

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori-teori yang relevan

Landasan teori merupakan seperangkat definisi, konsep serta proposisi yang telah disusun rapi serta sistematis tentang variable-variabel dalam sebuah penelitian. Landasan teori ini akan menjadi dasar yang kuat dalam sebuah penelitian yang akan dilakukan. Berikut merupakan landasan teori untuk menunjang penelitian ini (Ii & Pustaka, 2012). Kerangka ini menjelaskan bagaimana indikator NPV, IRR, dan Payback Period dikombinasikan dengan sensitivitas terhadap *discount rate* mengarahkan penilaian kelayakan dan ketahanan finansial proyek PLTP di Lembata, NTT.

2.1.1 Teori Panas Bumi

Energi panas bumi bersumber dari panas alami kerak bumi akibat aktivitas tektonik-vulkanik dan peluruhan radioaktif. Energi tersimpan sebagai fluida (air panas/uap) dalam reservoir bawah permukaan yang dapat dikonversi menjadi listrik melalui PLTP. Karakteristik fisik-kimia fluida (temperatur, pH, mineral terlarut) menentukan pilihan teknologi konversi serta strategi operasi. (Saptadji, 2009, Bin & Kashem, 2021). Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas dari dalam bumi (*geothermal energy*) untuk menghasilkan listrik. Panas bumi ini berasal dari aktivitas magma di bawah permukaan tanah yang menghasilkan uap atau air panas, kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin yang terhubung dengan generator listrik.

a. Sistem Panas bumi berdasarkan Tipologi

Berdasarkan tipologinya, sistem panas bumi dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

Sistem Uap Kering (*Dry Steam System*) Sistem ini adalah tipe paling sederhana sekaligus paling tua dalam teknologi panas bumi. Keunggulannya adalah efisiensi konversi energi yang tinggi karena tidak membutuhkan proses tambahan seperti pemisahan atau pemanasan ulang. Namun kelemahannya, sumber daya uap kering sangat jarang ditemukan di dunia (kurang dari 10% total sumber daya panas bumi (Saptadji, 2009).

Sistem Dominasi Air Panas (*Hot Water Dominated System*) Sistem ini Reservoir didominasi oleh air panas dengan temperatur menengah hingga tinggi (sekitar 150–250 °C). Air panas tersebut dapat dikonversi menjadi uap melalui proses pelepasan tekanan (*flash steam*). Kelebihan sistem ini adalah ketersediaannya yang melimpah, namun kelemahannya terletak pada kebutuhan infrastruktur tambahan untuk pemisahan dan reinjeksi, serta risiko penurunan tekanan reservoir apabila manajemen fluida tidak tepat (Saptadji, 2009).

Sistem Siklus Biner (*Binary Cycle System*) Sistem ini digunakan pada sumber daya panas bumi dengan temperatur relatif rendah (100–170 °C). Keunggulannya adalah memungkinkan pemanfaatan sumber panas bumi dengan temperatur rendah, yang jumlahnya lebih banyak dan tersebar luas. Selain itu, emisi lingkungan juga lebih rendah karena sistem tertutup mencegah pelepasan fluida ke atmosfer. Kekurangannya, efisiensi energi lebih rendah dibandingkan sistem uap kering atau *flash steam*, dan biaya per unit listrik lebih tinggi (Tester, 2007).

PLTP Atadei menggunakan metode berbeda sesuai karakteristik reservoir untuk reservoir dengan suhu tinggi (180-240 °C) seperti di Atadei, Lembata, cocok dengan teknologi *flash steam* yang mampu mengubah air bertekanan menjadi uap untuk menggerakkan turbin (Amalia, n.d.).

b. Prinsip Panas Bumi

Prinsip dasar konversi energi panas bumi menjadi listrik melibatkan ekstraksi fluida panas (uap atau air panas) dari reservoir geothermal melalui sumur produksi, pemanfaatan energi thermal untuk menggerakkan turbin generator, dan reinjeksi fluida yang telah digunakan kembali ke reservoir melalui sumur injeksi untuk menjaga keseimbangan tekanan dan keberlanjutan sumber daya. Siklus ini menciptakan sistem tertutup yang memungkinkan pemanfaatan energi panas bumi secara berkelanjutan (Sugiyono, 2012).

c. Jenis-Jenis PLTP, Keunggulan dan Kerbatasan

Jenis-jenis PLTP (*Dry Steam*, *Flash Steam*, *Binary Cycle*) beserta keunggulan dan keterbatasannya (Ii, 2018):

Dry Steam Systems merupakan teknologi PLTP tertua dan paling sederhana, yang menggunakan uap kering langsung dari reservoir untuk menggerakkan turbin. PLTP yang menggunakan sistem *dry steam* atau biasa disebut dengan sistem uap kering ini memiliki sistem yang tidak rumit dan lebih efisien. Uap yang berasal dari perut bumi dan dialirkan melalui sumur produksi memiliki karakteristik uap yang kering atau dengan kata lain *vapor dominated*. Keunggulan *dry steam* adalah efisiensi yang tinggi (hingga 15%) dan biaya investasi yang relatif rendah.

Flash Steam Systems adalah teknologi yang paling umum digunakan, mencakup sekitar 60% dari kapasitas PLTP global. Sistem ini menggunakan air panas bertekanan tinggi (suhu 180-370°C) yang di-flash menjadi uap di separator pada tekanan yang lebih rendah. Selain juga tidak terlalu kompleks seperti sistem

dry steam, pembangkit *flash steam* sangat cocok terhadap karakteristik sumber panas bumi di Indonesia yang berupa campuran antara uap dan air.

Terdapat dua variasi: *single flash* dan *double flash*.

- 1) *Single Flash System* adalah Sistem *single flash* ini hanya menggunakan satu tingkat *flash tank* atau biasa disebut dengan separator yang berfungsi untuk memisahkan kandungan air yang ada pada uap.
- 2) *Double Flash system* adalah Sistem *double flash system* hampir sama dengan prinsip kerja *single flash*, perbedaannya terletak pada proses flashing uap dengan menggunakan 2 tingkat *flash tank* atau menggunakan dua separator untuk memisahkan air yang terbawa pada uap.

