

STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK MIKROHIDRO DI DESA SAMBANGAN KABUPATEN BULELEN BALI

D P D Suparyawan*, I N S Kumara, W G Ariastina.

Program Studi Magister Teknik Elektro, Program Pasca Sarjana, Universitas Udayana.

Jl. Panglima Besar Sudirman Denpasar, Bali

*email: suparyawan@gmail.com

Abstrak

Pemanfaatan PLTMH telah dilakukan di Desa Sambangan, Kecamatan Sukasada, Kabupaten Buleleng-Bali dengan nama PLTMH Cahaya Abadi. PLTMH Cahaya Abadi memanfaatkan sebagian aliran air dari Sungai Tiying Tali. Berbagai kendala berakibat PLTMH tersebut terbengkalai. Dari permasalahan tersebut, dilakukan evaluasi terhadap PLTMH Cahaya Abadi dan perancangan teknis PLTMH Baru yang sesuai potensi dan mengacu pada berbagai kriteria pembangunan PLTMH. Observasi setiap komponen sipil dan mekanikal-elektikal PLTMH Cahaya Abadi. Debit rancangan PLTMH Baru ditentukan berdasarkan aliran terendah. Tinggi *head* diperoleh dengan menggunakan GPS dan *Google Earth*. Persamaan yang merupakan pola dari ukuran bangunan sipil dari beberapa PLTMH lain digunakan sebagai pendekatan untuk menentukan ukuran bangunan sipil PLTMH Baru. Dari hasil analisis diperoleh bahwa kondisi komponen penyusun PLTMH Cahaya Abadi dibangun secara sederhana dan tidak sesuai dengan kriteria pembangunan PLTMH. Perancangan PLTMH Baru menggunakan debit desain sebesar $0,623 \text{ m}^3/\text{s}$ dan *head* 18 m, maka potensi listriknya adalah 82,42 kW. Ukuran masing-masing bangunan sipil adalah bendung $5 \times 1 \text{ m}$, saluran pembawa $150 \times 1 \times 1 \text{ m}$, kolam penenang $5 \times 2 \times 1,5 \text{ m}$, pipa pesat panjangnya 73 m dan diameter 0,508 m, rumah daya $5 \times 4 \text{ m}$. Turbin berjenis *crossflow*, kapasitas generator 132 kVA dan kapasitas *ballast load* 157 kVA.

Kata kunci: Bangunan sipil, Mekanikal-Elektikal, Mikrohidro, PLTMH, Pembangkit terbarukan.

1. PENDAHULUAN

Desa Sambangan terletak di Kabupaten Buleleng-Bali, memiliki rumah tangga sebanyak 1168 KK [1]. Di Desa Sambangan sebagian rumah tangga belum terlayani oleh PT PLN (Persero). Usaha menyediakan tenaga listrik di Desa Sambangan dengan membangun PLTMH telah dilakukan oleh tokoh desa bersama dengan kelompok masyarakat yang bernama Cahaya Abadi. Kelompok masyarakat berharap dapat membangun PLTMH yang selanjutnya dinamai PLTMH Cahaya Abadi. PLTMH ini hanya memanfaatkan sebagian aliran air Sungai Tiying Tali dan pendanaan PLTMH Cahaya Abadi diperoleh dari donatur. Gambar 1 menunjukkan PLTMH Cahaya Abadi. Perencanaan PLTMH Cahaya Abadi tidak diawali studi potensi, studi kelayakan teknis dan non teknis yang memadai berakibat dalam pembangunannya mengalami berbagai kendala.

Penelitian dalam pemanfaatan PLTMH telah dilakukan oleh Sudargana pada tahun 2005 merancang saluran pembawa dan turbin PLTMH. Subakti pada tahun 2010 melakukan survey potensi hingga perhitungan daya terbangkitkan untuk PLTMH. Hanifah pada tahun 2011 melakukan evaluasi bangunan fisik, pengelolaan dan pemanfaatan terhadap PLTMH yang telah beroperasi. Anggraini pada tahun 2012 melakukan perencanaan turbin dan pengujian unjuk kerja turbin serta pemanfaatan energi listrik yang dihasilkan PLTMH. Indarto pada tahun 2012 mengoptimalkan debit pembangkit dan unit pembangkit agar mendapat

PLTMH yang ekonomis.

Dari uraian di atas maka dalam tulisan ini akan melaporkan hasil studi terhadap perencanaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro di Desa Sambangan Kabupaten Buleleng-Bali. Studi ini terdiri dari evaluasi PLTMH Cahaya Abadi dan perancangan sistem PLTMH sesuai dengan potensi di Sungai Tiying Tali. Perencanaan sistem PLTMH Baru mengacu pada data-data pada beberapa PLTMH lain dan berbagai kriteria dalam pembangunan PLTMH.



**Gambar 1 PLTMH Cahaya
Abadi**

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 LTMH

PLTMH memanfaatkan aliran air untuk menghasilkan energi listrik. Kapasitas dari

PLTMH tidak melebihi dari 100 kW. Indonesia memiliki potensi air yang sangat besar dan belum dimanfaatkan secara optimal. Dari hasil pemetaan potensi air sekitar 75,67 GW, yang termanfaatkan baru sekitar 4,2 GW. Sedangkan potensi untuk mini/ mikrohidro sekitar 450 MW, tetapi yang telah termanfaatkan baru sekitar 230 MW sampai pada tahun 2008 [2].

