

ANALISIS KELAYAKAN FINANSIAL PADA DESAIN SISTEM PIKOHIDRO PLTS OFF GRID MENGGUNAKAN KONSEP PUMP STORAGE BERBASIS ARDUINO UNO

Faiz Adriansyah Nanroe¹, Ni Putu Agustini², Widodo Pudji Muljanto³

Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang, Indonesia

¹faisn2002@gmail.com, ²ni_putu_agustini@lecturer.itn.ac.id, ³widodo_pm@lecturer.itn.ac.id

Abstrak— Penelitian ini menganalisis kelayakan finansial pada perancangan sistem kendali Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid dengan konsep pump storage berbasis Arduino Uno. Sistem ini dirancang sebagai alternatif solusi energi terbarukan untuk daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik PLN. Konsep pump storage memanfaatkan kelebihan energi surya pada siang hari untuk memompa air ke tandon atas, kemudian menggunakan energi potensial air tersebut untuk menghasilkan listrik melalui turbin pikohidro pada malam hari atau saat cuaca mendung. Sistem kendali berbasis Arduino Uno digunakan untuk mengoptimalkan pengoperasian pump storage secara otomatis. Analisis kelayakan finansial dilakukan menggunakan empat parameter utama yaitu Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit Cost Ratio (BCR), dan Payback Period (PP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dengan investasi awal sebesar Rp 8.470.400 dan kapasitas 500 Watt menghasilkan energi 4 kWh per hari. Analisis finansial menunjukkan NPV sebesar Rp 8.595.728,53 (positif), IRR sebesar 15,5% (melebihi tingkat bunga 6%), BCR sebesar 1,48 (lebih dari 1), dan PP selama 8,01 tahun (kurang dari umur investasi 25 tahun). Seluruh parameter menunjukkan bahwa perancangan sistem kendali PLTS Off-Grid dengan konsep pump storage berbasis Arduino Uno layak secara finansial untuk diimplementasikan sebagai solusi energi alternatif di daerah terpencil.

Kata Kunci: Analisis Finansial, NPV, IRR, BCR, PP

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perubahan iklim global dan meningkatnya kebutuhan energi mendorong pengembangan sumber energi terbarukan sebagai alternatif energi fosil. Di Indonesia, pengembangan energi terbarukan menjadi prioritas nasional dengan target 23% pada tahun 2025. Indonesia, yang terletak di garis khatulistiwa, memiliki potensi besar dalam energi panas matahari dengan radiasi surya rata-rata 4,8 kWh/m²/hari. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan solusi tepat untuk menggantikan energi fosil, dan sistem PLTS Off-Grid sangat efektif untuk kawasan terpencil yang tidak

terjangkau jaringan listrik utama. Namun, sistem ini menghadapi tantangan ketidakstabilan energi yang bergantung pada intensitas cahaya matahari dan kapasitas baterai, terutama saat malam atau cuaca mendung[1],[2].

Salah satu solusi untuk meningkatkan stabilitas sistem PLTS Off-Grid adalah dengan konsep pump storage, yang memanfaatkan kelebihan energi surya pada siang hari untuk memompa air ke tandon atas, kemudian menggunakan energi potensial air untuk menghasilkan listrik melalui turbin. Untuk mengoptimalkan sistem ini, dibutuhkan sistem kendali yang handal dan otomatis. Arduino Uno, yang merupakan mikrokontroler open-source, dipilih karena kemudahan penggunaan, biaya terjangkau, dan fleksibilitasnya. Sistem kendali ini berperan penting untuk mengatur pengoperasian pump storage serta memonitor parameter sistem[3],[4].

Perancangan sistem kendali PLTS Off-Grid dengan konsep pump storage berbasis Arduino Uno melibatkan kajian kelayakan teknis dan finansial, yang mencakup pemeliharaan, produksi listrik, investasi, biaya operasional, dan manfaat. Beberapa metode analisis yang digunakan antara lain Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit Cost Ratio (BCR), dan Payback Period (PP), yang berguna untuk mengevaluasi dan memvalidasi kelayakan finansial serta menentukan jangka waktu untuk menutupi investasi awal[5],[6].

B. Rumusan Masalah

Bedasarkan dari fokus penelitian tersebut diperoleh beberapa rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana tingkat kelayakan finansial pada perancangan sistem kendali PLTS Off-Grid dengan konsep pump storage berbasis Arduino Uno ditinjau dari parameter Net Present Value (NPV), Internal Rate Return (IRR), Benefit Cost Ratio (BCR) dan Payback Periode (PP) ?

2. Seberapa efektif penggunaan PLTS *off-grid* menggunakan pump storage sebagai penyimpanan energi ?

C. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini untuk memberikan hasil analisis kelayakan finansial sebagai berikut.

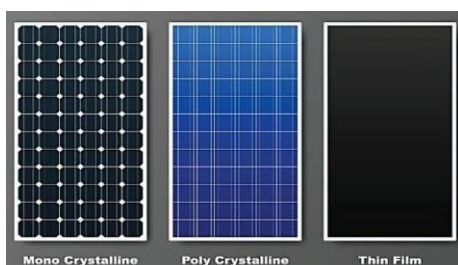
1. Menganalisis kelayakan finansial dari perancangan sistem kendali PLTS Off-Grid dengan konsep pump storage berbasis Arduino Uno. Serta mengevaluasi kelayakan investasi melalui perhitungan parameter-parameter finansial yang meliputi Net Present Value (NPV), Internal Rate Return (IRR), Benefit Cost Ratio (BCR), dan Payback Period (PP).
2. Menentukan efisiensi ekonomis dari penggunaan sistem kendali berbasis Arduino Uno pada implementasi PLTS Off-Grid dengan konsep pump storage.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya Non-Baterai

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid non-baterai merupakan sistem yang dirancang untuk beroperasi tanpa terhubung ke jaringan listrik utama dan tanpa menggunakan baterai sebagai media untuk menyimpan energi. Perkembangan PLTS Off-Grid non-baterai sebagai solusi untuk mengatasi keterbatasan pada baterai seperti biaya tinggi, masa pakai terbatas dan masalah lingkungan terkait limbah baterai. Sistem PLTS Off-Grid non-baterai telah melakukan peningkatan dari analisis kelayakan finansial dengan payback lebih singkat dibandingkan sistem konvensional berbasis baterai. PLTS memiliki beberapa jenis panel surya sebagai berikut.

1. Panel Surya Monokristal (*Monocrystalline*)
2. Panel Surya Polikristal (*Polycrystalline*)
3. Panel Surya Lapisan Tipis (*Thin film*)



Gambar 1 Jenis Panel Surya

Pada Gambar 1 merupakan dari jenis jenis panel, setiap Panel surya memiliki masa umur pakai panjang sekitar 25 hingga 30 tahun yang signifikan untuk produksi energi serta memperoleh keuntungan dari investasi yang dilakukan. Performa sistem PLTS dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti efisiensi modul, suhu, bayangan, debu, dll.[7]

B. Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan instalasi pembangkit yang memanfaatkan energi potensial

dan kinetik air untuk menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja PLTA adalah konversi energi potensial air menjadi energi mekanik melalui turbin, yang kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Berdasarkan studi terkini, PLTA menyumbang sekitar 16% dari produksi listrik global dan menjadi sumber energi terbarukan terbesar. PLTA memiliki keunggulan yang terletak pada sifat ramah lingkungan dan emisi karbon yang minimal, efisiensi konversi energi yang tinggi mencapai kisaran 80-95%, dan masa operasional yang panjang hingga 100 tahun. Terdapat klasifikasi PLTA berdasarkan kapasitas pembangkitannya, klasifikasi ini mencakup sebagai berikut.[8]

1. Pico Hydro (Kapasitas pembangkit < 5kW)
2. Micro Hydro (Kapasitas pembangkit 5kW – 100kW)
3. Mini Hydro (Kapasitas pembangkit 100kW – 1MW)
4. Small Hydro PLTM (Kapasitas pembangkit 1MW – 10MW)
5. Medium Hydro (Kapasitas pembangkit 10MW – 100MW)
6. Large Hydro (Kapasitas pembangkit > 100MW)

C. Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro

Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPh) merupakan pembangkit listrik skala kecil dengan kapasitas kurang dari 5 kW dengan memanfaatkan potensi dari aliran air sebagai penggerak. PLTPh menjadi solusi alternatif yang efektif untuk daerah terpencil yang jauh atau belum terjangkau dari jaringan listrik.[9] Terdapat komponen yang digunakan untuk penggerak PLTPh yaitu:

1. Turbin Air

Turbin merupakan komponen mekanis yang berfungsi mengubah energi potensial kinetik air menjadi energi mekanis berupa putaran poros yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik melalui generator. Dalam perkembangannya turbin air tidak hanya digunakan dalam penggunaan pembangkit listrik skala besar tetapi juga dapat digunakan untuk skala mikro dan piko yang cocok digunakan di daerah terpencil dengan akses jaringan listrik terbatas.

