

# STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DI SUNGAI YEH DIKIS BANJAR LEBAH KABUPATEN TABANAN

Wahyudi Ernest Putra<sup>1</sup>, I Wayan Sukerayasa<sup>2</sup>, Ida Ayu Dwi Giriantari<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2,3</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit, Jl.Raya Kampus Unud Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali 80361

Email : [wahyudhii.putra@gmail.com](mailto:wahyudhii.putra@gmail.com)

## ABSTRAK

Energi terbarukan harus dikembangkan mengingat semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil dan ketidakstabilan harga bahan bakar fosil. Pengembangan dan implementasi sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan perlu mendapatkan perhatian serius. Perhitungan IESR pada tahun 2019 mengatakan bahwa Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Bali mencapai 15 MW. Penelitian ini dilakukan karena adanya head dan aliran air yang cukup sebagai potensi untuk dijadikan PLTMH disungai Yeh Dikis. Tujuan dari penelitian ini untuk mengidentifikasi potensi daya listrik yang dapat dihasilkan di lokasi penelitian yakni sungai Yeh Dikis Banjar Lebah Kabupaten Tabanan, dan menentukan jenis turbin yang akan digunakan. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah observasi dan studi literatur. Hasil pengukuran dan perhitungan yang dilakukan, potensi debit yang tersedia adalah 0.381 m<sup>3</sup>/s dengan Tinggi jatuh (*head*) sebesar 8,2 m. Turbin *crossflow* cocok digunakan pada perancangan PLTMH sungai ini. Potensi daya yang bisa dihasilkan dengan efisiensi turbin 0,75 dan asumsi efisiensi generator 0,9 adalah sebesar 15,516 kW.

**Kata kunci** : PLTMH, Debit, *Head*, Daya, Sungai Yeh Dikis

## ABSTRACT

*Renewable energy must be developed considering the depletion of fossil fuel reserves and the instability of fossil fuel prices. The development and implementation of environmentally friendly renewable energy sources needs serious attention. IESR's calculations in 2019 said that the potential for Micro hydro power plants (PLTMH) in Bali reached 15 MW. This research was conducted due to the presence of sufficient head and water flow as a potential to be PLTMH on the Yeh Dikis river. The purpose of this study is to identify the potential for electrical power that can be generated at the research location on the Yeh Dikis River, Banjar Lebah, Tabanan Regency, and determine the type of turbine to be used. The method used in this research is observation and literature study. The results of measurements and calculations performed, the available discharge potential is 0.381 m<sup>3</sup>/s and head fall is 8.2 m. The crossflow turbine is a viable option for implementing in the design of this PLTMH system on the Yeh Dikis river. The potential power that can be generated with a turbine efficiency of 0.75 and an assumption of a generator efficiency of 0.9 is 15.516 kW.*

**Key Words** : PLTMH, current, head, power, Yeh Dikis river.

## 1. PENDAHULUAN

Energi terbarukan yang didefinisikan dalam UU No 30 tahun 2007 tentang energi, merujuk pada jenis energi yang diperoleh dari sumber-sumber terbarukan seperti panas bumi, angin, bioenergi, sinar

matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut. Dalam penggunaannya, energi terbarukan mengandalkan sumber energi yang ramah lingkungan, tidak menyebabkan polusi, serta tidak berkontribusi terhadap perubahan iklim

dan pemanasan global. Energi ini diperoleh melalui sumber-sumber alam yang berkelanjutan, seperti pemanfaatan sinar matahari, angin, air, biofuel, dan panas bumi [1]. Pengembangan energi terbarukan perlu diprioritaskan mengingat semakin berkurangnya stok bahan bakar fosil dan fluktuasi harga yang tidak stabil pada bahan bakar fosil. Pemanfaatan energi baru dan terbarukan menjadi solusi dalam memenuhi kebutuhan listrik yang semakin meningkat di daerah pedesaan, termasuk diantaranya adalah memanfaatkan sumber energi air untuk dijadikan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) [2].

Pemerintah Indonesia telah menegaskan komitmennya untuk mengurangi emisi secara mandiri sebesar 29% dan dengan dukungan internasional sebesar 41% pada tahun 2030. Salah satu langkah yang diambil adalah meningkatkan penggunaan sumber energi terbarukan hingga mencapai 23% dari total konsumsi energi nasional pada tahun 2025 [3]. Peraturan Gubernur Bali Nomor 45 Tahun 2019 juga mengatur Tentang Energi Bersih. Pasal 9 menjelaskan tentang upaya penyediaan dan pemanfaatan energi bersih dari sumber Energi Terbarukan, seperti penggunaan aliran atau air terjun, dan dijelaskan dalam Pasal 4 ayat (2) huruf b upaya tersebut meliputi pembangunan Tenaga Air yang dimanfaatkan dari aliran air permukaan, seperti aliran/terjunan air atau sarana irigasi [4]. Bali tidak memiliki sumber daya energi konvensional internal, sehingga semua bahan bakar fosil yang digunakan di pulau ini harus didatangkan dari luar. Namun demikian, Bali memiliki potensi sumber daya terbarukan yang beragam yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik. Sumber daya terbarukan yang tersedia di pulau ini meliputi mikrohidro, tenaga angin, energi matahari, biomassa, dan panas bumi. Berbagai pembangkit pembangkit terbarukan di Bali telah dikembangkan dengan total kapasitas sekitar 7 MW yang mewakili sekitar 1% dari sistem tenaga Bali. Nilai tersebut masih rendah mengingat kebutuhan tenaga listrik di Bali yang terus

meningkat. Untuk alasan ini, penting untuk melakukan penelitian-penelitian yang dapat membantu mempercepat pencapaian target energi terbarukan pada tahun 2025 di Bali [5].

Potensi energi air di Bali memang terbatas dalam kapasitas yang signifikan karena pulau ini tidak memiliki sungai-sungai besar sebagaimana yang ditemukan di pulau-pulau lain di Indonesia. Pemanfaatan PLTMH sangat tepat di Bali, mengingat pulau ini memiliki banyak sumber energi air dengan kapasitas yang relatif kecil dan tersebar. Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Bali diperkirakan mencapai 15 MW menurut perhitungan IESR pada tahun 2019 [6].

