

**HUBUNGAN TENAGA AIR TERHADAP KELUARAN DAYA LISTRIK
DAN ASPEK EKONOMIS DI PLTMH GUNUNG SAWUR 2 LUMAJANG**

MAKALAH SEMINAR HASIL

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

I KADEK DWIKA ANTARA

NIM. 105060307111016 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2015

	<p style="text-align: center;">KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO Jalan MT Haryono 167 Telp & Fax. 0341 554166 Malang 65145</p>	<p style="text-align: center;">KODE PJ-01</p>
---	---	---

PENGESAHAN
PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA

NAMA : I KADEK DWIKA ANTARA

NIM : 105060307111016 - 63

PROGRAM STUDI : TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

**JUDUL SKRIPSI : HUBUNGAN TENAGA AIR TERHADAP KELUARAN
DAYA LISTRIK DAN ASPEK EKONOMIS DI PLTMH
GUNUNG SAWUR 2 LUMAJANG**

TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Teguh Utomo, MT.

Ir. Hery Purnomo, MT.

NIP. 19650913 199103 1 003

NIP. 19950708 198212 1 001

HUBUNGAN TENAGA AIR TERHADAP KELUARAN DAYA LISTRIK DAN ASPEK EKONOMIS DI PLTMH GUNUNG SAWUR 2 LUMAJANG

I Kadek Dwika Antara¹, Ir. Teguh Utomo, MT.², Ir. Hery Purnomo, MT.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: dwika.antara@yahoo.com

Abstrak—Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Gunung Sawur 2 adalah pembangunan pembangkit listrik yang digunakan untuk kebutuhan listrik warga dan untuk menambah pasokan energi listrik yang kurang. Pembangunan PLTMH ini terletak di Dusun Gunung Sawur di lereng selatan Gunung Semeru Kecamatan Candipuro Kabupaten Lumajang dengan memanfaatkan aliran sungai dari mata air Gunung Semeru. Namun pembangunan PLTMH Gunung Sawur 2 kurang maksimum dikarenakan ada banyak faktor yang menyebabkan terjadinya hal tersebut. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa potensi daya yang dapat dibangkitkan pada PLTMH Gunung Sawur 2 secara teori adalah sebesar 6,88583 kW dengan debit air yang digunakan sebesar $0,34998 \text{ m}^3/\text{s}$ dan ketinggian jatuh air bersih (*head nett*) 4,5 meter. Dalam melakukan pengukuran pembangkit dengan mengambil data pada generator saat PLTMH Gunung Sawur 2 mengalami beban puncak. Potensi daya sebenarnya yang dapat dibangkitkan oleh PLTMH Gunung Sawur 2 yang sudah dibangun adalah sebesar 47,3268% dari daya teori atau sebesar 3,2588 kW. Hal ini terdapat perbedaan antara daya yang dihasilkan secara teori jauh lebih besar dibandingkan dengan daya yang dihasilkan ketika melakukan pengukuran pembangkit dikarenakan saat pengukuran debit air musim kemarau, beban generator yang belum maksimum, dan pembagian beban tiga fasa yang tidak seimbang. Dalam perhitungan harga pokok produksi (HPP) per kWh PLTMH Gunung Sawur 2 yang sudah dibangun menggunakan energi yang terbangkitkan selama setahun sebesar 19983,22523 kW. Perhitungan HPP per kWh PLTMH Gunung Sawur 2 didapatkan harga sebesar Rp 1.110,-. Ini jauh lebih mahal jika dibandingkan harga listrik PLN. Oleh karena itu harga tariff listrik dari PLTMH Gunung Sawur 2 ditentukan dengan musyawarah warga.

Kata Kunci—debit air, ketinggian jatuh air (*head*), PLTMH Gunung Sawur 2, potensi daya, Energi per tahun

I. PENDAHULUAN

Sejalan dengan perkembangan sosial, budaya dan ekonomi serta informasi, maka listrik telah menjadi salah satu kebutuhan pokok bagi masyarakat terpencil khususnya masyarakat

perdesaan. Terbatasnya kemampuan PLN dalam menyediakan tenaga listrik kepada masyarakat Indonesia, berdasarkan data Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi (DJLPE) pencapaian rasio elektrifikasi baru mencapai 64% dan rasio desa berlistrik mencapai 88 % dari total sekitar 66.000 desa pada tahun 2008.

Listrik merupakan energi yang sangat diperlukan di masa sekarang. Namun peningkatan pemanfaatan energi listrik tersebut tidak diimbangi dengan peningkatan penyediaan energi listrik oleh Perusahaan Listrik Negara. Penyediaan energi listrik oleh Perusahaan Listrik Negara cenderung tidak mencukupi permintaan akan energi listrik yang ada. Oleh karena itu, desa-desa terpencil yang belum mendapatkan fasilitas listrik dari Perusahaan Listrik Negara harus bisa memanfaatkan sumber energi alternatif yang ada seperti matahari, air, angin, geothermal, biomassa dan biogas agar tidak bergantung dengan Perusahaan Listrik Negara.

