KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

SKRIPSI

ANALISIS STUDI KELAYAKAN TEKNIS DALAM INSTALASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU SEBAGAI ENERGI BERKELANJUTAN UNTUK PENERANGAN DI AREA DERMAGA PELABUHAN SOEKARNO-HATTA MAKASSAR

Oleh:

SALMAA TERA ABDILLAH GHANI
NRP. 465.22.1461

PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV

JURUSAN KETATALAKSANAAN ANGKUTAN LAUT DAN KEPELABUHANAN

JAKARTA

2026

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

ANALISIS STUDI KELAYAKAN TEKNIS DALAM INSTALASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU SEBAGAI ENERGI BERKELANJUTAN UNTUK PENERANGAN DI AREA DERMAGA PELABUHAN SOEKARNO-HATTA MAKASSAR

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan
Untuk Penyelesaian Program Pendidikan Diploma IV

Oleh:

SALMAA TERA ABDILLAH GHANI
NRP. 465.22.1461

PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV

JURUSAN KETATALAKSANAAN ANGKUTAN LAUT DAN KEPELABUHANAN

JAKARTA

2026

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama	:	Salmaa Tera Abdillah Ghani
NRP	:	465221461
Program Pendidikan	:	Diploma IV
Jurusan	:	Ketatalaksanaan Angkutan Laut dan Kepelabuhanan
Judul	:	Analisis Studi Kelayakan Teknis Dalam Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sebagai Energi Berkelanjutan untuk penerangan di area Dermaga Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar.

Jakarta, Juni 2026

Penulis

Salmaa Tera Abdillah Ghani

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama	:	Salmaa Tera Abdillah Ghani
NRP	:	465221461
Program Pendidikan	:	Diploma IV
Jurusan	:	Ketatalaksanaan Angkutan Laut dan Kepelabuhanan
Judul	:	Analisis Studi Kelayakan Teknis Dalam Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sebagai Energi Berkelanjutan untuk penerangan di area Dermaga Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar

Jakarta, Maret 2026

Pembimbing Utama

Dr. Vidya Selasdini, S. SIT., M.M. Tr
Penata Tk. I (III/d)
NIP. 19831227 200812 2 002

Pembimbing Pendamping

Denny Hitrial, S.Si, MT
Penata Tk.1 (III/d)
NIP. 19800727 200912 1 001

Mengetahui;
Ketua Jurusan Ketatalaksanaan Angkutan Laut dan Kepelabuhanan

Dr. April Gunawan Malau, S. SI., M.M.
Pembina Tk. I (IV/b)
NIP. 19720413 199803 1 005

KEMENTERIAN PERHUBUNGAN
BADAN PENGEMBANGAN
SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN

SEKOLAH TINGGI ILMU PELAYARAN

STIP
JAKARTA

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama	:	Salmaa Tera Abdillah Ghani
NRP	:	465221461
Program Pendidikan	:	Diploma IV
Jurusan	:	Ketatalaksanaan Angkutan Laut dan Kepelabuhanan
Judul	:	Analisis Studi Kelayakan Teknis Dalam Instalasi Pembangkit Listri Tenaga Bayu Sebagai Energi Berkelanjutan untuk penerangan di area Dermaga Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar

Ketua Penguji

Suparman, S.Sos., M.M. Tr

NIP. 19660906 199103 1 001

Anggota Penguji 2

Sakilah Bewafa, M.Pd

NIP. 1990103 202321 2 029

Mengetahui;
Ketua Jurusan Ketatalaksanaan Angkutan Laut dan Kepelabuhanan

Dr. April Gunawan Malau, S.SI., M.M
Pembina Tk. I (IV/b)
NIP. 19720413 199803 1 005

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunianya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Dalam hal ini penulis mengambil bidang keahlian Teknika menyusun skripsi dengan judul:

ANALISIS STUDI KELAYAKAN TEKNIS DALAM INSTALASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU SEBAGAI ENERGI BERKELANJUTAN UNTUK PENERANGAN DI AREA DERMAGA PELABUHAN SOEKARNO-HATTA MAKASSAR

Skripsi ini disusun untuk memenuhi tugas akhir dan persyaratan program Diploma IV (D-IV) yang diselenggarakan oleh Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran (STIP) Jakarta. Penyusunan dan penulisan skripsi ini didasari oleh pengalaman-pengalaman penulis selama Pendidikan di STIP Indoensia.

Banyak hambatan dan kesulitan yang dihadapi oleh penulis di dalam pembuatan skripsi ini, namun atas dukungan dan dorongan dari semua pihak akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Dalam kesempatan yang baik ini, penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih kepada semua pihak atas segala dukungan, arahan dan bimbinganya dalam penyusunan skripsi ini, terutama kepada:

1. Dr. Capt. Tri Cahyadi, M.H., M.Mar. selaku Ketua Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta.
2. Bapak Dr. April Gunawan Malau, S.SI., M.M. selaku Ketua Jurusan Ketatalaksanaan Angkutan Laut dan kepelabuhanan.
3. Ibu Roma Dormawaty, S.Si. T., M.M selaku Sekretaris Jurusan Ketatalaksanaan Angkutan Laut dan kepelabuhanan.
4. Ibu Vidya Selasdini S. SIT., M.M. Tr sebagai Dosen Pembimbing Utama, yang telah memberikan bimbingan tentang penulisan skripsi ini.
5. Bapak Denny Fitrial S.Si, M.T sebahai Dosen Pendamping, yang telah memberikan bimbingan, serta masukan terhadap penelitan ini.
6. Seluruh civitas akademika, dosen, karyawan dan karyawati Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta.
7. Kepada kedua orang tua saya tercinta ayah saya Asep Tedi Mulyadi dan Ibu saya July Sulistyowati yang senantiasa memberikan dukungan moral maupun material kepada penulis.
8. Kepada seluruh staff dan karyawan PT. Humolco LNG Indonesia yang telah memberikan ilmu selama saya melaksanakan praktek darat.
9. Rekan-rekan taruna dan taruni angkatan LXV.
10. Kepada semua pihak yang tidak tersebutkan di atas, atas bantuannya hingga penulisan skripsi ini dapat berjalan lancar.

Jakarta, 17 Juni 2026

Salmaa Tera Abdillah Ghani

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS iii
TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI iv
TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR SINGKATAN xii
DAFTAR LAMPIRAN xiii
ABSTRAK xiv
ABSTRACT xv
BAB I PENDAHULUAN 1
A. LATAR BELAKANG 1
B. IDENTIFIKASI MASALAH 5
C. BATASAN MASALAH 5
D. RUMUSAN MASALAH 5
E. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN 6
F. SISTEMATIKA PENULISAN 7

BAB II LANDASAN TEORI 8
A. TINAJUAN PUSTAKA 8
B. PENELITIAN TERDAHULU 24
C. KERANGKA PEMIKIRAN 32

BAB III METODE PENELITIAN 33
A. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN 33
B. METODE PENDEKATAN 33
C. SUMBER DATA ..... **Error! Bookmark not defined.**
D. TEKNIK PENGUMPULAN DATA ..... **Error! Bookmark not defined.**
E. TEKNIK ANALISIS DATA ..... **Error! Bookmark not defined.**

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN 37
A. DESKRIPSI DATA 37
B. ANALISIS DATA ..... **Error! Bookmark not defined.**
C. EVALUASI TERHADAP PEMECAHAN MASALAH .. **Error! Bookmark not defined.**
D. PEMECAHAN MASALAH ..... **Error! Bookmark not defined.**
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 70
A. KESIMPULAN 70
B. SARAN 72
DAFTAR PUSTAKA 73
LAMPIRAN 75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Penggunaan Energi Listrik Perkapita (2021 – 2025) 2

Gambar 2.1 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Bayu 12

Gambar 2.2 Diagram dari Turbin (a) VAWT dan (b) HAWT..... 14

Gambar 2.3 Jenis Baling-Baling Horizontal dan Vertikal..... 14

Gambar 2.4 Diagram yang menunjukkan beberapa jenis turbin angin dan koefisien daya rotor serta rasio kecepatan ujungnya 15

Gambar 2.6 Koefisien daya rotor turbin angin dan rasio kecepatan ujung untuk beberapa turbin angin..... 15

Gambar 2.7 Peta potensi energi angin indonesia..... 23

Gambar 4.1 Potensi energi angin di Indonesia 38

Gambar 4.2 Cara kerja PLTB..... 43

Gambar 4.3 Layout penempatan turbin di dermaga..... 36

Gambar 4.5 Hasil kuadran analisis SWOT..... 63

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Potensi Energi Angin Pada Beberapa Wilayah 3
Tabel 2.1 Perbandingan efisiensi antara beberapa jenis HAWT dan VAWT..... 17
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu 24
Tabel 4.1 Histori data kecepatan angin maksimum tahun 2025 39
Tabel 4.2 Histori data arah angin saat kecepatan maksimum tahun 2025 39
Tabel 4.3 Histori data kecepatan angin rata rata (m/s) tahun 2025 39
Tabel 4.4 Histori data arah angin terbanyak tahun 2025 40
Tabel 4.5 Jenis turbin berdasarkan kriteria 43
Tabel 4.6 Tabel analisis faktor SWOT 44
Tabel 4.7 Tabel kelas angin 45
Tabel 4.8 Biaya operasional PLTB skala mikro 46
Tabel 4.9 Biaya variabel komponen PLTB skala mikro 47
Tabel 4.10 Harga dan biaya PLTB skala mikro 49
Tabel 4.11 Tabel Matriks SWOT 55
Tabel 4.12 Tabel analisa IFAS dan EFAS 61
Tabel 4.13 Tabel hasil perhitungan indikator SWOT 62
Tabel 4.14 Tabel hasil kuadran analisis SWOT 62
Tabel 4.15 Tabel analisis karakteristik teknis turbin HAWT dan VAWT serta kriteria pelabuhan 67

DAFTAR SINGKATAN

PLTB	Pembangkit Listrik Tenaga Bayu
VAWT	*Vertical Axis Wind Turbine*
HAWT	*Horizontal Axis Wind Turbine*
NZE	*Net Zero Emission*
PLN	Pembangkit Listrik Negara
ESDM	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia
PLTS	Pembangkit Listrik Tenaga Surya
MEAI	Masyarakat Energi Angin Indonesia
METI	Masyarakat Energi Terbarukan Indoensia
RUEN	Rencana Umum Energi Nasional
NDC	*Nationally Determined Contribution*
GRK	Gas Rumah Kaca
NEK	Nilai Ekonomi Karbon

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : *Data mentah kecepatan angin BMKG bulan januari 2025*

Lampiran 2 : *Data mentah kecepatan angin BMKG bulan februari 2025*

Lampiran 3 : *Data mentah kecepatan angin BMKG bulan maret 2025*

Lampiran 4 : *Data mentah kecepatan angin BMKG bulan april 2025*

Lampiran 5 : *Data mentah kecepatan angin BMKG bulan mei 2025*

Lampiran 6 : *Data mentah kecepatan angin BMKG bulan juni 2025*

Lampiran 7 : *Data mentah kecepatan angin BMKG bulan juli 2025*

Lampiran 8 : *Data mentah kecepatan angin BMKG bulan agustus 2025*

Lampiran 9 : *Data mentah kecepatan angin BMKG bulan september 2025*

Lampiran 10 : *Data mentah kecepatan angin BMKG bulan oktober 2025*

Lampiran 11 : *Data mentah kecepatan angin BMKG bulan November 2025*

Lampiran 12 : *Data mentah kecepatan angin BMKG bulan Desember 2025*

Lampiran 13 : *Grafik histori kecepatan angin maksimum, rata rata dan arah angin*

Lampiran 14 : *Layout penempatan turbin di dermaga (gambar 4.3)*

Lampiran 15 : *Tabel perhitungan analisis SWOT IFAS dan EFAS (tabel 4.12)*

Lampiran 16 : *Matriks SWOT (tabel 4.11)*

Lampiran 17 : *Grafik kuadran SWOT (gambar 4.5)*

ABSTRAK

Ghani, Salmaa Tera Abdillah. 465221461. 2026. *"Analisis Studi Kelayakan Teknis Dalam Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sebagai Energi Berkelanjutan untuk Penerangan di Area Dermaga Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar".*

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh tingginya kebutuhan energi listrik di sektor kepelabuhanan untuk mendukung operasional 24 jam, serta ketergantungan dominan pada energi fosil yang berdampak pada emisi karbon dan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis studi kelayakan teknis penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) sebagai alternatif energi berkelanjutan yang ramah lingkungan di area dermaga Pelabuhan Soekarno-Hatta, Makassar. Metode penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dengan analisis data sekunder mengenai potensi kecepatan angin, karakteristik turbin, dan analisis SWOT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan angin di wilayah pesisir pelabuhan berkisar 2–3 m/s, yang secara teknis layak untuk PLTB skala mikro sebagai pendukung sistem penerangan dermaga. Jenis turbin yang paling sesuai adalah Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) karena kemampuannya beroperasi optimal pada kecepatan angin rendah. Rekomendasi utama adalah pengembangan pilot project yang terintegrasi dengan konsep green port dan sistem hybrid untuk memastikan kestabilan pasokan energi berkelanjutan.

Kata Kunci: *Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Studi Kelayakan, Energi Berkelanjutan, Dermaga, Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar.*

ABSTRACT

Ghani, Salmaa Tera Abdillah. 465221461. 2026. *"Technical Feasibility Study Analysis of Wind Power Plant Installation as Sustainable Energy for Lighting in the Soekarno-Hatta Port Pier Area, Makassar".*

This research is motivated by the high demand for electricity in the port sector to support 24-hour operations, as well as the dominant reliance on fossil energy which impacts carbon emissions and operational costs. This study aims to analyze the technical feasibility of implementing a Wind Power Plant (PLTB) as an environmentally friendly alternative sustainable energy source in the pier area of Soekarno-Hatta Port, Makassar. The research methodology employs a qualitative approach with secondary data analysis regarding wind speed potential, turbine characteristics, and SWOT analysis. The results indicate that the wind speed in the port's coastal area ranges from 2–3 m/s, which is technically feasible for micro-scale PLTB to support the pier lighting system. The most suitable type of turbine is the Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) due to its ability to operate optimally at low wind speeds. The main recommendation is to develop a pilot project integrated with the "green port" concept and a hybrid system to ensure a stable supply of sustainable energy.

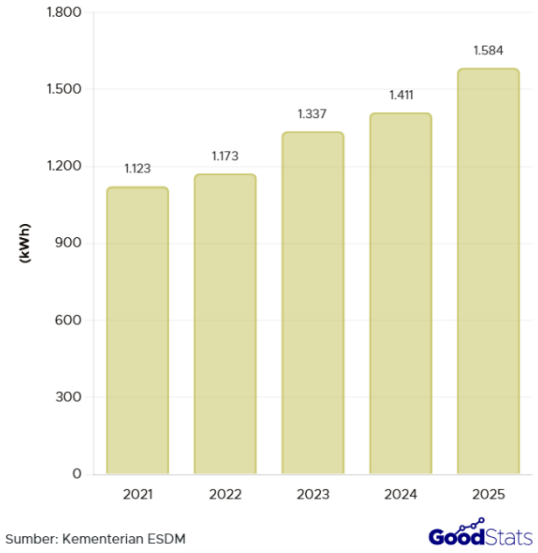
Keywords: *Wind Power Plant (PLTB), Feasibility Study, Sustainable Energy, Pier, Soekarno-Hatta Port Makassar.*

BAB I
PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Seiring dengan pertumbuhan populasi, perkembangan kawasan perkotaan, serta peningkatan aktivitas industri dan logistik, kebutuhan energi listrik di Indonesia mengalami peningkatan yang signifikan dari tahun ke tahun. Energi Listrik merupakan komponen vital dalam mendukung berbagai sektor pembangunan, terutama sektor industri, transportasi, dan infrastruktur. Menurut Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) tahun 2020 menyebutkan, bahwa Peningkatan konsumsi listrik di Indonesia diprediksikan akan meningkat rata-rata sebesar 5,9% hingga tahun 20250 (BPPT, 2020). Pada saat ini pembangkit yang banyak digunakan adalah pembangkit berbahan bakar fosil. Hal ini kurang menguntungkan dikarenakan keterbatasan jumlah bahan bakar fosil dan polusi yang dihasilkan tidak baik untuk lingkungan. Sehubungan dengan permasalahan tersebut, dikembangkanlah pembangkit listrik energi baru terbarukan yang ramah lingkungan, ekonomis, berkelanjutan, dan mudah untuk diimplementasikan (Peraturan Presiden, 2006).