Penulis mengusulkan penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) sebagai model energi terbarukan di Sungai Yeh Dikis, Kabupaten Tabanan, Bali. PLTMH adalah jenis pembangkit listrik berukuran kecil yang mengandalkan tenaga air sebagai sumber penggerak turbin. Sumber air yang biasa digunakan meliputi sungai, saluran irigasi, atau air terjun alam dengan memanfaatkan ketinggian aliran air (*head*) dan debit air yang tersedia. Secara teknis, PLTMH terdiri dari tiga komponen utama, yaitu air (sebagai sumber energi), turbin, dan generator [7]. Penelitian ini dilakukan karena adanya head dan aliran air yang cukup sebagai potensi untuk dijadikan PLTMH disungai Yeh Dikis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi Sungai Yeh Dikis di Banjar Lebah, Kabupaten Tabanan sebagai lokasi potensial untuk pengembangan PLTMH, dan kemudian memilih jenis turbin yang bisa digunakan. Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi adanya potensi sungai Yeh Dikis untuk dibangun PLTMH, sehingga bisa memberikan peluang kepada masyarakat sekitar berupa kebutuhan listrik.

## **2. TEORI**

### **2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)**

PLTMH merupakan jenis pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air

sebagai sumber penggeraknya, seperti saluran irigasi, sungai, atau air terjun alam. Prinsip kerjanya adalah dengan memanfaatkan tinggi jatuh air (*head*), dalam meter) dan debit air (m<sup>3</sup>/detik) yang tersedia. Semakin tinggi ketinggian jatuh air, semakin besar tekanan hidrostatik yang dapat diubah menjadi energi listrik, seperti yang dijelaskan dalam persamaan berikut: [8]

$$p = \rho \times g \times h \quad (1)$$

Keterangan:

$p$  = Tekanan hidrostatik

$\rho$  = Massa jenis air (1.000 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = Percepatan gravitasi dipermukaan bumi (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$h$  = Tinggi jatuh air (*head*)

Kinerja pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) sangat ditentukan oleh tiga faktor utama, yaitu debit air, tinggi jatuh air, dan efisiensi. Dari kombinasi ketiga faktor tersebut, dapat dihitung potensi sungai dalam hal pembangunan PLTMH dan daya keluaran yang dapat dihasilkan (7):

$$P = Q \times h \times 9,8 \times \eta_T \times \eta_G \quad (2)$$

Keterangan:

$P$  = Daya yang di bangkitkan (kilowatt)

$Q$  = Debit air (m<sup>3</sup>/detik)

$h$  = Tinggi jatuh air (m)

$\eta_T$  = Efisiensi turbin

$\eta_G$  = Efisiensi generator

9,8 = konstanta gravitasi bumi (m/detik)

## 2.2 Debit Air

Debit air adalah kuantitas volume cairan yang mengalir melalui suatu penampang dalam interval waktu tertentu. Biasanya, pengukuran debit aliran sungai dilakukan dengan menghitung kecepatan rata-rata aliran pada bagian tertentu dari penampang, dan dikalikan luas penampang tersebut. Untuk menghitung nilai debit air, dapat digunakan persamaan berikut: [8]

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

Keterangan:

$Q$  = Debit Aliran ( m<sup>3</sup>/s ).

$A$  = Luas penampang sungai ( m<sup>2</sup> ).

$v$  = Kecepatan aliran air ( m/s ).

## 2.3 Analisis Hidrologi

Perencanaan PLTMH harus melibatkan analisis yang mencakup Daerah Aliran Sungai (DAS), iklim, dan cuaca. Faktor-faktor ini digunakan sebagai data awal untuk menganalisis curah hujan, evapotranspirasi, debit andalan, serta kurva durasi debit selama beberapa tahun [11].

### 2.3.1 Curah Hujan

Curah hujan merujuk pada jumlah air yang turun ke permukaan tanah datar dalam jangka waktu tertentu, diukur dalam satuan tinggi milimeter (mm) di atas permukaan datar. Terdapat tiga kategori curah hujan berdasarkan jumlahnya dalam satu bulan, yaitu bulan kering biasanya merujuk pada bulan dengan curah hujan di bawah 60 mm, bulan lembab merujuk pada bulan dengan curah hujan antara 60 hingga 100 mm, dan bulan basah merujuk pada bulan dengan curah hujan di atas 100 mm [10].

### 2.3.2 Debit Andalan

Debit andalan merujuk pada jumlah debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air dengan mempertimbangkan risiko kegagalan yang telah dihitung. Dalam studi potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), perhitungan debit andalan dilakukan menggunakan metode simulasi perimbangan air yang dikembangkan oleh Dr. F.J. Mock. Data meteorologi yang digunakan untuk menghitung debit andalan mencakup curah hujan bulanan dan data curah hujan harian. Selain itu, data klimatologi seperti kecepatan angin, kelembapan udara, suhu udara, dan penyinaran matahari digunakan untuk menghitung evapotranspirasi potensial (Eto) dengan menggunakan metode Penman Modifikasi, menggunakan persamaan \: [11]

$$ETo = c[W \times Rn + (1 - W) \times f(u) \times (ea - ed)] \quad (4)$$

Keterangan:

$Rn$  = Radiasi bersih gelombang panjang

$W$  = Faktor penimbang suhu dan elevasi daerah.

$f(u)$  = Fungsi kecepatan angin.

$ed$  = Tekanan uap aktual.

$ea$  = Tekanan uap jenuh

### 2.3.3 Analisis Flow Duration Curve

Analisis FDC merupakan metode grafis yang menggambarkan hubungan antara nilai suatu variabel dengan frekuensi kemunculannya. FDC memberikan informasi penting tentang debit aliran yang melewati suatu lokasi dalam rentang waktu tertentu, yang sangat berguna dalam merancang struktur PLTMH yang sesuai. Probabilitas debit air pada setiap persentase waktu dihitung dengan memakai persamaan berikut ini : [12]

$$P = 100\% \left[ \frac{X+1}{Y} \right] \quad (5)$$

Keterangan:

P = Probabilitas debit air

X = Posisi rangking data debit

Y = Total data

## 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di sungai Yeh Dikis, banjar Lebah Kota Tabanan pada bulan April hingga Juli 2022. Tahapan penelitian ini diawali dengan studi literatur dan survei lokasi untuk mempelajari topik permasalahan dan menentukan lokasi perencanaan pembangunan PLTMH. Data yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan data primer yang diperoleh melalui pengukuran langsung debit air dan tinggi jatuh air (*head*). Data sekunder, seperti data curah hujan dan data iklim, digunakan sebagai sumber informasi untuk melakukan analisis hidrologi. Alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai panduan visual.

