

Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro *Archimedes Screw Turbine Di Curug Sawyer*

Moch Rizky^{1*}, Muchtar Ali Setyo Yudono², Anang Suryana³, Adi Nugraha⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Nusa Putra, Indonesia

⁴Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

ABSTRAK

Semua orang di seluruh dunia bergantung pada listrik, yang sekarang terutama diproduksi oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Dunia saat ini beralih menggunakan sumber energi yang berkelanjutan dan terjangkau, energi baru terbarukan, atau EBT. Air merupakan sumber energi EBT, menjadikannya salah satu sumber EBT potensial di seluruh dunia. Sukabumi yang tersebar di wilayah yang luas dan memiliki banyak potensi tenaga air, memiliki peluang besar untuk digunakan untuk menjalankan PLTA skala Piko. Curug Sawyer, destinasi wisata populer dengan potensi pembangkit listrik tenaga air, merupakan salah satu potensi PHPP di wilayah Sukabumi. Berdasarkan simulasi CaSimir dan Simulink MATLAB, penelitian ini menyajikan kajian potensi pembangkit listrik tenaga pikohidro dengan turbin Archimedes Screw. Dengan luas debit 0,67 m³/s dan tinggi Head 1,1 m, kawasan waduk alami di Curug Sawyer dijadikan sebagai sumber PLTA kajian. Dengan parameter tersebut, PHPP ini dapat menghasilkan listrik sebesar 4,67 kW dan daya sebesar 110 kWh setiap harinya. Daerah tujuan wisata curug sawer dapat menghemat listrik sebesar Rp 1.768.680,00 per bulan karena kemungkinan ini.

Kata Kunci: analisa, tenaga air, pembangkit listrik, piko hidro, energi terbarukan, simulasi.

ABSTRACT

People all across the world depend on electricity, which is now primarily produced by fossil fuel power plants. The world is currently switching to use a sustainable and affordable energy source, new renewable energy, or NRE. Water is a energy source of NRE, making it one of the potential sources of NRE around the world. Sukabumi, which is spread out across a large region and has a lot of hydropower potential, has a great chance of being used to run Piko-scale hydropower. Curug Sawyer, a popular tourist destination with the potential of hydro power plants, is one of the PHPP potentials in the Sukabumi region. Based on CaSimir and Simulink MATLAB simulations, this study presents an examination of the potential for a pico hydro power plant with an Archimedes Screw turbine. With an area discharge of 0.67 m³/s and a Head height of 1.1 m, the natural

reservoir area at Curug Sawyer served as the study's source of hydropower. With these parameters, this PHPP can generate 4.67 kW of electricity and 110 kWh of power each day. The tourism destination curug sawer area might save Rp 1,768,680.00 per month on power because of this possibility.

Keywords: *analysis; hydro power; power plant; pico hydro; renewable energy; simulation*

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil seperti batu bara, gas alam, dan minyak diperkirakan dapat bertahan 25 hingga 60 tahun lagi [1]. Penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan juga telah menyebabkan kenaikan suhu bumi hingga 1,1 °C [2], penumpukan gas rumah kaca di atmosfer, bahkan di beberapa daerah dengan konsentrasi karbon yang tinggi didapatkan beragam permasalahan kesehatan [3]. Hal ini pun mendukung berbagai pihak untuk mengubah dunia kembali seperti semula, salah satunya adalah dengan diadakannya Paris Agreement Cop21 pada tahun 2015 [4], hal ini pun menghasilkan kesepakatan bagi setiap negara untuk menekan kenaikan suhu global hingga 1,5 °C. Salah satu komitmen pemerintah dunia pun salah satunya adalah untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan berpindah ke pembangkit yang ramah lingkungan netralitas karbon dan berkepanjangan atau disebut energi baru terbarukan.

Hingga tahun 2021 terdapat 99,40% daerah Indonesia yang telah dialiri oleh listrik [5], faktanya masih banyak daerah yang penggunaan listriknya masih dibatasi. Bahkan di beberapa daerah, tingkat reliabilitas listriknya masih rendah sehingga masyarakat hanya mampu mengakses listrik selama 12 jam, terutama daerah terpencil yang masih tertinggal. Sehingga dibutuhkan pemerataan, agar setiap daerah dapat sejajar dengan daerah lainnya. Salah satu penyebab utama rendahnya reliabilitas dan keterbatasan listrik tersebut, dikarenakan akses distribusi yang sulit, hal ini menyebabkan pendistribusian ke daerah daerah terpencil memiliki banyak kendala. Meski demikian, daerah terpencil ini sebenarnya memiliki berbagai potensi energi yang prospektif. Seperti sumber mata air yang mampu dijadikan PLTA Mikro ataupun Piko.

