

**ANALISIS KELAYAKAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) DI UJONG PANCU
MENGUNAKAN SOFTWARE RETSCREEN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Sains Dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh

Sebagai Bahan Studi Memperoleh Gelar Sarjana Dalam Ilmu

Teknik Lingkungan

Diajukan Oleh:

LAZI KAMAL

NIM : 190702093

Mahasiswa Fakultas Sains Dan Teknologi Program Studi Teknik Lingkungan



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS SAINS DAN
TEKNOLOGI UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
DARUSSALAM-BANDA ACEH**

2025

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

**ANALISIS KELAYAKAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) DI UJONG PANCU
MENGUNAKAN *SOFTWARE RETSCREEN***

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai salah satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh:

LAZI KAMAL

NIM. 190702093

Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry

Disetujui untuk dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing I



Suardi Nur, S.T., M.Sc., Ph.D
NIP. 198110102006041006

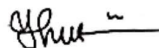
Pembimbing II



Dr. Eng. Nur Aida, M.Si.
NIP. 197806162005012009

AR - RANIRY

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan



Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.
NIP.198311092014032002

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

ANALISIS KELAYAKAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) DI UJONG PANCU MENGUNAKAN *SOFTWARE RETSCREEN*

TUGAS AKHIR

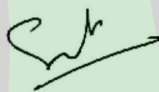
Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
serta Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Kelulusan Program Sarjana Teknik
(S-1) dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Senin/ 25 Agustus 2025
Senin/ 25 Rabi'ul Awal 1447

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua

Sekretaris


Suardi Nur, S.T., M.Sc., Ph.D
NIP. 198110102006041006


Dr. Eng. Nur Aida, M.Si.
NIP. 197806162005012009

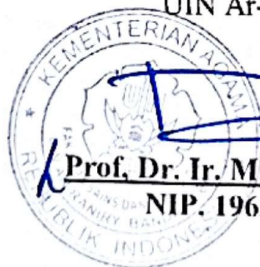
Penguji I

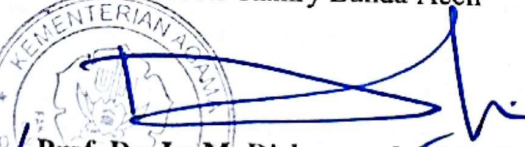
Penguji II


Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc.
NIP.198011152014031001


Muhammad Haikal, S.T., M.Sc.
NIP.199502252025051003

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh




Prof. Dr. Ir. M. Dirhamsyah M.T., IPU
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS

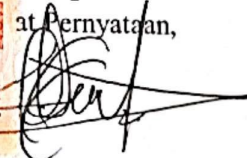
Nama : Lazi Kamal
Nim : 190702093
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains and Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Analisis Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Pltb) Di Ujong Pancu Menggunakan Software Retscreen

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun diperguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya, serta tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila dikemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemui bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan peraturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 25 Agustus 2025
at Pernyataan,

Lazi Kamal



ABSTRAK

Nama : Lazi Kamal
Nim : 190702092
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Analisis Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Pltb) Di Ujong Pancu Menggunakan Software Retscreen
Tanggal Sidang : 25 Agustus 2025
Jumlah Halaman : 58 Halaman
Pembimbing I : Suardi Nur, S.T., M.Sc., Ph.D.
Pembimbing II : Dr. Eng, Nur Aida, M.Si.
Kata Kunci : PLTB, Energi Angin, RETScreen, Kelayakan Teknis, Kelayakan Finansial, Ujong Pancu.

Untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT) sebagai alternatif pengganti energi fosil, diperlukan identifikasi potensi EBT seperti matahari, angin, air, dan biomassa. Penelitian ini bertujuan menganalisis kelayakan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Ujong Pancu, Aceh Besar, dengan menggunakan software RETScreen. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif dengan data sekunder dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dan *Global Wind Atlas*. Analisis dilakukan pada aspek teknis, finansial, dan lingkungan. Hasil simulasi terbaik didapat dengan menggunakan turbin angin Energie PGE 20/25-37m berkapasitas 25 kW sebanyak 100 unit, atau dengan kapasitas terpasang 2.500 kW faktor kapasitas yang bisa dicapai adalah 17,9% dan produksi energi sebesar 3.915 MWh. Dari aspek finansial, proyek ini memiliki nilai *Internal Rate Of Return* (IRR) yang belum

memenuhi tingkat kelayakan investasi, yang diinginkan walaupun manfaat lingkungan berupa pengurangan emisi gas rumah kaca sudah dimasukkan. Dengan demikian, pembangunan PLTB di Ujong Pancu dinilai belum layak dari aspek finansial. Untuk dapat menjadi layak secara finansial diperlukan dukungan kebijakan tarif listrik khusus untuk EBT dan insentif finansial mengingat investasi di sektor EBT yang lebih besar dibandingkan energi fosil.



ABSTRACT

Name : Lazi Kamal
Student ID : 190702092
Study Program : Environmental Engineering
Title : Feasibility Analysis of Wind Power Plant (PLTB)
Development in Ujong Pancu Using RETScreen Software
Thesis Defense Date : 25 August 2025
Total Pages : 58 Pages
Supervisor I : Suardi Nur, S.T., M.Sc.,
Ph.D. Supervisor II : Dr. Eng. Nur Aida, M.Si.
Keywords : PLTB, Wind Energy, RETScreen, Technical Feasibility,
Financial Feasibility, Ujong Pancu.

To optimize the utilization of new and renewable energy (NRE) as an alternative to fossil energy, it is necessary to identify the potential of NRE sources such as solar, wind, hydro, and biomass. This study aims to analyze the feasibility of constructing a Wind Power Plant (PLTB) in Ujong Pancu, Aceh Besar, using RETScreen software. The research method used is descriptive quantitative with secondary data from the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG) and the Global Wind Atlas. The analysis covers technical, financial, and environmental aspects. The best simulation results were obtained using the Energie PGE 20/25- 37m wind turbine with a capacity of 25 kW in a total of 100 units, resulting in an installed capacity of 2,500 kW, a capacity factor of 17.9%, and an energy production of 3,915 MWh. From the financial aspect, this project

has an Internal Rate of Return (IRR) value that does not yet meet the desired investment feasibility level, even though environmental benefits in the form of greenhouse gas emission reductions have been included. Thus, the development of the PLTB in Ujong Pancu is considered financially unfeasible. To achieve financial feasibility, support in the form of special electricity tariff policies for NRE and financial incentives is required, considering that investment in the NRE sector is generally higher than in fossil energy.



KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah Swt. atas rahmat dan ridha-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini. Adapun judul tugas akhir yang saya ajukan adalah “ANALISIS KELAYAKAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) DI UJONG PANCU MENGGUNAKAN *SOFTWARE RETSCREEN*”. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat kelulusan dan memperoleh gelar Sarjana dalam Ilmu Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh. Tidak dapat disangkal bahwa penyelesaian tugas akhir ini memerlukan usaha yang keras, namun karya ini tidak akan selesai tanpa dukungan dan bantuan dari orang-orang tercinta yang selalu ada di sekitar saya. Oleh karena itu, saya menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kepada Ayahanda Sulaiman Adam dan Ibunda Nurhamamah, yang senantiasa memberikan doa, dukungan moril, dan semangat tanpa henti hingga penulisan tugas akhir ini dapat diselesaikan, saya persembahkan rasa cinta dan terima kasih yang tulus.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Dirhamsyah, M.T., IPU. Selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc, M.Si, selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh, saya sampaikan terima kasih atas arahan dan dukungan yang telah diberikan selama masa studi.
4. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh, yang turut memberikan dukungan serta bantuan administratif selama perkuliahan, saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya

5. Bapak Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan bimbingan, motivasi, serta dukungan selama masa perkuliahan, saya haturkan apresiasi dan rasa terima kasih yang mendalam.
6. Bapak Suardi Nur, S.T., M.Sc, Ph.D, selaku dosen pembimbing tugas akhir, saya sampaikan rasa hormat dan terima kasih atas segala arahan, masukan, dan bimbingan yang sangat berarti dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Ibu Dr. Eng. Nur Aida, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, arahan, kritik, dan saran yang membangun kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Seluruh Dosen Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar- Raniry Banda Aceh, yang telah membagikan ilmu dan pengalaman berharga selama masa studi, serta para staf yang dengan sabar membantu dalam urusan administratif selama proses penelitian, saya ucapkan terima kasih atas segala dedikasi dan pelayanan yang diberikan.
9. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Lingkungan Angkatan 2019 Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh, yang telah memberikan dukungan, masukan, serta semangat selama proses penelitian, saya ucapkan terima kasih atas kerja sama dan kebersamaan yang sangat berarti.

Semoga segala bentuk kebaikan dan bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan dan keberkahan dari Allah Swt. Saya juga menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, mengingat keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang saya miliki.

Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati, saya sangat mengharapkan saran serta kritik yang bersifat membangun dari berbagai pihak demi menyempurnakan laporan penelitian ini ke depannya.

Banda Aceh, 25 Agustus 2025

Lazi Kamal

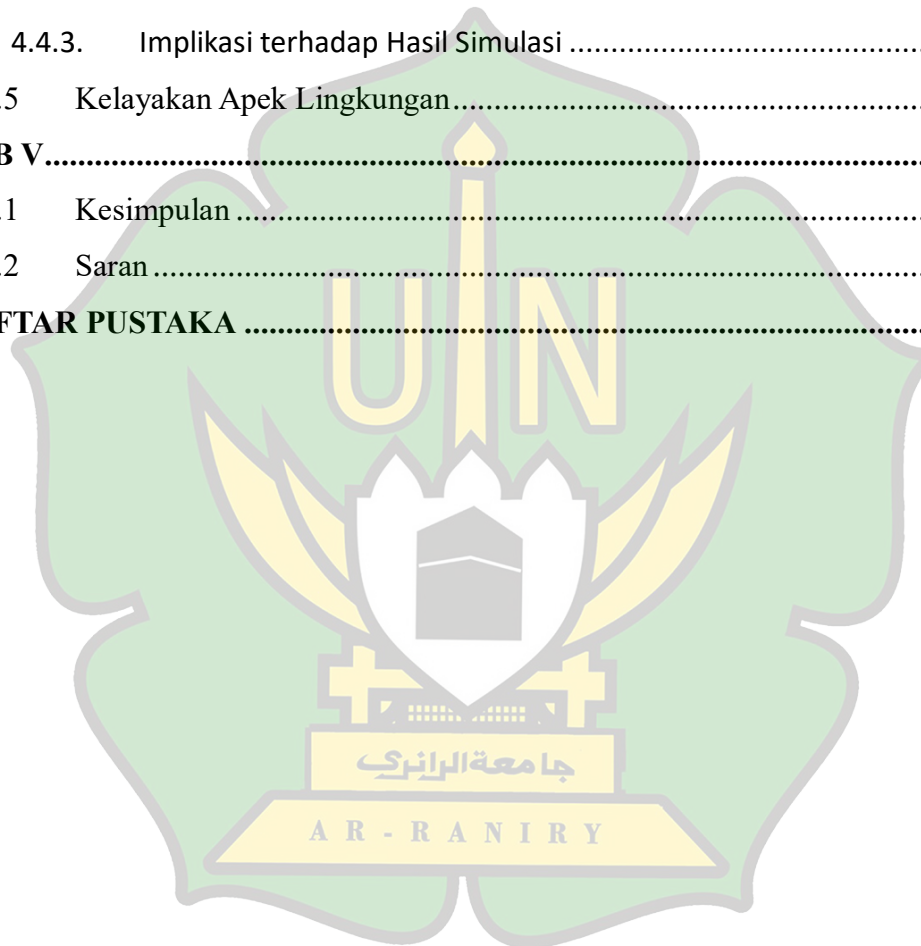


DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Perencanaan	5
BAB II	6
2.1 Energi Angin	6
2.1.1. Angin dan Energi Angin	6
2.1.2. Asesmen Sumber Daya Angin.....	6
2.1.3. Potensi Pemanfaatan Energi Angin di Indonesia	8
2.1.4. Potensi Energi Angin Di Aceh	9
2.1.5. Kriteria pemilihan lokasi pemasangan Turbin Angin	12
2.2 Turbin Angin	12
2.2.1 Kontruksi Turbin Angin.....	14
2.3 Distribusi Weibull.....	16

2.4	Penelitian Terdahulu	20
2.5	Software RETScreen	25
2.5.1.	Pengenalan	25
2.5.2.	Modeling	26
2.6	Indikator Kelayakan Finansial	30
2.6.1.	Internal Rate of Return (IRR)	31
2.6.2.	Simple Payback Period	31
2.6.3.	<i>Equity Payback Period</i>	32
2.6.4.	Benefit-Cost (B/C) Ratio	32
BAB III		33
3.1	Jenis penelitian	33
3.2	Lokasi penelitian	33
3.3	Alat dan Bahan	35
3.4	Pengumpulan Data	36
3.4.1	Data primer	36
3.4.2	Data sekunder	36
3.5	Tahapan penelitian	36
3.5.1	Studi Literatur	38
3.5.2	Pengumpulan Data	38
3.5.3	Pengolahan dan Analisis Data	38
3.5.4	Hasil dan Perhitungan	43
BAB IV		44
4.1	Input Data Perhitungan RETScreen	44
4.2	Aspek Teknis	45
4.2.1.	Analisa Simulasi PLTB Menggunakan <i>Software RETScreen</i>	48
4.3	Aspek Finansial	55
4.3.1.	Skenario I – Tanpa Pendapatan dari Pengurangan Emisi GRK.....	55

4.3.2. Skenario II – Dengan Pendapatan dari Pengurangan Emisi GRK	56
4.3.3. Perbandingan dan Kesimpulan	57
4.4 Validasi Data Kecepatan Angin.....	58
4.4.1. Data Kecepatan Angin Rata-Rata Tahunan.....	58
4.4.2. Analisis Tren Kecepatan Angin.....	59
4.4.3. Implikasi terhadap Hasil Simulasi	59
4.5 Kelayakan Apek Lingkungan.....	60
BAB V.....	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	66

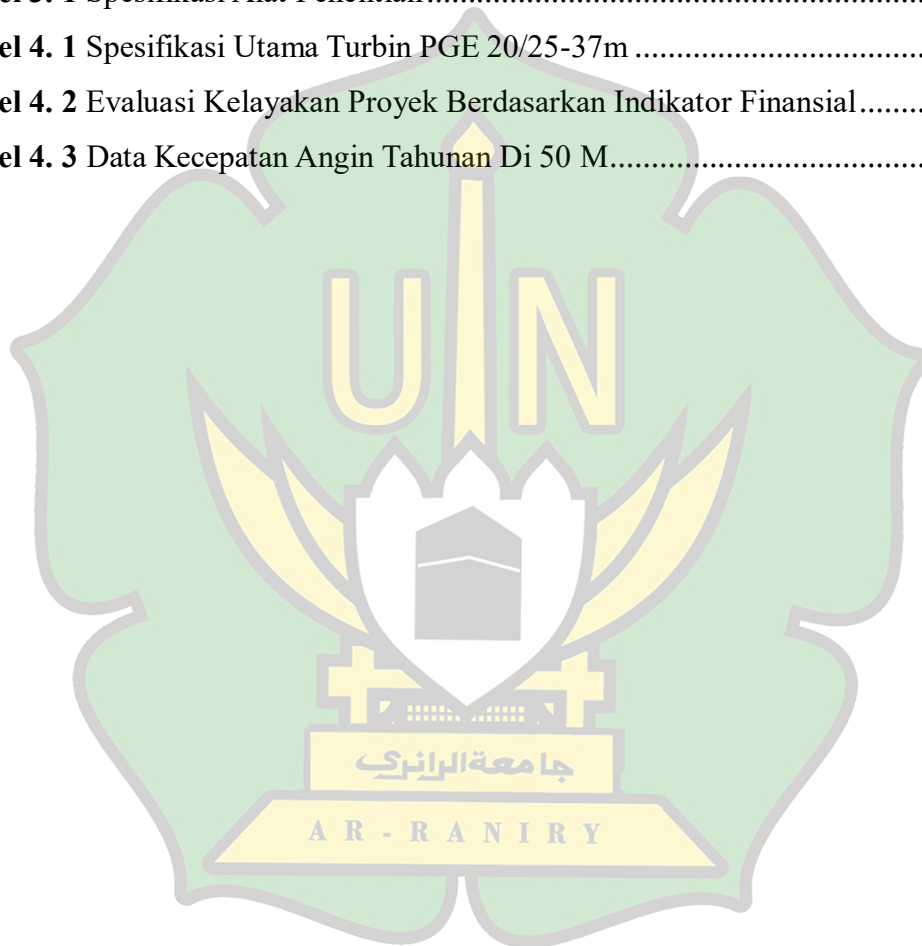


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Potensi Angin Indonesia.....	9
Gambar 2. 2 Kecepatan Rata-Rata Angin Wilayah Aceh	10
Gambar 2. 3 Turbin Angin Horizontal dan Vertikal.....	13
Gambar 2. 4 Komponen Turbin Angin Dengan Sumbu Horizontal	15
Gambar 2. 5 Tampilan Awal Retscreen	26
Gambar 2. 6 Tab Model Energi.....	26
Gambar 2. 7 Analisis Sumber Daya	27
Gambar 2. 8 Tab Cost Analisis.....	28
Gambar 2. 9 Tab Analisis Finansial.....	30
Gambar 3. 1 Peta Lokasi dengan Plot Titik Koordinat.....	34
Gambar 3. 2 Pengambilan Titik Koordinat.....	34
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 3. 4 Fitur Fasilitas	39
Gambar 3. 5 Fitur Energi Dengan Mengeset Tingkatan.....	39
Gambar 3. 6 Mengeset Manufaktur Dan Spesifikasi	40
Gambar 3. 7 Kurva Listrik Dan Energ	41
Gambar 3. 8 Fitur Biaya Dan Mengeset Analisa Tingkatan.....	42
Gambar 3. 9 Fitur Keuangan Dan Mengeisi Parameter Finansial	43
Gambar 4. 1 Klasifikasi Data	44
Gambar 4. 2 Klasifikasi Data Pada Model Energi	46
Gambar 4. 3 Kurva Listrik dan Energi	47
Gambar 4. 4 Analisa Simulasi Skenario 1	49
Gambar 4. 5 Analisa Simulasi Skenario 2	51
Gambar 4. 6 Analisa Simulasi Skenario 3	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Potensi Energi Angin Dan Lokasi Potensi.....	10
Tabel 2. 2 Kecepatan Angin Rata-Rata Kota Banda Aceh.....	11
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu.....	20
Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat Penelitian	35
Tabel 4. 1 Spesifikasi Utama Turbin PGE 20/25-37m	45
Tabel 4. 2 Evaluasi Kelayakan Proyek Berdasarkan Indikator Finansial.....	58
Tabel 4. 3 Data Kecepatan Angin Tahunan Di 50 M.....	59



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan elemen vital dalam kehidupan masyarakat di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Seiring bertambahnya jumlah penduduk, permintaan terhadap energi pun terus meningkat. Energi berperan penting sebagai penggerak utama berbagai sektor kehidupan, seperti pertanian, pendidikan, kesehatan, transportasi, hingga sektor ekonomi secara keseluruhan. Hingga saat ini, Indonesia masih sangat bergantung pada sumber energi yang tidak terbarukan, khususnya bahan bakar minyak (BBM) yang berasal dari pengolahan minyak mentah. Ketidakseimbangan antara tingkat konsumsi dan kapasitas produksi nasional dapat memicu krisis energi, seperti kelangkaan BBM, yang pada akhirnya menyebabkan kenaikan harga, terganggunya kegiatan industri, serta penurunan pendapatan negara.

