

STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO PADA SALURAN IRIGASI DESA ANGANTAKA ABIANSEMAL BADUNG

I Komang Ogik Parmana Putra¹, Ida Ayu Dwi Giriantari², I Nyoman Setiawan²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus Unud No.88, Jimbaran, Kec. Kuta Sel., Kabupaten Badung, Bali 80361

ogikparmana17@gmail.com¹, dayu.giriantari@unud.ac.id², setiawan@unud.ac.id²

ABSTRAK

Pemanfaatan energi baru dan terbarukan dapat menjadi solusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang mengalami peningkatan saat ini di wilayah pedesaan salah satunya pemanfaatan energi air dengan pengembangan PLTMH. Pada penelitian ini, dilakukan perencanaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro pada saluran irigasi Desa Angantaka Abiansemal Badung sebagai sumber energi listrik guna memenuhi kebutuhan energi listrik. Saluran irigasi Desa Angantaka memiliki *head* 2,1 meter, lebar 1,95 meter, rata-rata kedalaman 0,88 meter dan debit air sebesar 0,3045 m³/s. Sistem perencanaan PLTMH menggunakan kincir air tipe *breastshot wheel* dengan efisiensi 75% dan generator sinkron AC 3 fasa TEK STC-5 kW serta panel kontrol ELC 6 kW. Perencanaan PLTMH pada saluran irigasi Desa Angantaka Abiansemal Badung berkapasitas 3,76 kW / 4,70 kVA. Biaya investasi awal yang dibutuhkan sebesar Rp.72.055.375 dengan biaya operasional dan pemeliharaan sebesar Rp.720.553 per-tahun.

Kata kunci : Energi Terbarukan, PLTMH, *Breastshot wheel*, Generator, ELC.

ABSTRACT

The utilization of renewable energy can be a solution to meet the current increasing demand for electrical energy in rural areas, one of which is the use of water energy with the development of PLTMH. In this study, the planning of a microhydro power plant was carried out in the irrigation canal of Angantaka Abiansemal Badung Village as a source of electrical energy to meet the needs of electrical energy. The Angantaka Village irrigation channel has a head 2,1 meters, a width of 1,95 meters, an average depth of 0,88 meters and a water discharge of 0,3045 m³/s. The PLTMH planning system uses a breastshot wheel type water wheel with an efficiency of 75% and TEK STC-5 kW 3 phase AC synchronous generator and a 6 kW ELC control panel. Planning for PLTMH on the irrigation canal of Angantaka Abiansemal Badung Village with a capacity of 3,76 kW / 4,70 kVA. The initial investment cost required is IDR. 72.055.375 with operational and maintenance cost of IDR. 720.553 in one year.

Key Words : Renewable Energy, PLTMH, *Breastshot wheel*, Generator, ELC.

1. PENDAHULUAN

Energi listrik adalah salah satu dari banyaknya kebutuhan pokok bagi masyarakat di zaman ini, baik dalam kegiatan sehari-hari ataupun dalam kegiatan industri. Sumber energi listrik kini di Indonesia masih memakai bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan batu bara, sedangkan untuk pengembangan potensi

dari energi baru dan terbarukan belum dimanfaatkan dengan optimal.

Menurut data KESDM (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral) dari banyaknya teknologi kini, potensi energi listrik yang berasal dari energi terbarukan sudah menyentuh angka hingga 432 GW atau 7-8 kali dari keseluruhan kapasitas pembangkit yang ada. Berdasarkan potensi

tersebut sebesar 7 GW yang baru digunakan secara luas yang dimana mayoritas pembangkitnya mengandalkan tenaga air dan panas bumi [1].

Kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat ini terutama pada daerah pedesaan maka membangun sebuah pembangkit listrik energi ramah lingkungan seperti pembangkit mikrohidro dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Saluran irigasi di Desa Angantaka, Abiansemal, Badung memiliki kontinyuitas air cukup besar di musim panas ataupun musim penghujan, dengan intensitas curah hujan di Kecamatan Abiansemal dalam 5 tahun terakhir mencapai 13342,70 mm sehingga dapat diyakini bahwa saluran irigasi di Desa Angantaka tidak akan pernah kekurangan energi air.

Beberapa penelitian terkait mengenai topik PLTMH telah banyak dilakukan seperti penelitian yang dilakukan oleh Kumara, dkk. Tahun 2014 tentang potensi dan perkembangan pembangkit listrik terbarukan di Bali hingga tahun 2014 hanya baru mencapai 7 Megawatt bisa dikatakan baru sekitar 1% dari semua kapasitas listrik saat ini, dan PLTMH yang masih beroperasi kini hanya mikrohidro Karangasem dan Tamblang yang menghasilkan daya sebesar 45 kW [2]. Penelitian yang dilakukan Widiarta, dkk. 2021 menjelaskan tentang potensi PLTMH di Desa Aan, Kabupaten Klungkung dapat menghasilkan daya sebesar 37,41 kW pada 4 lokasi saluran irigasi, dengan jenis turbin yang digunakan pada tiap saluran irigasi dipengaruhi oleh debit air, tinggi jatuhnya air (*head*), dan kondisi lingkungan pada tiap lokasi penelitian, dimana pada lokasi 1 dan 2 menggunakan kincir air *breastshot wheel* serta lokasi 3 dan 4 menggunakan turbin *archimedes screw* [3]. Penelitian oleh Yanto, dkk. Pada tahun 2021 menjelaskan tentang perencanaan sistem kelistrikan mikrohidro Banjar Dinas Mekarsari menggunakan ELC sebesar 180 kW serta 6 unit *ballastload* 30 kW dan generator kapasitas daya 185 kVA dan menghasilkan daya listrik yakni sebesar 165,44 kVA serta energi listrik yang

