

SKRIPSI

**ANALISIS POTENSI ENERGI ANGIN PADA KABUPATEN
MANDAILING NATAL UNTUK PEMANFAATAN
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU**

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

Disusun Oleh:

SYAHRIL HUSEIN NASUTION
2107220016



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Syahril Husein Nasution
NPM : 2107220016
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : ANALISIS POTENSI ENERGI ANGIN PADA
KABUPATEN MANDAILING NATAL UNTUK
PEMANFAATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
BAYU

Telah Berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.


Medan, 8 Mei 2026

Mengetahui dan menyetujui:


Dosen Pembimbing I


Noorly Evalina, S.T., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji



Dr. Rimbawati S.T., M.T

Dosen Pembanding II / Penguji


Muhammad Adam S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro




Dr. Elvy Samudra Nasution, S.T, M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Syahril Husein Nasution

Tempat / Tanggal Lahir : Bogor/25 Maret 2003

NPM : 2107220027

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

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

“Analisis Potensi Energi Angin Pada Kabupaten Mandailing Natal Untuk Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu”,

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

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

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

Medan, 8 Mei 2026



Saya yang menyatakan,

Syahril Husein Nasution

ABSTRAK

Kabupaten Mandailing Natal merupakan salah satu wilayah di Provinsi Sumatera Utara yang masih menghadapi keterbatasan pasokan energi listrik, khususnya di daerah pedesaan dan terpencil. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan sumber energi alternatif yang berkelanjutan, salah satunya energi angin. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis rata-rata kecepatan angin, menghitung potensi daya listrik yang dapat dihasilkan, serta mengevaluasi kelayakan pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Kabupaten Mandailing Natal. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis data kecepatan angin pada lima kecamatan, yaitu Muara Batang Gadis, Batahan, Batang Natal, Panyabungan, dan Pakantan, serta perhitungan daya angin dan simulasi kinerja turbin angin poros vertikal berkapasitas 1 kW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kecepatan angin di wilayah penelitian berada pada kisaran 3,5 m/s hingga 3,54 m/s dengan nilai rata-rata sebesar 3,508 m/s, yang termasuk dalam kategori kecepatan angin rendah. Daya spesifik angin yang dihasilkan berkisar antara 25,725 W/m² hingga 26,61712 W/m² dengan rata-rata sebesar 25,9 W/m². Simulasi turbin menunjukkan daya keluaran berkisar antara 294,12 Watt hingga 304,32 Watt, yang masih berada di bawah kapasitas nominal turbin. Berdasarkan hasil tersebut, potensi energi angin di Kabupaten Mandailing Natal tergolong terbatas dan belum layak untuk pengembangan PLTB skala besar. Namun, energi angin tetap memiliki peluang untuk dikembangkan pada skala kecil hingga menengah dengan penggunaan teknologi turbin kecepatan rendah serta sistem hybrid yang dikombinasikan dengan energi terbarukan lain seperti energi surya. Dengan demikian, energi angin tetap berpotensi mendukung diversifikasi energi dan penyediaan listrik berkelanjutan di daerah terpencil.

Kata kunci: energi angin, PLTB, kecepatan angin, daya angin, energi terbarukan, Mandailing Natal

ABSTRACT

Mandailing Natal Regency, located in North Sumatra Province, still faces limitations in electricity supply, particularly in rural and remote areas. This condition highlights the need for developing reliable and sustainable alternative energy sources, one of which is wind energy. This study aims to analyze the average wind speed, estimate the potential electrical power generated, and evaluate the feasibility of wind power plant (WPP) development in Mandailing Natal Regency. The research method involves the analysis of wind speed data from five districts, namely Muara Batang Gadis, Batahan, Batang Natal, Panyabungan, and Pakantan, followed by wind power calculations and simulation of a 1 kW vertical axis wind turbine performance. The results show that the average wind speed in the study area ranges from 3.5 m/s to 3.54 m/s, with an overall average of 3.508 m/s, which is categorized as low wind speed. The specific wind power ranges between 25.725 W/m² and 26.61712 W/m², with an average value of 25.9 W/m². The turbine simulation indicates an output power ranging from 294.12 Watts to 304.32 Watts, which is still below the nominal capacity of the turbine. Based on these findings, the wind energy potential in Mandailing Natal Regency is considered limited and not suitable for large-scale wind power plant development. However, it still has potential for small to medium-scale applications using low wind speed turbines and hybrid systems combined with other renewable energy sources such as solar energy. Therefore, wind energy remains strategically important in supporting energy diversification and sustainable electricity supply in remote areas.

Keywords: *wind energy, wind power plant, wind speed, wind power, renewable energy, Mandailing Natal*

KATA PENGANTAR



Dengan nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, Puji syukur kita ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya kepada kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “ANALISIS POTENSI ENERGI ANGIN PADA KABUPATEN MANDAILING NATAL UNTUK PEMANFAATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU”. Sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati. Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan motivasi kepada kami didalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu mendo' akan dan memberikan kasih sayangnya yang tidak ternilai kepada kami semua sehingga kami dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Dosen Pembimbing yang senantiasa membimbing saya dalam penulisan laporan Tugas Akhir.
9. Dosen penguji yang juga senantiasa memberikan masukan yang terbaik dalam penulisan ini sehingga menjadikan skripsi ini lebih baik lagi.
10. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Satu Angkatan.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa yang akan datang. Akhirnya kami mengharapkan semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi diri pribadi dan para pembaca terkhusus bagi dunia kontruksi Teknik Elektro serta kepada Allah SWT , kami serahkan segalanya demi tercapainya keberhasilan yang sepenuhnya. Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, April 2026

Syahril Husein Nasution
2107220016

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	2
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Ruang Lingkup	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan	4
2.2. Profil Daerah Penelitian.....	9
2.2.1 Sejarah Kabupaten Mandailing Natal.....	9
2.2.2 Letak Geografis Kabupaten Mandailing Natal.....	10
2.3. Pengertian PLTB	10
2.3.1 Mekanisme Turbin.....	13
2.3.2 Diagram Blok Alat	14
2.3.3 Sistem Kerja PLTB.....	15
2.3.4 Generator Arus Searah (DC)	16
2.3.5 Kontrol Charger Baterai	17
2.3.6 Inverter	18
2.3.7 Baterai.....	22
2.4. HOMER.....	52
BAB 3 METODE PENELITIAN	26
3.1 Waktu dan Tempat.....	26
3.2 Diagram Blok PLTB.....	27
3.3 Bagan Alir Peneltian.....	29

3.4 Metode Pengumpulan Data	31
3.5 Metode Pengolahan Data.....	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Potensi Kecepatan Angin.....	33
4.1.1 Kecepatan Angin Pada Kecamatan	34
4.1.2 Potensi Daya Spesifik.....	42
4.2 Pemilihan Teknologi Turbin.....	45
4.3 Pembahasan	49
BAB 5 PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran	52

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kabupaten Mandailing Natal	35
Gambar 2.2. Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	38
Gambar 2.3. Turbin Angin Sumbu Vertikal.....	39
Gambar 2.4. Diagram Blok Alat	40
Gambar 2.5. PLTB secara umum.....	41
Gambar 2.6. Generator Arus Searah (DC).....	42
Gambar 2.7. Kontrol Charger Baterai	43
Gambar 2.8. Inverter	44
Gambar 2.9. Kontruksi Baterai	51
Gambar 2.10. Proses pengosongan dan pengisian baterai	52
Gambar 2.11 Contoh Tampilan Homer.....	53
Gambar 2.12. Contoh Grafik Pada Homer.....	54
Gambar 3.1. Blok Diagram Sistem PLTB	57
Gambar 3.2. Bagan Alir Penelitian	59
Gambar 4.1. Kabupaten Madina	63
Gambar 4.1. Letak Kabupaten Mandailing Natal	64
Gambar 4.1. Grafik Kecepatan Angin Selama 1 Tahun Muara Batang Gadis	66
Gambar 4.1. Grafik Kecepatan Angin Selama 1 Tahun Kecamatan Batahan .	67
Gambar 4.1 Grafik Kecepatan Angin Selama 1 Tahun Desa Leme.....	69
Gambar 4.1. Grafik Kecepatan Angin Selama 1 Tahun Kecamatan Selang....	71
Gambar 4.1. Grafik Kecepatan Angin Selama 1 Tahun Kecamatan Pekantan	72
Gambar 4.1. Grafik Rata – Rata Kecepatan Angin.....	75
Gambar 4.1. Grafik Rata – Rata Daya Spesifik	75
Gambar 4.1. Grafik Rata – Rata Daya Spesifik	76

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Jadwal Penelitian.....	56
Tabel 4.1. Kecepatan Angin Muara Batang Gadis.....	65
Tabel 4.1. Kecepatan Angin Batahan.....	66
Tabel 4.1. Kecepatan Angin Kecamatan Batang Natal.....	68
Tabel 4.1. Kecepatan Angin Kecamatan Penyabungan	70
Tabel 4.1. Kecepatan Angin Pekantan	71
Tabel 4.1. Hasil Pengambilan Data Sampel.....	74
Tabel 4.1. Spesifikasi Turbin Angin	76
Tabel 4.1. Potensi Angin.....	79

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Mandailing Natal merupakan salah satu daerah di Provinsi Sumatera Utara yang sedang berkembang dan masih menghadapi keterbatasan pasokan energi listrik, terutama di wilayah pedesaan dan terpencil. Kondisi ini menuntut upaya pengembangan sumber energi alternatif yang andal dan berkelanjutan untuk mendukung peningkatan kualitas hidup masyarakat dan pertumbuhan ekonomi daerah.

Secara nasional, pemerintah mendorong transisi energi dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil menuju energi baru terbarukan, termasuk energi angin, sebagaimana tertuang dalam berbagai kebijakan energi daerah dan nasional. Di Sumatera Utara sendiri, potensi energi terbarukan cukup besar dan mulai dioptimalkan melalui pengembangan pembangkit listrik tenaga air, panas bumi, dan tenaga bayu pada beberapa lokasi yang dinilai prospektif.

Kajian potensi energi baru terbarukan di Sumatera Utara menunjukkan bahwa beberapa wilayah, termasuk Kabupaten Mandailing Natal, memiliki potensi energi angin yang cukup besar untuk dikembangkan menjadi sumber energi listrik. Energi angin dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan, terutama pembangkitan listrik skala kecil maupun menengah yang dapat menyuplai daerah yang belum terlayani secara optimal oleh jaringan listrik utama.

Kabupaten Mandailing Natal juga dikenal memiliki karakteristik cuaca dengan periode angin yang cukup signifikan di beberapa kecamatan pesisir dan perbukitan, yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi bayu jika ditinjau lebih lanjut dari segi kecepatan angin dan kontinuitasnya. Namun, hingga saat ini pemanfaatan energi angin di kabupaten tersebut belum berkembang secara optimal, sehingga diperlukan analisis potensi yang lebih terukur sebagai dasar perencanaan teknis dan investasi PLTB di masa depan.

Berkaitan dengan itu, analisis potensi energi angin di Kabupaten Mandailing Natal menjadi penting untuk: (1) mengidentifikasi lokasi-lokasi dengan kecepatan angin

yang memadai bagi pembangkit listrik tenaga bayu, (2) mengestimasi potensi daya listrik yang dapat dihasilkan, dan (3) memberikan rekomendasi pemanfaatan PLTB sebagai salah satu solusi penyediaan energi listrik yang bersih dan berkelanjutan di tingkat daerah. Hasil analisis ini diharapkan menjadi bahan pertimbangan bagi pemerintah daerah, penyedia energi, dan pemangku kepentingan lain dalam merencanakan pengembangan infrastruktur energi terbarukan di Mandailing Natal.

Kabupaten Mandailing Natal, sebagai wilayah dengan topografi beragam mulai dari pesisir hingga perbukitan, menunjukkan variasi kecepatan angin rata-rata 4-24 km/jam berdasarkan data prakiraan BMKG di berbagai titik seperti Pasar I Natal, Pasar II Natal, dan Sasaran. Meskipun kecepatan ini masih perlu diverifikasi secara tahunan untuk memastikan kontinuitas di atas ambang batas minimum PLTB (sekitar 4-5 m/s atau 14-18 km/jam), potensi ini menjanjikan di kecamatan pesisir seperti Natal dan Batang Natal yang sering mengalami angin barat daya.

Pengembangan energi angin di Sumatera Utara telah terbukti feasible melalui proyek PLTB Sidikalang (60 MW) dan Simargala (138 MW), yang menunjukkan kesiapan infrastruktur regional untuk ekspansi serupa di Mandailing Natal. Selain itu, komitmen Pemkab Mandailing Natal dalam mendukung percepatan energi terbarukan selaras dengan target nasional bauran energi 23% EBT pada 2025, di mana PLTB dapat berkontribusi mengurangi ketergantungan pada diesel genset di pedesaan.

Analisis potensi energi angin di kabupaten ini krusial mengingat kekurangan listrik akibat pertumbuhan penduduk 1,42% per tahun dan luas wilayah 6.600 km² yang sulit dijangkau jaringan utama. Penelitian pemetaan energi angin Sumatera Utara menyoroti Mandailing Natal sebagai salah satu area prospektif, terutama jika dikombinasikan dengan data iklim BMKG untuk estimasi kapasitas PLTB skala mikro hingga menengah. Pendekatan ini tidak hanya mendukung kemandirian energi daerah, tetapi juga mitigasi emisi karbon sejalan dengan PLTP Sorik Marapi yang telah beroperasi di wilayah yang sama.

1.2.Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas maka permasalahan yang akan dibahas adalah:

1. Berapa rata – rata kecepatan angin pada lokasi penelitian setiap harinya?
2. Berapa daya yang dapat dihasilkan PLTB pada kecepatan angin yang dihasilkan?
3. Bagaimana Potensi Lokasi Penelitian apabila dipasang pembangkit listrik tenaga angin?

1.3.Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang dilakukan pada penelitian ini ialah:

1. Untuk menganalisis rata – rata kecepatan angin yang dihasilkan pada Lokasi penelitian.
2. Untuk menganalisis daya yang dapat dihasilkan dari energi angin pada Lokasi penelitian.
3. Untuk menganalisis potensi energi angin sebagai energi alternatif pembangkit listrik tenaga angin pada Lokasi penelitian.

1.4.Ruang Lingkup

Untuk memperjelas masalah yang akan di bahas dan agar tidak menjadi pembahasan yang meluas dan menyimpang, maka perlu kiranya ruang lingkup masalah yaitu sebagai berikut :

1. Membahas Potensi Energi Angin pada lokasi penelitian
2. Membahas potensi pemanfaatan PLTB dengan angin yang ada pada lokasi penelitian

1.5.Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian skripsi ini dapat memberikan suatu penyelesaian yaitu sebagai berikut:

1. Memahami dan melakukan analisis potensi PLTB pada lokasi penelitian
2. Memanfaatkan energi baru terbarukan pada lokasi penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

Menurut (Rimbawati, 2019) Turbin angin atau dalam bahasa sederhana kincir angin merupakan turbin yang digerakkan oleh angin, yaitu udara yang bergerak di atas 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).