Binary Cycle System adalah sistem yang memanfaatkan panas dari sumber panas dari uap ataupun fluida panas bumi. Panas yang dimanfaatkan ini fungsinya untuk memanaskan fluida kerja pada sistem binary, di mana uap/fluida panas bumi ini tidak langsung dimanfaatkan sebagai penggerak turbin untuk memproduksi listrik. PLTP *Binary* digunakan untuk memproduksi listrik dengan sumber panas yang rendah atau juga bisa menggunakan panas sisa yang tidak termanfaatkan. Keunggulan *binary cycle* adalah dapat memanfaatkan reservoir bersuhu rendah, emisi yang sangat rendah, dan fleksibilitas operasi.

d. Siklus Hidup PLTP

Siklus hidup proyek PLTP terdiri atas beberapa tahapan utama, yaitu eksplorasi, pengembangan, konstruksi, operasi, dan dekomisioning. Fase eksplorasi (1–3 tahun) meliputi survei geologi, geofisika, geokimia, serta pengeboran sumur eksplorasi dengan tingkat ketidakpastian tinggi dan success rate hanya 20–30% (Saptadji, 2009). Fase pengembangan (2–4 tahun) mencakup pengeboran sumur konfirmasi, studi kelayakan detail, dan perizinan, dengan *success rate* meningkat menjadi 70–80% (Bin & Kashem, 2021). Fase konstruksi (2–3 tahun) melibatkan pembangunan pembangkit, infrastruktur penunjang, serta pengeboran sumur produksi dan injeksi dengan risiko teknis dan finansial yang lebih terprediksi (Wishnu et al., 2024). Fase operasi berlangsung selama 25–30 tahun dengan karakteristik operasional yang relatif

stabil namun tetap memerlukan pemeliharaan intensif, sedangkan fase decomisioning (1–2 tahun) mencakup pembongkaran fasilitas dan rehabilitasi lingkungan. Secara total, durasi dari eksplorasi hingga operasi komersial PLTP berkisar 8–12 tahun, jauh lebih panjang dibandingkan pembangkit listrik konvensional yang hanya memerlukan 3–5 tahun (Wishnu et al., 2024; Bin & Kashem, 2021).

e. Karakteristik PLPT Atadei PLTP 10 MW (2x5 MW)

Faktor kapasitas (*capacity factor*) adalah perbandingan antara energi listrik yang benar-benar dihasilkan suatu pembangkit dengan energi maksimum yang bisa dihasilkan jika beroperasi penuh sepanjang waktu. PLTP umumnya memiliki faktor kapasitas, sekitar 85-90% (Dipayana & Ramadhan, 2022). Hal ini karena PLTP menghasilkan listrik secara kontinyu (*baseload*) tanpa tergantung cuaca atau waktu siang–malam. Untuk PLTP Atadei dengan kapasitas 10 MW ($2 \times \text{MW}$). Dengan asumsi faktor kapasitas 90%, pembangkit dapat menghasilkan energi listrik tahunan sekitar 78.840 MWh / tahun.

Rumusnya Energi listrik tahunan:

$$E = P \times CF \times t$$

$$10 \text{ MW} \times 0,9 \times 8760 \text{ jam} = 78.840 \text{ MWh / tahun}$$

Keterangan:

E = energi listrik tahunan (MWh/tahun)

P = kapasitas terpasang (MW)

CF = capacity factor (faktor kapasitas, dalam desimal)

t = jumlah jam dalam setahun (8.760 jam/tahun)

2.1.2 Teori Studi Kelayakan Bisnis

a) Pengertian studi kelayakan Bisnis

Studi kelayakan bisnis merupakan suatu proses analitis yang dilakukan secara sistematis dan mendalam terhadap suatu rencana usaha atau proyek yang akan dijalankan, dengan tujuan untuk menilai apakah usaha tersebut layak atau tidak layak untuk direalisasikan. Proses ini mencakup pengumpulan, pengolahan, serta analisis data dan informasi yang relevan dengan menggunakan metode dan kriteria tertentu, sehingga dapat diperoleh dasar pengambilan keputusan yang objektif dan rasional.

Studi kelayakan bisnis tidak hanya berfungsi sebagai pertimbangan awal sebelum suatu usaha dijalankan, tetapi juga sebagai alat evaluasi untuk memastikan bahwa sumber daya yang digunakan dapat memberikan hasil yang optimal. Kelayakan dalam konteks ini diartikan sebagai kemampuan suatu usaha untuk menghasilkan manfaat yang lebih besar dibandingkan dengan biaya dan risiko yang harus ditanggung, baik dalam bentuk manfaat finansial maupun nonfinansial.

Lebih lanjut, studi kelayakan bisnis bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai prospek suatu usaha bagi berbagai pihak yang berkepentingan, seperti perusahaan, investor, kreditur, pemerintah, dan masyarakat. Oleh karena itu, studi kelayakan bisnis menjadi instrumen penting dalam meminimalkan ketidakpastian dan risiko yang mungkin timbul dalam pelaksanaan suatu kegiatan usaha atau proyek investasi (Kasmis & Jakfar., 2013)

b) Aspek-aspek dalam studi kelayakan

Penilaian kelayakan suatu usaha atau proyek dilakukan melalui analisis terhadap beberapa aspek utama yang saling berkaitan dan tidak dapat dipisahkan satu sama lain. Setiap aspek memiliki peran penting dalam menentukan kelayakan secara keseluruhan, sehingga keputusan tidak dapat didasarkan hanya pada satu aspek tertentu.

Aspek hukum menilai kesesuaian rencana usaha dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku, termasuk legalitas usaha, perizinan, serta kepatuhan terhadap ketentuan hukum lainnya. Aspek pasar dan pemasaran berfokus pada analisis permintaan, penawaran, pangsa pasar, serta strategi pemasaran yang akan diterapkan untuk memastikan produk atau jasa dapat diterima oleh pasar.