Pada gambar 2 merupakan komponen alat yang digunakan sebagai pelengkap dalam proses perancangan dari sistem kendali pembangkit pikohidro.

2. Pompa Air



Gambar 2 Turbin

Pompa air merupakan alat mekanik yang digunakan untuk memindahkan air dari tempat rendah ke tempat tinggi atau sebaliknya, dengan didasarkan pada prinsip penghisapan dan tekanan sehingga memungkinkan pipa dapat memungkinkan air terangkat ataupun terdorong melalui pipa, selain itu pompa dapat meningkatkan laju aliran air dalam suatu sistem dari pipa.



Gambar 3 Pompa Air

Pada gambar 3 merupakan komponen alat yang digunakan sebagai pelengkap dalam proses perancangan dari sistem kendali pembangkit pikohidro.

3. Generator AC

Generator merupakan komponen yang dapat mengubah tenaga mekanik menjadi energi listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik. Energi yang dihasilkan oleh generator AC berupa listrik AC (listrik bolak balik).



Gambar 4 Generator AC

Pada gambar 4 merupakan komponen alat yang digunakan sebagai pelengkap dalam proses perancangan dari sistem kendali pembangkit pikohidro.

4. Pipa

Pipa merupakan suatu tabung yang digunakan untuk mengalirkan gas ataupun cairan dari satu tempat ke tempat lainnya. Terdapat beberapa variasi digunakan pipa seperti logam, plastik atau material lainnya dengan kebutuhan pengaplikasiannya. Pada penelitian milik Prasetyo dan Hidayat mengidentifikasi penggunaan pipa yang tepat tidak hanya meningkatkan output listrik, tetapi juga memperpanjang umur dari operasional pikohidro secara keseluruhan

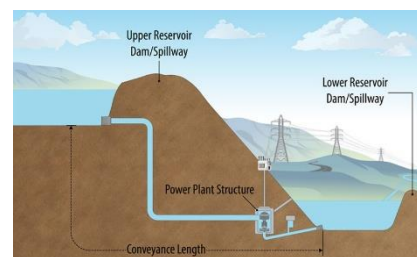


Gambar 5 Pipa

Pada gambar 5 merupakan komponen alat yang digunakan sebagai pelengkap dalam proses perancangan dari sistem kendali pembangkit pikohidro.

D. Pump Storage

Pump storage merupakan teknologi penyimpanan energi yang mengonversi energi listrik menjadi energi potensial dengan memompa air dari tandon bawah ke tandon atas pada saat beban rendah dan melepaskannya kembali untuk menghasilkan listrik saat beban puncak. Sistem pump storage memerlukan pertimbangan teknis yang spesifik dalam pemilihan komponen yang tepat seperti pompa sampai turbin.[10]



Gambar 6 Konsep Pump Storage

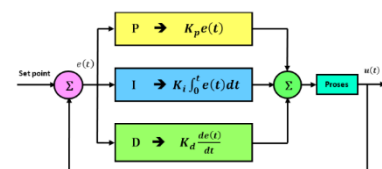
Gambar 6 merupakan gambaran dari konsep *pump storage* yang akan digunakan untuk perancangan.

E. Tandon Air

Tandon air merupakan komponen paling penting dalam sistem pump storage dan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTP), tandon air berfungsi sebagai untuk menyimpan energi dalam bentuk masa air pada ketinggian tertentu, yang dapat dikonversi menjadi energi kinetik dan listrik. Serta pengalokasian pada dimensi dan konfigurasi tandon air perlu dirancang secara optimal untuk memaksimalkan kapasitas penyimpanan energi serta meminimalkan kehilangan air akibat penguapan dan rembesan dari tandon.[11]

F. Kontrol PID

Kontrol Propotional Integral Derivative (PID) merupakan metode kontrol yang paling banyak diimplementasikan dalam sistem otomasi industri karena kesederhanaan serta memberikan perfoma yang handal. Sistem kontrol PID berbasis fuzzy logic yang mampu menyesuaikan parameter K_p , K_i , dan K_d secara kondisi operasi sistem.[12]



Gambar 7 Kontrol sistem PID

Gambar 7 merupakan kontrol PID yang digunakan untuk pengendalian pada suatu sistem dari otomasi mikrokontroler.

G. Governor

Governor merupakan sistem kontrol otomatis yang berfungsi untuk mengatur dan mempertahankan kecepatan putaran motor atau mesin pada nilai yang diinginkan. Sistem governor dapat diimplementasikan menggunakan teknologi mikrokontroler untuk memberikan kontrol yang lebih presisi dan responsif. Terdapat komponen mikrokontroler yang digunakan sebagai pembantu antaralain sebagai berikut[13].

1. Arduino Uno R3

Arduino Uno merupakan mikrokontroler dalam bentuk open-source yang banyak digunakan dalam beberapa aplikasi elektronik dalam pengembangan sistem otomatis. Keunggulan arduino terletak pada kesederhanaan dan fleksibilitas. Arduino uno banyak diimplementasikan dalam berbagai aplikasi seperti Internet Of Things (IoT), smart home, sistem monitoring dan pendidikan.



Gambar 8 Arduino Uno

Gambar 8 merupakan komponen atau inti otak yang sering digunakan setiap alat untuk melakukan suatu perintah otomatis .

2. Sensor RPM (LM393)

Sensor RPM merupakan komponen elektronik berupa komparator ganda yang digunakan dalam pengaplikasian deteksi dan pengukuran. Sensor LM393 memiliki keunggulan dalam hal sensitivitas tinggi, konsumsi daya rendah dan stabilitas yang baik. Kemampuan adaptasi pada sensor LM393 terhadap berbagai pengaplikasian menjdikan komponen penting dalam pengembangan sistem instrumentasi dan pengukuran modern karena kestabilan kinerja dan juga harga yang terjangkau serta kemudahan dalam pengimplementasi.



Gambar 9 Sensor RPM (IR LM393)

Gambar 9 merupakan sensor RPM yang digunakan untuk mengatur suatu kecepatan pada suatu sistem *governor*.

3. Servo MG995

Servo MG995 adalah sebuah motor servo yang banyak diaplikasikan dalam berbagai proyek robotika dan otomasi karena kekuatannya, akurasi serta keandalan penggunaannya. Servo memiliki rentang rotasi hingga 180 derajat dimana sering digunakan dalam pengaplikasian yang membutuhkan kendali sudut yang presisi atau gerakan dengan kekuatan tinggi seperti robot, remot kontrol, kendali otomatis, dll.



Gambar 10 Servo

Gambar 10 merupakan komponen sebagai pengatur gerakan hingga 180 derajat yang presisi untuk mengatur pada sistem *governor*.

4. Modul I2C

Modul I2C (Inter Integrated Circuit) atau disebut modul LCD (Liquid Crystal Display) 12x2 merupakan komponen komunikasi dua arah menggunakan dua saluran yang didesain khusus untuk mengirim maupun menerima data, sehingga menjadi komponen penting dalam sistem elektronika khususnya dalam pengaplikasian mikrokontroler untuk menampilkan informasi dalam bentuk karakter, sehingga penggunaan modul I2C meningkatkan keandalan dalam komunikasi data sehingga tingkat error menunjukkan lebih rendah.



Gambar 11 LCD 16x2

Gambar 11 merupakan komponen LCD sebagai indikator dari semua komponen yang akan digunakan pada sistem *governor*.