Pada data Perusahaan Listrik Negara di Provinsi Jawa Timur sekitar 40 persen atau 8.506 desa belum teraliri listrik. Wilayah yang sebagian besar belum mendapatkan aliran listrik berada di daerah terpencil seperti di Madura, Jember, Lumajang, Bojonegoro dan Probolinggo. Untuk Kabupaten Lumajang 20 % penduduk Lumajang yang tersebar di 107 dusun di 17 kecamatan belum menikmati jaringan listrik, umumnya daerah terpencil yang sulit terjangkau distribusi PLN. Salah satu upaya pemanfaatan sumber daya energi adalah dengan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) karena banyaknya aliran dan terjunan air di dataran tinggi berdekatan dengan wilayah Gunung Semeru.

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Dusun Gunung Sawur di lereng selatan Gunung Semeru, Lumajang, Jawa Timur adalah salah satu cara yang diterapkan untuk memenuhi kebutuhan listrik para warga Dusun Gunung Sawur, Kecamatan Candipuro, Kabupaten Lumajang. Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ini digunakan untuk menambah pasokan listrik warga yang kurang dari Pembangkit Mikrohidro yang terdahulu berkapasitas 13 kW.

Berdasarkan survei di lapangan, untuk sekarang Pembangkit Mikrohidro yang sudah ada memenuhi pasokan listrik 79 keluarga dan satu bengkel workshop PLTMH milik Bapak Sucipto. Dengan beban tersebut pembangkit mikrohidro yang sudah ada tidak cukup

untuk memenuhi listrik dengan beban tersebut. Dengan adanya aliran sungai dari lereng gunung semeru maka potensi untuk pembangunan pembangkit mikrohidro yang kedua masih bisa dilaksanakan. Pembangunan Mikrohidro Gunung Sawur 2 mendapatkan dana dari pemerintah Lumajang. Di rencanakan Pembangkit Mikrohidro Gunung Sawur 2 yang akan di bangun untuk memenuhi pasokan listrik yang kurang dari Pembangkit Mikrohidro Gunung Sawur 1.

Dengan memperhatikan beberapa hal yang telah disebutkan di atas maka perlu diadakan evaluasi Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Gunung Sawur 2 sehingga potensi sumber daya air yang tersedia dapat dimanfaatkan secara optimal untuk memenuhi kebutuhan daya masyarakat Dusun Gunung Sawur, Kabupaten Lumajang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik.

Bagian-bagian terpenting pada proses konversi energi air menjadi energi elektrik adalah [7]:

1. Waduk/Bendung, berfungsi untuk menyimpan air yang akan dialihkan ke turbin air.
2. Pintu air, berfungsi membatasi jumlah atau debit air yang akan dialirkan melalui saluran.
3. Saluran air, berfungsi untuk menyalurkan air yang akan melalui pipa pesat.
4. Bak penampung, berfungsi untuk mengendalikan volume dan debit air yang akan dialirkan ke turbin melalui pipa pesat, sekaligus sebagai penentu ketinggian jatuh air.
5. Pipa pesat, berfungsi sebagai media penyalur air dari bak penampung ke turbin. Efisiensi pipa pesat dipengaruhi oleh permukaan penampang aliran serta jumlah belokan.
6. Rumah pembangkit, merupakan bangunan tempat kedudukan seluruh perangkat konversi energi.
7. Saluran pelimpah, berfungsi sebagai penyalur air yang sudah digunakan, untuk dikembalikan ke sungai atau saluran irigasi.

B. Daya PLTMH

Untuk mendapatkan daya hidrolik (P_h) yang merupakan potensi sumber daya energi air pada suatu wilayah, didapatkan dengan persamaan [4]:

$$P_h = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \quad (W) \dots \dots \dots (1)$$

Apabila nilai gravitasi bumi g dan massa jenis air ρ dimasukkan di persamaan (1), maka persamaannya menjadi

$$P_h = 9.8 \cdot Q \cdot h \quad (kW) \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- P_h : Daya hidrolik (kW)
- Q : Debit air (m^3/s)
- ρ : Massa jenis air ($= 1000 \text{ kg}/m^3$)
- g : Gravitasi bumi ($= 9.8 \text{ m}/s^2$)

h : Tinggi jatuh air (m)

Jika efisiensi pipa pesat (η_{pp}) dan efisiensi turbin (η_{tb}) diketahui, maka besar daya mekanik turbin adalah

$$P_{tb} = \eta_{pp} \cdot \eta_{tb} \cdot P_h \quad (kW) \dots \dots \dots (3)$$