Aspek keuangan menganalisis kemampuan usaha dalam menghasilkan keuntungan secara finansial melalui penilaian terhadap kebutuhan investasi, sumber pendanaan, arus kas, serta indikator kelayakan finansial. Aspek teknis atau operasional menilai kesiapan teknologi, lokasi, kapasitas produksi, dan proses operasional yang digunakan dalam menjalankan usaha.

Selanjutnya, aspek manajemen dan organisasi mengkaji struktur organisasi, kualitas sumber daya manusia, serta kemampuan manajerial dalam mengelola dan mengoperasikan usaha secara efektif. Aspek ekonomi dan sosial menilai kontribusi usaha terhadap perekonomian dan kesejahteraan masyarakat, seperti penciptaan lapangan kerja dan peningkatan pendapatan daerah. Terakhir, aspek dampak lingkungan menilai potensi dampak usaha terhadap lingkungan serta upaya pengelolaan dan mitigasi dampak negatif yang mungkin timbul.

c) Tujuan Studi Kelayakan bisnis dan atau proyek

Studi kelayakan bisnis atau proyek disusun dengan tujuan utama untuk memberikan dasar pertimbangan yang rasional dalam pengambilan keputusan sebelum suatu usaha atau proyek direalisasikan (Kasmis & Jakfar., 2013).

1. Studi kelayakan bertujuan untuk menghindari atau meminimalkan risiko kerugian di masa yang akan datang. Setiap kegiatan usaha atau proyek dihadapkan pada kondisi ketidakpastian yang dapat berasal dari faktor internal maupun eksternal. Melalui studi kelayakan, berbagai potensi risiko dapat diidentifikasi, dianalisis, dan diantisipasi sejak awal, baik risiko yang dapat dikendalikan maupun risiko yang berada di luar kendali pelaksana usaha.
2. Studi kelayakan bertujuan untuk mempermudah proses perencanaan usaha atau proyek. Dengan adanya kajian yang komprehensif, perencanaan dapat dilakukan secara lebih terarah, mencakup kebutuhan modal, jadwal pelaksanaan, lokasi proyek, pihak-pihak yang terlibat, mekanisme operasional, serta proyeksi hasil yang akan dicapai. Perencanaan yang matang akan menjadi dasar penting dalam pelaksanaan kegiatan usaha secara efektif dan efisien.
3. Studi kelayakan bertujuan untuk mempermudah pelaksanaan kegiatan usaha atau proyek. Rencana yang telah disusun berdasarkan hasil studi kelayakan dapat dijadikan sebagai pedoman kerja bagi seluruh pihak yang terlibat. Dengan demikian, pelaksanaan usaha dapat dilakukan secara sistematis, terstruktur, dan sesuai dengan tahapan yang telah direncanakan, sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan operasional.

4. Studi kelayakan bertujuan untuk mempermudah pengawasan terhadap pelaksanaan usaha atau proyek. Kejelasan rencana dan target yang telah ditetapkan memungkinkan manajemen melakukan pengawasan secara lebih efektif terhadap jalannya kegiatan usaha. Pengawasan ini penting untuk memastikan bahwa pelaksanaan proyek tetap berada pada jalur yang telah direncanakan dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan.
5. Studi kelayakan bertujuan untuk mempermudah proses pengendalian usaha atau proyek. Apabila dalam pelaksanaan kegiatan ditemukan adanya penyimpangan, hasil studi kelayakan dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan tindakan korektif. Pengendalian ini bertujuan untuk mengembalikan pelaksanaan usaha ke arah yang sesuai dengan rencana awal, sehingga tujuan perusahaan atau proyek dapat tercapai secara optimal.

d) Aspek Finansial

Aspek keuangan merupakan pusat dari seluruh aspek dalam suatu proyek, karena mencerminkan implikasi finansial dari setiap program dan kegiatan yang direncanakan. Oleh karena itu, aspek keuangan perlu dianalisis secara komprehensif sejak tahap perencanaan awal, periode persiapan, tahap pelaksanaan pembangunan proyek, hingga fase operasi ketika proyek telah berjalan. Setiap tahapan tersebut memiliki konsekuensi biaya dan potensi penerimaan yang harus diperhitungkan secara cermat.

Analisis finansial dilakukan untuk menilai kelayakan suatu proyek dengan membandingkan seluruh biaya yang dikeluarkan dengan penerimaan yang dihasilkan selama umur proyek. Melalui analisis ini dapat diketahui apakah suatu kegiatan produksi atau investasi layak untuk diusahakan serta mampu memberikan keuntungan secara finansial. Hasil analisis finansial menjadi dasar penting dalam pengambilan keputusan investasi, khususnya dalam menentukan keberlanjutan proyek.

Dalam analisis finansial, beberapa indikator utama yang digunakan meliputi *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Payback Period*. Indikator-indikator tersebut digunakan untuk mengukur tingkat profitabilitas, efisiensi investasi, serta kemampuan proyek dalam mengembalikan modal yang telah

ditanamkan. Untuk menunjang perhitungan aspek finansial tersebut, digunakan metode-metode analisis yang sesuai dengan karakteristik proyek dan data yang tersedia (Ii & Pustaka, 2012).

1. *Net Present Value*

Net Present Value (NPV) merupakan metode penilaian investasi yang digunakan untuk menghitung selisih antara nilai sekarang dari seluruh manfaat atau arus kas masuk dengan nilai sekarang dari seluruh biaya atau arus kas keluar selama umur proyek. Metode ini memperhitungkan konsep nilai waktu uang (*time value of money*) dengan mendiskontokan arus kas masa depan ke nilai saat ini menggunakan tingkat diskonto tertentu. NPV banyak diterapkan dalam analisis investasi dan penganggaran modal untuk menilai tingkat profitabilitas suatu proyek atau rencana investasi. Suatu proyek dinyatakan layak secara finansial apabila nilai NPV yang dihasilkan bernilai positif, sedangkan proyek dengan nilai NPV negatif menunjukkan bahwa manfaat yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan.