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 desain batangkincir. 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 turbinyang 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). (Rimbawati, 2019)

Dalam penelitian (Ibrahim Nawawi,2016) 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. (Bertingkat, 1990)

Kemudian (Sarjono, 2020) meneliti 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.(Lestari & Mesin, 2020)

Adapun penelitian oleh (Antonov Bachtiar,2018) tentang 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.(Bachtiar & Hayyatul, 2018)

Berikut juga penelitian yang dilakukan oleh (Firman Aryanto,2013) 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 3 m/s dihasilkan pada jumlah *blade* 3 sebesar $\lambda = 1.49$. (Nuarsa et al., 2013)

(Bono, 2018) meneliti 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. (Sudu & Sistem, 2018)

Kemudian (S.W. Widyanto, 2018) meneliti pemanfaatan tenaga angin sebagai pelapis energi surya pada pembangkit listrik tenaga hibrid di Pulau 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. (Wangi-wangi et al., 2018)

(Adityo Barik A Dkk, 2019) meneliti pula 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 multifold 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%. (Ksergi, 2019)

2.2. Profil Daerah Penelitian

2.2.1. Sejarah Kabupaten Mandailing Natal

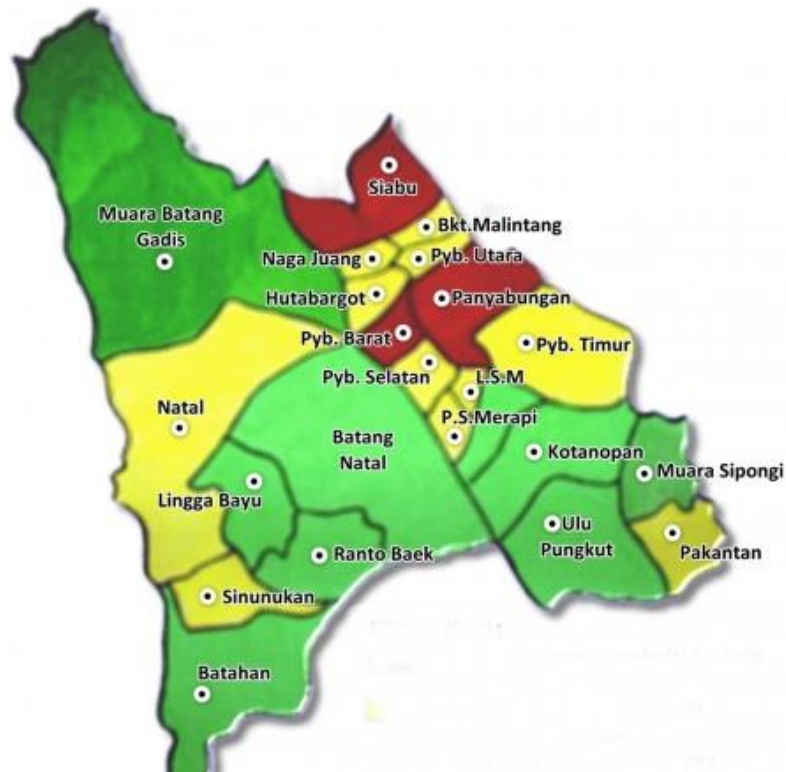
Kabupaten Mandailing Natal resmi terbentuk pada tanggal 23 Nopember 1998 berdasarkan Undang-undang Nomor 12 tahun 1998 tanggal 23 Nopember 1998 Tentang Pembentukan Kabupaten Toba Samosir dan Kabupaten Mandailing Natal. Selanjutnya Kabupaten Mandailing Natal diresmikan oleh Menteri Dalam Negeri Syarwan Hamid pada tanggal 9 Maret 1999 di Kantor Gubernur Sumatera Utara Medan dan pejabat Bupati Mandailing Natal pada masa itu adalah H. Amru Daulay, SH. Sedangkan peresmian gedung sementara kantor pemerintahan Mandailing Natal di Panyabungan dilakukan oleh Gubernur Sumatera Utara, Alm. Tengku Rizal Nurdin pada tanggal 11 Maret 1999 di kompleks bekas perkantoran Proyek Pembangunan Irigasi Batang Gadis di daerah Dalam Lidang Kecamatan Panyabungan yang kemudian dioperasikan sebagai kompleks perkantoran pemerintahan Kabupaten Mandailing Natal dan sekarang lebih dikenal dengan kompleks perkantoran Bupati lama. Istilah Mandailing Natal sendiri pada mulanya sudah dikenal sejak tahun 1365 berdasarkan karya sejarah Negarakertagama yang ditulis oleh Mpu Prapanca.

Kemudian setelah Kabupaten Mandailing Natal resmi terbentuk, istilah tersebut disosialisasikan oleh H. Amru Daulay, SH., selaku Pejabat Bupati Mandailing Natal berdasarkan Surat Keputusan Nomor 100/253.TU/1999 yang menyebutkan bahwa akronim nama Kabupaten Mandailing Natal adalah Kabupaten Madina yang Madani. Selanjutnya pada tahun 2000 Pejabat Bupati Mandailing Natal H. Amru Daulay, SH, diangkat menjadi Bupati Mandailing Natal definitif untuk periode tahun 2000 sampai dengan tahun 2005. Melalui pemilihan Kepala Daerah (PILKADA) secara langsung pada tahun 2005, bapak H. Amru Daulay, SH kembali terpilih untuk memimpin Pemerintahan Kabupaten Mandailing Natal untuk periode yang kedua sampai dengan tahun 2010, Pada Tahun 2011 sampai dengan 2014 dipimpin oleh Bupati Hidayat

Batubara, Pada Tahun 2014 sampai sekarang dipimpin oleh Bupati Dahlan Hasan Nasution.

2.2.2. Letak Geografis Kabupaten Mandailing Natal

Kabupaten Mandailing Natal terletak pada 00 10''-10 50'' Lintang Utara dan 98 0 50'' sampai 1000 10'' Bujur Timur dengan ketinggian 0 sampai 2,145 diatas permukaan laut. Luas wilayah Kabupaten Mandailing Utara dengan Kabupaten Tapanuli Selatan; Sebelah Timur dengan Propinsi Sumatera Barat; Sebelah Selatan dengan Propinsi Sumatera Barat; Sebelah barat dengan Samudera Indonesia.



Gambar 2.1 Kabupaten Mandailing Natal

2.3. Pengertian PLTB

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu atau biasa disebut PLTB merupakan salah satu energi listrik terbarukan yang ramah lingkungan. PLTB memiliki efisiensi kerja yang baik jika dibanding dengan energi listrik terbarukan lainnya. Mengingat Indonesia

merupakan negara yang sangat besar memiliki potensi tenaga angin menjadikan pembangkit listrik tenaga angin salah satu solusi yang tepat dalam mengatasi masalah keterbatasan energi. Angin dimanfaatkan untuk memutar bagian yang bergerak. Dimana energi angin dikonversikan menjadi mekanik dan diubah kembali menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan maka dapat ditransmisikan dan didistribusikan untuk kebutuhan pelanggan-pelanggan listrik.(Fachri, 2017)

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

$$P = k.F.A.E. v^3 \dots \dots \dots (1)$$

Dengan p = daya (kw)

$$K = \text{Konstanta} = 1,37.10^{-5}$$

$$F = \text{faktor} = 0,5926$$

$$E = \text{efisiensi rotor dan peralatan lain}$$

$$v = \text{kecepatan angina (m/det)} \text{ (Desrizal \& Rosma, 2014)}$$

Salah satu isu terpenting dalam pengembangan energi angin adalah pengukurannya. Metode pengukuran yang tepat harus dilakukan agar data energi angin dapat diperoleh secara valid, khususnya kecepatan angin. Ini sangat penting untuk pemilihan teknologi yang akan digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Kondisi cuaca yang selalu berubah sehingga kecepatan angin yang diperoleh tidak konstan dan cenderung rendah mengakibatkan energi listrik yang dihasilkan kurang optimal.

Energi angin merupakan energi alternatif yang mempunyai prospek baik karena selalu tersedia di alam, dan merupakan sumber energi yang bersih dan terbarukan kembali. Proses pemanfaatan energi melalui dua tahapan konversi yaitu :

1. Aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin bertiup.
2. Putaran rotor dihubungkan dengan generator sehingga dapat dihasilkan

listrik.

Dengan demikian energi angin merupakan energi kinetik atau energi yang disebabkan oleh kecepatan angin untuk dimanfaatkan memutar sudu - sudu kincir angin. Untuk memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik maka langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung energi angin dengan rumus :

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

Dimana :

- E_k : energi kinetik (joule)
 M : Masa udara (Kg)
 V : Kecepatan Angin (m/det)

Untuk mendapatkan massa udara dimisalkan satu blok udara mempunyai penampang dengan luas A (m^2), dan bergerak dengan kecepatan v (m/det), maka massa udara adalah yang melewati suatu tempat adalah :

$$m = A.v.\rho \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

- m : massa udara (kg/det)
 A : luas penampang (m^2)
 V : kecepatan angin (m/det)
 ρ : kerapatan udara (kg/m^3)

dengan persamaan (2.1) dan (2.2) dapat dihitung besar daya yang dihasilkan energi angin yaitu :

Mencari Daya Spesifik :

$$P_s = \frac{1}{2}.v^3.\rho \dots\dots\dots(4)$$

Daya yang dihasilkan Turbin :

$$P = \frac{1}{2}A.v^3.\rho \dots\dots\dots(5)$$

dimana :

- P_s : daya spesifik (Watt/ m^2)
 P : daya yang dapat dihasilkan turbin (Watt)
 A : luas penampang (m^2)

V : kecepatan angin (m/det)

ρ : kerapatan udara 1,2 (kg/m^3)

2.3.1. Mekanisme Turbin

Mekanisme turbin pembangkit listrik tenaga angina dapat dibuat dengan menggabungkan beberapa turbin angina sehingga menghasilkan listrik keunit penyalur listrik. Listrik dialirkan melalui kabel *transmisi* dan didistribusikan kerumah-rumah, kantor, sekolah, dan sebagainya. Berikut jenis turbin angin :

- a) Turbin Angin Sumbu *Horizontal* (*Horizontal Axis Wind Turbine*)



Gambar 2.2 Turbin Angin Sumbu *Horizontal*

Turbin angin *horizontal* memiliki poros rotor utama dan generator listrik dipuncak menara. Kincir berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angina (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan kincir yang berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan kesebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah *gearbox* yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi dibelakangnya, kincir biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah kincir dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angina berkecepatan tinggi.

Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan didepan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan.

b) Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*)

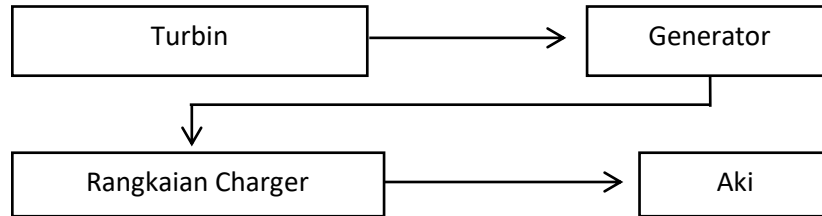


Gambar 2.3 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah kincir tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna ditempat tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. VAWT mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Dengan sumbu yang vertikal, generator serta *gearbox* bisa ditempatkan didekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah *desain* menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. *Drag* (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar. (Lubis, 2018)

2.3.2. Diagram Blok Alat

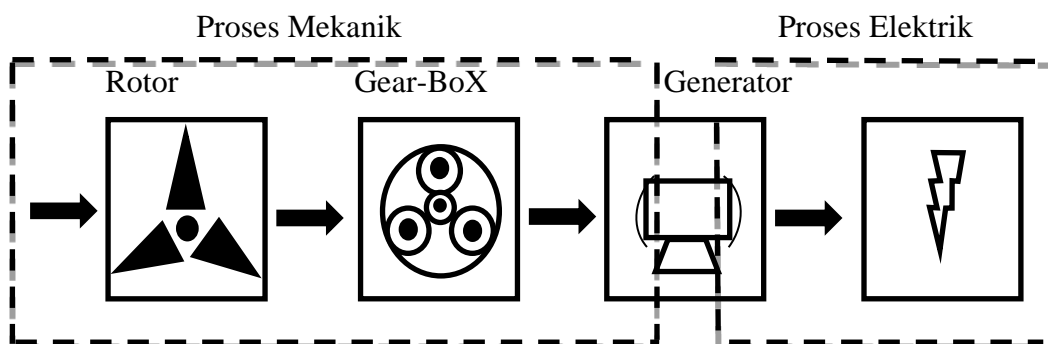
Berikut ini diagram blok dari pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin ventilator.



Gambar 2.4 Diagram Blok Alat

2.3.3. Sistem Kerja PLTB

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 mejadi energi listrik



Gambar 2.5 PLTB secara umum

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

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \dots\dots\dots(6)$$

E_k = Energi kinetik (*joule*),

m = massa udara (kg),

v = kecepatan angin (m/s).

Laju aliran massa dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$m = \rho A v, \dots\dots\dots(7)$$

dengan nilai: ρ = massa jenis angin (kg/m³) (ketetapan $\rho = 1,225$ kg/m³)

A = luas penampang turbin (m²) bisa ditulis ($A = \pi r^2$).

Dari persamaan (2) dan (3) dapat diperoleh daya angin seperti persamaan berikut :

$$P_a = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots(8)$$

dengan nilai:

P_a = daya angin (watt).

Persamaan (4) 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:

$$C_p = P_m / P_a$$

dengan nilai: P_m = daya mekanik (watt)

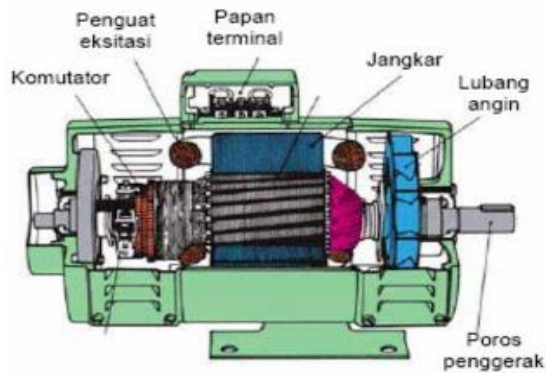
C_p = koefisien daya pada turbin angin,

Efisiensi kerja turbin tidak dapat melebihi 0,593, hal tersebut dikenal sebagai *limit betz*. Dengan menggabungkan persamaan (3), (4) dan efisiensi kerja turbin maksimal, maka dapat dituliskan seperti persamaan berikut :

$$P_{maks} = 0,2965 C P = \rho A v^3, \dots\dots\dots(9)$$

Dengan nilai: P_{maks} = daya maksimum atau daya turbin angin dalam kondisi ideal. (Iqbal et al., n.d.)