Pemerintah Republik Indonesia perlu merumuskan berbagai solusi strategis untuk memenuhi kebutuhan energi nasional, salah satunya melalui penguatan kebijakan dalam pengembangan energi baru dan terbarukan, peningkatan efisiensi energi, konservasi energi, serta diversifikasi sumber energi. Upaya ini diwujudkan melalui diterbitkannya Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang menetapkan target bauran energi nasional. Selanjutnya, pada tahun 2007, pemerintah menetapkan Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, yang mengatur pemanfaatan energi secara menyeluruh. Undang-undang ini memberikan landasan hukum untuk mendorong pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia, mengingat potensi sumber energi terbarukan yang tersedia masih belum dimanfaatkan secara optimal untuk menggantikan ketergantungan pada energi fosil (Al Hakim, 2020).

Menurut Ulina dkk., (2022) Energi dibutuhkan untuk mendukung aktivitas manusia. Saat ini, sebagian besar suplai energi di dunia berasal dari bahan bakar fosil

yang merupakan sumber daya non terbarukan. Tingginya ketergantungan terhadap energi fosil menyebabkan banyak negara di dunia berada dalam kondisi yang rentan dan penuh ketidakpastian. Transisi energi dari bahan bakar fosil menuju EBT menjadi keniscayaan yang harus dilakukan guna meredam ketergantungan dan ketidakpastian tersebut. Berdasarkan data Badan Energi Internasional (IEA), Pada rentang waktu 1990 hingga 2019, sebagian besar konsumsi energi global masih didominasi oleh minyak dan gas, dengan kontribusi rata-rata mencapai 57% per tahun. Di antara kedua sumber energi fosil tersebut, minyak bumi menjadi yang paling banyak digunakan dengan rata-rata konsumsi sebesar 42%, sementara gas alam menyumbang sekitar 15%. Energi fosil lain yang dikonsumsi sebagai sumber energi adalah batu bara dengan besaran setiap tahun di seluruh dunia sekitar 10%. Penggunaan bahan bakar fosil saat ini mencapai 60% dari total kebutuhan energi global. Kebutuhan energi diperkirakan akan terus mengalami peningkatan, sementara jumlah cadangan sumber daya energi fosil seperti minyak bumi, gas, dan batu bara semakin menurun. Pada tahun 2022, cadangan minyak hanya tersisa sebesar (52,970 TWh), gas (39,413 TWh) dan batu bara sebesar (44,854 TWh). Oleh karenanya, untuk mendukung pengembangan rendah karbon perlu dioptimalkan energi baru dan terbarukan.

Energi terbarukan dapat didefinisikan sebagai energi yang secara cepat dapat diproduksi kembali melalui proses alam. Energi terbarukan meliputi energi air, panas bumi, matahari, angin, biogas, bio mass serta gelombang laut. Salah satu energi terbarukan yang sedang berkembang pesat saat ini ialah energi angin selain fleksibel. Sumber energi alternatif yang tidak menimbulkan polusi merupakan energi angin. Energi angin juga sering dimanfaatkan untuk bidang pertanian, perikanan dan bahkan bisa untuk pembangkitan energilistrik. Letak geografis Indonesia sebagai negara kepulauan menjadikan wilayah pesisir memiliki potensi kecepatan angin yang relatif stabil dan cukup kuat untuk dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik melalui Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu)

adalah suatu sistem pembangkit yang membutuhkan atau memanfaatkan angin sebagai sumber yang akan dikonversikan menjadi energi listrik

Di sisi lain, beberapa wilayah pesisir masih menghadapi keterbatasan pasokan energi yang stabil. Contohnya Kabupaten Aceh Besar, yang juga merupakan salah satu wilayah yang terus berkembang dalam sektor pembangunan dan pariwisata, sehingga kebutuhan energi listrik di daerah ini cenderung meningkat. Oleh karena itu, pengembangan PLTB di wilayah pesisir Aceh Besar seperti Ujong Pancu berpotensi menjadi solusi alternatif untuk meningkatkan ketahanan energi daerah sekaligus mendukung pembangunan berkelanjutan. Ujong Pancu berhadapan langsung dengan Samudra Hindia. Kondisi ini sangat mendukung pemanfaatan energi angin sebagai sumber pembangkit listrik.

Untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi baru dan terbarukan perlu dilakukan identifikasi potensi energi baru dan terbarukan matahari, angin, air dan biomassa. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi teknis, ekonomis, dan lingkungan potensi energi angin untuk PLTB di ujung pancu, Aceh Besar.

Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) menjadi pendukung salah satu fokus pemerintah dalam Pembangunan PLTB. Peraturan tersebut mengatur tentang pemanfaatan energi terbarukan mulai dari harga jual sampai desain mekanisme pengadaan. PLTB adalah pembangkit listrik yang mengubah energi angin menjadi energi listrik. Proses ini dimulai dengan energi angin yang memutar turbin angin, yang kemudian menggerakkan rotor generator sehingga menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja PLTB didasarkan pada pemanfaatan energi kinetik angin yang memasuki area efektif turbin untuk memutar baling-baling (propeller). Energi putar yang dihasilkan selanjutnya diteruskan ke generator untuk menghasilkan listrik (Wafik, 2023).

1.2 Rumusan masalah

Beberapa permasalahan yang menjadi fokus dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Sebesar apa potensi energi angin di kawasan Ujong Pancu, Aceh Besar yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi secara komersial?
2. Bagaimana tingkat kelayakan teknis, ekonomis dan lingkungan energi angin di ujung pancu, Aceh Besar jika dikembangkan secara komersial?
3. Seberapa besar potensi pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) yang dapat dicapai melalui pengoperasian PLTB di kawasan Ujong Pancu?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi potensi energi angin di kawasan Pantai Ujong Pancu, Aceh Besar.
2. Menganalisa kelayakan teknis, ekonomis dan lingkungan pemanfaatan energi angin di ujung pancu, Aceh Besar.
3. Memperkirakan besarnya potensi pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) dari sektor ketenagalistrikan melalui pemanfaatan PLTB di wilayah Ujong Pancu.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sejumlah manfaat, antara lain sebagai berikut:

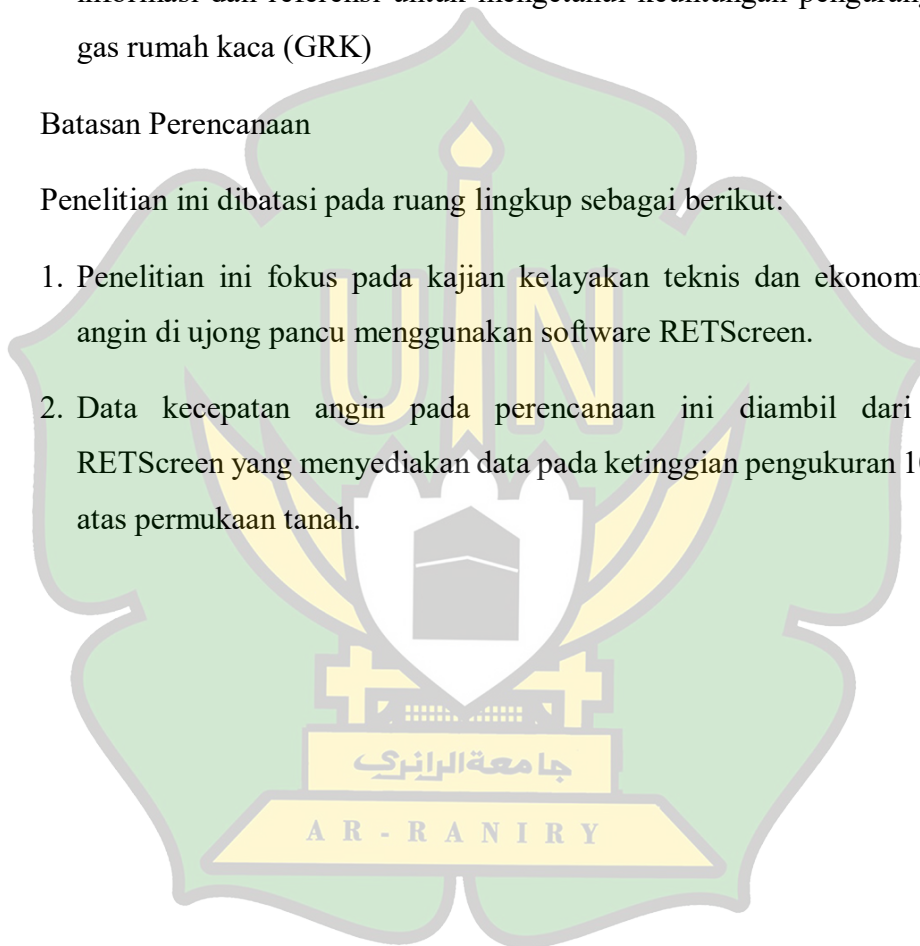
1. Data potensi energi angin di Ujong Pancu dapat disusun sebagai data awal pengembangan PLTB di daerah tersebut.

2. Hasil studi kelayakan teknis, ekonomis dan lingkungan potensi energi angin di ujung pancu dapat menjadi acuan bagi pemerintah dan investor untuk Pembangunan PLTB di Ujong Pancu.
3. Studi ini menghasilkan informasi yang dapat digunakan sebagai tambahan informasi dan referensi untuk mengetahui keuntungan pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK)

1.5 Batasan Perencanaan

Penelitian ini dibatasi pada ruang lingkup sebagai berikut:

1. Penelitian ini fokus pada kajian kelayakan teknis dan ekonomis potensi angin di ujung pancu menggunakan software RETScreen.
2. Data kecepatan angin pada perencanaan ini diambil dari database RETScreen yang menyediakan data pada ketinggian pengukuran 10 meter di atas permukaan tanah.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

2.1.1. Angin dan Energi Angin

Angin adalah gerakan massa udara yang terjadi akibat adanya perbedaan suhu dan tekanan di permukaan bumi. Udara akan mengalir dari wilayah bertekanan tinggi menuju wilayah bertekanan rendah. Perbedaan ini umumnya disebabkan oleh distribusi radiasi matahari yang tidak merata di seluruh permukaan bumi, sehingga menimbulkan variasi suhu udara antar wilayah yang memicu terjadinya pergerakan udara tersebut.

Energi yang terdapat dalam angin merupakan bentuk energi gerak (kinetik), yang dapat diubah menjadi energi mekanis, dan selanjutnya dikonversikan menjadi energi listrik melalui Sistem Konversi Energi Angin (SKEA). Energi angin telah digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti mengoperasikan pompa air, menggiling biji-bijian, memotong kayu, hingga menghasilkan tenaga listrik.

Secara fisik, angin merupakan aliran udara yang terbentuk akibat perbedaan suhu antara dua wilayah, yang menghasilkan perbedaan tekanan dan kecepatan aliran tertentu. Ketika udara di suatu daerah mengalami pemanasan, massa jenisnya menurun sehingga udara tersebut naik ke lapisan atmosfer yang lebih tinggi. Sebagai kompensasi, udara yang lebih dingin dari wilayah sekitarnya akan bergerak untuk mengisi kekosongan tersebut, dan pergerakan inilah yang kemudian dikenal sebagai angin (Bappeda Banda Aceh, 2020).

2.1.2. Asesmen Sumber Daya Angin

Asesmen sumber daya angin adalah proses evaluasi yang dilakukan untuk menentukan potensi energi angin di suatu lokasi tertentu. Tujuannya adalah untuk

menilai sejauh mana suatu lokasi dapat dimanfaatkan untuk pembangunan proyek energi angin, seperti pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB)(Tasneem dkk., 2020)

Tahapan umum dalam menilai potensi sumber daya angin meliputi beberapa langkah berikut:

1. Pengumpulan Data Meteorologi:

- Mengumpulkan data cuaca dan angin dari stasiun meteorologi setempat.
- Menganalisis data untuk menentukan kecepatan dan arah angin rata- rata.

2. Pemetaan Topografi dan Geologi:

- Memeriksa peta topografi dan geologi untuk memahami karakteristik permukaan tanah.
- Mengidentifikasi rintangan potensial seperti pegunungan atau bangunan yang dapat mempengaruhi aliran angin.

3. Penggunaan Alat Pemantauan Angin:

- Menggunakan met mast atau menara pemantauan untuk mengukur angin pada ketinggian yang berbeda.
- Mengumpulkan data tentang kecepatan dan arah angin di berbagai ketinggian.

4. Analisis Data Angin:

- Menggunakan perangkat lunak khusus untuk menganalisis data angin dan menghitung potensi energi angin di lokasi tersebut.
- Menentukan distribusi probabilitas kecepatan angin dan kerapatan energi potensial.

5. Penentuan Ketinggian Turbin Angin:

- Memilih ketinggian turbin angin yang optimal berdasarkan analisis data angin.
- Menentukan ukuran dan jenis turbin angin yang sesuai dengan potensi energi angin di lokasi tersebut

6. Evaluasi Faktor Lingkungan dan Sosial:

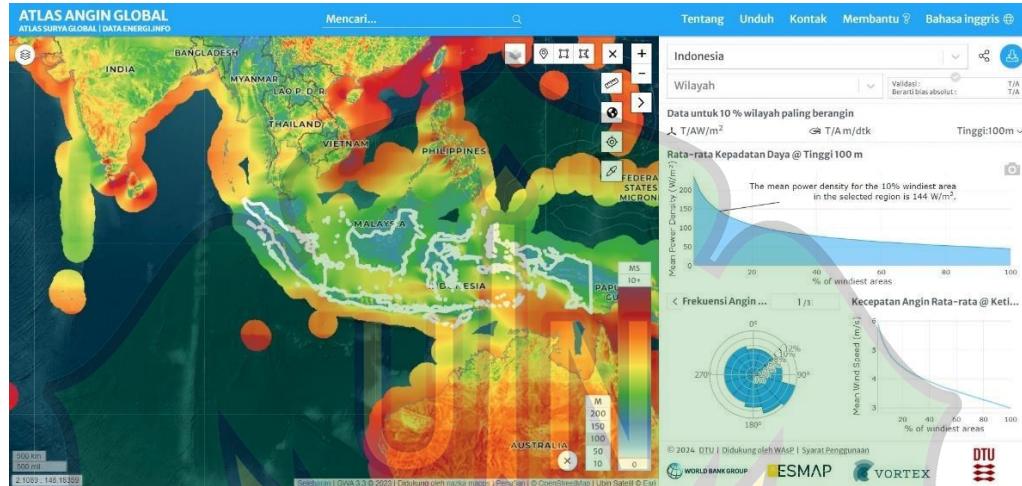
- Melakukan identifikasi terhadap potensi dampak lingkungan dan sosial yang dapat ditimbulkan oleh proyek energi angin.
- Menyelidiki aspek-aspek seperti habitat alam, migrasi burung, dan respons masyarakat setempat.

Menurut Anshory dkk (2022), dengan melakukan asesmen sumber daya angin yang komprehensif, pengembang energi dapat membuat keputusan yang lebih baik dalam merencanakan dan mengimplementasikan proyek pembangkit tenaga angin yang terletak di suatu lokasi.

2.1.3. Potensi Pemanfaatan Energi Angin di Indonesia

Potensi energi angin di Indonesia telah diidentifikasi mencapai sekitar 978 MW, dengan rata-rata kecepatan angin berada pada kisaran 3,5 hingga 7 m/s. Hal ini

menunjukkan bahwa karakteristik angin di Indonesia tergolong rendah. Sulawesi Selatan merupakan daerah dengan potensi energi angin terbesar di Indonesia, dimana kapasitas pembangkitan listrik yang dapat dihasilkan diperkirakan melebihi 200 MW.



Gambar 2. 1 Peta Potensi Angin Indonesia

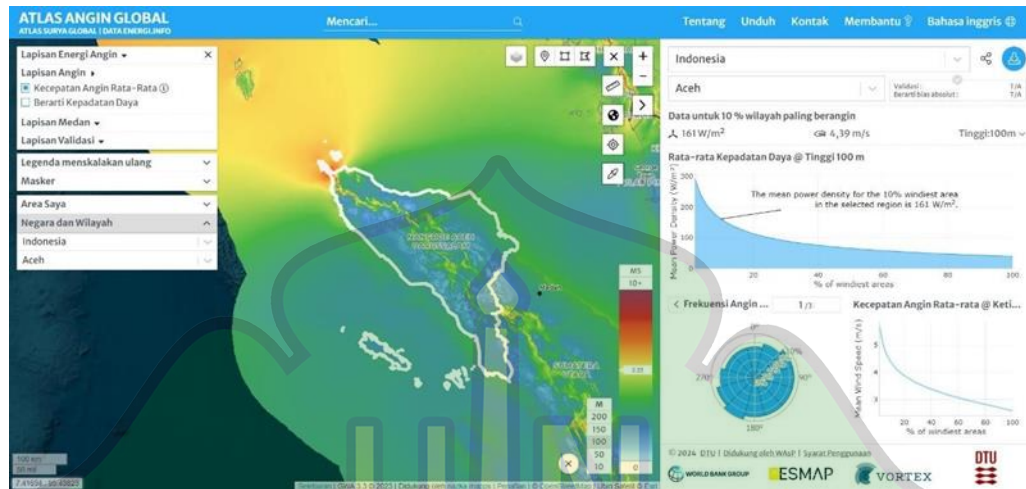
(Sumber: *Global Wind Atlas*)

Berdasarkan data dari Global Wind Atlas seperti dituju pada Gambar 2.1 kecepatan angin rata-rata 4,89 m/s diukur pada ketinggian 100 m.

2.1.4. Potensi Energi Angin Di Aceh

Kecepatan angin merupakan laju pergerakan udara secara horizontal yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain gradien barometrik, letak geografis, ketinggian suatu lokasi, serta kondisi topografi daerah tersebut. Satuan kecepatan angin umumnya dinyatakan dalam meter per detik (m/s), kilometer per jam (km/jam), atau knot. Penamaan arah angin didasarkan pada arah asal angin tersebut. Sebagai contoh, angin yang bertiup dari timur menuju barat disebut sebagai angin timur. Demikian pula, angin yang bertiup dari laut ke darat disebut angin laut, dan sebaliknya disebut angin darat. Arah angin umumnya dinyatakan dalam satuan derajat dan dapat berubah-ubah dalam waktu singkat tergantung kondisi atmosfer.

Untuk wilayah Aceh berdasarkan data *Global Wind Atlas* kecepatan angin rata-rata mencapai angka 4,39 m/s, dapat dilihat dalam gambar 2.2



Gambar 2. 2 Kecepatan Rata-Rata Angin Wilayah Aceh

(Sumber: *Global Wind Atlas*)

Namun laju angin rata-rata yang terbesar di daerah Banda Aceh mencapai angka sebesar 4,9 m/s (Adistia dkk., 2020). Turbin angin dengan kapasitas besar dirancang untuk berfungsi secara efisien pada kecepatan angin antara 5 hingga 20 m/s. Sebaliknya, pada kecepatan angin yang lebih rendah, yaitu di bawah 5 m/s energi angin lebih tepat digunakan untuk pembangkit listrik tenaga angin berkapasitas kecil atau untuk konversi energi mekanik.

Tabel 2. 1 Potensi Energi Angin Dan Lokasi Potensi

Kelas	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Spesifik (W/m ²)	Kapasitas (kW)
Skala kecil	2,5 - 4,0	< 75	s/d 10
Skala menengah	4,0 - 5,0	75 - 150	10 - 100

Skala besar	> 5,0	> 150	> 100
-------------	-------	-------	-------

(Sumber: BAPPEDA. 2019))

Data kecepatan angin yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Blang Bintang, Aceh Besar. Pengukuran kecepatan angin dilakukan pada ketinggian 10 meter dan mencakup periode waktu satu tahun, yaitu dari bulan Januari hingga Desember.