Konstruksi dari PLTMH terdiri dari:

- Dam / bendungan pengalih (*Diversion Weir dan Intake*).
- Kolam pengendap (*Settling Basin*).
- Saluran pembawa (*Head Race*).
- Kolam penenang (*Head Tank*).
- Pipa pesat (*Penstock*).
- Turbin* dan generator.
- Saluran pembuangan (*Tail Race*).

Kapasitas dari PLTMH ditentukan oleh besar debit air yang mengalir di sungai dan *head*. *Head* adalah beda ketinggian antara lokasi kolam penenang dengan poros dari turbin. Untuk menentukan besar potensi daya listrik dapat digunakan persamaan (1) [3]:

$$P = 9,8 QH \dots\dots\dots (1)$$

P = Daya listrik (W)

Q = Debit air (m^3/s) H = *Head* (m)
= efisiensi

2.2 Studi Potensi

Studi potensi merupakan kegiatan awal untuk pengumpulan data dan informasi tentang kemungkinan suatu daerah aliran sungai untuk dimanfaatkan menjadi PLTMH. Dari hasil studi potensi dapat diperoleh suatu kesimpulan yang digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk menentukan keberlanjutan studi perencanaan PLTMH. Jika satu wilayah memiliki beberapa lokasi yang potensial untuk PLTMH, maka untuk memilih lokasi terbaik ditentukan dengan kriteria sebagai berikut [4]:

- Panjang jaringan distribusi jika menggunakan tegangan rendah jarak pembangkit ke beban, radius maksimal 2 km.
- Terdapat calon konsumen di sekitar pembangkit.
- Potensi daya listrik tidak melebihi 100 kW.
- Ketersediaan aliran air sungai sepanjang tahun.
- Akses menuju lokasi PLTMH dapat dijangkau atau dapat ditempuh dengan teknologi yang tidak mahal.
- Lokasi pembangkit tidak berada dikawasan cagar alam, tidak merusak lingkungan dan budaya serta mengikuti ketentuan yang berlaku.

2.3 Hidrologi

PLTMH sangat tergantung dengan debit air yang mengalir di sungai. Kuantitas air yang mengalir

menentukan kapasitas dari PLTMH. Debit air pada suatu sungai dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti curah hujan dan luas area resapan disekitar sungai. Melalui analisis hidrologi diperoleh debit andalan. Debit andalan digunakan untuk menghitung potensi suatu lokasi. Sungai atau saluran yang dipilih untuk lokasi PLTMH memiliki karakteristik sebagai berikut [5]:

- Terjamin ketersediaan air.
- Fluktuasi debit air cukup kecil.
- Banjir terbesar yang pernah terjadi tidakberpotensi merusak komponen PLTMH
- Pengaruh aliran terhadap pengikisan sungai atau saluran dapat diminimalisir secara teknis.
- Lokasi saluran pembuang dan saluran pelimpah tidak menimbulkan dampak merugikan.

2.4 Bangunan Sipil PLTMH

Bangunan sipil PLTMH adalah komponen biaya terbesar dari suatu sistem PLTMH oleh karena itu keberlangsungan operasional sangat dipengaruhi oleh kesesuaian dan ketepatan dalam merancang bangunan sipil PLTMH tersebut. Untuk menghindari berkurangnya umur PLTMH karena rusaknya bangunan sipil maka perlu diadakan suatu studi kelayakan sipil bangunan PLTMH. Studi ini mencakup survei teknis kondisi geologi, topografi dan stabilitas tanah. Data dan informasi dari hasil studi kelayakan ini harus mendukung perencanaan bangunan inti sistem pembangkit tenaga listrik mikrohidro terdiri atas bendung, *intake*, kolam pengendap, saluran pembawa, kolam utama, saluran pembuang, pipa pesat, rumah turbin, saluran pembuangan dan lain-lain. Kriteria kelayakan sipil yang perlu dipertimbangkan adalah [6]:

- Secara visual, lokasi terdapatnya potensi memiliki wilayah sungai yang bisa dibangun komponen- komponen bangunan sipil seperti lokasi sungai yang bisa dibangun bendung atau bangunan sadap, *intake*, kolam pengendap, saluran pembawa dengan kemiringan dasar saluran 1:1000–1:1500, kondisi topografi yang mendukung pembuatan pipa pesat atau secara alami terdapat *head*.
- Kondisi dan stabilitas tanah mendukung pem bangunan bangunan PLTMH sehingga tidak memerlukan teknologi mahal untuk pembangunannya.
- Jalan menuju lokasi dapat dijangkau dengan teknologi yang tidak mahal.
- Bangunan sipil tidak bertentangan dengan peraturan adat maupun hukum yang berlaku.
- Lokasi pendirian bangunan sipil tidak berdampak negatif terhadap sosial masyarakat yang berkepanjangan dan mengganggu kelestarian lingkungan.