Data nasional mencerminkan tingginya ketergantungan masyarakat dan dunia usaha terhadap pasokan energi yang andal, stabil, dan berkelanjutan. Data konsumsi listrik Indonesia yang terlampir pada gambar 1.1 menunjukkan tren kenaikan yang konsisten, baik pada sektor industri, komersial, maupun transportasi, yang menuntut adanya inovasi dalam penyediaan sumber energi. Berikut link terlampir mengenai data penggunaan energi listrik perkapita menurut kementerian ESDM. https://data.goodstats.id/statistic/realisasi-konsumsi-listrik-indonesia-2021-2025-TX9BJ



Gambar 1.1

Grafik Penggunaan Energi Listrik Perkapita (2021 – 2025)

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki tingkat pelayaran dan logistik laut yang sangat tinggi. Pelabuhan memiliki peranan strategis sebagai simpul pusat perpindahan (interchange) penumpang dan barang yang menghubungkan jaringan transportasi laut dengan jaringan distribusi di darat. Indonesia memiliki 5 pelabuhan utama salah satunya Pelabuhan Utama di Kawasan Timur Indonesia yaitu Pelabuhan Soekarno-Hatta yang berada di Makassar. Pelabuhan ini melayani kegiatan bongkar muat, naik turun penumpang serta distribusi logistik regional. Tingginya intensitas kegiatan operasional di pelabuhan ini memberikan dampak pada peningkatan kebutuhan energi listrik. Tertutama pada area dermaga serta fasilitas pendukung lainnya dikarenakan kegiatan operasional yang padat.

Penerangan di area pelabuhan terutama di dermaga sangat penting untuk keselamatan dan kelancaran aktivitas operasional pelabuhan, terutama dalam kegiatan bongkar muat yang berlangsung selama 24 jam sehari. Sistem penerangan yang buruk dapat meningkatkan potensi kecelakaan kerja, gangguan operasional, dan risiko keamanan pelabuhan. Oleh karena itu, pasokan listrik yang handal dan terus menerus merupakan kebutuhan mutlak untuk aktivitas operasional Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar.

Di sisi lain, ketergantungan pelabuhan terhadap sumber energi konvensional tergolong cukup tinggi hingga saat ini. Penggunaan energi fosil tidak hanya berdampak pada tingginya biaya operasional, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca dan pencemaran lingkungan. Kondisi ini belum memenuhi regulasi

pemerintah Indonesia dalam mendorong pembangunan berkelanjutan dan pengurangan emisi karbon. Melalui berbagai regulasi, seperti Peraturan Menteri Nomor 21 Tahun 2010 tentang Perlindungan Lingkungan Maritim, Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), serta Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pemerintah secara tegas mendorong pemanfaatan energi baru dan terbarukan, termasuk pada fasilitas pelabuhan.

Wilayah Makassar dan sekitarnya, khususnya kawasan pesisir, memiliki potensi sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan, salah satunya adalah energi angin. Berdasarkan data historis dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), kecepatan angin di beberapa titik pesisir Sulawesi Selatan berada pada kisaran yang memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik melalui Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) seperti yang terlampir pada tabel 1.1 . Potensi ini menjadi peluang strategis dalam mendukung penerapan konsep *Green Port* atau pelabuhan ramah lingkungan.

Tabel 1.1

Potensi Energi Angin Pada Beberapa Wilayah

kelas	kecepatan angin (m/s)	daya spesifik (W/m2)	Jumlah Lokasi	Wilayah
kurang potensial	< 3,0	< 45	66	Sumatera Barat, Bengkulu, Jambi, Jawa Tengah, NTB, Kalimantan, NTT, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Utara, Maluku
potensi rendah (skala kecil)	3,0 - 4,0	< 75	34	Lampung, DIY, Bali, Jawa Timur, Jawa Tengah, NTB, Kalimantan Selatan, NTT, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Sumatera Utara, Sulawesi Barat
potensi menengah (skala menengah)	4,1 - 5,0	75 - 150	34	Bengkulu, Banten, DKI, Jawa Tengah, Jawa Timur, NTB, NTT, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, Gorontalo, Sulawesi Selatan

kelas	kecepatan angin (m/s)	daya spesifik (W/m2)	Jumlah Lokasi	Wilayah
potensi tinggi (skala besar)	> 5,0	> 150	19	DIY, Jawa Tengah, Sulawesi Selatan, NTB, NTT, Sulawesi Utara

Sumber : Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

Penerapan PLTB di area dermaga Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar diharapkan mampu menjadi alternatif sumber energi listrik yang bersih, ramah lingkungan, serta berkelanjutan, khususnya untuk memenuhi kebutuhan penerangan di area dermaga. Selain berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, pemanfaatan energi angin juga dapat menurunkan emisi karbon dari sektor kepelabuhanan.

Namun demikian, implementasi PLTB di lingkungan pelabuhan tidak dapat dilakukan tanpa kajian teknis yang matang. Berbagai aspek perlu dianalisis secara komprehensif, mulai dari potensi kecepatan angin, , pemilihan jenis dan kapasitas turbin angin, tinggi menara, hingga aspek keselamatan. Selain itu, keberadaan PLTB juga harus mempertimbangkan agar tidak mengganggu aktivitas operasional pelabuhan, baik dari sisi navigasi, bongkar muat, maupun keselamatan kerja.

Oleh karena itu, diperlukan suatu studi kelayakan teknis yang mendalam mengenai potensi pemanfaatan energi angin sebagai sumber listrik di area dermaga Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar. Studi ini menjadi langkah awal yang penting untuk menilai apakah penerapan PLTB secara teknis layak dilakukan dan mampu memberikan manfaat optimal, khususnya dalam mendukung kebutuhan penerangan dermaga serta mewujudkan pelabuhan yang efisien, aman, dan ramah lingkungan.

B. IDENTIFIKASI MASALAH

1. Kebutuhan listrik di area dermaga Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar terus meningkat, seiring bertambahnya aktivitas operasional seperti bongkar muat, penerangan dan peralatan mekanik.
2. Potensi energi angin di wilayah pesisir Makassar belum dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif.
3. Pelabuhan masih bergantung pada sumber energi konvensional, sehingga kurang mendukung penerapan konsep *Green Port* sesuai dengan regulasi pemerintah.
4. Belum diketahui apakah potensi daya angin yang tersedia mampu menghasilkan energi listrik yang cukup untuk memenuhi kebutuhan penerangan dermaga.
5. Masih terbatasnya kajian mengenai desain teknis PLTB yang paling sesuai untuk kondisi geografis dan operasional Pelabuhan, termasuk pemilihan tipe turbin, kapasitas daya, dan tinggi tower.
6. Belum ada analisis pemilihan jenis dan kapasitas turbin angin yang sesuai dengan karakteristik angin dan lingkungan pelabuhan.
7. Belum dilakukan evaluasi integrasi PLTB dengan sistem kelistrikan dermaga yang sudah ada, termasuk aspek stabilitas, efisiensi, dan keamanan operasional.

C. BATASAN MASALAH

1. Potensi energi angin di wilayah dermaga Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar belum dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif.
2. Belum ada analisis jenis dan kapasitas turbin angin yang sesuai dengan karakteristik angin dan lingkungan Pelabuhan.

D. RUMUSAN MASALAH

1. Seberapa besar potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dari angin yang berada di area dermaga Pelabuhan Soekarno-Hatta untuk kebutuhan penerangan area dermaga?
2. Jenis turbin dan kapasitas turbin apa yang sesuai dengan karakteristik angin di pelabuhan?

E. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

1. Tujuan Penelitian

a. Menganalisis potensi energi angin di area dermaga pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar untuk mengetahui besaran energi listrik yang dapat dibangkitkan sebagai sumber daya alternatif.

b. Menentukan desain teknis PLTB yang paling sesuai dengan kondisi geografis dan operasional pelabuhan, meliputi pemilihan tipe turbin, kapasitas daya, dan tinggi Menara (tower).

c. Mengvaluasi pemanfaatan energi listrik hasil pembangkitan untuk memenuhi kebutuhan sistem penerangan dermaga yang handal dan berkelanjutan.

2. Manfaat Penelitian

a. Aspek Teoritis

1. Menambah ilmu pengetahuan di bidang Sustainable Energy, khususnya dalam memahami energi angin dapat menjadi energi terbarukan yang berkelanjutan atau sebagai energi alternatif.
2. Menyediakan data kajian teknis mengenai konversi energi angin menjadi listrik di wilayah Makassar sebagai dasar untuk penelitian lanjutan di lokasi dengan karakteristik serupa.

b. Aspek Praktis

1. Memberikan rekomendasi teknis kepada pengelola Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar dalam upaya mewujudkan konsep *Sustainable Energy* melalui pemanfaatan energi angin sebagai energi alternatif yang berkelanjutan
2. Meningkatkan keandalan pasokan listrik khusus untuk penerangan dermaga guna menjamin keselamatan kerja selama 24 jam.

F. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan laporan penelitian ini terdiri dari lima bab yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang masalah, identifikasi masalah, pembatasan masalah, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian serta sistematika penulisan

BAB II LANDASAN TEORI

Dalam bab ini dikemukakan tentang tinjauan Pustaka dan kerangka pemikiran yang membuat uraian mengenai ilmu pengetahuan yan terdapat dalam kepustakaan yang termasuk didalamnya mengenai pengertian teoritis yang digunakan sebagai pedoman dasar penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab ini berisi tenteang metode penelitian yang digunakan oleh penulis meliputi studi literatur, pengambilan data, pengolahan data dan analisis data.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini berisi tentang analisis dan perhitungan hasil penelitian yang telah dilaksanakan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini penulis menjelaskan dari penulisan skripsi yang terdiri dari kesimpulan yang berisi tentang jawaban atau solusi yang telah dibuat berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dari perumusan masalah dan hasil pemecahan. Serta menyampaikan saran yang mungkin bermanfaat bagi penulis dan pembaca skripsi ini.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. TINAJUAN PUSTAKA

1. Analisis

Analisis adalah proses penyelidikan atau proses mencari tahu terhadap suatu kejadian agar dapat diketahui keadaan yang sebenarnya, analisis sangat dibutuhkan untuk menganalisa dan mengamati sesutau yang tentunya memiliki tujuan untuk mendapatkan hasil akhir dari penelitian yang sudah dilakukan. Adapun menurut Krisnawati (2021) menyatakan bahwa Analisis adalah penyelidikan terhadap suatu peristiwa untuk mengetahui keadaan yang sebenarnya, menjabarkan pengertian analisis sebagai berikut :

a. Analisis adalah penyelidika terhadap suatu peristiwa (perbuatan, karangan, dan sebagainya) untuk mendapatkan fakta yang tepat (asal usul, penyebab, sebenarnya, dan sebagainya).
b. Analisis adalah penguraian pokok persoalan atas bagian-bagian, penelaahan bagian-bagian tersebut dah hubungan antar bagian untuk mendapatkan pengertian yang tepat dengan pemahaman secara keseluruhan.
c. Analisis adalah penjabaran (pembentangan) sesuatu hal, dan sebagainya setelah ditelaah secara seksama.
d. Analisis adalah proses pemecahan masalah yang dimulai dengan hipotesis (dugaan, dan sebagainya) sampai terbukti kebenarannya melalui beberapa kepastian (pengamatan, percobaan, dan sebagainya).

Adapaun menurut Habibi & Aprilian (2020) menyatakan bahwa analisis adalah aktivitas yang terdiri dari serangkaian kegiatan seperti mengurai, membedakan, memilah, sesuatu untuk dikelompokan kembali menurut kriteria tertentu dan kemudian dicari kaitannya lalu ditafsirkan maknanya. Analisis merupakan bagian dari sebuah proses untuk mengkaji sebuah data, diiringi dengan ketelitian agar dapat mencapai sebuah tujuan yang

diharapkan, salah satunya mendapatkan sebuah kesimpulan yang dapat dipercaya.

Menurut Komaruddin (2020) dalam Pengertian analisis adalah kegiatan berpikir untuk menguraikan suatu keseluruhan menjadi komponen sehingga dapat mengenal tanda – tanda komponen, hubungannya satu sama lain dan fungsi masing – masing dalam satu keseluruhan yang terpadu.

Menurut Jogiyanto (2013) dalam Analisis dapat didefinisikan sebagai penguraian dari suatu sistem informasi yang utuh ke dalam bagian – bagian komponennya dengan maksud untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi permasalahan, kesempatan, hambatan yang terjadi dan kebutuhan yang diharapkan sehingga dapat diusulkan perbaikan.

Menurut Sugiyono (2015) analisis adalah sebuah kegiatan untuk mencari suatu pola selain itu analisis merupakan cara berpikir yang berkaitan dengan pengujian secara sistematis terhadap sesuatu untuk menentukan bagian, hubungan antar bagian dan hubungannya dengan keseluruhan.

Berdasarkan para ahli di atas, maka dapat disimpulkan bahwa analisis adalah kegiatan berpikir sistematis untuk menguraikan suatu keseluruhan menjadi bagian-bagian komponennya guna mengidentifikasi fakta, hubungan, dan fungsi antarbagian, dengan tujuan mendapatkan pemahaman mendalam serta kesimpulan yang akurat sebagai dasar pengambilan keputusan atau perbaikan.

2. Studi Kelayakan Teknis

Studi kelayakan teknis adalah analisis mendetail yang dilakukan untuk menilai kepraktisan dan kelayakan teknis dari proyek atau sistem yang diusulkan. Studi ini membantu menentukan apakah proyek tersebut dapat dikembangkan dengan sukses menggunakan teknologi, sumber daya, dan keahlian yang tersedia. Studi ini sangat penting pada tahap awal perencanaan proyek untuk memastikan bahwa tantangan teknis diidentifikasi dan diatasi sebelum sumber daya yang signifikan diinvestasikan.

Menurut Logique (2021), kelayakan teknis menilai apakah perusahaan memiliki sumber daya teknis yang cukup untuk mencapai tujuan proyek, termasuk mengidentifikasi potensi hambatan dan solusi alternatif. Kasmir dan Jakfar (2012) mendefinisikannya sebagai evaluasi aspek teknis dalam studi

kelayakan bisnis, meliputi spesifikasi produk, proses produksi, dan pengoperasian untuk menjamin kualitas dan ketersediaan bahan baku.

Studi kelayakan teknis adalah penilaian terhadap ketersediaan sumber daya teknis, seperti teknologi, peralatan, dan keahlian tenaga kerja, untuk memastikan proyek dapat diwujudkan sesuai tujuan. Penilaian ini mencakup analisis proses produksi, desain produk, kapasitas operasional, dan efisiensi pengoperasian agar sesuai standar industri dan kebutuhan pasar.

Menurut I Ketut Widana (2020), analisis kelayakan teknis melibatkan identifikasi spesifikasi teknis dan uji coba produk/jasa untuk mengevaluasi kinerja sistem dan teknologi dalam mendukung produksi yang efektif serta efisien.

Studi kelayakan teknis merupakan langkah penting dalam proses perencanaan proyek yang menilai aspek teknis dari proyek yang diusulkan. Dengan mengidentifikasi persyaratan teknis, mengevaluasi teknologi yang tersedia, dan menganalisisi potensi risiko, studi ini memastikan bahwa proyek dapat dikembangkan dan diimplementasikan dengan sukses. Studi ini memberikan wawasan berharga yang membantu organisasi membuat keputusan yang tepat, mengelola sumber daya secara efektif, dan mengurangi risiko teknis, yang pada akhirnya berkontribusi pada keberhasilan penyelesaian proyek. https://trac-consulting.com/technical-feasibility-study/

Berdasarkan para ahli di atas, maka dapat disimpulkan bahwa Studi Kelayakan Teknis adalah analisis mendalam untuk menguji praktis-tidaknya suatu proyek berdasarkan ketersediaan teknologi, sumber daya manusia, dan proses produksi. Tujuannya adalah memastikan bahwa rencana yang disusun secara teoritis dapat diwujudkan secara nyata (fisik) dengan efisien, standar kualitas yang tepat, dan risiko teknis yang terkendali.

