

ANALISIS POTENSI MIKRO HIDRO UNTUK MENUNJANG PARIWISATA BERKELANJUTAN DI DESA LES

Ida Bagus Putra Winaya¹, Fagita Putri Siswanto¹, Nyoman Gede Resa Guna Winangun¹, Nyoman Gunantara², I Wayan Sukerayasa², I Made Arsa Suyadnya²

¹Mahasiswa Program Studi, Fakultas, Universitas

²Dosen Program Studi, Fakultas, Universitas

Alamat Universitas

idabagusputrawinaya@gmail.com, fagitaputri@student.unud.ac.id, gederesa31@gmail.com,
gunantara@unud.ac.id, Sukerayasa@unud.ac.id, arsa.suyadnya@unud.ac.id

ABSTRAK

Desa Les di Kecamatan Tejakula, Kabupaten Buleleng, Bali, memiliki potensi wisata alam yang menarik yaitu Air Terjun Les. Salah satu potensi Air Terjun Les adalah aliran air yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Potensi ini dapat menunjang pariwisata berkelanjutan di Desa Les melalui perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dan nantinya akan dimanfaatkan untuk penerangan di lokasi wisata air terjun. Penelitian ini mencakup pengukuran head, kecepatan aliran air, dan debit air sebagai parameter untuk menentukan jenis kincir air. Selain itu, penelitian ini juga mengukur besar daya yang dihasilkan dan kecepatan putaran kincir air untuk menentukan jenis generator yang sesuai. Dengan adanya penelitian ini membuktikan bahwa dengan potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di daerah wisata Desa Les dapat menghasilkan hingga 0,449 kW dengan tipe kincir air yaitu Undershot dan generator PMG tipe GDF-100.

Kata Kunci : Energi Terbarukan, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), Kincir Air, Potensi Wisata Alam

ABSTRACT

Les Village in Tejakula District, Buleleng Regency, Bali, has appealing natural tourism potential, particularly Les Waterfall. One of the potentials of Les Waterfall is the water flow that can be harnessed as a renewable energy source. This potential can support sustainable tourism in Les Village through the planning of a Micro Hydropower Plant (PLTMH), which will later be used for lighting at the waterfall tourist site. This research involves measuring the head, water flow velocity, and water discharge as parameters to determine the type of waterwheel. Additionally, the study measures the power output and rotational speed of the waterwheel to identify the appropriate generator type. The findings from this research demonstrate that the potential Micro Hydropower Plant in the tourist area of Les Village can generate up to 0.449 kW using an Undershot waterwheel and a PMG type GDF-100 generator.

Keywords: *Renewable Energy, Micro-Hydro Power Plant (PLTMH), Waterwheel, Natural Tourism Potential*

1. PENDAHULUAN

Desa Les adalah sebuah desa wisata yang terletak di Kecamatan Tejakula, Kabupaten Buleleng, Provinsi Bali. Desa Les memiliki beberapa jenis daya tarik wisata alam yang dapat menarik perhatian para wisatawan. Salah satu daya tarik alam yang dapat dijumpai di desa ini adalah Air Terjun Les. Air Terjun Les menyediakan potensi alam yang dapat dimanfaatkan oleh warga desa, baik melalui hasil alamnya maupun pemandangan yang indah. Salah satu potensi yang ada di lokasi tersebut adalah aliran air dari air terjun yang dapat digunakan untuk menyediakan sumber energi listrik untuk penerangan di lokasi wisata Air Terjun Les.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro adalah sebuah pembangkit listrik yang menggunakan energi aliran air sebagai penggerak untuk menghasilkan listrik dalam skala kecil. Aliran air yang dimanfaatkan harus memiliki ketinggian dan kapasitas aliran tertentu. Pemanfaatan aliran air ini kemudian dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro atau PLTMH. Potensi aliran air yang dapat digunakan untuk pembangkit mikrohidro meliputi: saluran irigasi persawahan, air terjun dengan ketinggian tertentu, sungai dengan debit air tertentu, atau bendungan yang dibangun sebagai pengendali banjir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi serta merancang kincir air dan generator yang sesuai untuk PLTMH di lokasi wisata Air Terjun Les.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi

Energi dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan pekerjaan yang dapat berwujud panas, cahaya, mekanik, kimia, atau elektromagnetik. Sumber energi diklasifikasikan menjadi dua jenis. [1]:

1. Energi Tak Terbarukan: energi yang berasal dari sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui dalam waktu singkat.