2.5 Mekanikal-Elektrikal PLTMH

Mikrohidro dibangun berdasarkan adanya air yang mengalir di suatu lokasi dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Kapasitas air yang dimaksud adalah jumlah volume aliran air persatuan waktu (*flow capacity*), sedangkan beda ketinggian antara daerah aliran hingga ke instalasi disebut dengan *head*. Pada peralatan mekanikal-elektrikal PLTMH terdiri dari turbin, generator dan panel kontrol. Dalam pemilihan peralatan mekanikal-elektrikal terdapat beberapa kriteria yang perlu dipertimbangkan yaitu kehandalan peralatan, mudah dioperasikan, produksi lokal, layanan purna jual yang mudah didapat

a. Turbin

Turbin adalah peralatan yang berfungsi mengubah energi kinetik yang dimiliki aliran air menjadi energi kinetik rotasi. Beberapa jenis turbin ditunjukkan oleh tabel 1 [7]. Penentuan pemilihan turbin ditentukan oleh dua faktor yaitu debit air dan *head*.

Tabel 1 Jenis Turbin

<i>Turbine Runner</i>	<i>Haed Pressure</i>		
	<i>High</i>	<i>Medium</i>	<i>Low</i>
<i>Impulse</i>	-Pelton -Turgo -Multi-jet pelton	-Crossflow -Turgo -Multi-jet Pelton	-Crossflow
<i>Reaction</i>		-Francis -Pump as Turbine (PAT)	-Propeller -Kaplan

b. Generator, Panel Kontrol dan *Ballast Load*

Generator, panel kontrol dan *ballast load* termasuk dalam peralatan elektrikal PLTMH. Energi kinetik rotasi yang dihasilkan oleh turbin diteruskan oleh transmisi untuk memutar generator. Generator berfungsi untuk menghasilkan energi listrik sedangkan panel kontrol berfungsi untuk mengatur pengoperasian kelistrikan PLTMH. Generator yang digunakan pada PLTMH memiliki tegangan AC, dapat berupa 1 fasa atau 3 fasa. Jika mengacu putaran generator yang digunakan dapat berupa generator sinkron dan generator asinkron. Pemilihan generator tergantung dari kapasitas dari daya yang akan dibangkitkan PLTMH. Untuk menentukan besar kapasitas generator digunakan persamaan (2) [7]:

$$PG = 130\% P \dots\dots\dots(2)$$

dengan :

- P = Daya listrik desain(kW)
- PG = Kapasitas generator (kW)

Panel kontrol terdiri dari peralatan-peralatan yang menampilkan unjuk kerja dari generator, terdapat pula peralatan pengaman-pengaman listrik untuk melindungi sistem kelistrikan PLTMH dari

gangguan yang dapat terjadi. Untuk melindungi generator dari kehilangan beban secara tiba-tiba dibutuhkan peralatan pengontrol daya dan beban semu (*ballast load*). Pada generator sinkron pengatur daya menggunakan *electronic load controller* (ELC) sedangkan generator asinkron menggunakan *induction generator controller* (IGC). Untuk menentukan kapasitas dari *ballast load* digunakan persamaan (3) [8]:

$$PBL = 120\% PG \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

- PG = Kapasitas generator (kW)
- PBL= Kapasitas *ballast load* (kW)

3. METODE PENELITIAN

Studi pemanfaatan pembangkit listrik tenaga mikrohidro dimulai dari melakukan evaluasi terhadap PLTMH Cahya Abadi yang terbengkalai. Melalui observasi diperoleh gambaran kondisi eksisting, dengan acuan kriteria pembangunan PLTMH maka dapat dianalisis kesesuaian komponen-komponen bangunan sipil dan mekanikal-elektrikal PLTMH Cahya Abadi.

PLTMH yang baru direncanakan sesuai potensi dilakukan dengan menentukan besar debit desain dan *head* dari Sungai Tiyang Tali. PLTMH tersebut dinamai PLTMH Baru. Dengan data laporan pengukuran debit sungai pada bendung yang dikelola pemerintah kabupaten Buleleng tahun 2012 dapat diperoleh debit terendah yang dijadikan debit desain. Untuk menentukan *head* dilakukan dengan melakukan pencatatan kordinat lokasi kolam penenang dan rumah daya dengan menggunakan GPS. Kordinat yang diperoleh kemudian diunggah ke *Google Earth*. Penghitungan potensi yang terdapat di Sungai Tiyang Tali dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

Perencanaan komponen sipil dilakukan dengan mengikuti kriteria pembangunan PLTMH. Ukuran dari masing-masing komponen bangunan sipil diperoleh dengan menggunakan pendekatan interpolasi dari data-data sekunder berupa ukuran komponen-komponen sipil PLTMH di tempat lain sehingga diperoleh suatu persamaan linier yang dapat digunakan untuk menentukan ukuran komponen sipil dari PLTMH Baru. Lokasi komponen sipil PLTMH Baru dicatat dengan GPS, dengan mengunggah kordinat tersebut ke *Google Earth* maka dapat ditentukan rute dan ukuran bangunan sipil yang belum diperoleh melalui pendekatan interpolasi.