3. Intalasi

Menurut kamus besar Bahasa Indonesia (KBBI) instalasi adalah perangkat peralatan teknik beserta perleng-kapannya yang dipasang pada posisinya dan siap dipergunakan (generator, mesi diesel, bangunan pabrik, dan sebagainya).

Instalasi adalah proses pemasangan atau penyusunan peralatan, sistem, atau komponen agar siap digunakan dalam konteks tertentu, seperti teknik,

listrik, atau energi terbarukan. Instalasi adalah proses pemasangan perangkat, mesin, sistem, atau perangkat lunak (software) pada posisi atau sistem tertentu agar siap digunakan. Intalasi adalah pemasangan atau penempatan peralatan, mesin, atau komponen fisik di lokasi tertentu. instalasi adalah tindakan memasang sesuatu di lokasi tetap, semi-tetap, atau sementara.

Berdasarkan pengertian diatas bahwa instalasi adalah sebuah proses sistematis yang meliputi tindakan pemasangan, penempatan, dan penyusunan berbagai komponen (baik berupa perangkat keras, mesin, peralatan teknik, maupun perangkat lunak) pada posisi tertentu secara terencana.

4. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Menurut Peraturan Pesiden Republik Indonesia Nomor 112 Tahun 2022 tentang percepatan energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber energi angin. Adapun menurut para ahli Pembangkit Listrik Tenaga Bayu adalah jenis pembangkit listrik terbarukan yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik menggunakan turbin atau kincir angin raksasa.

Menurut Sahat Pakpahan (2024) mendefinisikan PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) adalah sistem pembangkit yang terdiri dari satu atau banyak turbin dan istilah ini umumnya digunakan untuk pembangkitan listrik dalam skala besar.

Menurut Ujang dan Andres (2015) mendifiinisikan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan potensi energi terbarukan yaitu angin dimana sistem koversi energi angin menjadi listrik dengan menggunakan turbin angina tau kincir angin.

Menurut Abby Rafdi (2021) Prinsip kerja PLTB adalah dengan memanfaatkan energi kinetik angin yang masuk ke dalam area efektif turbin untuk memutar baling-baling/kincir angin, kemudian energi putar ini diteruskan ke generator untuk membangkitkan energi listrik.

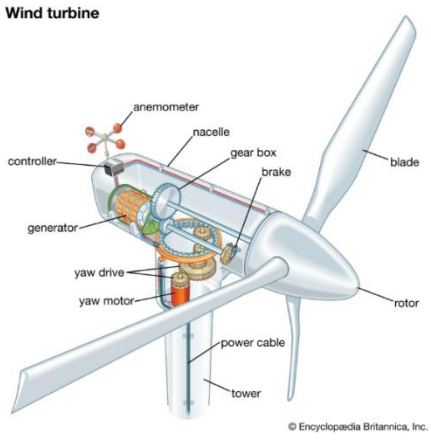
Menurut Muh. Rais (2024) Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan salah satu bentuk pemanfaatan energi terbarukan yang berfokus pada kekuatan angin untuk menghasilkan listrik. Pembangkitan

listrik dari energi angin adalah proses konversi energi kinetik yang dihasilkan oleh gerakan angin menjadi energi listrik.

Menurut para peneliti di atas dapat disimpulkan bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah sistem pembangkit energi terbarukan yang bekerja melalui proses transformasi energi bertahap, yaitu dengan memanfaatkan energi kinetik angin yang masuk ke dalam area efektif turbin untuk memutar baling-baling kincir angin, mengubah energi kinetik dari hembusan angin menjadi energi mekanis (putaran poros), yang kemudian dikonversi oleh generator menjadi energi listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Angin *(Wind Power)* memanfaatkan hembusan angin sebagai sumber penghasil listrik. Alat utamanya adalah generator, dengan generator tersebut maka dapat dihasilkan arus listrik dari gerakan blade/baling-baling yang bergerak karena hembusan angin. Pembangkit ini (PLTB) lebih effisien dari pada pembangkit listrik tenaga surya dalam menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik yang telah ada dipasaran memiliki kapasitas Watt per jam 200, 400, 500, 1000, 2000, dan 3000 Watt. Pembangkit ini tidak bisa dioperasikan pada sembarang tempat dikarenakan medan yang akan dipasang harus memiliki kecepatan angin yang cukup tinggi dan juga stabil. https://ee.itk.ac.id/berita/detail/pengetahuan-teknik-elektro-bayu-si-penghasil-listrik

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) terdiri dari beberapa komponen yaitu *rotor, anemometer blade, brake, gear box, nacelle, generator. Yaw drive, yaw motor, controller, power cable,* dan *tower.* Gambar 2.1 merupakan komponen dari kincir angin.



Gambar 2.1

Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

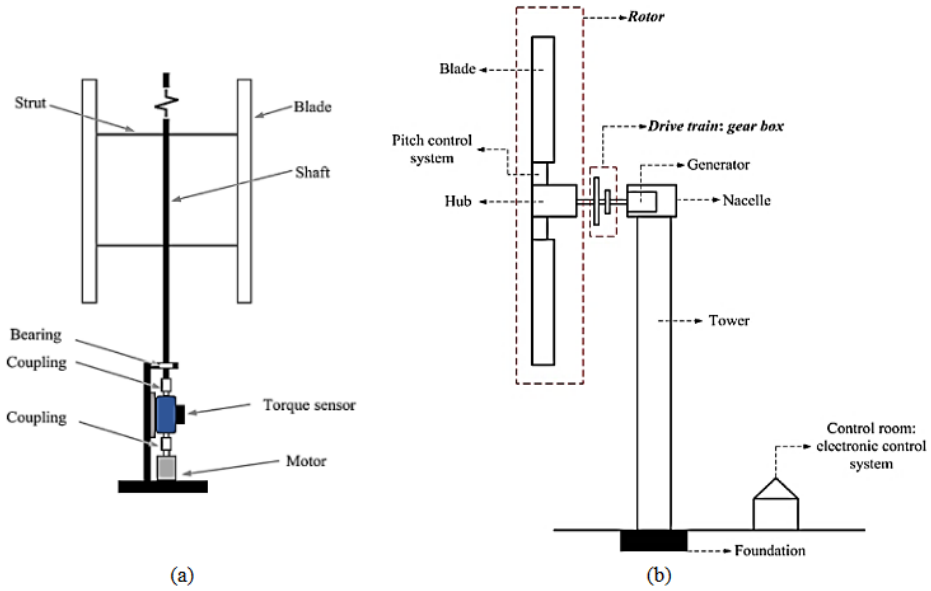
PLTB merupakan sebuah alat yang berupa kincir angin yaitu perangkat yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik atau energi listrik. Alat ini menggunakan baling-baling atau bilah yang berputar saat tertiup angin untuk menggerakkan mesin penggiling biji-bijian, memompa air, atau memutar generator listrik. Secara umum kincir angin dapat di bagi menjadi 2, yaitu kincir angin yang berputar dengan sumbu horizontal, dan yang berputar dengan sumbu vertikal. Berikut adalah penjelasan mengenai kincir angin yang terbagi menjadi 2 jenis perputarannya berdasarkan bentuk dan efisiensi penggunaannya

a. Baling-baling yang berputar secara horizontal-axis (HAWT)

   Daya penggerak turbin angin horizontal adalah gaya angkat, gaya Tarik atau keduanya. Pada gambar 2.2 (b) menunjukkan bagian utama dari turbin angin dengan sumbu horizontal, arah angin menyerang turbin dari sisi penghubung. Angin tegak lurus karena adanya baling-baling. Bagian yang berputar mendapatkan gaya angkat dan gaya tarik, keduanya digunakan untk memutar generator dan menghasilkan energi listrik. Di sisi ada kendali kemiringan atau mengatur sudut kemiringan baling-baling untuk menambah atau mengurangi gaya angkat atau gaya tarik, sesuai dengan parameter bagian kendali.

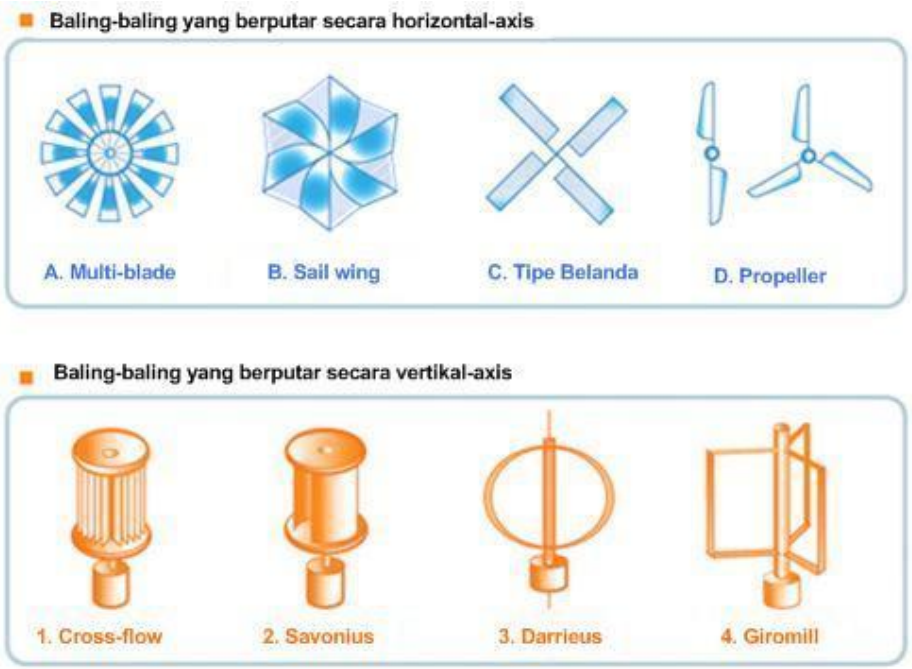
b. Baling-baling yang berputar secara vertikal-axis (VAWT)

   Turbin angin memiliki sumbu vertikal, dimana putarannya tegak lurus terhadap arah angin. Rotasi tersebut merupakan hasil dari gaya tarik dan menjadi yang terpenting dalam VAWT. Gambar 2.2 (a) menunjukkan bagian VAWT dan perhatikan bahwa VAWT relatif sederhana dibandingkan dengan HAWT, selain itu, VAWT memiliki penopang di antara bilah-bilah rotor dan berputar bersamanya untuk mencapai keseimbangan yang lebih baik, dan kinerja turbin dikendalikan oleh mesin pada kecepatan putaran yang berbeda. Motor juga dapat dimanfaatkan sebagai starter berputar, karena jenis turbin ini tidak dapat memulai sendiri.



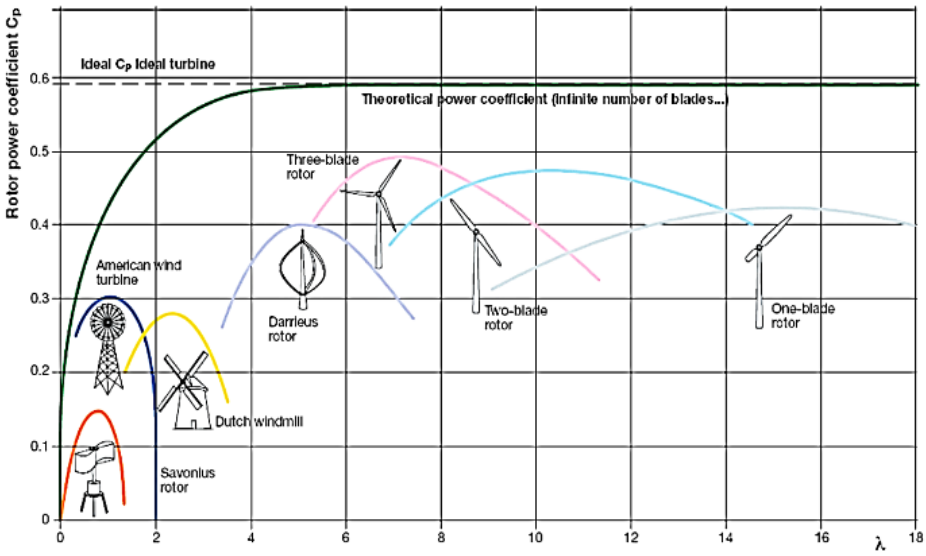
Gambar 2.2

Diagram dari turbin (a) VAWT dan (b) HAWT



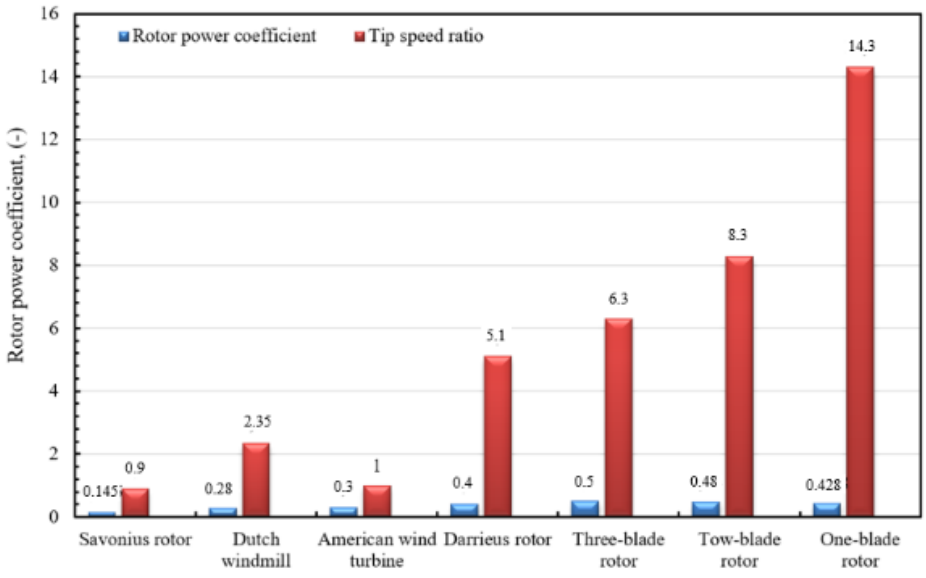
Gambar 2.3

Jenis baling-baling horizontal dan vertikal



Gambar 2.4

Diagram yang menunjukkan beberapa jenis turbin angin dan koefisien daya rotor serta rasio kecepatan ujungnya



Gambar 2.5

Koefisien daya rotor turbin angin dan rasio kecepatan ujung untuk beberapa turbin angin

Gambar 2.3 menunjukkan berbagai jenis turbin angin HAWT dan VAWT. Pada sumbu y, ini menunjukkan koefisien daya, yaitu jumlah energi yang diperoleh turbin dari angin dan mengubahnya secara efektif menjadi energi listrik. Dalam kondisi terbaik, persentasenya tidak melebihi 60%, nilai tertinggi diberikan sebagai batasan nilai yaitu 0.59, koefisien daya juga tergantung pada jumlah bilah, jenis turbin dan kapasitas. Pada gambar tersebut juga terlihat bahwa HAWT secara umum lebih baik dalam mengekstraksi energi dari angin dibandingkan dengan VAWT. Pada sumbu x menunjukkan rasio kecepatan ujung; merupakan kecepatan rotasi bilah di ujung relatif terhadap kecepatan angin non-turbulen yang melewati turbin. Hal ini sama dengan bentuk turbin modern HAWT yang memiliki rasio kecepatan ujung yang lebih besar, yang berarti lebih mudah untuk memilih lokasi pembangunan pembangkit listrik tenaga angin dan jumlah bilah yang lebih sedikit. Rasio kecepatan ujung yang lebih besar, Darrieus VAWT lebih baik daripada desain lama HAWT. Diikuti oleh Gambar 2.4 yang merupakan varians dalam koefisien daya rotor dan tip speed ratio antara beberapa turbin angin, serta Gambar 2.5 yang merupakan grafik yang menjelaskan nilai koefisien daya rotor dan tip speed ratio, serta memberikan gambaran perbedaan antara jenis turbin angin.