Piko Hidro merupakan sebuah pembangkit listrik tenaga air yang memiliki kapasitas keluaran daya maksimal hingga 5 kW, sehingga pembangkit ini dapat bekerja dengan debit air yang kecil. Hidro adalah istilah yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga air dibawah 5kW[6]. Biasanya Piko Hidro mampu memberikan tenaga yang cukup untuk menyalakan bola lampu, radio, televisi, bahkan dengan desain dan spesifikasi yang

maksimal Piko Hidro mampu mengaliri listrik bagi beberapa rumah [7]. Dengan memanfaatkan potensial air yang didapat dari bidang tinggi yang miring atau memanfaatkan arus dan debit air yang kuat, sehingga air yang diperlukan untuk menggerakkan Piko Hidro tidak begitu banyak. Hal ini dikarenakan kemiringan dan gravitasi memberikan efek percepatan dan tekanan yang besar bagi air. Hingga mampu menggerakkan Propeller hal ini akhirnya dapat mengkonversi tenaga kinetik menjadi energi listrik. Piko Hidro memberikan banyak kelebihan dan sangat cocok digunakan untuk daerah terpencil yang jauh dari sumber listrik. Kelebihan dari Piko Hidro adalah penggunaannya yang sederhana dan tidak rumit, Piko Hidro mudah untuk dipelajari dan diterapkan serta pemeliharaannya juga tidak rumit sehingga pemeliharaannya bisa dilakukan oleh masyarakat awam. Beberapa model Piko Hidro bahkan dirancang *portable* untuk memudahkan pengoperasian jika terjadi kekeringan pada sumber air, selain itu biaya yang diperlukan terbilang cukup murah dibanding dengan sistem pembangkit lain, hal ini menjadi salah satu fitur unggulan Piko Hidro. Sehingga sangat cocok jika di terapkan di daerah terpencil. Dalam hal ini Piko Hidro menjadi sebuah peluang besar bagi daerah wisata alam untuk menghemat biaya listrik.

Sukabumi merupakan daerah perbukitan memiliki sumber potensi pembangkit listrik terbarukan, salah satu potensi yang menarik adalah potensi Piko Hidro. Curug Sawer merupakan salah satu area wisata alam di daerah Kabupaten Sukabumi yang merupakan bagian dari daerah wisata Situ Gunung, berupa air terjun berketinggian 35 m dengan sumber air yang melimpah dan tidak pernah kering menjadikan Curug Sawer sebagai tempat yang menjanjikan untuk diterapkan pembangkit listrik tenaga Piko Hidro.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam pelaksanaan penelitian ini, menggunakan banyak referensi dari berbagai penelitian. Sehingga penelitian ini tentu saja bukanlah sebuah penelitian tanpa dasar, melainkan sebuah penelitian yang terdukung oleh data-data dari penelitian lainnya. Penelitian mengenai pembangkit listrik Piko Hidro pernah dilakukan sebelumnya, berikut penelitian yang relevan dengan penelitian ini.

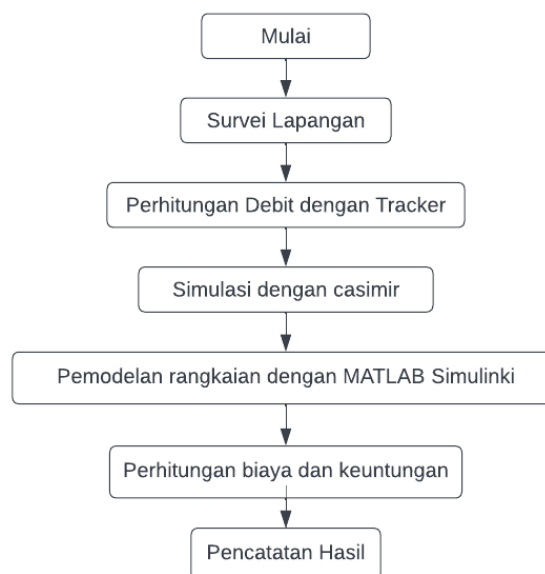
Penelitian “Pengembangan pembangkit listrik tenaga Piko Hidro dengan memanfaatkan *alternator* untuk membantu penerangan jalan seputaran kebun salak”, oleh Alipan [8]. Penelitian tersebut mengangkat penggunaan PLTPH sebagai sumber penerangan diperkebunan salak. Dalam penelitiannya Alipan menggunakan *Propeller* berjenis Pelton dengan debit rata-rata $0,65 \text{ m}^3/\text{s}$, PLTPH rancangan Alipan ini mampu

menghasilkan daya hingga 100 watt dengan tegangan 12 VAC dan arus sebesar 2A. PLTPH ini berhasil menyalakan 5 lampu dengan daya 15 Watt.

Penelitian dengan judul “*Design and implementation: PorTabel Floating Piko Hidro*”[9]. Penelitian tersebut melakukan sebuah percobaan pembuatan pembangkit listrik terapung tenaga Piko Hidro yang diimplementasikan di daerah Malang, Indonesia. Pembangkit listrik terapung ini menggunakan motor 18 VDC sebagai pembangkitnya, dipasangkan dengan *Propeller* yang didesain mirip dengan tipe Pelton, *Propeller* dengan diameter 50 cm dan tinggi bilah 10 cm mampu menghasilkan daya hingga 205 watt pada debit air 4 m/s. Pada penelitian tersebut, terdapat keunikan dalam penelitian tersebut, yaitu pemilihan desain dari pembangkit akan sangat berpengaruh pada hasil keluaran daya. Dengan menggunakan *Propeller* Pelton, pembangkit *portable* Piko Hidro tersebut, memiliki keluaran kurang efektif, sehingga diperlukan pemilihan *Propeller* yang dapat bekerja lebih efisien di daerah tersebut.

3. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini akan membahas mengenai bagaimana penelitian ini akan dilakukan dan mengenai perlengkapan dan kebutuhan dalam penelitian. Dalam bagian ini akan memuat alur penelitian, metode survei dan pengumpulan data, analisis penempatan, dan penggunaan perangkat lunak CaSiMir dan MATLAB Simulink untuk melakukan simulasi. Pada Gambar 1 ditampilkan diagram alir penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

A. Survei Lapangan

Proses survei ini meliputi pengumpulan data, pemilihan tempat, peninjauan kelayakan dan keamanan, peninjauan kebutuhan beban, dan perhitungan jarak distribusi.

B. Perhitungan Debit

Perhitungan debit ini akan menggunakan 2 metode untuk menghasilkan data yang lebih akurat, yaitu dengan menggunakan metode pelampung dan menggunakan perangkat lunak *Tracker* untuk menghitung kecepatan aliran sungai. Dalam pelaksanaan metode pelampung yang diperlukan dalam perhitungan kecepatan aliran sungai adalah pelampung, tali, *stopwatch*, dan meteran. Sementara untuk perhitungan menggunakan perangkat lunak *Tracker* perangkat yang dibutuhkan hanya kamera, pelampung, meteran, dan laptop/PC yang terpasang aplikasi *Tracker*. Adapun untuk mendapatkan nilai dari Q bisa didapat dengan menjumlahkan nilai dari kecepatan air dan area turbin yang terkena air. Untuk menghitung nilai dari debit dapat disederhanakan dengan menggunakan persamaan 3 dibawah ini:

$$Q = V.A \quad (1)$$

Keterangan:

Q = debit air (m³/s)

V = kecepatan laju air (m/s)

A = luas Penampang (m²)

Sementara itu untuk menghitung nilai dari luas penampang yang dilewati air dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

$$A = W.D \quad (2)$$

Keterangan:

A = luas Penampang (m²)

W = lebar penampang (m)

D = kedalaman penampang (m)

Untuk menghitung kecepatan air dari percobaan pelampung digunakan persamaan berikut.

$$V = \frac{d}{t} \cdot 0.85 \quad (3)$$

Keterangan:

V = kecepatan air (m/s)

D = jarak yang ditempuh (m)

t = waktu rata rata dalam menempuh jarak (s)

0.85 = nilai Galat

C. Simulasi Menggunakan CaSiMir

Simulasi menggunakan CaSiMir ini ditujukan untuk mengetahui nilai keluaran yang dihasil oleh sebuah PLTA dengan menggunakan variabel, debit air, ketinggian *Head* dan efisiensi total dari PLTA. Untuk menghitung nilai daya yang dihasilkan PLTA dapat menggunakan persamaan berikut:

$$P_w = \eta \cdot \rho_w \cdot g \cdot Q \cdot h_{eff} \quad (4)$$

Keterangan:

P_w = tenaga mekanis yang dihasilkan pada turbin (watt)

η = efisiensi turbin (%)

ρ_w = massa jenis air (kg/ m³)

g = nilai gravitasi (9,8 m/s²)

Q = debit air (m³/s)

h_{eff} = ketinggian *Head* (m).

Nilai dari efisiensi biasanya dihitung dengan persamaan berikut[10]:

$$\eta = \frac{P}{P_h} \quad (5)$$

Keterangan:

η = efisiensi turbin

P = daya mekanik

P_h = daya hidrolik

Sementara itu untuk menemukan nilai dari P dan P_h maka diperlukan perhitungan lainnya, untuk menentukan nilai dari P_h maka digunakan persamaan berikut [10]:

$$P = T\omega \quad (6)$$

Keterangan:

ω = kecepatan putaran (200 rpm)

T = torsi (40 Nm)

Dan untuk tenaga hidrolik.

$$P_h = \rho_w \cdot g \cdot h \quad (7)$$

Keterangan:

P_h = tenaga hidrolik

ρ_w = massa jenis air (1000 m/s³)

g = gravitasi (9,8 m/s²)

h = head (m)

Lalu diperlukan juga diketahui nilai daya *real* sehingga perlu dihitung rugi rugi daya. perhitungan rugi-rugi daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini [11]:

$$P_{losses} = I^2 \cdot R \quad (8)$$

Keterangan:

P_{losses} = rugi-rugi daya (Watt)

I = arus (A)

R = resistansi (Ω)

D. Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem kelistrikan dari PLTPH ini akan menggunakan perangkat lunak MATLAB Simulink. Pemodelan sistem ini dilakukan untuk menghasilkan simulasi

tegangan ketika berjalan, sehingga dengan melakukan simulasi ini didapat prediksi kestabilan PLTA.

E. Perhitungan biaya

Perhitungan biaya ini meliputi perhitungan estimasi pengeluaran biaya bulanan, konversi daya yang dihasilkan PLTPH dan perbandingan kehematan biaya. Sehingga dapat dihasilkan tinjauan potensi PLTPH pada area wisata Curug Sawyer yang mana penelitian ini dapat menjadi acuan untuk pemasangan PLTPH untuk menghemat biaya pemakaian listrik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan membahas mengenai penelitian yang telah dilaksanakan. Pada penelitian ini dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak CaSiMir dan MATLAB Simulink, dan hasil penelitian ini ditujukan sebagai sebuah proposal pembangunan PLTPH di area wisata.

A. Analisa Debit Air Curug Sawyer

Berdasarkan hasil survei dan pendataan pada Curug Sawyer didapatkan bahwa Curug sawer merupakan sebuah air terjun dengan ketinggian *Head* hingga 35 meter dengan kolam tampung pada bagian bawah curug. Dari kolam tampung air akan dialirkan ke sungai melalui hulu utama dengan ketinggian *Head* 1,1 meter.