2.3.4. Generator Arus Searah (DC)



Gambar 2.6 Generator Arus Searah (DC)

Generator arus searah mempunyai komponen dasar yang umumnya hampir sama dengan komponen mesin-mesin listrik lainnya. Secara garis besar generator arus searah adalah alat konversi energi mekanis berupa putaran menjadi energi listrik arus searah. Energi mekanik digunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar akan timbul ggl induksi yang besarnya sebanding dengan laju perubahan fluksi yang dilengkapi oleh kawat penghantar. Bila kumparan kawat tersebut merupakan rangkaian tertutup, akan timbul arus induksi. Perbedaan setiap generator biasanya terletak pada komponen penyearah yang terdapat didalamnya yang disebut dengan komutator dan sikat. (Saputra et al., n.d.)

2.3.5. Kontrol Charger Baterai



Gambar 2.7 Kontrol Charger Baterai

Sebagai perangkat yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik ke beban dan akumulator yang dibangkitkan oleh generator. Alat ini juga memilih dan memindahkan secara otomatis, apabila pembangkit 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. Tegangan 12 volt DC / 24 DC
2. Kemampuan dari kontrol. Misalnya Ampere. 10 Ampere dll
3. Baterai penuh dan pemutus tegangan rendah

Pengisian baterai yang baik, biasanya mampu mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh, maka secara otomatis pengisian arus dari PLTB berhenti. Cara mendeteksi melalui monitor level tegangan baterai. *Battery charge controller* akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, apabila level tegangan jatuh/*drop*, maka baterai akan diisi kembali. *Battery charge controller* pada umumnya terdiri dari:

- a) 1 input (2 terminal) yang terhubung dengan output PLTB
- b) 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan baterai/aki.
- c) 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan beban (load).

Arus listrik Dc yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk PLTB karena terdapat "*diode protection*" yang hanya melewatkan arus listrik DC dari PLTB ke baterai, bukan sebaliknya.(Alifyanti, n.d.)

2.3.6. 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 rangkain yang digunakan untuk mengubah sumber tegangan DC tetap menjadi sumber tegangan AC dan *frekuensi* tertentu. Komponen semikonduktor daya yang digunakan

dapat berupa SCR, transistor dan MOSFET yang beroperasi sebagai saklar dan pengubah. *Inverter* dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu: *inverter* satu fasa dan *inverter* tiga fasa. Setiap jenis *inverter* tersebut dapat dikelompokkan menjadi empat kategori ditinjau dari jenis rangkaian komutasi pada SCR, yaitu: (1) modulasi lebar pulsa, (2) *inverter* resonansi, (3) *inverter* komutasi bantu, (4) *inverter* komutasi komplemen. (Hutagalung et al., 2017) Beban



Gambar 2.8 Inverter

Dalam system arus bolak-balik (arus AC), karakteristik beban listrik dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu: beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Dari ketiga sifat beban listrik diatas yang paling berdampak pada sistem distribusi tenaga listrik adalah sifat dari beban induktif, karena sifat dari beban ini dapat menimbulkan gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik. Gangguan yang timbul akibat dari beban ini antara lain adalah timbulnya gelombang harmonik pada sistem distribusi tenaga listrik. Secara umum beban yang dilayani oleh system distribusi tenaga listrik dibagi menjadi beberapa sektor, yaitu: sektor perumahan, sektor industri, sektor komersial, dan sektor usaha. Masing-masing sektor beban tersebut mempunyai karakteristik-karakteristik beban yang berbeda, sebab hal ini berkaitan dengan pola konsumsi energi pada masing-masing konsumen disektor tersebut. Karakteristik beban yang banyak disebut dengan pola pembebanan pada sektor perumahan, ditunjukkan oleh adanya fluktuasi konsumsi energi elektrik yang sangat

besar. Hal ini disebabkan konsumsi energi elektrik tersebut lebih dominan daimalam hari. Sedangkan pada sektor industri, fluktuasi konsumsi energi sepanjang hari akan hampir sama, sehingga perbandingan beban puncak dengan beban rata-rata hampir mendekati satu. Beban pada sektor komersial dan usaha mempunyai karakteristik yang hampir sama, hanya pada sektor komersial akan mempunyai beban puncak yang lebih tinggi pada waktu malam hari.

Berdasarkan jenis konsumsi energi listrik, secara garis besar, beban listrik dapat diklasifikasikan kedalam:

a) Beban Rumah Tangga

Beban listrik rumah tangga pada umumnya berupa lampu untuk penerangan, alat-alat rumah tangga, seperti: kipas angin, pemanas air, lemari es, dan lain-lain.

b) Beban Komersial

Beban komersial (bisnis) pada umumnya terdiri atas penerangan untuk *reklame*, kipas angin, penyejuk udara, dan alat-alat listrik lainnya yang diperlukan untuk restoran, hotel dan juga perkantoran. Beban ini secara drastis naik disiang hari untuk beban perkantoran dan pertokoan, dan akan menurun disore hari.

c) Beban Industri

Beban industri dibedakan dalam skala kecil dan skala besar, untuk skala kecil banyak beroperasi pada siang hari sedangkan industri skala besar sekarang ini banyak yang beroperasi sampai dengan 24 jam.

d) Beban Fasilitas Umum

Pengklasifikasian beban ini sangat penting, artinya bila kita akan melakukan analisa karakteristik beban untuk suatu system yang sangat besar. Perbedaan yang paling prinsip dari empat jenis beban diatas, selain dari daya yang digunakan dan juga waktu pembebanannya. Pemakaian daya pada beban rumah tangga akan lebih dominan pada pagi dan malam hari, sedangkan pada beban komersial lebih dominan pada siang dan sore hari.

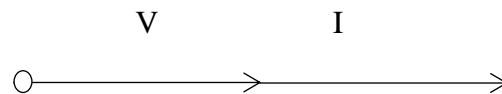
1. Karakteristik Beban Listrik

Dalam sistem listrik arus bolak-balik (AC) karakteristik beban listrik dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu:

a) Beban Resistif (R)

Beban resistif, yaitu beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm saja (*resistance*), seperti elemen pemanas (*heating element*) dan lampu pijar. Beban jenis ini hanya mengkonsumsi beban aktif saja dan mempunyai faktor daya sama dengan satu. Tegangan dan arus sefasa. Persamaan daya sebagai berikut:

$$P = V.I \dots\dots\dots(10)$$

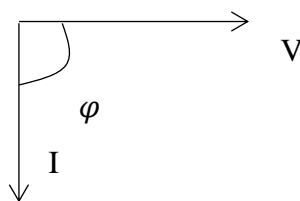


b) Beban Induktif (L)

Beban induktif, yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti: (*coil*), transformator, dan solenoid. Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (*phase shift*) pada arus sehingga bersifat tertinggal sebesar 90° terhadap tegangan (*lagging*). Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis yang akan mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut:

$$P = V.I \cos \varphi \dots\dots\dots (11)$$

φ = Sudut antara arus dan tegangan

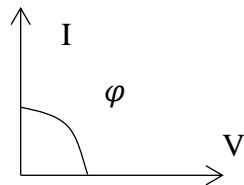


c) Beban kapasitif (C)

Beban kapasitif, yaitu beban yang memiliki kemampuan untuk menyimpan energy yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat menyebabkan arus terdahulu terhadap tegangan (*leading*). Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut:

$$P = V.I.\cos \varphi \dots\dots\dots (12)$$

φ = Sudut antara arus dan tegangan



2. Jenis Beban Listrik

Tujuan utama dari system distribusi tenaga listrik adalah mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk sampai ke pelanggan atau beban. Salah satu faktor utama yang paling penting dalam perancangan sistem distribusi tenaga listrik adalah karakteristik dari berbagai jenis beban listrik tersebut. Karakteristik jenis beban listrik sangat diperlukan agar sistem distribusi tegangan dan pengaruh thermis dari pembebanan dapat dianalisis dengan baik. Dalam sistem distribusi tenaga listrik jenis beban listrik dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu beban *linear* dan beban *non linear*. Yang dimaksud dari beban *linear* adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang *linear*, artinya arus mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Sedangkan beban *non linear* adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus, sehingga bentuk gelombang maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya atau dengan kata lain disebut distorsi tegangan dan arus listrik. Gangguan yang terjadi akibat distorsi dan

tegangan disebut dengan harmonik. Disini penulis akan mencoba menjelaskan sedikit tentang harmonik.

a) Harmonik

Harmonik adalah distorsi periodik dari gelombang sinus tegangan, arus atau daya dengan bentuk gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekuensi fundamental pada sistem distribusi tenaga listrik normal (frekuensi 50 Hz). Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonik.

b) Distorsi Harmonik

Distorsi harmonik disebabkan peralatan yang memiliki beban *non linear* pada sistem distribusi tenaga listrik. Peralatan yang memiliki beban *non linear* merupakan kondisi dimana arus tidak proporsional dengan gelombang tegangannya. Apabila suatu gelombang yang identik dari suatu siklus kesiklus lain, maka bila direpresentasikan sebagai penjumlahan gelombang sinusoidal murni dimana frekuensi dari setiap sinusoidal merupakan kelipatan atau hasil perkalian bilangan bulat dari frekuensi gelombang dasar yang terdistorsi. Gelombang dengan frekuensi kelipatan ini disebut harmonik. (Tambunan et al., 1945)

2.2.8. 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. 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. (Hamid,Rizky,Amin dan Bagus, 2016)

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, drine, remote dan lain sebagainya. Semua alat – alat tersebut membutuhkan baterai agar bias bekerja (Ibeng, 2020)

Adapun Jenis – jenis baterai menurut (Hamid,Rizky,Amin dan Bagus, 2016) 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 PbO_2 sebagai anoda (kutub positive) dan timah murni Pb sebagai katoda (kutub negatif).

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) (Hamid,2016). Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

$$N \text{ (Ah)} = I \text{ (ampere)} \times t \text{ (hours)} \quad (2.1)$$

Dimana :

N = kapasitas baterai aki

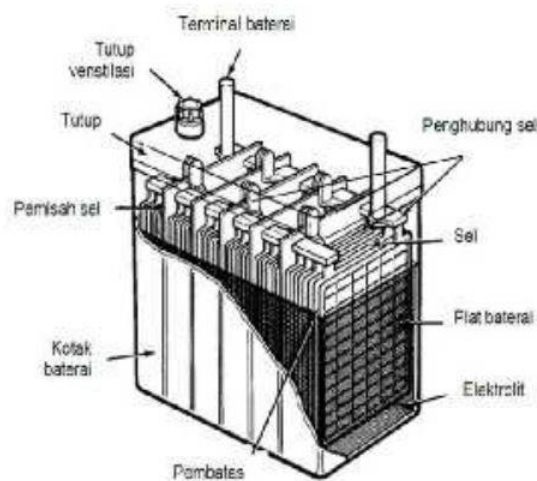
I = kuat arus (*ampere*)

t = waktu (*jam/sekon*)

Kemudian adapun kontruksi baterai menurut (Hamid,Rizky,Amin dan Bagus, 2016)

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



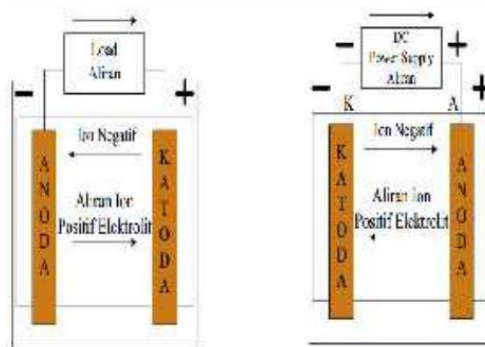
Gambar 2.9. Kontruksi Baterai

(Hamid,Rizky,Amin dan Bagus, 2016)

Prinsip Kerja Baterai (Hamid,Rizky,Amin dan Bagus, 2016). 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.

1. Proses pengosongan pada sel berlangsung menurut gambar 2.12. Jika sel dihubungkan dengan beban maka, elektron mengalir dari anoda melalui beban katoda, kemudia ion – ion negatif mengalir ke anoda dan ion – ion positif akan mengalir ke katoda.
2. Pada proses pengisian menurut gambar 2.12. dibawah ini adalah bila sel dihubungkan dengan *power supply* maka elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi adalah sebagai berikut :



Gambar 2.10. Proses pengosongan dan pengisian baterai
(Hamid,Rizky,Amin dan Bagus, 2016)

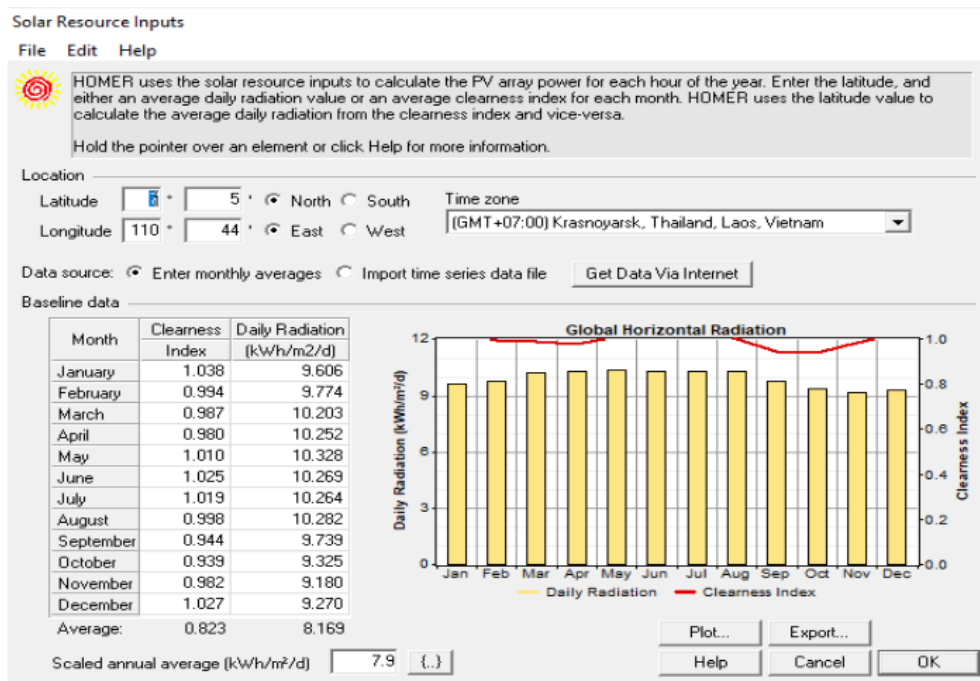
- a. Aliran elektron menjadi terbalik, mengalir dari anoda melalui *power supply* ke katoda
- b. Ion – ion negatif mengalir dari katoda ke anoda

- c. Ion – ion positif mengalir dari anoda ke katoda jadi, reaksi kimia pada saat pengisian adalah kebalikan dari saat pengosongan.

2.4. HOMER

Energi listrik sudah menjadi kebutuhan sehari-hari bagi rakyat dunia. Perkembangan budaya global juga sangat memicu berkembangnya kebutuhan listrik. Begitu juga Indonesia yang merupakan salah satu negara berkembang, melakukan banyak pembangunan dalam lingkup pemukiman, lahan kerja dan sebagainya sehingga kebutuhan energi listrik meningkat tajam. Perkembangan fasilitas pembangkitan listrik di Indonesia sudah marak seiring dengan adanya rencana daya listrik 35.000 MW pada era kepemimpinan presiden Joko Widodo. Pembangkit listrik tenaga bersih dan terbarukan menjadi hal yang sangat menarik untuk dikembangkan karena tidak merusak lingkungan dan memiliki sumber tak terbatas. PLTS memiliki kemampuan untuk mengkonversi energi yang dihasilkan oleh radiasi matahari namun memiliki beberapa kekurangan. Pengoperasian PLTS hanya dapat dilakukan beberapa jam saja yaitu ketika adanya sinar matahari (pagi hari sampai sore hari). Sudah banyak pula pengembangan PLTS dengan menggunakan metode energystorage yang berupa baterai untuk menyimpan kelebihan energi yang dibangkitkan agar dapat digunakan pada malam hari (Purwoto, 2018).