diperoleh tersebut dialirkan menuju ke jaringan tegangan menengah [4]. Penelitian oleh Kumara, dkk. Tahun 2014 tentang PLTMH pada daerah pedesaan di Bali untuk menghasilkan energi yang bersih dan berkelanjutan salah satunya di Desa Sambangan, sungai Tiyung Tali menghasilkan listrik sebesar 82 kW berpotensi untuk menyediakan energi bersih ramah lingkungan dan berkelanjutan bagi masyarakat setempat, dimana total investasi dari PLTMH adalah sebesar Rp. 1.500.000.000 [5]. Penelitian yang dilakukan oleh Suparyawan, dkk. 2013 mengenai perencanaan PLTMH di Desa Sambangan Kabupaten Buleleng Bali yang memanfaatkan aliran air sungai Tiyung Tali dengan tinggi *head* 18 m dan debit air sebesar 0,623 m³/s, serta menggunakan jenis turbin *crossflow*, genetator 132 kVA, *ballast load* 157 kVA menghasilkan energi listrik sebesar 82,42 kW [6]. Penelitian yang dilakukan Diana dan Kumara pada tahun 2018 mengenai pengembangan PLTMH Jatiluwih untuk mendukung destinasi pariwisata yang terdiri dari beberapa lokasi pemasangan PLTMH diantaranya pada situs 2-1 menggunakan jenis turbin *archimedes*, generator AC 3 fasa 1kW dan dengan tinggi *head* 2,5 m dan debit air 0,03 m³/s menghasilkan daya keluaran sebesar 400 W, situs 2-3 menggunakan *open water turbin*, generator SKY HR-300, *head* 1m, dan debit air 0,03 m³/s diperoleh daya keluaran 160 W, dan situs 7 menggunakan *open water turbin*, generator SKY HR-300, tinggi *head* 2,1 m dan debit air 0,014 m³/s menghasilkan *output* sebesar 160 W, serta pada situs 5 menggunakan jenis turbin propeller, generator kapasitas 7,5kW, dan tinggi *head* 12 m, debit air 0,07 m³/s menghasilkan daya keluaran sebesar 4,9 kW [7]. Dan penelitian oleh Bestari, dkk. 2018 tentang evaluasi kinerja PLTMH 25kW di Desa Seloliman Jawa Timur dari tahun 2013 – 2017 daya yang dihasilkan sebesar 808 MWh dengan total jam operasional 43.364 atau sekitar 161,6 MWh per-tahun, faktor kapasitas rata-rata tahunan 58% menunjukkan pembangkit sangat produktif,

sehingga secara keseluruhan PLTMH Seloliman sudah dianggap mengimplementasikan mikrohidro yang baik di Indonesia [8]. Penelitian yang dilakukan oleh Laksana, dkk. 2020 mengenai redesain turbin 175kW untuk PLTMH Desa Mekar Sari Buleleng Bali dari hasil perhitungan dan debit air yang telah dimanfaatkan dan *head net* menghasilkan jenis turbin yang sesuai dengan desain ulang PLTMH tersebut yaitu turbin *crossflow* dengan kapasitas 185kW serta unjuk kerja turbin berdasarkan CFD didapatkan keluaran daya rata-rata turbin sebesar 175,353 kW [9]. Serta penelitian oleh Budiantara, dkk. 2019 tentang redesain serta analisa kelayakan PLTMH 25kW Desa Susuan Karangasem Bali menghasilkan daya yang dapat dibangkitkan saat ini sebesar 25,18 kW dengan pembangkitan daya listrik per-tahun 220,577 kWh dari potensi debit air sebesar 0,36 m³/s, dan harga jual listrik sebesar Rp.774/kWh [10].

Berdasarkan hal tersebut, sehingga pada penelitian ini dilakukan studi perencanaan PLTMH pada saluran irigasi Desa Angantaka, Abiansemal, Badung. Perencanaan ini berupa perhitungan secara teoritis untuk mengetahui kapasitas optimal potensi energi listrik yang dapat dihasilkan saluran irigasi Desa Angantaka, sehingga dapat memberikan gambaran nyata terhadap potensi saluran irigasi tersebut. Selain itu perencanaan PLTMH ini bertujuan untuk membantu masyarakat setempat dapat menghasilkan energi listrik yang ramah lingkungan sebagai penerangan jalan menuju balai subak yang berada didekat sistem PLTMH.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Pembangkit listrik tenaga air dengan skala yang kecil atau PLTMH yakni salah satu jenis pembangkit yang ada saat ini, dan dengan menggunakan energi air sebagai tenaga penggerak dari kincir air seperti saluran irigasi, sungai ataupun terjunan air [11].