Debit air pun didapatkan dengan menggunakan metode pelampung dimana pada metode ini akan digunakan pelampung yang diikatkan pada tali untuk menghitung kecepatan aliran sungai. Setelah didapatkan kecepatan aliran sungai maka kecepatan aliran sungai tersebut akan dijumlahkan dengan luas penampang sungai yang selanjutnya akan menghasilkan debit air.

Sementara itu untuk menentukan luas penampang maka harus dihitung kedalaman penampang dan lebar penampang. Setelah ditemukan nilai dari lebar dan kedalaman maka selanjutnya adalah menjumlahkan keduanya untuk menghasilkan luas penampang.

Dengan variabel tersebut dan maka dilakukanlah metode pelampung untuk menemukan kecepatan rata-rata. Dalam metode pelampung tersebut dilakukan secara 3 kali lalu hasil metode pelampung dijumlahkan dan dibagi 3 (sesuai dengan jumlah percobaan). Nilai dari hasil survei metode pelampung ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil survei metode *Float*

No	Nomer Percobaan	Jarak (m)	Waktu (s)
1	Percobaan 1	10	1,2
2	Percobaan 2	10	1,4
3	Percobaan 3	10	1,2
4	Percobaan 4	10	1,2
5	Percobaan 5	10	1,3
6	Percobaan 6	10	1,4
7	Percobaan 7	10	1,2
Rata-Rata (s)			1,27

Berdasarkan hasil survei diatas maka dilakukanlah pengolahan data untuk menghasilkan kecepatan aliran sungai:

$$V = \frac{10 \text{ m}}{1,27} \cdot 0,85 = 6,69 \text{ m/s}$$

Selain itu pengukuran kecepatan air juga dilakukan oleh perangkat lunak *Tracker*, dimana aplikasi tersebut mengukur kecepatan menggunakan sebuah video. *Tracker* ditampilkan oleh Tabel 2 pengukuran menggunakan aplikasi *Tracker* ini dilakukan untuk mendapatkan hasil lain sebagai perbandingan hasil pengukuran menggunakan perangkat lunak.

Tabel 2. Hasil Perangkat Lunak *Tracker*

Waktu	Jarak
0,000	0
0,033	0,914
0,066	1,133
0,099	1,988
0,133	2,707
0,166	2,902
0,199	3,148
0,233	3,397
0,266	4,050
0,299	4,306
0,333	4,556
0,366	5,518
0,399	5,654
0,499	5,848
0,533	6,427
0,566	6,427
0,599	6,590
0,632	6,754
1,36	8,302

Dari data tersebut didapatkan bahwa jarak yang ditempuh hingga detik 1.300 adalah 8.365 maka dari itu dapat dikonversikan menjadi kecepatan per detik menjadi 6.1 m/s.

Setelah itu maka diperlukan diketahuinya nilai dari luas penampang. Luas penampang pun didapatkan dari volume turbin, dikarenakan turbin berbentuk tabung maka dari itu nilai dari areal yang digunakan dalam penelitian ini adalah volume areal dari turbin yang terkena air, perhitungan ini menggunakan Persamaan 2. Pada perhitungan ini kedalaman dari penampang yang terkena adalah seukuran dengan diameter turbin yaitu, 25 cm, dengan lebar penampang turbin sebesar 50 cm. Namun terdapat 3 perhitungan berdasarkan 3 data kedalaman sungai ketika surut, normal, dan deras.

$$A (\text{Deras}) = 0,75 \cdot 3,14 \cdot 0,25^2 = 0,15 \text{ m}^2$$

$$A (\text{Normal}) = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,25^2 = 0,10 \text{ m}^2$$

$$A (\text{Surut}) = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,25^2 = 0,05 \text{ m}^2$$

Nilai dari kecepatan laju air didapatkan sesuai dengan keadaan sungai, selanjutnya adalah untuk menghitung nilai dari debit air menggunakan Persamaan 3. Maka dari itu nilai dari debit adalah:

$$Q (\text{Deras}) = 6,69 \cdot 0,15 = 1,0035 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q (\text{Normal}) = 6,69 \cdot 0,10 = 0,669 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q (\text{Surut}) = 6,69 \cdot 0,05 = 0,3345 \text{ m}^3/\text{s}$$

Perbedaan debit tersebut dibandingkan berdasarkan kedalaman penampang yang terkena air. Pada keadaan debit deras ketika kedalaman rerata sungai hingga 80 cm kedalaman penampang adalah 35 cm sedangkan pada keadaan normal ketika kedalaman penampang berada pada posisi stabil yaitu 25 cm kedalaman sungai adalah 70 cm sedangkan kedalaman surut adalah 15 cm dengan kedalaman sungai 60 cm. Pada kasus tertentu yang sangat langka kedalaman sungai mampu berada di keadaan surut sekali yaitu pada kedalaman 40-50 cm pada keadaan tersebut turbin hanya dapat berputar pada kedalaman sungai diatas 50 cm, dibawah itu turbin akan berhenti berfungsi.