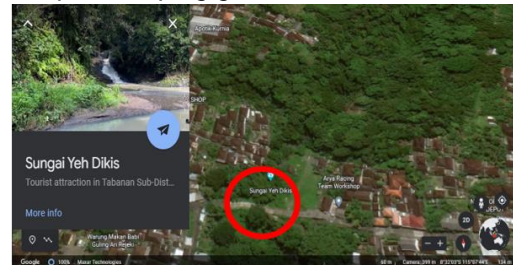


Gambar 1. Diagram alir penelitian

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Profil Sungai Yeh Dikis

Sungai Yeh Dikis terletak di Banjar Lebah Kabupaten Tabanan tepatnya pada koordinat 008° 33' 04" S - 115° 07' 40" E. Letak sungai yang dekat dengan pusat kota Tabanan ini berpotensi menjadikannya sebagai tempat wisata, baik wisata kuliner ataupun *camping ground*.

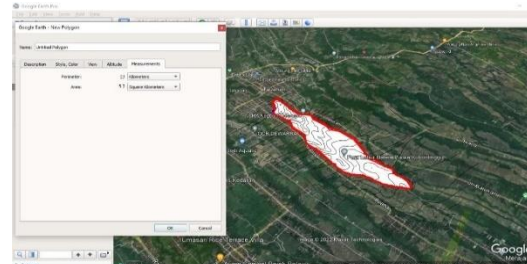


Gambar 2. Lokasi Sungai Yeh Dikis Banjar Lebah, Kabupaten Tabanan, Bali

### 4.2 Analisis Hidrologi

#### 4.2.1 Penentuan Catchment Area (Daerah Tangkapan Air)

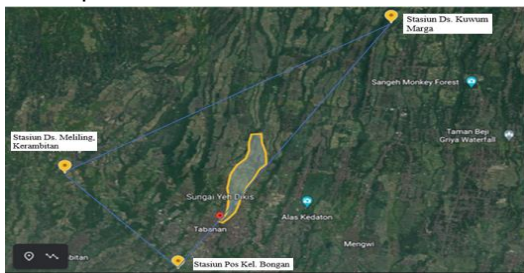
Lokasi catchment area gambar 4.2, terletak pada koordinat 8° 30' 47,73" S - 115° 08' 13,16" E dengan elevasi 174 m. Perhitungan luas catchment area dilakukan dengan menggunakan *google earth pro*. Penentuan luas *Catchment Area* dilakukan dengan mencari data elevasi/ketinggian, kemudian data tersebut dikonversi kedalam bentuk *digital elevation model* (DEM). Data DEM digunakan untuk memberikan gambaran topografi tiga dimensi dari permukaan tanah. Data DEM tersebut akan dikonversikan kembali kedalam elevasi untuk menunjukkan garis-garis kontur yang merupakan dasar untuk melihat pembatas topografi (punggung bukit). Skala peta yang digunakan untuk menghitung luas *catchment area* 1:5.000, dan diperoleh luas sebesar 5,2 km<sup>2</sup>.



Gambar 3. Gambar *Catchment Area* (Daerah Tangkapan Air)

**4.2.2 Penentuan Curah Hujan Kawasan**

Untuk mencari nilai curah hujan di daerah penelitian, dalam analisis hidrologi, dilakukan penentuan hujan kawasan terlebih dahulu dengan metode *Poligon Thiessen*. Metode ini melibatkan pembentukan daerah yang dipengaruhi oleh stasiun curah hujan dengan menggambarkan garis-garis tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua stasiun curah hujan terdekat. Gambar berikut menunjukkan lokasi stasiun-stasiun curah hujan yang berhubungan dengan lokasi penelitian.

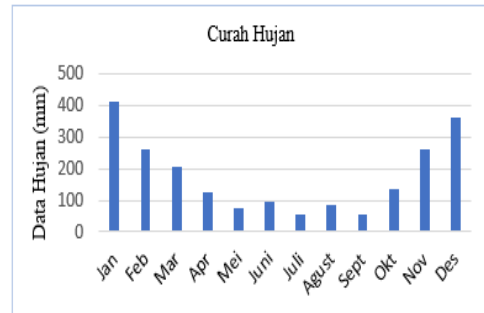


**Gambar 4.** Letak Stasiun Pengukur Curah Hujan Terhadap Lokasi Penelitian

Gambar 4 menunjukkan bahwa catchment area atau daerah tangkapan air sungai Yeh Dikis tidak memiliki stasiun pengukur curah hujan, sehingga penggunaan metode *Poligon Thiessen* untuk menghitung rata-rata curah hujan tidak bisa digunakan. Data Curah hujan untuk analisa hidrologi menggunakan data hujan dari lokasi pengamatan/stasiun Pos Bongan yang terletak pada koordinat 008° 33' 05" S - 115° 05' 48" E [14]. Pemilihan stasiun ini dikarenakan stasiun bongan merupakan stasiun pengukur curah terdekat dengan sungai yaitu berjarak 2,5 km. Data rata-rata curah hujan setiap bulan yang digunakan dari tahun 2012 hingga 2021 pada Table 1.

**Tabel 1.** Rata-rata Curah Hujan (2012-2021)

TAHUN	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Jumlah
2012	424	217	202	39	78	6	36	6	3	49	33	328	1419
2013	633	167	92	128	29	37	121	12	8	-	310	442	1978
2014	288	142	98	139	57	-	36	5	-	-	77	435	1277
2015	368	207	218	123	60	9	25	2	-	1	41	200	1254
2016	184	239	94	106	108	244	128	178	249	161	290	471	2452
2017	282	430	207	180	168	57	131	10	-	481	526	638	3110
2018	416	400	189	107	-	356	22	174	22	-	440	351	2477
2019	478	154	302	180	20	8	18	4	12	-	127	113	1415
2020	201	190	246	214	163	186	35	35	91	507	231	189	2288
2021	869	468	411	63	61	36	16	418	188	141	520	426	3617
<b>Rata-Rata</b>	414	261	206	128	74	94	57	84	57	134	260	359	2129
<b>Max</b>	869	468	411	214	168	356	131	418	249	507	526	638	3617
<b>Min</b>	184	142	92	39	0	0	16	2	0	0	33	113	1254



**Gambar 5.** Grafik Rata-rata Curah Hujan (2012-2021) Stasiun Bongan

Berdasarkan data yang tertera pada Tabel 2 dan Gambar 5, dapat dilihat bahwa dalam periode 10 tahun terakhir, rata-rata curah hujan tahunan adalah 2128,55 mm/tahun. Curah hujan tertinggi tercatat pada tahun 2021 dengan jumlah 3617 mm/tahun. Berdasarkan klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson curah hujan rata-rata di Pos Bongan merupakan bulan basah (>100 mm).