2. Energi Terbarukan: energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui secara alami dalam waktu singkat.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan sistem pembangkit listrik yang menggunakan aliran air kecil untuk menggerakkan kincir air dan menghasilkan listrik yang ramah terhadap lingkungan karena tidak mengeluarkan emisi karbon. PLTMH biasa digunakan di daerah yang memiliki sungai atau air terjun kecil dan tidak memerlukan waduk besar seperti PLTA. PLTMH memiliki tiga komponen utama yaitu air, kincir air, dan generator. [2]

2.3 Potensi Energi Air PLTMH

Potensi energi dalam aliran air dapat diubah menjadi energi mekanik untuk memutar turbin air, dengan memperhitungkan kecepatan air, debit air, dan tinggi jatuh air (head) untuk menggerakkan generator dan menghasilkan listrik [3]. Berikut merupakan skema umum dari sebuah PLTMH yang pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema Umum PLTMH (Sumber: Widharma, 2021)

Skema PLTMH menggunakan kincir air dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Skema PLTMH Kincir Air

(Sumber: Tampubolon, 2022)

Potensi hidrolik merupakan potensi daya yang dapat dihasilkan oleh aliran air dan dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$P_h = p \times Q \times g \times H \quad (1)$$

Keterangan :

- P_h = Potensi hidrolik (W)
- p = Massa jenis air (1.000 kg/m³)
- Q = Debit air (m³/s)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)
- H = Tinggi jatuh air / head (m) [4]

Untuk menghitung besar daya keluaran (output) kincir dapat menggunakan Persamaan (2):

$$P_{kincir} = \eta_{kincir} \times P_h \quad (2)$$

Keterangan:

- P_{kincir} = Kapasitas daya output kincir (kW)
- η_t = Efisiensi turbin atau kincir (%)
- P_h = Potensi Hidrolik (kW)

2.4 Tinggi Jatuh Air atau Head

Selisih ketinggian antara posisi tertinggi dan terendah air disebut tinggi jatuh air atau head [5]. Pengukuran head dapat dilakukan dengan aplikasi atau perangkat lunak yang mengukur perbedaan ketinggian meter di atas permukaan laut (mdpl) antara dua titik tertentu.

2.5 Debit Air

Pengukuran debit air dapat dilakukan secara langsung atau tidak langsung. Pengukuran langsung, seperti metode *current meter*, *salt gulp*, dan *flood method*, memberikan hasil segera setelah pengukuran. Pengukuran tidak langsung menggunakan Persamaan (3) untuk menghitung debit air:

$$Q = A \times v \quad (3)$$

Keterangan :

- Q = Debit air (m³/s)
- A = Luas penampang (m²)
- v = Kecepatan arus air (m/s) [6]

2.6 Kincir Air

Kincir air adalah perangkat mekanis berbentuk roda dengan sudu-sudu di tepinya, yang digerakkan oleh aliran air dan dipasang dengan poros horizontal. Kincir air

umumnya digunakan dengan tinggi jatuh air antara 0,1 m hingga 12 m dan debit air antara 0,05 m³/s hingga 5 m³/s. [7]

2.6.1 Jenis Kincir Air Berdasarkan Aliran Air Pendorong

Kincir air dapat diklasifikasikan berdasarkan titik di mana air mendorong sudu-sudu kincir. Berikut adalah klasifikasinya. [8]:

1. **Undershot:** Pada tipe ini, air mendorong sudu bagian bawah kincir, berlawanan dengan arah putaran. Tipe undershot cocok untuk *head* 0,5–2,5 meter dan debit 0,5–0,95 m³/s.
2. **Overshot:** Air mendorong sudu bagian atas kincir. Jenis ini paling umum digunakan dengan *head* 2,5–10 meter dan debit 0,1–0,2 m³/s.
3. **Breastshot:** Kincir ini menerima aliran air di bagian tengah sudu, menggabungkan elemen tipe *overshot* dan *undershot*. *Breastshot* digunakan untuk *head* 1,5–4 meter dan debit 0,35–0,65 m³/s.

2.6.2 Spesifikasi Kincir Air

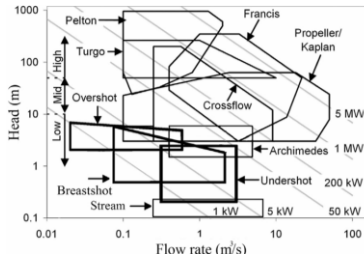
Kincir air memiliki spesifikasi masing-masing yang akan ditunjukkan pada Tabel 1 berikut. [9]

Tabel 1 Spesifikasi Jenis Kincir Air

Spesifikasi	Overshot	Breastshot	Undershot
Ketinggian jatuh air (m)	3 – 12	2 – 5	0,4 – 3,0
Debit air (m ³ /detik)	0,1 – 1,0	0,3 – 3,0	0,2 – 5,0
Diameter Kincir (D _o) (m)	2,5 – 10	5,5 – 8,5	2 – 9
Kecepatan keliling kincir air (U) (m/s)	1,5 – 2,0	1,4 – 2,0	1,0 – 2,0
RPM	3 – 25	3 – 7	2 – 12
Efisiensi Maksimum (%)	25 – 80	20 – 75	20 – 70

2.7 Pemilihan Kincir Air

Pemilihan kincir air untuk PLTMH harus mempertimbangkan tinggi jatuh air (head) dan debit air. Gambar 3 menunjukkan kincir air yang sesuai dengan debit air dan tinggi jatuh air di lapangan.

