Science and Applicative Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 89–92, 2019, doi: 10.35472/jsat.v3i2.210.
- [2] M. F. Zambak, K. Lubis, and A. Faisal, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pada Laboratorium Teknik UMSU Menggunakan Simulasi PVSyst," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 14, no. 2, p. 72, 2023, doi: 10.22441/jte.2023.v14i2.003.
- [3] A. Santoso *et al.*, "Pemakaian PLTS Sebagai Sumber Energi Alternatif untuk Penerangan Lingkungan Panti Asuhan Semarang," *Community Development Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 4116–4120, 2023.
- [4] M. Mirza, R. S. Lubis, and M. Gapy, "Pemanfaatan Alternator Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)," *Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 4, no. 4, pp. 19–24, 2019.
- [5] R. R. Novri, "Analisis Potensi Energi Angin Tambak Untuk Menghasilkan Energi Listrik," *Journal of Research and Education Chemistry*, vol. 3, no. 2, pp. 96–112, 2021, doi: 10.25299/jrec.2021.vol3(2).7165.
- [6] S. (Universitas J. Naura Ahadiyah Rahmi, "Persepsi Mahasiswa Terhadap Potensi Pemanfaatan Angin Sebagai Sumber Energi Di Sepanjang Pantai Selatan Jawa," *Edu Fisika : Jurnal Pendidikan Fisika*, vol. 6, no. 1, pp. 56–63, 2021.
- [7] R. Pratama, "Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi," *Buletin Utama Teknik*,

- vol. 14, no. 2, pp. 120–126, 2019.
- [8] A. W. Prasetyo and J. Windarta, “Pemanfaatan Teknologi Carbon Capture Storage (CCS) dalam Upaya Mendukung Produksi Energi yang Berkelanjutan,” *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 3, pp. 231–238, 2022, doi: 10.14710/jebt.2022.14509.
- [9] Z. Zulfikar, P. Harahap, and H. A. Laksono, “Analisa Perbandingan Pengaruh Variasi Jumlah Sudu 4 Dan 8 Pada Turbin Angin Savonius Terhadap Tegangan Dan Arus Generator Dc,” *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2019, doi: 10.30596/rele.v2i1.3646.
- [10] M. Aris, A. Sunardi, and R. Ariyansah, “Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sebagai Penerangan Area Rooftop Kampus C Jgu,” *Journal METIKS*, vol. 3, no. 1, pp. 10–16, 2023, doi: 10.30598/metiks.2023.3.1.10-16.
- [11] Aulia Dwiyantri, “Simulasi Buck Converter Pada Rangkaian Controller Turbin Angin the Sky Dancer 500 Di Pt Lentera Bumi Nusantara,” *Buana Ilmu*, vol. 6, no. 2, pp. 44–62, 2022, doi: 10.36805/bi.v6i2.2340.
- [12] E. E. S. Yoga Arob Wicaksono¹, Munaji, “AutoMech,” *Jurnal AutoMech*, vol. 1, pp. 21–24, 2021.
- [13] A. R. Rawal, B. Hamzah, and R. Mulyadi, “Analisis potensi angin dan penggunaan turbin angin pada bangunan tinggi yang terletak di sisi barat Kota Makassar (Studi kasus: Delft Apartemen),” *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi*, vol. 17, no. 2, pp. 252–261, 2023.

- [14] A. Darsono, R. Ardian, H. Ibrahim, M. Idris, and A. Janifar, "Menggunakan Smart Auto Change Dan Monitoring," *Sinergi Polmed: JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN*, vol. 04, no. 02, pp. 28–34, 2023.
- [15] D. Sumardiyanto and M. F. Hidayat, "Desain Kincir Angin Sederhana Untuk Pembangkit Listrik Desa Urug, Kecamatan Sukajaya Kabupaten Bogor Jawa Barat," *Berdikari*, vol. 1, pp. 28–36, 2018, [Online]. Available: <http://journal.uta45jakarta.ac.id/index.php/berdikari/article/view/1335>.
- [16] M. A. Ghofur, P. M. I. P, and R. A. Funny, "Perancangan Simulasi Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) Dengan Variasi Jumlah Blade Dan Variasi Sudut Pitch Menggunakan Aplikasi Q-Blade," *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, vol. 6, pp. 133–144, 2020, doi: 10.28989/senatik.v6i0.420.
- [17] Wijaya Kusuma, Anang Dasa Novfowan, and Abdul Manaf, "Perencanaan Charger Controller Dan Baterai Pada Prototype Pltb Skala Kecil Di Teknik Listrik Polinema," *Jurnal Teknik Ilmu Dan Aplikasi*, vol. 9, no. 1, pp. 97–102, 2021, doi: 10.33795/jtia.v9i1.19.
- [18] T. Multazam and A. Mulkan, "Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Pada Kecepatan Angin Rendah Untuk Meningkatkan Performa Permanent Magnet Generator," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 616–624, 2019, doi: 10.32672/jse.v4i2.1446.
- [19] L. Sule and P. Sampelawang, "Kinerja Kincir Angin Sumbu Vertikal Dengan Model Sudu Bengkok 90O Untuk Variasi Jumlah Sudu (2, 3, Dan 4 Sudu)," *Mechanical Engineering Science (MES)*, vol. 1, no. 2, pp. 9–18,