**4.2.3 Analisis Evapotranspirasi**

Analisis Nilai evapotranspirasi dilakukan untuk menghitung ketersediaan air setelah hujan yang disebabkan oleh penguapan. Untuk menghitung evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>) digunakan persamaan 4:

$$ET_o = c[W \times R_n + (1 - W) \times f(u) \times (ea - ed)]$$

Berikut adalah perhitungan nilai evapotranspirasi potensial untuk bulan Januari 2012:

**Langkah 1**

Langkah pertama adalah dengan menghitung nilai tekanan uap jenuh (ea), factor penimpang suhu, dan fungsi suhu yang tertera pada Tabel 2:

**Tabel 2.** Hubungan Suhu (T), Tekanan Uap Jenuh (ea), Factor Penimbang Suhu (W), dan Fungsi Suhu f (T)

Suhu (T)	ea (mbar)	W (m)	f(T)
25	31,70	0,74	15,70
26	33,60	0,75	15,90
27	35,70	0,76	16,10
28	37,80	0,77	16,30
29	40,40	0,78	16,50
30	42,40	0,78	16,70

Tekanan uap jenuh (ea)

$$T = 27\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow ea = 35,70\text{ mbar}$$

$$T = 28\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow ea = 37,80\text{ mbar}$$

$$T=27,2\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow ea=35,70 + \frac{(37,80 - 35,70)}{(28 - 27)} (27,2 - 27) = 36,12\text{ mbar}$$

Faktor penimbang suhu (W)

$$T = 27\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow W = 0,76$$

$$T = 28\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow W = 0,77$$

$$T = 27,2\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow W = 0,76 + \frac{(0,77 - 0,76)}{(28 - 27)} (27,2 - 27) = 0,762\text{ m}$$

Fungsi suhu f(T)

$$T = 27\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow f(T) = 16,10\text{ mbar}$$

$$T = 28\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow f(T) = 16,30\text{ mbar}$$

$$T=27,2\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow f(T) = 16,10 + \frac{(16,30 - 16,10)}{(28 - 27)} (27,2 - 27) = 16,14$$

**Langkah 2**

Menghitung nilai tekanan uap aktual (ed) menggunakan persamaan berikut:

$$ed = ea \times RH = 36,12\text{ mbar} \times 88\% = 31,785\text{ mbar}$$

Perbedaan antara tekanan uap jenuh dan tekanan uap aktual:

$$(ea - ed) = 36,12 - 31,785 = 4,33\text{ mbar}$$

Fungsi tekanan uap aktual, f(ed)

$$f(ed) = 0,34 - 0,044 \sqrt{ed} = 0,092$$

**Langkah 3**

Menghitung Radiasi yang sampai ke lapisan atmosfer matahari (Ra) dalam mm/hari. Nilai radiasi ini berkaitan dengan letak wilayah penelitian. Nilai Ra untuk wilayah penelitian 8° 40' 37" LS pada bulan Januari 2012 adalah Ra = 16,10 mm/hari. Tabel 3 menunjukkan nilai Ra setiap bulan pada letak lintang 8° LS :

**Tabel 3.** Hubungan Letak Lintang dengan Radiasi Terhadap Wilayah di Indonesia

Bulan	Letak Lintang 8° LS (mm/hari)
Januari	16,10
Februari	16,10
Maret	15,50
April	14,40
Mei	13,10
Juni	12,40
Juli	12,70
Agustus	13,70
September	14,90
Oktober	15,80

November	16,00
Desember	16,00

Radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi (Rs), dengan albedo atau presentasi radiasi yang dipantulkan α= 0,25 :

$$R_s = (0,25 + 0,5 \times n/N)R_a$$

$$R_s = (0,25 + 0,5 \times 44\%) \times 16,10$$

$$R_s = 7,567\text{ mm/hari}$$

Fungsi penyinaran matahari f (n/N)

$$f(n/N) = 0,1 + (0,9 + n/N)$$

$$= 0,1 + (0,9 \times 0,44)$$

$$= 0,496$$

**Langkah 4**

Fungsi kecepatan angin, f(u)

$$f(u) = 0,27 (1 + u 0,864), \text{ u pada bulan januari 2021 } = 3,09\text{ m/s}$$

$$f(u) = 0,991$$

**Langkah 5**

Radiasi bersih matahari gelombang panjang (Rn1)

$$R_{n1} = f(T) \times f(ed) \times f\left(\frac{n}{N}\right) = 16,14 \times 0,092 \times 0,496 = 0,736\text{ mm/hari}$$

Radiasi bersih matahari gelombang pendek (Rns), dengan albedo α= 0,25

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s = (1 - 0,25)7,567 = 5,675\text{ mm/hari}$$

Radiasi bersih matahari (Rn)

$$R_n = R_{ns} - R_{n1} = 5,675 - 0,7356 = 4,939\text{ mm/hari}$$

**Langkah 6**

Evapotranspirasi (ETo), Asumsi faktor koreksi (c) = 1,1

$$ET_o = c[W \times R_n + (1 - W) \times f(u) \times (ea - ed)] = 1,1 [0,762 \times 4,939 + 0,238 \times 0,991 \times 4,33] = 5,264\text{ mm/hari}$$

Jadi besar evapotranspirasi (ETo) bulan januari 2012 adalah 5,264 × 31 hari = 163,84 mm/ bulan.

**4.2.4 Analisis Debit Andalan**

Analisis debit andalan ini menggunakan metode F.J. Mock dengan tujuan untuk mengetahui besarnya debit yang mengalir ke daerah aliran sungai Yeh Dikis. Berikut merupakan salah satu perhitungan debit andalan pada bulan

Januari 2012. Adapun langkah – langkah mencari debit andalan dengan metode F.J. Mock adalah [13]:

- Curah hujan bulanan (R) = 424 mm/bulan
- Jumlah hari hujan (n) = 18 hari
- Evapotranspirasi potensial (Eto) = 163,184 mm/bulan
- Permukaan lahan terbuka (m) = 30 %