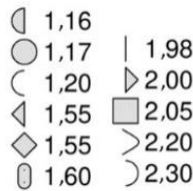


Gambar 3 Pemilihan Jenis Kincir Air (Sumber : Quaranta et al., 2018)

Gambar 3 menjelaskan jenis kincir air yang sesuai dengan head dan debit air untuk menentukan pemilihan kincir air *overshot*, *breastshot*, dan *undershot*. [10]

2.8 Force Drag

Force drag atau gaya hambat adalah gaya yang menentang gerakan objek melalui fluida, seperti udara atau air, akibat interaksi antara permukaan objek dan fluida. Selain itu, terdapat koefisien drag, yaitu nilai tak berdimensi yang menunjukkan besarnya gaya hambat yang dihasilkan oleh objek saat bergerak melalui fluida. Nilai koefisien drag untuk berbagai bentuk geometris dapat dilihat pada Gambar 4. [11]



Gambar 4 Nominal Koefisien Drag (Sumber : Hoerner, 1965)

Untuk menentukan nilai force drag bisa menggunakan Persamaan (4).

$$F_d = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \times C_d \times A \quad (4)$$

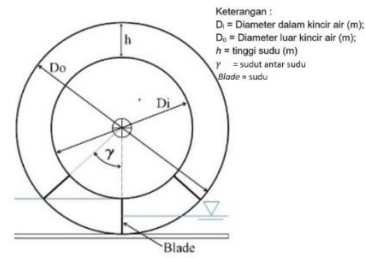
Keterangan :

- F_d = Gaya (N);
- ρ = densitas fluida (kg/m^3);
- v = kecepatan aliran air (m/s);
- A = luas penampang (m^2);
- C_d = koefisien drag.

2.9 Tinggi Sudu Kincir Air (h)

Tinggi sudu kincir air (*blade height*) merupakan salah satu parameter penting dalam desain dan efisiensi kincir air karena sudu mempengaruhi kemampuan kincir air

untuk menangkap energi kinetik dari air yang mengalir. [11]. Parameter perhitungan kincir air dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Desain Parameter Kincir Air (Sumber : Warjito et al., 2018)

Dalam menghitung tinggi sudu kincir air dapat menggunakan Persamaan (5).

$$h = \frac{\frac{1}{3} \times D_o}{2} \quad (5)$$

Keterangan:

- h = tinggi sudu (m);
- D_o = Diameter luar kincir air (m) [12]

2.10 Penentuan Diameter Dalam (D_i) Kincir Air

Diameter dalam kincir air dapat dihitung menggunakan Persamaan (6).

$$D_i = D_o - 2h \quad (6)$$

Keterangan :

- D_i = Diameter dalam kincir air (m);
- D_o = Diameter luar kincir air (m);
- h = tinggi sudu (m) [12]

2.11 Jumlah Sudu dan Sudut Antar Sudu Kincir Air (γ)

Jumlah sudu kincir air dan sudut antar sudu mempengaruhi kinerja dan efisiensi konversi energi. Sudut yang tepat dapat memastikan aliran air mengenai sudu dengan optimal untuk menghasilkan tenaga maksimal. Untuk menghitung sudut antar sudu dan jumlah sudu dapat menggunakan Persamaan (7) dan Persamaan (8).

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{\frac{D_o}{2} - h}{\frac{D_o}{2}} \right) \quad (7)$$

Keterangan :

- γ = Sudut antar sudu ($^\circ$)
- D_o = Diameter luar kincir air (m)
- h = Tinggi sudu (m).

$$Z = \frac{360^\circ}{\gamma} \quad (8)$$

Keterangan :

- Z = Jumlah sudu

γ = Sudut antar sudu ($^{\circ}$). [12]

2.12 Torsi

Torsi adalah ukuran dari kekuatan yang menyebabkan objek untuk berputar. Dalam konteks fisika dan mekanika, torsi (atau momen gaya) adalah hasil dari gaya yang bekerja pada suatu objek pada jarak tertentu dari titik poros atau sumbu rotasi. [12]. Untuk menghitung torsi dapat menggunakan Persamaan (9).

$$T = F_d \times r \quad (9)$$

Keterangan :

T = Torsi (Nm);

F_d = Gaya (N);

r = jari-jari kincir (m)