- 2019,[Online].Available:<http://www.journals.ukitoraja.ac.id/index.php/mes/article/view/774%0Ahttps://www.journals.ukitoraja.ac.id/index.php/mes/article/download/774/645>.
- [20] A. Rachman, P. Pratiwi, and L. Ashari, “Rancang Bangun dan Uji Prestasi Horizontal Axis Wind Turbine Jenis Taper Design and Performance Horizontal Axis Wind Turbine Taper Type,” *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang*, vol. 9, no. 2, pp. 59–64, 2019, [Online]. Available: <https://e-journal.itp.ac.id/index.php/jtm>.
- [21] A. Effendi, M. Novriyanti, A. Y. Dewi, and A. M. N. Putra, “Analisa Pengaruh Jumlah Blade Terhadap Putaran Turbin Pada Pemanfaatan Energi Angin di Pantai Ujung Batu Muaro Penjalinan,” vol. 8, no. 2, pp. 134–138, 2019.
- [22] M. Widyartono, R. Rahmadian, and A. C. H, “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Berbasis Motor Dc Pada Penerapan Metode Light Trap,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 12, no. 3, pp. 57–67, 2023.
- [23] A. A. B, A. F. S. Rahman, and A. Risky, “Perancangan Alat Pengisi Baterai Selular Panel Surya Menggunakan Modul Pengendali Ts-Mppt-60,” *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 5, no. 1, pp. 94–98, 2020, doi: 10.36277/jteuniba.v5i1.87.
- [24] Y. Sutrisno and dan Arum Setyowati, “Analisis Kapasitas Baterai dan Converter (Rectifier) Sebagai Catuan Cadangan Pada Perangkat Telekomunikasi,” *JVoTE (Jurnal Pendidikan Vokasional Teknik*

- Elektronika*), vol. Volume 4 N, no. 1, pp. 32–40, 2021.
- [25] M. Furqan, M. Syukri, Syukriyadin, and Alfisyahrin, “Analisis Simulasi Perubahan Frekuensi Switching Pada Inverter Satu Fasa 220 Volt/50 Hz,” *KITEKTRO: Jurnal Komputer, Teknologi Informasi, dan Elektro*, vol. 7, no. 2, p. 2022, 2022.
- [26] F. N. Rangkuti, M. Rokhmat, and I. N. Zahra, “Perancangan Bilah Taper Pada Turbin Angin Sumbu Horizontal Design of Taper in Horizontal Axis Wind Turbin,” in *e-Proceeding of Engineering*, 2021, vol. 8, no. 2355–9365, pp. 5834–5842, [Online]. Available: Fadilah Novyanti Rangkuti; Mamat Rokhmat; Inayah N Zahra.
- [27] A. I. T. Amali, Lanto Kamil, Yasin Mohamad, “Analisis Konsumsi Energi Listrik Menggunakan Metode Internsitas Konsumsi Energi,” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 6, pp. 103–107, 2024.
- [28] N. Aryanto, A. Jaya, and C. Hudaya, “Pemodelan Energi Baru Terbarukan (Ebt) Melalui Pendekatan Dinamis Untuk Ketahanan Energi Kabupaten Sumbawa 2017-2027,” *Jurnal TAMBORA*, vol. 4, no. 2A, pp. 122–132, 2020, doi: 10.36761/jt.v4i2a.783.
- [29] D. A. Basudewa, “Analisa Penggunaan Kapasitor Bank terhadap Faktor Daya Pada Gedung IDB Laboratory UNESA,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 09, no. 03, pp. 697–707, 2020.
- [30] L. P. Pratama and A. Nugroho, “Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Pada Perangkat Hybrid Optimization Model For Electric Renewable

- (Homer) Berbasis Internet Of Things,” *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 2, p. 256, 2022, doi: 10.24036/jtev.v8i2.116654.
- [31] A. Bachtiar and W. Hayyatul, “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras,” *Jurnal Teknik Elektro ITP*, vol. 7, no. 1, pp. 35–45, 2018, doi: 10.21063/jte.2018.3133706.