

Kajian Kelayakan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Gunung Sawur 1 dan Gunung Sawur 2 Di Lumajang

Wilda Faradina¹, Hadi Suyono, ST., Mt., Ph.D.², Ir. Teguh Utomo, MT.³

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

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: wilda.f.r.30@gmail.com

Abstrak— Wilayah Kabupaten Lumajang yang berada di Propinsi Jawa Timur memiliki banyak daerah aliran sungai (DAS) yang berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro). Salah satunya adalah potensi sumber daya air di DAS Besuk Semut yang terletak ± 450 m diatas permukaan laut di daerah tangkapan air selatan Gunung Semeru telah dimanfaatkan PLTMH Gunung Sawur. Peneitian ini dibuat kajian kelayakan ekonomi energi PLTMH yang berlokasi di Dusun Gunung Sawur di lereng selatan Gunung Semeru Kecamatan Candipuro Kabupaten Lumajang. Parameter yang digunakan untuk analisis ekonomi energi adalah *Pay Back Period* (PBP), *Net Present Value* (NPV) dan *Return Of Investment* (ROI) dengan kondisi jika di kelola langsung oleh masyarakat atau dikelola PT. PLN (Persero) (on grid). Hasil menunjukkan bahwa debit air sungai Besuk Semut mampu membangkitkan daya minimal sebesar 9,1408 kW Gunung Sawur 1 dan 3,2588 kW Gunung Sawur 2. Energi listrik yang dapat dibangkitkan pertahun sebesar 101478,33 kWh. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh biaya investasi yang dibutuhkan untuk merealisasikan PLTMH Gunung Sawur sebesar Rp563.843.121, *Net Present Value* (NPV) jika di kelola PT. PLN (Persero) Rp 4.121.417.655 *Net Present Value* (NPV) jika di kelola masyarakat = sebesar Rp1.166.816.006 pada alternatif 1, Rp1.599.480.788 pada alternatif 2, Rp2.464.810.352 pada Alternatif 3, *Pay Back Period* (PBP) jika di kelola PT. PLN (Persero) = 8,1 tahun, *Pay Back Period* (PBP) jika di kelola masyarakat = 22 tahun pada alternatif 1, 17,6 tahun pada alternatif 2 dan 12,6 tahun pada alternatif 3. dan *Return Of Investment* (ROI) jika di kelolah PT. PLN (Persero) = 2,07% *Return Of Investment* (ROI) jika di kelolah masyarakat = 0,13% pada alternatif 1, 0,42 % pada alternatif 2 dan 0,98% pada alternatif 3 hal ini berarti PLTMH Gunung sawur layak untuk direlasasikan baik oleh PT. PLN (Persero) /on grid atau oleh masyarakat (Off Grid).

Kata Kunci— Analisis Ekonomi, Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

I. PENDAHULUAN

PLTMH banyak diterapkan di desa-desa dataran tinggi atau pegunungan yang masih memiliki sumber air alami yang cukup berlimpah. Hal tersebut sangat menguntungkan karena PLTMH dapat menjadi solusi untuk listrik pedesaan terutama di dataran tinggi dan pegunungan yang umumnya sulit di jangkau oleh saluran listrik PLN.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu sistem konversi energi potensial dan energi kinetik air menjadi energi listrik berskala kecil (mikro). Potensi sumber air untuk PLTMh cukup banyak terdapat di Indonesia.

Salah satu daerah aliran sungai yang cocok dibangun PLTMH adalah daerah aliran sungai besuk semut yang berasal dari tangkapan air selatan Gunung Semeru di desa Sumberwuluh, Kecamatan Candipuro, Kabupaten Lumajang, Jawa Timur. Pada kondisi saat ini PLTMH Gunung Sawur beroperasi selama 24 jam dalam sehari, kecuali kalau ada perbaikan. PLTMh Gunung Sawur merupakan pembangkit listrik yang beroperasi sendiri (stand alone) atau off grid.

Dengan adanya Pemen ESDM No. 04 Tahun 2012, PT. PLN (PERSERO) memiliki kewajiban untuk membeli tenaga listrik yang bersumber dari energi baru terbarukan sekala kecil dan menengah atau kelebihan tenaga listrik.