2.13 Kecepatan Keliling Kincir Air (U)

Kecepatan keliling kincir adalah kecepatan di mana titik pada tepi kincir bergerak sepanjang jalur melingkarnya yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air. Penentuan kecepatan keliling ini juga mempertimbangkan sudut (α) sudu kincir. Kecepatan keliling kincir dapat dihitung menggunakan Persamaan (10).

$$U = \frac{v \times \cos(\alpha)}{2} \quad (10)$$

Keterangan :

U = kecepatan keliling kincir (m/s);

v = Kecepatan aliran air (m/s);

α = sudut sudu [13]

2.14 Putaran Kincir Air (n)

Putaran kincir air merujuk pada gerakan rotasi atau perputaran dari bilah-bilah kincir yang disebabkan oleh aliran air yang mengalir atau jatuh pada bilah-bilah tersebut. Dalam menghitung putaran kincir air bisa menggunakan Persamaan (11).

$$n = \frac{60 \times U}{\pi \times D_o} \quad (11)$$

Keterangan :

n = putaran kincir air (rpm);

U = Kecepatan keliling kincir air (m/s);

D_o = Diameter luar kincir air (m);

π = 3,14 [13]

2.15 Kecepatan Sudut (ω)

Kecepatan sudut kincir air mengukur seberapa cepat kincir berputar di sekitar sumbunya, menggambarkan laju perubahan sudut rotasi per satuan waktu, dan biasanya dinyatakan dalam radian per detik (rad/s). Kecepatan sudut dapat dihitung menggunakan Persamaan (12) jika rpm diketahui. [2]

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} \quad (12)$$

Keterangan :

ω = kecepatan sudut (rad/s);

n = putaran kincir air (rpm);

π = 3,14

2.16 Besar Daya Kincir Air

Besar daya kincir air adalah ukuran dari energi yang dihasilkan oleh kincir air. Menghitung besar daya yang dihasilkan kincir air bisa menggunakan besar torsi, kecepatan sudut dari kincir air, dan efisiensi kincir air dengan Persamaan (13).

$$P = T \times \omega \times \eta_{kincir\ air} \quad (13)$$

Keterangan :

P = Besar daya (Watt);

T = Torsi (Nm);

ω = kecepatan sudut (rad/s);

$\eta_{kincir\ air}$ = Efisiensi kincir air. [6]

2.17 Generator

Generator merupakan mesin pengubah energi gerak atau mekanik menjadi energi listrik [14]. Generator AC 3 fasa merupakan salah satu jenis generator AC yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan menggunakan tiga fase yang terpisah 120 derajat satu sama lain, salah satu contoh generator AC adalah generator magnet permanen (PMG) seperti Gambar 6.



Gambar 6 PMG Model GDF-100
(Sumber: Qingdao Greef New Energy Equipment Co., Ltd, 2018)

PMG sering digunakan dalam aplikasi energi terbarukan seperti kincir air,

dimana kelebihan utama dari generator ini adalah desainnya yang lebih sederhana dan efisiensinya yang lebih tinggi, terutama pada kecepatan rendah. Ini membuatnya sangat cocok untuk aplikasi mikrohidro yang menggunakan kincir air, di mana kecepatan rotasi baling-baling tidak terlalu tinggi .

Perhitungan besar *output* daya generator dapat menggunakan Persamaan (14).

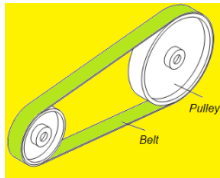
$$P_{generator} = \eta_{generator} \times P \quad (14)$$

Keterangan :

- $P_{generator}$ = Daya generator (kW)
- $\eta_{generator}$ = Efisiensi generator
- P = Besar Daya (kW) [6]

2.18 Transmisi Pulley dan Sabuk

Pulley dan sabuk seperti Gambar pada kincir air berfungsi sebagai komponen yang mentransmisikan energi mekanik yang dihasilkan oleh putaran kincir air ke mesin atau generator.



Gambar 7 Skema Pulley dan Sabuk
(Sumber: Peter R. N. Childs, 2014, *Mechanical Design Engineering Handbook*)

Dalam menentukan perbandingan pulley yang nanti akan digunakan bisa menggunakan Persamaan (15).

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad (15)$$

Keterangan :

- n_1 = Putaran kincir (*rpm*)
- n_2 = Putaran generator (*rpm*)
- D_2 = Diameter pulley yang digerakkan (*cm*)
- D_1 = Diameter pulley penggerak (*cm*) [16]

Untuk menghitung panjang sabuk yang nanti akan digunakan pada pulley bisa menggunakan Persamaan (16).