Untuk mempermudah dalam proses analisis dapat digunakan beberapa software salah satunya adalah HOMER. HOMER adalah software model simulasi yang mensimulasikan sistem yang layak untuk semua kemungkinan kombinasi peralatan yang dipertimbangkan. Homer bekerja berdasarkan 3 hal, yaitu simulasi, optimasi, dan analisa sensitifitas. Ketiga hal tersebut bekerja secara beruntun dan memiliki fungsi masing- masing, sehingga didapat hasil yang optimal (Purwoto, 2018).



Gambar 2.11. Contoh Tampilan Homer (Purwoto, 2018)



Gambar 2.12 Contoh Grafik Pada Homer (Purwoto, 2018)

1 Optimasi Software HOMER untuk Perencanaan PLTS

Untuk dapat memprediksi dan menganalisa distribusi energi listrik dan spesifikasi komponen perancangan digunakan fitur desain proyek (project design) pada HOMER. Pada fitur ini simulasi akan dijalankan dengan cara membuat terlebih dahulu desain dari sistem perencanaan rancangan PLTS. Berikut langkah pembuatan desain proyek menggunakan software HOMER :

a) Menetapkan Proyek

Dengan cara menentukan jenis proyek atau jenis PLTS. Dilanjutkan dengan membuat proyek baru dan mendefinisikan proyek seperti nama proyek, lokasi dan data meteorologi.

b) Menetapkan Perbedaan Sistem

Dengan cara menentukan orientasi terlebih dahulu seperti jenis penyangga panel surya, kemiringan panel, dan azimuth, lalu menentukan sistem PLTS, dengan memilih jenis dan jumlah inverter dan modul surya. Selain itu terdapat parameter opsional, seperti pemilihan profil horizon sesuai lokasi, yang dapat ditambahkan dengan impor data dari software lain.

c) Menjalankan Simulasi

Setelah memilih *Grid-Connected*, maka keluarlah tampilan pada gambar 2.14 sebagai tampilan membuat proyek baru dan menuliskan nama proyek yang akan dirancang.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam waktu selama 6 bulan terhitung dari tanggal 2 September 2025 sampai 6 Februari 2026. Dimulai dengan persetujuan proposal ini sampai selesai penelitian. Penelitian diawali dengan kajian awal (tinjauan pustaka), kecepatan angin, lalu analisa data, terakhir kesimpulan dan saran. Rincian dari penelitian ini seperti pada tabel 3.1 :

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

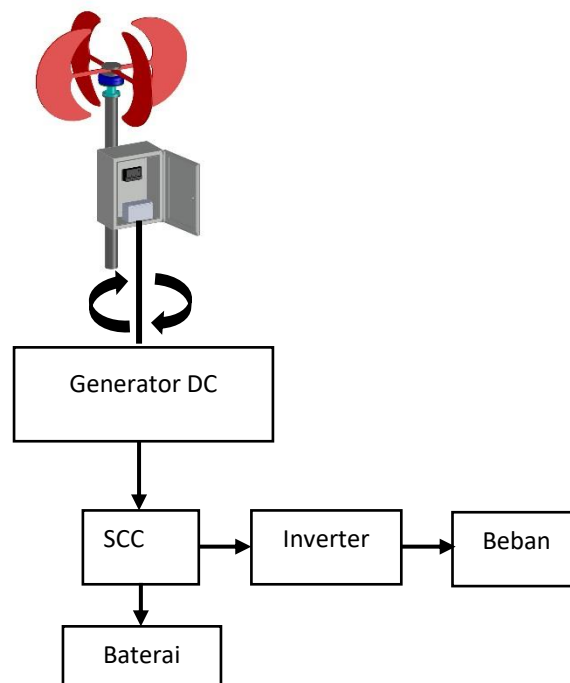
No.	Uraian	Bulan Ke-							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Kajian literatur								
2.	Penyusunan proposal penelitian								
3.	Penulisan Bab 1 s/d Bab 3								
4.	Seminar proposal penelitian								
4.	Pengambilan Data								
5	Konfigurasi pada Software HOMER								
6.	Seminar hasil penelitian								
7.	Sidang akhir								

3.1.3. Tempat

Penelitian dilaksanakan pada **KABUPATEN MANDAILING NATAL SUMATERA UTARA**

3.2. Diagram Blok PLTB

Adapun diagram blok pada alat untuk mempermudah penulis dalam mengambil data penelitian adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem PLTB

Gambar di atas menunjukkan diagram blok sistem kerja pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) yang memanfaatkan energi angin untuk menghasilkan energi listrik. Sistem ini secara umum terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu turbin angin, generator DC, solar charge controller (SCC), baterai, inverter, dan beban. Setiap komponen memiliki fungsi tersendiri yang saling terhubung sehingga sistem dapat bekerja secara efisien dalam menghasilkan dan menyalurkan energi listrik ke beban.

Tahapan pertama dimulai dari turbin angin, yang berfungsi untuk menangkap energi kinetik dari hembusan angin. Energi gerak dari putaran bilah turbin tersebut kemudian dikonversi menjadi energi mekanik yang memutar poros generator.

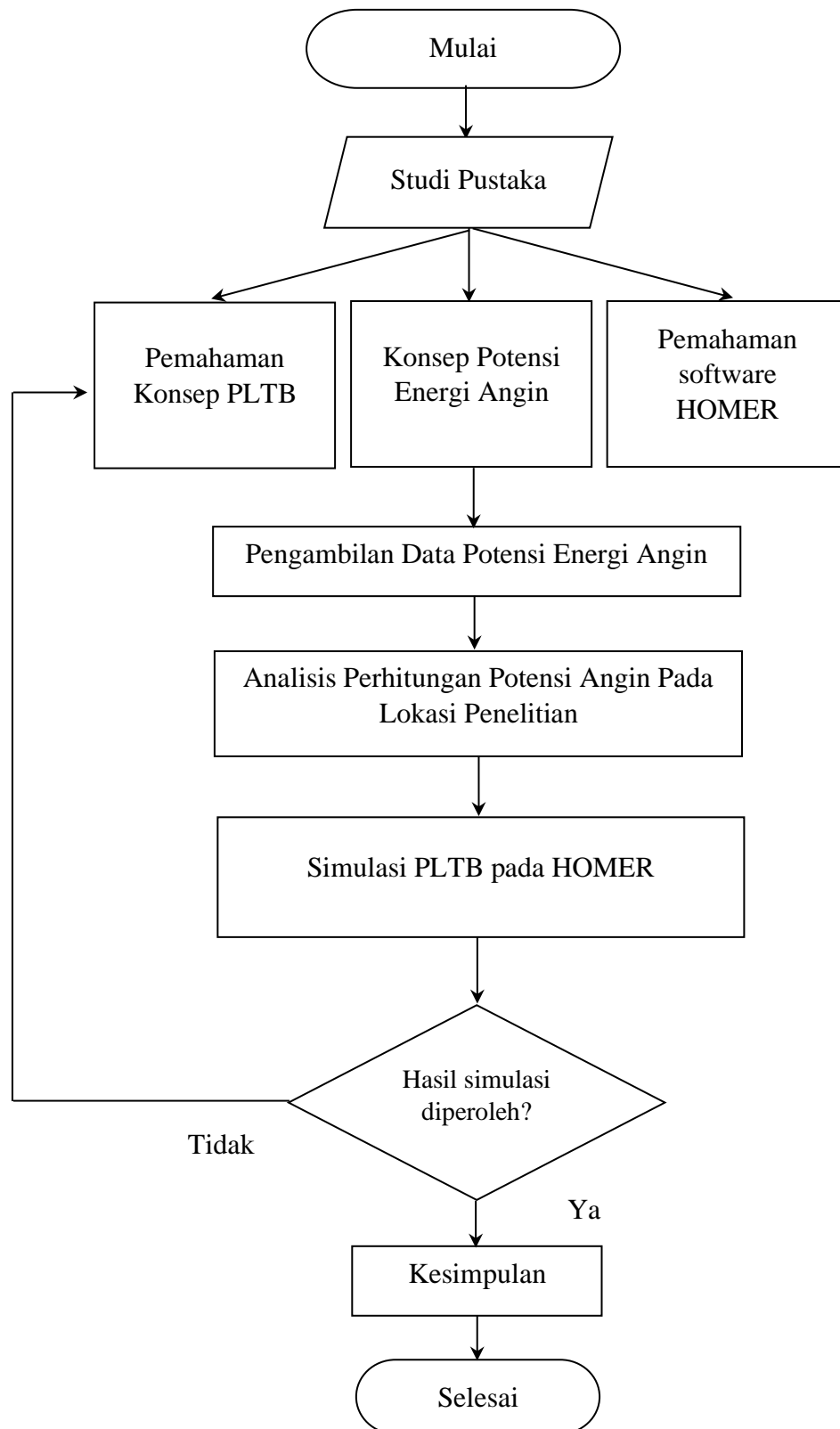
Turbin angin ini merupakan sumber energi utama dalam sistem PLTB, dan kecepatan putaran bilah sangat dipengaruhi oleh intensitas serta kestabilan angin di lokasi instalasi.

Energi mekanik dari turbin selanjutnya diubah menjadi energi listrik oleh generator DC. Generator ini menghasilkan arus searah (DC) yang kemudian disalurkan menuju solar charge controller (SCC). Meskipun umumnya digunakan pada sistem tenaga surya, SCC juga dapat berfungsi pada sistem tenaga bayu untuk mengatur tegangan dan arus keluaran dari generator agar tetap stabil dan sesuai dengan kebutuhan pengisian baterai. Dengan adanya SCC, tegangan yang masuk ke baterai dapat dijaga agar tidak berlebih (*overcharging*) maupun terlalu rendah (*undervoltage*), sehingga umur baterai menjadi lebih panjang.

Selanjutnya, energi listrik yang telah diatur oleh SCC disimpan ke dalam baterai sebagai sumber cadangan energi. Baterai ini berperan penting untuk menjaga kontinuitas pasokan listrik terutama ketika kecepatan angin berkurang atau tidak ada angin sama sekali. Saat energi listrik dari baterai ingin digunakan, arus DC dari baterai dialirkan ke inverter untuk diubah menjadi arus bolak-balik (AC), karena sebagian besar peralatan listrik rumah tangga dan industri menggunakan sistem AC.

Tahap terakhir adalah penyaluran energi listrik dari inverter menuju beban. Beban ini dapat berupa lampu, alat elektronik, maupun peralatan rumah tangga lainnya. Dengan demikian, sistem PLTB ini mampu menghasilkan energi listrik yang bersih dan terbarukan dengan memanfaatkan potensi angin sebagai sumber daya utama. Selain itu, kombinasi antara generator, SCC, baterai, dan inverter menjadikan sistem ini lebih andal, karena tetap dapat menyediakan energi meskipun kondisi angin tidak selalu stabil sepanjang waktu.

3.3. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.2. Bagan Alir Penelitian

Gambar di atas menunjukkan diagram alir (flowchart) dari penelitian berjudul “Analisis Potensi Energi Angin pada Kabupaten Mandailing Natal untuk Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)”. Diagram ini menggambarkan langkah-langkah sistematis yang dilakukan dalam penelitian, mulai dari tahap awal pengumpulan informasi hingga tahap akhir penarikan kesimpulan.

Tahapan penelitian dimulai dengan studi pustaka, yaitu kegiatan mencari dan mempelajari berbagai sumber referensi yang berkaitan dengan energi angin, prinsip kerja pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB), serta pemanfaatan perangkat lunak HOMER sebagai alat bantu analisis dan simulasi sistem pembangkit. Studi pustaka ini menjadi dasar bagi peneliti dalam memahami konsep teoretis dan menentukan metode yang tepat untuk menganalisis potensi energi angin di lokasi penelitian.

Setelah studi pustaka dilakukan, tahap selanjutnya adalah pemahaman terhadap tiga komponen utama, yaitu konsep PLTB, konsep potensi energi angin, dan pemahaman software HOMER. Pemahaman konsep PLTB bertujuan agar peneliti mengetahui cara kerja sistem konversi energi angin menjadi energi listrik. Sementara itu, pemahaman terhadap konsep potensi energi angin diperlukan untuk mengetahui parameter-parameter penting seperti kecepatan angin, densitas udara, serta hubungan antara energi kinetik angin dengan daya listrik yang dapat dihasilkan. Pemahaman terhadap HOMER penting karena perangkat lunak ini digunakan sebagai alat bantu dalam melakukan simulasi potensi energi angin dan merancang sistem pembangkit yang optimal.

Tahapan berikutnya adalah pengambilan data potensi energi angin, yang dilakukan dengan mengumpulkan data kecepatan dan arah angin pada lokasi penelitian, yaitu di Kabupaten Mandailing Natal. Data tersebut dapat diperoleh melalui pengukuran langsung menggunakan anemometer atau dengan mengunduh data dari sumber meteorologi seperti BMKG. Data yang terkumpul kemudian dianalisis dalam tahap analisis perhitungan potensi energi angin, di mana dilakukan perhitungan energi yang dapat dihasilkan berdasarkan rata-rata kecepatan angin dan parameter lokasi seperti ketinggian dan densitas udara. Pembangkit yang optimal.

Selanjutnya dilakukan simulasi PLTB menggunakan software HOMER. Dalam tahap ini, data potensi energi angin yang telah dianalisis dimasukkan ke dalam HOMER untuk mensimulasikan performa sistem PLTB yang sesuai dengan kondisi daerah penelitian. Hasil simulasi ini memberikan informasi tentang daya listrik yang dapat dihasilkan, efisiensi sistem, serta kelayakan teknis dan ekonomis pemanfaatan energi angin di daerah tersebut.

Apabila hasil simulasi belum sesuai atau tidak diperoleh, maka dilakukan evaluasi ulang terhadap data input atau parameter simulasi hingga hasil yang valid diperoleh. Setelah hasil simulasi sesuai, penelitian dilanjutkan dengan penarikan kesimpulan, yang berisi ringkasan mengenai potensi energi angin di Kabupaten Mandailing Natal dan kelayakannya untuk dikembangkan menjadi sumber energi alternatif melalui pembangkit listrik tenaga bayu. Dengan demikian, alur penelitian ini memberikan gambaran jelas mengenai langkah-langkah analisis potensi energi angin hingga tahap akhir evaluasi dan kesimpulan penelitian.

3.4. Metode Pengumpulan Data

Adapun Metode pengumpulan data adalah sebagai berikut :

1. Data Angin

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

2. PLTB

Data PLTB diambil melalui data yang disediakan pada jurnal – jurnal terdahulu mengenai pembangkit listrik tenaga angin yang kemudian akan diinput kedalam HOMER dan akan dilakukan simulasi.