Berikut disajikan Tabel 2.1 yang menunjukkan beberapa karakteristik dari berbagai macam turbin angin serta karakteristik rotasinya, penggunaan, daya utama yang bekerja, dan efisiensi puncaknya. Seperti yang ditunjukkan pada tabel dan grafik berikut, terdapat perbedaan yang mencolok dalam efisiensi turbin angin berdasarkan sejarah industri. Turbin yang lebih modern semakin efisien. Mesin yang bekerja dengan gaya angkat memiliki efisiensi yang lebih tinggi, juga, peningkatan jumlah bilah rotor diimbangi dengan peningkatan efisiensi sampai batas tertentu.

Di sisi lain, peningkatan jumlah bilah menghasilkan lebih banyak tekanan pada turbin dan harus diperhitungkan saat mendesainnya. Disini dapat disimpulkan bahwa HAWT memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada VAWT. Diikuti oleh Gambar 2.6 yang merupakan grafik yang menjelaskan efisiensi puncak yang berbeda untuk delapan jenis turbin angin. https://iaes.or.id/perbandingan-antara-turbin-angin-sumbu-horizontal-dan-vertikal/

Tabel 2.1

Perbandingan efisiensi antara beberapa jenis HAWT dan VAWT

Design	Orientation	Use	The main acting force	Peak Efficiency (%)
Cup	VAWT	Modern cup as Anemometer	Drag	8%
Savonius rotor	VAWT	Flettner ventilator, cooling device in vechiles	Drag	16%
Dutch windmill	HAWT	16th century to pumping water	Lift	27%
American wind	HAWT	18th century to pumping water and electricity generation	Lift	31%
turbine				
Darrieus rotor	VAWT	20th century to electricity generations	Lift	40%
One-blade rotor	HAWT	20th century to electricity generations	Lift	43%
Tow-blade rotor	HAWT	20th century to electricity generations	Lift	47%
Theree-blade rotor	HAWT	20th century to electricity generations	Lift	50%

Sumber : *International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE)*

Seperti yang ditunjukkan pada tabel dan grafik berikut, terdapat perbedaan yang mencolok dalam efisiensi turbin angin berdasarkan sejarah industri. Turbin yang lebih modern semakin efisien. Mesin yang bekerja dengan gaya angkat memiliki efisiensi yang lebih tinggi, juga, peningkatan jumlah bilah rotor diimbangi dengan peningkatan efisiensi sampai batas tertentu. Di sisi lain, peningkatan jumlah bilah menghasilkan lebih banyak tekanan pada turbin dan harus diperhitungkan saat mendesainnya. Disini dapat disimpulkan bahwa HAWT memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada VAWT. Diikuti oleh Gambar 2.6 yang merupakan grafik yang menjelaskan efisiensi puncak yang berbeda untuk delapan jenis turbin angin. https://iaes.or.id/perbandingan-antara-turbin-angin-sumbu-horizontal-dan-vertikal/

5. Energi Terbarukan

Menurut A.G. Olabi (2023) Sumber energi terbarukan (SET) dianggap sebagai solusi utama untuk tantangan pasokan energi. RER terutama ditandai oleh ketersediaan global yang tinggi dan dampak lingkungan yang rendah. Misalnya, energi matahari dan angin tersedia hampir di mana-mana di Bumi dengan intensitas yang bervariasi, sehingga tidak ada kebutuhan untuk impor energi

Menurut Kholiq (2015) energi terbarukan adalah sumber energi yang dapat dengan cepat dipulihkan kembali secara alami, dan prosesnya berkelanjutan. Ia menekankan bahwa energi ini merupakan solusi untuk menggantikan energi tak terbarukan (fosil) yang persediaannya terbatas dan merusak lingkungan.

Menurut Twidell dan Weir (2015) Dalam buku *Renewable Energy Resources*, mereka menjelaskan bahwa energi terbarukan adalah energi yang diperoleh dari aliran energi yang terjadi di lingkungan sekitar secara terus-menerus. Mereka membedakannya dengan energi fosil yang ibarat "stok" di dalam gudang, sedangkan energi terbarukan ibarat "aliran" sungai yang terus mengalir.

Menurut *International Energy Agency* (IEA) mendefinisikan energi terbarukan sebagai energi yang berasal dari proses alam yang diisi ulang terus-menerus. Dalam berbagai bentuknya, energi ini diturunkan secara langsung atau tidak langsung dari matahari, atau dari panas yang dihasilkan jauh di dalam bumi.

Menurut Godfrey Boyle (2012) Dalam literatur *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future,* Boyle menjelaskan bahwa energi terbarukan adalah energi yang bersumber dari mekanisme alam yang terus-menerus tersedia, seperti interaksi gravitasi bumi-bulan (pasang surut), radiasi matahari, dan panas dari inti bumi.

Menurut para peneliti di atas dapat disimpulkan bahwa Energi Terbarukan adalah merupakan sumber energi yang berasal dari proses alam berkelanjutan dan dapat diperbarui secara alami dalam waktu cepat, tidak akan habis, dan ramah lingkungan. Energi ini, seperti surya, angin, air dan panas bumi, merupakan alternatif bersih untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dibandingkan bahan bakar fosil.

6. Penerangan

Menurut IESNA *(Illuminating Engineering Society of North America)* mendefinisikan penerangan sebagai aplikasi cahaya pada suatu objek atau sekitarnya agar objek tersebut dapat dilihat. Fokus utamanya bukan hanya adanya cahaya, tetapi bagaimana cahaya tersebut berinteraksi dengan permukaan untuk menciptakan persepsi visual yang akurat bagi manusia.

Menurut SNI 03-6575-2001 (Badan Standardisasi Nasional) Menekankan pada tata cahaya ruang dalam dan perancangan sistem pencahayaan buatan pada bangunan gedung agar memenuhi standar kesehatan dan fungsionalitas.

Menurut Badriana (2010) Penerangan/ pencahayaan adalah salah satu sumber cahaya yang menerangi benda-benda di tempat kerja. Intensitas penerangan adalah banyaknya cahaya yang jatuh pada satu luas permukaan. Penerangan yang baik adalah penerangan yang memungkinkan seorang tenaga kerja melihat pekerjaannya dengan teliti, cepat, dan upaya yang tidak perlu, serta mambantu menciptakan lingkungan kerja yang nikmat dan menyenangkan.

Menurut Diah Suwarti (2018) Pencahayaan merupakan jumlah penyinaran pada suatu bidang kerja yang diperlukan untuk melaksanakan kegiatan secara efektif.

Menurut pendapat para ahli di atas dapat disimpulkan bahwa penerangan adalah aplikasi cahaya secara sengaja—baik yang bersumber dari alam (matahari) maupun buatan (lampu) yang bertujuan untuk menciptakan kondisi visual yang optimal agar suatu objek atau lingkungan dapat terlihat dengan jelas, akurat, dan nyaman.

7. Dermaga

Menurut Dinas Perhubungan Banjarmasin Dermaga adalah bangunan di pelabuhan yang berfungsi sebagai tempat kapal berlabuh, naik turun penumpang, dan bongkar muat barang. Dermaga juga merupakan penghubung antara kapal dan pelabuhan. Dermaga biasanya dibangun memanjang di tepi pantai dan menjorok ke laut. Bahan yang digunakan untuk membuat dermaga biasanya adalah kayu, tanah, batu, atau beton. Terdapat beberapa jenis dermaga diantaranya adalah :

a. Dermaga pantai yaitu untuk tempat bersandar kapal-kapal lokal.

b. Dermaga pier yaitu dermaga yang berbentuk tegak lurus dengan garis pantai.
c. Dermaga barang umum yaitu dermaga untuk tempat bongkar muat barang umum.
d. Dermaga wharf yaiu dermaga yang berimpit dengan garis pantai.
e. Dermaga peti kemas yaitu tempak bongkar muat peti kemas.
f. Dermaga jetty yaitu dermaga yang sisi depannya berada dikedalaman karena menjorok ke laut.
g. Dermaga curah yaitu dermaga untuk termpat bongkar muat barang curah.
h. Dermaga khusus yaitu tempat mengangkut barang-barang khusus seperti bahan bakar minyak dan bahan bakar gas.
i. Dermaga marina yaitu dermaga tempat bersandar kapal pesiar dan kapal cepat.
j. Dermaga kapal ikan yaitu tempat kapal ikan beraktivitas.

Dermaga dilengkapi dengan peralatan seperti crane dan conveyor yang membantu dalam proses bongkar muat barang dari dan ke kapal. Dermaga juga digunakan sebagai titik transit bagi penumpang yang menggunakan transportasi laut. Beberapa dermaga dilengkapi dengan fasilitas perawatan kapal seperti dok untuk reparasi dan pemeliharaan. https://dishub.banjarmasinkota.go.id/?p=2646

Menurut Bambang Triatmodjo (2010) pakar teknik pelabuhan dari Indonesia Dermaga merupakan bangunan di pelabuhan yang dibangun untuk melayani kebutuhan seperti menaik-turunkan penumpang dan tempat menambatkan kapal saat melakukan bongkar muat, dengan tujuan kegiatan di pelabuhan dapat berjalan dengan lancar, cepat, dan aman. Bentuk dan dimensi dermaga dapat di lihat sesuai dengan karakteristik kapal yang bertambat pada dermaga, tipe dermaga dan jenis dermaga yang direncanakan..

Menurut Kastanya, W. Sapuletter dan Gidion (2023) Dermaga adalah bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapatnya kapal untuk melakukan proses bongkar muat barang. Yang dilengkapi dengan tambatan dan peralatan bongkar muat (kran) untuk mengangkut barang dari dan ke kapal.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) No. 61 Tahun 2009 Secara regulasi di Indonesia, dermaga didefinisikan sebagai bangunan yang dirancang khusus dan dipergunakan untuk tempat bersandar dan menambat kapal yang melakukan kegiatan bongkar muat barang dan/atau menaik-turunkan penumpang.

Berdasarkan pengertian di atas dari pada ahli dan regulasi pemerintah pengertian dermaga adalah dermaga bukan sekedar tempat parkir kapal, melainkan sebuah fasilitas infrastruktur vital yang dirancang dengan spesifikasi teknis tertentu untuk memfasilitasi aktivitas bongkar muat, perpindahan penumpang, serta pelayanan kebutuhan kapal secara aman dan efisien.

8. Pelabuhan

Menurut Undang-Undang No.17 Tahun 2008 Tentang Pelayaran, Pelabuhan adalah tempat yang terdiri atas daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan pengusahaan yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, naik turun penumpang, dan/atau bongkar muat barang, berupa terminal dan tempat berlabuh kapal yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra-dan antarmoda transportasi.

Menurut Bambang Triatmodjo (2010) pelabuhan adalah suatu daerah perairan yang terlindungi dari gelombang, yang dilengkapi dengan fasilitas terminal laut meliputi dermaga di mana kapal dapat bertambat untuk bongkar muat barang, *crane* untuk bongkar muat barang, gudang laut (transshipment sheds), dan tempat penyimpanan di mana kapal membongkar muatannya.

Menurut Soedono Adisasmita (2011) pelabuhan sebagai suatu simpul dalam sistem transportasi nasional, tempat terjadinya perpindahan moda transportasi (intermoda). Pelabuhan berfungsi sebagai pintu gerbang *(gateway)* bagi perdagangan internasional maupun domestik, di mana efisiensi pelabuhan sangat menentukan biaya logistik suatu negara.

Menurut PP No. 69 Tahun 2001 pelabuhan adalah daerah daratan/perairan tertentu untuk kegiatan pemerintahan/ekonomi, tempat kapal bersandar,

bongkar muat barang/penumpang, dilengkapi fasilitas keselamatan pelayaran dan perpindahan intra/antarmoda.

Menurut peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia PM No. 51 Tahun 2015 yang dimaksud dengan pelabuhan laut adalah pelabuhan yang dapat digunakan untuk melayani kegiatan angkutan laut dan / atau angkutan penyeberangan yang terletak di laut dan di sungai.

Berdasarkan para ahli dan pengertian di atas dapat disimpulkan pelabuhan adalah Pelabuhan adalah ekosistem logistik yang menghubungkan jalur laut dan darat melalui fasilitas infrastruktur yang lengkap, guna memberikan pelayanan jasa transportasi dan perdagangan yang aman serta efisien.

9. Sumber Energi Angin

Sumber energi angin adalah energi kinetik dari pergerakan udara (angin) yang dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik atau menggerakkan mesin, dengan cara mengubah Gerakan turbin angin menjadi energi listrik melalui generator atau digunakan secara tradisional seperti perahu layer dan kincir angin. Angin ini dihasilkan oleh perbedaan suhu dan tekanan udara di bumi akibat pemanasan matahari yang tidak merata, seperti pengaruh topografi dan rotasi bumi.

Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (ESDM) energi angin didefinisikan sebagai udara bergerak dari tekanan tinggi ke rendah akibat pemanasan matahari, diubah menjadi energi kinetik atau listrik melalui turbin. Solar Industri (2024) menyatakan energi angin berasal dari pergerakan udara karena perbedaan suhu, termasuk sumber terbarukan tanpa emisi.

Menurut Bambang Harianto dan Muchamad Karjadi (2024) menyatakan energi angin sebagai sumber daya alami terbarukan dengan dampak lingkungan minimal, ideal untuk daerah terpencil.

Berdasarkan data DEN (2020) yang dikumpulkan, sekitar 166 situs di Indonesia telah diukur potensi energi anginnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 35 lokasi memiliki potensi energi anfin yang baik, dengan rata-rata kecepatan angin tahunan diatas 6 m/s. Selain itu, sekitar 34 lokasi juga memiliki energi angin yang cukup unuk dikembangkan; dengan rata-rata kecepatan angin berkisar antara 4 – 5 m/s.

Klasifikasi tingkat potensi energi angin pada beberapa wilayah beradasarkan kecepatan angin dan potensi daya yang dapat dibangkitkan dapat dilihat pada gambar 2.7

Gambar 2.7
Peta Potensi Energi Angin Indonesia

Dari peta yang disajikan dapat dilihat terdapat beberapa daerah yang ditandai warna merah yang menandakan daerah tersebut memiliki potensi energi angin yang tinggi dan dapat dijadikan sebagai energi berkelanjutan. Terdapat pada tabel 1.1 yang menjelaskan Potensi Energi Angin pada Beberapa Wilayah.

B. PENELITIAN TERDAHULU

Pada sub bab ini, penulis akan mengulas beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik skripsi ini, yakni pengaruh implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di dermaga pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar. Berikut merupakan tabel penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian penulis :

Tabel 2.3

Penelitian terdahulu

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti dan Tahun Terbit	Hasil Penelitian
1.	Pemanfaatan Energi Angin Untuk Menghasilkan Listrik LINK	(Marlon Hetharia, Sigit Hernowo, Siful Irianto, Kokoh Wicaksono, 2021)	Kecepatan angin dan temperatur udara sangat berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan. Semakin tinggi kecepatan angin dan semakin rendah temperatur udara (yang meningkatkan massa jenis udara), maka daya listrik yang dihasilkan akan semakin besar. Berdasarkan data perhitungan, pada kecepatan angin 3 m/s hingga 6 m/s, daya nyata yang dapat dihasilkan berkisar antara belasan hingga ratusan watt tergantung pada suhu lingkungan. Secara teoritis, turbin aktual dalam penelitian ini mencapai efisiensi sekitar 30%.
2.	Energi Terbarukan (Energi Angin,	(Zainal Arifin, Suyitno, D.	Mengonversi energi kinetik angin menjadi energi

	Energi Surya, Energi Air) LINK	Danardono Dwi Prija, 2023)	mekanik melalui turbin angin (jenis horizontal/HAWT atau vertikal/VAWT), yang kemudian memutar generator untuk menghasilkan listrik. Terdiri dari rotor, gearbox (untuk meningkatkan kecepatan putaran), generator, dan transformator untuk menaikkan tegangan sebelum didistribusikan. Efisiensi turbin sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin (optimal pada 3–20 m/s) dan Tip Speed Ratio (TSR) yang menentukan desain sudu.
3.	Analisis potensi angin dan penggunaan turbin angin pada bangunan tinggi yang terletak di sisi barat Kota Makassar LINK	(Andi Reski Rawal, 2023)	Penelitian ini menganalisis potensi angin di wilayah pesisir Makassar. Ditemukan bahwa kecepatan angin rata-rata berada pada kisaran 3,04 m/s hingga 4,8 m/s dengan arah angin dominan dari Barat. Data ini menunjukkan bahwa wilayah pesisir Makassar memiliki potensi yang layak untuk pengembangan PLTB skala mikro atau pemasangan turbin pada gedung tinggi.