2.2 Perencanaan PLTMH

2.2.1 Tinggi Jatuh Air (*Head*)

Pengukuran *head* pada saluran irigasi dilakukan dengan memakai teori pitagoras dimana ketinggian di ukur dari atas elevasi perkiraan permukaan air di saluran yang sudah ditentukan serta dilanjutkan dengan pengukuran pada lokasi lebih rendah dari sebelumnya hingga pada lokasi yang paling rendah [11].

2.2.2 Debit Aliran Air

Debit air yakni bagian yang utama guna menentukan *output* sistem PLTMH. Pengukuran debit air secara langsung dapat menggunakan *saltgulp method*, *flood method* ataupun dengan alat *currentmeter flowatch*. Adapun beberapa rumus matematis dalam menentukan debit air pada saluran irigasi diantaranya [12]:

1. Kecepatan Air Rata-rata

$$V_f = \frac{m}{s} \quad (1)$$

2. Kecepatan Air dengan Faktor Koreksi

$$V_a = V_f \times C \quad (2)$$

3. Luas Penampang Saluran Irigasi

$$A = \frac{1}{2} \times (a \times b) \times t \quad (3)$$

4. Debit Air Saluran Irigasi

$$Q = V_a \times A \quad (4)$$

5. Potensi Daya Air Saluran Irigasi

$$P_{air} = \rho \times Q \times g \times H \quad (5)$$

Keterangan:

V_f = kecepatan air rata-rata (m/s)

m = jarak (m)

s = waktu (s)

V_a = kecepatan air (m/s)

C = faktor koreksi

A = luas penampang (m²)

a = panjang sisi sejajar atas (m)

b = panjang sisi sejajar bawah (m)

t = tinggi (m)

Q = debit aliran air (m³/s)

P_{air} = daya air (kW)

ρ = massa jenis air (1000kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

H = kemiringan sungai atau *head* (m)

2.3 Pemilihan Jenis Kincir Air

Kincir air dapat digambarkan sebagai sebuah alat yang berbentuk roda, dan sudu

yang terletak di sekeliling tepi-tepiannya yang ditempatkan pada poros mendarat. Pemilihan kincir air pada sistem PLTMH ditentukan dari kondisi lingkungan di lokasi penelitian dan mempertimbangkan parameter - parameter khusus pada karakteristik jenis kincir air meliputi tinggi jatuhnya air (*head*) ataupun debit air [13].

2.4 Pemilihan Jenis Generator

Generator adalah sebuah komponen yang bisa merubah dari energi gerak menjadi energi listrik [4]. Satuan dari generator sendiri dinyatakan dalam *Volt-Ampere*. Pemilihan besar kapasitas daya generator dapat diperoleh dengan cara menghitung daya keluaran (*output*) dari kincir air dikalikan dengan efisiensi pada generator .

2.5 Analisa Ekonomi Sistem PLTMH

Analisa ekonomi merupakan kegiatan yang diperlukan untuk melihat dan meninjau kelayakan pembangunan PLTMH dengan berdasarkan biaya investasi awal serta biaya operasional dan biaya pemeliharaan. Biaya investasi awal untuk perencanaan sistem PLTMH ada dua yakni biaya langsung yang meliputi total biaya yang diperlukan dalam pembangunan konstruksi PLTMH dan biaya tak langsung meliputi biaya tidak terduga untuk pengeluaran yang tidak dapat diperkirakan saat ini. Biaya operasional dan pemeliharaan per-tahun pada PLTMH biasanya ditentukan sebesar 1-2 % dari biaya investasi awal sistem PLTMH [14].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian tentang perencanaan sistem PLTMH ini dilakukan pada saluran irigasi yang beralamat di Desa Angantaka, Kecamatan Abiansemal, Kabupaten Badung, Provinsi Bali. Tahapan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Studi Literatur

Studi literatur yakni pencarian data hasil penelitian sebelumnya yang serupa dan dijadikan acuan dalam penelitian yang akan dilakukan.

2. Survei Lokasi

Survei lokasi guna untuk mengetahui keadaan atau kondisi pada lokasi dilakukannya penelitian.

3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang diperlukan meliputi data perbedaan ketinggian air (*head*), data luas penampang, data kedalaman, dan data debit air.

4. Menentukan Komponen PLTMH

Pada tahapan ini dilakukan pemilihan jenis dan kapasitas dari komponen yang digunakan.

5. Menggambar Desain PLTMH

Menggambar desain PLTMH berguna mengetahui gambaran pemasangan sistem PLTMH pada lokasi penelitian.