B. Perhitungan Beban

Daya yang dihasilkan dari PLTPH ini akan dialokasikan untuk penerangan, *port charge* dan *Water Pump*, di sepanjang jalur setapak Curug Sawyer dengan jarak 4 km. Adapun rincian beban ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rincian beban daya Jalur setapak Curug Sawyer

No	Nama Barang	Daya	Jumlah	Daya Total
1	Lampu LED	18 Watt	134	2790 Watt
2	Port Charge	100 Watt	6	600 Watt
Total				3390 Watt

Total daya yang dibutuhkan oleh jalur setapak adalah 3,4 kW (3480 Watt) sebagian besar daya dialokasikan untuk keperluan penerangan pada malam hari di 134 titik dengan asumsi jarak per titik sejauh 30 m.

Adapun *port charger* berupa steker yang berada pada setiap *rest area* yang pada masing-masing area berjumlah 3 buah. Diasumsikan untuk penggunaan *port charging* telepon genggam dengan pengisian cepat.

Beban daya yang dibutuhkan adalah 3,39 kW sedangkan daya tersebut belum termasuk dengan nilai dari faktor daya dan rugi rugi daya dalam proses distribusi listrik sejauh 4 km maka dari itu perlu dihitung nilai dari rugi rugi daya dan faktor daya dalam penelitian ini.

Maka dari itu diperlukan perhitungan faktor daya dimana faktor daya diasumsikan sebesar 0,90 atau 90%.

$$P_{total} = \frac{P}{Cs\phi} = \frac{3,39kW}{0,9} = 3,76 kW$$

Berdasarkan dari data diatas, maka diketahui kebutuhan beban daya maksimal untuk mencukupi jalur setapak curug sawer adalah 3,76 kW maka dibutuhkan pembangkit listrik yang mampu menghasilkan daya lebih dari itu.

C. Analisis turbin

Dikarenakan *Head* pada area PLTPH yang digunakan adalah 1,1 meter sama dengan panjang turbin maka spesifikasi dari turbin adalah turbin *ultra low Head*. Maka dari itu dipilih turbin *Archimedes Screw* yang merupakan turbin dengan spesifikasi khusus bagi PLTA *ultra low Head*. Selain itu penggunaan turbin *Archimedes Screw* terbilang sangat ramah terhadap lingkungan dan memiliki bentuk yang unik sehingga cocok digunakan pada area wisata Curug Sawer.

Sementara itu efisiensi dari turbin *Archimedes Screw* ini akan dihitung dengan menggunakan Persamaan 6 dimana pada metode ini diperlukan untuk mengetahui tenaga hidrolik dan tenaga mekanik yang dihasilkan. Tenaga hidrolik yang dihasilkan oleh air akan dibagi dengan tenaga mekanik dari turbin. Penjumlahan ini akan menghasilkan efisiensi dari turbin *Archimedes Screw*.

Sementara itu untuk menemukan nilai dari P dan P_h maka diperlukan perhitungan lainnya, untuk menentukan nilai dari P_h :

$$P_h = 1000 \cdot 9,8 \cdot 1 \cdot 1 = 10,780 \text{ J/s} \quad (5)$$

Pada perhitungan P_h , P_w merupakan massa jenis air dengan nilai standar international yaitu 1000 sementara g merupakan gaya tarik gravitasi bumi yaitu 9,8 sementara h adalah ketinggian *Head* yang mana ketinggian *Head* yang digunakan pada daerah tersebut adalah 1,1 meter. Sehingga didapatkan hasil 10,780 N.

Sementara itu untuk menemukan hasil dari tenaga mekanik P maka digunakanlah Persamaan 6. Kecepatan putaran didapatkan dari prediksi menggunakan *SolidWork* dengan debit air 4m/s. Sehingga nilai dari tenaga mekanik yang dihasilkan oleh turbin adalah:

$$P = 40 \cdot 200 = 8000 \text{ Nm}$$

Pada perhitungan tersebut nilai dari tenaga mekanik ditentukan oleh tenaga torsi (Nm) dari turbin yang mempengaruhi jumlah putaran pada turbin. Sementara untuk nilai dari efisiensinya sendiri adalah:

$$\eta = \frac{8000}{10,780} = 0,79 \cdot 100\% = 79\%$$

Maka nilai dari efisiensi turbin *Archimedes screw* adalah 79% dengan anggapan nilai dari tenaga mekanik rata-rata 8000 Nm dan nilai tenaga hidrolik adalah 10,780 Nm.

D. Analisis Daya

Curug Sawer potensi debit air hingga 0,85 m³/s pada hulu utama di area tersebut memiliki potensi yang sangat besar untuk dijadikan sumber energi primer bagi PLTPH selain karena arusnya yang sangat deras pendukung lainnya adalah karena lebar area tersebut yang sangat ideal untuk penempatan bilah *Archimedes screw* dan area tersebut merupakan areal bebas pengujung.

Sementara itu ketinggian *Head* dari Curug Sawer mencapai 35 meter dari pusat terjun air menuju kolam tampung, hal ini menyebabkan dorongan yang besar dari kolam tampung menuju hulu utama sungai. Hulu utama sungai memiliki ketinggian *Head* yang terbilang kecil yaitu 1,1 meter.