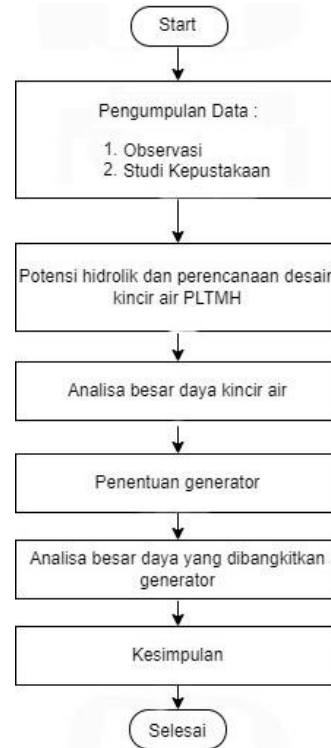
$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D_2 + D_1) + \frac{1}{4C}(D_2 + D_1) \quad (16)$$

Keterangan :

- L = Panjang keliling sabuk (*cm*)
- C = Jarak antara poros (*cm*)
- D_2 = Diameter pulley yang digerakkan (*cm*)
- D_1 = Diameter pulley penggerak (*cm*). [16]

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di daerah Wisata Air Terjun Desa Les, Kabupaten Buleleng. Waktu pelaksanaan dimulai dari bulan Februari sampai Juni 2024. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 8 :



Gambar 8 Diagram Alir Penelitian

Berikut penjelasan pada Gambar 8 :

Langkah 1. Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data, dengan metode observasi dan studi kepustakaan. Metode observasi merupakan cara pengumpulan data dengan melakukan pengamatan serta pengukuran alat secara langsung ke objek penelitian, misal pada penelitian ini pengambilan data *head* menggunakan pengukuran meter diatas permukaan laut (*mdpl*) menggunakan aplikasi *myaltitude*, data debit air diukur menggunakan *current meter method* menggunakan alat *flowmeter* FL-03. Pengumpulan data melalui studi kepustakaan merupakan metode yang difokuskan pada pencarian data dan informasi melalui berbagai dokumen, termasuk tulisan, foto, gambar, dan

dokumen elektronik, yang dapat mendukung kelengkapan penelitian.

Langkah 2. Potensi hidrolik dan perencanaan desain kincir air PLTMH

Potensi hidrolik dan perencanaan desain kincir air dimulai dengan melakukan perhitungan besar potensi hidrolik, lalu jenis kincir air yang akan digunakan berdasarkan data debit dan *head*, lalu menentukan spesifikasi kincir air mulai dari ukuran diameter luar dan dalam; bentuk, tinggi, dan jumlah sudu kincir air.

Langkah 3. Analisa besar daya kincir air

Analisa besar daya kincir air dilakukan dengan menghitung besar gaya, menentukan besar torsi, besar kecepatan keliling kincir air, besar putaran kincir air, kecepatan sudut kincir air dan besar daya kincir air.

Langkah 4. Penentuan generator

Penentuan atau pemilihan generator sebagai pengubah energi mekanik menjadi energi listrik nantinya dilakukan berdasarkan perhitungan besar daya kincir yang dihasilkan dan besar putaran kincir air

Langkah 5. Analisa besar daya yang dibangkitkan generator

Analisa besar daya yang dibangkitkan generator ditentukan oleh dua parameter yaitu besar nilai efektif generator yang telah ditentukan dan besar daya kincir yang dihasilkan.

Langkah 6. Penarikan kesimpulan

Berdasarkan langkah kelima maka dapat dilakukan penarikan kesimpulan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Potensi hidrolik dan perencanaan desain kincir air PLTMH

Konsep dan perencanaan yang digunakan pada desain kincir air memerlukan beberapa tahapan yang digunakan sebagai acuan.

4.1.1 Pengukuran *head* dan debit air

Pengukuran Head pada lokasi penelitian menggunakan aplikasi *Myaltitude* dan mendapatkan hasil sebesar 1,37 meter. Saluran air memiliki luas penampang aliran air sebesar $0,05 \text{ m}^2$. Hasil pengukuran tertera pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Uji Debit Air Pada Lokasi Penelitian.

No	Tanggal	Kecepatan Aliran Air (m/s)	Luas Penampang (m ²)	Debit Air (m ³ /s)
1	21/10/2023	3,2	0,05	0,160
2	11/11/2023	3,4		0,170
3	26/12/2023	3,0		0,150
4	09/01/2024	3,5		0,175
5	14/02/2024	3,0		0,150
6	23/03/2024	3,1		0,155
7	12/06/2024	3,3		0,165

Peneliti menggunakan kecepatan air 3,0 m/s untuk memastikan daya minimum yang dapat dihasilkan. Selanjutnya didapat debit air dengan menggunakan Persamaan (3)

$$Q = 0,05 \times 3 = 0,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sehingga didapat debit air sebesar 0,15 m³/s.