H. Analisis Kelayakan Finansial

Pada analisis kelayakan finansial menjelaskan tentang studi yang dilakukan untuk menilai suatu proyek dan investasi layak untuk dijalankan berdasarkan aspek finansial atau tidak layak. Tujuan utama dari analisis kelayakan finansial adalah untuk memastikan bahwa proyek tersebut dapat memberikan keuntungan secara finansial, memiliki tingkat pengembalian yang memadai, serta mampu menutupi biaya investasi dan operasional dalam jangka waktu tertentu.[14] Terdapat beberapa parameter digunakan dalam analisis kelayakan finansial dalam suatu proyek perancangan diantaranya yaitu:

1. Net Present Value (NPV)

Merupakan metode untuk menghitung selisih antara nilai kas sekarang positif (Cash In) terhadap nilai kas keluar bersifat negatif (Cash Out). Dalam konteks awal perancangan dari kelayakan finansial PLTS Off-Grid menggunakan pump storage berbasis Arduino Uno NPV menjadi salah satu indikator untuk menilai dari investasi perencanaan dari perancangan. Perhitungan NPV secara matematis dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut:

$$NPV = \frac{C_t}{(1+r)^1} + \frac{C_t}{(1+r)^2} + \dots + \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (1)$$

Keterangan

NPV : Net Present Value

C_t : Arus Kas pada tahun ke -t

C_0 : Pengeluaran Awal

r : Modal biaya atau tingkatan dari bunga

Dalam pengambilan keputusan investasi investasi terdapat beberapa kemungkinan hasil NPV

- NPV > 0 (Positif)
dimana pada perancangan ini dinyatakan layak secara finansial serta investasi pada perancangan ini berdampak memberikan keuntungan.
- NPV = 0
Pada perancangan ini berada pada titik impas dengan investasi nilai penerimaan dengan nilai sekarang pengeluaran.
- NPV < 0 (Negatif)
perancangan ini tidak dinyatakan layak secara finansial serta investasi pada perancangan akan rugi dikarenakan nilai penerimaan lebih kecil dari pada nilai pengeluaran

Terdapat segi keuntungan dan kekurangan dari penggunaan NPV ini secara keuntungan NPV mempertimbangkan perubahan antara nilai uang dengan waktu seta memberikan hasil yang realistis, memperhitungkan seluruh nilai anggaran perancangan dan mencakup keseluruhan untuk umur dari investasi finansial, menggunakan data secara kuantitatif yang terukur sehingga dapat mengurangi dalam segisubjektifitas dalam pengambilan keputusan. Untuk dari segi kekurangan dai penggunaan NPV terdapat kesulitan dalam menentukan diskont yang tepat sehingga dapat mengurangi hasil secara signifikan, membutuhkan anggaran perencanaan yang tidak sedikit dan tidak kepastian dalam jika panjang, perhitungan yang rumit dai pada metode lainnya sehingga dibutuhkan untuk pemahaman metode finansial yang lebih baik.[15]

2. Internal Rate Retrun (IRR)

Merupakan metode untuk menghitung tingkat dari pengembalian yang menyamakan nilai sekarang

atas investasi dilakukan atau dihitung dengan mencari tingkat diskonto yang membuat NPV dari semua arus nilai kas mendekati nol. IRR digunakan menilai potensial dari investasi dengan membandingkan tingkat bunga yang disyaratkan. Perhitungan IRR secara matematis dapat dihitung dengan Rumus sebagai berikut:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1) \quad (2)$$

Keterangan

IRR : Internal Rate Return

I_1 : Diskonto menghasilkan NPV positif (+)

I_2 : Diskonto Menghasilkan NPV negatif (-)

NPV_1 : Net Present Value Positif

NPV_2 : Net Present Value Negatif

Dalam pengambilan keputusan investasi terdapat beberapa kemungkinann hasil dari IRR sebagai berikut.

- IRR > i atau MARR (*Minimum Attaractice Rate Of Return*)
pengerjaan perancangan dianggap layak secara finansial dengan tingkat pengembalian melebihi dari ekspektasi minimal.
- IRR = i
Perancangan berada di titik impas diperlukan peritimbangan faktor non-finansial dengan mengevaluasi lebih lanjut
- IRR < i
Perancangan tidak layak secara finansial dikarenakan tingkat pengembalian dibawah ekspektasi minimal sehingga untuk penginvestasian pada perancangan ini tidak disarankan.

Terdapat segi keuntungan dan kerugian penggunaan dari IRR, dari segi keuntungan sendiri IRR dapat mempertimbangkan waktu, anggaran sehingga dapat mengevaluasi kelayakan investasi dalam jika panjang yang diperlukan untuk teknologi ini dan juga bisa digunakan sebagai indikaror risiko investasi yang dimana semakin tinggi dari Internal Rate Return maka resiko akan merendah pada perancangan tersebut. Untuk dari segi kekurangan IRR terdapat pada tidaknya pertimbangan dari faktor durasi pengerjaan perancangan dan biaya masa depan, IRR sendiri hanya membandingkan arus kas perancangan dengan biaya perancangan.[16]

3. Benefit Cost Ratio (BCR)

Salah satu metode analisis kelayakan finansial yang digunakan untuk mengevaluasi perancangan dengan cara membandingkan nilai kas sekarang (Benefit) dengan nilai total biaya pada suatu perancangan (Cost). BCR memberikan beberapa indikasi seberapa besar manfaat yang diperoleh dari setiap anggaran yang akan diinvestasikan dalam

perancangan. Perhitungan BCR secara matematis dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$BCR = \frac{PV(\text{Benefit})}{PV(\text{Cost})} \quad (3)$$

Keterangan

BCR : Benefit Cost Ratio

Pv Benefit : Nilai Untung saat ini

Pv Cost : Nilai anggaran saat ini

Apabila nilai $BCR > 1$ maka sebuah proyek dapat dikatakan layak, namun apabila nilai $BCR < 1$ maka proyek dapat dikatakan tidak layak. Terdapat segi keuntungan dan kerugian dalam penggunaan BCR, secara keuntungan BCR memberikan indikasi jelas mengenai perancangan dengan mempermudah perbandingan antar alternatif investasi, hasil dari BCR mudah dipahami dengan kriteria kelayakan berdasarkan angka yang jelas, mempertimbangkan perhitungan waktu dari anggaran melalui diskonto dan memberikan analisis yang lebih realistis. Untuk dari segi kekurangan dari BCR terutama bergantung pada anggaran perencanaan sehingga ketika ada kesalahan dapat mempengaruhi dari hasil, penentuan dari diskonto memerlukan analisis yang mendalam sehingga dapat mengubah hasil BCR yang lebih baik.[17]

4. Payback Periode (PP)

Merupakan metode penilaian kelayakan finansial yang paling sederhana dan umum digunakan. Payback Periode (PP) mendefinisikan untuk mengembalikan investasi awal dengan jarak panjang. Perhitungan NPV secara matematis dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut.

$$PP = t + \frac{b-c}{d-c} \quad (4)$$

Keterangan

PP : Payback Periode

t : Tahun Cash in belum menutupi investasi

b : Nilai investasi

c : Kumulatif Cash in pada tahun ke- t

d : Jumlah kumulatif nanti pada tahun akan ditambah t+1

Terdapat beberapa kemungkinan dalam pengambilan keputusan investasi Payback Periode sebagai berikut.

- $PP < \text{Umur Investasi}$

Perancangan dapat dilakukan karena dinyatakan layak finansial.

- $PP > \text{Umur Investasi}$

Nilai pada investasi diturunkan sehingga akan muncul pilihan perhitungan ulang untuk menghitung total cost dan perancangan tidak layak secara finansial.