Apabila antara turbin dan generator ada perangkat sistem tranmisi mekanik (η_{tm}) dan efisiensi generator (η_g) diketahui, maka besar daya keluaran elektrik dari generator adalah

$$P_{elektrik} = \eta_{tm} \cdot \eta_g \cdot P_{tb} \quad (kW) \dots \dots \dots (4)$$

$$P_{elektrik} = \eta_{total} \cdot P_h \quad (kW) \dots \dots \dots (5)$$

C. Metode Pengukuran Debit air

Debit air merupakan jumlah air yang mengalir melalui suatu penampang sungai tertentu per satuan waktu. Debit air dipengaruhi oleh luasan daerah aliran sungai, curah hujan dan aliran sungai. Apabila curah hujan dan aliran sungai pada daerah tertentu sangat tinggi maka debit air pada daerah tersebut akan tinggi pula.

Metode pengukuran debit air salah satunya adalah dengan menggunakan metode apungan. Metode apungan digunakan untuk mendapatkan hasil yang akurat. Dengan menggunakan metode ini, luas penampang melintang sungai dan kecepatan aliran harus diketahui. Luas penampang melintang sungai harus ditentukan pada suatu tempat yang mudah dan di tengah aliran sungai yang lurus untuk melakukan pengukuran. Untuk dapat menghitung luas penampang melintang sungai maka yang harus dilakukan pengukuran adalah menghitung lebar sungai dan kedalaman sungai.

Kedalaman sungai tersebut diambil rata-ratanya kemudian dikalikan dengan lebar sungai untuk mendapatkan luas penampang melintang sungai A dengan persamaan[3] :

$$A = w \cdot d \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

A : Luas penampang melintang(m^2)

w : Lebar sungai(m)

d : Kedalaman rata – rata sungai (m)

Untuk menentukan kecepatan aliran sungai yaitu dengan cara memilih aliran sungai yang mendekati lurus dan memiliki luas penampang yang hampir sama untuk jarak yang cukup. Beri tanda pada titik awal dan titik akhir. Letakkan pelampung di titik awal, kemudian mencatat waktu yang diperlukan pelampung untuk menempuh lintasan untuk sampai di titik akhir. Sehingga kecepatan aliran dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan [3] :

$$v = \frac{l}{t} \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan:

v : Kecepatan aliran air($m/detik$)

l : Jarak antara titik awal dengan titik akhir(m)

t : Waktu tempuh ($detik$)

Sehingga debit air dapat diketahui dengan mengalirkan kecepatan aliran air v dengan luas penampang melintang A sesuai dengan persamaan [3]:

$$Q = v \cdot A \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan :

Q : Debit air ($m^3/detik$)

v : Kecepatan aliran air ($m/detik$)

A : Luas penampang melintang (m^2)

Tetapi kecepatan pelampung itu tidak mewakili kecepatan air di semua titik di sungai. Ditepian dan dasar sungai, air mengalir lebih lambat dibandingkan dengan aliran di tengah atau di dekat permukaan air karena gesekan dengan dasar dan tepian sungai. Oleh karena itu, perlu dikalikan dengan sebuah faktor koreksi (f_k) yang tergantung kepada kekasaran atau kehalusan dasar dan tepian sungai. Faktor koreksi tersebut berkisar antara 0.6 untuk sungai pegunungan yang berbatu-batu sampai 0.86 untuk sungai dengan tepian dan dasar yang licin [3].

D. Tinggi Jatuh Air

Untuk memperoleh tinggi jatuh efektif adalah dengan mengurangi tinggi jatuh total (dari permukaan air pada pengambilan sampai permukaan air saluran bawah) dengan kehilangan tinggi pada saluran air. Tinggi jatuh penuh (*full head*) adalah tinggi air yang bekerja efektif pada turbin yang sedang berjalan. Faktor yang mempengaruhi kehilangan tinggi pada saluran air adalah besar penampang saluran air, besar kemiringan saluran air dan besar luas penampang pipa pesat [1].

Metode dalam menentukan tinggi jatuh air adalah peta topografi, sisi fotografi, altimeter, peralatan geodesi dan metode *water-filled tube*.

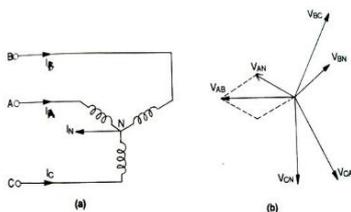
E. Generator Sinkron

Generator sinkron adalah sebuah mesin yang berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari turbin menjadi energi listrik. Komponen utama dari generator adalah rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang berputar, yang dikopel dengan poros turbin sebagai tenaga putarnya. Stator merupakan bagian generator yang tidak bergerak. Stator akan menghasilkan tegangan apabila rotor diberi penguatan atau magnetisasi.