Tabel 2. 2 Kecepatan Angin Rata-Rata Kota Banda Aceh

Bulan	Arah angin terbanyak	Kecepatan angin rata-rata
Januari	130/SE	5.1
Februari	130/SE	4.2
Maret	130/SE	3.3
April	130/SE	3.1
Mei	130/SE	4.5
Juni	180/S	5.5
Juli	180/S	5.7
Agustus	130/SE	5.8
September	130/SE	5.0
Oktober	130/SE	4.2
November	130/SE	3.8
Desember	130/SE	4.9

(Sumber : RETScreen)

Kecepatan rata – rata angin dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\bar{v} = \frac{\sum_i^n \pi v_i t_i}{\sum_i^n \pi t_i} \quad 2.1$$

Dimana :

V = kecepatan angin rata – rata (m/s)

$V1$ = kecepatan angin rata – rata yang terukur (m/s)

$t1$ = lama angin bertiup dengan kecepatan v_i

n = banyak data pengukuran

2.1.5. Kriteria pemilihan lokasi pemasangan Turbin Angin

Secara geografis, terhalang tebing, ngarai, adanya bangunan yang tinggi, dan landscap geografi yang tidak rata, tidak sesuai dengan kriteria pemilihan suatu lokasi pada penempatan turbin angin di karenakan tidak dapat menghasilkan lajur angin yg konsisten dan turbin angin membutuhkan aliran angin yang tidak berubah dan tidak terhenti untuk berkerja secara efektif kondisi lingkungan sekitar sangat mempengaruhi kinerja angin dalam keberlangsungan energi yang akan dihasilkan. Adapun, lokasi tata letak turbin angin yang sesuai yaitu di hamparan yang luas di luar rute migrasi burung dengan daerah angin yang kuat serta cenderung dengan angin yang stabil.

2.2 Turbin Angin

Pada awalnya, turbin angin merupakan turbin angin yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan pertanian (Irfandi, 2020). Kemudian penggunaannya meluas ke penyedia akomodasi energi listrik, bagaimanapun, tidak dalam kapasitas yang besar.

Keturunan bangsa Persia telah menggunakan kincir angin sejak 200 tahun sebelum masehi. Kincir angin pertama yang dicatat dalam sejarah adalah angin sumbu tegak yang dibangun di Sistan, perbatasan Iran, Afganistan, Paksiatan pada abad ke tujuh. Kincir angin mulai dikenal dan digunakan di wilayah Eropa pada masa Abad Pertengahan. Catatan sejarah menunjukkan bahwa penggunaan kincir angin pertama kali tercatat sekitar abad ke-11 atau ke-12. Sementara itu, turbin angin pertama yang mampu menghasilkan listrik mulai dioperasikan pada tahun 1887 oleh James Blyth dari

Skotlandia pada bulan Juli. Selanjutnya, pada tahun 1888, Charles Brush dari Amerika Serikat mengembangkan turbin angin serupa, yang kemudian dilanjutkan oleh inovasi dari Marcellus Jacobs.

Turbin angin adalah perangkat yang berfungsi mengubah energi angin menjadi energi listrik. Energi kinetik dari angin diubah terlebih dahulu menjadi energi mekanik yang kemudian digunakan untuk menggerakkan generator guna menghasilkan listrik. Semakin tinggi kecepatan angin, semakin besar pula energi yang dapat dikonversi menjadi listrik. Bahkan, perbedaan kecil dalam kecepatan angin dapat menghasilkan perbedaan energi yang cukup signifikan. Turbin angin diklasifikasikan berdasarkan arah putarannya, Turbin angin horizontal, di mana rotor dan generator berada sejajar dengan arah datangnya angin. Turbin angin vertikal, yang memiliki poros tegak lurus terhadap rotor. Gambar dari kedua jenis turbin tersebut horizontal dan vertikal dapat dilihat ilustrasi pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Turbin Angin Horizontal dan Vertikal

(Sumber: google)

Pembangkit listrik tenaga angin skala besar maupun menengah pada umumnya memanfaatkan turbin angin dengan poros horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine/HATW), karena efisiensi dan kinerjanya yang lebih optimal untuk aplikasi dalam skala tersebut. Namun, pada kasus tertentu seperti industri kecil ataupun

bangunan yang ingin membuat pembangkit listrik sendiri, skala kecil menggunakan turbin angin sumbu vertikal, karena pada umumnya ukuran turbin angin jenis vertikal lebih kecil sehingga maintainancenya menjadi lebih mudah dan murah. Untuk menghitung daya yang bisa dihasilkan turbin angin menjadi energi listrik menggunakan persamaan berikut (Sam dan Patabang, n.d.).

$$p = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad 2.2$$

Dengan P : daya (Watt)

ρ : massa jenis udara (1,225 kg/m³)

A : luas penampang (m²) = πr^2 (luas penampang turbin horizontal)

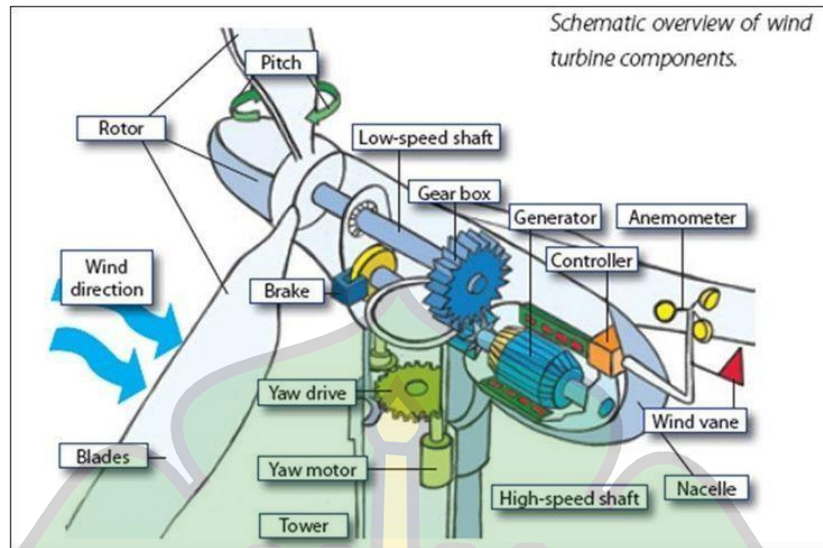
V : kecepatan angin (m/s)

Dengan daya turbin angin yang dapat dihasilkan dapat diketahui jenis turbin angin manakah yang paling cocok agar bisa memenuhi beban listrik (Indriani dkk., 2019).

2.2.1 Kontruksi Turbin Angin

Seperti yang disebut sebelumnya, turbin angin adalah alternatif sumber daya alam yang terbarukan dengan energi dan efeknya membangkitkan listrik untuk dijual oleh konsumen. Turbin angin mampu mengumpulkan dan mengeksploitasi energi angin yang melalui aliran angin melalui turbin turbin itu. Untuk membuat turbin angin, kami membutuhkan model aerodinamis. Aerodinamis adalah model dingin yang kita gunakan untuk menentukan tinggi Menara yang sesuai, model teliti kontrol, serta jumlah dan bentuk dari seorang pria dari mulut sampai akhir dan bentuk keseluruhan.

Turbin angin berfungsi untuk mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi listrik melalui proses konversi energi. Pada umumnya, turbin angin dengan sumbu horizontal terdiri atas tiga komponen utama, yaitu komponen rotor, komponen transmisi, dan komponen generator, komponen structural.



Gambar 2. 4 Komponen Turbin Angin Dengan Sumbu Horizontal

(Sumber: Inameq)

Sebuah turbin angin, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.4, terdiri atas sejumlah komponen utama yang berperan penting dalam mendukung mekanisme kerjanya, yaitu proses konversi energi kinetik dari angin menjadi energi listrik. Salah satu komponen utama adalah bilah turbin (blades), yang berfungsi menangkap hembusan angin dan mengubahnya menjadi gerakan rotasi. Gerakan rotasi ini kemudian diteruskan ke generator untuk menghasilkan energi listrik. Generator bertugas mengubah energi mekanik dari rotasi bilah menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan. Untuk memastikan keselamatan operasional, turbin dilengkapi dengan sistem pengereman (brake), yang dapat dioperasikan secara mekanik, elektrik, atau hidrolik untuk menghentikan putaran rotor dalam kondisi darurat. Sistem kontrol (control system) yang terdapat pada controller mengatur kecepatan kerja turbin. Sebagai contoh, turbin akan beroperasi dalam rentang kecepatan angin 8 hingga 16 mil per jam dan secara otomatis akan dimatikan ketika kecepatan angin mencapai ambang batas, misalnya 55 mil per jam, guna mencegah kerusakan. Kotak roda gigi (gearbox) berfungsi untuk menghubungkan poros kecepatan rendah dengan poros kecepatan tinggi, serta meningkatkan kecepatan rotasi agar sesuai dengan kebutuhan operasional

generator. Selanjutnya, poros kecepatan tinggi dan rendah (high-speed shaft dan low-speed shaft) berperan dalam mendistribusikan energi rotasional dari rotor ke generator. Nacelle merupakan struktur berbentuk rumah mesin yang berada di puncak menara dan berfungsi melindungi seluruh komponen mekanik dan elektrik yang ada di dalamnya. Sementara itu, pitch control digunakan untuk mengatur sudut bilah terhadap arah angin guna menjaga kestabilan putaran rotor serta mencegah perubahan arah rotasi akibat fluktuasi kecepatan atau arah angin. Rotor merupakan gabungan antara bilah turbin dan hub, yang menjadi bagian utama dalam menangkap energi angin. Agar turbin dapat menangkap angin secara optimal, keseluruhan sistem dipasang di atas menara (tower) yang terbuat dari baja atau beton, dengan ketinggian yang cukup untuk menjangkau angin dengan kecepatan yang stabil. Wind vane atau alat penunjuk arah angin, berfungsi mendeteksi arah datangnya angin dan mengirimkan informasi tersebut ke yaw drive, yang kemudian mengorientasikan posisi rotor agar selalu menghadap arah angin. Pergerakan yaw drive ini digerakkan oleh yaw motor, yang menyediakan tenaga rotasi yang dibutuhkan (Aji dan Widyartono, 2020).

2.3 Distribusi Weibull

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai kerapatan (densitas) daya angin di suatu wilayah dengan cara menentukan parameter fungsi distribusi Weibull. Penentuan parameter tersebut dilakukan melalui tiga pendekatan, yaitu metode grafik, metode empiris, dan metode momen. Metode distribusi Weibull merupakan yang paling efektif untuk estimasi energi angin (Muliadi dan Asyadi, 2021).

Selanjutnya dengan memanfaatkan distribusi Weibull, data kecepatan angin dikelompokkan secara periodik agar memungkinkan perhitungan densitas probabilitas dari setiap interval kecepatan angin. Nilai densitas probabilitas tersebut kemudian dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P(v_1) = \frac{f_i}{\sum_i^n 1f_i} \quad 2.3$$

Sementara itu, f_i mengacu pada frekuensi kemunculan di setiap interval kecepatan angin, N merepresentasikan jumlah hari dalam periode waktu yang dianalisis, dan $p(v_i)$ menunjukkan densitas probabilitas kumulatif.

Dua parameter dalam fungsi distribusi Weibull untuk kecepatan angin, beserta fungsi distribusi kumulatifnya, dapat diamati sebagai berikut :

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k \right] \quad 2.4$$

$$F(v) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k \right] \quad 2.5$$

Di mana $f(v)$ merupakan probabilitas dari variabel kecepatan angin, k adalah parameter bentuk Weibull yang tidak berdimensi, c adalah parameter skala Weibull yang diukur dalam satuan kecepatan angin, dan $F(v)$ merupakan fungsi distribusi kumulatif dari kecepatan angin v . Terdapat berbagai metode yang digunakan untuk menentukan parameter dalam fungsi Weibull dalam rangka mengarakterisasi data kecepatan angin. Meskipun fungsi distribusi Weibull secara umum memiliki tiga parameter, untuk aplikasi pada kecepatan angin biasanya cukup menggunakan dua parameter saja (Wildani dan Kurniasari, 2019).

Menurut distribusi Weibull, parameter utama yang memengaruhi tingkat keseragaman kecepatan angin adalah parameter bentuk k . Dalam menganalisis karakteristik angin pada daerah yang memiliki potensi energi angin, diperlukan estimasi terhadap parameter distribusi Weibull, yaitu k (parameter bentuk) dan c (parameter skala). Beberapa metode umum yang digunakan untuk menentukan nilai parameter k dan c antara lain adalah:

1. Linear Regression Method

Pada metode Graphical, ubah fungsi distribusi kumulatif ke dalam bentuk linier, ambil skala logaritmik. Ketika persamaan untuk cumulative distribution kecepatan angin ditulis;

$$1 - F(v) = e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad 2.6$$

Mengambil logaritma dua kali, kita mendapatkan;

$$\ln\{-\ln[1 - F(V)]\} = k \ln V_i - k \ln c \quad 2.7$$

Dengan menghasilkan persamaan regresi untuk garis yang diplot menggunakan spreadsheet standar atau paket statistik, dapat diperoleh nilai parameter k dan c.

2. Maximum likelihood method

Beberapa metode yang bisa digunakan untuk menghitung nilai k dan c sefria prilaku adalah metode keserupaan maksimum. Metode ini sering digunakan karena jumlah data yang besar dan karakteristik keseburan yang diinginkan(Lisman dkk., 2023). Persamaan ini dapat diselesaikan dengan menggunakan metode iterative standar.

$$\frac{\sum_{i=1}^n v_i^k \ln v_1}{\sum_{i=1}^n v_i^k} - \frac{1}{k} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^k \ln v_1 = 0 \quad 2.8$$

Penentuan parameter distribusi Weibull juga dapat dilakukan dengan menggunakan metode Newton-Raphson, yang memiliki bentuk persamaan umum sebagai berikut :

$$v_{n+1} = v_n - \frac{f(v_n)}{f'(v_n)} \quad 2.9$$

Diperoleh

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^k \ln v_1}{\sum_{i=1}^n v_i^k} - \frac{1}{k} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^k \ln v_1 \quad 2.10$$

$$f^1(k) = \sum_{i=0}^n v_i^k (\ln v_1)^2 - \frac{1}{k^2} \sum_{i=1}^n v_i^k (\ln v_1 - 1) - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^k \ln v_1 \right) \left(\sum_{i=1}^n v_i^k \ln v_1 \right) \quad 2.11$$

Selanjutnya, nilai k dan c dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^k}{n} \quad 2.12$$



2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya yang menjadi referensi dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu

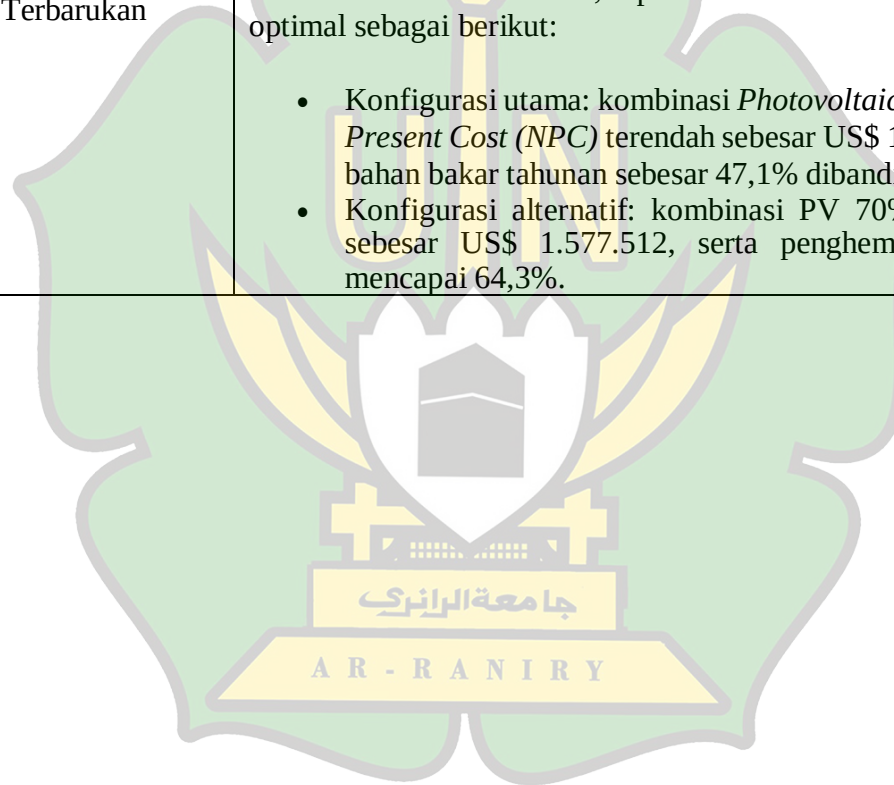
No.	Penulisan	Judul	Hasil
1.	Muhammad Nashar	Analisa Kelayakan Bisnis Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Pltb) Di Indonesia Dengan Menggunakan Software Retscreen	Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang dibangun di lokasi yang strategis berpotensi menghasilkan tingkat kelayakan investasi yang tinggi. Pemanfaatan energi angin sebagai salah satu sumber energi terbarukan dinilai sangat potensial, dengan estimasi kapasitas mencapai sekitar 9,2 GW. Hingga saat ini, pengembangan PLTB secara komersial masih belum terealisasi, salah satu kendalanya adalah sulitnya memperoleh pendanaan dari lembaga keuangan. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan menggunakan perangkat lunak RetScreen, diharapkan dapat membantu mempermudah analisis kelayakan bisnis pada proyek-proyek energi terbarukan, khususnya yang berbasis energi angin.

2.	Firas A. Hadi, Samah Shyaa Oudah, Rafa A. Al-Baldawi	Studi Ekonomi Proyek Energi Angin Menggunakan Berbagai Sumber Data Angin	Hasil Penelitian nya klasifikasi IEC kelas 3 yang berarti kesesuaian lokasi AL Shihabi untuk pembangunan proyek energi angin. Model yang layak adalah 10 unit turbin angin 500kW (EWT DW54). Ladang angin yang diusulkan dengan faktor kapasitas pembangkit listrik tenaga angin keseluruhan sebesar 38,34% dapat mengekspor tenaga listrik ke jaringan listrik dengan nilai 13,703MWh per tahun dengan harga jual 100\$/MWh. Biaya unit listrik sebesar 0,028 dan 0,0399 \$/kWh diperoleh masing-masing dari metode LCOE dan NPV. Variasi biaya satuan listrik yang diperoleh dengan menggunakan metode LCOE dan NPV dapat dikaitkan dengan metodologi dan prosedur yang diikuti pada masing-masing metode. Pada akhirnya, proyek tersebut dapat diterima dan layak dilakukan.
3.	Ahmet Erhan Arkam, Aytac Perihan Akan	Evaluasi analisis kelayakan untuk ketinggian hub turbin angin yang berbeda	hasil penelitian, jika payback period dievaluasi dari segi biaya produksi energi dan potensi pengurangan gas rumah kaca, turbin angin dengan tinggi sambungan hub 100 m menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan turbin angin lainnya dengan tinggi sambungan hub 65 dan 80 m. Penelitian ini diperkirakan akan memandu penentuan ketinggian hub yang sesuai untuk sistem pembangkit tenaga angin dan turbin pembangkit angin yang direncanakan akan didirikan di Çerkezköy, salah satu kawasan industri terbesar di Turki untuk mendapatkan kondisi yang hemat biaya dan ramah lingkungan.