4.	Analisis perkembangan pemanfaatan energi listrik tenaga bayu sebagai energi alternatif LINK	(Febby Putri Wulandari, Yushardi, Sudarti, 2023)	PLTB dinilai sebagai solusi energi terbarukan yang memiliki efisiensi kerja lebih baik dan lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi karbon dioksida atau pencemaran lainnya dibandingkan pembangkit listrik energi terbarukan lainnya.
5.	PLTB Sebagai Alternatif Energi Baru Terbarukan LINK	(Sudirman Lubis, Faisal Lubs, dan Partanoan Harahap, 2019)	Pemanfaatan alternator mobil sebagai generator pada PLTB sangat efektif dan ramah lingkungan karena tidak memerlukan bahan bakar fosil serta minim perawatan. Tujuan penelitian ini adalah Merealisasikan pembangkit listrik tenaga angin alternatif dengan memanfaatkan alternator mobil untuk menyediakan sumber listrik terbarukan.
6.	Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) 10 MW di Pulau Sumba, NTT LINK	(Harry Setyo Wibowo, Aditya Muhammad Nur, Mukhlis Ali, dan Dimas Alfredo, 2020)	Perancangan ini ditujukan untuk memenuhi kebutuhan listrik Pulau Sumba sebesar 10 MW. Dengan spesifikasi 105 buah turbin dengan tiga baling-baling, masing masing berdaya 100kW, penempatan turbin dilakukan secara berselang-

			seling (10 baris dan 11 kolom) untuk meminimalkan wake effect (penurunan kecepatan angin setelah melewati turbin di depannya). Dengan jarak optimal antar turbin dalam satu baris ditetapkan sejauh 200 meter, sedangkan jarak antar kolom adalah 250 meter.
7.	Pembangkit Listrik Tenaga Angin untuk Aplikasi Mikropower menggunakan Mikroturbin Generator LINK	(Munnik Haryanti, Bekti Yulianti, Nurwijayanti Kusuma Ningrum, 2022)	Pada pengujian dengan kecepatan angin konstan 9 m/s, dihasilkan daya output pada rotor sebesar 250 W dengan efisiensi rata-rata rotor sebesar 45%. Pada pengujian langsung di lepas pantai dengan kecepatan angin rata-rata 8,9 m/s, dihasilkan daya rata-rata sebesar 133,3 W. Ketinggian rata-rata yang disarankan untuk penerapan turbin angin ini adalah sekitar 4 meter. Ketinggian yang terlalu rendah (seperti pengujian pada 1,46 m) menghasilkan kecepatan angin dan daya yang lebih kecil (rata-rata 60,5 W). Kecepatan angin di atas 10 m/s perlu diwaspadai karena

			berpotensi merusak turbin, baling-baling, atau generator akibat daya yang dihasilkan terlalu tinggi.
8.	Analisis Ketersediaan Sistem Pembangkit Berbasiskan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) LINK	(Herki Desrizal, Iswadi Hasyim Rosma, 2018)	Rata-rata kecepatan angin tahunan adalah 2,27 m/s, yang masuk dalam klasifikasi kelompok II (2,5 – 4 m/s). Ketersediaan energi angin tertinggi terjadi pada pukul 16.00 sebesar 3,79 kW. Kecepatan angin tertinggi berada di bulan Januari dan Desember (2,87 m/s), sedangkan terendah pada bulan April (1,46 m/s). Secara ekonomi, semakin besar kapasitas energi terbarukan yang terpasang, maka tingkat penggunaan bahan bakar dan biaya operasional yang dikeluarkan akan semakin menurun.
9.	Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Untuk Daya Lampu Navigasi LINK	(Muhammad Rauf Abdillah, Agus Dwi Santoso, Faris Nofand, 2024)	Menggunakan metode Research and Development (R&D) untuk merancang dan menguji efektivitas produk. Sistem ini menggunakan turbin angin horizontal dengan 3 sudu (three bladed), generator 12 V, WindControl (sistem

			kontrol), baterai untuk penyimpanan daya, dan sensor arus/tegangan. Dengan cara kerja Angin memutar turbin lalu Generator mengubah energi mekanik menjadi listrik lalu WindControl mengatur distribusi daya lalu Energi disimpan di baterai lalu Daya disalurkan ke beban lampu navigasi DC 12/24 V.
10.	Pemanfaatan Potensi Energi Angin di MangunHarjo Semarang Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Skala Mikro LINK	(Dwiana Hendrawati, Sahid, Yanuar Mahfudz Safarudin, Anis Roihatin, 2021)	Lokasi Mangunharjo dipilih karena memenuhi syarat teknis dengan rata-rata kecepatan angin sebesar 3,08 m/s. Secara umum, wilayah yang layak untuk PLTB mikro harus memiliki kecepatan angin > 3,0 m/s. Terdiri dari runner turbin angin (hub dan sudu), generator listrik, baterai, automatic charging control, dan inverter. Beberapa kendala dalam penerapan EBT meliputi investasi awal yang relatif mahal dan terbatasnya penguasaan teknologi. Listrik yang dihasilkan digunakan untuk penerangan jalan di sekitar lokasi.

C. KERANGKA PEMIKIRAN

Kerangka pemikiran merupakan suatu konsep yang menggambarkan alur berpikir peneliti dalam memahami dan menganalisis suatu permasalahan berdasarkan teori yang relevan. Menurut Sugiyono (2024), dalam penelitian kualitatif, kerangka pemikiran berfungsi sebagai panduan dalam memahami fenomena secara mendalam serta menjelaskan hubungan antar konsep yang diteliti.

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik di Indonesia, khususnya pada sektor pelabuhan, diperlukan sumber energi yang andal, efisien, dan berkelanjutan. Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar sebagai salah satu pelabuhan utama memiliki aktivitas operasional yang berlangsung selama 24 jam, terutama pada area dermaga yang membutuhkan sistem penerangan yang optimal untuk mendukung keselamatan dan kelancaran kegiatan bongkar muat.

Saat ini, kebutuhan energi listrik di area dermaga masih didominasi oleh sumber energi konvensional (fosil). Ketergantungan tersebut tidak hanya berdampak pada tingginya biaya operasional, tetapi juga menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan berupa peningkatan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, diperlukan alternatif sumber energi yang lebih ramah lingkungan, salah satunya adalah energi angin yang termasuk dalam energi terbarukan.

Wilayah pesisir Makassar memiliki potensi energi angin yang cukup besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Namun, hingga saat ini pemanfaatannya masih belum optimal, khususnya di lingkungan pelabuhan. Permasalahan yang muncul adalah belum adanya kajian teknis yang komprehensif terkait potensi energi angin, serta belum adanya analisis mengenai jenis dan kapasitas turbin angin yang sesuai dengan kondisi geografis dan operasional pelabuhan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan fokus pada analisis studi kelayakan teknis dalam pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi alternatif. Penelitian dilakukan dengan mengkaji data sekunder dan hasil penelitian terdahulu, serta menganalisis kondisi eksisting di lapangan yang berkaitan dengan potensi energi angin dan kebutuhan listrik di area dermaga.

Proses analisis dalam penelitian ini meliputi pengkajian potensi energi angin, identifikasi kebutuhan energi listrik untuk penerangan dermaga, serta analisis

kesesuaian teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), termasuk pemilihan jenis turbin, kapasitas daya, dan aspek teknis lainnya. Selain itu, dilakukan pula evaluasi terhadap kemungkinan penerapan sistem PLTB dengan mempertimbangkan faktor efisiensi, keandalan, serta kesesuaian dengan kondisi operasional pelabuhan.

Hasil dari analisis tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran secara menyeluruh mengenai potensi pemanfaatan energi angin di Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar, serta menghasilkan rekomendasi teknis terkait penerapan PLTB sebagai sumber energi alternatif untuk sistem penerangan dermaga.

Dengan demikian, kerangka pemikiran dalam penelitian ini menekankan pada proses pemahaman fenomena dan analisis kelayakan teknis sebagai dasar dalam merumuskan rekomendasi pemanfaatan energi angin. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan kontribusi dalam pengembangan energi terbarukan di sektor kepelabuhanan serta mendukung terwujudnya konsep pelabuhan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan *(Green Port)*.

Penelitian ini tidak bertujuan untuk menguji hipotesis, melainkan untuk memahami dan menganalisis secara mendalam potensi serta kelayakan teknis pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi alternatif di lingkungan pelabuhan.

Bagan 2.1

Kerangka Berpikir

ANALISIS STUDI KELAYAKAN TEKNIS DALAM INSTALASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU SEBAGAI ENERGI BERKELANJUTAN UNTUK PENERANGAN DI AREA DERMAGA PELABUHAN SOEKARNO-HATTA MAKASSAR

↓

PERMASALAHAN

1. Belum ada analisis pemilihan jenis dan kapasitas turbin angin yang sesuai dengan karakteristik angin dan lingkungan pelabuhan
2. Potensi energi angin di wilayah dermaga Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar belum dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif.

↓

PENYEBAB

1. Lokasi pelabuhan memiliki potensi angin laut yang besar namun belum dikonversi menjadi energi listrik.
2. Belum adanya kajian teknis mengenai jenis turbin yang sesuai agar dapat menghasilkan energi listrik yang cukup untuk penerangan di area dermaga Pelabuhan Soekarno-Hatta.

↓

Analisis SWOT

(Strengths, Weakness, Opportunities, Threats)

↓

AKIBAT

Ketergantungan penuh pada satu sumber energi dan tidak mengoptimalkan potensi angin yang berada di wilayah Makassar

↓

SOLUSI

Melakukan studi kelayakan teknis dan menentukan jenis turbin untuk memanfaatkan energi angin sebagai energi berkelanjutan.

↓

TUJUAN

Mengetahui rata-rata kecepatan angin harian di Pelabuhan Sekarno-Hatta Makassar dan memberikan rekomendasi teknis yang paling efektif dalam rangka mewujudkan sistem penerangan mandiri yang ramah lingkungan dan berkelanjutan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai studi kelayakan teknis pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi alternatif untuk sistem penerangan dermaga di Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Potensi pemanfaatan energi angin di Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar

   Berdasarkan data BMKG tahun 2025, wilayah pesisir Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar memiliki kecepatan angin rata-rata berkisar 2–3 m/s dengan rata-rata sekitar 3,64 m/s. Kecepatan angin tersebut termasuk kategori rendah hingga menengah (low wind speed), sehingga belum optimal untuk pembangkit listrik tenaga bayu skala besar. Namun, kondisi tersebut masih layak dimanfaatkan untuk PLTB skala mikro, khususnya sebagai sumber energi tambahan pada sistem penerangan dermaga.

   Hasil perhitungan daya menunjukkan bahwa satu turbin kecil mampu menghasilkan sekitar 28 Watt, sehingga apabila digunakan beberapa turbin secara bersamaan dapat dimanfaatkan untuk mendukung sistem lampu LED dan penerangan tambahan di area dermaga. Selain itu, kondisi angin yang relatif stabil menjadi nilai positif dalam pengembangan PLTB skala kecil di kawasan pelabuhan.Berdasarkan dari hasil analisis bahwasannya strategi yang paling tepat yaitu strategi SO, yaitu dengan mengembangkan *pilot project* PLTB yang di integrasi dengan *green port* yang di dukung oleh kebijakan pemerintah, mengoptimalkan penggunaan PLTB untuk mendukung pengurangan emisi, mengadopsi teknologi turbin terbaru untuk meniingkatkan efisiensi, dan mengintegrasikan PLTB dalam mendukung konsep *green port*

2. Jenis turbin yang sesuai untuk kondisi Pelabuhan Soekarno-Hatta Makassar Berdasarkan hasil analisis spesifikasi teknis turbin angin, jenis turbin yang paling sesuai digunakan adalah Vertical Axis Wind Turbine (VAWT). Turbin tipe ini lebih cocok digunakan pada wilayah dengan kecepatan angin rendah karena mampu bekerja tanpa bergantung pada arah angin dan memiliki sistem yang lebih sederhana dibandingkan Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT).

B. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Penelitian ini masih menggunakan data sekunder dan simulasi sederhana, sehingga diperlukan penelitian lanjutan menggunakan pengukuran langsung di lapangan dalam jangka waktu yang lebih panjang agar diperoleh data kecepatan angin yang lebih akurat dan spesifik terhadap kondisi operasional dermaga.
2. Meskipun strategi utama yang diperoleh adalah strategi SO, penulis menyarankan agar pengembangan PLTB tetap dikombinasikan dengan sistem hybrid seperti PLTS, baterai penyimpanan energi, maupun suplai listrik PLN. Hal ini bertujuan untuk menjaga kestabilan pasokan energi penerangan dermaga mengingat output energi angin sangat dipengaruhi kondisi cuaca dan perubahan pola angin.
3. Dalam proses perencanaan dan pemasangan turbin angin, perlu dilakukan pengkajian teknis yang matang terkait tata letak turbin agar tidak mengganggu aktivitas bongkar muat, jalur navigasi kapal, maupun sistem operasional pelabuhan lainnya.
4. Penulis menyarankan adanya peningkatan pelatihan dan pengembangan sumber daya manusia di bidang energi angin serta pengadaan teknologi turbin yang sesuai dengan karakteristik angin di Indonesia, khususnya wilayah pesisir Makassar. Hal ini penting untuk mendukung keberlanjutan operasional dan pemeliharaan sistem PLTB dalam jangka panjang.
5. Pengembangan PLTB sebaiknya dilakukan secara bertahap dimulai dari proyek percontohan (pilot project) skala kecil untuk penerangan dermaga. Melalui tahap ini, efektivitas sistem, efisiensi energi, serta kendala operasional dapat dievaluasi terlebih dahulu sebelum dilakukan pengembangan dalam kapasitas yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

Adisasmita, S. (2011). *Manajemen Transportasi*. Jakarta: RajaGrafindo Persada.

Arifin, Z., Suyitno, & Prija, D. D. (2023). *Energi Terbarukan (Energi Angin, Energi Surya, Energi Air)*. Yogyakarta: Deepublish.

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2025). *Data Kecepatan Angin Stasiun Meteorologi Maritim Paotere Makassar Tahun 2025*. Makassar: BMKG.

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2020). *Outlook Energi Indonesia 2020*. Jakarta: BPPT.

Habibi, R., & Aprilian, R. (2020). *Tutorial dan Penjelasan Aplikasi E-Office Berbasis Web Menggunakan Metode RAD*. Bandung: Kreatif Industri Nusantara.

Hetharia, M., Hernowo, S., Irianto, S., & Wicaksono, K. (2021). Pemanfaatan energi angin untuk menghasilkan listrik. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(2), 45–53.

Jogiyanto, H. M. (2013). *Analisis dan Desain Sistem Informasi*. Yogyakarta: Andi Offset.

Kasmir, & Jakfar. (2012). *Studi Kelayakan Bisnis.* Jakarta: Kencana Prenada Media Group.

Kholiq, I. (2015). *Energi Terbarukan: Konsep Dasar Menuju Kemandirian Energi.* Yogyakarta: LP3M UMY.