Terdapat segi keuntungan dan kerugian dalam penggunaan pada Payback Periode secara

keuntungan PP memiliki kelebihan sederhana dan mudah dipahami dengan memberikan informasi berapalama waktu yang dibutuhkan dan dapat digunakan untuk membandingkan beberapa alternatif investasi. Untuk segi kerugian atau kekurangan penggunaan PP tidak mempertimbangkan nilai waktu dalam aspek anggaran serta mengabaikan aliran kas anggaran setelah Payback Periode tercapai dengan tidak mempertimbangkan profitabilitas perencanaan secara keseluruhan.[18]

Untuk memenuhi dari Payback Periode terdapat beberapa tahapan agar memenuhi dengan syarat dalam melakukan penganalisis kelayakan finansial dengan umur dari investasi tersebut diantaranya terdapat sebagai berikut.[19]

- Rancangan anggaran yang didalamnya terdapat perkiraan dari semua biaya yang dikeluarkan pada suatu perancangan mencakup dari investasi awal hingga ke biaya pendapatan.

- Net Cash Flow yang dimana jumlah uang bersih atau uang sisa dari pengeluaran awal dengan pengeluaran akhir. Dengan rumus :

$$NCF = TCI - TCO \quad (5)$$

Dimana

NCF : Net Cash Flow

TCI : Total Cash In

TCO : Total Cash Out

Total Cash Flow = Total Cash Keluar

Total Cash Inflow = Total Cash Masuk

- Persent Value yaitu merupakan melihat potensi dalam keuangan akan tumbuh melalui investasi. Present Value dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Present Value} = \frac{\text{Future Value}}{(1+r)^t} \quad (6)$$

Dimana

Future Value : Nilai masa depan

r : Suku Bunga (%)

t : Jumlah periode sampai kas arus diterima

- Present Value Benefit merupakan nilai sekarang dari seluruh manfaat atau pendapatan yang diharapkan pada suatu proyek atau perancangan selama umur ekonomisnya yang telah didiskonto menggunakan tingkat suku bunga tertentu untuk menghitung rasio manfaat-biaya (BCR) yang menentukan kelayakan finansial proyek. Present Value Benefit dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$\text{Present Value Benefit} = \frac{\text{Benefit}}{(1+r)^n} \quad (7)$$

Dimana

Benefit :Nilai manfaat atau keuntungan yang dihasilkan oleh proyek tersebut

r : Suku bunga (%)

n : Jumlah periode tahun

- e. Present Value Cost untuk mengetahui cost dari pengeluaran yang diperoleh dari pengerjaan suatu perancangan. Perhitungan ini dapat diketahui dengan rumus:

$$\text{Present Value Cost} = \frac{\text{Cost}}{(1+r)^n} \quad (8)$$

Dimana

Cost : Nilai biaya yang harus dikeluarkan untuk proyek pada periode tertentu

r : Suku Bunga (%)

n : Jumlah periode

- f. Arus kas kumulatif merupakan jumlah total pada uang yang masuk dan juga keluar pada perancangan tersebut dari awal sampai akhir yang memberikan sebuah gambaran pada perancangan tersebut. Terdapat rumus arus kumulatif sebagai berikut.

$$\text{AKK} = \text{PV} + \text{AKK}_{-t} \quad (9)$$

Dimana

AKK : Arus Kas Kumulatif

PV : Present Value

AKK_{-t} : Arus Kas Kumulatif tahun sebelumnya

- g. Biaya Pendapatan dalam analisa ini menggunakan harga jual listrik dari pendapatan tiap tahunnya. Terdapat rumus untuk menghitung pendapatan sebagai berikut.

$$\text{Total pendapatan perhari} = \text{total energi} \times \text{harga jual perKWH} \quad (10)$$

$$\text{Total pendapatan perbulan} = \text{total pendapatan perhari} \times 30 \text{ hari} \quad (11)$$

$$\text{Total pendapatan pertahun} = \text{total pendapatan perbulan} \times 12 \text{ bulan} \quad (12)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

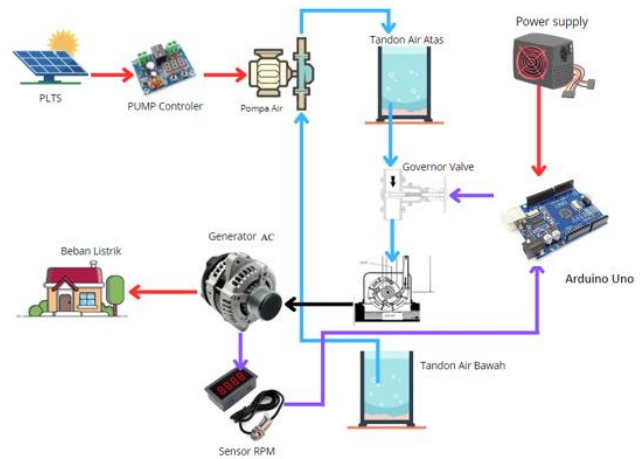
A. Alur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimen untuk melihat apakah sistem PLTS *Off-Grid* dengan menggunakan konsep pump storage berbasis arduino uno dengan mencakup Simulasi sistem, Analisis finansial, Analisis sensitivitas yang dilakukan di Gedung Laboratorium Elektro Institut Teknologi Nasional Malang dengan waktu dilaksanakan selama 6 bulan, terhitung dari Agustus 2024 – Januari 2025.

B. Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem yang menggambarkan alur kerja dari proses skema rancang alat sistem kendali PLTS *Off-Grid*

dengan konsep pump storage yang mengintegrasikan pembangkit listrik tenaga surya dengan sistem penyimpanan energi berbasis air. Sistem ini dirancang untuk menyediakan pasokan listrik yang kontinyu dengan memanfaatkan energi matahari pada siang hari dan energi potensial air pada malam hari atau saat cuaca mendung.yang melibatkan berbagai tahapan sebagai berikut.



Gambar 12 Skema rancang alat sistem kendali PLTS *Off-Grid* non baterai

Komponen dan Fungsi Sistem

1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) non baterai

Panel surya berfungsi sebagai sumber energi primer yang mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik DC. Energi yang dihasilkan digunakan untuk mengoperasikan pompa air dan memenuhi kebutuhan beban listrik secara langsung pada siang hari.

2. Pump Controller

Kontroler pompa berbasis mikrokontroler yang mengatur pengoperasian pompa air secara otomatis. Komponen ini memonitor kondisi sistem dan mengontrol kapan pompa harus beroperasi untuk memompa air ke tandon atas berdasarkan ketersediaan energi surya dan level air dalam tandon.

3. Pompa Air

Pompa air berfungsi untuk memindahkan air dari tandon bawah ke tandon atas menggunakan energi listrik dari panel surya. Proses pemompaan ini dilakukan ketika terdapat kelebihan energi surya, sehingga energi tersebut disimpan dalam bentuk energi potensial air.

4. Tandon Air Atas

Tandon air yang diposisikan pada ketinggian tertentu untuk menyimpan air yang telah dipompa. Air yang tersimpan memiliki energi potensial yang siap dikonversi menjadi energi kinetik ketika dialirkan melalui turbin generator.

5. Governor Valve

Katup pengatur yang dikontrol secara otomatis untuk mengatur aliran air dari tandon atas ke turbin generator. Governor valve berfungsi mengontrol laju

aliran air sesuai dengan kebutuhan beban listrik, sehingga putaran generator dapat dipertahankan pada kecepatan optimal.

6. Turbin Generator

Turbin air yang dikopel dengan generator berfungsi sebagai penghasil listrik untuk supply ke beban listrik. Sistem ini beroperasi ketika panel surya tidak dapat memenuhi kebutuhan beban, seperti pada malam hari atau saat cuaca mendung.

7. Sensor RPM

Sensor yang memonitor kecepatan putaran (RPM) generator untuk memberikan feedback kepada sistem kontrol. Data RPM digunakan untuk mengoptimalkan pengoperasian governor valve agar generator beroperasi pada efisiensi maksimal.

8. Power Supply

Unit catu daya yang menyediakan tegangan kerja yang stabil untuk sistem kontrol elektronik, termasuk PLC dan sensor-sensor yang digunakan dalam sistem.

9. Arduino Uno

Mikrokontroler berbasis open-source yang berfungsi sebagai otak sistem kendali otomatis. Arduino Uno mengintegrasikan semua input dari sensor dan mengontrol output berupa governor valve, pompa air, dan komponen lainnya berdasarkan algoritma kontrol yang telah diprogram dengan biaya yang terjangkau dan fleksibilitas tinggi.