Rumus Perhitungan NPV:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Dimana:

CF_t = Arus Kas Bersih pada periode t

r = Tingkat Diskonto (Cost of Capital)

I_0 = Investasi Awal

n = Umur Proyek

Kriteria Keputusan Investasi Berdasarkan NPV: Kriteria keputusan investasi berdasarkan NPV adalah sebagai berikut:

$NPV > 0$ menunjukkan bahwa proyek akan menghasilkan return lebih besar dari cost of capital dan layak untuk dilaksanakan;

$NPV < 0$ menunjukkan bahwa proyek akan menghasilkan return lebih kecil dari cost of capital dan sebaiknya ditolak;

$NPV = 0$ menunjukkan bahwa proyek akan menghasilkan return sama dengan cost of capital, sehingga investor indifferent terhadap proyek tersebut.

Untuk multiple projects dengan keterbatasan modal, proyek dipilih berdasarkan NPV tertinggi atau kombinasi proyek yang memaksimalkan total NPV. Dalam konteks PLTP, NPV juga harus dibandingkan dengan alternative investments seperti PLTS, PLTB, atau investasi di sektor lain dengan profil risiko serupa.

2. *Internal Rate of Return*

Internal Rate of Return (IRR) merupakan salah satu metode analisis finansial yang digunakan untuk menilai kelayakan suatu proyek atau investasi. Dalam praktik keuangan, berbagai perhitungan diperlukan untuk mengetahui kondisi keuangan perusahaan, tingkat keuntungan atau kerugian, serta sebagai dasar dalam pengambilan keputusan strategis. Oleh karena itu, perusahaan dituntut untuk bersikap cermat dan tidak gegabah, terutama dalam menentukan keputusan investasi yang berdampak jangka panjang terhadap keberlangsungan usaha.

IRR didefinisikan sebagai tingkat suku bunga atau tingkat diskonto yang menjadikan nilai bersih sekarang (*Net Present Value/NPV*) sama dengan nol. Dengan kata lain, IRR menunjukkan tingkat pengembalian internal dari suatu proyek yang mampu menyamakan nilai sekarang dari seluruh arus kas masuk dengan nilai investasi awal yang dikeluarkan. Metode ini digunakan untuk mengukur kemampuan proyek dalam menghasilkan tingkat pengembalian terhadap modal yang ditanamkan.

Suatu proyek dinyatakan layak untuk dijalankan apabila nilai IRR yang diperoleh lebih besar daripada tingkat suku bunga atau tingkat pengembalian minimum yang disyaratkan (*required rate of return*). Sebaliknya, apabila nilai IRR lebih kecil dari tingkat pengembalian yang ditetapkan, maka proyek tersebut dinilai tidak layak secara finansial.

Rumus Perhitungan IRR:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} - I_0$$

Dimana:

CF_t = Arus Kas Bersih pada periode t

I_0 = Investasi Awal

n = Umur Proyek

IRR = *Internal Rate of Return* yang dicari

Kriteria keputusan investasi berdasarkan IRR adalah:

- a) $IRR > Cost\ of\ Capital$ menunjukkan bahwa proyek menghasilkan return lebih tinggi dari biaya modal sehingga layak dilaksanakan;
- b) $IRR < Cost\ of\ Capital$ menunjukkan bahwa proyek menghasilkan return lebih rendah dari biaya modal sehingga sebaiknya ditolak;
- c) $IRR = Cost\ of\ Capital$ menunjukkan bahwa proyek menghasilkan return tepat sama dengan biaya modal.
- d) Untuk proyek PLTP di Indonesia, IRR yang dapat diterima umumnya berkisar 12-20% tergantung pada profil risiko dan kondisi pasar Kelebihan dan Kekurangan Metode IRR

3. *Payback Period*

Payback Period (PP) merupakan salah satu metode analisis investasi yang digunakan untuk mengukur jangka waktu yang diperlukan guna mengembalikan seluruh dana investasi awal melalui arus kas masuk bersih yang dihasilkan oleh suatu proyek. Payback Period menunjukkan periode waktu yang dibutuhkan untuk menutup kembali pengeluaran investasi awal (*initial cash investment*) (Wijayanto, 2012).

Secara umum, Payback Period dapat dihitung dengan membandingkan nilai investasi awal dengan kas masuk bersih yang diperoleh setiap periode. Metode ini

memberikan gambaran mengenai kecepatan pengembalian modal yang ditanamkan dalam suatu proyek.

Rumus Payback Period:

$$\text{Payback Period} = \text{Nilai} \frac{\text{Investasi}}{\text{Kas Masuk Bersih}}$$

Kelebihan utama metode Payback Period terletak pada kemudahan dan kesederhanaannya dalam perhitungan. Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui lamanya waktu yang dibutuhkan hingga proyek mencapai titik impas (break even point). Selain itu, Payback Period sering dimanfaatkan sebagai alat pertimbangan risiko, karena semakin singkat periode pengembalian investasi, maka semakin kecil risiko kerugian yang ditanggung oleh investor. Metode ini juga dapat digunakan untuk membandingkan beberapa proyek yang memiliki tingkat risiko dan tingkat pengembalian yang relatif sama, dengan memilih proyek yang memiliki periode pengembalian investasi paling cepat.

Namun demikian, metode Payback Period memiliki beberapa keterbatasan. Metode ini tidak memperhitungkan arus kas yang diterima setelah periode pengembalian tercapai, sehingga tidak memberikan gambaran menyeluruh mengenai keuntungan proyek selama umur ekonomisnya. Selain itu, Payback Period mengabaikan konsep nilai waktu uang (time value of money) dan tidak mampu menunjukkan besarnya nilai tambah yang dihasilkan oleh proyek bagi perusahaan. Oleh karena itu, Payback Period lebih tepat digunakan sebagai alat untuk mengukur kecepatan pengembalian dana investasi, dan bukan sebagai satu-satunya dasar dalam menilai kelayakan finansial suatu proyek.