4.1.2 Potensi hidrolik

Dalam menghitung potensi hidrolik yang dimana merupakan potensi daya yang dihasilkan oleh aliran air dapat menggunakan Persamaan (1).

$$P_h = 1000 \times 0,15 \times 9,8 \times 1,37 = 2.013,9 \text{ Watt}$$

Didapat potensi hidrolik aliran air di lokasi penelitian sebesar 2013,9 Watt.

Nilai besar daya keluaran (*output*) kincir dapat menggunakan Persamaan (2). Dengan asumsi efisiensi kincir 70% maka,

$$P_{kincir} = 70\% \times 2013,9 = 1.409,73 \text{ Watt}$$

Didapat potensi keluaran daya kincir sebesar 1.409,73 W atau 1,4 kW.

4.1.3 Pemilihan jenis kincir air

Dalam Pemilihan jenis kincir air terdapat beberapa aspek yang diperhatikan selain *head* dan juga debit air. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3. Dengan menggunakan kecepatan air minimal 3 m/s, debit sebesar $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan head 1,37 m, maka akan digunakan kincir air dengan tipe *undershot*.

4.1.4 Perancangan kincir air PLTMH

Kincir dengan tipe *undershot* ini bekerja dengan aliran air mendorong sudu bagian bawah kincir. Ketiga jenis kincir air memiliki spesifikasi masing-masing seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

4.1.5 Penentuan diameter luar (D_o)

Berdasarkan pada Tabel 1, kincir air dengan tipe *Undershot* memiliki ukuran diameter luar mulai dari 2 meter sampai 9 meter, sehingga digunakan diameter luar yang paling kecil dengan ukuran 2 meter untuk mengetahui minimal potensi yang bisa dihasilkan.

4.1.6 Tinggi sudu (h)

Dalam menentukan tinggi sudu dapat menggunakan Persamaan (5):

$$h = \frac{\frac{1}{3} \times 2}{2} = 0,3 \text{ m}$$

Sehingga untuk tinggi sudu kincir air prototipe sebesar 0,3 m.

4.1.7 Diameter dalam (D_1)

Dalam menentukan diameter dalam kincir air kita bisa menggunakan Persamaan (6) maka,

$$D_1 = 2 - (2 \times 0,3) = 1,4 \text{ m}$$

Sehingga untuk diameter dalam didapat sebesar 1,4 m.

4.1.8 Jumlah sudu (Z) dan sudut antar sudu (γ)

Merujuk Gambar 5, dalam menentukan jumlah sudu (Z) dan sudut antar sudu bisa menggunakan Persamaan (7) dan (8) maka,

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{\frac{2}{2} - 0,3}{\frac{2}{2}} \right) = \cos^{-1}(0,7) = 45,57^\circ$$

Didapat sudut antar sudu sebesar $45,57^\circ$ dibulatkan menjadi 45° .

$$Z = \frac{360^\circ}{45^\circ} = 8$$

Sehingga jumlah sudu yang digunakan sebanyak 8 sudu.

4.2 Analisa besar daya kincir

Pada perhitungan besar daya (P) yang dibangkitkan perlu menghitung besar gaya (F_d) dengan nominal C_d bisa dilihat pada Gambar 4 lalu disesuaikan dengan bentuk sudu kincir air yang akan digunakan. Selanjutnya menghitung torsi (T), kecepatan sudut (ω), dan besar daya (P).

4.2.1 Besar Gaya (F_d)

Untuk mencari nilai besar gaya, diperlukan data seperti berikut:

$$A = 0,05 \text{ m}^2$$

$$v = 3,0 \text{ m/s}$$

$$D_o = 2 \text{ m}; r = 1 \text{ m}$$

$$C_d = 2,3$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Nilai besar gaya dapat dihitung menggunakan Persamaan (4) maka,

$$F_d = \frac{1}{2} \times 1000 \times 3^2 \times 2,3 \times 0,05 = 517,5 \text{ N}$$

Sehingga didapat gaya sebesar 517,5 N

4.2.2 Torsi (T)

Mencari nilai torsi dapat menggunakan Persamaan (9) maka,

$$T = 517,5 \times 1 = 517,5 \text{ Nm}$$

Sehingga didapat hasil perhitungan torsi sebesar 517,5 Nm

4.2.3 Kecepatan keliling kincir (U)

Untuk mencari nilai kecepatan keliling kincir menggunakan Persamaan (10). Dengan desain sudut sudu (α) yang akan dibuat sebesar 25° maka,

$$U = \frac{v \times \cos(\alpha)}{2} = \frac{3 \times \cos(25^\circ)}{2} = \frac{3 \times 0,906}{2}$$

$$U = 1,36 \text{ m/s}$$

Sehingga didapat hasil perhitungan kecepatan keliling kincir sebesar 1,36 m/s.