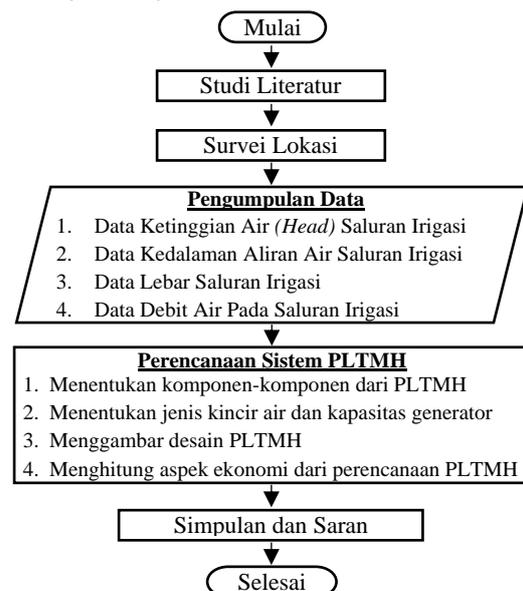
6. Menghitung Aspek Ekonomi

Perhitungan aspek ekonomi bertujuan untuk mengetahui biaya yang dibutuhkan dalam perencanaan sistem PLTMH.

7. Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan paling terakhir dari penelitian adalah dilakukan penarikan sebuah kesimpulan dari semua tahapan proses penelitian serta memberikan saran agar penelitian berikutnya dapat lebih baik lagi.

Tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1. berikut.

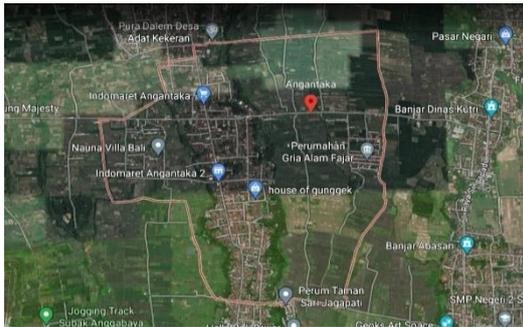


Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Saluran Irigasi Desa Angantaka

Desa Angantaka yakni sebuah Desa yang terletak di wilayah Kecamatan Abiansemal, Kabupaten Badung, Provinsi Bali. Desa Angantaka sendiri memiliki luas ± 239 Ha, dengan jarak 11 Km kearah selatan dari Ibukota Abiansemal. Desa Angantaka terbagi menjadi 4 Banjar dan 2 Desa Adat yaitu Desa Adat Angantaka serta Desa Adat Kekeran.



Gambar 2. Citra Satelit Desa Angantaka

Saluran irigasi Desa Angantaka terletak diantara persawahan dan lahan perkebunan masyarakat setempat. Secara fisik beberapa titik saluran irigasi Desa Angantaka memiliki tepian berbatu-batu dan aliran air yang cukup deras serta saluran irigasi ini tampak keruh dan tetap bersih akan sampah dari hulu.



Gambar 3. Saluran Irigasi Desa Angantaka

4.2 Data Hasil Observasi

4.2.1 Data Luas Penampang Saluran Irigasi

Pengukuran data luas penampang saluran irigasi didapatkan dengan cara membagi saluran irigasi menjadi 3 section sepanjang 0,65 m. Hasil data pengukuran ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Pengukuran Kedalaman Saluran Irigasi selama 1 Minggu

Hari Ke-	Kedalaman Saluran Irigasi (m)			
	Section 1	Section 2	Section 3	Rata-rata
1	0,88	0,89	0,86	0,876
2	0,88	0,89	0,84	0,870
3	0,88	0,89	0,86	0,876
4	0,89	0,92	0,84	0,883
5	0,88	0,89	0,86	0,876
6	0,89	0,92	0,86	0,890
7	0,89	0,92	0,86	0,890
Rata – rata				0,880

4.2.2 Data Kecepatan Air Saluran Irigasi

Pada penelitian ini, pengukuran kecepatan air dilakukan dengan menggunakan alat *currentmeter flowatch*. Kecepatan air di semua titik pada saluran irigasi memiliki nilai yang berbeda-beda. Hasil data pengukuran kecepatan air selama 7 hari diperlihatkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data Pengukuran Kecepatan Air

Banyak Per-cobaan	Kecepatan Air (m/s)						
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
1	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3	0,3
2	0,4	0,5	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2
3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2
4	0,5	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
5	0,4	0,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3
6	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
7	0,3	0,2	0,4	0,2	0,4	0,3	0,3
8	0,5	0,2	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
9	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4
10	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3

4.3 Data Curah Hujan

Aspek hidrologi curah hujan di Desa Angantaka cukup besar hal ini dapat menguntungkan sistem PLTMH dikarenakan debit air merupakan salah satu variabel penting untuk menggerakkan kincir air. Adapun data curah hujan bulanan pada pos Abiansemal, Desa Blahkiuh, Kecamatan Abiansemal, Kabupaten Badung, Provinsi Bali dengan koordinat 008° 31' 04" S - 115° 12' 30" E dengan rentang waktu 5 tahun belakangan yang didapatkan dari Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika (BMKG) Wilayah III Denpasar ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data Curah Hujan di Kecamatan Abiansemal 5 Tahun Terakhir