Peralatan mekanikal dari PLTMH Baru berupa turbin, jenisnya ditentukan melalui hubungan antara debit desain dan *head*. Dengan menggunakan data sekunder dapat diketahui tipe dari turbin untuk PLTMH Baru. Peralatan elektrikal terdiri dari generator, panel kontrol dan *ballast load*. Penentuan peralatan elektrikal

dilakukan dengan mengacu pedoman teknis peralatan dan komponen PLTMH [8]. Kapasitas generator dihitung dengan persamaan (2). Panel kontrol terdiri dari peralatan pengontrol beban dan *ballast load*. Kapasitas dari *ballast load* dihitung dengan menggunakan persamaan (3). Dengan menggunakan data sekunder dari PLTMH Sedau [9] diperoleh tipe dari generator dan peralatan pengontrol beban listrik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi PLTMH Cahaya Abadi

Dari hasil wawancara diperoleh informasi bahwa debit air yang dimanfaatkan sebesar $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ dan *head*-nya adalah 25 m. Setelah dilakukan diskusi lebih lanjut, tidak satu pun anggota kelompok yang mengetahui metode untuk penentuan debit dan *head* tersebut. Hasil kunjungan yang dilakukan ke lokasi PLTMH Cahaya Abadi, diketahui bahwa komponen bangunan sipil terdiri dari *intake*, saluran pembawa, kolam penenang, pipa pesat, rumah daya dan saluran pembuang. Untuk peralatan mekanikal dan elektrikal terdiri dari turbin, transmisi, generator dan panel kontrol.

a. Intake dan Saluran Pembawa

Pembangunan dilakukan dengan cara sederhana yaitu memecah bebatuan disekitar Sungai Tiyang Tali sedemikian rupa sehingga terbentuklah *intake* dan saluran pembawa. Pada *intake* terdapat sebatang kayu yang berfungsi menyerupai bendung, yang bukan merupakan bangunan permanen. Saluran pembawa tidak disertai dengan pemetonan, plesteran pasir semen, dan lereng disekelilingnya tidak diperkuat dengan senderan. Longsoran tanah dan sampah dari pepohonan di sekitar saluran mengotori air yang akan dimanfaatkan untuk PLTMH. Bendung yang tidak permanen dapat hanyut dan berakibat terjadinya perubahan seketika terhadap debit air yang masuk ke *intake*. Permukaan saluran yang tidak rata menyebabkan air yang mengalir akan bergelombang (*turbulensi*) sehingga efisiensi saluran menurun.

b. Kolam Penenang

Bentuk kolam penenang adalah persegi panjang dimana bagian ujung mengalami penyempitan yang bertujuan memfokuskan aliran air yang masuk ke pipa pesat. Panjangnya adalah 9,5 m dengan lebar 1,1 m dan tingginya 0,5 m. Kolam ini dilengkapi dengan dua *trashrack* dimana rongganya terlalu renggang. Kolam penenang juga tidak dilengkapi *graveltrap*. Pada saat uji coba dilakukan, air pada kolam penenang hingga *inlet* pipa pesat masih bergelombang.

c. Pipa Pesat

Pipa pesat panjangnya 64 m berbahan PVC dengan diameter 8 *inch*. Pipa pesat diselubungi dengan ijuk dengan tujuan agar terlihat natural dan ditopang dengan menggunakan batang pohon palem. Penyangga dengan menggunakan batang pohon kurang baik karena batang pohon cepat

mengalami kelapukan. Interval peletakan penyangga yang kurang rapat mengakibatkan terjadi lendutan di beberapa bagian sehingga mengakibatkan meningkatnya rugi-rugi aliran.

d. Rumah Daya

Bangunan rumah daya terdiri dari tiga lantai. Pada lantai dasar terdapat peralatan mekanikal-elektrikal dengan panjang 3,65 m, lebar 2,4 m dan tinggi 2,12 m. Letak turbin sangat dekat dengan dinding rumah daya mengakibatkan kesulitan dalam melakukan perawatan atau perbaikan. Rumah daya tidak dilengkapi oleh pintu sehingga mudah diakses oleh setiap orang. Letak rumah daya berada tepat di tepi sungai dengan permukaan lebih tinggi dari permukaan sungai sehingga aman dari jangkauan air.

e. Saluran pembuangan

Saluran pembuangan adalah kanal yang berfungsi mengarahkan air kembali ke saluran irigasi/ sungai setelah dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Saluran pembuangan PLTMH Cahaya Abadi memiliki lebar 0,4 m, tinggi 0,5 m dan panjang 6 m. Bagian saluran pembuangan yang masih berada pada rumah daya tidak dilengkapi oleh penutup sehingga pancaran balik air yang keluar dari turbin dapat membasahi rumah daya.

f. Mekanikal-Elektrikal

Komponen mekanikal-elektrikal PLTMH Cahaya Abadi terdiri dari turbin, generator dan panel kontrol. Turbin yang digunakan bertipe *crossflow* atau bangki, dengan panjang 0,45 m dan diameter 0,4 m. Turbin tersebut buatan tangan di bengkel las lokal, dengan tujuan mempermudah perbaikan maupun perawatan. Karena turbin buatan tangan maka karakteristik turbin tidak diketahui. Turbin tidak disertai dengan *guide vane* untuk mengatur kecepatannya. Kecepatan turbin yang tidak sesuai dengan kebutuhan beban listrik dapat berakibat merusak generator. Sistem transmisi menggunakan *pulley* dan dua buah *v belt* yang tidak disertai *cover* pelindung. Penentuan kapasitas generator dilakukan dengan cara *try and error*. Kapasitas generator yang terpasang saat ini memiliki kapasitas 20 kW. Generator ini adalah generator ke 3 yang digunakan PLTMH Cahaya Abadi. Hasil wawancara anggota kelompok tidak mengetahui apakah generator tersebut sudah sesuai dengan potensi yang ingin dimanfaatkan. Kesalahan pemilihan generator dapat mengakibatkan pemborosan biaya. Panel kontrol hanya terdiri dari MCB dengan kapasitas pemutus 60 A, volt meter dan ampere meter. Panel kontrol tidak disertai oleh alat pengontrol beban maupun *dummy load*. Ketiadaan komponen ini berakibat beban yang terhubung ke generator tidak dapat diatur.