F. Hubungan Generator Sinkron

➤ Hubungan bintang

Gambar 1 memperlihatkan skema hubungan bintang dan fasor diagramnya.



Gambar 1. Skema dan Fasor Diagram Hubungan Bintang [7]

Dari gambar diatas diperoleh:

$$P = 3 \cdot V_f \cdot I_f \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(9)$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(10)$$

$$S = 3 \cdot V_f \cdot I_f \dots\dots\dots(11)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \dots\dots\dots(12)$$

Keterangan :

- V_L : Tegangan line (Volt)
- V_f : Tegangan fasa (Volt)
- I_L : Arus line (Ampere)
- I_f : Arus fasa (Ampere)
- P : Daya nyata (Watt)
- S : Daya semu (VA)
- $\cos \phi$: Faktor daya

G. Produksi Energi per tahun

Produksi energy per tahun yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dapat dihitung dengan daya yang dibangkitkan (kW), dengan waktu yang diperlukan (t) selama satu tahun (8760 jam) dengan factor daya FP [8].

$$Energi \text{ per tahun} = P_{net} \times 8760 \times PF \text{ (kWh)} \dots$$

Keterangan:

P_{net} : daya yang dibangkitkan (kW)

PF : Faktor daya (70%)

H. Harga Pokok Produksi

Harga pokok produksi adalah besarnya biaya yang dikeluarkan untuk memproduksi energi dari pengoperasian suatu sistem pembangkit, hal ini diperlukan untuk mengetahui apakah produksi listriknya lebih murah atau lebih mahal. Harga pokok per kWh dapat dihasilkan dengan menghitung semua biaya modal (cannula) per tahun, biaya operasi dan pemeliharaan (O+M) per tahun suatu pembangkit dibagi dengan produksi energi per tahun (8760 jam) kWh. Secara teori dapat dihitung dengan persamaan [8]:

$$HPP \text{ per tahun} = \frac{\text{Cannual per tahun} + (O+M) \text{ per tahun}}{\text{Energi per tahun}} \dots\dots\dots(13)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah dalam melakukan analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah sebagai berikut:

A. Studi Literatur

Studi literatur sebagai dasar dalam mempelajari dan memahami konsep yang terkait, yaitu teori dasar mengenai konversi energi pada PLTMH. Serta teori dasar mengenai komponen-komponen pada PLTMH secara umum yaitu bak penenang (*forebay*), pipa pesat (*penstock*), turbin, sistem peralatan mekanik, sistem transmisi mekanik, generator.

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memudahkan proses pengerjaan penelitian. Data-data yang diambil merupakan data-data berupa:

1. Debit air
2. Tinggi jatuhnya air
3. Tegangan pada generator
4. Arus pada generator
5. Biaya produksi dan pemeliharaan PLTMH Gunung Sawur 2
6. Laporan pembukuan PLTMH Gunung Sawur 2

C. Analisis PLTMH Gunung Sawur 2

Data-data di atas digunakan sebagai perhitungan potensi daya pada PLTMH Gunung Sawur 2.

Setelah menghitung potensi daya pada PLTMH Gunung Sawur 2, kemudian mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator pada saat beban puncak. Dalam pengukuran pembangkit PLTMH Gunung Sawur 2 saat beban puncak, yaitu dari pukul 16.00 sampai 22.00.

Setelah hasil pengukuran daya yang dibangkitkan generator di lapangan didapatkan kemudian dibandingkan dengan daya keluaran secara teoritis ($P_{elektrik}$) setelah itu mencari faktor-faktor yang

menyebabkan terjadinya kerugian (*losses*) pada PLTMH Gunung Sawur 2 dan mendapatkan solusinya terhadap *losses* tersebut.

D. Penarikan Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai hasil evaluasi.

IV. ANALISIS PEMBANGUNAN PLTMH GUNUNG SAWUR 2

A. Potensi Energi Aliran Air PLTMH Gunung Sawur 2

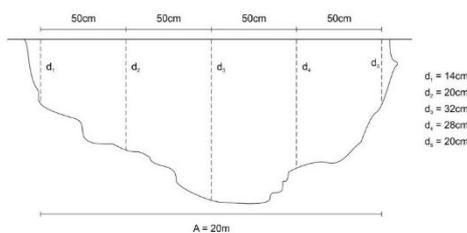
1. Pengukuran Debit Air (Q)

Pengukuran debit air (Q) dilakukan pada saluran cabang dari saluran utama. Saluran cabang dari saluran utama yaitu saluran KP 2, saluran KP 3 dan saluran Bantal. Pengukuran debit air (Q) pada ketiga saluran cabang tersebut menggunakan metode kecepatan area dengan menggunakan *current meter* sebagai alat untuk mengukur kecepatan aliran air. Gambar 2 dibawah ini merupakan denah dari Saluran Irigasi Parseh beserta saluran cabangnya.