10. Tandon Air Bawah

Tandon penampung air yang telah melewati turbin generator. Air dari tandon bawah akan dipompa kembali ke tandon atas ketika terdapat kelebihan energi surya, sehingga terbentuk siklus tertutup dalam sistem pump storage.

C. Rancangan Anggaran Biaya

Rancangan Anggaran Biaya (RAB) merupakan daftar anggaran yang mencakup beberapa komponen biaya investasi awal, biaya operasional dan pemeliharaan. Dimana pada perancangan pembangkit listrik berlangsung selama 25 tahun.

D. Biaya Investasi

Biaya investasi merupakan seluruh biaya yang dikeluarkan di awal proyek untuk pengadaan aset dan fasilitas yang diperlukan untuk membangun sistem pembangkit listrik. Biaya meliputi dari komponen yang digunakan hingga pengadaan jasa dan biaya operasional dan pemeliharaan.

1. Investasi Awal

Total dari seluruh biaya investasi awal dalam pembangunan perancangan PLTS *Off-Grid* dengan menggunakan konsep pump storage berbasis arduino uno dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1 Total Biaya Investasi Awal

Total Biaya Investasi Awal		
No	Pekerjaan	Total Biaya
1	Pekerjaan Piko hidro	Rp 5.198.500,00
2	Pekerjaan PLTS	Rp 2.322.900,00
3	Pekerjaan Governor	Rp 199.000,00
4	Pekerjaan Umum	Rp 750.000,00
	Total	Rp 8.470.400,00

Pada tabel 1 merupakan total dari investasi awal terdapat beberapa pekerjaan mulai dari pekerjaan pembangunan Piko hidro, PLTS, Governor serta pekerjaan umum dengan total akhir Rp. 8.470.400

2. Biaya Operasional dan pemeliharaan

Merupakan biaya yang dikeluarkan untuk melakukan pemeliharaan, perbaikan dan perawatan komponen yang digunakan pada perancangan PLTS *Off-Grid* dengan menggunakan konsep pump storage berbasis arduino uno selama 25 tahun sesuai umur perancangan. Terdapat biaya operasional dan maintenance setiap tahun dan 3 tahun sekali yang memiliki nilai biaya berbeda namun untuk tahun lainnya biaya yang dikeluarkan bernilai sama. perancangan dapat dilihat tabel berikut

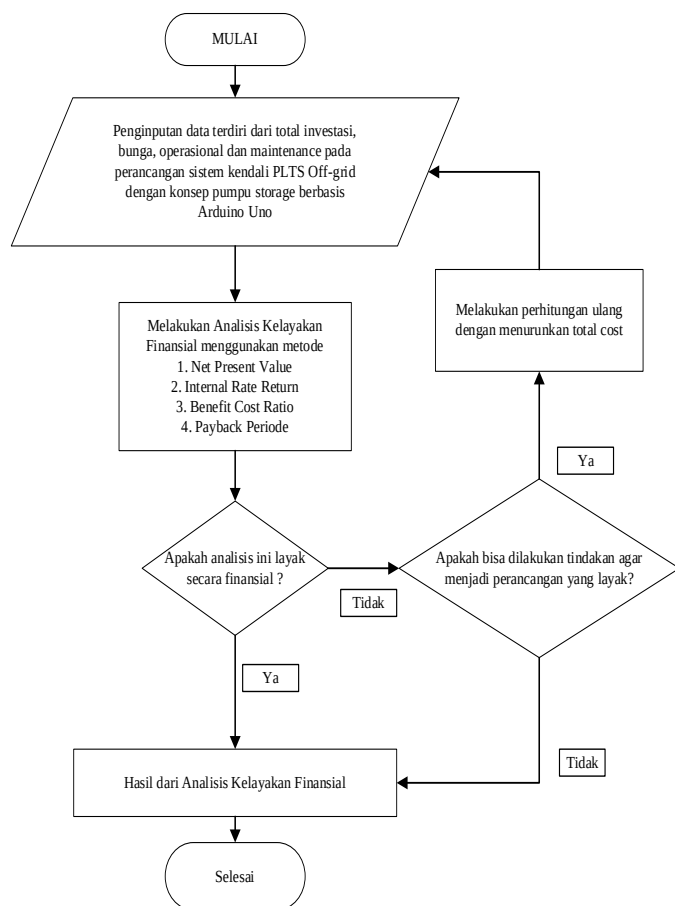
Tabel 2 Biaya Operasional dan Maintenance

Total Biaya Operasional Dan Maintenance		
1	Setiap Tahun	Rp 600.400,00
2	Setiap 3 Tahun	Rp 1.070.400,00

Pada Tabel 2 merupakan total biaya operasional dan maintenance terdapat 2 biaya yaitu setiap tahun sebanyak Rp. 600.400 dan setiap 3 tahun sebanyak Rp. 1.070.400

E. Flowchart Penelitian

Flowchart penelitian Analisis Kelayakan Finansial pada desain sistem kendali PLTS *Off-Grid* dengan menggunakan konsep pump storage berbasis arduino uno sebagai berikut.



Gambar 13. Flowchart Perancangan

Gambar 23 merupakan dari flowchart perancangan dimana proses dimulai dengan penginputan data yang mencakup total investasi, suku bunga, biaya operasional, dan pemeliharaan sistem kendali PLTS Off-grid dengan konsep pump storage berbasis Arduino Uno. Setelah data terkumpul, dilakukan analisis kelayakan finansial menggunakan empat metode utama yaitu Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit Cost Ratio (BCR), dan Payback Period (PP). Hasil analisis ini dievaluasi untuk menentukan apakah sistem layak secara finansial. Jika hasilnya menunjukkan kelayakan, maka hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar keputusan akhir. Namun, jika tidak layak, dilakukan evaluasi lanjutan untuk menilai apakah masih memungkinkan tindakan perbaikan, misalnya dengan menurunkan total biaya. Jika memungkinkan, perhitungan ulang dilakukan, dan proses analisis diulangi. Jika tidak memungkinkan perbaikan, maka proyek dinyatakan tidak layak dan proses dihentikan. Alur ini bertujuan untuk memastikan bahwa perancangan sistem hanya dilanjutkan apabila layak secara finansial.

IV. HASIL DAN ANALISA

1. Energi Dihasilkan Dari Perancangan

Dengan asumsi generator beroperasi pada kapasitas penuh

Daya generator : 500 Watt

Waktu operasi : 10 Jam

Energi dihasilkan : $500 \text{ W} \times 10 \text{ jam} = 5000 \text{ Wh}$ atau 5 kWh/hari

Aviability Factor : 80%

Total energi yang dihasilkan perhari dengan adanya Avability Factory yaitu $5000 \text{ Wh} \times 80\% = 4.000 \text{ Wh/hari}$

2. Total Biaya Pendapatan dari Perancangan

Total pendapatan perhari : $\text{Total Energi} \times \text{Jual per kWh}$

: $4 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1.444,70/\text{kWh}$

: $\text{Rp. } 5.778,8/\text{hari}$

Total pendapatan perbulan : $\text{Total Pendapatan perhari} \times 30 \text{ hari}$

: $\text{Rp. } 5.778,8/\text{hari} \times 30 \text{ hari}$

: $\text{Rp. } 173.368/\text{bulan}$

Total pendapatan pertahun : $\text{Total pendapatan perbulan} \times 12 \text{ bulan}$

: $\text{Rp. } 173.368/\text{bulan} \times 12 \text{ bulan}$

: $\text{Rp. } 2.080.368/\text{tahun}$

3. Rancangan Anggaran Biaya selama 25 Tahun

Penyusunan RAB (Rancangan Anggaran Biaya) selama 25 tahun sebagai umur dari proyek yang mencakup seluruh komponen pengeluaran dimulai dari estimasi biaya meliputi investasi awal untuk pengadaan peralatan hingga biaya operasional rutin, seperti pemeliharaan berkala dan penggantian komponen. Kedua hal tersebut digunakan untuk mempermudah perhitungan analisis kelayakan finansial maka diperlukan Net Cash Flow atau arus kas bersih setiap tahun dimulai dari tahun 0 hingga tahun ke 25 dengan menggunakan biaya investasi awal sejumlah $\text{Rp. } 8.470.400$