### Langkah 1

Menghitung Evapotranspirasi aktual (Ea)

$$\frac{E_{To}}{E_a} = \left(\frac{m}{20}\right) \times (18 - n)$$

$$= \left(\frac{30}{20}\right) \times (18 - 18) = 0\%$$

Evapotranspirasi terbatas (Ee)

$$E_e = \frac{E_{To}}{E_a} \times R = 0\% \times 424 \text{ mm/bln}$$

Evapotranspirasi aktual (Ea)

$$E_a = E_{To} - E_e = 163,184 - 0$$

$$= 163,184 \text{ mm/bln}$$

### Langkah 2

Menghitung kelebihan air WS

$$WS = \text{Keseimbangan air } (\Delta S)$$

$$- \text{Kandungan air tanah } (SS)$$

Keseimbangan air ( $\Delta S$ )

$$\Delta S = R - E_a = 424 - 163,184$$

$$= 260,816 \text{ mm/bln}$$

Limpasan badai (PF)

$$\Delta S > 0, PF = 0$$

$$\Delta S < 0, PF = 0,05 \times R$$

$$PF = 0$$

Kandungan air tanah (SS)

$$R > E_a, SS = 0$$

$$R < E_a, SS = \Delta S - PF$$

$$SS = 0$$

Jadi, Kelebihan air (WS)

$$WS = \Delta S - SS = 260,816 - 0$$

$$= 260,816 \text{ mm/bln}$$

### Langkah 3

Mencari limpasan dan penyimpangan air, digunakan faktor infiltrasi (i) dengan nilai 0,4, yang diambil sebagai nilai tengah antara 0,3 untuk musim basah dan 0,5 untuk musim kemarau. Sedangkan faktor resesi air tanah (k) menggunakan nilai 0,6, yang diambil sebagai nilai tengah antara 0,4 dan 0,7.

Asumsi yang digunakan adalah  $V_{n-1} = 100$  mm [11].

Infiltrasi

$$I = i \times WS$$

$$= 0,4 \times 260,816 = 104,326 \text{ mm/bln}$$

Volume Air Tanah (G)

$$G = 0,5 \times (1 + k) \times I$$

$$= 0,5 \times (1 + 0,6) \times 104,326$$

$$= 83,46 \text{ mm/bln}$$

Penyimpanan volume air tanah (L)

$$L = k \times (V_{n-1}) \rightarrow V_{n-1} = 100$$

$$= 0,6 \times 100 = 60 \text{ mm/bln}$$

Total volume penyimpanan air tanah ( $V_n$ )

$$V_n = G + L$$

$$= 83,46 + 60 = 143,46 \text{ mm/bln}$$

Perubahan Volume aliran dalam tanah ( $\Delta V_n$ )

$$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$$

$$= 143,46 - 100 = 43,46 \text{ mm/bln}$$

Aliran dasar (BF)

$$BF = I - \Delta V_n$$

$$= 104,326 - 43,46 = 60,866 \text{ mm/bln}$$

Aliran atau limpasan langsung (DR)

$$DR = WS - I + PF$$

$$= 260,816 - 104,326 + 0$$

$$= 156,49 \text{ mm/bln}$$

Total Limpasan

$$TR = BF + DR$$

$$TR = 60,866 + 156,49 = 217,356 \text{ mm/bln}$$

Debit andalan (Q), dimana N= jumlah hari dalam satu bulan dan A adalah luas daerah tangkapan air.

$$Q = \frac{TR \times A}{N} = \frac{217,356 \times 5,2 \times 1000}{31 \times 24 \times 60 \times 60} = 0,436 \text{ m}^3/\text{s}$$

Jadi besar debit bulan januari 2012 sebesar 1,502 m<sup>3</sup>/s. Perhitungan debit andalan untuk bulan-bulan lainnya dilakukan dengan mengulangi metode ini.

Debit andalan sungai ditentukan dengan mengurutkan nilai debit bulanan sungai yang telah dihitung menggunakan metode analisis hidrologi frekuensi dari yang terbesar sampai yang terkecil. Selanjutnya, hitung peluang atau tingkat keandalan debit tersebut bisa terjadi, berdasarkan probabilitas kejadian menggunakan persamaan (5):

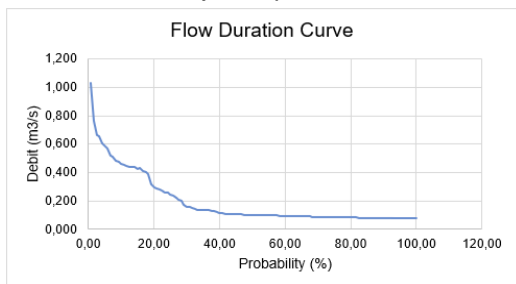
$$\text{Probability} = \left[ \frac{X + 1}{Y} \right] \times 100\%$$

Tabel 4 merupakan nilai probabilitas debit andalan selama sepuluh tahun terakhir.

Tabel 4. Probabilitas debit andalan

No	Debit m <sup>3</sup> /s	Prob (%)	No	Debit m <sup>3</sup> /s	Prob (%)	No	Debit m <sup>3</sup> /s	Prob (%)
1	1,034	0,83	41	0,136	34,17	81	0,090	67,50
2	0,766	1,67	42	0,136	35,00	82	0,088	68,33
3	0,662	2,50	43	0,134	35,83	83	0,087	69,17
4	0,657	3,33	44	0,134	36,67	84	0,087	70,00
5	0,607	4,17	45	0,130	37,50	85	0,086	70,83
6	0,594	5,00	46	0,130	38,33	86	0,086	71,67
7	0,568	5,83	47	0,121	39,17	87	0,086	72,50
8	0,517	6,67	48	0,116	40,00	88	0,086	73,33
9	0,515	7,50	49	0,114	40,83	89	0,086	74,17
10	0,484	8,33	50	0,111	41,67	90	0,086	75,00
11	0,474	9,17	51	0,108	42,50	91	0,086	75,83
12	0,464	10,00	52	0,107	43,33	92	0,085	76,67
13	0,452	10,83	53	0,107	44,17	93	0,084	77,50
14	0,450	11,67	54	0,106	45,00	94	0,084	78,33
15	0,443	12,50	55	0,106	45,83	95	0,084	79,17
16	0,442	13,33	56	0,104	46,67	96	0,084	80,00
17	0,441	14,17	57	0,104	47,50	97	0,083	80,83
18	0,422	15,00	58	0,104	48,33	98	0,083	81,67
19	0,435	15,83	59	0,102	49,17	99	0,082	82,50
20	0,407	16,67	60	0,102	50,00	100	0,082	83,33
21	0,405	17,50	61	0,102	50,83	101	0,082	84,17
22	0,390	18,33	62	0,102	51,67	102	0,082	85,00
23	0,319	19,17	63	0,101	52,50	103	0,082	85,83
24	0,298	20,00	64	0,101	53,33	104	0,082	86,67
25	0,286	20,83	65	0,099	54,17	105	0,081	87,50
26	0,280	21,67	66	0,098	55,00	106	0,081	88,33
27	0,275	22,50	67	0,098	55,83	107	0,081	89,17
28	0,261	23,33	68	0,098	56,67	108	0,081	90,00
29	0,258	24,17	69	0,097	57,50	109	0,081	90,83
30	0,249	25,00	70	0,097	58,33	110	0,081	91,67
31	0,238	25,83	71	0,096	59,17	111	0,080	92,50
32	0,226	26,67	72	0,096	60,00	112	0,080	93,33
33	0,212	27,50	73	0,096	60,83	113	0,080	94,17
34	0,202	28,33	74	0,093	61,67	114	0,080	95,00
35	0,174	29,17	75	0,093	62,50	115	0,080	95,83
36	0,161	30,00	76	0,093	63,33	116	0,080	96,67
37	0,159	30,83	77	0,091	64,17	117	0,080	97,50
38	0,149	31,67	78	0,091	65,00	118	0,080	98,33
39	0,141	32,50	79	0,090	65,83	119	0,080	99,17
40	0,138	33,33	80	0,090	66,67	120	0,080	100,00