Untuk pengukuran debit air (Q) dilakukan pada aliran sungai yang akan dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Pengukuran dilakukan dikarenakan ingin mengetahui potensi yang dibangkitkan dari aliran sungai yang akan dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Metode yang digunakan untuk mengukur debit air adalah metode apungan. Dengan menggunakan metode apungan harus diketahui luas penampang melintang sungai dan kecepatan aliran sungai.

➤ Luas Penampang Sungai

Untuk Pengukuran luas penampang pada sungai dilakukan dengan membagi lebar saluran menjadi 4 *segment* dengan lebar sungai 2 meter maka setiap *segment* adalah 50 cm yang ditunjukkan [ada gambar XX di bawah ini.



Kedalaman air sungai berbeda-beda pada setiap 5 titik yang membagi setiap *segment* sehingga akan dicari kedalaman rata-rata dari kedalaman sungai pada kelima titik yang telah diukur.

Table 1 Hasil pengukuran kedalaman sungai

Titik Pengukuran	Kedalaman sungai (m)
1	0,14
2	0,20
3	0,32
4	0,28
5	0,20

Dari hasil pengukuran diatas maka kedalaman rata-rata sungai didapatkan 0,228 meter. Berdasarkan persamaan 2.7 didapatkan luas penampang melintang sungai yaitu :

$$A = w \cdot d$$

$$A = 2 \cdot 0,228$$

$$A = 0,456 \text{ m}^2$$

➤ Kecepatan Air

Untuk menentukan kecepatan aliran sungai yaitu memilih sungai yang lurus dan mengukur panjang lintasan apungan yang akan diukur waktunya. Jarak panjang lintasan apungan yaitu 5 meter dan luas penampang sungai sudah diketahui diatas. Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengukuran waktu metode apungan. Tetapi kecepatan pelampung tidak mewakili kecepatan air di semua titik pada sungai. Di dasar dan di tepian sungai, air mengalir lebih lambat dibandingkan dengan ditengah sungai. Itu disebabkan oleh gesekan dengan dasar dan tepian sungai. Oleh karena itu, perlu dikalikan factor koreksi (f_k) 0,86 untuk sungai dengan tepian dan dasar yang licin.

Tabel 1 Hasil pengukuran kecepatan aliran air

Titik Pengukuran	Jarak lintasan (m)	Waktu tempuh (detik)
1	5	5,52
2	5	5,51
3	5	5,67
4	5	5,47
5	5	5.86

Dari hasil pengukuran diatas maka berdasarkan persamaan 2.8 kecepatan aliran air dapat dihitung yaitu:

$$v_1 = \frac{l_1}{t_1} \cdot f_k$$

$$v_1 = \frac{5}{5,52} \cdot 0.86$$

$$v_1 = 0,7789 \text{ m/s}$$

Dengan cara yang sama, diperoleh besarnya kecepatan aliran air setiap titik seperti tersusun dalam Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 2 Kecepatan aliran air pada setiap titik

Titik Pengukuran	Kecepatan aliran air (m/s)
1	0.7789
2	0.7803
3	0.7583
4	0.7861
5	0.7337

Dari hasil perhitungan diatas maka kecepatan rata-rata aliran sungai didapatkan 0,7675 m/s

Untuk mengetahui besar debit air bisa didapatkan dari persamaan 2.9 dengan mengalikan kecepatan aliran sungai (v) dengan luas penampang melintang sungai (A). Didapatkan hasil debit air yaitu :

$$Q = v \cdot A$$

$$Q = 0,7675 \cdot 0,456$$

$$Q = 0,34998 \text{ m}^3/\text{s}$$

➤ Pengukuran 26 september 2014

2. Tinggi Jatuh Air (h)

Untuk mendapatkan tinggi jatuh air (h) dilakukan pengukuran dengan menggunakan metode *water-filled tube* dimana diukur dari permukaan air atas pada kolam penenang hingga dimana tempat turbin akan dipasang. Sehingga tinggi jatuh air pada pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Gunung Sawur 2 didapatkan sebesar 4,5 meter. Sedangkan pada desain perencanaan PLTMH Gunung Sawur 2 tinggi jatuh air direncanakan 6 meter.