Komaruddin. (2020). *Analisis Sistem Informasi*. Jakarta: Bumi Aksara.

Krisnawati. (2021). *Pengantar Analisis Data Penelitian*. Bandung: Alfabeta.

Logique Digital Indonesia. (2021). Technical feasibility study. [https://www.logique.co.id/blog/2021/08/27/feasibilitystudy/](https://www.logique.co.id/blog/2021/08/27/feasibility-study/)

Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2010 tentang Perlindungan Lingkungan Maritim.

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional.

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional.

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik.

Pakpahan, S. (2024). *Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Medan: Universitas HKBP Nommensen Press.

Rafdi, A. (2021). Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga bayu sebagai energi alternatif. *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 13(1), 25–31.

Rais, M. (2024). Pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi terbarukan pada pembangkit listrik tenaga bayu. *Jurnal Teknologi Energi*, 8(2), 77–85.

Rawal, A. R. (2023). *Analisis Potensi Angin dan Penggunaan Turbin Angin pada Bangunan Tinggi di Kota Makassar*. Makassar: Universitas Hasanuddin.

Sugiyono. (2015). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

Sugiyono. (2024). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

Trac Consulting. (2023). Technical feasibility study.

[https://tracconsulting.com/technicalfeasibilitystudy/](https://tracconsulting.com/technical-feasibility-study/)

Triatmodjo, B. (2010). *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.

Ujang, & Andres. (2015). Analisis sistem pembangkit listrik tenaga bayu sebagai energi alternatif. *Jurnal Teknik Elektro*, 7(1), 15–22.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Widana, I. K. (2020). *Studi Kelayakan Bisnis*. Bali: Penerbit Widina Bhakti Persada.

Wulandari, F., Yushardi, & Sudarti. (2023). Analisis perkembangan pemanfaatan energi listrik tenaga bayu sebagai energi alternatif. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 9(1), 55–64.

Data GoodStats. (2025). Realisasi konsumsi listrik Indonesia 2021–2025.

https://data.goodstats.id/statistic/realisasi-konsumsi-listrik-indonesia-2021-2025-TX9BJ

Institut Teknologi Kalimantan. (2023). Pengetahuan teknik elektro: Bayu si penghasil listrik.

https://ee.itk.ac.id/berita/detail/pengetahuan-teknik-elektro-bayu-si-penghasil-listrik

IAES Indonesia. (2023). Perbandingan antara turbin angin sumbu horizontal dan vertikal

https://iaes.or.id/perbandingan-antara-turbin-angin-sumbu-horizontal-dan-vertikal/

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Data mentah kecepatan angin BMKG bulan Januari tahun 2025

BMKG

ID WMO :97182
Nama Stasiun :Stasiun Meteorologi Maritim Paotere
Lintang :-5.11375
Bujur :119.41983
Elevasi :5 Meter

Tanggal	ff_x	ddd_x	ff_avg	ddd_car
01-01-2025	6.0	250	2.0	E
02-01-2025	6.0	270	2.0	E
03-01-2025	5.0	330	2.0	E
04-01-2025	7.0	310	3.0	E
05-01-2025	7.0	310	2.0	NW
06-01-2025	5.0	310	2.0	NW
07-01-2025	4.0	270	2.0	SE
08-01-2025	4.0	290	2.0	E
09-01-2025	6.0	240	3.0	E
10-01-2025	5.0	320	2.0	NW
11-01-2025	3.0	330	1.0	E
12-01-2025	7.0	310	3.0	NW
13-01-2025	6.0	50	2.0	E
14-01-2025	10.0	310	3.0	E
15-01-2025	8.0	350	3.0	E
16-01-2025	11.0	280	3.0	NW
17-01-2025	6.0	310	3.0	E
18-01-2025	8.0	5	2.0	NW
19-01-2025	6.0	290	2.0	E
20-01-2025	4.0	310	2.0	E
21-01-2025	3.0	230	1.0	C
22-01-2025	5.0	280	2.0	SE
23-01-2025	6.0	290	2.0	E
24-01-2025	6.0	290	1.0	C
25-01-2025	6.0	280	2.0	E
26-01-2025	9.0	330	3.0	NW
27-01-2025	8.0	320	2.0	E
28-01-2025	4.0	260	1.0	E
29-01-2025	7.0	300	2.0	NW
30-01-2025	7.0	270	3.0	E
31-01-2025	8.0	280	2.0	E

KETERANGAN:
8888: Data tidak terukur
9999: Tidak Ada Data (tidak dilakukan pengukuran)
ff_x: Kecepatan angin maksimum(m/s)
ddd_x: Arah angin saat kecepatan maksimum(°)
ff_avg: Kecepatan angin rata-rata(m/s)
ddd_car: Arah angin terbanyak(°)

Lampiran 2 : Data mentah kecepatan angin BMKG bulan Februari tahun 2025

BMKG

ID WMO :97182
Nama Stasiun :Stasiun Meteorologi Maritim Paotere
Lintang :-5.11375
Bujur :119.41983
Elevasi :5 Meter

Tanggal	ff_x	ddd_x	ff_avg	ddd_car
01-02-2025	6.0	30	2.0	E
02-02-2025	5.0	320	2.0	N
03-02-2025	3.0	290	1.0	NW
04-02-2025	5.0	330	1.0	NW
05-02-2025	5.0	300	2.0	NW
06-02-2025	6.0	300	2.0	SE
07-02-2025	7.0	310	3.0	NE
08-02-2025	8.0	280	5.0	W
09-02-2025	8.0	280	3.0	E
10-02-2025	9.0	290	6.0	W
11-02-2025	8.0	280	3.0	E
12-02-2025	8.0	310	2.0	E
13-02-2025	5.0	310	2.0	E
14-02-2025	3.0	310	2.0	E
15-02-2025	7.0	270	2.0	E
16-02-2025	3.0	310	1.0	E
17-02-2025	3.0	310	1.0	E
18-02-2025	4.0	310	2.0	E
19-02-2025	4.0	320	2.0	NW
20-02-2025	9.0	310	2.0	E
21-02-2025	5.0	310	2.0	E
22-02-2025	8.0	300	2.0	E
23-02-2025	6.0	310	2.0	E
24-02-2025	7.0	306	2.0	E
25-02-2025	3.0	280	1.0	E
26-02-2025	5.0	240	2.0	SE
27-02-2025	2.0	310	1.0	SE
28-02-2025	3.0	296	2.0	E

KETERANGAN:
8888: Data tidak terukur
9999: Tidak Ada Data (tidak dilakukan pengukuran)
ff_x: Kecepatan angin maksimum(m/s)
ddd_x: Arah angin saat kecepatan maksimum(°)
ff_avg: Kecepatan angin rata-rata(m/s)
ddd_car: Arah angin terbanyak(°)

Lampiran 3 : Data mentah kecepatan angin BMKG bulan Maret tahun 2025

BMKG

ID WMO :97182
Nama Stasiun :Stasiun Meteorologi Maritim Paotere
Lintang :-5.11375
Bujur :119.41983
Elevasi :5 Meter

Tanggal	ff_x	ddd_x	ff_avg	ddd_car
01-03-2025	5.0	240	2.0	SE
02-03-2025	4.0	300	2.0	SE
03-03-2025	5.0	285	2.0	W
04-03-2025	5.0	310	2.0	E
05-03-2025	3.0	303	2.0	SE
06-03-2025	4.0	311	2.0	E
07-03-2025	6.0	300	2.0	E
08-03-2025	3.0	340	2.0	E
09-03-2025	7.0	290	2.0	SE
10-03-2025	3.0	130	2.0	E
11-03-2025	5.0	315	2.0	SE
12-03-2025	4.0	293	2.0	E
13-03-2025	5.0	330	2.0	E
14-03-2025	4.0	220	2.0	E
15-03-2025	3.0	270	1.0	E
16-03-2025	4.0	220	2.0	E
17-03-2025	7.0	310	2.0	E
18-03-2025	5.0	300	2.0	SE
19-03-2025	4.0	210	2.0	SE
20-03-2025	6.0	300	2.0	E
21-03-2025	4.0	290	2.0	E
22-03-2025	3.0	277	2.0	E
23-03-2025	5.0	190	2.0	E
24-03-2025	4.0	90	2.0	E
25-03-2025	5.0	310	2.0	E
26-03-2025	2.0	290	1.0	E
27-03-2025	2.0	90	1.0	E
28-03-2025	3.0	310	2.0	W
29-03-2025	5.0	330	2.0	E
30-03-2025	8.0	320	2.0	E
31-03-2025	5.0	320	1.0	E

KETERANGAN:
8888: Data tidak terukur
9999: Tidak Ada Data (tidak dilakukan pengukuran)
ff_x: Kecepatan angin maksimum(m/s)
ddd_x: Arah angin saat kecepatan maksimum(°)
ff_avg: Kecepatan angin rata-rata(m/s)
ddd_car: Arah angin terbanyak(°)

Lampiran 4 : Data mentah kecepatan angin BMKG bulan April tahun 2025

BMKG

ID WMO :97182
Nama Stasiun :Stasiun Meteorologi Maritim Paotere
Lintang :-5.11375
Bujur :119.41983
Elevasi :5 Meter

Tanggal	ff_x	ddd_x	ff_avg	ddd_car
01-04-2025	9.0	296	2.0	E
02-04-2025	4.0	310	2.0	E
03-04-2025	4.0	300	2.0	E
04-04-2025	3.0	320	2.0	E
05-04-2025	7.0	320	2.0	SE
06-04-2025	8.0	320	2.0	E
07-04-2025	5.0	200	2.0	E
08-04-2025	3.0	160	1.0	E
09-04-2025	7.0	310	2.0	E
10-04-2025	3.0	310	1.0	SE
11-04-2025	3.0	296	2.0	E
12-04-2025	5.0	300	2.0	SE
13-04-2025	3.0	315	1.0	E
14-04-2025	5.0	317	2.0	NW
15-04-2025	5.0	320	2.0	NW
16-04-2025	3.0	299	2.0	E
17-04-2025	5.0	280	2.0	E
18-04-2025	3.0	260	2.0	E
19-04-2025	3.0	316	1.0	NW
20-04-2025	4.0	104	2.0	W
21-04-2025	3.0	220	2.0	E
22-04-2025	3.0	242	2.0	SE
23-04-2025	2.0	285	2.0	SE
24-04-2025	3.0	294	2.0	W
25-04-2025	3.0	290	2.0	E
26-04-2025	3.0	297	2.0	SE
27-04-2025	10.0	310	2.0	SE
28-04-2025	3.0	210	1.0	SE
29-04-2025	4.0	201	2.0	E
30-04-2025	5.0	310	2.0	NW

KETERANGAN:
8888: Data tidak terukur
9999: Tidak Ada Data (tidak dilakukan pengukuran)
ff_x: Kecepatan angin maksimum(m/s)
ddd_x: Arah angin saat kecepatan maksimum(°)
ff_avg: Kecepatan angin rata-rata(m/s)
ddd_car: Arah angin terbanyak(°)

Lampiran 5 : Data mentah kecepatan angin BMKG bulan Mei tahun 2025

BMKG

ID WMO :97182
Nama Stasiun :Stasiun Meteorologi Maritim Paotere
Lintang :-5.11375
Bujur :119.41983
Elevasi :5 Meter

Tanggal	ff_x	ddd_x	ff_avg	ddd_car
01-05-2025	5.0	190	2.0	E
02-05-2025	3.0	300	2.0	E
03-05-2025	3.0	300	2.0	E
04-05-2025	4.0	320	2.0	SE
05-05-2025	3.0	281	1.0	SE
06-05-2025	3.0	306	1.0	E
07-05-2025	3.0	100	1.0	E
08-05-2025	2.0	295	1.0	E
09-05-2025	3.0	300	2.0	SE
10-05-2025	4.0	150	2.0	SE
11-05-2025	5.0	300	2.0	E
12-05-2025	3.0	294	2.0	E
13-05-2025	3.0	290	2.0	E
14-05-2025	4.0	120	2.0	E
15-05-2025	3.0	170	2.0	W
16-05-2025	3.0	50	2.0	E
17-05-2025	4.0	60	2.0	NE
18-05-2025	3.0	318	2.0	NW
19-05-2025	4.0	240	2.0	SE
20-05-2025	3.0	137	2.0	SE
21-05-2025	3.0	260	1.0	W
22-05-2025	4.0	290	2.0	E
23-05-2025	4.0	290	2.0	E
24-05-2025	3.0	190	1.0	E
25-05-2025	3.0	299	2.0	E
26-05-2025	3.0	230	2.0	E
27-05-2025	5.0	230	2.0	E
28-05-2025	2.0	260	1.0	E
29-05-2025	3.0	210	1.0	SE
30-05-2025	4.0	330	1.0	E
31-05-2025	6.0	230	2.0	SE

KETERANGAN:
8888: Data tidak terukur
9999: Tidak Ada Data (tidak dilakukan pengukuran)
ff_x: Kecepatan angin maksimum(m/s)
ddd_x: Arah angin saat kecepatan maksimum(°)
ff_avg: Kecepatan angin rata-rata(m/s)
ddd_car: Arah angin terbanyak(°)

Lampiran 6 : Data mentah kecepatan angin BMKG bulan Juni tahun 2025

ID WMO :97182
Nama Stasiun :Stasiun Meteorologi Maritim Paotere
Lintang :-5.11375
Bujur :119.41983
Elevasi :5 Meter

Tanggal	ff_x	ddd_x	ff_avg	ddd_car
01-06-2025	5.0	306	2.0	E
02-06-2025	5.0	300	2.0	E
03-06-2025	2.0	170	1.0	E
04-06-2025	3.0	307	2.0	NW
05-06-2025	4.0	188	2.0	SE
06-06-2025	3.0	310	2.0	SE
07-06-2025	3.0	100	2.0	SE
08-06-2025	2.0	270	1.0	SE
09-06-2025	3.0	230	2.0	SE
10-06-2025	3.0	301	1.0	SE
11-06-2025	3.0	289	1.0	E
12-06-2025	2.0	171	1.0	SE
13-06-2025	4.0	230	2.0	E
14-06-2025	5.0	300	2.0	E
15-06-2025	3.0	292	2.0	W
16-06-2025	3.0	65	1.0	SE
17-06-2025	3.0	304	1.0	E
18-06-2025	3.0	100	1.0	SE
19-06-2025	4.0	300	2.0	E
20-06-2025	3.0	175	2.0	E
21-06-2025	3.0	312	1.0	SE
22-06-2025	3.0	237	1.0	E
23-06-2025	3.0	169	2.0	E
24-06-2025	3.0	314	1.0	SE
25-06-2025	2.0	128	1.0	SE
26-06-2025	3.0	124	2.0	SE
27-06-2025	3.0	85	1.0	SE
28-06-2025	5.0	310	2.0	SE
29-06-2025	3.0	150	1.0	SE
30-06-2025	3.0	200	1.0	W

KETERANGAN:
8888: Data tidak terukur
9999: Tidak Ada Data (tidak dilakukan pengukuran)
ff_x: Kecepatan angin maksimum(m/s)
ddd_x: Arah angin saat kecepatan maksimum(°)
ff_avg: Kecepatan angin rata-rata(m/s)
ddd_car: Arah angin terbanyak(°)

Lampiran 7 : Data mentah kecepatan angin BMKG bulan Juli tahun 2025

ID WMO :97182
Nama Stasiun :Stasiun Meteorologi Maritim Paotere
Lintang :-5.11375
Bujur :119.41983
Elevasi :5 Meter