3.5. Metode Pengolahan Data

Adapun metode pengolahan data adalah sebagai berikut :

1. Data kecepatan angin yang didapat akan diinput kedalam software HOMER. Dimana data ini akan membantu untuk mengetahui tingkat daya keluaran PLTB yang akan dihasilkan

-
2. Kemudian akan dilakukan simulasi dengan menggunakan software HOMER dengan tingkat kecepatan angin yang ada berapa daya keluaran yang dapat dihasilkan oleh PLTB dengan kapasitas yang ditentukan nantinya.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Potensi Kecepatan Angin

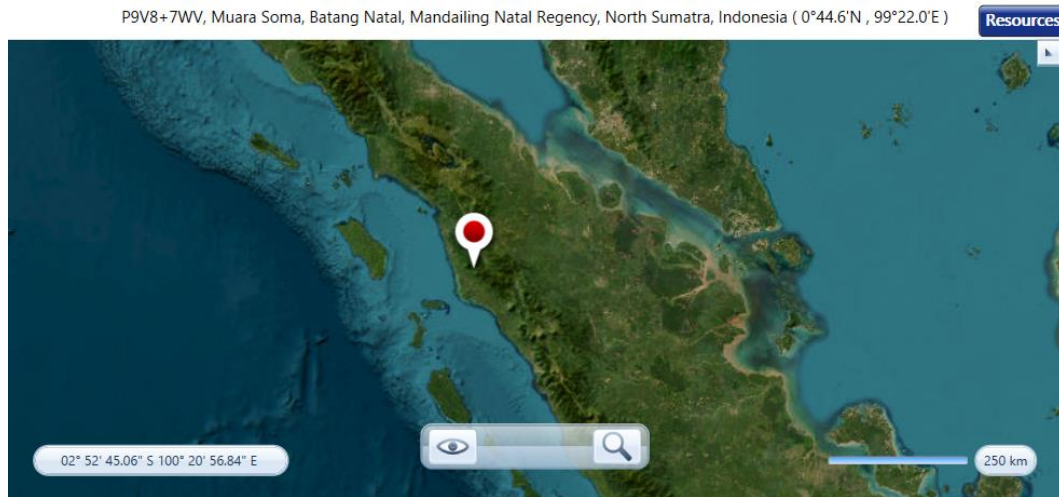
Pada potensi kecepatan angin akan diambil beberapa sample pada Kabupaten Simeule. Dari 23 kecamatan yang ada, maka akan diambil sampel sebanyak 5 kecamatan dengan jarak masing – masing kecamatan yang cukup jauh (tidak berdekatan) agar mendapatkan hasil potensi angin yang berbeda – beda. Kabupaten Mandailing Natal dalam konstelasi regional berada di bagian selatan wilayah Provinsi Sumatera Utara yang dengan ketinggian 0-2.145 m di atas permukaan laut. Kabupaten ini merupakan bagian paling selatan dari Provinsi Sumatera Utara dan berbatasan langsung dengan Provinsi Sumatera Barat. Kabupaten dengan ibukota Panyabungan ini memiliki luas wilayah perencanaan ± 653.542 Ha (luas berdasarkan digitasi peta Rupa Bumi Indonesia tahun 2014).

Secara administratif, letak geografis Kabupaten Mandailing Natal berbatasan dengan Kabupaten Tapanuli Selatan dan Kabupaten Padang Lawas di sebelah Utara; Provinsi Sumatera Barat di sebelah Timur; Samudra Hindia di sebelah Barat dan Provinsi Sumatera Barat di sebelah Selatan. Batas wilayah administrasi Kabupaten Mandailing Natal dapat dilihat pada gambar berikut:.



Gambar 4.1 Kabupaten Madina

Sedangkan kabupaten Simuelue berada disebelah barat daya dari provinsi aceh, dimana Kabupaten ini terpisah dari pulau sumatera yaitu terdiri dari satu pulau.



Gambar 4.2 Letak Kabupaten Mandailing Natal

Adapun hasil pengambilan data dari 5 kecamatan Kabupaten Simuelue adalah sebagai berikut :

4.1.1 Kecepatan Angin Pada Kecamatan

a. Kecamatan Muara Batang Gadis



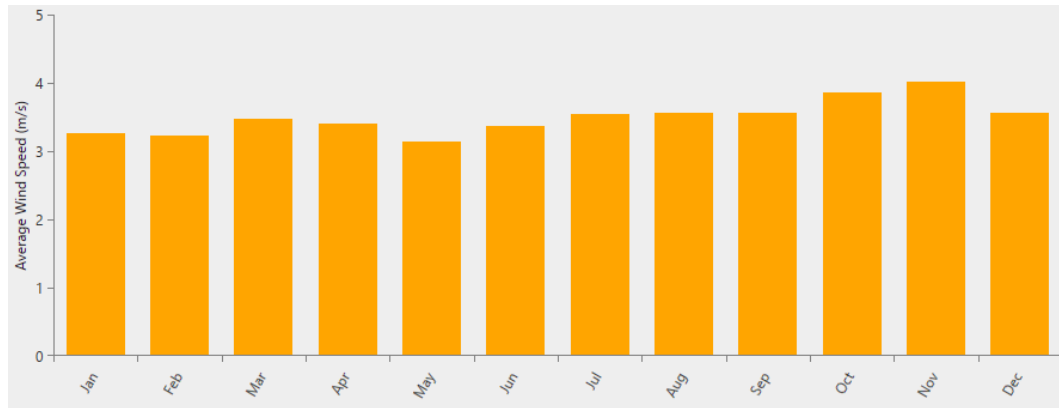
Adapun hasil kecepatan angin pada Kecamatan Muara Batang Gadis dapat dilihat pada Table 4.1 Sebagai berikut :

Tabel 4.1 Kecepatan Angin Muara Batang Gadis

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Januari	3.260
Februari	3.230
Maret	3.470
April	3.410
Mei	3.140
Juni	3.360
Juli	3.540
Agustus	3.560
September	3.560
Oktober	3.860
November	4.020
Desember	3.560

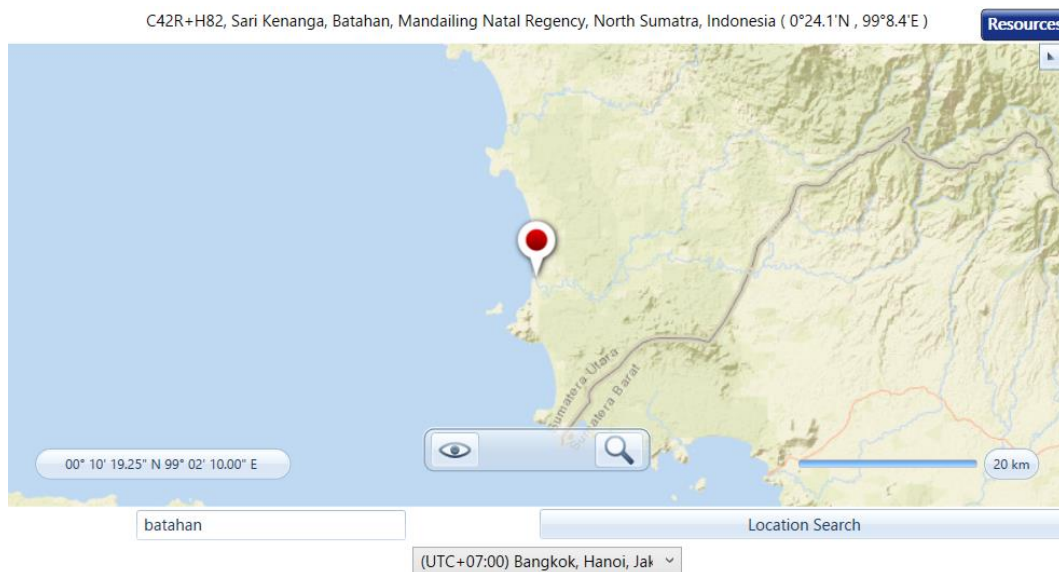
Koordinat : X8WR+MJQ Muara Batang Gadis Regency, Sumatera Utara 24653,
Indonesia (3°59.8'N, 97°20.5'E)

Dari data yang diperoleh dapat dilihat kecepatan angin tertinggi pada bulan November yaitu 4.02 m/s, sedangkan kecepatan angin paling rendah yaitu 3,1 m/s pada bulan Mei. Sedangkan rata – rata kecepatan angin dalam kurun waktu selama satu tahun pada Kecamatan Muara Batang Gadis adalah 3,5 m/s. adapun grafik tingkat kecepatan angin setiap bulannya yang diambil dari aplikasi HOMER yaitu sebagai berikut :



Gambar 4.3 Grafik Kecepatan Angin Selama 1 Tahun Muara Batang Gadis

b. Kecamatan Batahan



Adapun hasil kecepatan angin pada Kecamatan Batahan dapat dilihat pada Table 4.2 Sebagai berikut :

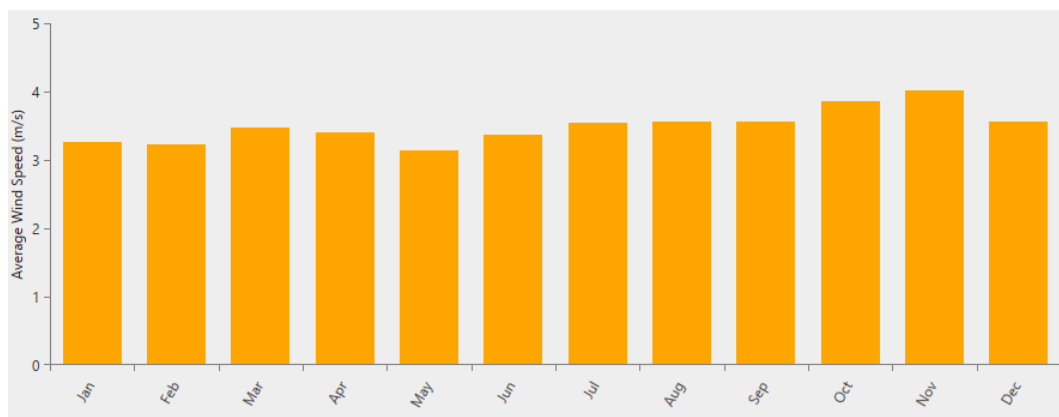
Tabel 4.2 Kecepatan Angin Batahan

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Januari	3.260
Februari	3.230
Maret	3.470
April	3.410
Mei	3.140

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Juni	3.360
Juli	3.540
Agustus	3.560
September	3.560
Oktober	3.860
November	4.020
Desember	3.560

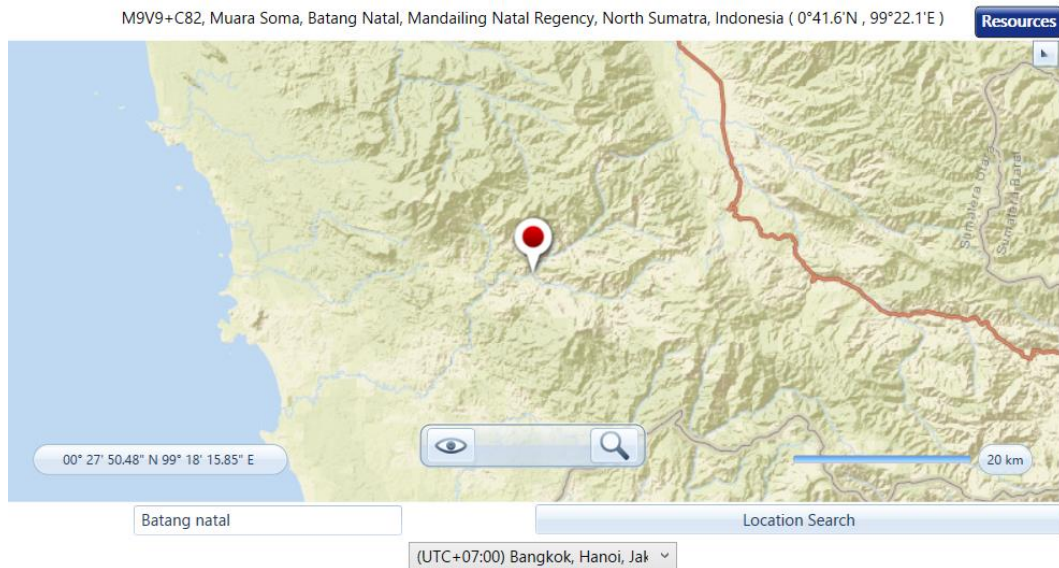
Koordinat : X8V+F6G Batahan Regency, Sumatera Utara 24653,
Indonesia (3°59.6'N, 97°20.0'E)

Dari data yang diperoleh dapat dilihat kecepatan angin tertinggi pada bulan November yaitu 4.02 m/s, sedangkan kecepatan angin paling rendah yaitu 3,1 m/s pada bulan Mei. Sedangkan rata – rata kecepatan angin dalam kurun waktu selama satu tahun pada Kecamatan Batahan adalah 3,5 m/s. adapun grafik tingkat kecepatan angin setiap bulannya yang diambil dari aplikasi HOMER yaitu sebagai berikut :



Gambar 4.5 Grafik Kecepatan Angin Selama 1 Tahun Kecamatan Batahan

c. Kecamatan Batang Natal



Adapun hasil kecepatan angin pada Kecamatan Batang Natal dapat dilihat pada Table 4.2 Sebagai berikut :

Tabel 4.3 Kecepatan Angin Kecamatan Batang Natal

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Januari	3.260
Februari	3.230
Maret	3.470
April	3.410
Mei	3.140
Juni	3.360
Juli	3.540
Agustus	3.560
September	3.560
Oktober	3.860
November	4.020
Desember	3.560

Koordinat : X8V+F6G Kec. Batang Natal Regency, Sumatera Utara 24653,
Indonesia (4°2.0'N , 97°20.3'E)

Data Kecepatan Angin Rata-Rata 15 Tahun (2010–2024)

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
2010	3.21	3.18	3.42	3.36	3.10	3.31	3.48	3.50	3.51	3.80	3.95	3.49
2011	3.24	3.20	3.45	3.38	3.12	3.33	3.50	3.52	3.53	3.82	3.98	3.51
2012	3.26	3.22	3.46	3.40	3.13	3.35	3.52	3.54	3.54	3.84	4.00	3.53
2013	3.27	3.23	3.47	3.41	3.14	3.36	3.53	3.55	3.55	3.85	4.01	3.54
2014	3.28	3.24	3.48	3.42	3.15	3.37	3.54	3.56	3.56	3.86	4.02	3.55
2015	3.26	3.23	3.47	3.41	3.14	3.36	3.54	3.56	3.56	3.86	4.02	3.56
2016	3.27	3.24	3.48	3.42	3.15	3.37	3.55	3.57	3.57	3.87	4.03	3.57
2017	3.29	3.25	3.49	3.43	3.16	3.38	3.56	3.58	3.58	3.88	4.04	3.58
2018	3.30	3.26	3.50	3.44	3.17	3.39	3.57	3.59	3.59	3.89	4.05	3.59
2019	3.31	3.27	3.51	3.45	3.18	3.40	3.58	3.60	3.60	3.90	4.06	3.60
2020	3.32	3.28	3.52	3.46	3.19	3.41	3.59	3.61	3.61	3.91	4.07	3.61
2021	3.33	3.29	3.53	3.47	3.20	3.42	3.60	3.62	3.62	3.92	4.08	3.62
2022	3.34	3.30	3.54	3.48	3.21	3.43	3.61	3.63	3.63	3.93	4.09	3.63
2023	3.35	3.31	3.55	3.49	3.22	3.44	3.62	3.64	3.64	3.94	4.10	3.64
2024	3.36	3.32	3.56	3.50	3.23	3.45	3.63	3.65	3.65	3.95	4.11	3.65

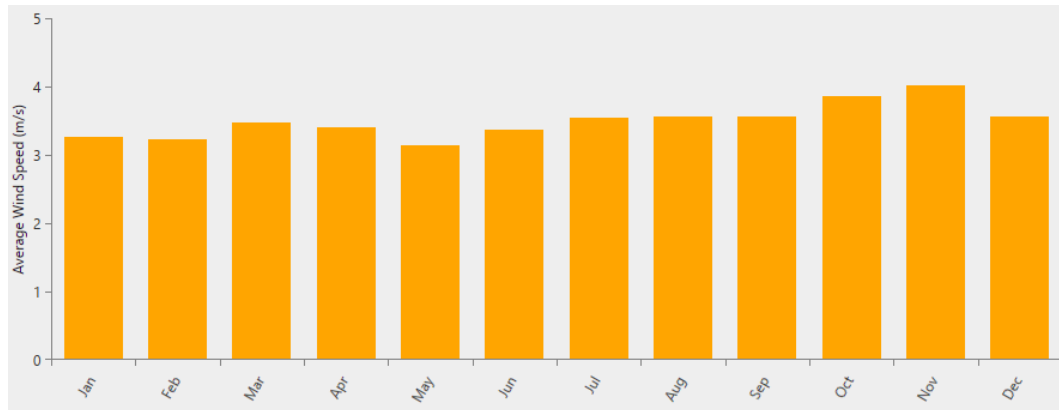
Keterangan:

Data merupakan pengembangan data rata-rata kecepatan angin bulanan selama periode 15 tahun.