Penentuan debit andalan atau debit perencanaan yang diharapkan selalu tersedia di sungai, biasanya menggunakan nilai debit dengan nilai probabilitas 100 % untuk perencanaan PLTMH. Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai debit 0,080 m<sup>3</sup>/s merupakan debit andalan dari sungai ini. Grafik FDC ditunjukkan pada Gambar 6:



Gambar 6. Grafik FDC Debit Andalan

### 4.3 Hasil Pengukuran

#### 4.3.1 Luas Penampang Sungai

Perhitungan luas penampang melintang sungai Yeh Dikis dengan cara

mengukur kedalaman sungai setiap 10 cm, kemudian luas antara setiap kedalaman dijumlahkan untuk mengetahui luas total penampang sungainya. Hasil dari pengukuran luas penampang sungai Yeh Dikis ditunjukkan pada Tabel.

Tabel 5 Luas Penampang Sungai Yeh Dikis

Hari	Luas Penampang
Rabu (13/04/22)	1,514 m <sup>2</sup>
Sabtu (7/05/22)	1,479 m <sup>2</sup>
Sabtu (2/07/22)	1,420 m <sup>2</sup>
Sabtu (23/07/22)	1,273 m <sup>2</sup>

#### 4.3.2 Kecepatan Aliran Air

Kecepatan aliran air digunakan untuk menghitung besar debit air yang mengalir pada penampang melintang sungai. Pengukuran ini dilakukan dengan dua metode, pertama menggunakan pelampung yang dihanyutkan sejauh 2 meter dengan waktu tempuh yang dihitung menggunakan stopwatch, dan yang kedua menggunakan flowatch. Tabel 6 menunjukkan hasil pengukuran kecepatan aliran sungai Yeh Dikis:

Tabel 6. Hasil Perhitungan Kecepatan Rata-rata Menggunakan Metode Pelampung

Hari	Waktu Tempuh Pelampung dalam Dua Meter Setiap Sisi (s)				Kecepatan (m/s)	Kecepatan Rata-rata
	Kiri	Tengah	Kanan	Rata-rata		
Rabu (13/04/22)	4,18	5,4	4,82	4,80	0,416	0,398
	4,52	5,82	4,72	5,02	0,398	
	4,95	5,6	5,05	5,20	0,384	
	4,8	5,05	5,00	4,95	0,404	
	4,72	5,78	4,80	5,10	0,392	
Sabtu (7/05/22)	4,98	5,86	5,18	5,34	0,374	0,387
	4,13	6,32	5,00	5,15	0,388	
	4,98	5,32	4,25	5,10	0,392	
	4,50	5,04	4,71	4,75	0,421	
	4,06	5,2	4,25	4,50	0,444	
Sabtu (2/07/22)	4,4	6,5	5,36	5,42	0,369	0,348
	5,15	7,1	6,05	6,10	0,327	
	6,09	7,16	5,11	6,12	0,326	
	4,95	7,9	4,55	5,80	0,344	
	4,2	6,3	5,4	5,30	0,377	
Sabtu (23/07/22)	5,79	7,92	6,93	6,88	0,290	0,315
	6,26	8,84	6,65	7,25	0,276	
	5,02	6,5	5,64	5,72	0,350	
	4,8	5,58	6,02	5,50	0,364	
	5,52	6,8	5,44	5,92	0,338	

Pengukuran keempat dilakukan dengan menggunakan flowatch untuk mengukur kecepatan aliran air seperti yang terlihat pada Gambar 7. Pengukuran kecepatan aliran air menggunakan flowatch dengan spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.



Tabel 7. Spesifikasi Flowatch FL-03

Kecepatan maksimum	150 km/jam
Sensitivitas minimum	< 3 km/jam - < 1 m/s
Diameter	Ø 60 mm
Ketelitian	±2 FS
Suhu operasi	-50° - 100°

Pengukuran kecepatan aliran air menggunakan *flowatch* dilakukan pada tiga titik melintang sungai yaitu di bagian kiri, tengah, dan kanan aliran sungai. Pengukuran dilakukan dengan mencelupkan *water impeller* selama 2 menit kedalam aliran air sungai seperti pada gambar berikut.



Gambar 7. Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran Menggunakan *Flowatch*

Tabel 8. Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran Menggunakan *Flowatch* Pada Hari Sabtu (23/07/22)

Lokasi	Kecepatan (m/s)
Kiri	0,3
Tengah	0,3
Kanan	0,3
Rata-rata	0,3

#### 4.3.3 Debit Air

Data penunjang dalam menghitung debit air yakni kecepatan aliran air dan luas penampang melintang sudah didapatkan, berikutnya secara sistematis perhitungan debit air menggunakan persamaan 3 :

$$Q = v \times A$$

Tabel 9 merupakan hasil perhitungan debit sungai Yeh Dikis yang kemudian akan digunakan untuk menghitung potensi hidrolik dan potensi daya yang bisa dibangkitkan PLTMH.

Table 9 Data Debit Air

Hari	Luas Penampang A (m <sup>2</sup> )	Kecepatan Aliran Air v (m/s)	Debit Q (m <sup>3</sup> /s)
Rabu (13/04/22)	1,514	0,398	0,602
Sabtu (7/05/22)	1,479	0,387	0,572
Sabtu (2/07/22)	1,420	0,348	0,494
Sabtu (23/07/22)	1,273	0,300	0,381

Debit air 0.381 m<sup>3</sup>/s dipilih sebagai debit acuan untuk perhitungan selanjutnya, agar potensi energi dapat terserap maksimal ketika musim basah, dan saat musim kering turbin masih dapat bekerja optimal. Perbedaan nilai data debit air pada pengukuran langsung dengan data debit andalan menggunakan curah hujan, disebabkan karena pada perhitungan debit andalan menggunakan data klimatologi (Temperatur, Kecepatan angin, Lama penyinaran) dari stasiun BMKG Geofisika Sanglah. Penggunaan data klimatologi tersebut dikarenakan daerah tabanan tidak memiliki stasiun BMKG, data klimatologi yang ada hanya data curah hujan dari stasiun curah hujan Bongan yang berjarak 2 km dari lokasi penelitian.