Energi yang dihasilkan pembangkit sebagian besar akan di distribusikan pada rumah penduduk di sekitar lokasi pembangkit dan sisanya di on grid ke jaringan PLN. Dalam hubungannya dengan PLN, PLTHM harus memenuhi syarat secara teknis dan ekonomis sehingga dapat dapat menunjang perkembangan perekonomian masyarakat di sekitar pembangkit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkkit Listrik Tenaga Mikrohidro

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.

Secara garis besar komponen-komponen PLTMH dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

- 1) Komponen Sipil
- 2) Komponen Mekanikal & Elektrikal

1) Komponen Sipil

Komponen sipil PLTMH yang dibangun pada aliran sungai terdiri:

- Bendungan Pengalihan (*Diversion Weir*)
- Bak Pengendap (*Stand Trap*)
- Saluran Pembawa (*Headrace Channel*)
- Bak Penenang (*Forebay*)
- Saringan (*Trash Rack*)
- Saluran Pelimpah (*Spillway*)
- Pipa Pesat (*Penstock*)
- Rumah Pembangkit (*Power House*)

2) Komponen Mekanikal & Elektrikal

Komponen-komponen mekanikal dan elektrikal pada sebuah sistem PLTMh terdiri dari:

- Turbin Air
- Generator
- Panel Listrik, Alat Kontrol dan *Ballast*

B. Daya PLTMH

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

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

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

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

Keterangan:

P_h : Daya hidrolik	(W)
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

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

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

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

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

C. Analisa Ekonomi

Sebelum suatu proyek dilaksanakan perlu dilakukan analisa dari investasi tersebut sehingga akan diketahui kelayakan suatu proyek dilihat dari sisi ekonomi investasi.

Ada beberapa metode penilaian proyek investasi, yaitu :

1. Net Present Value (NPV)

NPV adalah nilai sekarang dari keseluruhan *Discounted Cash Flow* atau biaya total atau pendapatan total proyek dilihat dengan nilai sekarang (nilai pada awal proyek). Secara matematik rumus NPV dapat ditulis sebagai berikut :

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CIF_t}{(1+k)^t} - COF \quad (6)$$

dimana :

k	= <i>Discount rate</i> yang digunakan
COF	= <i>Cash out flow</i> /Investasi
CIF_t	= <i>Cash in flow</i> pada periode t
n	= Periode terakhir <i>cash flow</i> diharapkan

2. Pay Back Period (PBP)

Payback Period adalah lama waktu yang diperlukan untuk mengembalikan dana investasi. Dirumuskan dalam persamaan:

$$PP = \frac{\text{Investment Cost}}{\text{Annual CIF}} \quad (7)$$

Investasi yang ideal adalah investasi dengan payback priode terpendek.

3. Return Of Investment (ROI)

ROI adalah laba atas investasi. ROI adalah rasio uang yang diperoleh atau hilang pada suatu investasi, relatif terhadap jumlah uang yang diinvestasikan. ROI dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$ROI = \frac{\sum_t^n \text{Benefit}_t - \text{Investment Cost}}{\text{Investment Cost}} \quad (8)$$

Dimana:

$$\sum_t^n \text{Benefit}_t = \text{jumlah keuntungan sampai tahun ke-t}$$

Investment Cost = biaya investasi

CIF_t = pemasukan tahun ke-t

COF_t = pengeluaran tahun ke-t

D. 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 faktor kapasitas [8].

$$\text{Energi per tahun} = P_{\text{net}} \times 8760 \times \text{faktor kapasitas (kWh)} \quad (9)$$

Keterangan:

P_{net} : daya yang dibangkitkan (kW)

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 dan 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
6. Laporan pembukuan PLTMH Gunung Sawur

C. Analisis PLTMH Gunung Sawur

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

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

Kemudian dilakukan perhitungan ekonomis investasi menggunakan metode *Pay Back Period* (PBP) , *Net Present Value* (NPV) dan *Return Of Investment* (ROI).