4.2.4 Putaran kincir air (n)

Mencari nilai dari putaran kincir air dapat menggunakan Persamaan (11) maka,

$$n = \frac{60 \times U}{\pi \times D_o} = \frac{60 \times 1,36}{3,14 \times 2} = 12,9 \text{ rpm}$$

Sehingga didapat hasil perhitungan putaran kincir air sebesar 12,9 rpm.

4.2.5 Kecepatan sudut (ω)

Dalam mencari kecepatan sudut dapat menggunakan Persamaan (12) maka,

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} = \frac{2 \times 3,14 \times 12,9}{60} = 1,35 \text{ rad/s}$$

Sehingga didapat nilai kecepatan sudut sebesar 1,35 rad/s.

4.2.6 Besar Daya (P)

Untuk mencari besar daya yang dihasilkan oleh kincir air dapat menggunakan Persamaan (13). Dengan asumsi efisiensi kincir air jenis *undershot* sebesar 70 % maka,

$$\begin{aligned}
 P &= T \times \omega \times \eta_{\text{kincir air}} \\
 &= 517,5 \times 1,35 \times 70\% \\
 &= 489 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapat besar daya yang dihasilkan sebesar 489 W atau 0,489 kW.

4.3 Penentuan generator

PLTMH membutuhkan generator dengan rate daya sesuai dengan perhitungan besar daya yang dibangkitkan oleh kincir air sebelumnya yaitu sebesar 0,489 kW dan *low rpm* mengingat hasil perhitungan putaran kincir air. Berdasarkan parameter tersebut dapat digunakan generator PMG tipe GDF-100 seperti pada Gambar 6. Untuk spesifikasi GDF-100 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Spesifikasi Generator

Spesifikasi Generator GDF-100	
Model	GDF-100
Output	5 kW
Voltage	400 V
Current	16,9 A
Power Factor	0,8
Speed	200 rpm
Dimensi	60 cm x 70 cm x 80 cm
Weight	128 kg
Efisiensi	92 %

4.4 Analisa besar daya yang dihasilkan generator

Dalam menentukan besar daya yang akan dibangkitkan oleh generator dapat menggunakan Persamaan (14). Dengan efisiensi generator yang telah ditentukan 92% maka,

$$P_{\text{generator}} = 92 \% \times 0,489 = 0,449 \text{ kW}$$

Sehingga daya yang akan dibangkitkan oleh generator sebesar 0,449 kW.

4.5 Pulley dan Sabuk

Dalam menentukan diameter pulley yang digunakan pada PLTMH bisa menggunakan Persamaan (15) maka,

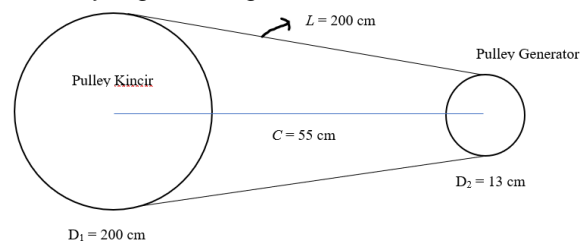
$$\frac{13}{200} = \frac{D_2}{D_1}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapat rasio diameter *pulley* sebesar 200:13.

Dalam menentukan panjang sabuk dengan menggunakan Persamaan (16). Asumsikan panjang antar poros diameter sebesar 50 cm maka,

$$\begin{aligned}
 L &= 2 \times 50 + \frac{3,14}{2} (13 + 200) + \frac{1}{4 \times 50} (13 + 200) \\
 &= 435 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, panjang sabuk diketahui sebesar 435 cm atau 4350 mm. Karena ketersediaan sabuk di pasaran, dipilih panjang sabuk yang mendekati, yaitu 4500 mm dan panjang poros menjadi 55 cm. Berikut Gambar 9 adalah skema pulley dan sabuk yang akan digunakan



Gambar 9 Skema Pulley dan Sabuk

4.6 Potensi dan Spesifikasi Akhir PLTMH

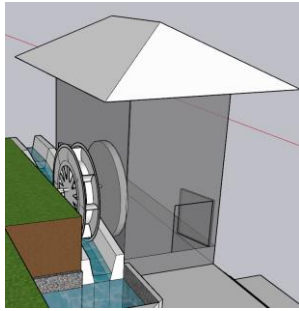
Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan maka didapat potensi serta spesifikasi PLTMH yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Potensi dan Spesifikasi Akhir PLTMH