Tabel 3 RAB Selama 25 Tahun

Tahun	Total Cost	Pemasukan	Net Cash Flow
0	Rp 8.470.400,00		-Rp 8.470.400,00
1	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
2	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
3	Rp 1.070.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.009.968,00
4	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
5	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
6	Rp 1.070.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.009.968,00
7	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
8	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
9	Rp 1.070.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.009.968,00
10	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
11	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
12	Rp 1.070.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.009.968,00
13	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
14	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
15	Rp 1.070.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.009.968,00
16	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
17	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
18	Rp 1.070.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.009.968,00
19	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
20	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
21	Rp 1.070.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.009.968,00
22	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
23	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00
24	Rp 1.070.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.009.968,00
25	Rp 600.400,00	Rp 2.080.368,00	Rp 1.479.968,00

4. Perhitungan NPV (Net Present Value)

Analisa perhitungan Net Present Value berfungsi sebagai pembantu penilaian kesempatan bagi investor dalam mengatur portofolio investasi untuk periode mendatang dengan menentukan nilai kini dari aliran kas dengan menerapkan asumsi tingkat diskonto tertentu. Didapatkan suatu dinyatakan dapat diterapkan dan berkelanjutan bila nilai NPV menunjukkan angka positif atau melebihi nol karena

menghasilkan manfaat ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan biaya investasi awal. Kalkulasi NPV didasarkan pada RAB (Rancangan Anggaran Biaya) dan tingkat bunga tahunan sebesar 6% sesuai dengan bunga BI (Bank Indonesia). Didalam analisis kelayakan finansial pada perancangan design sistem kendali PLTS Off-Grid dengan menggunakan konsep Pump Storage Berbasis Arduino Uno sesuai dengan rumus sebagai berikut.

$$NPV = \frac{C_t}{(1+r)^1} + \frac{C_t}{(1+r)^2} + \dots + \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0$$

$$: \frac{Rp. 1.479.968}{(1+6\%)^1} + \dots + \frac{Rp. 1.479.968}{(1+6\%)^{25}} - Rp. 8.470.400$$

$$: Rp. 17.066.128,53 - Rp. 8.470.400$$

$$: Rp. 8.595.728,53$$

Berdasarkan dari perhitungan NPV menggunakan konsep rumus Pump Storage berbasis Aduino Uno dapat dilihat perhitungan lebih rinci Net Present Value setiap tahunnya pada tabel perhitungan Net Present Value pada tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4 Perhitungan Net Present Value

Tahun	Net Cash Flow	Diskonto	Present Value
0	-Rp 8.470.400,00		-Rp 8.470.400,00
1	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 1.396.196,23
2	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 1.317.166,25
3	Rp 1.009.968,00	6%	Rp 847.988,61
4	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 1.172.273,27
5	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 1.105.918,18
6	Rp 1.009.968,00	6%	Rp 711.987,59
7	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 984.263,25
8	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 928.550,23
9	Rp 1.009.968,00	6%	Rp 597.798,51
10	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 826.406,40
11	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 779.628,68
12	Rp 1.009.968,00	6%	Rp 501.923,15
13	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 693.866,75
14	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 654.591,27
15	Rp 1.009.968,00	6%	Rp 421.424,36
16	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 582.583,90
17	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 549.607,46
18	Rp 1.009.968,00	6%	Rp 353.836,02
19	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 489.148,68
20	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 461.461,02
21	Rp 1.009.968,00	6%	Rp 297.087,54
22	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 410.698,66
23	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 387.451,57
24	Rp 1.009.968,00	6%	Rp 249.440,43
25	Rp 1.479.968,00	6%	Rp 344.830,52
Net Present Value			Rp 8.595.728,53

Berdasarkan perhitungan tabel diatas didapatkan NPV bersifat positif di mana NPV menghasilkan lebih dari 0 yaitu Rp. 8.595.728,53

5. Perhitungan IRR (Internal Rate Return)

Internal Rate Return merupakan alat bantu investor dalam mengetahui presentase tingkat pengembalian yang diproyeksikan dari suatu investasi. Proyek dinyatakan layak jika nilai IRR melebihi tingkat bunga yang berlaku, di mana besaran IRR berada pada titik NPV mendekati nol. Sebelum melakukan perhitungan IRR langkah awal yang dilakukan

adalah menetapkan nilai diskonto yang menghasilkan NPV bernilai negatif dengan memanfaatkan software Microsoft Excel sebagai alat bantu perhitungan.

Tabel 5 Perhitungan Internal Rate Return

Tahun	Net Cash Flow	Present Value	Present Value
		I ₁ = 6%	I ₂ = 15,5%
0	-Rp 8.470.400,00	-Rp 8.470.400,00	-Rp 8.470.400,00
1	Rp 1.479.968,00	Rp 1.396.196,23	Rp 1.281.357,58
2	Rp 1.479.968,00	Rp 1.317.166,25	Rp 1.109.400,50
3	Rp 1.009.968,00	Rp 847.988,61	Rp 655.483,34
4	Rp 1.479.968,00	Rp 1.172.273,27	Rp 831.618,97
5	Rp 1.479.968,00	Rp 1.105.918,18	Rp 720.016,43
6	Rp 1.009.968,00	Rp 711.987,59	Rp 425.417,85
7	Rp 1.479.968,00	Rp 984.263,25	Rp 539.732,33
8	Rp 1.479.968,00	Rp 928.550,23	Rp 467.300,72
9	Rp 1.009.968,00	Rp 597.798,51	Rp 276.102,13
10	Rp 1.479.968,00	Rp 826.406,40	Rp 350.293,83
11	Rp 1.479.968,00	Rp 779.628,68	Rp 303.284,70
12	Rp 1.009.968,00	Rp 501.923,15	Rp 179.194,14
13	Rp 1.479.968,00	Rp 693.866,75	Rp 227.345,59
14	Rp 1.479.968,00	Rp 654.591,27	Rp 196.836,01
15	Rp 1.009.968,00	Rp 421.424,36	Rp 116.299,50
16	Rp 1.479.968,00	Rp 582.583,90	Rp 147.550,46
17	Rp 1.479.968,00	Rp 549.607,46	Rp 127.749,32
18	Rp 1.009.968,00	Rp 353.836,02	Rp 75.480,00
19	Rp 1.479.968,00	Rp 489.148,68	Rp 95.762,31
20	Rp 1.479.968,00	Rp 461.461,02	Rp 82.911,09
21	Rp 1.009.968,00	Rp 297.087,54	Rp 48.987,58
22	Rp 1.479.968,00	Rp 410.698,66	Rp 62.151,08
23	Rp 1.479.968,00	Rp 387.451,57	Rp 53.810,46
24	Rp 1.009.968,00	Rp 249.440,43	Rp 31.793,62
25	Rp 1.479.968,00	Rp 344.830,52	Rp 40.336,92
Net Present Value		Rp 8.595.728,53	-Rp 24.183,55

Berdasarkan tabel diatas perhitungan Internal Rate Return menunjukkan bahwa diskonto yang dihasilkan NPV negatif 15,5% dengan hasil -Rp. 24.183,55 sesuai dengan rumus IRR maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut.

$$IRR : i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1)$$

$$: 6\% + \frac{Rp. 8.595.728,53}{Rp. 8.595.728,53 - (-Rp. 24.183,55)} (15,5\% - 6\%)$$

$$: 0,155 = 15,5 \%$$

Dari perhitungan menunjukkan hasil IRR pada perancangan design sistem kendali PLTS Off-Grid dengan menggunakan konsep Pump Storage Berbasis Arduino Uno mendapatkan hasil nilai 15.5%.