D. Penarikan Kesimpulan

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

IV. PERHITUNGAN DAN ANALISIS PEMBANGUNAN PLTMH GUNUNG SAWUR

A. Analisa Teknis dan Ekonomis PLTMH Gunung Sawur

1. Pengukuran Debit Air

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 akandibangun 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. Hasil pengukuran adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Pengukuran Luas Penampang Sungai

Titik pengukuran	Kedalaman sungai (m)		Luas Penampang (m^2)	
	Sawur 1	Sawur 2	Sawur 1	Sawur 2
1	0,18	0,14	0,36	0,28
2	0,18	0,2	0,36	0,4
3	0,2	0,32	0,4	0,64
4	0,21	0,28	0,42	0,56
5	0,2	0,2	0,4	0,4
Rata-rata	0,194	0,228	0,388	0,456

➤ 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 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 2. Hasil pengukuran kecepatan aliran sungai

Titik Pengukuran	Jarak lintasan (m)	Waktu tempuh (detik)		Kecepatan aliran air (m/s)	
		Sawur 1	Sawur 2	Sawur 1	Sawur 2
1	5	4,75	5,52	0,9053	0,7789
2	5	4,53	5,51	0,9492	0,7803
3	5	4,81	5,67	0,8939	0,7583
4	5	4,39	5,47	0,9795	0,7861
5	5	4,1	5,86	1,0489	0,7337
rata-rata		4,516	5,5425	0,95536	0,76746

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

Tabel 3. Debit Air

Titik Pengukuran	Luas Penampang		Kecepatan Rata-rata Aliran		Debit Air	
	Sawur 1	Sawur 2	Sawur 1	Sawur 2	Sawur 1	Sawur 2
1	0,36	0,28	0,95536	0,76746	0,34393	0,21489
2	0,36	0,4	0,95536	0,76746	0,34393	0,30698
3	0,4	0,64	0,95536	0,76746	0,38214	0,49117
4	0,42	0,56	0,95536	0,76746	0,40125	0,42978
5	0,4	0,4	0,95536	0,76746	0,38214	0,30698
Rata-rata					0,37068	0,34996

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 Mikro Hidro Gunung Sawur 1 didapatkan sebesar 8,6 meter dan Gunung Sawur 2 didapatkan sebesar 4,5 meter.. Sedangkan pada desain perencanaan PLTMH Gunung Sawur 1 tinggi jatuh air direncanakan 10 meter dan 6 meter Gunung Sawur 2.

Maka besarnya daya hidrolik (P_h) adalah

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

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

- Pada Gunung Sawur 1
 $P_h = 9,8 \cdot 0,37069 \cdot 8,6$
 $P_h = 31,2417 \quad kW$

- Pada Gunung Sawur 2
 $P_h = 9,8 \cdot 0,34998 \cdot 4,5$
 $P_h = 15,4341 \quad kW$

Dalam pembangunan PLTMH Gunung Sawur 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

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

- Pada Gunung Sawur 1
 $P_{mekanik} = 0,95 \cdot 0,65 \cdot 31,2417$
 $P_{mekanik} = 19,29175 \quad kW$
- Pada Gunung Sawur 2
 $P_{mekanik} = 0,95 \cdot 0,65 \cdot 15,4341$
 $P_{mekanik} = 9,53056 \quad kW$

Sedangkan potensi daya yang dibangkitkan pada PLTMH Gunung Sawur adalah

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

- Pada Gunung Sawur 1
 $P_{elektrik} = 0,85 \cdot 0,85 \cdot 19,29175$
 $P_{elektrik} = 13,93828 \quad kW$
- Pada Gunung Sawur 2
 $P_{elektrik} = 0,85 \cdot 0,85 \cdot 9,53056$
 $P_{elektrik} = 6,88583 \quad kW$

Maka besar potensi daya yang dapat dibangkitkan pada PLTMH Bantal adalah sebesar 13,93828 kW pada Gunung Sawur 1 dan 6,88583 kW pada Gunung Sawur 2.

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 ialah tegangan dan arus pada fasa R, S, dan T. Hasil pengukuran sebagai berikut :

➤ Pengukuran 25 september 2014

Tabel 4 Hasil pengukuran generator Sawur 1 pada hari pertama

Waktu Pengukuran		16.00	18.00	20.00	22.00
Tegangan (volt)	Fasa R	222,3	231,1	243,3	219,6
	Fasa S	221,3	232,9	242,2	220,9
	Fasa T	221,7	232,1	243,1	221,1
Arus (Ampere)	Fasa R	15,3	18,2	17,9	14,6
	Fasa S	14,5	18	17,3	14,1
	Fasa T	12,8	17,4	16,1	13,3
cos ϕ	Fasa R	0,94	0,95	0,9	0,47
	Fasa S	0,88	0,77	0,88	0,69
	Fasa T	0,86	0,88	0,91	0,85
Frekuensi (Hz)		50	50,2	50,1	50,3
Putaran (rpm)		1455	1463	1442	1461