Maka besarnya daya hidrolik (P_h) adalah

$$P_h = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \quad (W)$$

$$P_h = 9,8 \cdot Q \cdot h \quad (kW)$$

$$P_h = 9,8 \cdot 0,34998 \cdot 4,5$$

$$P_h = 15.4341 \quad kW$$

Dalam pembangunan PLTMH Gunung Sawur 2 direncanakan akan menggunakan turbin jenis *crossflow*. Pada umumnya efisiensi turbin *crossflow* 60 % sampai 80 % [4]. Namun pada perhitungan, efisiensi turbin yang dipakai adalah 70 %. Sedangkan efisiensi dari pipa pesat pada umumnya berkisar 95 % [2]. Maka besarnya daya mekanik turbin adalah

$$P_{mekanik} = \eta_{pp} \cdot \eta_{tb} \cdot P_h$$

$$P_{mekanik} = 0,95 \cdot 0,65 \cdot 15.4341$$

$$P_{mekanik} = 9,53056 \quad kW$$

Sedangkan potensi daya yang dibangkitkan pada PLTMH Bantal adalah

$$P_{elektrik} = \eta_{tm} \cdot \eta_g \cdot P_{mekanik}$$

$$P_{elektrik} = 0,85 \cdot 0,85 \cdot 9,53056$$

$$P_{elektrik} = 6,88583 \quad kW$$

Maka besar potensi daya yang dapat dibangkitkan pada PLTMH Bantal adalah sebesar 6,88583 kW.

B. Pengukuran PLTMH

Beban yang digunakan dalam pengukuran Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ini adalah beban pada konsumen langsung pada saat beban puncak yang akan diukur dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Gunung Sawur 2 ialah tegangan dan arus pada fasa R, S, dan T. Hasil pengukuran diperlihatkan pada tabel 4.5 dan tabel 4.6 dibawah ini :

➤ Pengukuran 25 september 2014

Tabel Error! No text of specified style in document.

Hasil pengukuran generator pada hari pertama

Waktu Pengukuran	16.00	18.00	20.00	22.00	
Tegangan (volt)	Fasa R	239,6	240,1	240,7	239,6
	Fasa S	235,1	237,7	238,5	239,4
	Fasa T	240,2	242,7	244,5	244,5
Arus (Ampere)	Fasa R	5,2	6,8	7,3	6,7
	Fasa S	5,5	7,2	6,1	5,7
	Fasa T	3,6	3,8	3,9	4,5
cos ϕ	Fasa R	1	0,91	0,91	0,83
	Fasa S	0,85	0,65	0,74	0,48
	Fasa T	0,91	0,89	0,91	0,83
Frekuensi (Hz)	50,1	50,2	50,2	50,5	
Putaran (rpm)	1460	1430	1445	1465	

Tabel 5 Hasil pengukuran generator pada hari kedua

Waktu Pengukuran	16.00	18.00	20.00	22.00	
Tegangan (volt)	Fasa R	239,6	239,3	239,8	240,3
	Fasa S	238,4	237,3	237,8	239,4
	Fasa T	241,2	244,2	242,7	244,8
Arus (Ampere)	Fasa R	5,4	7,2	7,1	6,8
	Fasa S	6,5	6,0	5,9	5,7
	Fasa T	4,2	4,3	4,4	3,8
Cos pi	Fasa R	0,94	0,85	0,91	0,91
	Fasa S	0,72	0,68	0,69	0,55
	Fasa T	0,89	0,89	0,84	0,83
Frekuensi (Hz)	50,4	50,2	50,2	50,1	
Putaran (rpm)	1450	1445	1445	1430	

Dengan persamaan X dan persamaan X perhitungan daya nyata dan daya semu dapat dihitung pada setiap pengukuran.

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \phi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \phi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \phi_T)]$$

$$P = [(293,6 \cdot 5,2 \cdot 0,94) + (235,1 \cdot 5,5 \cdot 0,72) + (240,2 \cdot 3,6 \cdot 0,89)]$$

$$P = 2,7229 \quad kW$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = 3,4036 \quad kVA$$

Dengan cara yang sama, diperoleh tegangan fasa pada generator seperti disusun dalam Tabel 6 dibawah ini:

Tabel 6 Hasil Perhitungan Daya

Waktu uji	16.00	18.00	20.00	22.00	
Hari I	Daya (kW)	3,1319	3,4189	3,5432	2,9006
	Daya (kVA)	3,4036	4,2664	4,1655	4,0701
Hari II	Daya (kW)	3,2335	3,3777	3,4144	3,0095
	Daya (kVA)	3,8564	4,1968	4,1734	3,9288

Perbandingan daya yang dibangkitkan generator pada kenyataan saat beban puncak dengan daya yang dapat dibangkitkan secara teoritis dalam persen diperlihatkan pada tabel X di bawah ini :

Tabel 7 Perbandingan daya teori dengan praktek di lapangan dalam persen

Waktu Pengukuran	Nilai Perbandingan Daya terpasang dan daya terpakai	
	Hari Pertama	Hari Kedua
16.00	45,4835 %	46,9593 %
18.00	49,6527 %	49,0539 %
20.00	51,4579 %	49,5868 %
22.00	42,1246 %	43,7072 %

Nilai rata-rata perbandingan daya pada pengukuran hari pertama sebesar 41,1797 % dan nilai rata-rata perbandingan daya pada pengukuran hari kedua 47,3268 %.