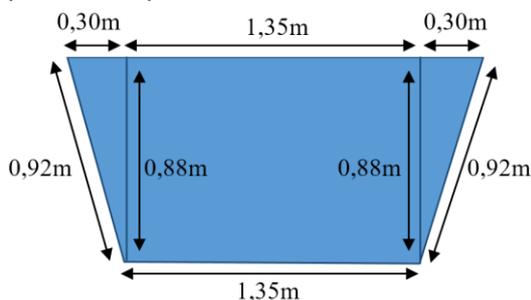
BULAN	JUMLAH CURAH HUJAN BULANAN DI KECAMATAN ABIANSEMAL				
	Curah Hujan (mm)				
	2017	2018	2019	2020	2021
Januari	222.0	602.5	423.0	358.6	757.1
Februari	432.5	435.0	202.1	426.1	585.1
Maret	167.5	149.0	557.6	329.3	443.9
April	166.5	47.0	79.5	61.7	125.5
Mei	211.5	42.5	40.5	187.2	42.4
Juni	118.5	319.0	29.0	106.2	213.4
Juli	188.5	21.0	14.5	41.1	14.6
Agustus	35.0	209.0	14.0	56.2	252.5
September	38.5	19.8	44.5	75.7	247.7
Oktober	335.5	10.5	0	302.9	171.6
Nopember	475.5	474.5	91.0	169.2	628.2
Desember	454.2	199.8	154.1	279.1	442.3
RATA-RATA	237.141	210.800	137.483	199.441	327.025

Sumber : BMKG Wilayah III Denpasar

4.4 Analisa Perhitungan Debit Air

1. Perhitungan Luas Penampang

Saluran irigasi Desa Angantaka berbentuk trapesium dengan tinggi *head* 0,88 m, lebar dasar saluran 1,35 m, dan lebar permukaan saluran 1,95 m. Ilustrasi saluran irigasi Desa Angantaka di perlihatkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Ilustrasi Saluran Irigasi

Dalam menghitung luas penampang saluran irigasi yang berbentuk trapesium digunakan persamaan 3 sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{2} \times (a \times b) \times t \\
 &= \frac{1}{2} \times (1,95 \times 1,35) \times 0,88 \\
 &= 1,45 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui luas penampang saluran irigasi yaitu sebesar 1,45 m².

2. Perhitungan Kecepatan Air

Kecepatan air di setiap titik pada saluran irigasi berbeda-beda karenanya perlu dikalikan dengan faktor koreksi. Nilai

faktor koreksi untuk tiap jenis saluran sesuai dengan kondisinya ditunjukkan pada Tabel 4 berikut [15].

Tabel 4. Faktor Koreksi Saluran Irigasi

Kondisi Saluran Irigasi	Faktor Koreksi
Saluran beton, persegi panjang, lancar	0,85
Sungai luas, tenang aliran bebas (luas penampang >10m ²)	0,75
Sungai dangkal, aliran bebas (luas penampang <10m ²)	0,65
Saluran dangkal kurang dari 0,5 m, aliran turbulen	0,45
Sungai dangkal kurang dari 0,2 m, aliran turbulen	0,25

Saluran irigasi Desa Angantaka merupakan saluran yang dangkal dengan aliran air bebas tanpa hambatan dan luas kurang dari 10m². Perhitungan kecepatan air dengan faktor koreksi menggunakan persamaan 2 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_a &= V_f \times C \\
 &= 0,33 \times 0,65 \\
 &= 0,21 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas kecepatan air saluran irigasi Desa Angantaka yaitu sebesar 0,21 m/s.

3. Perhitungan Debit Air

Debit air pada saluran irigasi dapat dicari setelah mengetahui hasil dari kecepatan air dan luas penampang saluran irigasi, maka cara mendapatkan debit air digunakan persamaan 4 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q &= V_a \times A \\
 &= 0,21 \times 1,45 \\
 &= 0,3045 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan dari hasil perhitungan diatas debit air saluran irigasi yaitu sebesar 0,3045 m³/s.

4. Perhitungan Potensi Daya Air

Pada penelitian ini, untuk memperoleh hasil potensi daya air dari saluran irigasi Desa Angantaka dapat dicari menggunakan persamaan 5 sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 P_{air} &= \rho \times Q \times g \times H \\
 &= 1000 \times 0,3045 \times 9,81 \times 2,1 \\
 &= 6.273,004 \text{ w} \\
 &= 6,27 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pada hasil perhitungan diatas diperoleh hasil dari potensi daya air pada saluran irigasi Desa Angantaka yaitu sebesar 6,27 kW.