Tanggal	ff_x	ddd_x	ff_avg	ddd_car
01-07-2025	4.0	300	1.0	SE
02-07-2025	4.0	160	2.0	SE
03-07-2025	4.0	300	2.0	E
04-07-2025	5.0	140	2.0	SE
05-07-2025	2.0	140	1.0	SE
06-07-2025	2.0	250	1.0	W
07-07-2025	3.0	310	2.0	W
08-07-2025	6.0	170	1.0	SE
09-07-2025	5.0	190	2.0	SE
10-07-2025	4.0	300	2.0	SE
11-07-2025	4.0	30	2.0	S
12-07-2025	3.0	292	1.0	W
13-07-2025	3.0	280	1.0	W
14-07-2025	4.0	190	2.0	W
15-07-2025	2.0	310	1.0	SE
16-07-2025	3.0	300	1.0	SE
17-07-2025	4.0	260	2.0	SE
18-07-2025	4.0	214	2.0	SE
19-07-2025	4.0	300	2.0	SE
20-07-2025	3.0	230	2.0	SE
21-07-2025	4.0	310	2.0	W
22-07-2025	4.0	270	1.0	SE
23-07-2025	4.0	280	2.0	E
24-07-2025	3.0	310	2.0	E
25-07-2025	2.0	270	1.0	SE
26-07-2025	3.0	10	2.0	SE
27-07-2025	3.0	270	2.0	SE
28-07-2025	3.0	290	2.0	SE
29-07-2025	2.0	290	1.0	S
30-07-2025	4.0	190	2.0	S
31-07-2025	4.0	290	2.0	SE

KETERANGAN:
8888: Data tidak terukur
9999: Tidak Ada Data (tidak dilakukan pengukuran)
ff_x: Kecepatan angin maksimum(m/s)
ddd_x: Arah angin saat kecepatan maksimum(°)
ff_avg: Kecepatan angin rata-rata(m/s)
ddd_car: Arah angin terbanyak(°)

Lampiran 8 : Data mentah kecepatan angin BMKG bulan Agustus tahun 2025

BMKG

ID WMO :97182
Nama Stasiun :Stasiun Meteorologi Maritim Paotere
Lintang :-5.11375
Bujur :119.41983
Elevasi :5 Meter

Tanggal	ff_x	ddd_x	ff_avg	ddd_car
01-08-2025	3.0	310	1.0	W
02-08-2025	3.0	230	2.0	SW
03-08-2025	4.0	260	2.0	SE
04-08-2025	4.0	300	2.0	W
05-08-2025	3.0	230	2.0	SE
06-08-2025	4.0	230	2.0	E
07-08-2025	4.0	200	1.0	S
08-08-2025	4.0	300	2.0	SE
09-08-2025	3.0	280	1.0	W
10-08-2025	3.0	310	1.0	E
11-08-2025	3.0	230	1.0	E
12-08-2025	3.0	120	2.0	SE
13-08-2025	3.0	280	2.0	W
14-08-2025	3.0	261	2.0	W
15-08-2025	3.0	300	2.0	W
16-08-2025	3.0	300	2.0	SE
17-08-2025	4.0	110	2.0	E
18-08-2025	4.0	230	2.0	W
19-08-2025	3.0	290	1.0	SE
20-08-2025	3.0	300	2.0	E
21-08-2025	4.0	310	2.0	E
22-08-2025	3.0	250	2.0	E
23-08-2025	3.0	230	2.0	SE
24-08-2025	3.0	240	1.0	W
25-08-2025	3.0	220	1.0	SE
26-08-2025	3.0	236	1.0	E
27-08-2025	6.0	188	2.0	SE
28-08-2025	4.0	210	2.0	SE
29-08-2025	4.0	180	2.0	S
30-08-2025	4.0	140	2.0	W
31-08-2025	3.0	290	2.0	W

KETERANGAN:
8888: Data tidak terukur
9999: Tidak Ada Data (tidak dilakukan pengukuran)
ff_x: Kecepatan angin maksimum(m/s)
ddd_x: Arah angin saat kecepatan maksimum(°)
ff_avg: Kecepatan angin rata-rata(m/s)
ddd_car: Arah angin terbanyak(°)

Lampiran 9 : Data mentah kecepatan angin BMKG bulan September tahun 2025

BMKG

ID WMO :97182
Nama Stasiun :Stasiun Meteorologi Maritim Paotere
Lintang :-5.11375
Bujur :119.41983
Elevasi :5 Meter

Tanggal	ff_x	ddd_x	ff_avg	ddd_car
01-09-2025	6.0	60	3.0	E
02-09-2025	5.0	70	2.0	E
03-09-2025	4.0	91	2.0	E
04-09-2025	3.0	280	2.0	W
05-09-2025	3.0	270	1.0	W
06-09-2025	4.0	240	2.0	E
07-09-2025	5.0	220	2.0	S
08-09-2025	4.0	320	2.0	E
09-09-2025	4.0	190	2.0	E
10-09-2025	5.0	320	2.0	SE
11-09-2025	3.0	240	2.0	W
12-09-2025	3.0	320	2.0	W
13-09-2025	3.0	280	2.0	W
14-09-2025	3.0	230	1.0	SE
15-09-2025	4.0	234	2.0	SE
16-09-2025	3.0	250	2.0	W
17-09-2025	3.0	240	2.0	W
18-09-2025	3.0	257	2.0	W
19-09-2025	3.0	260	2.0	W
20-09-2025	3.0	230	1.0	W
21-09-2025	4.0	240	2.0	SE
22-09-2025	3.0	250	1.0	W
23-09-2025	4.0	240	2.0	SE
24-09-2025	3.0	230	2.0	SW
25-09-2025	3.0	240	2.0	W
26-09-2025	3.0	290	2.0	W
27-09-2025	4.0	233	2.0	W
28-09-2025	3.0	150	2.0	E
29-09-2025	3.0	230	2.0	E
30-09-2025	4.0	185	2.0	SE

KETERANGAN:
8888: Data tidak terukur
9999: Tidak Ada Data (tidak dilakukan pengukuran)
ff_x: Kecepatan angin maksimum(m/s)
ddd_x: Arah angin saat kecepatan maksimum(°)
ff_avg: Kecepatan angin rata-rata(m/s)
ddd_car: Arah angin terbanyak(°)

Lampiran 10 : Data mentah kecepatan angin BMKG bulan Oktober tahun 2025

BMKG

ID WMO :97182
Nama Stasiun :Stasiun Meteorologi Maritim Paotere
Lintang :-5.11375
Bujur :119.41983
Elevasi :5 Meter

Tanggal	ff_x	ddd_x	ff_avg	ddd_car
01-10-2025	3.0	250	1.0	W
02-10-2025	3.0	246	1.0	E
03-10-2025	4.0	197	2.0	W
04-10-2025	4.0	310	2.0	W
05-10-2025	5.0	300	2.0	SE
06-10-2025	3.0	230	2.0	E
07-10-2025	4.0	220	1.0	SE
08-10-2025	4.0	120	2.0	SE
09-10-2025	4.0	180	2.0	SW
10-10-2025	4.0	210	2.0	SE
11-10-2025	3.0	110	2.0	E
12-10-2025	3.0	240	2.0	W
13-10-2025	4.0	230	2.0	E
14-10-2025	5.0	150	2.0	E
15-10-2025	3.0	300	2.0	W
16-10-2025	3.0	310	2.0	SE
17-10-2025	4.0	240	2.0	SE
18-10-2025	5.0	218	2.0	E
19-10-2025	3.0	250	2.0	E
20-10-2025	4.0	310	2.0	E
21-10-2025	6.0	310	2.0	E
22-10-2025	5.0	320	2.0	E
23-10-2025	4.0	290	2.0	E
24-10-2025	3.0	290	2.0	E
25-10-2025	4.0	310	2.0	E
26-10-2025	7.0	320	3.0	SE
27-10-2025	2.0	310	1.0	E
28-10-2025	5.0	300	2.0	E
29-10-2025	4.0	300	2.0	NW
30-10-2025	3.0	230	2.0	E
31-10-2025	6.0	307	2.0	SE

KETERANGAN:
8888: Data tidak terukur
9999: Tidak Ada Data (tidak dilakukan pengukuran)
ff_x: Kecepatan angin maksimum(m/s)
ddd_x: Arah angin saat kecepatan maksimum(°)
ff_avg: Kecepatan angin rata-rata(m/s)
ddd_car: Arah angin terbanyak(°)

Lampiran 11 : Data mentah kecepatan angin BMKG bulan November tahun 2025

BMKG

ID WMO :97182
Nama Stasiun :Stasiun Meteorologi Maritim Paotere
Lintang :-5.11375
Bujur :119.41983
Elevasi :5 Meter

Tanggal	ff_x	ddd_x	ff_avg	ddd_car
01-11-2025	4.0	290	2.0	E
02-11-2025	6.0	110	2.0	E
03-11-2025	4.0	300	2.0	E
04-11-2025	6.0	315	2.0	E
05-11-2025	4.0	311	2.0	E
06-11-2025	4.0	310	2.0	E
07-11-2025	5.0	320	2.0	E
08-11-2025	3.0	190	2.0	E
09-11-2025	7.0	310	3.0	NW
10-11-2025	4.0	310	2.0	E
11-11-2025	6.0	320	2.0	E
12-11-2025	5.0	280	2.0	E
13-11-2025	7.0	320	3.0	NW
14-11-2025	4.0	290	2.0	E
15-11-2025	3.0	240	1.0	E
16-11-2025	4.0	320	2.0	NW
17-11-2025	3.0	290	2.0	E
18-11-2025	7.0	310	2.0	NW
19-11-2025	5.0	310	2.0	E
20-11-2025	4.0	301	2.0	E
21-11-2025	4.0	50	2.0	E
22-11-2025	3.0	310	2.0	E
23-11-2025	4.0	270	2.0	E
24-11-2025	5.0	190	2.0	E
25-11-2025	3.0	220	2.0	E
26-11-2025	5.0	310	2.0	E
27-11-2025	4.0	310	2.0	SE
28-11-2025	4.0	300	2.0	E
29-11-2025	7.0	100	2.0	E
30-11-2025	6.0	300	2.0	E

KETERANGAN:
8888: Data tidak terukur
9999: Tidak Ada Data (tidak dilakukan pengukuran)
ff_x: Kecepatan angin maksimum(m/s)
ddd_x: Arah angin saat kecepatan maksimum(°)
ff_avg: Kecepatan angin rata-rata(m/s)
ddd_car: Arah angin terbanyak(°)

Lampiran 12 : Data mentah kecepatan angin BMKG bulan Desember tahun 2025

BMKG

ID WMO :97182
Nama Stasiun :Stasiun Meteorologi Maritim Paotere
Lintang :-5.11375
Bujur :119.41983
Elevasi :5 Meter

Tanggal	ff_x	ddd_x	ff_avg	ddd_car
01-12-2025	3.0	285	2.0	E
02-12-2025	5.0	293	2.0	E
03-12-2025	7.0	320	2.0	E
04-12-2025	4.0	310	2.0	NW
05-12-2025	4.0	310	2.0	E
06-12-2025	4.0	310	2.0	E
07-12-2025	3.0	310	2.0	E
08-12-2025	5.0	310	2.0	NW
09-12-2025	4.0	200	2.0	E
10-12-2025	3.0	160	1.0	E
11-12-2025	4.0	320	2.0	E
12-12-2025	5.0	310	3.0	NW
13-12-2025	6.0	323	2.0	E
14-12-2025	4.0	290	2.0	E
15-12-2025	7.0	310	2.0	E
16-12-2025	5.0	290	2.0	E
17-12-2025	5.0	305	2.0	E
18-12-2025	5.0	311	2.0	E
19-12-2025	4.0	266	2.0	E
20-12-2025	3.0	210	2.0	E
21-12-2025	3.0	280	2.0	E
22-12-2025	4.0	268	2.0	W
23-12-2025	4.0	320	2.0	E
24-12-2025	4.0	310	2.0	E
25-12-2025	5.0	310	2.0	E
26-12-2025	4.0	300	2.0	E
27-12-2025	7.0	313	2.0	E
28-12-2025	10.0	80	2.0	E
29-12-2025	4.0	80	2.0	E
30-12-2025	4.0	300	2.0	E
31-12-2025	4.0	310	2.0	NW

KETERANGAN:
8888: Data tidak terukur
9999: Tidak Ada Data (tidak dilakukan pengukuran)
ff_x: Kecepatan angin maksimum(m/s)
ddd_x: Arah angin saat kecepatan maksimum(°)
ff_avg: Kecepatan angin rata-rata(m/s)
ddd_car: Arah angin terbanyak(°)

Lampiran 13 : Grafik histori kecepatan angin maksimum, rata-rata, dan arah angin

BMKG

ID WMO	: 97182
NAMA STASIUN	: Stasiun Meteorologi Maritim Paotere
LINTANG	: -5.11375
BUJUR	: 119.41983
ELEVASI	: 5 Meter

Data Angin Pertahun 2025

Kecepatan Angin Maksimum

Bulan	Tanggal																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jan	6,0	6,0	5,0	7,0	7,0	5,0	4,0	4,0	6,0	5,0	3,0	7,0	6,0	10,0	8,0	11,0	6,0	8,0	6,0	4,0	3,0	5,0	6,0	6,0	6,0	9,0	8,0	4,0	7,0	7,0	8,0
Feb	6,0	5,0	3,0	5,0	5,0	6,0	7,0	8,0	8,0	9,0	8,0	8,0	5,0	3,0	7,0	3,0	3,0	4,0	4,0	9,0	5,0	8,0	6,0	7,0	3,0	5,0	2,0	3,0			
Mar	5,0	4,0	5,0	5,0	3,0	4,0	6,0	3,0	7,0	3,0	5,0	4,0	5,0	4,0	3,0	4,0	7,0	5,0	4,0	6,0	4,0	3,0	5,0	4,0	5,0	2,0	2,0	3,0	5,0	8,0	5,0
Apr	9,0	4,0	4,0	3,0	7,0	8,0	5,0	3,0	7,0	3,0	3,0	5,0	3,0	5,0	5,0	3,0	5,0	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	10,0	3,0	4,0	5,0	
Mei	5,0	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0	4,0	5,0	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0	4,0	3,0	4,0	3,0	3,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	5,0	2,0	3,0	4,0	6,0
Jun	5,0	5,0	2,0	3,0	4,0	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	2,0	4,0	5,0	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	5,0	3,0	3,0	
Jul	4,0	4,0	4,0	5,0	2,0	2,0	3,0	6,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0	4,0	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	2,0	4,0	4,0
Ags	3,0	3,0	4,0	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	6,0	4,0	4,0	4,0	3,0
Sep	6,0	5,0	4,0	3,0	3,0	4,0	5,0	4,0	4,0	5,0	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0	4,0	
Okt	3,0	3,0	4,0	4,0	5,0	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	4,0	5,0	3,0	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	6,0	5,0	4,0	3,0	4,0	7,0	2,0	5,0	4,0	3,0	6,0
Nov	4,0	6,0	4,0	6,0	4,0	4,0	5,0	3,0	7,0	4,0	6,0	5,0	7,0	4,0	3,0	4,0	3,0	7,0	5,0	4,0	4,0	3,0	4,0	5,0	3,0	5,0	4,0	4,0	7,0	6,0	
Des	3,0	5,0	7,0	4,0	4,0	4,0	3,0	5,0	4,0	3,0	4,0	5,0	6,0	4,0	7,0	5,0	5,0	5,0	4,0	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	5,0	4,0	7,0	10,0	4,0	4,0	4,0

Arah Angin Saat Kecepatan Maksimum (°)