4.	Youssef Kassem, Huseyin Camur, Almonsef Alhadi Salem Mosbah	Analisis Kelayakan Potensi Energi Angin di Libya menggunakan RETScreen Expert	Hasil penelitian menunjukkan bahwa Darnah merupakan lokasi yang paling menjanjikan untuk isolasi ladang angin karena nilai kecepatan angin yang tinggi. Selain itu, perangkat lunak RETScreen digunakan untuk memperkirakan keluaran energi dan melakukan analisis kelayakan ekonomi pembangkit listrik tenaga angin. Selain itu, makalah ini menetapkan hubungan antara efek bangun, hilangnya airfoil, dan potensi mitigasi gas rumah kaca (GRK) serta kinerja ladang angin. Hasilnya menunjukkan bahwa proyek pembangkit listrik tenaga angin layak secara ekonomi bila digunakan EWT-DW 52 dengan kapasitas 500 kW. Temuan penelitian menunjukkan bahwa efek bangun merupakan pertimbangan penting dalam desain ladang angin, dan hal ini dapat diminimalkan melalui jarak strategis dan desain turbin. Selain itu, akumulasi kotoran dan serpihan pada bilah turbin angin dapat secara signifikan mengurangi keluaran energi pembangkit listrik tenaga angin, menyebabkan inefisiensi turbin dan menurunkan produksi energi secara keseluruhan. Selain itu, biaya produksi energi dari pembangkit listrik tenaga angin lebih ekonomis dibandingkan dengan tarif listrik dan dapat menghasilkan proyek energi angin yang menguntungkan.
5.	Muhammad Muneed Khan, Basit Akram, Muhammad Aamir Shafi, Khawaja Abdul Muqet	Analisis Keuangan Kogenerasi PV- Angin untuk Desa Terpencil di Gwadar- Pakistan	Hasil Penelitian Kekhawatiran konsumsi dan pemikiran ekonomi sumber daya bahan bakar fosil di seluruh dunia mengharuskan pencarian dasar sumber energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi pertunjukan. Listrik telah menjadi kebutuhan dasar dalam kehidupan untuk pendidikan, Kesehatan dan transportasi. Di negara-negara berkembang, desa-desa terpencil masih belum memiliki akses terhadap listrik karena tidak ekonomis bagi perusahaan utilitas untuk menyediakan listrik di pusat-pusat beban yang tersebar secara geografis. Kappar, sebuah desa terpencil di kota Gwadar, provinsi Baluchistan, dijadikan sebagai studi kasus yang memiliki potensi tenaga surya dan angin yang melimpah. Dalam studi ini, skema pembangkit listrik hibrida diusulkan untuk desa-desa terpencil di Gwadar, Pakistan. Kajian komprehensif mengenai analisis teknis, Aspek ekonomi dan finansial mencakup Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period (PP), Debt Service Coverage Ratio (DSCR), dan Benefit-Cost Ratio (BCR) untuk suatu perusahaan. sistem hibrida PV-Angin di lokasi tersebut telah dihitung menggunakan perangkat lunak manajemen energi bersih yang disebut RET screen Expert,

			yang dikembangkan oleh Natural Resource Canada (NRC). Kajian makalah ini memberikan wawasan tentang konfigurasi kapasitas PV dan aksesibilitas turbin angin yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi di lokasi tertentu dan parameter teknis, ekonomi, finansial, dan lingkungan untuk pengambilan keputusan di masa depan dan manipulasi terbaik. Energi tahunan yang dihasilkan oleh sistem hibrida yang diusulkan dihitung, dan analisis keekonomian energi dilakukan berdasarkan permintaan. Dengan menggunakan alat layar RET, tujuan utamanya adalah untuk menciptakan sistem hybrid dengan Levelized Cost of Electricity (LCOE).
6.	Samuel Sarpong Asamoah, Joseph Parbey, Isaac Kwasi Yankey, Alfred Awuah	Penilaian tekno-ekonomi terhadap pembangkit listrik tenaga Angin yang terhubung ke jaringan pusat pertanian di Ghana menggunakan RETScreen® Expert	Hasilnya menunjukkan bahwa proyek pembangkit listrik tenaga angin skala utilitas potensial dapat dilaksanakan di semua lokasi yang diteliti. Selain itu, Ekspor Listrik ke Jaringan Listrik dan Tarif Ekspor Listrik (EER) mempunyai dampak tertinggi masing-masing sebesar 0,63 dan 0,62 terhadap NPV dan oleh karena itu parameter utama ini harus dipertimbangkan dengan baik sebelum potensi pelaksanaan proyek.

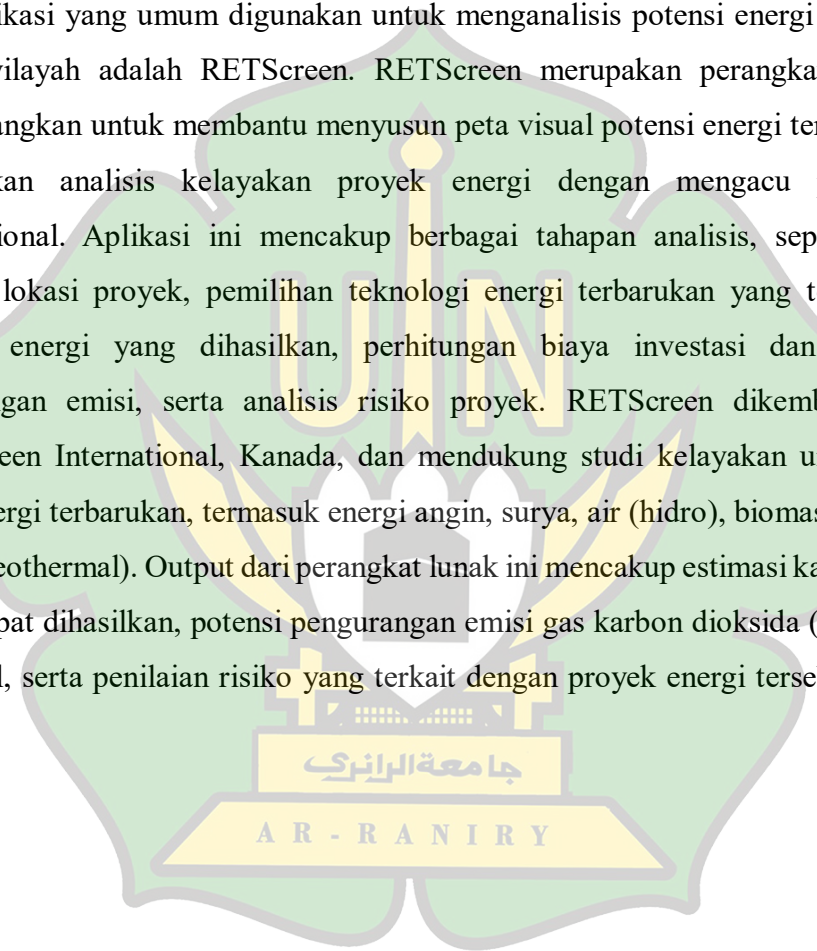
7.	Bahrud Kahar	Studi Dan Pemodelan Penyediaan Energi Di Pulau Moti Kota Ternate Berbasis Energi Terbarukan	Studi ini mengusulkan suatu model konfigurasi Pembangkit Listrik Hibrida di Pulau Moti yang mengombinasikan antara generator diesel dan sumber energi terbarukan. Hal ini didasarkan pada potensi energi terbarukan yang dimiliki Pulau Moti, yakni rata-rata radiasi matahari tahunan sebesar 5,96 kWh/m²/hari serta kecepatan angin rata-rata sebesar 3,8 m/s. Untuk menganalisis potensi tersebut dan merancang konfigurasi sistem yang optimal, dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh model konfigurasi pembangkit listrik hibrida yang optimal sebagai berikut: • Konfigurasi utama: kombinasi <i>Photovoltaic (PV)</i> 50% dan Diesel 50%, dengan <i>Net Present Cost (NPC)</i> terendah sebesar US\$ 1.531.546, serta penghematan konsumsi bahan bakar tahunan sebesar 47,1% dibandingkan kondisi eksisting di Pulau Moti. • Konfigurasi alternatif: kombinasi PV 70% dan Diesel 30%, dengan nilai NPC sebesar US\$ 1.577.512, serta penghematan konsumsi bahan bakar tahunan mencapai 64,3%.
----	--------------	---	--

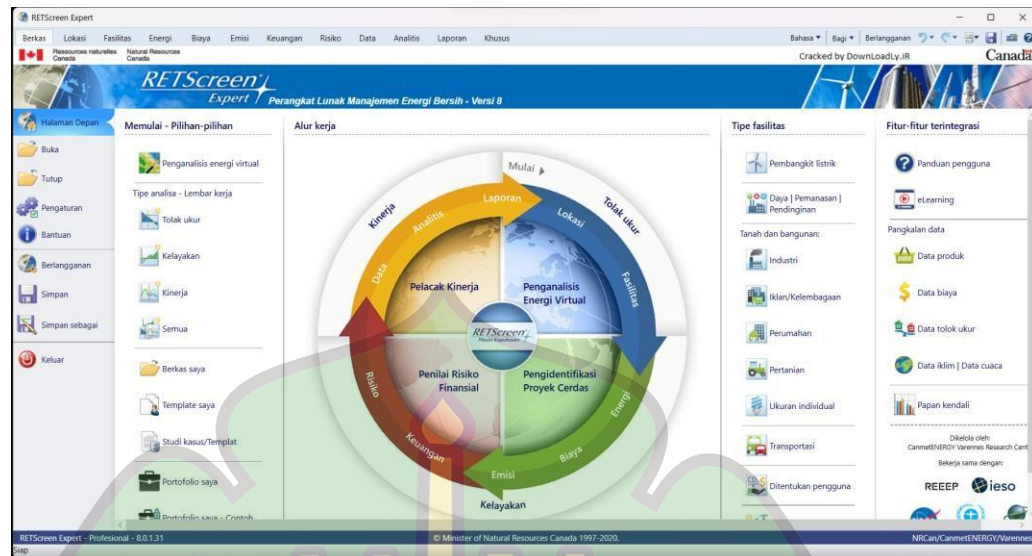


2.5 Software RETScreen

2.5.1. Pengenalan

Terdapat berbagai metode dalam menganalisis potensi energi terbarukan, salah satunya adalah dengan memanfaatkan perangkat lunak atau aplikasi pendukung. Salah satu aplikasi yang umum digunakan untuk menganalisis potensi energi terbarukan di suatu wilayah adalah RETScreen. RETScreen merupakan perangkat lunak yang dikembangkan untuk membantu menyusun peta visual potensi energi terbarukan serta melakukan analisis kelayakan proyek energi dengan mengacu pada standar internasional. Aplikasi ini mencakup berbagai tahapan analisis, seperti penilaian kondisi lokasi proyek, pemilihan teknologi energi terbarukan yang tepat, estimasi potensi energi yang dihasilkan, perhitungan biaya investasi dan operasional, perhitungan emisi, serta analisis risiko proyek. RETScreen dikembangkan oleh RETScreen International, Kanada, dan mendukung studi kelayakan untuk berbagai jenis energi terbarukan, termasuk energi angin, surya, air (hidro), biomassa, dan panas bumi (geothermal). Output dari perangkat lunak ini mencakup estimasi kapasitas energi yang dapat dihasilkan, potensi pengurangan emisi gas karbon dioksida (CO_2), analisis finansial, serta penilaian risiko yang terkait dengan proyek energi tersebut (Arif dkk., 2021).

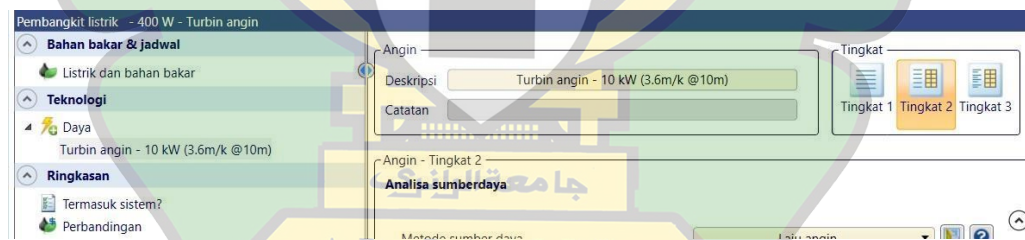




Gambar 2. 5 Tampilan Awal Retscreen

2.5.2. Modeling

Pada tab model energi, ada tiga subkategori: Bahan Bakar dan Jadwal, Teknologi dan Ringkasan dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Tab Model Energi

Dalam Teknologi, metode produksi tenaga dipilih, yang merupakan turbin angin dalam hal yang dipelajari ini. Ada tiga tingkat detail yang tersedia. Di level 1 pengguna memasukkan kapasitas daya, jumlah turbin, dan faktor kapasitas. Kapasitas daya dapat ditambahkan secara manual atau oleh database perangkat lunak. Model ini mengembalikan listrik tahunan yang diekspor ke jaringan.

Level 2 dibagi menjadi enam subbagian: Penilaian sumber daya, turbin angin, kurva daya dan energi, kerugian, ringkasan dan informasi lainnya.

Analisa sumberdaya

Metode sumber daya	Laju angin	
Laju angin - tahunan	m/k	3.5851
Diukur pada	m	10
Eksponen geser angin		0.14
Suhu udara - tahunan	°C	27.4581
Tekanan atmosfer - tahunan	kPa	100.4024

Data iklim
Indonesia - Banda Aceh
4.6
10
27.5
100

Turbin angin

Kapasitas daya per turbin	kW	0.4
Perusahaan manufaktur		Southwest Windpower
Model		Air X
Jumlah turbin		10
Kapasitas daya	kW	4
Ketinggian poros	m	20
Diameter rotor per turbin	m	1.15
Area sapuan per turbin	m ²	1.04
Data kurva energi		Standar
Faktor bentuk		2

4 m/k

Gambar 2. 7 Analisis Sumber Daya

Analisa sumber daya berisi semua variabel yang terkait dengan potensi angin (lihat Gambar 2.7). Kecepatan angin atau kepadatan tenaga angin dipilih sebagai metode sumber daya dan kemudian ketinggian pengukuran ditentukan. Selanjutnya, eksponen geser angin ditentukan, untuk menghitung kecepatan angin pada ketinggian poros. Terakhir, nilai suhu udara/tahunan dan tekanan atmosfer/tahunan dapat ditambahkan oleh pengguna atau dari database RETScreen.

Turbin angin (lihat Gambar 2.7) mencakup semua parameter terkait seperti kapasitas daya, per turbin, Perusahaan manufaktur, model, jumlah turbin, kapasitas daya, ketinggian poros, diameter rotor, area sapuan, data kurva energi, dan faktor bentuk. Meskipun semua hal di atas dapat diatur secara manual, pilihan terbaik adalah mencari database ekstensif perangkat lunak, yang berisi model paling populer yang tersedia di pasar. Data kurva energi menentukan cara penghitungan kurva energi. Dengan menggunakan distribusi Rayleigh yang merupakan subcase dari distribusi Weibull.

Analisis biaya dalam lembar kerja ini pengguna memasukkan biaya awal, tahunan, dan periodik untuk sistem kasus yang diusulkan serta kredit untuk setiap biaya

kasus dasar yang dihindari dalam kasus yang diusulkan atau sebagai alternatif, pengguna dapat memasukkan biaya tambahan secara langsung. Pengguna mempunyai pilihan antara melakukan prakelayakan atau studi kelayakan. Untuk analisis prakelayakan biasanya diperlukan informasi yang kurang rinci dan kurang akurat, sedangkan untuk analisis kelayakan biasanya diperlukan informasi yang lebih rinci dan akurat. Karena perhitungan yang dilakukan oleh Perangkat Lunak RETScreen untuk langkah ini mudah dan relatif sederhana (penjumlahan dan perkalian). Analisis biaya dapat dilihat pada Gambar 2.8.

RETScreen - Cost Analysis

Subscriber:

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
Initial cost				\$ 27,200
Show data				
User-defined	cost	10	\$ 40,800	\$ 408,000
Total initial costs				\$ 435,200

Annual costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
O&M costs (savings)	project			\$ 280
Show data				
User-defined	cost	10	\$ 420	\$ 4,200
Total annual costs				\$ 4,480

Annual savings	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
User-defined	cost			\$ -
Total annual savings				\$ -

Go to: Emission

Gambar 2. 8 Tab Cost Analisis

Analisis keuangan disediakan sebagai langkah terakhir dari pra-studi kelayakan ini. Beberapa parameter telah ditentukan seperti tingkat inflasi, umur proyek, rasio utang, tingkat bunga utang dan durasi utang. Biaya yang ditentukan pengguna biasanya mencakup O&M selama masa proyek atau tenaga kerja untuk instalasi. Insentif dapat diberikan jika tersedia untuk proyek tertentu. Perangkat lunak ini memberikan empat hasil untuk mengevaluasi kelayakan finansial:

1. Tingkat pengembalian internal sebelum pajak (IRR) atas ekuitas, dalam persentase, mewakili hasil bunga sebenarnya yang diberikan oleh ekuitas proyek sepanjang masa proyek (sebelum menerapkan pajak). Hal ini dihitung menggunakan arus kas

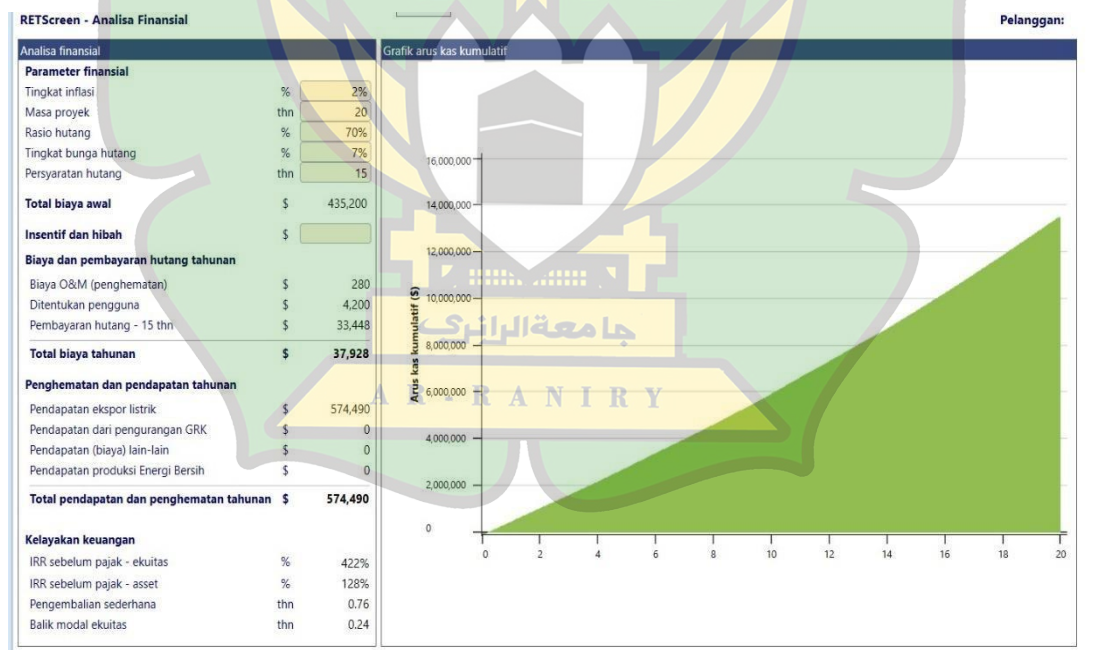
tahunan sebelum pajak dan durasi proyek. Untuk menyederhanakan maknanya, dapat dikaitkan dengan return on equity (ROE) atau laba atas investasi (ROI). IRR pada ekuitas proyek digunakan oleh organisasi sebagai perbandingan dengan IRR perusahaan dan untuk memutuskan apakah investasi tersebut nyaman atau tidak. Untuk proyek yang memerlukan suntikan dana tunai selama masa proyek, dengan jumlah yang sama dengan pendapatan tahunan proyek, estimasi IRR mungkin menjadi tidak akurat.