Tabel 5 Hasil pengukuran generator Sawur 2 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

➤ Pengukuran 26 september 2014

Tabel 6 Hasil pengukuran generator Sawur 1 pada hari kedua

Waktu Pengukuran		16.00	18.00	20.00	22.00
Tegangan (volt)	Fasa R	220,9	233,3	230,8	223,6
	Fasa S	220,2	232,1	230,3	220
	Fasa T	220,4	232,6	231,9	220,9
Arus (Ampere)	Fasa R	15,1	18	18,3	14,5
	Fasa S	14,6	17,8	17,1	14,3
	Fasa T	13,1	17,4	16,7	13,3
Cos pi	Fasa R	0,87	0,91	0,91	0,61
	Fasa S	0,81	0,85	0,84	0,73
	Fasa T	0,79	0,83	0,88	0,77
Frekuensi (Hz)		50,2	50,1	50	50,1
Putaran (rpm)		1448	1442	1440	1444

Tabel 7 Hasil pengukuran generator Sawur2 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 berikut, perhitungan daya nyata dan daya semu dapat dihitung pada setiap pengukuran.

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

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

Dengan cara yang sama, diperoleh tegangan fasa pada generator seperti disusun dalam Tabel 8 dibawah ini:

Tabel 8 Hasil Perhitungan Daya

Waktu uji	16.00		18.00		20.00		22.00		
	Unit 1	Unit 2	Unit 1	Unit 2	Unit 1	Unit 2	Unit 1	Unit 2	
Hari I	Daya (kW)	8,4614	3,1319	10,7776	3,4189	11,1685	3,5432	6,1556	2,9006
	Daya (kVA)	9,4478	3,4036	12,4368	4,2664	12,459	4,1655	9,2615	4,0701
Hari II	Daya (kW)	7,787	3,2335	10,6923	3,3777	10,5595	3,4144	6,5366	3,0095
	Daya (kVA)	9,4378	3,8564	12,378	4,1968	12,0345	4,1734	9,3262	3,9288

Perbandingan daya yang dibangkitkan generator pada kenyataan saat beban puncak dengan daya yang dapat dibangkitkan secara teoritis dalam persen diperlihatkan pada tabel 9 di bawah ini :

Tabel 9 Perbandingan daya teori dengan praktek di lapangan dalam persen

Waktu Pengukuran	Nilai Perbandingan Daya terpasang dan daya terpakai			
	Hari Pertama		Hari Pertama	
	Unit 1	Unit 2	Unit 1	Unit 2
16.00	60,7061%	45,4835 %	55,8675%	46,9593 %
18.00	77,3239%	49,6527 %	76,7120%	49,0539 %
20.00	80,1281%	51,4579 %	75,7593%	49,5868 %
22.00	44,1630%	42,1246 %	46,8965%	43,7072 %

Nilai rata-rata perbandingan daya pada pengukuran hari pertama sebesar 65,5803 %

pada Gunung Sawur 1 dan 41,1797 % pada Gunung Sawur 2 dan nilai rata-rata perbandingan daya pada pengukuran hari kedua 63,8088% pada Gunung Sawur 1 dan 47,3268 %. Pada Gunung Sawur 2.

C. Produksi Energi per tahun (kWh)

Sesuai perhitungan sebelumnya maka daya terbangkitkan yang digunakan untuk menghitung energi terbangkitkan selama satu tahun yaitu daya yang terbangkitkan di lapangan yaitu 65,5803 % untuk Gunung Sawur 1 dan 47,3268 % untuk Gunung Sawur 2 dari daya terbangkitkan secara teori.