Bulan	Tanggal																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jan	250	270	330	310	310	310	270	290	240	320	330	210	50	210	350	280	310	5	290	310	230	280	290	290	280	330	320	260	300	270	280
Feb	30	320	290	330	300	300	310	280	280	290	280	310	310	310	270	310	310	310	320	310	310	300	310	306	280	240	310	296			
Mar	240	300	285	310	303	311	300	340	290	130	315	293	330	220	270	220	310	300	210	300	290	277	190	90	310	290	90	310	330	320	320
Apr	296	310	300	320	320	320	200	160	310	310	296	300	315	317	320	299	280	260	316	104	220	242	285	294	290	297	310	210	201	310	
Mei	190	300	300	320	281	306	100	295	300	250	300	294	290	120	170	50	60	318	240	137	260	290	290	190	299	230	230	260	210	330	230
Jun	306	300	170	307	188	310	100	270	230	301	289	171	230	300	292	65	304	100	300	175	312	237	169	314	128	124	85	310	150	200	
Jul	300	160	300	140	140	250	310	170	190	300	30	292	280	190	310	300	260	214	300	230	310	270	280	310	270	10	270	290	290	190	290
Ags	310	230	260	300	230	230	200	300	280	310	230	120	280	261	300	300	110	230	290	300	310	250	230	240	220	236	188	210	180	140	290
Sep	60	70	91	280	270	240	220	320	190	320	240	320	280	230	234	250	240	257	260	230	240	250	240	230	230	290	233	150	230	185	
Okt	250	246	197	310	300	230	220	120	180	210	110	240	230	150	300	310	240	218	250	310	310	320	290	290	210	320	310	300	300	230	307
Nov	290	110	300	315	311	310	320	190	310	310	320	280	320	290	240	320	290	310	310	301	50	310	270	190	220	310	310	300	100	300	
Des	285	293	320	310	310	310	310	310	200	160	320	310	323	290	310	290	305	311	266	210	280	268	320	310	310	300	313	80	80	300	310

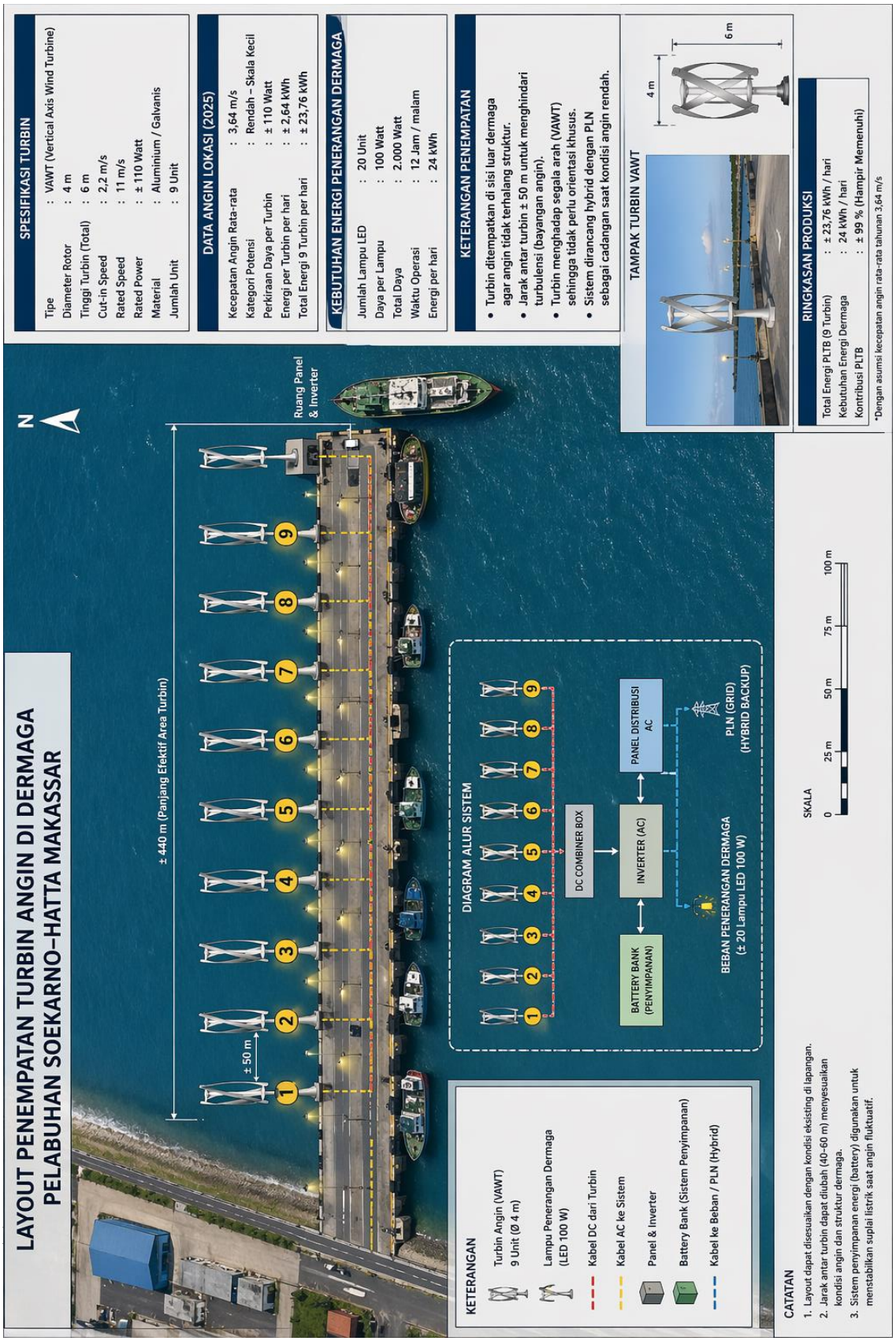
Kecepatan Angin Rata-Rata (m/s)

Tanggal																															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	1,0	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,0	2,0	3,0	2,0	1,0	2,0	3,0	2,0
2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	3,0	5,0	3,0	6,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0			
2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0
2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	
2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	2,0
2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	1,0	
1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0
1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
3,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0
2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Arah Angin Terbanyak (°)

Bulan	Tanggal																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jan	E	E	E	E	NW	NW	SE	E	E	NW	E	NW	E	E	E	NW	E	NW	E	E	C	SE	E	C	E	NW	E	E	NW	E	E
Feb	E	N	NW	NW	NW	SE	NE	W	E	W	E	E	E	E	E	E	E	NW	E	E	E	E	E	E	E	SE	SE	E			
Mar	SE	SE	W	E	SE	E	E	E	SE	E	SE	E	E	E	E	E	E	SE	SE	E	E	E	E	E	E	E	E	W	E	E	E
Apr	E	E	E	E	SE	E	E	E	E	SE	E	SE	E	NW	NW	E	E	E	NW	W	E	SE	SE	W	E	SE	SE	SE	E	NW	
Mei	E	E	E	SE	SE	E	E	E	SE	SE	E	E	E	E	W	E	NE	NW	SE	SE	W	E	E	E	E	E	E	E	SE	E	SE
Jun	E	E	E	NW	SE	SE	SE	SE	SE	SE	E	SE	E	E	W	SE	E	SE	E	E	SE	E	E	SE	SE	SE	SE	SE	SE	W	
Jul	SE	SE	E	SE	SE	W	W	SE	SE	SE	SE	W	W	W	SE	SE	SE	SE	SE	SE	W	SE	E	E	SE	SE	SE	SE	S	S	SE
Ags	W	SW	SE	W	SE	E	S	SE	W	E	E	SE	W	W	W	SE	E	W	SE	E	E	E	SE	W	SE	E	SE	SE	S	W	W
Sep	E	E	E	W	W	E	S	E	E	SE	W	W	W	SE	SE	W	W	W	W	W	SE	W	SE	SW	W	W	W	E	E	SE	
Okt	W	E	W	W	SE	E	SE	SE	SW	SE	E	W	E	E	W	SE	SE	E	E	E	E	E	E	E	E	SE	E	E	NW	E	SE
Nov	E	E	E	E	E	E	E	E	NW	E	E	E	NW	E	E	NW	E	NW	E	E	E	E	E	E	E	E	SE	E	E	E	
Des	E	E	E	NW	E	E	E	NW	E	E	E	NW	E	E	E	E	E	E	E	E	E	W	E	E	E	E	E	E	E	E	NW

Lampiran 14 : Layout penempatan turbin di dermaga (gambar 4.3)



Lampiran 15 : Tabel perhitungan analisis SWOT IFAS dan EFAS (tabel 4.12)

Faktor Internal *(Strength & Weakness)* IFAS

	Faktor strategis	Tingkat signifikan	Bobot	Rating	Skor
Strenghs (Kekuatan)	Potensi angin tersedia di wilayah pesisir	3	0,15	4	0,60
	Energi ramah lingkungan	2,5	0,13	4	0,50
	Mengurangi biaya listrik jangka panjang	2	0,10	3	0,30
	Mendukung konsep *green port*	3	0,15	4	0,60
	Sub Total		0,53		2,00
Weakness (kelemahan)	Kecepatan angin relatif rendah	3	0,15	4	0,60
	Investasi awal tinggi	2,5	0,13	4	0,50
	Output energi tidak stabil	2,5	0,13	3	0,38
	Keterbatasan teknologi lokal	1,5	0,08	1,5	0,11
	Sub Total	**20**	0,48		1,59
	TOTAL		1,00		0,41

Faktor Eksternal *(Opportunities & Threats)* EFAS

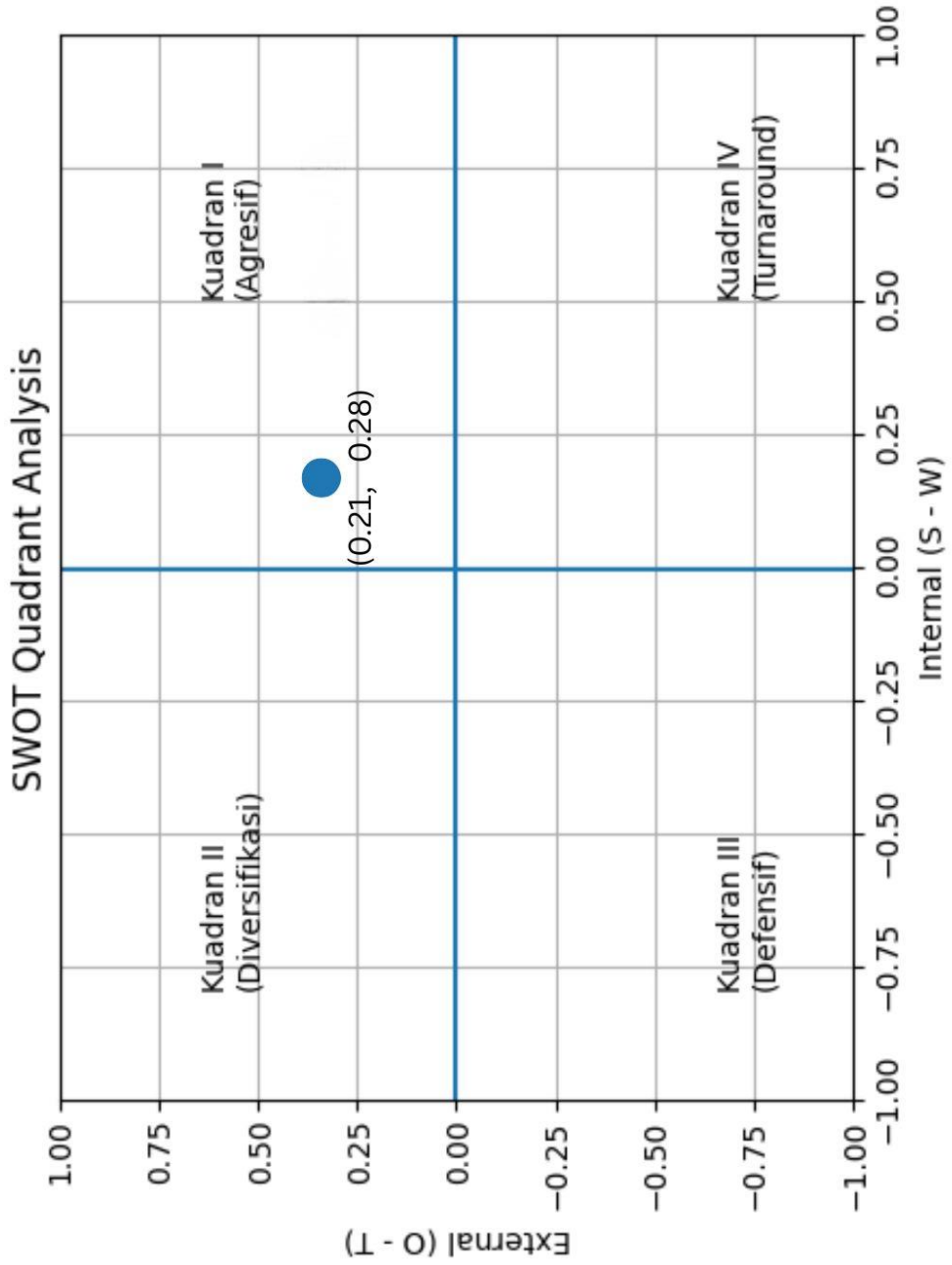
	Faktor Stategis	Tingkat Signifikan	Bobot	Rating	Skor
Opportunities (Peluang)	Dukungan pemerintah terhadap energi terbarukan	3	0,17	4	0,69
	Regulasi pengurangan emisi karbon	3	0,17	5	0,86
	Perkembangan teknologi turbin	2	0,11	2	0,23
	Potensi pengembangan *green port*	1,5	0,09	2	0,17
	Sub Total		0,54		1,94
Threats (Ancaman)	Perubahan iklim mempengaruhi pola angin	2,5	0,14	4	0,57
	Risiko gangguan operasional pelabuhan	2	0,11	3	0,34
	Risiko kerusakan cuaca ekstrem	2	0,11	3	0,34
	Persaingan dengan energi lain	1,5	0,09	1,5	0,13
	Sub Total	**17,5**	0,46	2	1,39
	TOTAL		1,00		0,56

Catatan :

Nilai untuk Tingkat Signifikan 1 – 3 (apabila angka semakin kecil maka semakin tidak signifikan, apabila angka semakin besar maka semakin signifikan).

Nilai untuk Rating 1 – 5 (apabila angka semakin kecil maka semakin kecil juga nilai nya, apabila angka semakin besar maka semakin besar juga angkanya).

Lampiran 16 : Matriks SWOT (tabel 4.11)

Faktor Internal / Faktor Eskternal	**Strengths (S)**	**Weaknesses (W)**
	1. Potensi angin tersedia di wilayah pesisir	1. Kecepatan angin relatif rendah
	2. Energi ramah lingkungan	2. Investasi awal tinggi
	3. Mengurangi biaya listrik jangka panjang	3. Output energi yang tidak stabil
	4. Mendukung konsep *green port*	4. Keterbatasan energi lokal
Opportunities (O)	**Strategi SO**	**Strategi WO**
1. Dukungan pemerintah terhadap energi terbarukan	1. Mengembangkan *pilot project* PLTB yang terintegrasi dengan *green port* yang didukung kebijakan pemerintah	1. Memilih desain *low speed turbine* agar menyeseuaikan kecepatan angin rendah
2. Regulasi pengurangan emisi karbon	2. Mengotimalkan penggunaan PLTB untuk mendukung pengurangan emisi	2. Menggunakan dukungan pemerintah dengan cara meminta subsidi untuk pemasangan PLTB
3. Perkembangan teknologi turbin	3. Mengadopsi teknologi turbin terbaru untuk meningkatkan efisiensi	3. Menggunakan baterai sebagai daya simpan energi untuk menghasilkan *output* energi yang lebih efisien
4. Potensi pengembangan *green port*	4. Mengintegrasikan PLTB dalam mendukung konsep *green port*	4. Menggunakan sistem hybrid untuk mengurangi risiko ketidakstabilan
Threats (T)	**Strategi ST**	**Strategi WT**
1. Perubahan iklim mempengaruhi pola angin	1. Memilih desain turbin yang aman terhadap perubahan cuaca yang mempengaruhi pola angin	1. Menggunakan sistem *back up energy* apabila terjadi ketidakstabilan
2. Risiko gangguan operasional pelabuhan	2. Memilih lokasi yang tidak mengganggu operasional pelabuhan	2. Melakukan perencanaan teknis yang matang dan investasi secara bertahap
3. Risiko kerusakan akibat cuaca ekstrem	3. Menggunakan teknologi yang tahan terhadap kondisi lingkunga agar biaya perawatan tidak besar	3. menggunakan sistem hybrid
4. Persaingan energi lain	4. Mengoptimalkan PLTB sebagai energi berkelanjutan	4. Melakukan riset dan pengembangan secara bertahap

Lampiran 17 : Grafik kuadran SWOT (gambar 4.5)