2. Tingkat pengembalian internal sebelum pajak (IRR) atas aset (%) digambarkan sebagai hasil bunga sebenarnya yang diberikan oleh aset proyek selama masa pakainya (sebelum pajak). Hal ini dapat dihubungkan kembali dengan pengertian *return on assets* (ROA).
3. Rumus pengembalian sederhana (dalam tahun) mempertimbangkan perkiraan biaya awal, total biaya tahunan (tidak termasuk pembayaran utang) dan total manfaat dan pendapatan tahunan. Indikator ini menunjukkan berapa lama waktu yang dibutuhkan suatu pabrik untuk menutupi biaya awalnya. Metode pengembalian sederhana mempunyai arti mengevaluasi keinginan suatu investasi: jika waktu untuk menutupi biaya awal cukup singkat, investasi tersebut dapat dianggap nyaman. Indeks ini dapat digunakan untuk membandingkan profitabilitas berbagai proyek. Indikator ini tidak terlalu penting untuk mengevaluasi risiko suatu investasi, terutama karena indikator ini mengabaikan aspek-aspek penting, seperti dampak inflasi selama masa proyek, namun indikator ini dapat berguna bagi perusahaan kecil yang lebih memilih proyek dengan pengembalian jangka pendek, bahkan meskipun mereka memiliki

IRR yang lebih rendah dibandingkan yang lain.

4. Pengembalian ekuitas, yang mewakili durasi yang diperlukan pemilik pabrik untuk menutupi investasi awal (ekuitas) dari arus kas proyek yang dihasilkan. Pengembalian ekuitas memperhitungkan arus kas perusahaan sejak awal serta ekuitas (tingkat hutang) bisnis, yang memungkinkan pengukuran nilai proyek secara waktu lebih baik daripada indikator sebelumnya (pembayaran kembali sederhana). Model ini menggunakan nomor tahun dan akumulasi arus kas setelah pajak untuk mengukur nilai ini.

Hasilnya, kelayakan finansial disajikan pada Gambar 2.9, bersama dengan grafik arus kas kumulatif. Diperlukan waktu kurang dari satu tahun untuk mencapai pengembalian ekuitas.



Gambar 2. 9 Tab Analisis Finansial

2.6 Indikator Kelayakan Finansial

Dalam studi kelayakan proyek energi terbarukan, khususnya pada proyek pembangunan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB), analisis finansial memiliki peran penting dalam menentukan apakah investasi layak dilanjutkan. Beberapa indikator utama yang digunakan dalam perangkat lunak RETScreen untuk menilai kelayakan finansial antara lain adalah sebagai berikut:

2.6.1. *Internal Rate of Return (IRR)*

IRR adalah tingkat diskonto yang menyebabkan nilai Net Present Value (NPV) dari semua arus kas proyek menjadi nol. IRR menunjukkan tingkat pengembalian tahunan dari investasi dan digunakan untuk menilai profitabilitas suatu proyek (Wijayanto dkk., 2013).

$$NPV = \sum_{i=0}^n \frac{c_t}{(1 + IRR)^t} = 0 \quad 2.13$$

Dimana:

- C_t = Arus kas bersih pada tahun ke- t
- t = Tahun ke- t
- n = Umur proyek (tahun)

Semakin besar nilai IRR dibandingkan dengan tingkat diskonto, maka proyek semakin layak untuk dijalankan.

2.6.2. *Simple Payback Period*

Simple Payback Period Adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan investasi awal dari arus kas bersih tahunan. Rumusnya adalah:

$$\text{Simple Payback Period} = \frac{\text{investasi awal}}{\text{ arus kas bersih tahunan}} \quad 2.14$$

Meskipun indikator ini tidak mempertimbangkan nilai waktu uang (time value of money), namun tetap relevan untuk melihat kecepatan pengembalian investasi.

2.6.3. *Equity Payback Period*

Equity Payback Period adalah jangka waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal ekuitas (investasi dari pemilik) dari arus kas proyek setelah dikurangi kewajiban utang. Rumusnya serupa dengan simple payback, namun fokus pada arus kas terhadap ekuitas:

$$\text{Equity Payback Period} = \frac{\text{Ekuitas awal}}{\text{Arus kas bersih tahunan}} \quad 2.15$$

Indikator ini lebih tepat digunakan ketika proyek didanai sebagian oleh pinjaman dan sebagian oleh ekuitas sendiri (Pay Back Period, n.d.).

2.6.4. **Benefit-Cost (B/C) Ratio**

Benefit-Cost Ratio adalah perbandingan antara nilai manfaat total yang diperoleh dengan biaya total proyek dalam nilai kini (present value). (Gandhi et al., 2022) Rumusnya adalah:

$$\frac{B}{C} \text{ Ratio} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad 2.16$$

Dimana :

- B_t = Manfaat pada tahun ke- t
- C_t = Biaya pada tahun ke- t
- r = Tingkat diskonto
- n = Umur proyek

Jika B/C Ratio > 1, maka proyek layak secara ekonomis.

BAB III

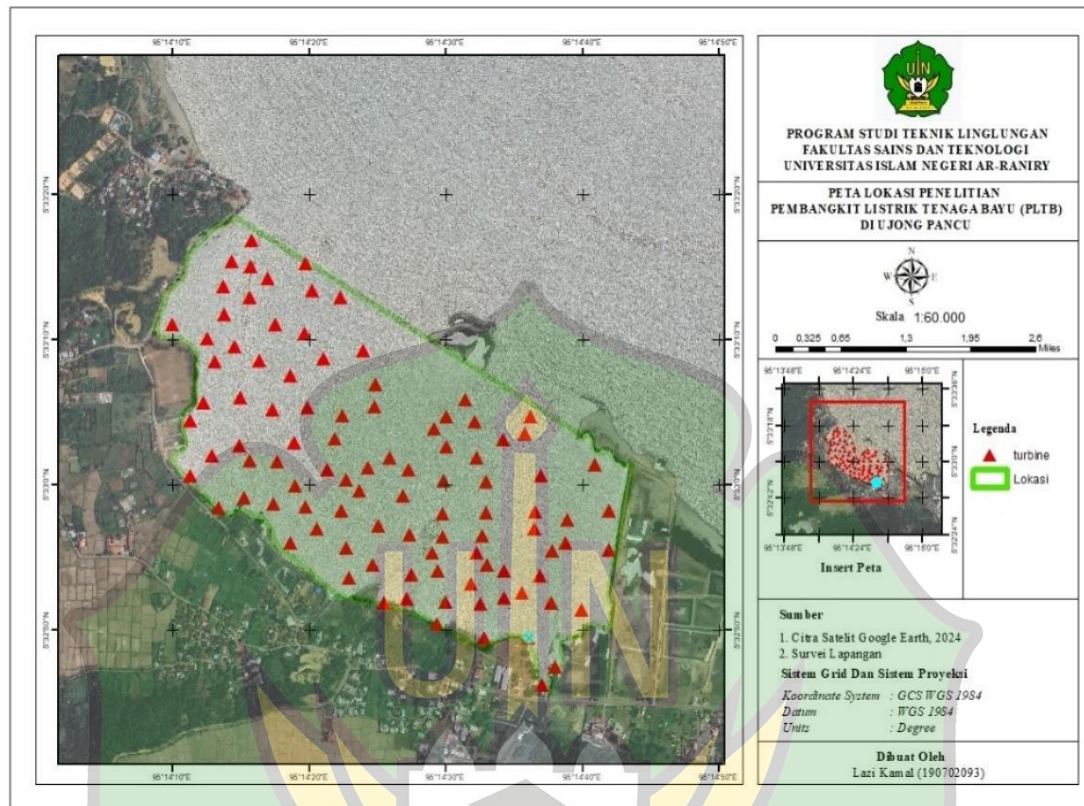
METODE PENELITIAN

3.1 Jenis penelitian

Tipe kajian ini merupakan kajian kuantitatif yang menggunakan metode deskriptif. Kajian kuantitatif adalah pendekatan penelitian yang secara spesifik mencakup struktur yang sistematis, terencana, tepat, dan jelas. Sementara itu, metode deskriptif digunakan untuk mendeskripsikan atau memberikan informasi tentang objek penelitian melalui sampel dan data atau informasi yang dikumpulkan tanpa rekayasa. Tujuan dari metode deskriptif adalah untuk mengurai hasil atau objek penelitian.

3.2 Lokasi penelitian

Penelitian berlokasi di Desa Lampageu Ujong Pancu Kecamatan Peukan Bada Kabupaten Aceh Besar. Dari hasil observasi lokasi yang direncanakan sebagai lokasi Pembangunan PLTB ini, tidak terdapat bangunan atau vegetasi tinggi yang dapat menghalangi aliran angin lokasi turbin. Akses ke lokasi pantai dapat dicapai dengan mudah dari kota Banda Aceh sehingga memudahkan proses instalasi, pemeliharaan, dan pemantauan turbin angin.



Gambar 3. 1 Peta Lokasi dengan Plot Titik Koordinat

(Sumber: arcgis dengan modifikasi, 2023)



Gambar 3. 2 Pengambilan Titik Koordinat

3.3 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat Penelitian

No.	Nama Alat	Spesifikasi	Fungsi
1.	Laptop	LAPTOP-O2BES545, LENOVO 82KT, System Type x64-based PC	Sebagai perangkat keras (<i>hardware</i>) digunakan untuk pengolahan data dan simulasi.
2.	<i>Microsoft Word</i>	Microsoft Office Word 2021.	Sebagai perangkat lunak dalam menyusun tugas akhir.
3.	<i>Global Wind Atlas</i>	-	Adalah platform web yang menyediakan data potensi angin global, seperti kecepatan dan arah angin, untuk mendukung studi awal PLTB berdasarkan pemodelan numerik atmosferik yang divalidasi data lapangan.

4	RETScreen	RETScreen Expert 8.0.1.31	Sebagai sistem perangkat lunak manajemen energi bersih untuk efisiensi energi, energi terbarukan dan analisis kelayakan proyek kogenerasi serta analisis kinerja energi yang sedang berlangsung.
---	-----------	------------------------------	--

3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan guna memperoleh data primer dan sekunder yang dibutuhkan dalam proses perencanaan. Data-data tersebut mencakup:

3.4.1 Data primer

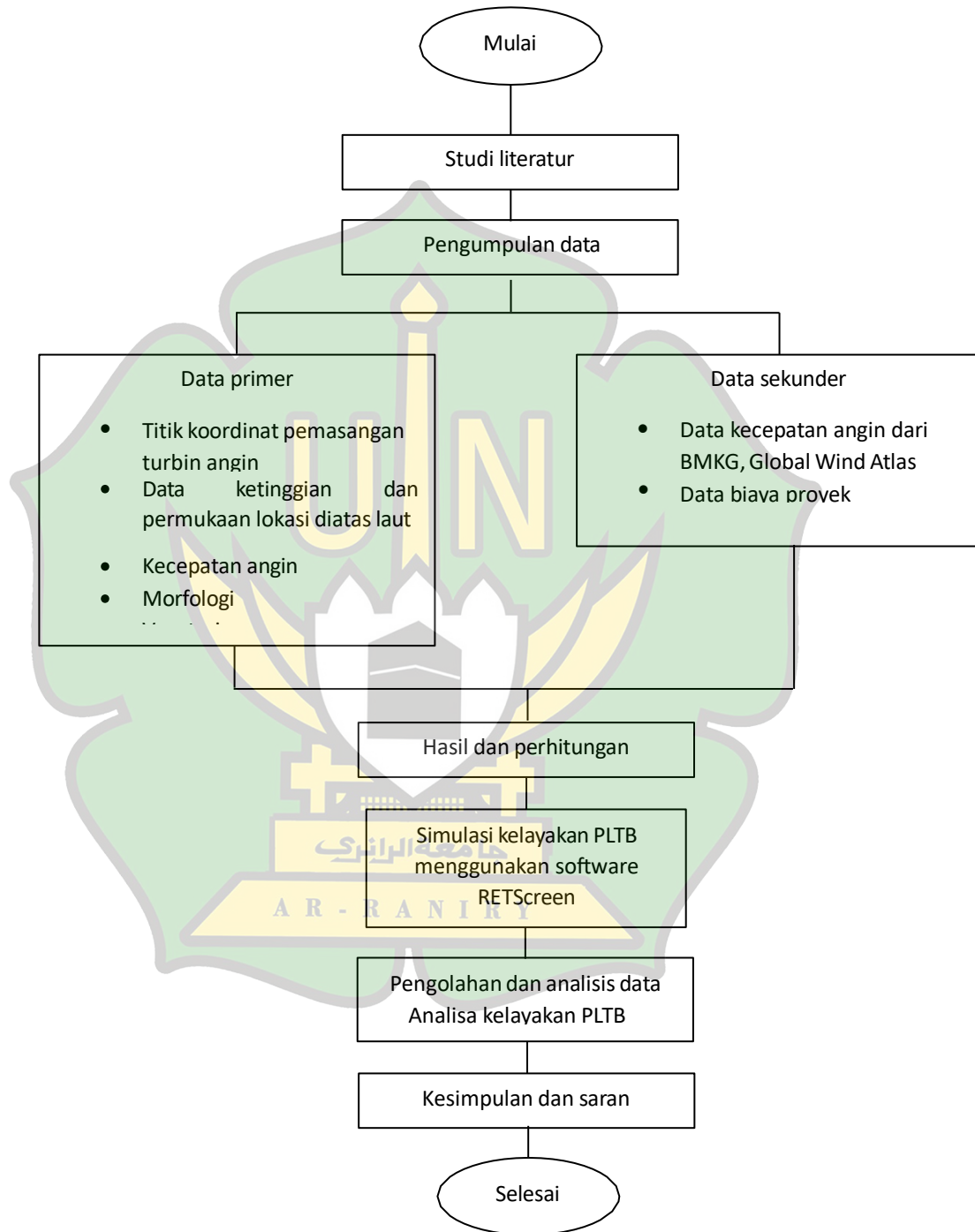
Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lapangan serta melalui kegiatan pengukuran di lokasi. Melalui observasi lapangan akan didapati data berupa data observasi, data morfologi, data vegetasi di daerah kajian, sedangkan melalui pengukuran akan didapati data kecepatan angin, ketinggian lokasi di atas permukaan laut, dan titik koordinat.

3.4.2 Data sekunder

Data sekunder berupa data kecepatan angin diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Global Wind Atlas, dan sebagian data yang terdapat dalam aplikasi RETScreen yang berkaitan dengan analisis kelayakan PLTB.

3.5 Tahapan penelitian

Adapun tahapan penelitian analisis kelayakan pembangunan pembangkit Listrik tenaga bayu (PLTB) dapat dilihat dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.3



Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian

Adapun tahapan penelitian ini meliputi tahapan-tahapan berikut:

3.5.1 Studi Literatur

Melakukan studi literatur dari beberapa sumber penelitian yang mencakup jurnal dan artikel yang telah dipublikasikan baik tanggal berita maupun buku-buku yang terkait dengan teori pada mata kuliah. Salah satunya faktor penting merupakan pembangkit listrik tenaga angin serta regulasi energi terbarukan.

3.5.2 Pengumpulan Data

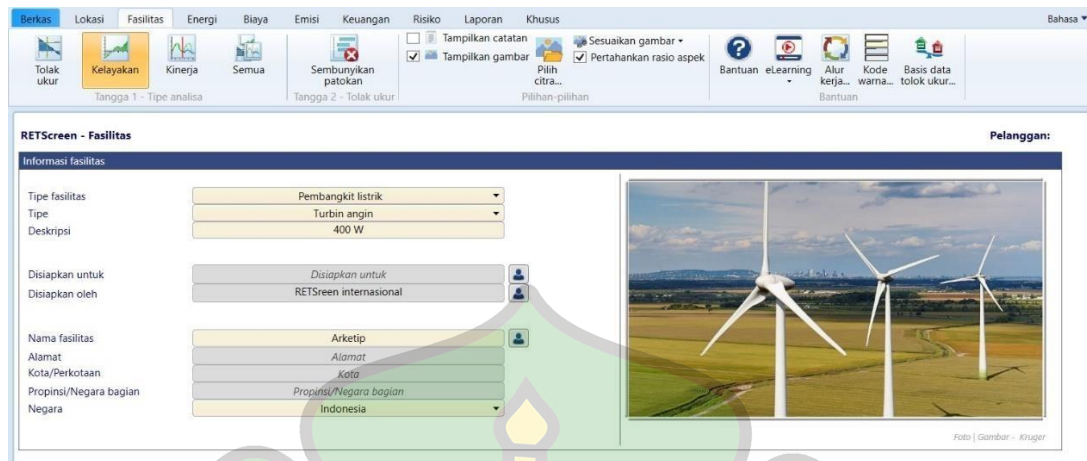
Pengambilan data adalah metode yang dapat digunakan oleh peneliti untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan guna mencapai tujuan dari penelitian tersebut.

3.5.3 Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data menggunakan software RETScreen, dimana tahapan pengolahan dan analisis data meliputi:

- Menentukan parameter dasar

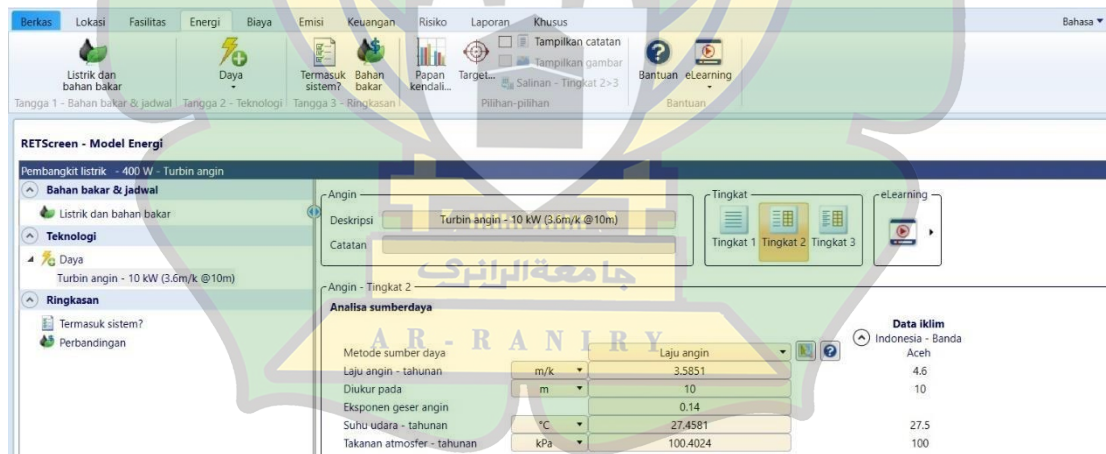
Kita akses dengan mengklik ikon ‘Kelayakan’ pada halaman ‘Fasilitas’. Saat menentukan jenis fasilitas di RETScreen, kami memilih pembangkit listrik untuk tipe turbin angin 400 W.