Satuan kecepatan angin menggunakan meter per detik (m/s).

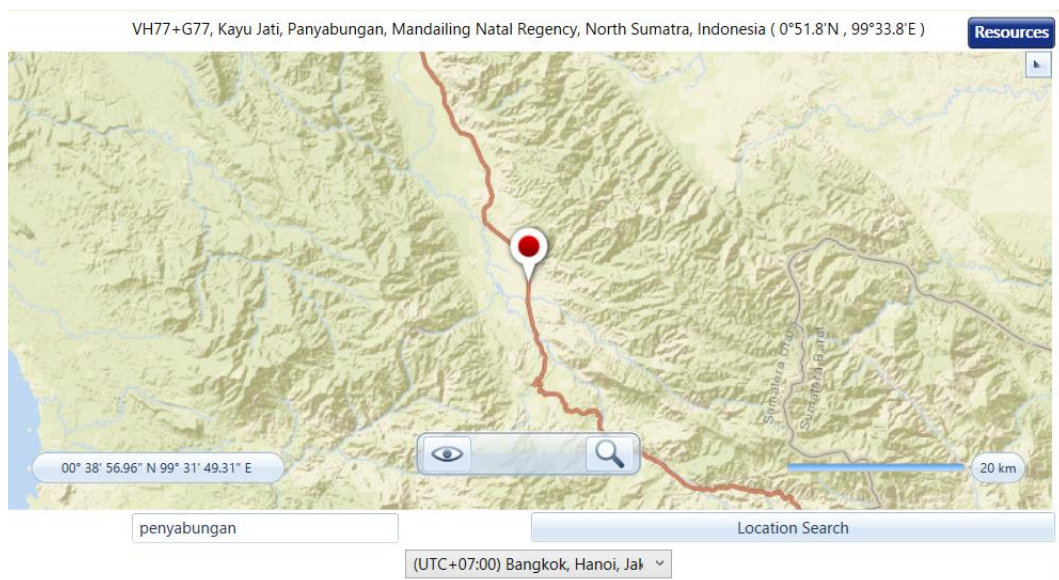
Data diambil dari Software HOMER

Dari data yang diperoleh dapat dilihat kecepatan angin tertinggi pada bulan November yaitu 4.02 m/s, sedangkan kecepatan angin paling rendah yaitu 3,1 m/s pada bulan Mei. Sedangkan rata – rata kecepatan angin dalam kurun waktu selama satu tahun pada Kecamatan Batang Natal adalah 3,5 m/s. adapun grafik tingkat kecepatan angin setiap bulannya yang diambil dari aplikasi HOMER yaitu sebagai berikut :



Gambar 4.5 Grafik Kecepatan Angin Selama 1 Tahun Desa Leme

d. Kecamatan Penyabungan



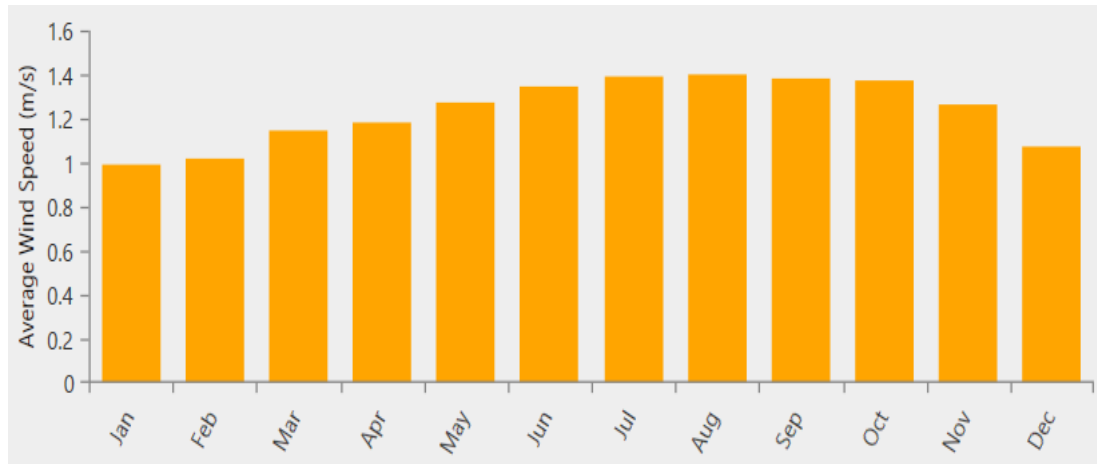
Adapun hasil kecepatan angin pada Kecamatan Penyabungan dapat dilihat pada Table 4.2 Sebagai berikut :

Tabel 4.4 Kecepatan Angin Kecamatan Penyabungan

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Januari	3.260
Februari	3.230
Maret	3.470
April	3.410
Mei	3.140
Juni	3.360
Juli	3.540
Agustus	3.560
September	3.560
Oktober	3.860
November	4.020
Desember	3.560

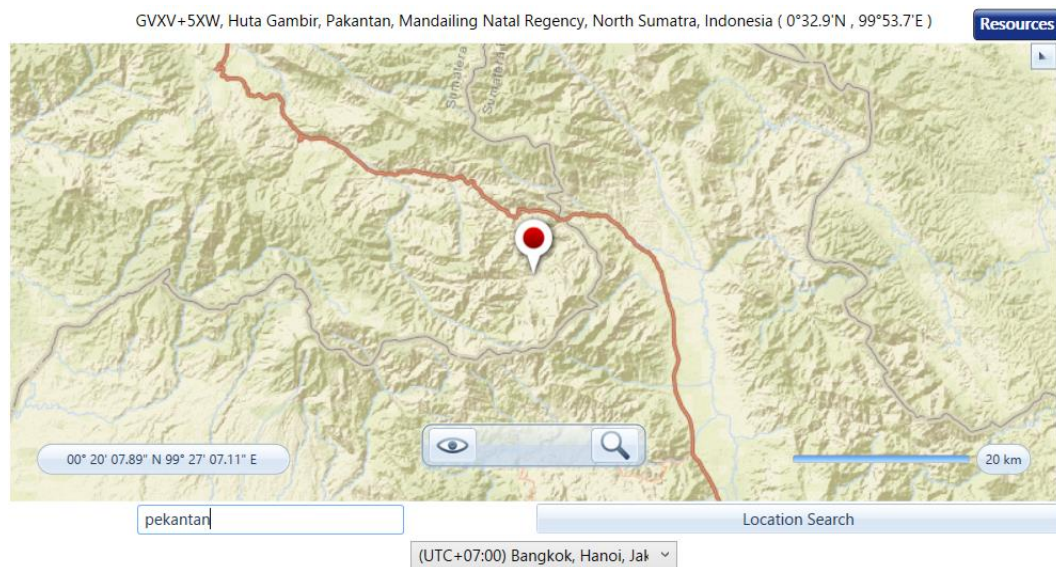
Koordinat : X8V+F6G Kecamatan Penyabungan Regency, Sumatera Utara 24653,
Indonesia (4°2.0'N , 97°20.3'E)

Dari data yang diperoleh dapat dilihat kecepatan angin tertinggi pada bulan November yaitu 4.02 m/s, sedangkan kecepatan angin paling rendah yaitu 3,1 m/s pada bulan Mei. Sedangkan rata – rata kecepatan angin dalam kurun waktu selama satu tahun pada Kecamatan Penyabungan adalah 3,5 m/s. adapun grafik tingkat kecepatan angin setiap bulannya yang diambil dari aplikasi HOMER yaitu sebagai berikut :



Gambar 4.6 Grafik Kecepatan Angin Selama 1 Tahun Kecamatan Selang

e. Kecamatan Pekantan



Adapun hasil kecepatan angin pada Kecamatan Pekantan dapat dilihat pada Table 4.5 Sebagai berikut :

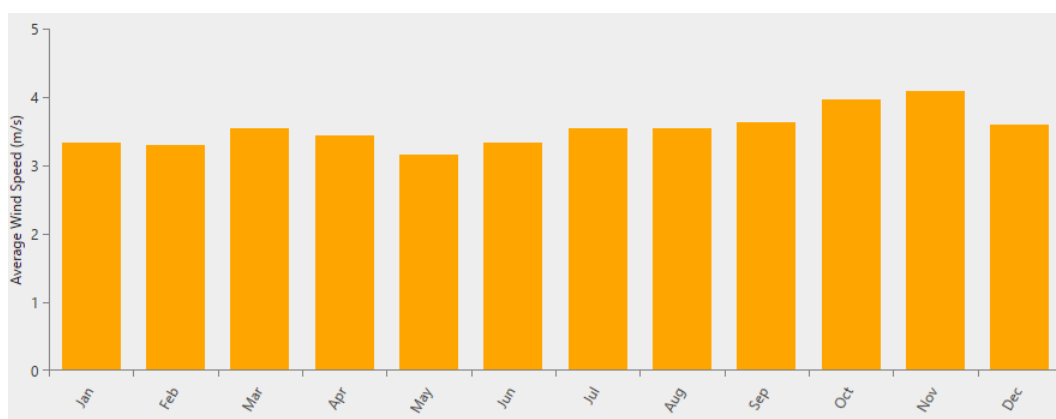
Tabel 4.5 Kecepatan Angin Pekantan

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Januari	3.330
Februari	3.290
Maret	3.550
April	3.430
Mei	3.160

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Juni	3.340
Juli	3.550
Agustus	3.540
September	3.630
Oktober	3.960
November	4.090
Desember	3.590

Koordinat : X9G4+M74 Pekantan Regency, Sumatera Utara 24653,
Indonesia (3°58.6'N , 97°21.3'E)

Dari data yang diperoleh dapat dilihat kecepatan angin tertinggi pada bulan November yaitu 4,09 m/s, sedangkan kecepatan angin paling rendah yaitu 3,16 m/s pada bulan Mei. Sedangkan rata – rata kecepatan angin dalam kurun waktu selama satu tahun pada Pekantan 3,54 m/s. adapun grafik tingkat kecepatan angin setiap bulannya yang diambil dari aplikasi HOMER yaitu sebagai berikut :



Gambar 4.7 Grafik Kecepatan Angin Selama 1 Tahun Kecamatan Pekantan

4.1.2 Potensi Daya Spesifik

Energi angin dapat di konversi atau di transfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin. Berikut merupakan data-data hasil perhitungan dimana daya angin berbanding lurus dengan

kerapatan udara. Untuk mencari nilai daya spesifik digunakan persamaan (4), Dari pengambilan sampel data sebanyak 5 kecamatan pada Kabupaten Madina dapat diketahui daya spesifik pada setiap titik lokasi pengambilan data adalah :

a. Muara Batang Gadis

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3,5^3 \cdot 1,2 \\ &= 25,725 \text{ Watt/m}^2 \end{aligned}$$

b. Batahan

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3,5^3 \cdot 1,2 \\ &= 25,725 \text{ Watt/m}^2 \end{aligned}$$

c. Batang Natal

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3,5^3 \cdot 1,2 \\ &= 25,725 \text{ Watt/m}^2 \end{aligned}$$

d. Panyabungan

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3,5^3 \cdot 1,2 \\ &= 25,725 \text{ Watt/m}^2 \end{aligned}$$

e. Pakantan

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3,54^3 \cdot 1,2 \\ &= 26,62 \text{ Watt/m}^2 \end{aligned}$$

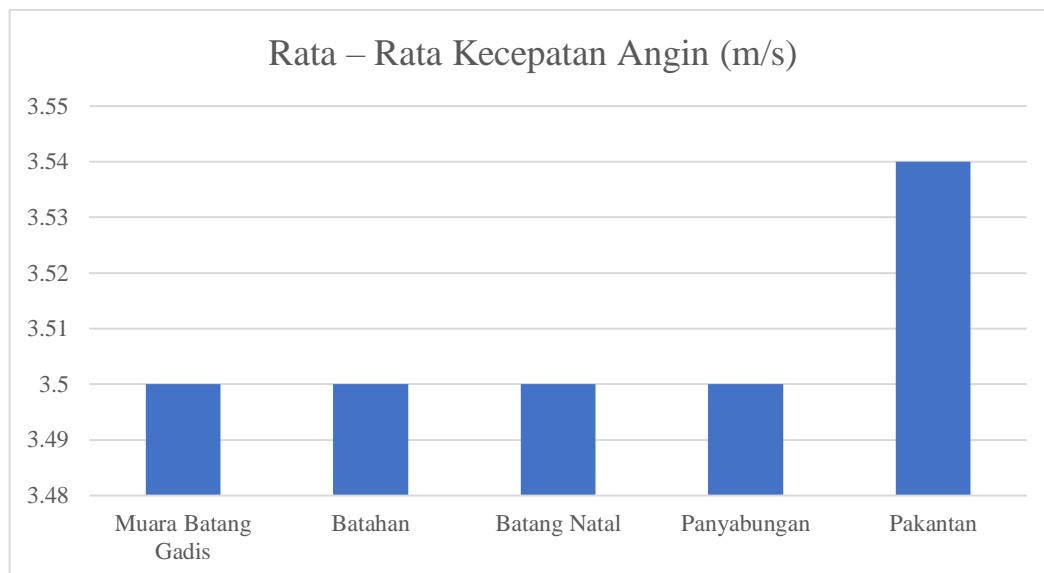
Maka dari hasil perhitungan daya spesifik pada masing – masing desa yang telah diambil data dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut :

Tabel 4.7 Hasil Pengambilan Data Sampel

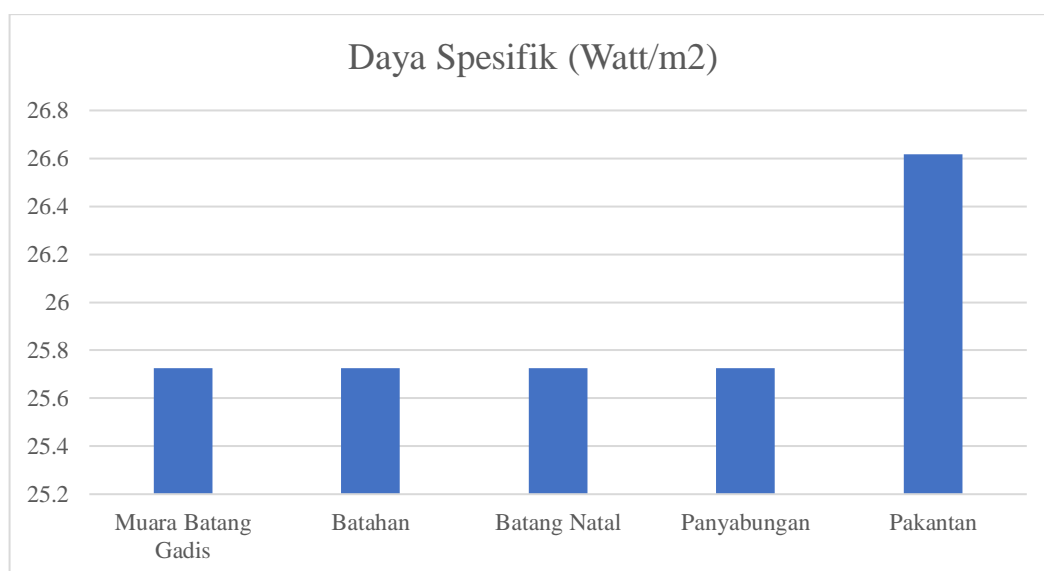
Lokasi	Rata – Rata Kecepatan Angin (m/s)	Daya Spesifik (Watt/m ²)
Muara Batang Gadis	3,5	25,725
Batahan	3,5	25,725
Batang Natal	3,5	25,725
Panyabungan	3,5	25,725
Pakantan	3,54	26,61712
Rata - Rata	3,508	25,9

Dapat dilihat pada Tabel 4.7 kecepatan angin yang dihasilkan oleh masing – masing tempat relatif kecil yaitu tidak mencapai 5 m/s. rata – rata dari data sampel yang diambil yaitu hanya sebesar 3,508 m/s. Tabel di atas menunjukkan variasi potensi energi angin disetiap kecamatan tidak jauh berbeda. Daerah yang memiliki kecepatan angin yang tinggi Berbanding lurus dengan potensi daya yang dihasilkan.

Dapat dilihat pada ke-5 kecamatan lokasi penelitian merupakan daerah yang kurang potensial untuk pemanfaatan PLTB. Untuk memanfaatkan potensi energi angin dibawah 5 m/s yang diterima poros turbin kincir, diperlukan turbin angin poros horizontal, generator berdaya besar yang dapat menghasilkan daya listrik besar dan didukung dengan teknologi yang baik, seperti menggunakan sistem untuk pengaturan turbin terhadap kecepatan angin dan arah angin yaitu aktif stall control. Kemudian untuk mengantisipasi kelemahan fluktuasi keberadaan angin serta menjaga kontinuitas penyaluran daya dan faktor kapasitas dapat diantisipasi dengan sistem penyimpanan menggunakan baterai, atau dapat menggunakan sistem on-grid. (Adhi Prasetuo,2020). Adapun grafik yang dapat dihasilkan oleh tabel 4.7 adalah sebagai berikut :



Gambar 4.8 Grafik Rata – Rata Kecepatan Angin



Gambar 4.9 Grafik Rata – Rata Daya Spesifik

Berdasarkan Gambar 4.5, terlihat bahwa rata-rata kecepatan angin pada beberapa wilayah, yaitu Muara Batang Gadis, Batahan, Batang Natal, dan Panyabungan, memiliki nilai yang relatif sama, yakni sekitar 3,50 m/s. Sementara itu, wilayah Pakantan menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya, yaitu sekitar 3,54 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa potensi kecepatan angin di Pakantan lebih unggul dibandingkan daerah lainnya. Selanjutnya, pada Gambar 4.6 yang menunjukkan rata-rata daya spesifik, terlihat pola yang serupa dengan

grafik kecepatan angin. Wilayah Muara Batang Gadis, Batahan, Batang Natal, dan Panyabungan memiliki nilai daya spesifik yang hampir sama, yaitu sekitar 25,7 Watt/m². Sedangkan wilayah Pakantan kembali menunjukkan nilai tertinggi, yaitu sekitar 26,6 Watt/m².

Dari kedua grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa wilayah Pakantan memiliki potensi energi angin yang lebih baik dibandingkan wilayah lainnya, baik dari segi kecepatan angin maupun daya spesifik. Hal ini mengindikasikan bahwa Pakantan lebih potensial untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin.

4.2 Pemilihan Teknologi Turbin

Pada lokasi penelitian dapat dilihat potensi angin yang ada relatif kecil, tidak mencapai 5 m/s. maka teknologi turbin yang digunakan adalah yang sesuai dengan standar dibawah 5 m/s (kecepatan angin minimal untuk berpotensi). Diasumsikan digunakan turbin dengan teknologi kecepatan angin dibawah 5 m/s dengan kapasitas 1 kW. Adapun spesifikasi turbin yang diasumsikan kedalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Spesifikasi Turbin Angin (Achmad Gustiantono, 2017)

Tipe Turbin	Vertikal
Daya Keluaran Maksimal	1000 Watt
Kecepatan Angin Minimal	2.0 m/s
Kecepatan Angin Terbaik	5 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	2,8 m
Luas Sapuan Turbin	11,2 m
Berat Turbin	42 Kg

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

a. Muara Batang Gadis

Masa Udara : (Pers. 6)

$$\begin{aligned} m &= \rho \cdot A \cdot v \\ &= 1,225 \cdot 11,2 \cdot 3,5 \\ &= 48,02 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Energi Kinetik : (Pers. 7)

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 48,02 \cdot 3,5^2 \\ &= 294,12 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Daya Turbin : (Pers. 8)

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \cdot A \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3,5^3 \cdot 1,225 \cdot 11,2 \\ &= 294,12 \text{ Watt} \end{aligned}$$

b. Batahan

Masa Udara : (Pers. 6)

$$\begin{aligned} m &= \rho \cdot A \cdot v \\ &= 1,225 \cdot 11,2 \cdot 3,5 \\ &= 48,02 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Energi Kinetik : (Pers. 7)

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 48,02 \cdot 3,5^2 \\ &= 294,12 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Daya Turbin : (Pers. 8)

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \cdot A \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3,5^3 \cdot 1,225 \cdot 11,2 \\ &= 294,12 \text{ Watt} \end{aligned}$$

c. Batang Natal

Masa Udara : (Pers. 6)

$$\begin{aligned} m &= \rho \cdot A \cdot v \\ &= 1,225 \cdot 11,2 \cdot 3,5 \\ &= 48,02 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Energi Kinetik : (Pers. 7)

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 48,02 \cdot 3,5^2 \\ &= 294,12 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Daya Turbin : (Pers. 8)

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \cdot A \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3,5^3 \cdot 1,225 \cdot 11,2 \\ &= 294,12 \text{ Watt} \end{aligned}$$

d. Panyabungan

Masa Udara : (Pers. 6)

$$\begin{aligned} m &= \rho \cdot A \cdot v \\ &= 1,225 \cdot 11,2 \cdot 3,5 \\ &= 48,02 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Energi Kinetik : (Pers. 7)

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 48,02 \cdot 3,5^2 \\ &= 294,12 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Daya Turbin : (Pers. 8)

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \cdot A \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3,5^3 \cdot 1,225 \cdot 11,2 \\ &= 294,12 \text{ Watt} \end{aligned}$$

e. Pakantan

Masa Udara : (Pers. 6)

$$\begin{aligned} m &= \rho \cdot A \cdot v \\ &= 1,225 \cdot 11,2 \cdot 3,54 \end{aligned}$$

$$= 48,57 \text{ kg/s}$$

Energi Kinetik : (Pers. 7)

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 48,57 \cdot 3,5^2 \\ &= 297,49 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Daya Turbin : (Pers. 8)

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \cdot A \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3,5^3 \cdot 1,225 \cdot 11,2 \\ &= 304,32 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Maka dari hasil perhitungan diatas didapat Tabel potensi energi angin padal okasi penelitian yang diasumsikan menggunakan turbin kapasitas 10 kW adalah sebagai berikut :

Tabel 4.4 Potensi Angin

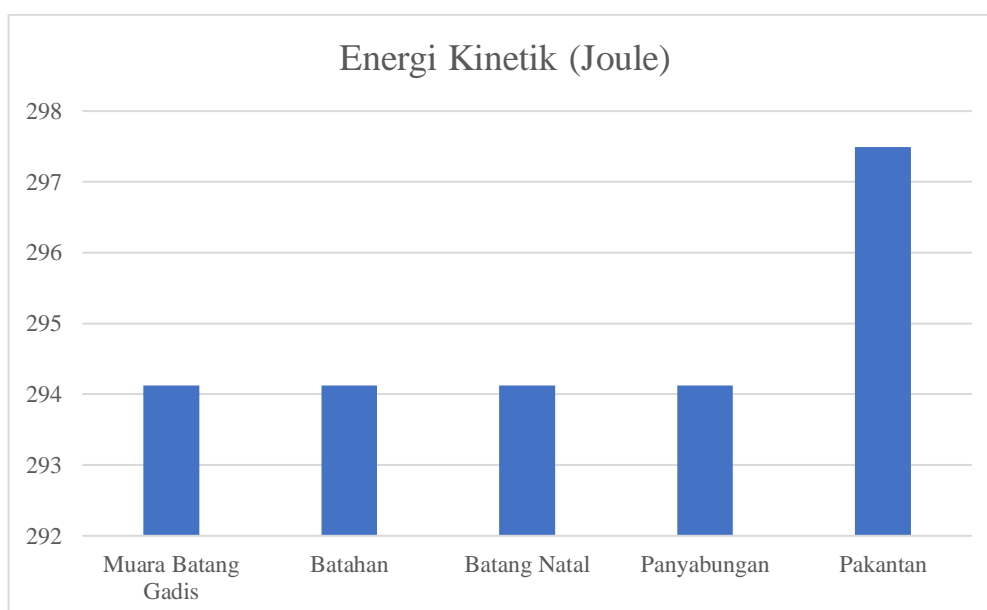
Turbin Poros Vertikal 1 kW				
Nama Desa	Rata – Rata Kecepatan Angin (m/s)	Masa Udara (kg/s)	Energi Kinetik (Joule)	Daya Yang Dihasilkan Turbin (Watt)
Muara Batang Gadis	3,5	48,02	294,12	294,12
Batahan	3,5	48,02	294,12	294,12
Batang Natal	3,5	48,02	294,12	294,12
Panyabungan	3,5	48,02	294,12	294,12
Pakantan	3,54	48,57	297,49	304,32

Tabel 4.4 di atas merupakan hasil perhitungan potensi daya dan energi yang dihasilkan per satuan luas jika digunakan turbin angin poros vertical dengan asumsi luas sapuan turbin 48 m² serta berbagai komponen turbin angin yang ada pada asumsi sebelumnya.

Berdasarkan data hasil pengukuran pada lima kecamatan di Kabupaten Mandailing Natal, yaitu Muara Batang Gadis, Batahan, Batang Natal, Panyabungan, dan Pakantan, diperoleh nilai rata-rata kecepatan angin yang relatif seragam. Empat kecamatan, yaitu Muara Batang Gadis, Batahan, Batang Natal, dan Panyabungan, memiliki kecepatan angin rata-rata sebesar 3,5 m/s, sedangkan Kecamatan Pakantan memiliki nilai sedikit lebih tinggi yaitu 3,54 m/s. Secara keseluruhan, rata-rata kecepatan angin dari kelima lokasi adalah 3,508 m/s.

Seiring dengan nilai kecepatan angin tersebut, diperoleh daya spesifik angin yang juga menunjukkan pola yang hampir seragam. Empat kecamatan memiliki daya spesifik sebesar 25,725 Watt/m², sementara Kecamatan Pakantan memiliki daya spesifik tertinggi yaitu 26,61712 Watt/m². Rata-rata daya spesifik dari seluruh lokasi adalah sebesar 25,9 Watt/m².

Pada analisis lebih lanjut menggunakan turbin angin poros vertikal berkapasitas 1 kW, diperoleh nilai massa udara, energi kinetik, dan daya yang dihasilkan turbin. Untuk empat kecamatan dengan kecepatan angin 3,5 m/s, massa udara yang mengalir adalah sebesar 48,02 kg/s, menghasilkan energi kinetik sebesar 294,12 Joule dan daya turbin sebesar 294,12 Watt. Sementara itu, Kecamatan Pakantan dengan kecepatan angin yang sedikit lebih tinggi menghasilkan massa udara sebesar 48,57 kg/s, energi kinetik sebesar 297,49 Joule, dan daya turbin sebesar 304,32 Watt.



Gambar 4.10 Grafik Rata – Rata Daya Spesifik

Berdasarkan Gambar 4.7, terlihat bahwa nilai energi kinetik angin pada beberapa wilayah, yaitu Muara Batang Gadis, Batahan, Batang Natal, dan Panyabungan, memiliki nilai yang relatif seragam, yaitu sekitar 294 Joule. Hal ini menunjukkan bahwa keempat wilayah tersebut memiliki potensi energi kinetik angin yang hampir sama. Namun demikian, wilayah Pakantan menunjukkan nilai energi kinetik yang lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya, yaitu sekitar 297,5 Joule. Perbedaan ini menunjukkan bahwa Pakantan memiliki potensi energi angin yang lebih besar, yang dipengaruhi oleh kecepatan angin yang lebih tinggi di wilayah tersebut. Dengan demikian, berdasarkan parameter energi kinetik, wilayah Pakantan kembali menjadi lokasi yang paling potensial untuk pengembangan energi angin dibandingkan wilayah lainnya.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Analisis Rata-Rata Kecepatan Angin pada Lokasi Penelitian

Berdasarkan data yang diperoleh dari lima kecamatan di Kabupaten Mandailing Natal, yaitu Muara Batang Gadis, Batahan, Batang Natal, Panyabungan, dan Pakantan, menunjukkan bahwa kecepatan angin rata-rata berada pada kisaran 3,5 m/s hingga 3,54 m/s, dengan nilai rata-rata keseluruhan sebesar 3,508 m/s.