2.1.3 Teori Sensitivitas

Analisis sensitivitas merupakan suatu metode analisis simulatif yang dilakukan dengan cara mengubah nilai variabel-variabel utama yang memengaruhi kinerja suatu proyek atau investasi, guna mengetahui besarnya dampak perubahan tersebut terhadap hasil yang diperoleh. Analisis ini digunakan untuk mengidentifikasi variabel-variabel yang memiliki tingkat ketidakpastian tinggi serta berpotensi menimbulkan risiko signifikan terhadap kelayakan proyek.

Dalam konteks analisis finansial, analisis sensitivitas berfungsi untuk mengukur tingkat kepekaan arus kas terhadap perubahan pada faktor-faktor penyebab, seperti biaya investasi, biaya operasional, tingkat produksi, harga jual, maupun tingkat diskonto. Melalui analisis ini dapat diketahui sejauh mana perubahan pada masing-masing variabel memengaruhi indikator kelayakan finansial, sehingga dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan serta perumusan strategi mitigasi risiko. (Tantina, 2011).

Dalam proyek PLTP, variabel yang umumnya bersifat sensitif meliputi harga jual listrik, kapasitas produksi, biaya investasi awal, serta biaya operasi dan pemeliharaan. Perubahan pada variabel-variabel tersebut dapat berdampak langsung terhadap arus kas proyek dan tingkat kelayakan investasi (L.Penyelidikan, 2023)

a) *Discount Rate* (Tingkat diskonto)

Tingkat diskonto (*discount rate*) merupakan tingkat suku bunga yang digunakan untuk mendiskontokan arus kas masa depan agar dapat dinilai dalam nilai sekarang (*present value*). Dalam konteks studi kelayakan finansial pembangunan PLTP Atadei, tingkat diskonto berperan penting karena mencerminkan biaya modal (*cost of capital*) atau tingkat pengembalian minimum yang diharapkan investor atas proyek tersebut.

Menghitung indikator finansial seperti *Net Present Value* (NPV) dan *Internal Rate of Return* (IRR) artinya, proyek PLTP Atadei dianggap layak apabila $IRR \geq WACC$, karena berarti tingkat pengembalian proyek mampu menutup seluruh biaya modal yang digunakan untuk membiayai proyek panas bumi tersebut (Susanti Widhiastuti., 2024).

Dalam perhitungan *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period* untuk PLTP Atadei, tingkat diskonto digunakan sebagai parameter utama untuk menilai kelayakan investasi dari sisi finansial. Jika return proyek (misalnya IRR) melebihi tingkat diskonto, proyek tersebut dinilai layak karena

menghasilkan nilai tambah bagi investor. Sebaliknya, jika IRR di bawah tingkat diskonto, maka proyek dianggap tidak menarik secara ekonomi.

2.1.4 Teori Risiko

Menurut Kountur (2008), analisis risiko bertujuan untuk memahami kemungkinan terjadinya suatu kejadian yang tidak diinginkan beserta konsekuensinya, sehingga pengambil keputusan dapat menyiapkan strategi mitigasi yang tepat.

a) Konsep Risiko dan Ketidakpastian

Risiko merupakan konsep fundamental yang harus dipahami dalam setiap pengambilan keputusan investasi, khususnya pada proyek infrastruktur energi terbarukan yang bersifat padat modal dan berjangka panjang seperti Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Ketidakpastian didefinisikan sebagai kondisi di mana masa depan mengandung sejumlah kemungkinan peristiwa yang dapat terjadi, namun probabilitas kejadiannya tidak dapat diketahui secara pasti pada saat keputusan diambil. Dalam kondisi ini, seluruh kemungkinan hasil dapat terjadi, meskipun hasil yang paling mungkin dapat diperkirakan, namun tetap terdapat ketidakjelasan terkait realisasi aktualnya (Wardiningsih, 2012).

Berbeda dengan ketidakpastian absolut, risiko menggambarkan kondisi yang lebih realistis dalam praktik manajemen investasi. Risiko mencerminkan adanya sejumlah kemungkinan hasil yang dapat diidentifikasi beserta peluang terjadinya, sehingga memungkinkan dilakukan pengukuran dan analisis secara kuantitatif. Risiko investasi pada dasarnya diartikan sebagai probabilitas terjadinya penyimpangan antara tingkat keuntungan yang diharapkan dengan tingkat keuntungan aktual yang diterima. Semakin besar penyimpangan tersebut, maka semakin tinggi tingkat risiko investasi yang melekat pada proyek tersebut (Wardiningsih, 2012).

Dalam konteks investasi proyek energi terbarukan, risiko memiliki implikasi penting karena arus kas yang akan diterima di masa depan tidak dapat diketahui secara pasti, melainkan hanya dapat diproyeksikan berdasarkan asumsi-asumsi tertentu. Oleh karena itu, manajemen perlu secara eksplisit memasukkan faktor risiko ke dalam proses evaluasi investasi. Setiap proyek memiliki karakteristik dan tingkat risiko yang

berbeda, sehingga akan memengaruhi besarnya tingkat keuntungan yang disyaratkan atau *required rate of return*. Tingkat keuntungan inilah yang selanjutnya menjadi dasar dalam menentukan kelayakan suatu proyek investasi, baik untuk diterima maupun ditolak (Wardiningsih, 2012).

b) Pendekatan Pengukuran Risiko dalam Keputusan Investasi

Dalam praktik pengambilan keputusan investasi, risiko dapat diukur dan dianalisis melalui berbagai pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk mengakomodasi ketidakpastian arus kas masa depan. Pendekatan-pendekatan ini dikembangkan agar risiko dapat dikomunikasikan secara sistematis dan menjadi dasar pengambilan keputusan yang rasional (Wardiningsih, 2012):

1. Pendekatan Mean- Standar Deviasi

Pendekatan mean–standar deviasi merupakan metode pengukuran risiko yang umum digunakan dalam analisis investasi berbasis *discounted cash flow*. Dalam kondisi kepastian, analisis arus kas biasanya menggunakan satu nilai estimasi untuk setiap periode. Namun, ketika unsur risiko diperhitungkan, arus kas dipandang sebagai variabel acak yang memiliki distribusi probabilitas, sehingga digunakan nilai rata-rata (mean) sebagai estimasi arus kas yang diharapkan. Dalam pendekatan ini, risiko diukur melalui besarnya penyebaran arus kas yang diwakili oleh standar deviasi. Semakin besar standar deviasi arus kas terhadap nilai rata-ratanya, maka semakin besar tingkat risiko proyek tersebut. Risiko dengan demikian dipahami sebagai variabilitas arus kas yang mungkin terjadi dibandingkan dengan arus kas yang diharapkan (Wardiningsih, 2012).