4.5 Menentukan Jenis Kincir Air

Kincir air merupakan komponen penting dalam sistem PLTMH dan pemilihan kincir air merupakan salah satu syarat untuk memperoleh energi yang optimal. pada penelitian ini diketahui untuk debit air adalah sebesar 0,3045 m³/s serta head 2,1 meter. Berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis kincir air dan pertimbangan khusus parameter yang mempengaruhi sistem operasi kincir air maka pada sistem PLTMH Desa Angantaka menggunakan kincir air bertipe *Breastshot Wheel* dengan efisiensi 75%. Ilustrasi dari pemasangan kincir air ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Ilustrasi Pemasangan Kincir Air

Besar daya potensi air pada saluran irigasi diketahui yaitu sebesar 6,27 kW, maka besar daya *output* dari kincir air dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 P_{turbin} &= P_{air} \times \eta_{turbin} & (6) \\
 &= 6.273,004 \times 75\% \\
 &= 4.704,753 \text{ w} \\
 &= 4,70 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh daya *output* pada kincir air saluran irigasi Desa Angantaka sebesar 4,70 kW.

4.6 Menentukan Kapasitas Generator

Pemilihan kapasitas generator yang akan digunakan harus menyesuaikan dengan efisiensi yang ada pada generator. Adapun spesifikasi efisiensi generator 1500 rpm, 50Hz, 3 fasa dengan keluaran 220/380 V ditunjukkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Efisiensi Umum Generator

Spesifikasi Pemilihan Efisiensi Generator	
Kapasitas Beban	Efisiensi
< 10 kVA	80%
10 kVA – 20 kVA	80% - 85%
20 kVA – 50 kVA	85%
50 kVA – 100 kVA	85% - 90%
> 100 kVA	90% - 95%

Diasumsikan jumlah beban yang digunakan pada pemakaian daya sekitar dan pemakaian daya sendiri sistem PLTMH adalah kurang dari 10 kVA, sehingga efisiensi generator yang digunakan adalah 80%. Daya keluaran (*output*) yang dapat dibangkitkan oleh generator pada sistem PLTMH dapat dicari menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 P_{generator} &= P_{turbin} \times \eta_{generator} & (7) \\
 &= 4,70 \times 80\% \\
 &= 3,76 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dalam mencari kapasitas daya semu dari generator menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{P_{generator}}{\cos\theta} & (8) \\
 &= \frac{3,76}{0,8} \\
 &= 4,70 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

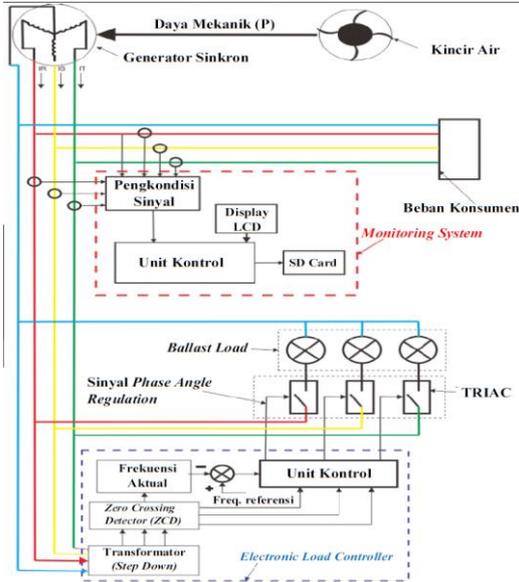
Berdasarkan pada hasil perhitungan didapatkan hasil dari daya semu generator yaitu sebesar 4,70 kVA. Sehingga pada penelitian ini menggunakan generator 3 fasa dengan merk “TEK STC-5kW Three-phase AC Synchronous Generator”.

4.7 Sistem Kontrol Daya

Sistem pembangkit dengan kapasitas yang cukup besar selalu dilengkapi dengan sistem kontrol dikarenakan dalam pengoperasiannya dipengaruhi oleh kondisi beban yang selalu berubah-ubah. Sistem kontrol terdiri dari komponen pengaman seperti *MCCB*, *NFB* dan lainnya. Selain itu *Electronic Load Controller (ELC)* juga digunakan karena memiliki respon yang lebih cepat dari perubahan beban dan tidak memerlukan *governor* serta *ballast load* yang berfungsi menghilangkan energi dari

generator dan tidak digunakan pada beban [16].

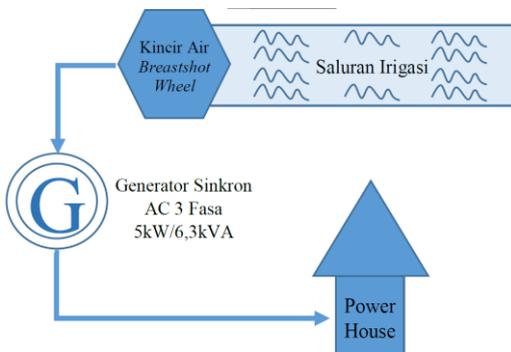
Pada penelitian ini, sistem kontrol pada PLTMH yaitu *Electronic Load Controller* dengan kapasitas 6kW. Skema dari ELC dengan penyalan sudut fasa pada *thyristor* ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Skema ELC