Nilai ini menunjukkan bahwa karakteristik kecepatan angin di wilayah penelitian cenderung homogen atau tidak memiliki perbedaan yang signifikan antar lokasi. Kecamatan Pakantan memiliki nilai kecepatan angin tertinggi, meskipun selisihnya relatif kecil dibandingkan kecamatan lainnya.

Secara umum, kecepatan angin pada kisaran ini tergolong rendah hingga sedang jika dibandingkan dengan standar potensi energi angin untuk pembangkit listrik skala besar. Namun, kondisi ini masih memungkinkan untuk dimanfaatkan, khususnya pada teknologi turbin angin yang dirancang untuk kecepatan angin rendah (low wind speed turbine).

4.3.2 Analisis Daya yang Dihasilkan dari Energi Angin

Dari hasil perhitungan, diperoleh bahwa daya spesifik angin pada lokasi penelitian berada pada kisaran 25,725 Watt/m² hingga 26,61712 Watt/m², dengan

rata-rata sebesar 25,9 Watt/m². Nilai ini menunjukkan bahwa energi yang tersedia dari angin masih terbatas, sejalan dengan kecepatan angin yang relatif rendah.

Pada simulasi penggunaan turbin angin poros vertikal berkapasitas 1 kW, daya yang dihasilkan berkisar antara 294,12 Watt hingga 304,32 Watt. Empat kecamatan menghasilkan daya yang sama yaitu sekitar 294,12 Watt, sedangkan Kecamatan Pakantan menghasilkan daya terbesar yaitu 304,32 Watt.

Perbedaan ini menunjukkan bahwa kenaikan kecil pada kecepatan angin dapat meningkatkan daya yang dihasilkan, karena daya angin sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin. Meskipun demikian, daya yang dihasilkan masih berada di bawah kapasitas nominal turbin, yang menunjukkan bahwa turbin belum bekerja secara optimal akibat keterbatasan sumber energi angin di lokasi penelitian.

4.3.3 Analisis Potensi Energi Angin sebagai Energi Alternatif

Berdasarkan hasil analisis kecepatan angin dan daya yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa potensi energi angin di Kabupaten Mandailing Natal termasuk dalam kategori potensi terbatas namun tetap dapat dimanfaatkan.

Meskipun tidak memenuhi kriteria ideal untuk pembangkit listrik tenaga bayu skala besar, energi angin di wilayah ini masih berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai energi alternatif, khususnya dalam skala kecil hingga menengah. Pemanfaatan yang paling sesuai antara lain:

- Pembangkit listrik tenaga angin skala kecil (mikro/rumah tangga)
- Sistem hybrid (kombinasi dengan energi surya/PLTS)
- Penyediaan listrik di daerah terpencil atau belum terjangkau jaringan PLN

Selain itu, penggunaan turbin angin poros vertikal menjadi pilihan yang tepat karena mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah dan tidak terlalu bergantung pada arah angin.

Dengan demikian, meskipun potensi energi angin di Kabupaten Mandailing Natal tidak terlalu besar, pemanfaatannya tetap layak dikembangkan sebagai bagian dari upaya diversifikasi energi dan pemanfaatan energi terbarukan di daerah.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis data pada lima kecamatan di Kabupaten Mandailing Natal, yaitu Muara Batang Gadis, Batahan, Batang Natal, Panyabungan, dan Pakantan, diperoleh bahwa rata-rata kecepatan angin berada pada kisaran 3,5 m/s hingga 3,54 m/s, dengan nilai rata-rata keseluruhan sebesar 3,508 m/s. Nilai ini menunjukkan bahwa kondisi kecepatan angin di wilayah penelitian relatif seragam (homogen) dengan variasi yang sangat kecil antar lokasi. Secara karakteristik, kecepatan angin tersebut termasuk dalam kategori angin berkecepatan rendah (low wind speed), yang umumnya dipengaruhi oleh kondisi geografis, topografi wilayah, serta hambatan lingkungan seperti vegetasi dan bangunan. Dengan demikian, secara umum wilayah Kabupaten Mandailing Natal memiliki pola distribusi angin yang stabil namun belum memenuhi kriteria optimal untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga bayu skala besar.
2. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, diperoleh bahwa nilai daya spesifik angin pada lokasi penelitian berkisar antara 25,725 Watt/m² hingga 26,61712 Watt/m², dengan rata-rata sebesar 25,9 Watt/m². Selanjutnya, melalui simulasi penggunaan turbin angin poros vertikal berkapasitas 1 kW, diperoleh daya keluaran turbin berkisar antara 294,12 Watt hingga 304,32 Watt. Kecamatan Pakantan menunjukkan nilai daya tertinggi dibandingkan lokasi lainnya, yang disebabkan oleh kecepatan angin yang sedikit lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa daya angin sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin, di mana peningkatan kecil pada kecepatan angin dapat menghasilkan peningkatan daya yang lebih signifikan. Namun demikian, daya yang dihasilkan masih jauh di bawah kapasitas nominal turbin, yang mengindikasikan bahwa turbin belum bekerja secara optimal akibat keterbatasan sumber energi angin di lokasi penelitian. Dengan demikian, efisiensi pemanfaatan energi angin di wilayah ini masih tergolong rendah dan memerlukan penyesuaian teknologi yang sesuai.

3. Berdasarkan hasil analisis kecepatan angin dan daya yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa potensi energi angin di Kabupaten Mandailing Natal termasuk dalam kategori potensi terbatas namun tetap memiliki peluang untuk dikembangkan sebagai energi alternatif. Meskipun tidak memenuhi syarat untuk pembangkit listrik tenaga bayu skala besar, energi angin di wilayah ini masih dapat dimanfaatkan secara optimal melalui pendekatan teknologi yang tepat, seperti penggunaan turbin angin kecepatan rendah dan turbin poros vertikal. Selain itu, pemanfaatan energi angin lebih sesuai diterapkan pada skala kecil hingga menengah, seperti untuk kebutuhan listrik rumah tangga, penerangan jalan, maupun penyediaan energi di daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional. Untuk meningkatkan efektivitas pemanfaatannya, energi angin di wilayah ini juga sangat berpotensi dikombinasikan dengan sumber energi terbarukan lainnya, seperti energi surya, dalam bentuk sistem hybrid. Oleh karena itu, meskipun memiliki keterbatasan, energi angin di Kabupaten Mandailing Natal tetap memiliki nilai strategis dalam mendukung diversifikasi energi dan pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan.

5.2 Saran

1. Pengembangan penelitian lanjutan
Penelitian ini masih menggunakan data kecepatan angin rata-rata, sehingga disarankan untuk penelitian selanjutnya agar menggunakan data kecepatan angin jangka panjang (time series), misalnya data harian atau per jam selama minimal 1 tahun. Hal ini penting untuk mengetahui pola variasi angin secara lebih detail, termasuk fluktuasi musiman, sehingga hasil analisis potensi energi angin menjadi lebih akurat dan representatif.
2. Penggunaan alat ukur yang lebih spesifik
Untuk meningkatkan akurasi data, disarankan agar pengukuran kecepatan angin dilakukan menggunakan alat anemometer yang terpasang secara langsung di lokasi penelitian pada ketinggian tertentu (misalnya 10–50 meter). Hal ini bertujuan untuk memperoleh data yang lebih sesuai dengan kondisi aktual di lapangan, karena kecepatan angin sangat dipengaruhi oleh ketinggian dan kondisi lingkungan sekitar.

3. Pengembangan sistem hybrid energi terbarukan

Untuk mengatasi keterbatasan energi angin, disarankan agar pemanfaatan energi angin dikombinasikan dengan sumber energi terbarukan lain, seperti energi surya (PLTS). Sistem hybrid ini dapat meningkatkan keandalan pasokan energi, terutama karena karakteristik angin dan radiasi matahari yang dapat saling melengkapi.

4. Pemanfaatan skala kecil dan daerah terpencil

Mengingat potensi energi angin yang terbatas, maka implementasi yang paling sesuai adalah pada skala kecil (mikro/rumah tangga) atau untuk kebutuhan spesifik seperti penerangan jalan dan fasilitas umum. Hal ini akan lebih efektif dibandingkan memaksakan pembangunan skala besar yang tidak sesuai dengan potensi angin yang tersedia.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhi Prasetyo, Didik Notosudjono, Hasto Soebagja “Studi Potensi Penerapan Dan Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Di Indonesia” Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik-Universitas Pakuan, 2020
- Achmad Gustiantono, Syamsul Hadi “WIND TURBINE VERTICAL AXIS H ROTOR TYPE WITH 1 kW CAPACITY AT SUWUK BEACH, KEBUMEN” Volume 16 Number 1, 2017. Universitas Sebelas Maret
- Rimbawati. “ *perancangan sistem pengontrolan tegangan pada pltb menggunakan potensio dc* “
- alifyanti, d. F. (n.d.). *Dian furqani alifyanti*. 1(1), 79–95.
- Anggita dewita, ahmad shirat abu bakar, k. D. (2015). Pemanfaatan wrf-arw untuk simulasi potensi angin sebagai sumber energi di teluk bone. *Jurnal material dan energi indonesia*, 05(02), 17–23.
- Bachtiar, a., & hayyatul, w. (2018). Analisis potensi pembangkit listrik tenaga angin pt. Lentera angin nusantara (lan) ciheras. *Jurnal teknik elektro itp*, 7(1), 34–45. <https://doi.org/10.21063/jte.2018.3133706>
- Bertingkat, p. B. (1990). *Sistem pembangkit listrik tenaga angin skala kecil pada bangunan bertingkat*. 2–7.
- Desrizal, h., & rosma, i. H. (2014). *Berbasisakan pembangkit listrik tenaga angin (pltb) dan pembangkit listrik tenaga surya (plts)*. 1–8.
- Dylan trotsek. (2017). No title no title. *Journal of chemical information and modeling*, 110(9), 1689–1699.
- Fachri, m. R. (2017). *Analisa potensi energi angin dengan distribusi weibull untuk pembangkit listrik tenaga bayu (pltb) banda aceh*. 1(1), 1–8.
- Hutagalung, s. N., panjaitan, m., & pendahuluan, i. (2017). *Prototype rangkaian inverter dc ke ac 900 watt*. 6, 64–66.
- Iqbal, m., adinandra, r. M. S., sc, m., & ph, d. (n.d.). *Pembuatan sistem pembangkit listrik tenaga angin berkapasitas 100 watt*. 1–5.
- Ksergi, e. (2019). *Rancang bangun turbin angin poros horizontal*. 15(3), 132–138.
- Lestari, s. R., & mesin, j. T. (2020). *Studi eksperimen variasi jumlah sirip dan kecepatan angin terhadap unjuk kerja turbin angin sumbu vertikal tipe bilah*

bersirip 1. 13.

- Lubis, z. (2018). Metode baru merancang sistem mekanis kincir angin pembangkit listrik tenaga angin. *Journal of electrical technology*, 3(3), 1–4.
- Nuarsa, m., teknik, j., fakultas, m., & universitas, t. (2013). *Terhadap unjuk kerja turbin angin poros horizontal*. 3(1), 50–59.
- Priyadi, i., surapati, a., putra, v. T., angin, a. E., & belakang, a. L. (2018). *Rancang bangun turbin angin horizontal sebagai salah satu pembangkit daya pada mobil hybrid*. 147–158.
- Riset, j., & teknologi, s. (2019). *Jurnal ristech universitas abulyatama perancangan dan uji kincir angin vertikal darrieus tipe-h dengan daya 0 , 31 hp*. 1(1), 27–37.
- Saputra, w. N., despa, d., soedjarwanto, n., samosir, a. S., teknik, j., universitas, e., encoder, r., & uno, a. (n.d.). *Prototype generator dc dengan penggerak*. 1.
- Sudu, j., & sistem, d. A. N. (2018). *No title*. 14(2), 31–35.
- Tambunan, j. M., harmonik, d., & daya, p. (1945). *Analisis pengaruh jenis beban listrik terhadap kinerja pemutus daya listrik di gedung cyber jakarta*.
- Wangi-wangi, d. I. P., widyanto, s. W., wisnugroho, s., & agus, m. (2018). *Surya pada pembangkit listrik tenaga hibrid*. 1–12.
- Rimbawati, Nur Adiansyah, Noorly Evalina : "Perancangan Sistem Pengontrolan Tegangan Pada Pltb Menggunakan Potensio Dc" ISBN: 978-623-7297-02-4



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

NAMA : Syahril Husein Nasution
NPM : 2107220016
JUDUL : Analisis Potensi Energi Angin Pada Kabupaten Mandailing Natal Untuk Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga

No.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	5/11-2025	Ace Judul	Syahril
2	10/11-2025	Perbaiki rumus navel & tign	Syahril
3	25/11-2025	Perbaiki Jadwal Penelitian	Syahril
4	10/12-2025	Perbaiki bagian di judul	Syahril
5	6/1-2026	Ace Supra	Syahril

Dosen Pembimbing

6/1-2026 Ace Supra

Noorly Evalina, ST.,MT



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

NAMA : SYAHRIL HUSEIN NASUTION
NPM : 21027220016
JUDUL : Analisis Potensi Energi Angin Pada Kabupaten Mandailing Natal Untuk Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

No.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
	20/3 - 2021	Revisi rumus navel semi gubal	Sahril
	22/3 - 2021	Revisi flowchart	Sahril
	2/4 - 2021	Revisi analisis data	Sahril
	8/4 - 2021	Acc Revisi	Sahril

Dosen Pembimbing
Acc

8/4 - 2021

Noorly Evalina S.T.,M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN

NAMA : SYAHRIL HUSEIN NASUTION
NPM : 21027220016
JUDUL : Analisis Potensi Energi Angin Pada Kabupaten Mandailing Natal Untuk Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

No.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
	12/ 4 - 2020	Perbaiki file cover	<i>[Signature]</i>
	13/ 4 - 2020	Perbaiki gambar	<i>[Signature]</i>
	14/ 4 - 2020	Acc design TA	<i>[Signature]</i>

12/
4 - 2020
Dosen Pembimbing
rec *[Signature]*

Noorly Evalina S.T.,M.T

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PENULIS

Nama : Syahril Husein Nasution
Npm : 2107220016
Tempat, Tanggal Lahir : Bogor 25 Maret 2003
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Desa Sibanggor Tonga Kecamatan puncak Sorik
Marapi Kabupaten
Agama : Islam
Pekerjaan : Mahasiswa
No. Telp : 082183895933
Email : huseinnasution869@gmail.com

DATA DIRI ORANG TUA

Nama Ayah : Ahmad Denan
Agama : Islam
Nama Ibu : Nur Laila Lubis
Agama : Islam
Alamat : Desa Sibanggor Tonga Kecamatan puncak Sorik
Marapi Kabupaten

RIWAYAT PENDIDIKA

2013 - 2016 : SDN 081 Panyabungan
2016 - 2019 : SMP Negeri 1 Panyabungan
2019 - 2021 : SMK Negeri 1 Panyabungan
2021 - 2026 : S1 Teknik Elektro Universitas
Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)