2. Pendekatan Ekuivalen Kepastian

Pendekatan ekuivalen kepastian bertujuan untuk menyetarakan arus kas yang tidak pasti dengan arus kas tertentu yang dianggap setara dari sudut pandang pengambil keputusan. Dalam pendekatan ini, risiko tidak dimasukkan ke dalam tingkat diskonto, melainkan secara langsung mengurangi estimasi arus kas yang diharapkan sehingga diperoleh arus kas yang bersifat ekuivalen dengan kepastian. Setelah arus kas disesuaikan dengan risiko, arus kas tersebut kemudian didiskontokan menggunakan tingkat diskonto bebas risiko (*risk-free rate*). Kriteria pengambilan keputusan dalam pendekatan ini sama dengan pendekatan NPV konvensional, yaitu

proyek dinyatakan layak apabila nilai NPV ekuivalen kepastian lebih besar dari nol. Beberapa metode dapat digunakan untuk menentukan arus kas ekuivalen kepastian, antara lain dengan mengurangi mean arus kas dengan sejumlah standar deviasi tertentu, menggunakan koefisien variasi, atau mengalikan arus kas yang diharapkan dengan koefisien ekuivalen kepastian (*certainty equivalent coefficient*) yang nilainya berada antara nol dan satu (Wardiningsih, 2012).

3. Pendekatan Tingkat Diskonto yang disesuaikan dengan Risiko

Pendekatan risk-adjusted discount rate (RADR) memasukkan unsur risiko ke dalam tingkat diskonto yang digunakan dalam perhitungan NPV. Dalam metode ini, arus kas yang diharapkan tidak diubah, tetapi tingkat diskonto dinaikkan untuk mencerminkan risiko proyek. Semakin tinggi tingkat risiko proyek, semakin besar tingkat diskonto yang digunakan. Tingkat diskonto yang disesuaikan dengan risiko terdiri dari dua komponen utama, yaitu tingkat diskonto bebas risiko dan premi risiko. Premi risiko mencerminkan kompensasi tambahan yang diminta investor atas risiko yang dihadapi. Dengan meningkatnya tingkat diskonto, nilai sekarang arus kas akan menurun sehingga NPV proyek menjadi lebih konservatif (Wardiningsih, 2012).

Identifikasi dan Evaluasi Risiko dalam Proyek Energi Terbarukan

1. Konsep Identifikasi Bahaya dan Risiko, identifikasi risiko merupakan langkah awal dalam manajemen risiko yang bertujuan untuk mengenali seluruh potensi bahaya yang dapat memengaruhi keberhasilan proyek. Dalam proyek energi terbarukan, identifikasi risiko mencakup aspek teknis, finansial, lingkungan, sosial, serta regulasi. Identifikasi yang dilakukan sejak tahap awal proyek memungkinkan penyusunan strategi mitigasi yang lebih efektif (Wahdianto & Wardana, 2025).
2. Metode Evaluasi Risiko, Evaluasi risiko dilakukan dengan menilai dua parameter utama, yaitu probabilitas terjadinya risiko dan tingkat dampaknya. Nilai risiko diperoleh dari hasil perkalian kedua parameter tersebut dan digunakan untuk menentukan prioritas penanganan risiko. Risiko kemudian diklasifikasikan ke dalam kategori dapat diterima, dapat ditoleransi, memerlukan perhatian serius, atau tidak dapat diterima (Wahdianto & Wardana, 2025).

c) Manajemen Risiko dalam Proyek Investasi

1. Strategi Mitigasi Risiko, manajemen risiko mencakup perencanaan dan penerapan strategi mitigasi yang bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya risiko atau meminimalkan dampaknya. Dalam proyek PLTP, strategi mitigasi dilakukan pada seluruh tahapan proyek, mulai dari eksplorasi, konstruksi, hingga operasi. Strategi yang umum diterapkan antara lain penggunaan teknologi yang andal, penerapan standar operasional yang ketat, serta penyediaan skema asuransi dan *backup system* (Pt S.M. Infrastruktur, 2019)
2. Fase Implementasi dan pemantauan Risiko, implementasi strategi mitigasi harus disertai dengan pemantauan risiko secara berkelanjutan. Pemantauan ini bertujuan untuk memastikan efektivitas langkah mitigasi serta mengidentifikasi risiko baru yang mungkin muncul selama pelaksanaan proyek. Pendekatan manajemen risiko yang berkesinambungan akan meningkatkan probabilitas keberhasilan proyek dan menjaga kelayakan finansial jangka Panjang (PT S. M. Infrastruktur, 2019)

d) Metode Penilaian Kelayakan Investasi dengan Mempertimbangkan Risiko

Penilaian kelayakan investasi merupakan tahapan krusial dalam pengambilan keputusan proyek, khususnya pada proyek pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) yang memiliki karakteristik padat modal (capital intensive), jangka waktu pengembalian yang panjang, serta tingkat ketidakpastian yang relatif tinggi. Oleh karena itu, evaluasi kelayakan investasi tidak hanya ditujukan untuk menilai tingkat keuntungan yang diharapkan, tetapi juga untuk mengidentifikasi sejauh mana proyek mampu bertahan terhadap berbagai risiko yang mungkin terjadi selama umur ekonomisnya (Tantina, 2011).