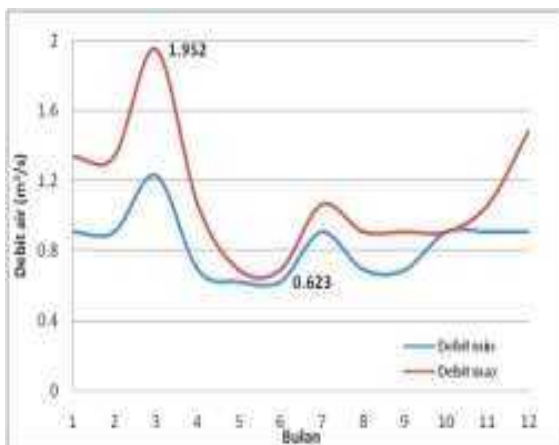
Pembangunan PLTMH Cahaya Abadi tidak dilakukan dengan tahapan-tahapan perencanaan teknik yang baik. Penentuan debit desain dan *head* yang tidak dapat dikonfirmasi keakuratannya. Bangunan sipil yang tidak berfungsi secara maksimal karena dibuat hanya berdasarkan

perkiraan sesuai pengalaman warga dalam membuat pikohidro serta tidak terlindungi dari potensi longsor dan erosi Komponen mekanikal-elektrikal yang tidak lengkap dan pemilihannya tidak sesuai dengan potensi yang dimanfaatkan. Dengan konsisi PLTMH Cahaya Abadi saat ini pengoperasiannya tidak akan optimal, resiko terjadinya kerusakan peralatan semakin besar dan mengancam keselamatan operator.

4.2 Potensi di Sungai Tiyung Tali

a. Debit air

Sungai Tiyung Tali adalah saluran intake dari Bendungan Tiyung Tali yang menjadi saluran irigasi. Dengan menggunakan data dari Dinas PU Kabupaten Buleleng berupa laporan pengukuran debit air yang masuk ke intake Bendung Tiyung Tali selama tahun 2012 diperoleh fluktuasi debit maksimum dan debit minimum tiap bulan seperti ditunjukkan oleh Gambar 2 [10]. Debit terendah terjadi bulan juni dengan dengan besar 0,623 m³/s dan tertinggi terjadi pada bulan maret sebesar 1,952 m³/s.



Gambar 2 Debit minimum dan maksimum di intake Bendung Tiyung Tali tahun 2012

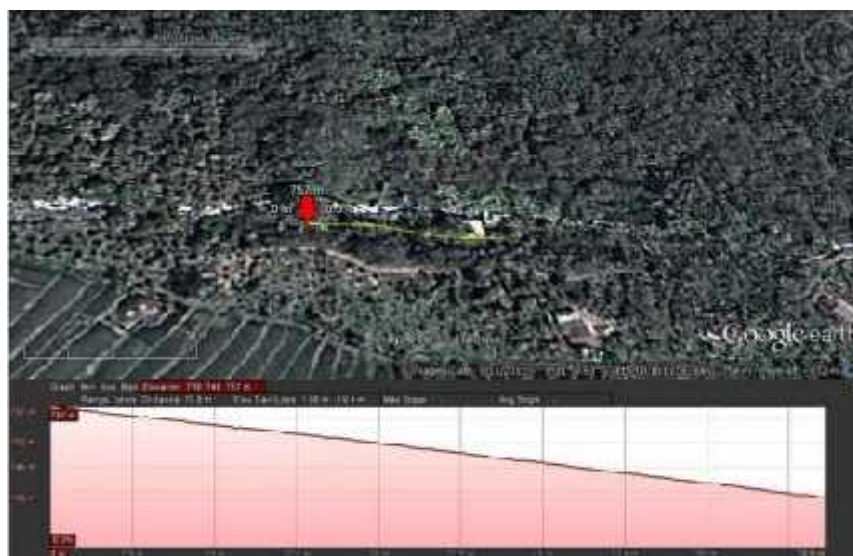
b. Head

Di Sungai Tiyung Tali terdapat terjunan air yang cukup tinggi. Terjunan ini pula dimanfaatkan pada PLTMH Cahaya Abadi. Tinggi terjunan dihitung dengan menggunakan GPS dan *Google Earth*. GPS digunakan untuk mencatat titik kordinat letak kolam penenang dan rumah daya, kordinat ditunjukkan oleh tabel 2. Titik kordinat diunggah ke *Google Earth* untuk mendapatkan citra satelit lokasi tersebut. Kedua titik kordinat dihubungkan dengan sebuah garis. Garis tersebut mewakili jalur dari pipa pesat. Dengan menggunakan fasilitas yang dimiliki oleh *Google Earth* diperoleh Tinggi Permukaan Laut (TPL) masing-masing titik kordinat dan kontur tanah di sepanjang garis yang menghubungkan kedua kordinat tersebut. seperti ditunjukkan Gambar 3. *Head* diperoleh dari pengurangan TPL tertinggi dengan TPL, yaitu:

$$Head = TPL \text{ kolam penenang} - TPL \text{ rumah daya} = 757 - 739 = 18 \text{ m}$$