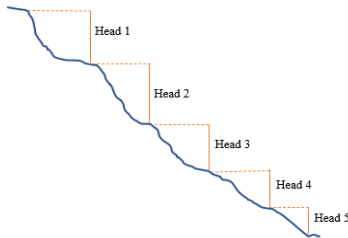
#### 4.3.4 Pengukuran Head

Pengukuran *head* atau tinggi jatuh air dilakukan dengan menggunakan metode selang plastik.



Gambar 8 Pengukuran Tinggi Head Menggunakan Metode Selang Plastik

Gambar 8 merupakan salah satu proses pengukuran dilapangan dengan menggunakan metode selang plastik. Kondisi lapangan yang tidak memungkinkan dilakukan satu kali pengukuran karena keterbatasan selang plastik, maka dilakukan lima kali pengukuran. Ketinggian didapatkan dengan mencari selisih tinggi air yang ada pada kedua ujung selang.



Gambar 9 Topografi Tanah pada Tinngi Jatuh Air (*head*)

Gambar 9 merupakan bentuk topografi tanah di lokasi sungai Yeh Dikis yang dijadikan sebagai *head*. Pengukuran dilakukan sebanyak lima kali, dan kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan *head* total seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10.

Table 10. Data Pengukuran Head

Pengukuran	$h_1$ (m)	$h_2$ (m)	$h = h_1 - h_2$ (m)
Head 1	2,15	0,15	2,0
Head 2	2,40	0,10	2,3
Head 3	1,90	0,20	1,7
Head 4	1,60	0,10	1,5
Head 5	1,05	0,35	0,7
h Total			8,2

#### 4.4 Perhitungan Potensi Daya Hidrolik

Perhitungan potensi hidrolik dilakukan dengan menggunakan persamaan 1:

$$P_h = \rho \times g \times Q \times h$$

Perhitungan potensi hidrolik sungai Yeh Dikis dengan menggunakan data debit dan *head* yang sudah didapatkan sebelumnya adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran pertama dilakukan pada hari Rabu, tanggal 13 April 2022:

$$P_h = 9,8 \frac{m}{s^2} \times \frac{0,602 m^3}{s} \times 8,2m$$

$$P_h = 48,37 \text{ kW}$$

2. Pengukuran kedua dilakukan pada hari Sabtu, tanggal 7 Mei 2022:

$$P_h = 9,8 \frac{m}{s^2} \times \frac{0,572 m^3}{s} \times 8,2m$$

$$P_h = 45,96 \text{ kW}$$

3. Pengukuran ketiga dilakukan pada hari Sabtu, tanggal 2 Juli 2022:

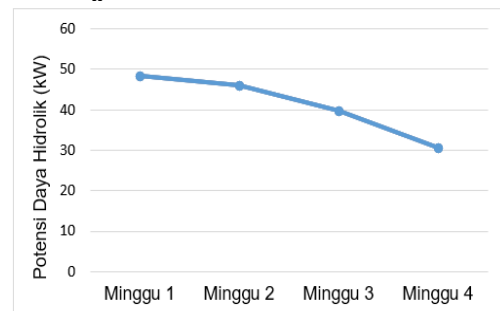
$$P_h = 9,8 \frac{m}{s^2} \times \frac{0,494 m^3}{s} \times 8,2m$$

$$P_h = 39,96 \text{ kW}$$

4. Pengukuran keempat dilakukan pada hari Sabtu, tanggal 2 Juli 2022:

$$P_h = 9,8 \frac{m}{s^2} \times \frac{0,381 m^3}{s} \times 8,2m$$

$$P_h = 30,62 \text{ kW}$$



Gambar 10 Grafik Potensi Daya Hidrolik

Gambar 10 menunjukkan grafik potensi daya hidrolik sungai Yeh Dikis pada empat kali pengukuran. Besar potensi daya hidrolik yang didapat tidak konstan, hal ini disebabkan oleh curah hujan yang berbeda di setiap minggunya. Daya Hidrolik pada pengukuran minggu 1 menunjukkan nilai yang paling besar yaitu 48,37 kW. Sedangkan minggu 4 menunjukkan nilai daya hidrolik yang paling kecil yaitu 30,62 kW. Daya hidrolik yang paling kecil ini digunakan sebagai acuan untuk perhitungan perancangan selanjutnya sehingga turbin masih dapat bekerja optimal ketika musim basah, dan saat musim kering.

#### 4.5 Perhitungan Potensi Daya yang Dibangkitkan

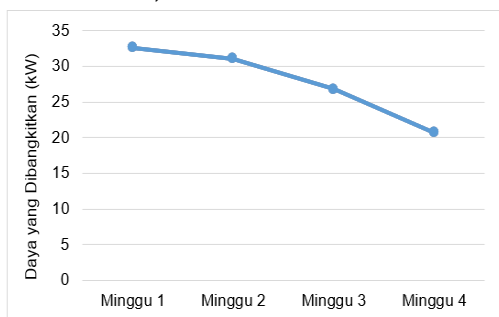
Daya yang akan dihasilkan dipengaruhi juga oleh efisiensi turbin dan generator. Penelitian lanjutan dalam skripsi "Analisis Pengaruh Variasi Debit Air Terhadap Kecepatan Putaran Turbin

Crossflow pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Di Sungai Yeh Dikis Banjar Lebah Kabupaten Tabanan” oleh Naila Afliyah Kartono diperoleh efisiensi turbin sebesar  $\eta_T = 0,75$ . Efisiensi generator diperoleh dari penelitian lanjutan yang dilakukan oleh Sahabat Nazara sebesar  $\eta_G = 0,9$ . Oleh karena itu daya yang bisa dibangkitkan dapat dihitung dengan persamaan 2 :

$$P = P_h \times \eta_T \times \eta_G$$

Perhitungan daya yang bisa dibangkitkan pada sungai Yeh Dikis dengan menggunakan data debit, *head*, dan efisiensi yang sudah didapatkan sebelumnya adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran pertama dilakukan pada hari Rabu, tanggal 13 April 2022:  
 $P = 48,37 \text{ kW} \times 0,75 \times 0,90$   
 $P = 32,65 \text{ kW}$
2. Pengukuran kedua dilakukan pada hari Sabtu, tanggal 7 Mei 2022:  
 $P = 45,96 \text{ kW} \times 0,75 \times 0,90$   
 $P = 31,02 \text{ kW}$
3. Pengukuran ketiga dilakukan pada hari Sabtu, tanggal 2 Juli 2022:  
 $P = 39,69 \text{ kW} \times 0,75 \times 0,90$   
 $P = 26,79 \text{ kW}$
4. Pengukuran ketiga dilakukan pada hari Sabtu, tanggal 2 Juli 2022:  
 $P = 30,62 \text{ kW} \times 0,75 \times 0,90$   
 $P = 20,67 \text{ kW}$