Dalam praktik studi kelayakan, indikator yang paling umum digunakan untuk menilai kelayakan finansial suatu proyek investasi adalah Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Payback Period (PBP). Ketiga indikator tersebut saling melengkapi dalam memberikan gambaran menyeluruh mengenai profitabilitas, efisiensi penggunaan modal, serta risiko likuiditas proyek. Penggunaan ketiga kriteria ini secara simultan dinilai mampu menghasilkan keputusan investasi yang lebih komprehensif dibandingkan penggunaan satu indikator secara terpisah, terutama ketika proyek menghadapi ketidakpastian arus kas di masa depan (Tantina, 2011).

1. *Net Present Value* dan Pendekatan Risiko

Net Present Value (NPV) merupakan metode penilaian investasi yang menghitung selisih antara nilai sekarang dari seluruh arus kas masuk (cash inflows) dan nilai sekarang dari seluruh arus kas keluar (cash outflows) selama umur proyek. Perhitungan NPV didasarkan pada konsep nilai waktu uang (*time value of money*), di mana arus kas yang diterima di masa depan memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan arus kas yang diterima pada saat ini.

Dalam konteks proyek yang mengandung risiko, seperti PLTP, perhitungan NPV dilakukan dengan menggunakan tingkat diskonto yang telah disesuaikan dengan tingkat risiko proyek. Tingkat diskonto tersebut umumnya mencerminkan biaya modal (cost of capital) yang telah ditambah dengan premi risiko. Dengan demikian, semakin tinggi tingkat risiko proyek, semakin

besar tingkat diskonto yang digunakan, sehingga nilai sekarang arus kas akan semakin kecil dan menghasilkan nilai NPV yang lebih konservatif

Kriteria pengambilan keputusan berdasarkan NPV adalah bahwa proyek dinyatakan layak secara finansial apabila NPV bernilai positif, karena menunjukkan bahwa nilai manfaat proyek melebihi biaya yang dikeluarkan setelah memperhitungkan risiko. Sebaliknya, apabila NPV bernilai negatif, proyek dianggap tidak layak karena tidak mampu memberikan tingkat pengembalian yang sesuai dengan tingkat risiko yang ditanggung. Pendekatan NPV dinilai unggul karena secara eksplisit mempertimbangkan besarnya arus kas, waktu terjadinya arus kas, serta risiko yang melekat pada proyek, sehingga sangat relevan digunakan dalam evaluasi proyek energi terbarukan jangka panjang.

2. *Internal Rate of Return* dalam Konteks Risiko

Internal Rate of Return (IRR) merupakan tingkat diskonto yang menjadikan nilai sekarang arus kas masuk sama dengan nilai sekarang arus kas keluar, atau dengan kata lain menghasilkan nilai NPV sama dengan nol. IRR mencerminkan tingkat pengembalian internal yang dihasilkan oleh proyek investasi selama umur ekonomisnya dan sering digunakan sebagai indikator efisiensi penggunaan modal.

Dalam evaluasi kelayakan investasi, suatu proyek dinyatakan layak apabila nilai IRR lebih besar dibandingkan dengan tingkat pengembalian minimum yang disyaratkan (*required rate of return*) atau biaya modal. Namun, dalam konteks risiko, IRR tidak dapat dinilai secara terpisah dari karakteristik risiko proyek. Proyek dengan tingkat risiko yang lebih tinggi mensyaratkan tingkat pengembalian yang lebih tinggi sebagai bentuk kompensasi atas ketidakpastian arus kas di masa depan

Oleh karena itu, IRR perlu dibandingkan dengan tingkat pengembalian yang telah disesuaikan dengan risiko (*risk-adjusted return*). Apabila IRR proyek lebih besar daripada tingkat pengembalian yang disesuaikan dengan risiko, maka proyek dapat dinyatakan layak secara finansial. Sebaliknya, apabila IRR lebih rendah, maka proyek tersebut tidak memberikan imbal hasil

yang memadai dibandingkan risiko yang ditanggung. Dalam proyek PLTP, penggunaan IRR menjadi penting karena mampu menunjukkan daya tarik investasi dari sudut pandang investor, khususnya dalam membandingkan alternatif investasi energi dengan tingkat risiko yang berbeda

3. *Payback Period* dan Implikasi Risiko

Payback Period (PBP) merupakan metode penilaian investasi yang mengukur jangka waktu yang diperlukan untuk mengembalikan modal investasi awal melalui arus kas bersih yang dihasilkan proyek. Metode ini berfokus pada aspek likuiditas dan kecepatan pengembalian modal, sehingga sering digunakan sebagai indikator awal dalam menilai tingkat risiko suatu proyek.

Dalam konteks risiko, *payback period* yang lebih pendek umumnya lebih disukai karena menunjukkan bahwa modal investasi dapat kembali dalam waktu yang relatif singkat, sehingga mengurangi eksposur proyek terhadap ketidakpastian jangka panjang. Hal ini menjadi relevan bagi proyek-proyek dengan tingkat ketidakpastian tinggi atau lingkungan bisnis yang dinamis, di mana risiko perubahan regulasi, teknologi, maupun kondisi pasar dapat terjadi sewaktu-waktu.

Meskipun demikian, *payback period* memiliki keterbatasan karena tidak memperhitungkan nilai waktu uang serta mengabaikan arus kas yang terjadi setelah periode pengembalian tercapai. Oleh karena itu, metode ini tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya dasar pengambilan keputusan investasi. Dalam studi kelayakan proyek PLTP, *payback period* digunakan sebagai indikator pelengkap untuk menilai risiko likuiditas dan ketahanan proyek terhadap ketidakpastian jangka pendek, sedangkan keputusan akhir tetap didasarkan pada analisis NPV dan IRR yang lebih komprehensif.