4.8 Layout Pemasangan Kincir Air

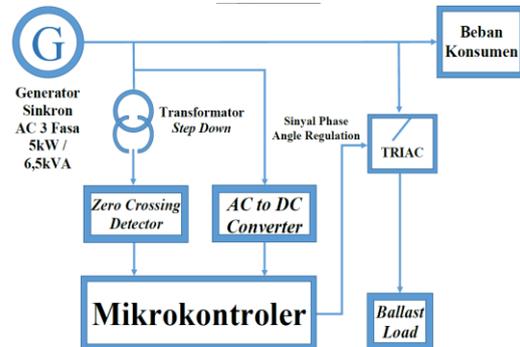
Skema dari PLTMH pada saluran irigasi Desa Angantaka terdiri dari kincir air *breastshot wheel* berputar menggerakkan generator AC 3 fasa 5kW / 6,3kVA dan daya listrik yang dihasilkan dikontrol melalui panel kontrol. Adapun layout sistem PLTMH Desa Angantaka ditunjukkan pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Skema sistem PLTMH

Skema elektrikal sistem PLTMH Desa Angantaka terdiri dari daya listrik keluaran generator dialirkan menuju sistem kontrol *Electronic Load Controller (ELC)* dengan

cara mengontrol dayanya agar nilainya sama seperti daya generator, kemudian *ballast load* berfungsi membuang energi listrik yang tidak digunakan pada beban. Adapun layout dari skema elektrikal sistem PLTMH ditunjukkan pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Skema Elektrikal Sistem PLTMH

4.9 Pemakaian Daya PLTMH

4.9.1 Pemakaian Sendiri

Pada saluran irigasi Desa Angantaka daya listrik PLTMH digunakan untuk lampu pada rumah daya juga kotak-kontak guna kegiatan pemeliharaan. Ukuran rumah daya pada sistem PLTMH yaitu 2,5m x 2,5m x 3m, dari kegiatan yang termasuk pemeliharaan elektrikal dan mekanikal serta pengawasan olehnya intensitas lampu yang dipakai sebesar 500 lux. Jenis lampu yang dipasang yaitu lampu TL 2x36W dan lumen 6700 serta jumlah titik lampunya diperoleh dari persamaan berikut.

$$n = \frac{E \times A}{\theta_{lampu} \times \mu \times d} \quad (9)$$

$$= \frac{500 \times 6,25}{6700 \times 0,42 \times 0,8}$$

$$= 1,38 \approx 2$$

Sehingga total yang dipasang pada rumah daya yaitu 2 unit lampu TL 2x36W dengan total daya 144W, serta dengan asumsi peralatan pemeliharaan meliputi bor listrik, mesin las, gerinda, dan lainnya tidak digunakan secara bersamaan sehingga dipasang 2 buah kota-kontak. Pemakaian daya sendiri pada sistem PLTMH ditetapkan sebesar 900 VA.

4.9.2 Pemakaian Sekitar

Pemakaian daya disekitar sistem PLTMH digunakan sebagai penerangan di

balai subak dan lampu penerangan jalan sekitar sistem PLTMH. Balai subak di Desa Angantaka berukuran 10mx4mx5m, dengan fungsinya sebagai tempat penyimpanan alat persawahan maka intensitas penerangannya sebesar 250 lux. Lampu yang digunakan TL 2x36W 6700 lumen dengan jumlah titik lampu yang dipasang bisa dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$n = \frac{E \times A}{\theta_{lampu} \times \mu \times d} \quad (10)$$

$$= \frac{250 \times 40}{6700 \times 0,42 \times 0,8}$$

$$= 4,44 \approx 5$$

Sehingga total yang dipasang pada balai subak yakni 5 buah lampu TL 2x36W dan keseluruhan daya 360W. Sehingga pemakaian daya pada balai subak ditetapkan sebesar 900 VA.

Pemasangan lampu penerangan jalan di sekitar sistem PLTMH berjarak sekitar 500 m, menggunakan lampu LED 60W dan jarak antar tiang 30 m serta 17 unit lampu. Kabel yang digunakan untuk lampu yaitu jenis NYY 2x1,5mm². Maka total daya yang ditetapkan untuk lampu penerangan jalan sebesar 1300 VA. Ilustrasi dari sistem PLTMH dengan penggunaan dayanya ditunjukkan dalam Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Ilustrasi Sistem PLTMH

4.10 Analisa Ekonomi PLTMH

Pada penelitian ini biaya investasi awal atau informasi harga dari masing-masing komponen untuk sistem PLTMH diperoleh dari internet dengan melihat pada beberapa *e-commerce*. Adapun biaya investasi awal yang dibutuhkan untuk perencanaan sistem PLTMH Desa Angantaka adalah sebesar Rp. 72.055,375.