Gambar 3. 4 Fitur Fasilitas

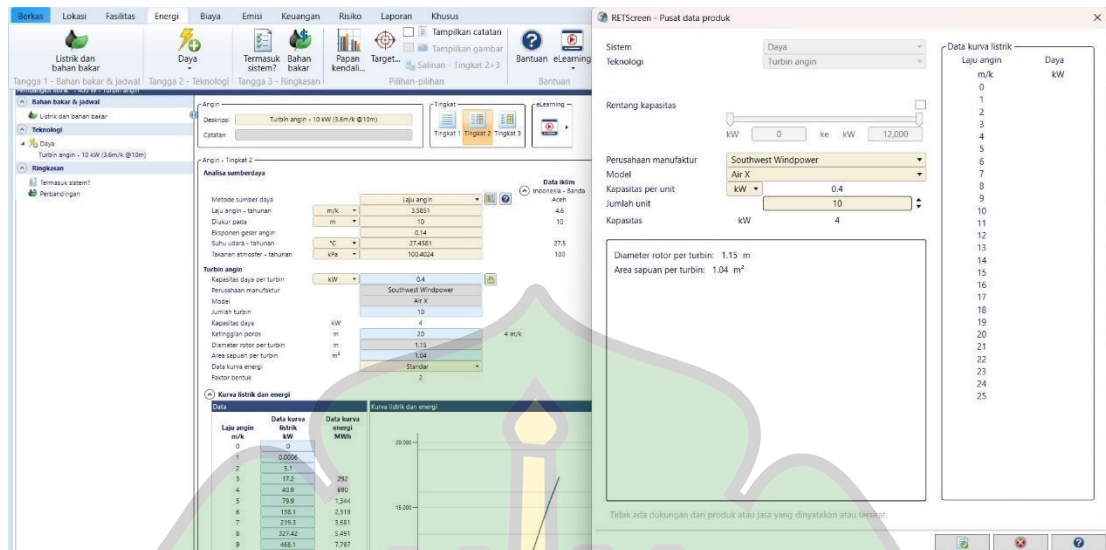
- Membuat

Pada tahap ini kita dapat menggunakan analisa tingkat 1, tingkat 2 atau tingkat 3 untuk menganalisa kelayan potensi angin tergantung ketersediaan data.



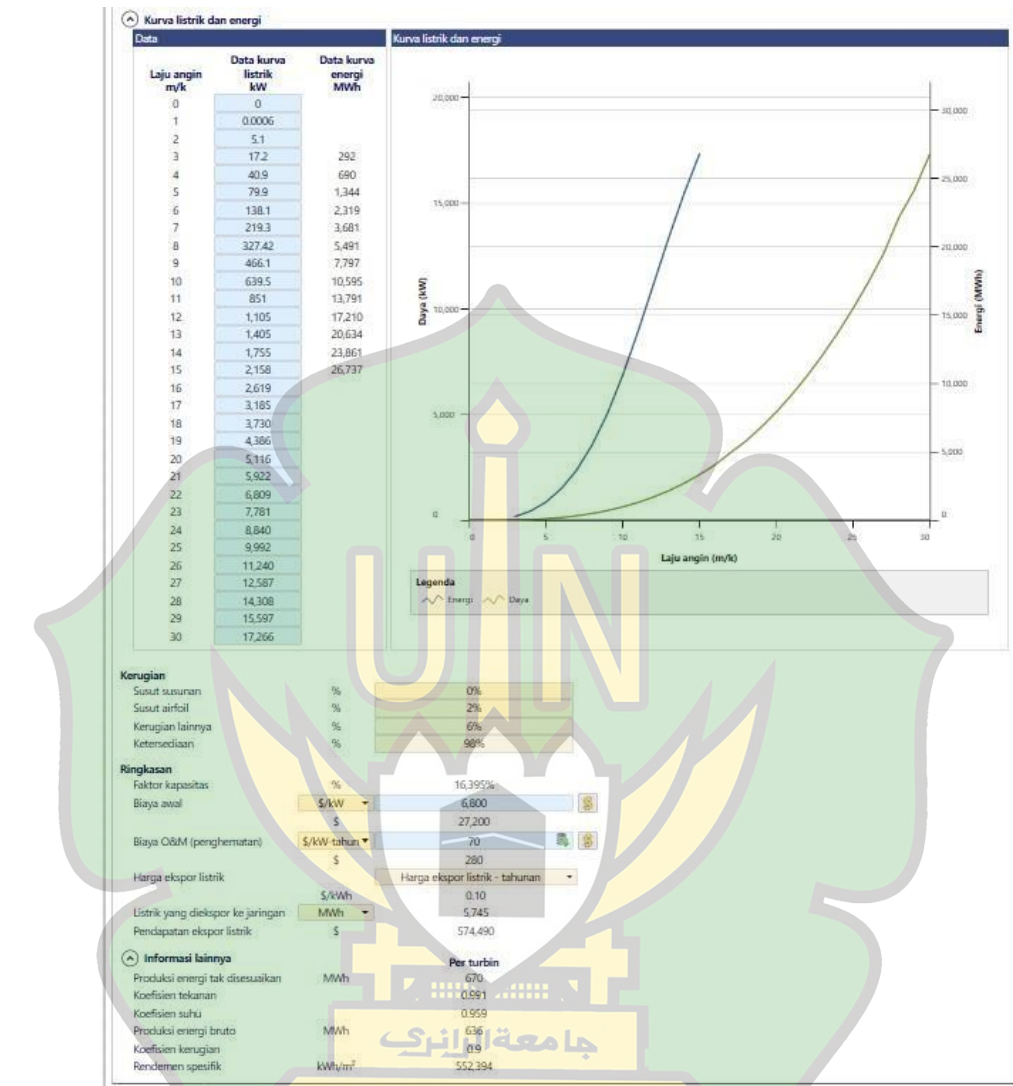
Gambar 3. 5 Fitur Energi Dengan Mengeset Tingkatan

Gambar 3.6 merupakan fitur software RETScreen untuk menentukan spesifikasi turbin angin dengan kapasitas 400 W unit turbin angin southwest windpower model air x dengan ketinggian poros 20 meter dan diameter rotor per turbin 1.15 meter dengan area sapuan per turbin 1.04 m². Dari hasil observasi lokasi tersebut dimungkinkan dapat dibangun 10 unit turbin angin.



Gambar 3. 6 Mengeset Manufaktur Dan Spesifikasi

Masih dengan halaman yang sama bahagian kurva listrik dan energi pada ikon energi menjelaskan data laju angin yang dihasilkan dari pencarian menggunakan rumus potensi angin. Kurva ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Kurva Listrik Dan Energ

- **Biaya (Cost)**

Untuk analisis finansial pada fitur biaya juga menggunakan analisis tingkat 2, yang berisi analisis biaya studi kelayakan, pembangunan teknik, sistem pembangkit, keseimbangan sistem, dan biaya operasi perawatan.

RETScreen - Analisa biaya

Pelanggan:

biaya awal (kredit)	Unit	Jumlah	Harga unit	Jumlah
Biaya awal			IDR	27,200
☒ Tunjukkan data				
☐ Ditentukan pengguna	biaya	10	IDR 40,800	IDR 408,000
Total biaya awal			IDR	435,200

biaya tahunan (kredit)	Unit	Jumlah	Harga unit	Jumlah
Biaya O&M (penghematan)	proyek		IDR	280
☒ Tunjukkan data				
☐ Ditentukan pengguna	biaya	10	IDR 420	IDR 4,200
Total biaya tahunan			IDR	4,480

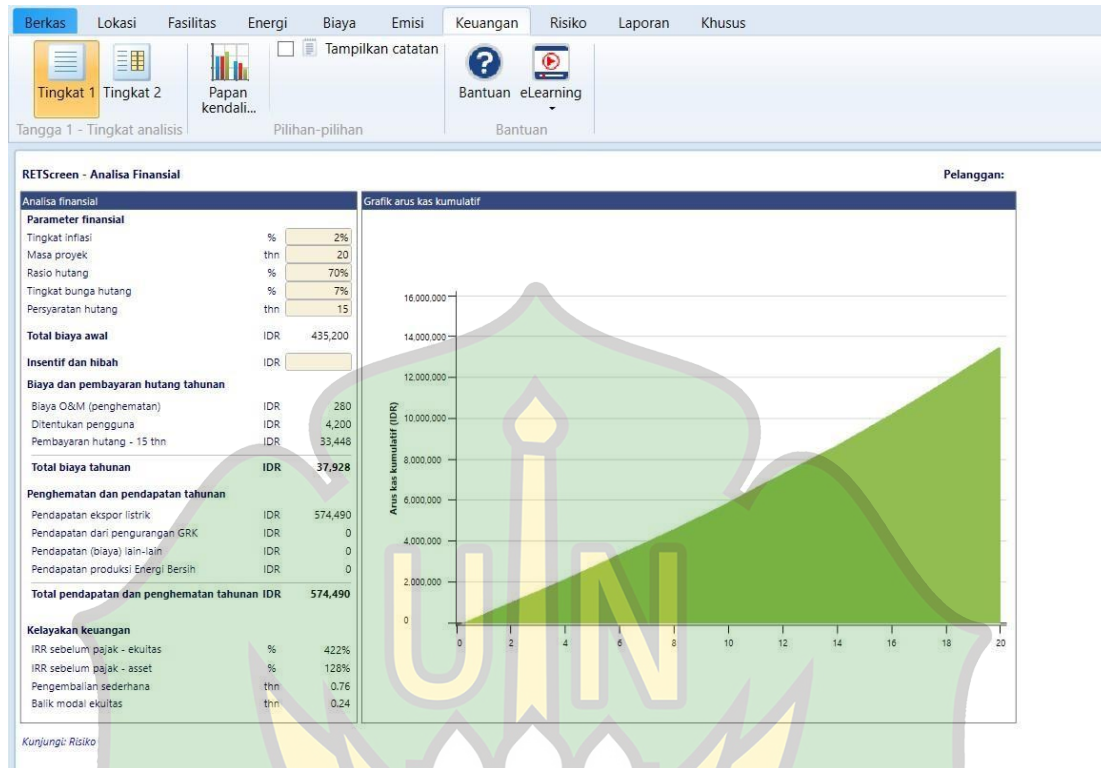
Penghematan tahunan	Unit	Jumlah	Harga unit	Jumlah
☐ Ditentukan pengguna	biaya		IDR	-
Total penghematan tahunan			IDR	-

Kunjungi: Emisi

Gambar 3. 8 Fitur Biaya Dan Mengeset Analisi Tingkatan

- **Finansial**

Memilih dan mengisi parameter finansial di lembar kerja finansial analisis pada RETScreen yang berisi parameter finansial berupa tingkat inflasi, masa proyek dan sebagainya. Kemudian parameter finansial juga berupa insentif dan hibah, biaya proyek dan Pembayaran hutang tahunan. Kelayakan keuangan diukur menggunakan indikator internal rate of return (IRR) dan simple payback. Pada lembar kerja ini akan diujikan kelayakan proyek berdasarkan analisa finansial yang terdiri atas IRR, dan payback period dari proyek (lihat pada Gambar 3.9).



Gambar 3. 9 Fitur Keuangan Dan Mengeisi Parameter Finansial

3.5.4 Hasil dan Perhitungan

Setelah perencanaan PLTB selesai, selanjutnya dilakukan analisis kelayakan yang dilanjutkan dengan analisa techno-economic, untuk mengetahui apakah sistem yang dirancang layak atau tidak. Investasi PLTB dianalisis berdasarkan hasil simulasi menggunakan software RETScreen, yang mencakup perhitungan Internal Rate of Return (IRR) dan payback period. Melalui simulasi ini, dapat diketahui tingkat kelayakan investasi pembangunan PLTB di Desa Lampageu, Ujong Pancu.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Input Data Perhitungan RETScreen

Perangkat lunak RETScreen digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis kelayakan pembangunan pembangkit listrik tenaga bayu dari aspek teknis, finansial dan lingkungan. Adapun data utama yang digunakan dalam simulasi adalah sebagai berikut:

Analisa sumberdaya

Metode sumber daya: Laju angin

Laju angin - tahunan: 3.5851 m/s

Diukur pada: 20 m

Eksponen geser angin: 0.14

Suhu udara - tahunan: 27.5 °C

Takanan atmosfer - tahunan: 100.4024 kPa

Turbin angin

Kapasitas daya per turbin: 25 kW

Perusahaan manufaktur: Energie PGE

Model: PGE 20/25 - 37m

Jumlah turbin: 100

Kapasitas daya: 2,500 kW

Ketinggian poros: 37 m

Diameter rotor per turbin: 20 m

Area sapuan per turbin: 314.16 m²

Data kurva energi: Standar

Faktor bentuk: 2

Data iklim

Indonesia - Banda Aceh

4.6

50

27.5

100

Kurva listrik dan energi

3.9 m/s

Gambar 4.1 Klasifikasi Data

- Jenis fasilitas : Pembangkit listrik (turbin angin)
- Kapasitas per unit turbin : 25 kW
- Jumlah unit turbin : 100 unit
- Total kapasitas terpasang : 2.500 kW
- Tinggi menara (hub height) : 20 meter
- Rata-rata kecepatan angin tahunan : 3,6 m/s
- Lokasi fasilitas : Aceh Besar (Ujong Pancu)

- Sumber data iklim : RETScreen, Global Wind Atlas

Data tersebut digunakan sebagai dasar untuk menghitung potensi produksi energi, biaya investasi, dan manfaat lingkungan dari proyek pembangkit listrik tenaga bayu ini..

4.2 Aspek Teknis

Analisis teknis dalam studi ini mencakup penilaian terhadap potensi energi angin yang tersedia di lokasi, karakteristik turbin angin yang digunakan.

Tabel 4. 1 Spesifikasi Utama Turbin PGE 20/25-37m

Kompenen	Spesifikasi
Produsen	Energie PGE
Model	PGE 20/25-37m
Daya Terpasang	25 kW
Diameter rotor	20 meter
Luas sapuan rotor	± 314 meter persegi
Tinggi menara	37 meter
Kecepatan angin awal	3,5 m/s
Estimasi biaya per unit	± USD 100.000

Berdasarkan data kecepatan angin rata-rata tahunan sebesar 3,6 m/s pada ketinggian 20 meter, diperoleh hasil sebagai berikut:

- Angin - Tingkat 2

Analisa sumberdaya

Metode sumber daya: Laju angin

Laju angin - tahunan: m/k 3.5851

Diukur pada: m 20

Eksponen geser angin: 0.14

Suhu udara - tahunan: °C 27.5

Tekanan atmosfer - tahunan: kPa 100.4024

Data iklim
Indonesia - Banda Aceh
4.6
50
27.5
100

Turbin angin

Kapasitas daya per turbin: kW 25

Perusahaan manufaktur: Energie PGE

Model: PGE 20/25 - 37m

Jumlah turbin: 100

Kapasitas daya: kW 2.500

Ketinggian poros: m 37

Diameter rotor per turbin: m 20

Area sapuan per turbin: m² 314.16

Data kurva energi: Standar

Faktor bentuk: 2

Kurva listrik dan energi

Kerugian

Susut susunan: % 0%

Susut airfoil: % 2%

Kerugian lainnya: % 5%

Ketersediaan: % 93%

Ringkasan

Faktor kapasitas: % 17.9%

Biaya awal: IDR/kW 40,000,000

Biaya O&M (penghematan): IDR/kW-tahun 1,200,000

Harga ekspor listrik: IDR 3,000,000,000

Harga ekspor listrik - tahunan: 1,936

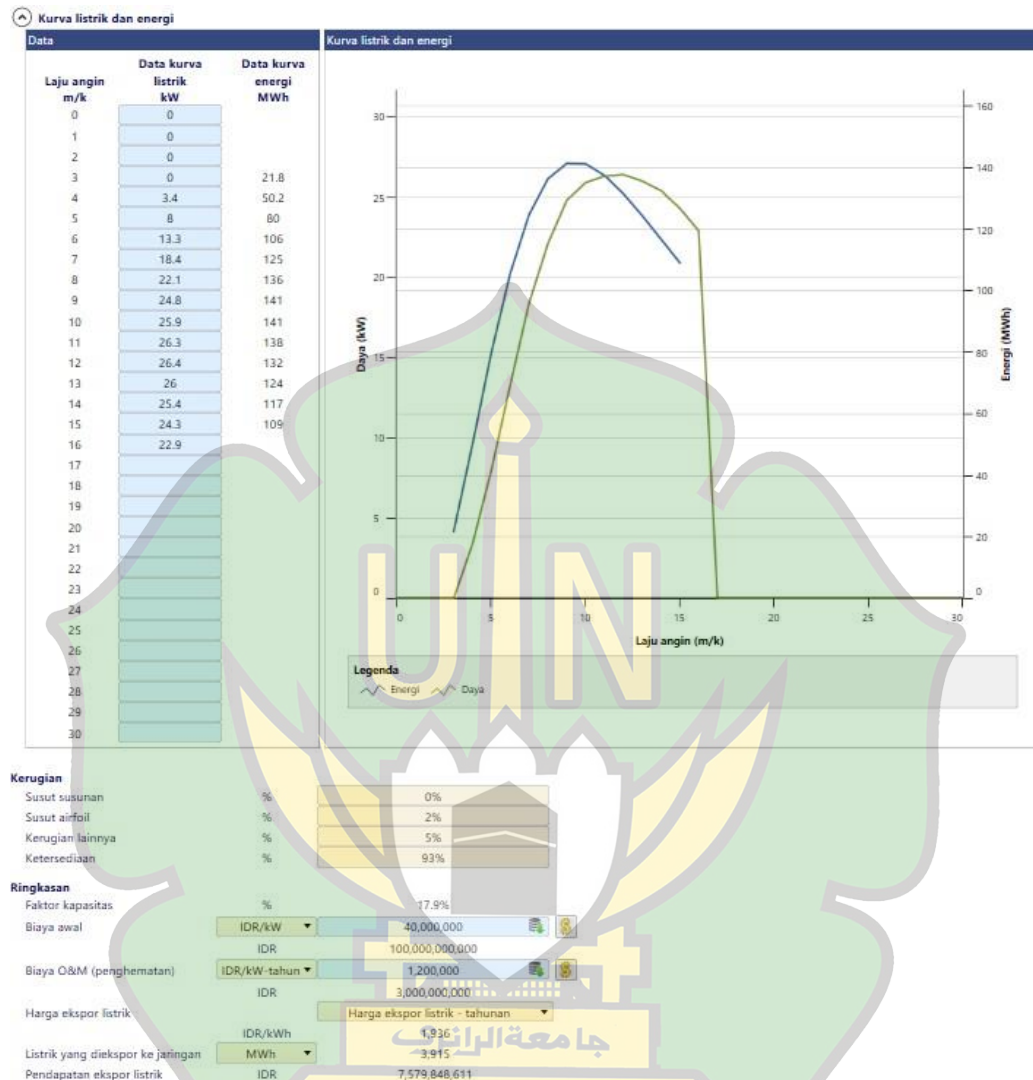
Listrik yang diekspor ke jaringan: kWh 3,915,211

Pendapatan ekspor listrik: IDR 7,579,848,611

Gambar 4. 2 Klasifikasi Data Pada Model Energi

- Kapasitas terpasang: 2.500 kW (100 unit × 25 kW)
- Faktor kapasitas: 17,9 %
- Produksi energi per tahun (total): 3.915 MWh
- Produksi energi per unit turbin: 3.915.211 kWh/tahun

Pemilihan turbin angin yang optimal dalam suatu proyek energi terbarukan sangat dipengaruhi oleh nilai faktor kapasitas (Pessanha dkk., 2024), yang merupakan rasio antara energi listrik aktual yang dihasilkan dengan kapasitas teoritis maksimum. Semakin tinggi faktor kapasitas, semakin efisien dan ekonomis turbin tersebut dalam menghasilkan Listrik. Dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Kurva Listrik dan Energi

Faktor kapasitas mencerminkan proporsi waktu dalam setahun di mana turbin beroperasi pada kapasitas efektifnya. Turbin Enercon PGE 20/25 memiliki nilai faktor kapasitas tertinggi sebesar $\geq 17,9\%$. Turbin ini paling efisien dalam memanfaatkan potensi angin di lokasi penelitian meskipun dengan kecepatan angin menengah ke bawah.