C. Analisis Harga Pokok Produksi (HPP) per kWh

Sesuai perhitungan sebelumnya maka daya terbangkitkan yang digunakan untuk menghitung energi terbangkitkan selama satu tahun yaitu daya yang terbangkitkan di lapangan yaitu 46,9245 % dari daya terbangkitkan secara teori.

$$P_{net} = 47,3268 \% \times 6,88583$$

$$P_{net} = 3,2588 \text{ kW}$$

Maka total energi per tahun yang dibangkitkan PLTMH Gunung Sawur 2 sesuai dengan keadaan keadaan di lapangan dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Energi per tahun} = P_{net} \times 8760 \times PF$$

$$\text{Energi per tahun} = 3,2588 \times 8760 \times 70\%$$

$$\text{Energi per tahun} = 19983,22523 \text{ kWh}$$

Dibutuhkan data berupa biaya modal dan biaya perawatan PLTMH Gunung Sawur 2. Pembangunan PLTMH Gunung Sawur 2 direncanakan berumur 10 tahun, dengan demikian untuk menghitung HPP maka biaya modal akan di bagi sepuluh. Tabel 8 dibawah menunjukkan biaya pembangunan dan pemeliharaan PLTMH Gunung Sawur

Tabel 8 Biaya modal pembangunan PLTMH Gunung Sawur 2

Uraian Pekerjaan dan Nama Barang	Satuan	Jumlah Harga (Rp)
Pipa pesat PVC Ø 16 inci SNI S-12,5	15 btg	59.433.000
Pipa pesat baja 16 inci T 6 mm dan conennecting dengan pipa PVC	1 set	8.800.000
Pintu Air (225 x 90) cm, T 6 mm	1 set	5.000.000
Saringan (170 x 130) cm, plat strip 7 x 12 mm	1 set	4.000.000
Pekerjaan finising turbin	1 set	17.500.000
Pek. Pas. Batu kali saluran pembunag turbin	33,76 m ³	19.427.116
Pekerjaan Rumah Pembangkit	1 set	22.000.000
Pekerjaan pasang batu kali Bendung Intake	23,08 m ³	13.284.740
Pekerjaan galian pipa pesat, rumah pembangkit, dan saluran pembuang	558,2 m ³	20.606.898
Panel Control Manual dan DLC	1 set	6.900.000
Generator	1 set	6.500.000
Kabel distribusi TIC 4 x 16 mm		4.500.000
Total		187.951.755
Bantuan Dari PJB		170.000.000

Dalam satu tahun PLTMH Gunung Sawur 2 memerlukan biaya operasional dan pemeliharaan sebesar Rp 3.600.000,-.

Sehingga Harga Pokok Produksi dari PLTMH Gunung Sawur 2 sesuai perhitungan dengan persamaan 2.22 yaitu :

$$HPP = \frac{\text{Cannual per tahun} + (O + M)\text{per tahun}}{\text{Energi per tahun}}$$

$$HPP \text{ per kWh} = \frac{7.518.000 + 3.600.000}{19983,22523}$$

$$HPP \text{ per kWh} = \text{Rp } 556, - /\text{kWh}$$

D. Pembahasan

Ketinggian jatuh air yang dimiliki pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) Gunung Sawur 2 adalah 4,5 meter. Hal ini tidak sesuai dengan perencanaan awal PLTMH Gunung Sawur 2 yang telah dipilih tinggi jatuh air sebesar 6 meter.

Daya yang terbangkitkan pada PLTMH Gunung Sawur 2 sesuai perhitungan didapatkan 6,88583 kW sedangkan berdasarkan data pengukuran generator saat beban puncak didapatkan daya yang dihasilkan oleh generator jauh di bawah daya nominal generator. Dari masing-masing waktu pengukuran daya maksimal yang mampu dihasilkan generator adalah sebesar 3,4131 kW

sedangkan daya nominal pada generator itu sendiri 20 kW.

Dari perbandingan yang telah dilakukan sebelumnya dapat diketahui bahwa nilai rata-rata perbandingan daya yang dapat dibangkitkan secara teoritis dan daya yang dihasilkan generator sebesar 41,1797 % pada hari pertama dan sebesar 47,3268 % pada hari kedua.