Tabel 2 Kordinat Kolam Penenang Dan Rumah Daya

Lokasi	Kordinat
Kolam penenang	S : 08 ^o 12'00.89"
	E : 115 ^o 06'16.69"
Rumah daya	S : 08 ^o 11'58.97"
	E : 115 ^o 06'16.49"



Gambar 3 TPL dari kordinat kolam penenang (1) dan rumah daya (2)

Dengan debit desain yang digunakan dalam perancangan PLTMH adalah $0,623 \text{ m}^3/\text{s}$ dan *head* 18 m, maka besar potensi daya listrik, dihitung dengan menggunakan persamaan (1):

$$\begin{aligned} \text{Potensi daya listrik} &= 9,8 \times 0,623 \times 18 \times 0,75 \\ &= 82,42 \text{ kW} \end{aligned}$$

4.3 Perancangan bangunan sipil PLTMH Sesuai Potensi (PLTMH Baru)

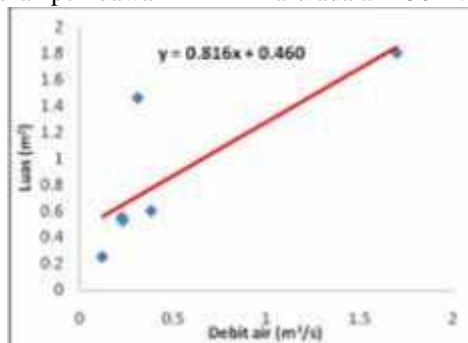
a. Bendung

Pemilihan lokasi penempatan bendung PLTMH Baru di Sungai Tiyang Tali didasarkan kondisi topografi dasar sungai yang relatif landai sehingga permukaan tanah akan lebih stabil. Koordinat bendung adalah S: $08^{\circ}12'5.04''$ dan E: $115^{\circ}06'17.36''$. Panjang bendung sesuai dengan lebar sungai dan tinggi bendung sesuai dengan tinggi permukaan air yang ditentukan agar air dapat masuk kedalam *intake* PLTMH. Jadi panjang bendung PLTMH Baru adalah 5 m dan tinggi 1 m.

b. Saluran pembawa

Saluran pembawa pada PLTMH Baru memiliki bentuk yang menyerupai huruf U dengan tujuan agar rugi-rugi saluran menjadi kecil. Untuk menentukan ukuran penampangnya, digunakan data sekunder yang merupakan luas penampang dari beberapa PLTMH yaitu PLTMH Brumbung [11], PLTMH Dukuh Pekuluran [12], PLTMH Karangasem [13], PLTMH Kuta Malaka [14], PLTMH Alue Meuraksa [15] dan PLTMH Pomoman [16]. Data-data tersebut disusun dalam bentuk grafik, dengan pendekatan interpolasi diperoleh persamaan linier yang menunjukkan hubungan antara luas penampang terhadap debit desain. Persamaan tersebut terdapat pada Gambar 4. Dengan menggunakan persamaan tersebut diperoleh hasil yaitu luas penampang saluran pembawa PLTMH Baru adalah $0,97 \text{ m}^2$ \sim 1 m^2 , dimana lebarnya 1 m dan tinggi 1 m.

Sedangkan panjang saluran pembawa ditentukan dengan metode yang sama seperti penentuan yaitu membuat jalur dari bendung menuju lokasi kolam penenang di *Google Earth*. Maka diperoleh panjang saluran pembawa PLTMH Baru adalah 150 m.



Gambar 4 Hubungan antara luas penampang saluran pembawa dengan debit desain

Untuk panjang pipa pesat diperoleh dengan menghitung sisi miring dari elevasi yang dibentuk antara kolam penenang dengan rumah daya sesuai dengan yang terdapat pada Gambar 3, maka panjangnya adalah 73 m.

e. Rumah Daya

Untuk menentukan ukuran dari rumah daya, dilakukan dengan metode yang sama seperti bangunan sipil lainnya. Data-data yang digunakan berasal dari PLTMH Karangasem [13], PLTMH Alue Meuraksa [15], PLTMH Pomoman [16], PLTMH Palakka [18], PLTMH Cibuntar [19], PLTMH Gegerung [22], PLTMH Curug Rame [23], PLTMH Seloliman dan Wot Lemah [24], PLTMH Curug Kenteh [26] maka diperoleh hubungan antara luas rumah daya dengan kapasitas PLTMH yang ditunjukkan dengan persamaan $e = 0,051f + 16,13$, dimana: e = luas rumah daya (m^2) dan f = kapasitas PLTMH (kW). Dari hasil perhitungan diperoleh luas rumah daya untuk PLTMH Baru adalah 20 m^2 dengan panjang 5 m dan lebar 4 m.

f. Saluran pembawa

Air yang telah dimanfaatkan untuk memutar turbin akan dikembalikan ke Sungai Tiyang Tali melalui saluran pembuangan. Bagian awal saluran pembuangan tepat berada di bawah turbin dan berakhir di tepi sungai, dengan penempatan rancangan rumah daya sesuai dengan lokasi rumah daya yang telah ada saat ini, maka panjang saluran pembawa adalah 6 m. Sedangkan untuk ukuran penampang dari saluran pembuang sama dengan ukuran saluran pembawa yaitu lebar 1 m dan tinggi 1 m, hanya saja pada bagian awal saluran pembuangan dibuat lebih dalam dibandingkan bagian yang lain. Perancangan seperti itu bertujuan agar turbin terhindar dari gangguan akibat pancaran balik air dan pengikisan yang terjadi pada permukaan saluran pembuang dapat dikurangi.