Biaya pemeliharaan dan biaya operasional dalam satu tahun pada sistem PLTMH biasanya sekitar 1-2% dari keseluruhan biaya investasi awal. Biaya pemeliharaan dan biaya operasional selama satu tahun pada sistem PLTMH didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$O\&M = 1\% \times I \quad (11)$$

$$= 1\% \times Rp. 72.055.375$$

$$= Rp. 720.553$$

Berdasarkan perhitungan diatas biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTMH di Desa Angantaka yaitu sebesar Rp.720.553 per-tahun.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang sudah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan, didapat tinggi *head* saluran irigasi 2,1 m, lebar saluran 1,95 m, kedalaman saluran 0,88 m, dengan potensi debit air dari hasil perhitungan sebesar 0,3045 m³/s serta kapasitas daya listrik yang dapat dibangkitkan adalah sebesar 3,76 kW / 4,70 kVA.
2. Perencanaan sistem PLTMH saluran irigasi Desa Angantaka tidak merubah konstruksi dari saluran irigasi dan didesain menggunakan kincir air *breastshot wheel* dengan daya *output* 4,70 kW serta menggunakan generator sinkron AC 3 fasa kapasitas 5kW / 6,3 kVA menghasilkan *output* sebesar 3,76kW / 4,70kVA.
3. Pada analisa ekonomi biaya investasi awal sistem PLTMH yaitu sebesar Rp.72.055.375,00. Serta dengan biaya operasional dan pemeliharaan sebesar Rp.720.553,00 per-tahun.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Tampubolon, A.P., Aditama, J.C. 2019. Laporan Status Energi Bersih Indonesia (Potensi, Kapasitas Terpasang, serta Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2019). Jakarta : *Institute for Essential Service Reform*

- [2]. Kumara I.N.S., Ariastina W.G., Sukerayasa I.W., Giriantari I.A.D. 2014. On The Potential And Progres Of Renewable Electricity Generation In Bali. *International Conference on Information Technology and Electrical Engineering*. Yogyakarta 2014.
- [3]. K.D.S. Widiarta., Wijaya I.W.A., Suartika I.M. 2021. Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Di Desa Aan, Kabupaten Klungkung Provinsi Bali. *Jurnal SPEKTRUM*. Vol. 8, No. 3. September 2021.
- [4]. Yanto I.P.E.A., Giriantari I.A.D., Ariastina W.G. 2021. Perencanaan Sistem Kelistrikan PLTMH Banjar Dinas Mekar Sari. *Jurnal Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. Vol. 20, No. 1. Januari - Juni 2021.
- [5]. Kumara, Suparyawan D.P.D., Ariastina W.G., Sukerayasa I.W., Giriantari I.A.D. 2014. Microhydro Powerplant For Rural Area In Bali To Green And Sustainable Electricity. *International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information System (ICSGTEIS)*. Kuta 2014.
- [6]. D.P.D. Suparyawan, I.N.S. Kumara, W.G. Ariastina. 2013. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Mikrohidro Di Desa Sambangan Kabupaten Buleleng Bali. *Jurnal Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. Vol.12, No.2. Desember 2013.
- [7]. Sari P.D., Kumara I.N.S. The Development Of Jatiluwih Micro-Hydro Power Plants To Support Tourism Destination. *International Student Conference on Electrical and Computer Engineering (ISCECE)*. Bali, Indonesia 2018. Pp 9-14.
- [8]. H.L. Bestari, I.N.S. Kumara, W.G. Ariastina. 2018. Performance Evaluation Of 25 KW Community Microhydro In Seloliman Village East Java. *International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information System (ICSGTEIS)*. Bali, Indonesia 2018. Pp.144-149.
- [9]. D.P.A. Laksana, I.A.D. Giriantari, I.N.S. Kumara. 2020. Redesain Turbin 175 KW Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Desa Mekar Sari Buleleng Bali. *Jurnal Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. Vol.19, No.2. Desember 2020.
- [10]. D.N.T. Budiantara, I.N.S. Kumara, I.A.D. Giriantari. 2019. Redesain Dan Analisa Kelayakan PLTMH 25 KW Desa Susuan Karangasem Bali. *Jurnal Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. Vol. 18, No.3. Agustus 2019.
- [11]. M.F. Hasyim. 2015. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dengan Pemanfaatan Potensi Air Di Wonosalam. (*Skripsi*). Jember, Universitas Jember.
- [12]. Gerico Putra. 2020. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Minihidro (PLTM) Di Sungai Lae Pinang Dan Sungai Sumonggo Kabupaten Humbang Hasundutan. (*Skripsi*). Medan, Universitas Sumatera Utara.
- [13]. J.Y. Morong. 2016. Rancang Bangun Kincir Air Irigasi Sebagai Pembangkit Listrik di Desa Talawaan. (*Skripsi*). Manado, Politeknik Negeri Manado.
- [14]. U.R.H. Jawadz, H. Prasetijo, W.H. Purnomo. 2019. Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Di Aliran Sungai Desa Kejawar Banyumas. *Jurnal Dinamika Rekayasa*. Vol. 15, No. 1. Pp. 11-24.
- [15]. Sufrizaliansyah, M.I. Maulana. 2013. Kajian Distribusi Aliran Intake ke PLTMH Akibat Perubahan Aliran di Hulu Sungai. *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah*. Vol. 1, No. 3. Juni 2013.
- [16]. IMIDAP. 2020. Modul Pelatihan Studi Kelayakan Pembangunan Mikrohidro Cetakan 1C. Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.