Spesifikasi dan Potensi	Keterangan
Head	1,37 m
Debit	0,150 m ³ /s
Potensi hidrolik (P _h)	2 kW
Jenis kincir	<i>Undershoot Water Wheel</i>
Tinggi sudu kincir	0,3 m
Lebar sudu	0,28 m
Jumlah sudu	8
Jari-jari kincir	1 m
Diameter luar kincir	2 m
Diameter dalam kincir	1,4 m
Gaya (F _d)	517,5 N
Torsi	517,5 Nm
Kecepatan keliling kincir (U)	1,36 m/s
Putaran kincir air (n)	12,9 RPM
Kecepatan sudut (ω)	1,35 rad/s
Besar daya (P)	0,517 kW
Generator	200 rpm, 5 kW
Daya keluaran generator	0,489 kW
Diameter <i>pulley</i> penggerak	200 cm
Diameter <i>pulley</i> yang digerakkan	13 cm
Jarak antar poros <i>pulley</i>	55 cm
Panjang sabuk	4500 mm

4.7 Ilustrasi Penempatan Kincir Air Pada Lokasi Penelitian

Ilustrasi penempatan kincir air dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Ilustrasi Penempatan Kincir Air

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan saluran perairan dengan luas penampang $0,05 \text{ m}^2$, kecepatan aliran air paling minimum sebesar 3 m/s dan debit sebesar $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ maka didapat kincir air yang digunakan untuk PLTMH di Daerah Wisata Air Terjun Desa Les berjenis *undershot waterwheel* dengan potensi hidrolis aliran air $2013,9 \text{ watt}$ atau 2 kW dan daya output keluaran kincir sebesar $1,4 \text{ kW}$.
2. Berdasarkan spesifikasi desain kincir air yang telah ditentukan, analisa besar daya yang dihasilkan oleh kincir air sebesar 489 atau $0,489 \text{ kW}$, dengan efisiensi generator yang telah ditentukan sebesar 92% maka total besar daya yang dibangkitkan oleh generator PLTMH sebesar $0,449 \text{ kW}$.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 Tentang Energi*. 2007.
- [2] M. F. Hasyim, "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dengan Pemanfaatan Potensi Air Di Wonosalam". Skripsi 2017.
- [3]. Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (2005). *Mekanika Fluida Jilid 2* (Keempat ed.). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [4] A. Taufiqurrahman and J. Windarta, "Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi

Air di Indonesia," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 3, pp. 124–132. 2020.

- [5] A. Nugroho, H. I. Yusuf, and K. H. Kwee, "Evaluasi pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) kapasitas 40 kVA Desa Rirang Jati Kecamatan Nanga Taman Kabupaten Sekadau," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10. 2016.
- [6] I. Komang Ogik Parmana Putra, I. Ayu Dwi Giriantari, and I. Nyoman Setiawan, "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro pada Saluran Irigasi Desa Angantaka Abiansemal Badung.," *J. SPEKTRUM*, vol. 10, no. 1, pp. 1–10. 2023.
- [7] W. Paryatmo, *Turbin Air*. 2007.
- [8] D. Zulfikar, "Perencanaan PLTMH Tipe Kincir Air Di Kecamatan Pasrujame Kabupaten Lumajang, ". Skripsi. Universitas Brawijaya. 2013.
- [9] Asral and M. Rizwan, "Studi Eksperimental Kinerja Kincir Air (Water Wheel) Undershot Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air Pada Aliran Irigasi," *Jom FTEKNIK*, vol. 5, pp. 1–5. 2012.
- [10] E. Quaranta and R. Revelli, "Gravity water wheels as a micro hydropower energy source: A review based on historic data, design methods, efficiencies and modern optimizations," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 97, no. November 2017, pp. 414–427. 2018
- [11] V. L. Streeter and E. B. Wylie, *Fluid mechanics (seventh ed.)*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc. 2011.
- [12] Warjito, D. Adanta, S. A. Arifianto, S. B. Nasution, and Budiarmo, "Effect of Blades Number on Undershot Waterwheel Performance with Variable Inlet Velocity," *Proc. - 2018 4th Int. Conf. Sci. Technol. ICST*. 2018
- [13] N. Buku, A., Tangaran, B., Tiyouw, H. C. P., & Tolan, "Unjuk Kerja Kincir Air Undershot Sebagai Pembangkit Listrik Minihidro di Lembang Patolongan," *Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 6, no. 1, pp. 179–184. 2021.
- [14] D. G. Dorrell, "Permanent magnet

- generators for renewable energy devices with wide speed range and pulsating power delivery,” *Int. J. Comput. Appl. Technol.*, vol. 36, no. 2, pp. 77–82. 2009
- [15] Qingdao Greef New Energy Equipment Co., Ltd, no. August. 2018.
- [16] D. A. Virgunia, M. Derren, G. Irmin, and M. Leba, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PILTMH) Yeh Ha Di Desa Ababi, Kabupaten Karangasem Sebagai Catu Daya Pompa Air,” Universitas Udayana, 2024.