4.4 Komponen Mekanikal-Elektrikal

a. Turbin

Terdapat berbagai jenis turbin yang digunakan pada PLTMH, pemilihan turbin akan sangat tergantung dari karakteristik yaitu *head* dan debit air yang dimiliki oleh suatu potensi. Dengan memperhatikan hubungan antara debit desain dan *head* maka dapat ditentukan jenis turbin untuk PLTMH Baru yaitu *crossflow*. Faktor lain pemilihan turbin dengan jenis *crossflow* karena sepenuhnya telah dapat diproduksi di dalam negeri.

b. Generator

Jenis generator yang digunakan di PLTMH Baru

adalah generator sinkron dengan tegangan *output* tiga fasa 220/380 Volt serta dilengkapi *Auto Voltage Regulator*. Untuk kapasitas generator dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dengan asumsi $\cos \phi$ sebesar 0,8:

$$\text{Kapasitas generator} = 130 \% \times 82,42 = 107.146 \text{ kW} \\ = 107.146 / 0.8 = 134 \text{ kVA}$$

c. Panel kontrol dan *ballast load*

Panel kontrol terdiri dari alat ukur, pengamanan-pengaman yang melindungi sistem PLTMH dari gangguan kelistrikan. Karena jumlah beban listrik yang terhubung dengan PLTMH Baru berfluktuasi sepanjang waktu maka dibutuhkan ELC. Dipilihnya ELC sebagai pengontrol beban karena generator yang digunakan adalah generator sinkron. *Ballast load* juga dibutuhkan sebagai beban sementara jika jumlah beban listrik utama mengalami penurunan secara signifikan dengan tiba-tiba. Untuk menghitung kapasitas dari *ballast load* yang dibutuhkan digunakan persamaan (3):

$$\text{Kapasitas ballast load} = 120 \% \times 134 \text{ kVA} \\ = 160 \text{ kVA}$$

Untuk memanfaatkan potensi yang dimiliki Sungai Tiyang Tali, pemilihan komponen mekanikal-elektrikal yang digunakan mengacu pada perencanaan PLTMH Sedau karena memiliki karakteristik yang mirip yaitu debit desainnya 0,75 m³/dt dan head 18,5 m [9]. Pada tabel 3 terdapat spesifikasi komponen yang digunakan pada PLTMH baru.

Tabel 3. Spesifikasi komponen mekanikal-elektrikal

Komponen	Tipe	Produsen	Kapasitas
Turbin	T-15D500 B420	Heksa	-
Generator	MJB225 LA	Mareli	132kVA
ELC-ballas load		Heksa	157A

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang dilakukan maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil wawancara diketahui PLTMH Cahaya Abadi dalam pembangunannya tidak didahului dengan perencanaan teknis yang baik dan tidak mengacu kriteria pembangunan PLTMH yang benar sehingga berakibat terjadinya ketidaksesuaian dari komponen PLTMH. Keadaan ini akan mengakibatkan pengoperasian PLTMH tidak optimal, resiko terjadinya kerusakan peralatan semakin besar dan mengancam keselamatan operator.
2. Berdasarkan data Dinas PU Kabupaten Buleleng berupa laporan pengukuran debit air yang masuk ke *intake* Bendung Tiyang Tali selama tahun 2012 diperoleh data debit terendah adalah 0,623 m³/s. Perhitungan *head* dengan menggunakan GPS dan *Google Earth* diperoleh hasil 18 m. Jadi potensi daya listriknya sebesar

82,42 kW.