Potensi daya terbangkitkan dari PLTPH ini akan dihitung dengan menggunakan Persamaan 8. Yang mana pada persamaan tersebut nilai dari efisiensi turbin dan generator akan dijumlahkan dengan nilai gravitasi, debit dan ketinggian *Head*. Variabel yang digunakan dalam kegiatan tersebut adalah:

η_t = efisiensi turbin (79%)

η_g = efisiensi generator (80%)

g = nilai gravitasi (9,8 m/s²)

Q = debit air (0,669 m³/s)

h_{eff} = ketinggian *Head* (1,1 m)

sehingga nilai daya dapat dihitung menggunakan Persamaan 8 seperti ini:

$$P_w = 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,67 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,1 \text{ m} \cdot 79\% \cdot 80\% = 4,6 \text{ kW}$$

Maka daya yang dihasilkan dari PLTPH tersebut adalah 4,6 kW. Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan bahwa tenaga yang dihasilkan oleh PLTPH model turbin *Archimedes Screw* mencukupi kebutuhan di daerah setapak Curug Sawyer. Setelah didapatkan hasil teoritis maka diperlukan pengujian melalui simulasi menggunakan CaSiMir.

E. Simulasi CaSiMir

Dalam penelitian ini digunakan dua perangkat lunak untuk melakukan simulasi. Simulasi pada penelitian ini bertujuan agar hasil dari perhitungan dapat diperkuat dengan melakukan simulasi. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah Simulink dan Casimir.

Penggunaan perangkat lunak Casimir dalam penelitian ini adalah untuk memprediksi hasil daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga Piko-Hidro. Dengan memasukan parameter ketinggian *Head*, debit dan efisiensi, perangkat lunak Casimir akan memproses data tersebut dan menghasilkan prediksi dan perhitungan daya. Berikut hasil dari simulasi Casimir pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil simulasi Perangkat lunak Casimir

No	Variabel	Nilai
1	Daya	4,57 kW
2	Efisiensi	80%
3	Debit	0,67 m^3/s
4	<i>Head</i>	1,1 m
5	Daya Harian	109,60 kWh

Pada Tabel 4 dapat dihasilkan daya pertahun sebesar 40 MWh nilai tersebut didapatkan dari hasil perhitungan daya harian sebesar 109,60 kWh. Dengan nilai daya satuan sebesar 4,57 kW sama dengan hasil yang didapatkan dari Persamaan 2. Pada Tabel 2, prediksi dilakukan dengan parameter yang konstan dan tidak berubah, hal ini tentu hanya memberikan gambaran dari daya ideal yang dihasilkan oleh PLTPH, maka dari itu perlu juga dicari maksimum dan daya minimum dari PLTPH tersebut. Prediksi yang dihasilkan oleh Casimir juga dapat melakukan perhitungan dengan jumlah parameter debit

yang lebih banyak, hal ini untuk dapat memprediksi hasil daya dengan lebih besar nilai kepastiannya. Pada Tabel 4 ditampilkan simulasi dengan parameter debit yang lebih banyak menyesuaikan kondisi kedalaman sungai pada maksimum dan minimum untuk menghasilkan gambaran daya keluaran maksimal dan minimal.

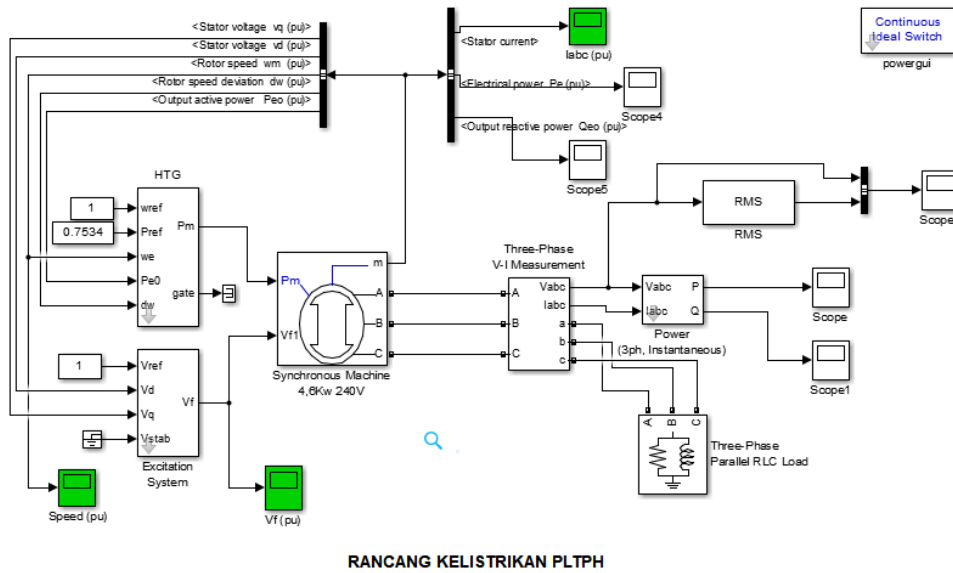
Tabel 5. Hasil simulasi Casimir dengan 3 data debit berbeda

No	Variabel	Nilai Max
1	Daya	7,51 kW
2	Efisiensi	80%
3	Debit	1,01 m^3/s
4	<i>Head</i>	1,1 m
5	Daya Harian	180,25 kWh

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa data yang dihasilkan memiliki perbedaan pada *mean power*, *maximum power*, dan *minimum power*. Perbedaan nilai tersebut dihasilkan oleh keragaman nilai debit pada variabel. Perbedaan nilai tersebut menghasilkan daya rerata satuan sebesar 4,6 kW dengan daya harian 110,50 kWh setiap harinya. Sementara daya yang dihasilkan oleh debit minimum menghasilkan daya sebesar 1,7 kW dengan daya harian sebesar 41,44 kWh daya tersebut terbilang sangat kecil dan tidak mampu memberi tenaga 160 lampu sama sekali. Sementara daya maksimal yang dihasilkan oleh debit tertinggi menghasilkan daya sebesar 7,51 kW dengan daya harian sebesar 180,25 kWh.