6. Perhitungan BCR (Benefit Cost Ratio)

Benefit Cost Rasio sebagai evaluasi kelayakan melalui perbandingan antara nilai benefit dan nilai pengeluaran. Apabila BCR > 1 maka dianggap layak untuk direalisasikan sebagai investasi pada perancangan ini diperlukan mencari Present Value Benefit dan Present Value Cost dengan penyelesaian sebagai berikut.

$$\text{Present Value Benefit} : \frac{\text{Benefit}}{(1+r)^n}$$

$$: \frac{Rp. 2.080.368}{(1+6\%)^1} + \frac{Rp. 2.080.368}{(1+6\%)^2} + \dots + \frac{Rp. 2.080.368}{(1+6\%)^{25}}$$

$$: Rp. 1.962.611,32 + Rp. 1.851.520,11 + \dots + Rp. 484.722,89$$

$$: Rp. 26.594.085,08$$

$$\text{Present Value Cost} : \frac{\text{Cost}}{(1+r)^n}$$

$$: \frac{Rp. 8.470.400}{(1+6\%)^0} + \frac{Rp. 600.400}{(1+6\%)^1} + \dots + \frac{Rp. 600.400}{(1+6\%)^{25}}$$

$$: Rp. 8.470.400 + Rp. 566.415,09 + \dots + Rp. 139.892,38$$

$$: Rp. 17.998.356,55$$

Perhitungan Present Value Benefit dan Present Cost setiap tahun hingga tahun ke-25 dapat dilihat pada tabel 4.4 sebagai berikut.

Tabel 6 Perhitungan Benefit Cost Ratio

Tahun	Benefit	Cost
0		Rp 8.470.400,00
1	Rp 1.962.611,32	Rp 566.415,09
2	Rp 1.851.520,11	Rp 534.353,86
3	Rp 1.746.717,09	Rp 898.728,48
4	Rp 1.647.846,31	Rp 475.573,04
5	Rp 1.554.571,99	Rp 448.653,81
6	Rp 1.466.577,35	Rp 754.589,76
7	Rp 1.383.563,54	Rp 399.300,29
8	Rp 1.305.248,62	Rp 376.698,39
9	Rp 1.231.366,62	Rp 633.568,12
10	Rp 1.161.666,63	Rp 335.260,22
11	Rp 1.095.911,91	Rp 316.283,23
12	Rp 1.033.879,16	Rp 531.956,01
13	Rp 975.357,70	Rp 281.490,95
14	Rp 920.148,77	Rp 265.557,50
15	Rp 868.064,88	Rp 446.640,52
16	Rp 818.929,13	Rp 236.345,23
17	Rp 772.574,65	Rp 222.967,20
18	Rp 728.844,01	Rp 375.007,99
19	Rp 687.588,69	Rp 198.440,01
20	Rp 648.668,58	Rp 187.207,56
21	Rp 611.951,49	Rp 314.863,94
22	Rp 577.312,72	Rp 166.614,06
23	Rp 544.634,64	Rp 157.183,08
24	Rp 513.806,27	Rp 264.365,84
25	Rp 484.722,89	Rp 139.892,38
	Rp 26.594.085,08	Rp 17.998.356,55

Berdasarkan tabel diatas perhitungan benefit dan cost diketahui maka dapat untuk menentukan BCR (Benefit Cost Rasio) dari perancangan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$BCR : \frac{\text{Present Value Benefit}}{\text{Present Value Cost}} \\ = \frac{\text{Rp. 26.594.085,08}}{\text{Rp. 17.998.356,55}} \\ : 1,48$$

Berdasarkan perhitungan dari nilai Benefit Cost Ratio (BCR) dari perancangan design sistem kendali PLTS Off-Grid dengan menggunakan konsep Pump Storage Berbasis Arduino Uno mendapatkan hasil nilai 1,48.

7. Perhitungan PP (Payback Periode)

Payback Periode (PP) merupakan proses perhitungan kecepatan pengembalian modal investasi awal guna para investor dapat mengetahui lama atau tidaknya Payback Periode tersebut karena perancangan yang terlalu lama kurang efektif atau kurang memberikan keuntungan yang optimal sehingga diperlukan untuk mencari arus kas kumulatif untuk menentukan pengembalian modal investasi awal dengan menghitung dari investasi awal dijumlahkan dengan arus kas kumulatif sekarang sehingga didapatkan hasil pada tabel 4.5 sebagai berikut. Untuk penulis dengan satu afiliasi: Untuk mengubah default, sesuaikan template sebagai berikut.

Tabel 7 Perhitungan Payback Periode

Tahun	Present Value	Arus Kas Kumulatif
0	-Rp 8.470.400,00	
1	Rp 1.396.196,23	Rp 1.396.196,23
2	Rp 1.317.166,25	Rp 2.713.362,48
3	Rp 847.988,61	Rp 3.561.351,09
4	Rp 1.172.273,27	Rp 4.733.624,36
5	Rp 1.105.918,18	Rp 5.839.542,54
6	Rp 711.987,59	Rp 6.551.530,13
7	Rp 984.263,25	Rp 7.535.793,38
8	Rp 928.550,23	Rp 8.464.343,61
9	Rp 597.798,51	Rp 9.062.142,12
10	Rp 826.406,40	Rp 9.888.548,52
11	Rp 779.628,68	Rp 10.668.177,20
12	Rp 501.923,15	Rp 11.170.100,35
13	Rp 693.866,75	Rp 11.863.967,10
14	Rp 654.591,27	Rp 12.518.558,38
15	Rp 421.424,36	Rp 12.939.982,74
16	Rp 582.583,90	Rp 13.522.566,64
17	Rp 549.607,46	Rp 14.072.174,09
18	Rp 353.836,02	Rp 14.426.010,11
19	Rp 489.148,68	Rp 14.915.158,79
20	Rp 461.461,02	Rp 15.376.619,81
21	Rp 297.087,54	Rp 15.673.707,35
22	Rp 410.698,66	Rp 16.084.406,02
23	Rp 387.451,57	Rp 16.471.857,59
24	Rp 249.440,43	Rp 16.721.298,02
25	Rp 344.830,52	Rp 17.066.128,53
	Rp 8.595.728,53	Rp 273.237.147,17

Berdasarkan tabel 4.5 pada tahun ke-3 merupakan tahun akhir dari arus kas kumulatif belum menutup modal awal sehingga dapat dilakukan perhitungan payback periode sesuai dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Payback Periode: } t + \frac{b-c}{d-c} \times 1 \text{ Tahun} \\ : 8 + \frac{\text{Rp. 8.470.400} - \text{Rp. 8.464.343,61}}{\text{Rp. 9.062.142,12} - \text{Rp. 8.464.343,61}} \times 1 \text{ Tahun} \\ : 8,01 \text{ Tahun}$$

Nilai payback periode pada perancangan design sistem kendali PLTS Off-Grid dengan menggunakan konsep Pump Storage Berbasis Arduino Uno mendapatkan hasil nilai 2,85 Tahun. Dimana pada tahun ke-8 bulan ke-6 perancangan ini sudah balik modal.

8. Analisis Perhitungan

Ringkasan dari hasil yang sudah diperhitungkan dari perancangan design sistem kendali PLTS Off-Grid dengan menggunakan konsep Pump Storage Berbasis Arduino Uno sebagai berikut.

- Perhitungan Analisis Kelayakan Finansial menggunakan metode Net Present Value didapatkan hasil positif dimana diperoleh Rp. 8.595.728,53 sehingga bisa dikatakan NPV > 0 (LAYAK).
- Perhitungan Analisis Kelayakan Finansial menggunakan metode Internal Rate Return diperoleh hasil 15,5% sehingga bisa dikatakan IRR > i (LAYAK).

- c) Perhitungan Analisis Kelayakan Finansial menggunakan metode Benefit Cost Ratio diperoleh nilai 1,48 sehingga bisa dikatakan BCR > 1 (LAYAK)..
- d) Perhitungan Analisis Kelayakan Finansial menggunakan metode Payback Periode didapatkan nilai 8,01 dimana nilai tersebut sangat memiliki termin waktu lama namun Payback Periode < umur investasi sehingga bisa dikatakan PP (LAYAK) .

V. KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kelayakan finansial pada perancangan sistem kendali PLTS Off-Grid dengan konsep pump storage berbasis Arduino Uno, dapat disimpulkan bahwa:

Sistem ini layak secara finansial untuk diimplementasikan dengan seluruh parameter analisis menunjukkan hasil positif. Net Present Value (NPV) menghasilkan nilai positif sebesar Rp 8.595.728,53 yang menunjukkan bahwa investasi akan memberikan keuntungan bersih dalam jangka panjang. Internal Rate of Return (IRR) mencapai 15,5% yang melebihi tingkat bunga Bank Indonesia sebesar 6%, menandakan tingkat pengembalian investasi yang menarik. Benefit Cost Ratio (BCR) sebesar 1,48 menunjukkan bahwa setiap rupiah yang diinvestasikan akan menghasilkan manfaat sebesar Rp 1,48. Payback Period (PP) selama 8,01 tahun masih berada dalam batas wajar mengingat umur investasi sistem mencapai 25 tahun.

Sistem ini mampu menghasilkan energi sebesar 4 kWh per hari dengan pendapatan tahunan mencapai Rp 2.080.368 berdasarkan tarif listrik sebesar Rp 1.444,70 per kWh. Dibandingkan dengan penggunaan listrik PLN yang memiliki tarif dasar listrik sekitar Rp 1.444,70 per kWh untuk pelanggan rumah tangga, sistem PLTS Off-Grid dengan pump storage ini memberikan keunggulan dalam hal kemandirian energi dan stabilitas pasokan listrik terutama untuk daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan PLN. Meskipun investasi awal cukup besar, namun dalam jangka panjang sistem ini dapat memberikan penghematan biaya listrik yang signifikan.

Konsep pump storage terbukti efektif sebagai alternatif penyimpanan energi pengganti baterai yang memiliki keunggulan dalam hal umur pakai yang lebih lama, biaya pemeliharaan yang lebih rendah, dan dampak lingkungan yang minimal. Sistem kendali berbasis Arduino Uno memberikan fleksibilitas dan kemudahan dalam pengoperasian otomatis dengan biaya yang terjangkau.

Saran

Berdasarkan hasil yang telah dicapai dalam penelitian ini, maka saran yang dapat diberikan untuk pengembangan selanjutnya adalah:

Kapasitas sistem harus dioptimalkan agar energi dapat diproduksi secara efisien, terutama dengan mempertimbangkan peningkatan kapasitas panel surya dan volume tangki air berdasarkan kebutuhan beban listrik yang akan dilayani. Sistem pemantauan canggih dapat

diintegrasikan untuk pemantauan kinerja sistem secara langsung serta untuk pemeliharaan pencegahan yang dapat diprediksi. Agar investasi awal lebih bersaing dengan tarif listrik PLN, perlu dilakukan kajian untuk mengoptimalkan komponen dengan komponen yang lebih murah tetapi berkualitas dan dapat diandalkan. Teknologi panel surya yang lebih efisien dan kendali yang lebih canggih juga akan membantu meningkatkan produktivitas sistem. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk menganalisis kelayakan teknis sistem dalam berbagai kondisi geografis dan iklim di Indonesia, serta pengembangan sistem campuran yang dapat terintegrasi dengan jaringan PLN sebagai sistem cadangan. Aspek sosial dan lingkungan juga perlu dipertimbangkan dalam analisis kelayakan yang lebih menyeluruh untuk mendukung program kelistrikan nasional, terutama untuk daerah tertinggal yang masih memiliki keterbatasan akses listrik PLN.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Usman, *Bauran Energi Nasional*. Dewan Energi Nasional Sekretariat Jendral, 2020.
- [2] M. A. Adhiem, *Pembangkit Listrik Tenaga Surya bagi Pembangunan Berkelanjutan*. Jakarta: Pusat Penelitian Badan Keahlian Setjen DPR RI, 2021.
- [3] S. Zheng, R. M. Taylor, W. Wu, B. Nilsen, and G. Zhao, Eds., *Hydropower and Renewable Energies: Synergistic Integration for Future Energy Systems*, vol. 487. in Lecture Notes in Civil Engineering, vol. 487. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025. doi: 10.1007/978-981-97-9184-2.
- [4] M. Masri, "Arduino-Based Smart Controllers For Maximizing Power Output And Minimizing Environmental Impact In Photovoltaic Arrays".
- [5] M. A. Rahmanta, "Analisis PASTEL & Swotpemanfaatan Teknologi Pumped Storage Hydropower Untuk Meningkatkan Penetrasi Energi Terbarukan Di Indonesia," *J. Offshore Oil Prod. Facil. Renew. Energy*, Vol. 6, No. 1, P. 1, Jun. 2022, Doi: 10.30588/jo.v6i1.1012.
- [6] S. Suandi and N. Chayati, "Studi Kelayakan Finansial Pada Proyek Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (Pltm) Pongkor".
- [7] U. Muhammad, "Identifikasi Permasalahan Pengoperasian PLTS Offgrid," *Joule J. Electr. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 33–42, Jan. 2023, doi: 10.61141/joule.v4i1.440.
- [8] H. P. Dewanto, D. A. Himawanto, and S. I. Cahyono, "Pembuatan dan pengujian turbin propeller dalam pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga air piko hidro (PLTA-PH) dengan variasi debit aliran," *J. Tek. Mesin Indones.*, vol. 12, no. 2, pp. 54–62, Mar. 2018, doi: 10.36289/jtmi.v12i2.72.
- [9] A. Multi, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Pikohidro 1000 Va Dengan Memanfaatkan Pembuangan Air Limbah Pada Gedung Pakarti Centre," 2017.
- [10] G. T. Bitew, M. Han, S. A. Mekonnen, S. Patrobers, Z. W. Khan, and L. K. Tuan, "Pumped energy storage system technology and its AC–DC interface topology, modelling and control analysis: a review," *J. Eng.*, vol. 2019, no. 16, pp. 705–710, Mar. 2019, doi: 10.1049/joe.2018.8379.
- [11] S. Rehman, L. M. Al-Hadhrani, and Md. M. Alam, "Pumped hydro energy storage system: A technological review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 44, pp. 586–598, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.12.040.
- [12] N. Sutarna and B. S. R. Purwanti, "Metode Tuning Operating Range Fuzzy PID Controller pada Sistem Orde Tiga," *J. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 33–39, Jun. 2020, doi: 10.15294/jte.v12i1.24050.

- [13] P. Li and G. Zhu, "IMC-based PID control of servo motors with extended state observer," *Mechatronics*, vol. 62, p. 102252, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.mechatronics.2019.102252.
- [14] Accountancy Department, Mai Idris Aloomo Polytechnic, Geidam, Yobe State, Nigeria and A. A. Olayinka, "Financial statement analysis as a tool for investment decisions and assessment of companies' performance," *Int. J. Financ. Account. Manag.*, vol. 4, no. 1, pp. 49–66, Jun. 2022, doi: 10.35912/ijfam.v4i1.852.
- [15] R. Mahmuddin, "Analisis Investasi Pengadaan Alat Berat di PT. Energy Cahaya Industritama dengan Metode NPV dan IRR," *J. Teknol. Miner. FT UNMUL*, vol. 10, no. 2, p. 1, Dec. 2022, doi: 10.30872/jtm.v10i2.7956.
- [16] I. Hm and R. Setiawan, "Analisis Perbandingan Penilaian Keputusan Investasi Menggunakan Metode Net Present Value (Npv) Dan Metode Internal Rate Of Return (Irr)," vol. 1, no. 2, 2023.
- [17] N. K. Sintya, N. M. Estiyanti, I. G. J. E. Putra, and D. Máté, "Analysis of the Benefits of SAP S/4 HANA Cloud IT/Is Investment in the Case of PT XYZ," *Int. J. Eng. Manag. Sci.*, pp. 1–12, Dec. 2023, doi: 10.21791/IJEMS.2023.039.
- [18] A. Moch Rafli, "Cara Menghitung Payback Period pada Studi Kelayakan Bisnis," *Mekari J.*, Jun. 2023, [Online]. Available <https://www.jurnal.id/caramenghitung-payback-period>
- [19] M. Manwaring, "Challenges and Opportunities For New Pumped Storage Development".

VII. BIODATA PENULIS



Faiz Adriansyah Nanroe, lahir di Tulungaung, 29 Maret 2002. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Gondang Tulungagung tahun 2021. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan studi di perguruan tinggi swasta Institut Teknologi Nasional Malang program studi teknik elektro S-1 dengan konsentrasi Teknik Energi Listrik.