Tingginya faktor kapasitas ini juga menunjukkan bahwa turbin Enercon PGE mampu menghasilkan listrik dalam jumlah lebih besar dengan frekuensi operasi yang

lebih stabil. Hal ini penting dalam meningkatkan pendapatan ekspor listrik dan menunjang kelayakan finansial proyek. Oleh karena itu, dari sisi teknis, turbin Enercon PGE 20/25 lebih diprioritaskan sebagai pilihan utama dalam proyek ini.

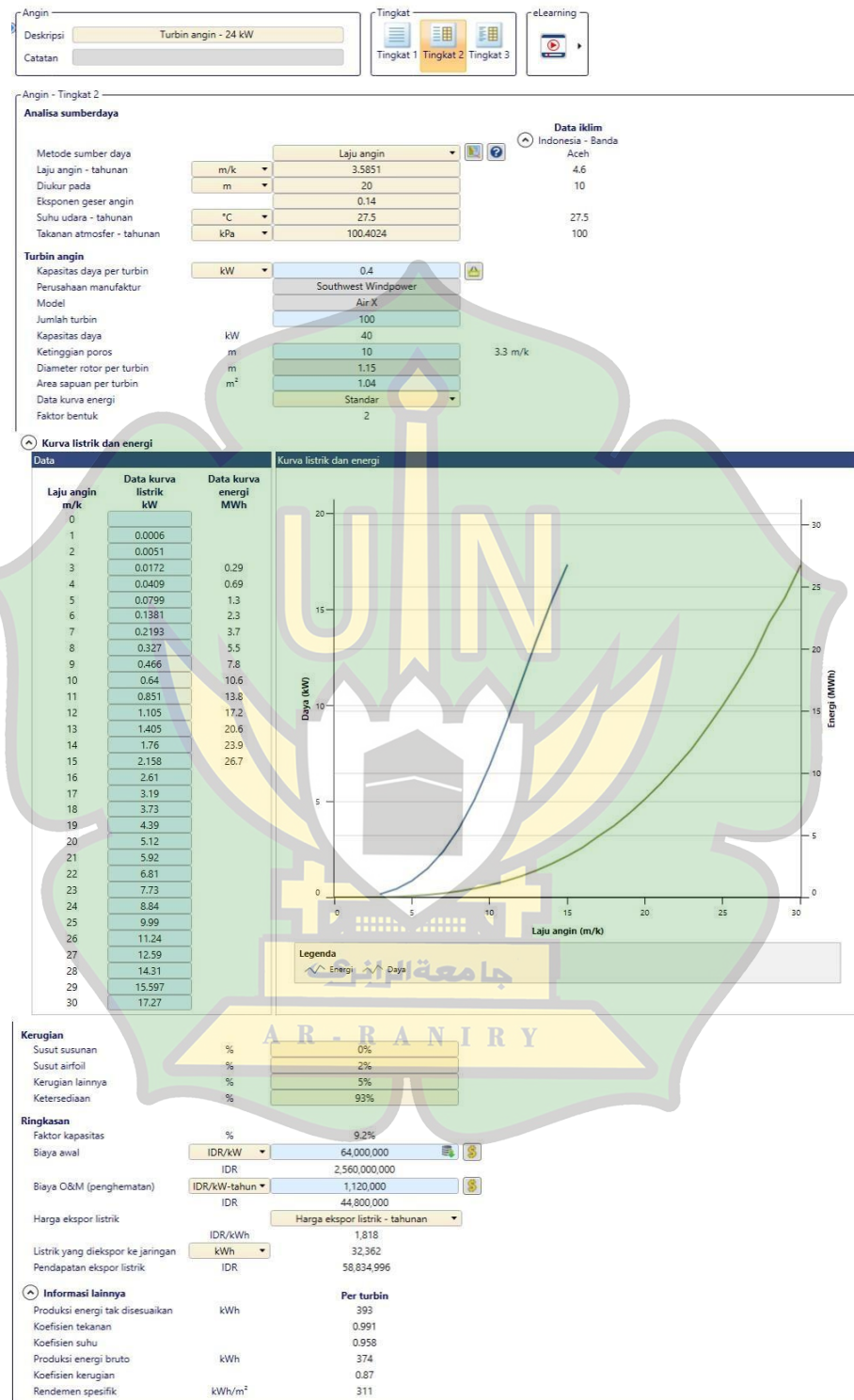
4.2.1. Analisa Simulasi PLTB Menggunakan *Software RETScreen*

Analisis simulasi dalam penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa teknis dari tiga konfigurasi turbin angin yang berbeda dengan menggunakan perangkat lunak RETScreen, guna menentukan opsi paling optimal yang dapat diterapkan di lokasi studi Ujong Pancu, Banda Aceh. Evaluasi dilakukan berdasarkan data kecepatan angin rata-rata tahunan sebesar 3,5851 m/s, spesifikasi teknis masing-masing turbin, kurva daya dan energi, serta estimasi produksi energi tahunan. Fokus utama analisis diarahkan pada nilai faktor kapasitas (*capacity factor*), karena indikator ini mencerminkan tingkat efisiensi turbin dalam mengonversi potensi energi angin menjadi energi listrik. Dengan membandingkan performa teknis dari ketiga model turbin yang diuji, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi turbin yang paling efisien dan sesuai untuk kondisi angin lokal yang tergolong rendah.

4.2.1.1. Skenario 1 – Turbin Southwest Windpower Air X (100 unit x 400 W)

Pada skenario pertama, digunakan 100 unit turbin Southwest Windpower Air X dengan kapasitas masing-masing 400 W, sehingga total kapasitas terpasang mencapai 40 kW. Data input menunjukkan laju angin tahunan rata-rata sebesar 3.6 m/s pada ketinggian pengukuran 20 m dengan eksponen geser angin 0.14. Spesifikasi teknis turbin meliputi:

- Diameter rotor: 1.15 m
- Area sapuan rotor: 1.04 m²
- Ketinggian poros turbin: 10 m
- Faktor bentuk: 2 (standar Southwest Windpower Air X)



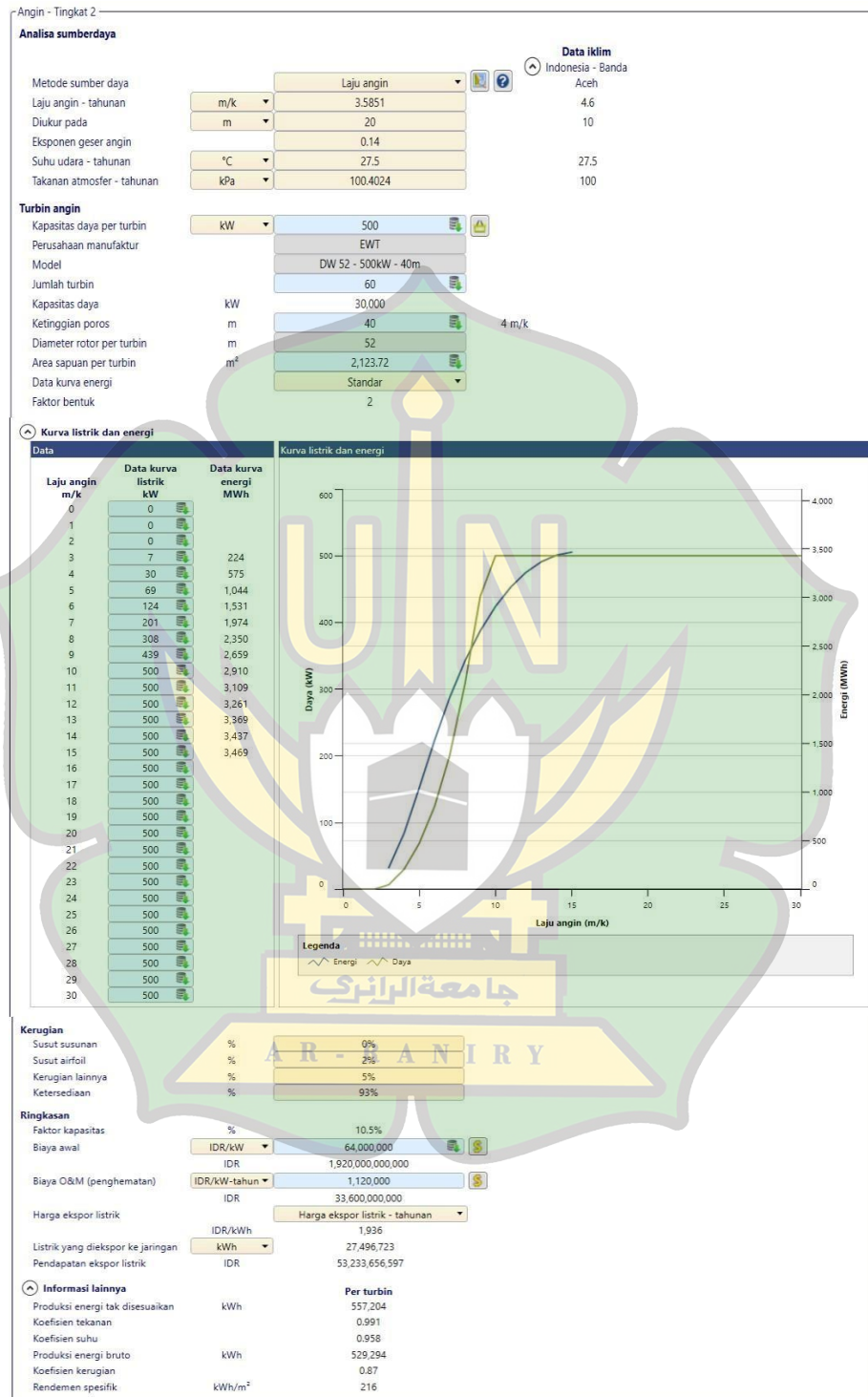
Gambar 4. 4 Analisa Simulasi Skenario 1

Hasil simulasi menunjukkan kurva daya (kW) dan energi (MWh) yang meningkat secara eksponensial seiring kenaikan laju angin. Daya maksimum per turbin tercapai sebesar 0.64 kW pada kecepatan angin 10 m/s, sedangkan total energi listrik tahunan yang dihasilkan oleh seluruh turbin adalah 32,362 kWh. Produksi energi tak disesuaikan per turbin tercatat 393 kWh per tahun, dengan faktor kapasitas sebesar 9.2%. Rendahnya faktor kapasitas pada skenario ini menunjukkan bahwa penggunaan turbin dengan kapasitas kecil kurang efektif di lokasi studi karena laju angin rata-rata tergolong rendah.

4.2.1.2. Skenario 2 – Turbin EWT DW 52 (60 unit x 500 kW)

Pada skenario kedua, digunakan 60 unit turbin EWT model DW 52 dengan kapasitas masing-masing 500 kW, sehingga total kapasitas terpasang mencapai 30 MW. Input data laju angin tahunan rata-rata tetap sebesar 3.6 m/s pada ketinggian 20 m, dengan eksponen geser angin 0.14. Spesifikasi teknis turbin meliputi:

- Diameter rotor: 52 m
- Area sapuan rotor: 2,123.72 m²
- Ketinggian poros turbin: 40 m
- Faktor bentuk: 2 (standar model DW 52)



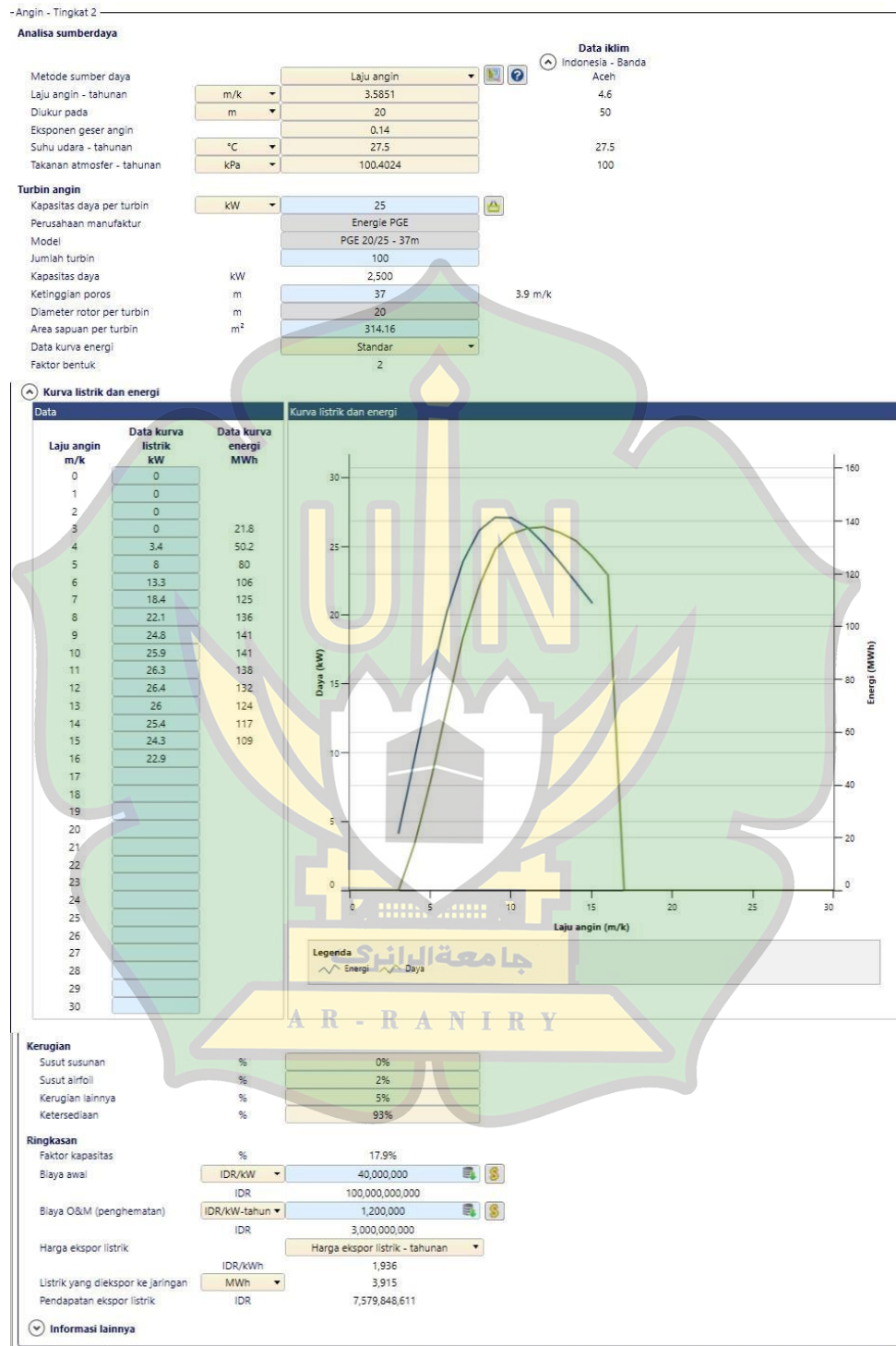
Gambar 4. 5 Analisa Simulasi Skenario 2

Hasil simulasi menunjukkan bahwa daya maksimum per turbin sebesar 500 kW tercapai pada kecepatan angin ≥ 9 m/s. Total energi listrik tahunan yang dihasilkan oleh seluruh turbin mencapai 27,496,723 kWh, dengan faktor kapasitas 10.5%, sedikit lebih tinggi dibanding skenario pertama. Produksi energi tak disesuaikan per turbin tercatat 557,204 kWh per tahun, dan rendemen spesifik sebesar 216 kWh/m². Meskipun kapasitas terpasang pada skenario ini sangat besar, namun faktor kapasitas yang hanya sedikit lebih tinggi menunjukkan bahwa potensi angin di lokasi belum sepenuhnya optimal untuk pembangunan PLTB skala besar dengan teknologi turbin berkapasitas 500 kW.

4.2.1.3. Skenario 3 – Turbin Energie PGE 20/25 – 37m (100 unit x 25 kW)

Pada skenario ketiga, digunakan 100 unit turbin Energie PGE model PGE 20/25 – 37 m dengan kapasitas masing-masing 25 kW, sehingga total kapasitas terpasang mencapai 2.5 MW. Data input laju angin tahunan rata-rata adalah 3.6 m/s pada ketinggian 20 m, dengan eksponen geser angin 0.14. Spesifikasi teknis turbin meliputi:

- Diameter rotor: 20 m
- Area sapuan rotor: 314.16 m²
- Ketinggian poros turbin: 37 m
- Faktor bentuk: 2 (standar PGE 20/25 – 37 m)



Gambar 4. 6 Analisa Simulasi Skenario 3

Hasil simulasi menunjukkan daya maksimum per turbin sebesar 26 kW tercapai pada kecepatan angin sekitar 11 m/s. Total energi listrik tahunan yang dihasilkan oleh seluruh turbin adalah 3,915 MWh (3,915,000 kWh). Produksi energi tak disesuaikan per turbin per tahun dapat dilihat pada bagian Informasi Lainnya di software RETScreen, sedangkan faktor kapasitas skenario ini mencapai 17.9%, yang merupakan faktor kapasitas tertinggi di antara ketiga skenario. Nilai rendemen spesifik tercatat 311 kWh/m². Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan turbin dengan kapasitas menengah (25 kW) lebih efektif memanfaatkan potensi kecepatan angin di lokasi penelitian dibandingkan dengan skenario kapasitas kecil maupun besar.

4.2.1.4. Kesimpulan Analisa Simulasi Aspek Teknis

Berdasarkan hasil analisa ketiga skenario simulasi RETScreen, dapat disimpulkan bahwa:

1. Skenario 1 (400 W) memiliki faktor kapasitas rendah (9.2%) dengan produksi energi tahunan yang kecil sehingga kurang efektif untuk implementasi PLTB.
2. Skenario 2 (500 kW) menghasilkan produksi energi tahunan sangat tinggi namun faktor kapasitas hanya 10.5%, menandakan ketidaksesuaian antara potensi angin lokasi dan skala kapasitas turbin yang besar.
3. Skenario 3 (25 kW) memiliki faktor kapasitas tertinggi (17.9%) dengan total energi tahunan moderat serta biaya investasi yang relatif lebih rendah, sehingga menjadi pilihan paling optimal untuk kondisi kecepatan angin di Ujong Pancu, Aceh Besar.

Analisa aspek teknis ini menjadi landasan dalam pemilihan teknologi turbin dan evaluasi kelayakan finansial proyek PLTB untuk mendukung pengembangan energi terbarukan di daerah tersebut.

4.3 Aspek Finansial

Analisis aspek finansial bertujuan untuk menilai kelayakan ekonomi proyek Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Ujong Pancu berdasarkan parameter biaya, pendapatan, dan indikator ekonomi seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), serta periode pengembalian modal (*payback period*). Evaluasi dilakukan menggunakan perangkat lunak RETScreen dengan dua pendekatan skenario: (1) tanpa pendapatan dari pengurangan emisi GRK, dan (2) dengan menambahkan pendapatan dari pengurangan emisi GRK sebagai kredit karbon.