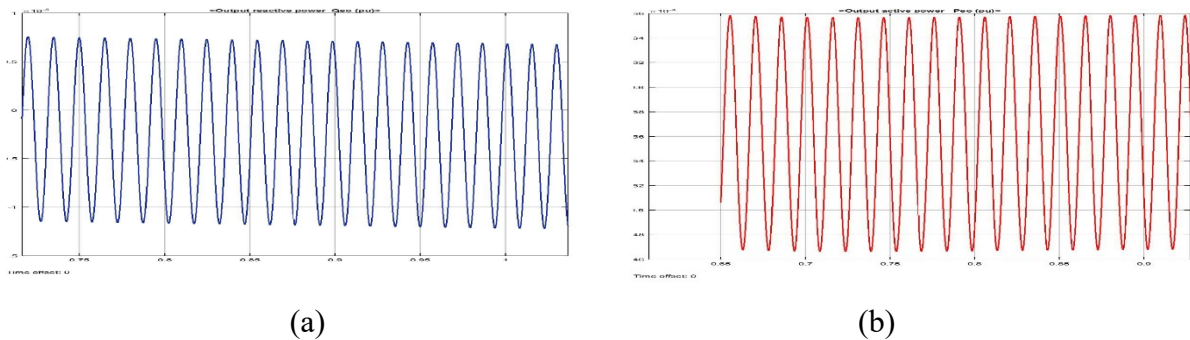
F. Pemodelan MATLAB

Sementara itu MATLAB Simulink pada penelitian ini digunakan untuk melakukan simulasi rangkaian PLTPH dan melakukan simulasi kestabilan daya yang dihasilkan. Skema Rangkaian MATLAB Simulink dapat dilihat melalui Gambar 2. Rangkaian sistem pada Gambar 2 meliputi generator, turbin dan beban.



Gambar 2. Rancang kelistrikan PLTPH Sederhana

Rangkaian PLTPH tersebut merupakan rangkaian yang terdiri dari turbin, generator, dan beban 3 fasa, dengan daya 4,6 kW dan tegangan 220 V. Berdasarkan hasil simulasi rangkaian tersebut dapat menghasilkan daya yang stabil seperti yang terdapat pada Gambar 3 (a) dan (b).



Gambar 3. Hasil Uji Sinusoidal dengan MATLAB Simulink: (a) Daya Elektrik, (b) Daya Reaktif.

Dari hasil simulasi tersebut daya yang dihasilkan baik daya reaktif dan daya aktif sangat stabil, tidak terjadi lonjakan maupun ketidakstabilan. Hal ini dikarenakan debit yang menimpa turbin stabil. Daya yang dihasilkan sebesar 4603 watt(dikonversikan kesatuan kW menjadi 4,6 kW) dengan tegangan 220 V, dan frekuensi 60 Hz.

Berdasarkan hasil simulasi dari PLTPH menggunakan Casimir dan MATLAB Simulink dapat dinyatakan bahwa daya yang dihasilkan 4,6 kW, dengan tegangan 240 V, arus 19, frekuensi 60 Hz, dan memiliki hasil daya yang stabil.

G. Analisis Pengaplikasian Beban dan Penghematan Anggaran Listrik

Dikarenakan daya yang dihasilkan oleh PLTPH adalah 4,6 kW sedangkan daya yang dibutuhkan adalah 3,76 kW dan belum terhitung dengan dijumlahkan dengan rugi-rugi daya. Maka dari itu perlu dihitung nilai dari rugi-rugi daya terlebih dahulu. Kabel yang digunakan adalah kabel dengan resistansi 0,33 Ω per km. Dengan jarak tempuh 4 km maka nilai dari rugi-rugi daya adalah:

$$P_{\text{losses}} = 19^2 \cdot 0,58 \cdot 4 = 361 \cdot 2,31 = 837 \text{ Watt}$$

Berdasarkan perhitungan diatas nilai dari rugi-rugi daya adalah 837 Watt. Nilai kebutuhan beban daya sesungguhnya adalah nilai rugi-rugi daya dijumlahkan dengan nilai beban daya maksimum yaitu 3,76 kW maka nilai dari kebutuhan beban sesungguhnya adalah 4,6 kW sementara beban yang dihasilkan oleh PLTPH adalah 4,6 kW rata-rata. Maka daya rata-rata yang dihasilkan oleh PLTPH memadai untuk mencukupi kebutuhan listrik di daerah jalur setapak Curug Sawyer.