2.2 Penelitian atau studi terdahulu

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti & Judul Publikasi	Hasil Penelitian Utama	Temuan yang Relevan untuk Penelitian
Sekar Ayu, Fajar Hendrasto, Benyamin, Nurkholis Hariyadi (2022) <i>Analisis Kelayakan Proyek PLTP Berdasarkan Potensi dan Perhitungan Keekonomian Lapangan "AC", Maluku Utara</i>	Potensi panas bumi 27,8 MW; proyek 10 MWe dinilai layak secara finansial dengan NPV USD 16 juta dan IRR 12%. Analisis cashflow menekankan pentingnya CAPEX, OPEX, dan drilling cost.	Menjadi pembanding metodologis langsung untuk struktur analisis finansial PLTP Atadei (variabel NPV–IRR–cashflow–sensitivitas). Menunjukkan bahwa kelayakan sangat dipengaruhi oleh struktur biaya awal dan produksi energi. ada membahas terkait CAPEX 2 x 5 MW dan Discount rate 4,8%
Gracia B. J. Timpal et al. (2024) <i>Analisis Kelayakan Keekonomian PLTP Kapasitas 2x20 MW</i>	Tanpa skema pendanaan: NPV -31,3 juta USD; IRR 7,11% (tidak layak). Dengan skema pinjaman: NPV +528 ribu USD; IRR 10,46%; POT 28 tahun. Sensitivitas terbesar: tarif listrik, EPCC, drilling cost, dan OPEX.	Sangat relevan untuk analisis risiko PLTP Atadei. Menunjukkan bahwa struktur pendanaan dan tarif dapat mengubah status kelayakan proyek secara signifikan. Dapat dijadikan dasar analisis skenario (optimis–moderat–pesimis).
(Afril et al., 2024) <i>Analisis Risiko Finansial dalam Proyek Photovoltaic (PV) Rooftop Segmen Industri di Jawa Timur: Studi Kasus di PT XXX – Gresik</i>	Hasil analisis menunjukkan bahwa proyek PV Rooftop secara finansial layak dengan nilai NPV positif dan IRR lebih besar dari cost of capital. Namun, kelayakan proyek sangat sensitif terhadap perubahan Tarif Dasar Listrik (TDL), produksi energi, dan biaya investasi. Penurunan TDL dan produksi energi sebesar 20% menyebabkan penurunan NPV lebih dari 140% dan IRR lebih dari 28%.	Penelitian ini menegaskan bahwa variabel ekonomi seperti harga listrik, tingkat produksi energi, dan biaya investasi merupakan faktor utama yang menentukan risiko dan kelayakan finansial proyek energi terbarukan. Temuan ini relevan sebagai dasar analisis risiko finansial pada proyek PLTP Atadei, khususnya dalam penggunaan indikator NPV, IRR, serta analisis sensitivitas untuk menilai ketahanan proyek terhadap perubahan asumsi finansial.

Nama Peneliti & Judul Publikasi	Hasil Penelitian Utama	Temuan yang Relevan untuk Penelitian
Amalia & Suryantini (ITB, PLN) <i>Study of Reservoir Characteristics: Atadei Geothermal Field</i>	WKP Atadei memiliki potensi cadangan ± 40 MWe. Suhu reservoir $\pm 235^{\circ}\text{C}$, fluida bersifat asam (pH 4,6–4,7) dan berpotensi menimbulkan masalah korosi. PLN merencanakan pengembangan 2x5 MW mulai 2026.	Memberikan konteks teknis dan risiko non-finansial yang sangat penting untuk studi kelayakan Anda, terutama risiko operasional (korosi, scaling) yang berimplikasi langsung terhadap peningkatan OPEX dan risiko investasi.
Agus Sugiyono (2012) <i>Keekonomian Pengembangan PLTP Skala Kecil</i>	Menunjukkan bahwa biaya pembangkitan PLTP skala kecil berada pada kisaran 9–28 sen USD/kWh, tergantung kualitas sumber daya dan kondisi infrastruktur. Tarif pembelian listrik eksisting belum ekonomis untuk PLTP skala kecil tanpa dukungan kebijakan khusus seperti feed-in tariff.	Menjadi dasar pembahasan risiko keekonomian PLTP skala kecil di wilayah terpencil. Relevan untuk analisis sensitivitas terhadap tingkat diskonto dan struktur biaya pada PLTP Atadei.
Hardianto & Sidqi (2026) – Analisis Kelayakan Proyek Pembangunan PLTM Walesi Cascade	Proyek memiliki NPV positif, IRR tinggi, BCR > 1 , dan BEP sekitar 8,9 tahun sehingga layak secara finansial serta berpotensi menghasilkan kredit karbon	Menunjukkan indikator finansial (NPV, IRR, BCR, Payback) efektif menilai kelayakan pembangkit EBT dan dapat dikombinasikan dengan aspek manfaat tambahan (lingkungan/eksternalitas)
Danish Energy Agency (2021) – Prefeasibility Studies of Renewable Projects in Riau	IRR proyek energi terbarukan bervariasi 7,9%–27% tergantung teknologi dan tarif; sensitivitas dipengaruhi harga listrik, regulasi, dan risiko operasional	Menguatkan pentingnya analisis sensitivitas pada proyek pembangkit karena kelayakan sangat dipengaruhi tarif dan risiko proyek

Nama Peneliti & Judul Publikasi	Hasil Penelitian Utama	Temuan yang Relevan untuk Penelitian
DOE Geothermal Technologies Program – GETEM Geothermal Electricity Technology Evaluation Model	Analisis geothermal menggunakan discounted cash flow dan LCOE untuk mengevaluasi biaya pembangkitan serta pengaruh perubahan parameter proyek	Menjadi dasar metodologi analisis finansial PLTP menggunakan pendekatan arus kas terdiskonto (NPV dan IRR)
Abelson & Dalton (2023) – Declining Discount Rates in Cost Benefit Analysis	Perubahan discount rate mempengaruhi nilai manfaat jangka panjang dan hasil CBA proyek infrastruktur	Mendukung penggunaan variasi discount rate dalam analisis sensitivitas kelayakan PLTP
Anwar et al. (2025) – Financial Feasibility of Aren Sugar Agroindustry	Produk dengan NPV, IRR, dan B/C tinggi lebih robust terhadap perubahan harga dan biaya	Menunjukkan pentingnya membandingkan beberapa skenario ekonomi untuk menilai ketahanan kelayakan proyek

Sumber: Data di olah oleh peneliti