4.3.1. Skenario I – Tanpa Pendapatan dari Pengurangan Emisi GRK

Pada skenario awal, perhitungan dilakukan berdasarkan asumsi bahwa satu unit turbin PLTB dipasang dengan kapasitas produksi listrik sebesar 3.915 MWh per tahun, yang seluruhnya diekspor ke jaringan listrik dengan harga jual sebesar IDR 1.936/kWh Menurut Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 112, Tahun 2022 (Indonesia, 2020). Sehingga pendapatan tahunan dari ekspor listrik adalah:

- Pendapatan = $3.915 \text{ MWh} \times 1.936 \text{ IDR/kWh} = \text{IDR } 7.579.848.611$

Proyek ini dirancang dengan:

- Biaya investasi awal: IDR 100.000.000.000
- Biaya operasi dan pemeliharaan (O&M): IDR 3.000.000.000 per tahun
- Tanpa utang (100% ekuitas)
- Periode proyek: 25 tahun

Hasil analisis finansial menunjukkan:

- NPV: -IDR 45.961.887.106
- IRR sebelum pajak: 3,1%
- MIRR (Modified IRR): 6,4%
- Payback period: 18 tahun
- Rasio manfaat-biaya (Benefit-Cost Ratio): 0,54

Nilai NPV yang negatif menandakan bahwa total penerimaan bersih dari proyek tidak dapat menutupi nilai investasi awal dalam nilai sekarang. IRR yang lebih rendah dari tingkat diskonto (9%) mengindikasikan bahwa proyek ini secara finansial belum layak jika hanya bergantung pada penjualan listrik ke jaringan. Waktu pengembalian modal selama 18 tahun tergolong cukup lama, menyisakan sisa waktu yang terbatas untuk mendapatkan keuntungan bersih selama masa operasional proyek (25 tahun).

Visualisasi dari grafik arus kas kumulatif memperlihatkan bahwa break-even point baru tercapai pada tahun ke-18, yang memperkuat hasil perhitungan sebelumnya.

4.3.2. Skenario II – Dengan Pendapatan dari Pengurangan Emisi GRK

Untuk meningkatkan kelayakan finansial proyek, dilakukan simulasi kedua dengan menambahkan pendapatan dari pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK). Proyek ini diperkirakan mampu mengurangi emisi karbon sebesar 2.895 ton CO₂ per tahun. Nilai kredit karbon ditetapkan sebesar IDR 160.000 per ton CO₂ Kementerian ESDM, 2023 dengan proyeksi bahwa kredit karbon berlaku selama 20 tahun.

- Pendapatan GRK tahunan = $2.895 \text{ tCO}_2 \times \text{IDR } 160.000 = \text{IDR } 463.234.305$

Dengan penambahan pendapatan ini, maka total penerimaan tahunan menjadi:

- Total pendapatan tahunan = IDR 7.579.848.611 + IDR 463.234.305 = IDR 8.043.082.916

Hasil kelayakan finansial untuk skenario ini adalah sebagai berikut:

- NPV: -IDR 39.558.851.578
- IRR sebelum pajak: 4%
- MIRR: 6,8%
- Payback period: 16,2 tahun
- Benefit-Cost Ratio: 0,6

Adanya insentif dari pengurangan emisi GRK memberikan dampak positif terhadap kelayakan proyek. NPV masih negatif, namun nilainya lebih kecil dibandingkan skenario pertama, menunjukkan perbaikan secara ekonomi. IRR meningkat menjadi 4% dan waktu pengembalian modal lebih cepat, yaitu pada tahun ke-16.

Grafik arus kas kumulatif mengkonfirmasi hal ini, di mana titik impas (break- even) dicapai lebih awal. Sisa masa operasional setelah balik modal pun bertambah menjadi sekitar 9 tahun, memberikan peluang lebih besar untuk menghasilkan keuntungan bersih.

4.3.3. Perbandingan dan Kesimpulan

Berikut adalah ringkasan hasil evaluasi berdasarkan kedua skenario dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Evaluasi Kelayakan Proyek Berdasarkan Indikator Finansial

Parameter	Skenario I (Tanpa GRK)	Skenario II (Dengan GRK)
Internal rate of return (IRR)	3,1	4
Net present value (NPV)	-45.961.887.106	-Rp 39.558.851.578
Payback period	18 Tahun	16,2 Tahun
Rasio manfaat-biaya (B/C)	0,54	0,6
Pendapatan Tahunan (IDR)	7,579 M	8,043 M

Berdasarkan hasil di atas, dapat disimpulkan bahwa proyek PLTB di Ujong Pancu belum layak secara finansial jika hanya mengandalkan penjualan listrik. Namun, dengan adanya dukungan tambahan dari pendapatan pengurangan emisi GRK, kelayakan proyek meningkat secara signifikan meskipun belum mencapai batas ideal ($NPV > 0$, $IRR > \text{diskonto}$).

4.4 Validasi Data Kecepatan Angin N I R Y

Sebagai dasar dari simulasi teknis dan finansial menggunakan perangkat lunak RETScreen, dilakukan validasi terhadap data kecepatan angin tahunan yang diperoleh dari BMKG Blang Bintang Aceh Besar. Data ini mencakup periode tahun 2019 hingga 2024, dengan data bulanan dalam satuan m/s.

4.4.1. Data Kecepatan Angin Rata-Rata Tahunan

Berikut ini merupakan rata-rata kecepatan angin tahunan berdasarkan data BMKG:

Tabel 4. 3 Data Kecepatan Angin Tahunan Di 50 M

Tahun	Rata-rata kecepatan angin (m/s)
2019	4,8
2020	5,2
2021	5,0
2022	4,7
2023	3,5
2024	3,5
Rata-rata 6 tahun 4,61 m/s	

(Sumber: BMKG Sultan Iskandar Muda)

Nilai rata-rata enam tahun ini digunakan sebagai referensi dalam simulasi pada RETScreen untuk menghitung potensi energi yang dapat dihasilkan oleh turbin angin di lokasi Ujong Pancu.

4.4.2. Analisis Tren Kecepatan Angin

Dari data di atas, dapat diamati bahwa:

- Tahun 2020 memiliki kecepatan angin tertinggi dengan rata-rata 5,2 m/s.
- Tahun 2023 dan 2024 menunjukkan penurunan signifikan ke rata-rata 3,5 m/s.
- Fluktuasi ini kemungkinan dipengaruhi oleh faktor musiman dan perubahan iklim regional.

Meskipun terjadi variasi antar tahun, kecepatan angin rata-rata sebesar 4,61 m/s masih dalam kisaran yang memungkinkan untuk pemanfaatan turbin angin berukuran kecil hingga menengah. Dalam simulasi RETScreen, kecepatan angin ini telah disesuaikan dengan koreksi ketinggian hub turbin dan kondisi lokal berdasarkan data dari NASA dan validasi BMKG.

4.4.3. Implikasi terhadap Hasil Simulasi

Validasi ini menunjukkan bahwa asumsi kecepatan angin yang digunakan dalam simulasi RETScreen cukup realistis dan representatif. Namun, karena kecepatan angin yang tersedia berada di ambang batas efisiensi optimal turbin angin, hal ini juga berdampak pada:

- Produksi energi yang terbatas (3.915 MWh/tahun)
- Kelayakan finansial yang rendah, sebagaimana telah dijelaskan pada subbab sebelumnya (NPV negatif, IRR rendah, dan $B/C < 1$)

Dengan demikian, validasi ini memperkuat bahwa hasil simulasi yang menunjukkan proyek tidak layak secara finansial adalah wajar dan berdasarkan pada data empiris yang aktual.

4.5 Kelayakan Apek Lingkungan

Pengembangan energi angin melalui Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di kawasan pesisir Ujong Pancu, Kabupaten Aceh Besar, memiliki prospek yang sangat positif dari aspek lingkungan apabila direncanakan dan dilaksanakan secara berkelanjutan. Energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang bersih dan ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca selama proses operasionalnya. Oleh karena itu, keberadaan PLTB di Ujong Pancu dapat berkontribusi langsung dalam upaya pengurangan emisi karbon dan mitigasi dampak perubahan iklim global. Dari sisi kualitas lingkungan, pengembangan PLTB berperan penting dalam mengurangi ketergantungan terhadap pembangkit listrik berbahan bakar fosil yang selama ini menjadi sumber utama pencemaran udara. Berkurangnya emisi karbon dioksida (CO_2), sulfur dioksida (SO_2), dan nitrogen oksida (NO_x) akan berdampak positif terhadap kualitas udara, kesehatan masyarakat pesisir, serta kelestarian lingkungan secara keseluruhan. Lingkungan yang lebih bersih akan mendukung peningkatan kualitas hidup masyarakat di sekitar wilayah Ujong Pancu.

Selain itu, pembangunan PLTB di kawasan pesisir Ujong Pancu juga memiliki nilai positif dalam meningkatkan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya pemanfaatan energi bersih. Keberadaan turbin angin dapat menjadi simbol transisi energi menuju energi terbarukan serta menjadi sarana edukasi lingkungan bagi masyarakat, pelajar, dan wisatawan. Dalam jangka panjang, hal ini dapat mendorong terbentuknya budaya ramah lingkungan dan pola hidup berkelanjutan di masyarakat pesisir.

Dari perspektif ekosistem laut, pembangunan PLTB yang memperhatikan kaidah zonasi lingkungan serta menghindari kawasan sensitif seperti terumbu karang, mangrove, dan padang lamun, berpotensi meminimalkan dampak negatif terhadap biota laut. Bahkan, pada beberapa kasus, struktur fondasi turbin yang berada di perairan dangkal dapat berfungsi sebagai terumbu buatan (artificial reef) yang menjadi habitat baru bagi ikan dan organisme laut lainnya. Kondisi ini berpotensi meningkatkan keanekaragaman hayati dan produktivitas perikanan di sekitar kawasan tersebut. Pengembangan PLTB juga dapat mendorong penguatan sistem perlindungan lingkungan pesisir melalui penerapan dokumen AMDAL, pengawasan lingkungan secara berkala, serta pengelolaan limbah yang lebih tertib. Adanya proyek energi berskala besar akan menuntut pengelolaan lingkungan yang lebih terencana, sehingga secara tidak langsung turut memperkuat upaya konservasi kawasan pesisir Ujong Pancu.

Selain manfaat ekologis, dampak positif lingkungan lainnya adalah meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya menjaga keseimbangan antara pembangunan dan kelestarian alam. Masyarakat diharapkan semakin peduli terhadap pelestarian mangrove, kebersihan pantai, serta perlindungan biota laut sebagai bagian dari upaya menjaga keberlanjutan sumber daya alam yang mereka manfaatkan.

Dengan demikian, secara lingkungan pengembangan energi angin di Ujong Pancu memiliki prospek yang sangat positif apabila dilaksanakan dengan perencanaan yang matang, penerapan teknologi ramah lingkungan, serta didukung oleh partisipasi aktif masyarakat. PLTB tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi alternatif, tetapi juga sebagai instrumen penting dalam mendorong pembangunan berkelanjutan yang selaras dengan pelestarian lingkungan pesisir.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai analisis kelayakan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di kawasan Ujong Pancu, Aceh Besar dengan menggunakan perangkat lunak RETScreen, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Potensi Energi Angin

- Kecepatan angin rata-rata tahunan di lokasi penelitian adalah sebesar 3,6 m/s, yang tergolong ke dalam kategori potensi angin skala menengah.
- Lokasi Ujong Pancu secara geografis tergolong terbuka dan tidak terhalang bangunan atau topografi curam, sehingga cukup memenuhi syarat untuk pengembangan turbin angin dengan skala kecil hingga menengah.

2. Kelayakan Teknis

- Hasil simulasi RETScreen menunjukkan bahwa dari tiga jenis turbin yang disimulasi (Air X 400W, EWT DW 52 500kW, dan Energie PGE 25kW), turbin Energie PGE 20/25–37m memberikan performa teknis terbaik dengan faktor kapasitas tertinggi sebesar 17,9%.
- Total produksi energi listrik tahunan dari 100 unit turbin Energie PGE 25kW adalah 3.915 MWh, pertahun adalah produksi energi terbaik untuk karakteristik angin di wilayah Ujong Pancu.

3. Kelayakan Finansial

- Pada skenario tanpa pendapatan dari pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK), proyek memiliki nilai NPV negatif sebesar IDR 45,96 miliar, IRR 3,1%, dan payback period selama 18 tahun, yang menandakan proyek belum layak secara finansial jika hanya mengandalkan penjualan listrik
- Setelah menambahkan pendapatan dari emisi GRK sebesar IDR 463 juta/tahun selama 20 tahun, nilai NPV membaik menjadi minus IDR 39,56 miliar, IRR meningkat menjadi 4%, dan waktu pengembalian modal berkurang menjadi 16,2 tahun.
- Meskipun masih belum layak secara finansial, pendapatan dari pengurangan emisi GRK menunjukkan potensi penting dalam meningkatkan kelayakan finansial proyek ini.

4. Aspek Lingkungan

- Proyek ini memiliki potensi besar dalam mendukung program pengurangan emisi karbon, dengan estimasi pengurangan sebesar 2.895 ton CO₂ per tahun, sejalan dengan target pembangunan rendah karbon dan transisi energi bersih.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang diperoleh, maka penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pemilihan Teknologi

- Dalam merancang pembangunan PLTB di Ujong Pancu, disarankan untuk menggunakan jenis turbin skala menengah seperti Energie PGE 20/25, yang terbukti lebih efisien dalam memanfaatkan angin berkecepatan rendah dan memberikan output energi yang optimal.

2. Optimasi Finansial

- Untuk meningkatkan kelayakan finansial proyek, pemerintah perlu mempertimbangkan insentif tambahan, seperti subsidi harga jual listrik (*feed-in tariff*), penghapusan pajak investasi awal, atau hibah dari program pendanaan iklim.

3. Integrasi Kredit Karbon

- Kredit karbon dari pengurangan emisi GRK dapat menjadi sumber pendapatan penting yang perlu didaftarkan secara resmi melalui skema perdagangan karbon domestik maupun internasional.

4. Pengembangan Lebih Lanjut

- Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan studi analisis sensitivitas finansial, pemodelan dampak sosial-lingkungan, atau integrasi PLTB dengan sumber energi terbarukan lain seperti tenaga surya (hybrid PLTB–PLTS) guna meningkatkan kestabilan pasokan listrik.

5. Pendekatan Komunitas

- Pengembangan proyek PLTB sebaiknya disinergikan dengan masyarakat sekitar melalui pendekatan partisipatif, sehingga masyarakat turut mendapatkan manfaat langsung baik dalam bentuk lapangan kerja maupun tarif listrik yang lebih terjangkau.

DAFTAR PUSTAKA

- Adistia, N. A., Nurdiansyah, R. A., Fariko, J., Vincent, V., dan Simatupang, J. W. (2020). POTENSI ENERGI PANAS BUMI, ANGIN, DAN BIOMASSA MENJADI ENERGI LISTRIK DI INDONESIA. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 22(2), 105. <https://doi.org/10.24912/tesla.v22i2.9107>
- Aji, S., dan Widyartono, M. (2020). Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Generator Pada Turbin Angin Sumbu Vertikal. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 9(3), 579–586.
- Al Hakim, R. R. (2020). Model energi Indonesia, tinjauan potensi energi terbarukan untuk ketahanan energi di Indonesia: Sebuah ulasan. *ANDASIH Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1).
- Anshory, I., Jamaaluddin, J., dan Wisaksono, A. (2022). *Buku Ajar Dasar Konversi Energi*. Umsida Press. <https://doi.org/10.21070/2022/978-623-464-040-3>
- Arif, N., Suaedi, S., Rahmadi, M., dan Siregar, F. M. (2021). Potensi Energi Surya sebagai Energi Listrik Alternatif berbasis RETScreen di Kota Palopo, Indonesia. *Dewantara Journal of Technology*, 1(1), 38–42. <https://doi.org/10.59563/djtech.v1i1.23>
- Badan Perencanaan Daerah Aceh. (2020). *Potensi Energi Angin Lepas Pantai Di Gampong Ulee Lheue Untuk Ketenagalistrikan Banda Aceh*.
- Gandhi, P., Oktariza, W., Kahfi, M., dan Rizky, A. (2022). Analisis Kelayakan Finansial Upaya Meningkatkan Pendapatan Produsen Stroberi Selama Pandemi Covid 19 Di Magelang Jawa Tengah. *Journal of Management Small and Medium Enterprises (SMEs)*, 15(2), 225–247. <https://doi.org/10.35508/jom.v15i2.6723>
- Indriani, A., Manurung, G., Daratha, N., dan Hendra, H. (2019). Perancangan Turbin Sumbu Horizontal dan Sumbu Vertikal untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Studi Kasus di Kota Bengkulu). *Jurnal Amplifier: Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro Dan Komputer*, 9(2), 1–6.

Irfandi, K. (2020). Evaluasi Bilah Turbin Angin 500 Watt Dengan Melakukan Pengujian Pada Wind Tunnel Universitas Nurtanio Bandung. *Jurnal Industri Elektro Dan Penerbangan*, 3(3).

Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2024). *Capaian kinerja sektor ESDM tahun 2023*. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-capaian-kinerja-sektor-esdm-2023-dan-target-2024-.pdf>

Lisman, L., Sara, I. D., dan Tarmizi, T. (2023). Analisis Potensi Matahari dan Angin menggunakan Reanalysis Dataset ECMWF dan NASA POWER di Pulau Teupah. *DIELEKTRIKA*, 10(2), 89–99. <https://doi.org/10.29303/dielektrika.v10i2.337>

Muliadi, M., dan Asyadi, T. M. (2021). Penentuan Parameter Weibull untuk Mendapatkan Densitas Daya Angin di Kawasan Blang Bintang Aceh Besar. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 3(2), 51–55.

Pessanha, J. F. M., Almeida, V. A., Melo, A. C. G., Maceira, M. E. P., Mendonça, M. J. C., dan Medrano, L. A. (2024). A Bayesian approach to estimate the capacity factor of offshore wind farms on the Brazilian coast. *Electric Power Systems Research*, 234. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2024.110772>

PRESIDEN REPUELIK INDONESIA PERATURAN PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA Tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan tenaga Listrik. (2022).

Sam, A., dan Patabang, D. (n.d.). *Studi Potensi Energi Angin Di Kota Palu Untuk Membangkitkan Energi Listrik*.

Tasneem, Z., Al Noman, A., Das, S. K., Saha, D. K., Islam, Md. R., Ali, Md. F., R Badal, Md. F., Ahamed, Md. H., Moyeen, S. I., dan Alam, F. (2020). An analytical review on the evaluation of wind resource and wind turbine for urban application: Prospect and challenges. *Developments in the Built Environment*, 4, 100033. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100033>

Ulina, S., Hasan, S., Warman, E., dan Nugraha, Y. T. (2022). Analisis Potensi Energi Baru dan Terbarukan Di Sumatera Utara Sampai Tahun 2028

Menggunakan Software LEAP. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 5(1), 24–28.

Wafik, A. Z. (2023). Analisis Persepsi Masyarakat Terhadap Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Pltb) Di Kecamatan Jerowaru. *Jurnal Ilmu Ekonomi*, 2(1). <https://doi.org/10.59827/jie.v2i1.53>

Wijayanto, D., Yulianto, T., Suroto, dan, dan Pengajar Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya, S. (2013). Analisis Kelayakan Usaha Perikanan Laut Kabupaten Kendal Feasibility Study to Fisheries Bussiness in District of Kendal. In *Jurnal Saintek Perikanan* (Vol. 8, Issue 2).

Wildani, A., dan Kurniasari, S. (2019). Distribusi Weibull Kecepatan Angin Wilayah Kecamatan Pangarengan Kabupaten Sampang Madura. *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 4(1), 57.