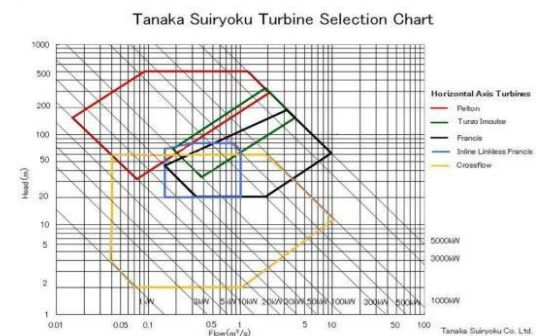
Gambar 11 Grafik Potensi Daya

Gambar 11 menunjukkan grafik potensi daya sungai Yeh Dikis. Besar daya yang dibangkitkan lebih kecil dibandingkan dengan daya hidrolik, karena adanya nilai efisiensi turbin dan generator. Besarnya daya yang dibangkitkan juga tidak konstan karena adanya perbedaan curah hujan

pada empat kali pengukuran, sehingga menyebabkan perbedaan nilai debit sebagai salah satu parameter daya PLTMH.

#### 4.6 Pemilihan Turbin

Pemilihan bergantung erat dengan tinggi jatuh air (*head*) dan debit air. Tinggi jatuh air yang di dapatkan dari hasil pengukuran adalah sebesar 8,2 m dan debit air sebesar 0,831 m<sup>3</sup>/s. Pemilihan debit air untuk menentukan jenis turbin menggunakan nilai debit yang paling kecil, hal ini dimaksud supaya PLTM ini bisa bekerja disaat debit minimum. Berikut merupakan grafik karakteristik turbin air:



Gambar 12 Grafik Karakteristik Turbin Air

Mengacu pada grafik karakteristik turbin air diatas maka turbin *crossflow* merupakan turbin yang cocok diaplikasikan pada sungai Yeh Dikis. Nilai *head* dan debit sebesar 8,2 m dan 0,381 m<sup>3</sup>/s memenuhi kriteria turbin *crossflow* yakni batas  $2 < h < 50$  (m) dan batas debit  $0,05 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan maka dapat disimpulkan:

1. Sungai Yeh Dikis memiliki potensi yang cukup besar untuk dijadikan PLTMH, hal ini bisa dilihat dari adanya debit dan *head* pada sungai ini. Dari empat kali pengukuran didapatkan debit berturut-turut sebesar 0.602 m<sup>3</sup>/s, 0.572 m<sup>3</sup>/s, 0.494 m<sup>3</sup>/s, 0.381 m<sup>3</sup>/s, sedangkan *head* nya sebesar 8,2 m. Variasi debit ini dipengaruhi oleh jumlah hari hujan dalam 1 minggu sebelum dilakukan penelitian. Dari data di atas dipilih debit desain

sebesar  $0.381 \text{ m}^3/\text{s}$ , agar potensi energi dapat terserap maksimal ketika musim basah, dan saat musim, kering turbin masih dapat bekerja optimal.

2. Debit desain yang dipilih adalah debit yang terkecil yaitu  $0.381 \text{ m}^3/\text{s}$ , agar potensi energi dapat terserap maksimal ketika musim basah, dan saat musim, kering turbin masih dapat bekerja optimal. Sehingga potensi daya yang bisa dibangkitkan adalah sebesar 17,147 kW.
3. Turbin yang cocok digunakan pada perancangan PLTMH sungai Yeh Dikis adalah turbin *crossflow*. Turbin ini dipilih karena nilai debit dan head sungai Yeh Dikis memenuhi kriteria turbin *crossflow* yakni batas head  $2 < h < 50$  (m) dan batas debit  $0,05 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Sekretariat Negara. 2007. UU Republik Indonesia nomor 30 tahun 2007 Tentang Energi. Jakarta: Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 96.
- [2] I.K.O.P. Putra, I.A.D. Giriantari, I.N. Setiawan. 2022. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro pada Saluran Irigasi Desa Angantaka Abiansemal Badung. Jurnal SPEKTRUM Vol. 10, No. 1 Maret 2023.
- [3] Pemerintah Republik Indonesia. 2014. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) No. 79 Tahun 2014. Jakarta.
- [4] PERGUB Bali. 2019. Nomor 45 Tahun 2019 Tentang Bali Energi Bersih. Denpasar.
- [5] I. N. S. Kumara, W. G. Ariastina, I. W. Sukerayasa and I. A. D. Giriantari, "On the potential and progress of renewable electricity generation in Bali," 2014 6th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), Yogyakarta, Indonesia, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICITEED.2014.7007944.
- [6] IESR. 2019. Laporan Status Energi Bersih Indonesia: Potensi, Kapasitas Terpasang, dan Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2019. Jakarta.
- [7] PNPM MANDIRI. 2011. Buku Pedoman Energi yang Terbarukan. Jakarta: PNPM MANDIRI.
- [8] BEKA, JICA. 2008. Manual Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. IBEKA-JICA. Jakarta.
- [9] Sosrodarsono Suyono, Kensaku Takeda. 2003. Hidrologi Untuk Pengairan. Jakarta: Pradnya Paramita
- [10] Schmidt, F.H. 1952. Rainfall types based on wet and dry period ratios for Indonesia with Western New Guinea. Jakarta: Kementerian Perhubungan dan Djawatan Meteorologi dan Geofisik.
- [11] Montarcih, Lily. 2010. Hidrologi Praktis. Bandung: Lubuk Agung.
- [12] DIRJEN EBTKE. 2017. Pedoman Pengelolaan Lingkungan Hidup Bidang Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Jakarta: DIRJEN EBTKE.
- [13] Ma'ali, Nashrul. 2017. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Kepung Kabupaten Kediri.
- [14] BMKG Wilayah III. 2022. Data Curah Hujan dan Iklim Bulanan. Bali