3. Perancangan bangunan sipil terdiri dari:
 - Bendung dengan panjang 5 m dengan tinggi 1 m.
 - Saluran pembawa panjangnya 150 m dengan tinggi 1 m dan lebar 1 m
 - Kolam penenang panjangnya 5 m dengan tinggi 1,5 m dan lebar 2 m.
 - Pipa pesat panjangnya 73 m dan diameter 0,508 m.
 - Rumah daya panjangnya 5 m dan lebar 4 m. Saluran pembuangan tingginya 1 m, lebar 1 m dan panjang 6 m.
- 4) Perencanaan PLTMH Baru menggunakan turbin jenis *crossflow*, generator sinkron dengan kapasitas 132 kVA yang dilengkapi dengan ELC dan *ballast load* dengan kapasitas 157 kVA.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Luas Wilayah, Jumlah Rumah Tangga, dan Jumlah Penduduk Hasil Sensus Penduduk 2011 Menurut Kabupaten/Kota di Bali. available from: <http://bali.bps.go.id>
- [2] Damanik A. Dkk. *Pedoman Studi Kelayakan PLTMH*, Dirjen ESDM, Jakarta, 2009, (1)
- [3] Jorde, K., *Baik buruk PLTMH*, Dirjen ESDM, Jakarta, 2009, (6)
- [4] Damanik, A., *Pedoman Studi Potensi*, Dirjen ESDM, Jakarta, 2009, (3)
- [5] Kurniawan A. Dkk, *Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi*, Dirjen ESDM, Jakarta, 2009, (6)
- [6] Kurniawan A. Dkk, *Pedoman Studi Kelayakan Sipil*, Dirjen ESDM, Jakarta, 2009(6)
- [7] Kurniawan A. Dkk, *Pedoman Studi Kelayakan Mekanika-Elektrikal*, Dirjen ESDM, Jakarta, 2009,(6).
- [8] Kusdiana, D., dkk, *Pedoman Teknis Standarisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Tenaga Listrik Mikro Hidro*, Dirjen ESDM, Jakarta, 2008, (28-36)
- [9] PT Maxintech Utama Indonesia, *Pengembangan Energi Bri Terbarukan Region V Nusa Tenggara 5 Lokasi*, PT Maxintech Utama Indonesia, Jakarta 2010.
- [10] Dinas PU Kabupaten Buleleng, Laporan Pengukuran Debit Sungai Pada Bendung Yang Dikelola Pemerintah Kabupaten Buleleng, 2012.
- [11] Agus Indiarjo, Pitojo T Juono, Rispiningtati, "*Kajian Potensi Sungai Srinjing Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Brumbung di Kabupaten Kediri*", Jurnal Teknik Pengairan, Vol 3, No 2, hal: 174-184, Desember 2012.
- [12] Sudargana, Karnoto, Hari Nugroho, "*Studi Kelayakan dan Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Dukuh Pekuluran Kec Doro Kab Pekalongan*", Jurnal Rotasi, Vol 3, No 2, April 2005.
- [13] G. Yasa, Analisis Pengelolaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Desa Susuan Karangasem Secara Tekno Ekonomis, Thesis, Manajemen Energi, Teknik, Universitas Udayana, 2011.
- [14] Ridwan A Subekti, "*Survey Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Kuta Malaka Kabupaten Aceh Besar Propinsi Nanggroe Aceh Darussalam*", Jurnal

- of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology, Vol 1, No 1, 2010.
- [15] [15] PT Cipta Multi Kreasi, *Studi Potensi Energi Listrik Alternatif di Pedesaan Sebagai Upaya Dalam Mendukung Percepatan Diversifikasi Energi di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam*. Banda Aceh, PT Cipta Multi Kreasi, Banda Aceh, 2008, (105-108).
- [16] [16] Mairi, K dkk., *Penelitian Pengembangan Mikro Hidro Elektrik Dengan Pemanfaatan Hasil Air Das di Sulawesi Utara*, Departemen Kehutanan Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Balai Penelitian Kehutanan Manado, Manado, 2010, (20-28).
- [17] Misno, *Kajian Potensi dan Rancang-Ulang Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kawasan Kebun Teh Medini Kabupaten Kendal*, Thesis, Sistem Teknik Mikrohidro, Teknik Mesin, Universitas Gajah Mada, 2008.
- [18] U. Hanifah dkk., "Evaluasi Terhadap Kondisi Fisik, Pengelolaan dan Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Desa Palakka Kec Maiwa Kab Enrekang", *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan PKM Saints, Teknologi dan Kesehatan*, hal 208-214, Vol 2, No 1, 2011.
- [19] A. Susatyo, R. A Subakti., "Implementasi Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Kapasitas 30 kW di Desa Cibuntar Kabupaten Tasikmalaya Jawa Barat", *Prosiding Seminar Nasional Daur Bahan Bakar*, Serpong, Oktober 2009.
- [20] H. Sutjipto, *Kajian Teknis Pekerjaan Sipil Berdasarkan Potensi PLTMH Pada Sungai Pabelan di Desa Taman Agung Kecamatan Muntilan Kabupaten Magelang*, Thesis, Sistem Teknik Mikrohidro, Teknik Mesin, Universitas Gajah Mada, 2005.
- [21] M. Auliana, *Optimasi Bangunan Sipil Untuk Sistem PLTMH Pada Sistem Irigasi*, Thesis, Sistem Teknik Mikrohidro, Teknik Mesin, Universitas Gajah Mada, 2010.
- [22] [22] B.A Kironoto, *Kajian Teknis Pekerjaan Sipil Dalam Perencanaan PLTMH Berdasarkan Potensi Desa Gegerung Kecamatan Lingsar Kabupaten Lombok Barat*, Thesis, Sistem Teknik Mikrohidro, Teknik Mesin, Universitas Gajah Mada, 2003.
- [23] A. Akhmad, *Perancangan PLTMH Yang Dikaitkan Dengan Perencanaan Bangunan Sipil Mikrohidro Pada Bendung Curug Rame di DAS Cilangkahan 1 Kabupaten Lebak Propinsi Banten*, Thesis, Sistem Teknik Mikrohidro, Teknik Mesin, Universitas Gajah Mada, 2007.
- [24] Case Study: Lesson Learnt from A Community Micro HydroPower Operation at Seloliman 1994–2011. Available from: <http://www.endev-indonesia.org/index.php/library/studies>. [25] Ika N Anggraini, dkk., "Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dengan Pemanfaatan Potensi Air di Desa Benteng Besi Kabupaten Lebong Propinsi Bengkulu", *Jurnal Amplifier*, Vol 2, Mei 2012
- [25] H. Sumawijaya, *Studi Kelayakan PLTMH Dalam Perencanaan Bangunan Sipil Mikrohidro Serta Rancang Bangun Turbin Crossflow pada Curug Kenteh Kecamatan Cilograng Kabupaten Lebak Propinsi Banten*, Thesis, Sistem Teknik Mikrohidro, Teknik Mesin, Universitas Gajah Mada, 2008.