Setelah didapatkan nilai kebutuhan daya maksimum maka diperlukan untuk menganalisis penghematan anggaran listrik yang dihasilkan oleh PLTPH ini. Untuk menghitung balik modal dari pembangunan PLTPH ini maka diperlukan pengkonversian nilai beban perjam kedalam rupiah dan dijumlahkan untuk kebutuhan dalam 1 bulan. Karena kebutuhan daya di Curug Sawyer adalah 4,6 kW maka termasuk golongan R-2 maka biaya per kWh adalah 1699,53. Jika penggunaan lampu digunakan selama 12 jam per hari maka dalam 1 hari diperlukan 33,48 kWh dalam 1 hari. Sementara untuk penggunaan *port charger* jika dalam 1 hari digunakan selama 2 jam maka dibutuhkan 1,200 kWh. Sehingga dalam 1 hari dibutuhkan 34,680 kWh jika dijumlahkan dalam 1 bulan (30 hari) maka kebutuhan daya di Curug Sawyer adalah 1040,4 kWh atau 1,04 MWh per bulan, jika dikonversikan ke mata uang rupiah dengan biaya per kWh adalah Rp. 1699,53 maka biaya yang dihemat perbulan adalah Rp. 1.768.680,00 perbulan. Sementara, untuk menghitung biaya balik modal dari pembangunan PLTPH ini maka perlu dihitung biaya investasinya pada Tabel 6.

Dengan biaya awal sebesar Rp. 61.538.000,00 dan keuntungan perbulan sebesar Rp. 1.768.680,00 maka prediksi balik modal adalah pada tahun ke 2,9 semenjak PLTPH

dipasang. Tetapi jika dimasukkan biaya pemeliharaan berupa jasa sebesar Rp. 500.000,00 setiap 6 bulannya maka ekspektasi balik modal akan jatuh pada tahun ke 2 dan 11 bulan semenjak pemasangan. Sehingga dibutuhkan 2 tahun 11 bulan untuk pemasangan PLTPH di Curug Sawer mengalami keuntungan.

Tabel 6. Biaya investasi pembangunan PLTPH Curug Sawer.

Nama Barang	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
Turbin	pcs	1	5.000.000	5.000.000
Generator				
5kW sinkron	pcs	1	6.000.000	6.000.000
Kabel NYY	50 m	80	400.000	32.000.000
Lampu 18 Watt	pcs	135	90.000	13.950.000
Fitting lampu	pcs	135	4.000	540.000
Stop contact	pcs	4	12.000	48.000
Biaya pasang	orang	2	2.000.000	4.000.000
Total				61.538.000

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan berikut hasil kesimpulan dari penelitian potensi Pembangkit Listrik Tenaga Piko-Hidro di daerah wisata Curug Sawer dicantumkan sebagai berikut:

Berdasarkan hasil survei debit potensial yang dapat mengalir turbin *Archimedes Screw* dengan diameter sebesar 0,5 m dan panjang 1,1 m adalah 1,01 m³/s pada keadaan deras,

0,67 m³/s pada keadaan normal dan 0,34 pada keadaan surut. Debit yang dihasilkan dapat berbeda tergantung pada area *Head* yang dipilih, jenis dan besar turbin, penggunaan waduk atau pipa pesat, dalam penelitian ini turbin tidak menggunakan pipa pesat dan waduk sehingga luncuran air langsung diterima dari *Head*.

Daya yang dihasilkan oleh turbin dengan debit rata-rata adalah 4,6 kW dan daya harian sebesar 110,50 kW, dengan hasil sekian anggaran yang dapat dihemat setiap bulannya adalah Rp. 1.768.680,00. Dengan biaya pemasangan awal sebesar Rp. 61.538.000,00 maka proyeksi balik modal dari pemasangan PLTPH Curug Sawer adalah 2 tahun 11 bulan sejak pemasangan PLTPH. Berdasarkan dari hasil simulasi MATLAB Simulink, daya yang dihasilkan oleh generator sangat stabil dan listrik yang dihasilkan merupakan listrik 3 fasa.

DAFTAR PUSTAKA

- Zhukovskiy, Y.L. et al. Fossil energy in the framework of sustainable development: Analysis of prospects and development of forecast scenarios. *Energies*, Vol 14(17). 2021.
- NASA. Global Temperatures, Earth Observatory. Available at: <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures> (Accessed: February 19, 2022).
- Mekonnen, T.W. et al. Assessment of Impacts of Climate Change on Hydropower-Dominated Power System—The Case of Ethiopia. *Applied Sciences*, vol 12(4), p. 1954. 2022.
- Unfccc. Adoption Of The Paris Agreement - Paris Agreement text English.
- Agung Pribadi. Triwulan III 2021: Rasio Elektrifikasi 99,40%, Kapasitas Pembangkit EBT 386 MW. 2021.
- Greacen, C. and Kerins, M. A Guide To Pump-As-Turbine Pico-Hydropower Systems.
- Singh Aidhen, A. and Gaikwad †, P.H. International Journal of Current Engineering and Technology Pump as Turbine with Induction Generators In Pico Hydro For Electrification of High Terrain Areas: A Review. *International Journal of Current Engineering and Technology*. Available at: <http://inpressco.com/category/ijcet>.

Alipan, N. and Yuniarti, N. Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Pico-Hydro Dengan Memanfaatkan Alternator Untuk Membantu Penerangan Jalan Seputaran Kebun Salak. *Jurnal Edukasi Elektro*, vol 2(2). 2018.

Dewatama, D. et al. Design and implementation: Portable Floating Pico-Hydro. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Institute of Physics Publishing. 2020.

Ye, Z., Luoping, P. and Dengfeng, C. Turbine efficiency measurement by thermodynamic test method. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*: Vol 12(4), pp. 261–267. 2019.

Suhardi, S. dan Wrahatnolo, T. Teknik Distribusi Tenaga Listrik untuk Sekolah Menengah Kejuruan Jilid 1. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.