Biaya pembangunan PLTMH Gunung Sawur 2 merupakan bantuan dari PJB sebesar Rp 170.000.000,-. Hasil penjualan listrik ke warga digunakan untuk biaya operasional PLTMH Gunung Sawur 2 kedepannya. Sesuai energi yang terbangkitkan dan biaya digunakan yang digunakan untuk pembangunan PLTMH Gunung Sawur 2 didapatkan Harga Pokok Produksi (HPP) sebesar Rp 556,- per kWh. Ini lebih murah jika dibandingkan harga listrik per kWh milik PT. PLN dengan kisaran harga sebesar Rp 1.200,- per kWh sampai Rp 1.352,- per kWh. Dan jika dibandingkan dengan penjualan listrik ke warga maka mengalami kerugian untuk penjualan MCB 2 A dengan harga Rp 500,- per kWh dan Rp 400,- per kWh. Dan mengalami keuntungan untuk penjualan MCB 4 A yang dijual dengan harga Rp 700,- per kWh.

Jika listrik yang dihasilkan PLTMH Gunung Sawur 2 dijual ke PT. PLN maka listrik yang dihasilkan PLTMH Gunung Sawur 2 akan mengalami keuntungan sebesar Rp 448,- per kWh sesuai dengan peraturan Menteri ESDM tentang pembelian listrik oleh PT. PLN harganya ialah RP 1.004/kWh. Tetapi listrik yang dijual ke PT. PLN harus mempunyai kualitas dan standard yang sesuai dengan listrik PT. PLN.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Gunung Sawur 2 di Dusun Gunung Sawur di lereng selatan Gunung Semeru, Lumajang, Jawa Timur, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, didapatkan besar potensi daya yang dapat dibangkitkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Gunung Sawur 2 adalah sebesar 6,88583 kW.
2. Perbandingan daya antara daya yang dihasilkan oleh pembangkit di lapangan pada saat beban puncak dengan daya yang dihasilkan oleh pembangkit secara teoritis didapatkan sebesar 41,1797 % pada hari pertama dan 47,3268 % pada hari kedua. Hal ini diperoleh adanya perbedaan dimana daya yang dihasilkan pada perhitungan teoritis jauh lebih besar dibandingkan daya yang dihasilkan karena ketika melakukan pengukuran pembangkit, pada salah satu fasa terdapat beban yang tidak seimbang dengan kedua fasa yang lainnya sehingga beban yang terpasang pada generator belum mencapai beban maksimum.

Berdasarkan biaya produksi dan biaya pemeliharaan dalam 25 tahun kedepan Pembangkit Listrik Tenaga

Mikrohidro Gunung Sawur 2 menghasilkan harga pokok produksi sebesar Rp 556,-/kWh. Oleh karena itu PLTMH Gunung Sawur 2 mengalami kerugian untuk harga beli Rp 500,- dan Rp 400,- per kWh. Sedangkan untuk harga beli Rp 700,- per kWh mengalami keuntungan dan PLTMH Gunung Sawur 2 mengalami keuntungan jika dijual ke PT. PLN harga yang dibeli PT. PLN sebesar Rp 1004,-/kWh.

B. Saran

Dari hasil perhitungan dan analisa Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Gunung Sawur 2 di Dusun Gunung Sawur di lereng selatan Gunung Semeru, Lumajang, Jawa Timur yang telah dilakukan, ada beberapa saran untuk kedepannya yaitu :

- a. Pengukuran ketinggian jatuh air bisa menggunakan alat yang tepat dan lebih akurat agar tinggi jatuh air yang didapat pasti dan lebih akurat.
- b. Generaor yang dipakai bisa diganti dengan daya yang lebih kecil, dengan demikian daya nominal generator tidak terlalu besar dibandingkan daya yang terbangkitkan dan efisiensi generator bisa bertambah baik.
- c. Pemeriksaan tegangan keluaran pada generator, karena saat pengukuran tegangan keluaran generator melebihi dari standard yaitu melebihi 220 volt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arismunandar, A. dan Susumu Kuwahara. 2004. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik I*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [2] Linsley, Ray.K. 1991. *Teknik Sumber Daya air*. Jakarta: Erlangga
- [3] Mismail Budiono. 1991/1992. *Pelistrikan Desa di Indonesia*. Depok: Kampus Baru UI.
- [4] Patty, O. 1995. *Tenaga Air*. Jakarta: Erlangga.
- [5] Thomas, H. 2005. *Evaluasi Konversi Energi pada PLTM Check Dam V Kali Jari Kabupaten Blitar*. Malang: Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- [6] Wibawa Unggul. 2001. *Sumber Daya Energi Alternatif*. Malang: Universitas Brawijaya.
- [7] Zuhail. 1991. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Bandung: ITB.
- [8] Harvey, Adam. 1993. *Micro-Hydro Design Manual*. Warwickshire CV23 9QZ, UK. Intermediate Technology Publications Ltd