- PLTMH Gunung Sawur 1

$$P_{net} = 65,5803 \% \times 13,93828$$

$$P_{net} = 9,1408 \text{ kW}$$

- PLTMH Gunung Sawur 2

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

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

Maka total energi per tahun yang dibangkitkan PLTMH Gunung Sawur 1 dan Gunung Sawur 2 sesuai dengan keadaan keadaan di lapangan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \text{Energi per tahun} &= P_{net} \times 8760 \times \text{faktor kapasitas} \\ \text{Energi per tahun} &= (13,9382 + 6,88583) \times 8760 \times 70\% \\ \text{Energi per tahun} &= 127693,4 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Namun pada kondisi di lapangan sebuah PLTMH tidak dapat beroperasi secara terus menerus, tetapi memerlukan waktu untuk kegiatan pemeliharaan dan perbaikan sehingga diperoleh besarnya energi terpakai selama satu tahun sesuai dengan keadaan di lapangan dengan menggunakan persamaan (2.5) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Energi per tahun} &= (8760 - T) \times (P \text{ Unit 1} + P \text{ Unit 2}) \times \\ &\quad \text{faktor kapasitas} \\ \text{Energi per tahun} &= (8760 - 576) \times (9,1408 + 3,2588) \\ \text{Energi per tahun} &= 101478,33 \text{ kWh.} \end{aligned}$$

D. Analisis Ekonomis

Analisis Ekonomi dilakukan dengan maksud untuk mengevaluasi kelayakan pembangunan PLTMH Gunung Sawur dan untuk mengetahui besarnya keuntungan secara finansial yang diberikan

Tabel 10. Analisis Biaya Langsung PLTMH Gunung Sawur

URAIAN	UNIT 1	UNIT 2	TOTAL
Pekerjaan Sipil	Rp40.101.900	Rp181.274.550	Rp221.376.450
Pekerjaan Mekanik	Rp298.831.000	Rp333.521.000	Rp632.352.000
Lain-Lain (O&M)			Rp3.600.000
CFo			Rp857.328.450
PPN 10%			Rp85.732.845
CF			Rp943.061.295

Pembangunan PLTMH Gunung Sawur membutuhkan biaya investaasi sebesar Rp943.061.295 dengan asumsi umur pakai 25 tahun, dengan 4 alternatif nilai jual energi listrik yang telah di sepakati melalui musyawarah dan kesepakatan masyarakat yaitu Rp 400 , Rp 500, 700 dan Rp dan Rp1004 ,suku bunga 7 % dan . Dari hasil analisa diperoleh NPV sebagai berikut : *Net Present Value* (NPV) jika di kelola PT. PLN (Persero) Rp 4.121.417.655 *Net Present Value* (NPV) jika di kelola masyarakat = sebesar Rp1.166.816.006 pada alternatif 1 ,Rp1.599.480.788 pada alternatif2, Rp2.464.810.352 pada Alternatif 3,*Pay Back Period* (PBP) jika di kelola PT. PLN (Persero) = 8,1 tahun, *Pay Back Period* (PBP) jika di kelola masyarakat = 22 tahun pada alternatif 1 , 17,6 tahun pada alternatif 2 dan 12,6 tahun pada alternatif 3. dan *Return Of Investment* (ROI) jika di kelolah PT. PLN (Persero) = 2,07% *Return Of Investment* (ROI) jika di kelolah masyarakat = 0,13% pada alternatif 1, 0,42 % pada alternatif 2 dan 0,98% pada alternatif 3 hal ini berarti PLTMH Gunung sawur layak untuk direlasasikan baik oleh PT. PLN (Persero) /on grid atau oleh masyarakat (Off Grid).

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil Analisis yang telah dilakukan sebelumnya dapat disimpulkan antara lain sebagai berikut :

1. Secara teknis pembangunan kedua PLTMH Gunung Sawur tersebut dapat dibangkitkan daya sebesar 13,9382 kW pada Gunung Sawur 1 dan 6,88583 kW pada Gunung Sawur 2 dengan pemilihan jenis dan dimensi turbin dan generator yang sesuai maka PLTMH Gunung Sawur 1 dan Gunung Sawur 2 layak untuk dikembangkan untuk skema On Grid.
2. Secara ekonomis, terdapat 4 alternatif nilai jual energi listrik yang dihasilkan, pada alternatif 1 HPP yaitu Rp 400 dengan waktu pengembalian modal awal selama 22 tahun diperoleh *Return Of Investment* (ROI) 0,13% dan Nilai *Net Present Value* (NPV) dan Rp1.166.816.006. Pada alternatif 2 HPP yaitu

- Rp 500 dengan waktu pengembalian modal awal selama 17,6 tahun diperoleh *Return Of Investment* (ROI) 0,42 % dan Nilai *Net Present Value* (NPV) Rp1.599.480.788. Pada alternatif 3 HPP yaitu Rp 700 dengan waktu pengembalian modal awal selama 12,6 tahun diperoleh *Return Of Investment* (ROI) 0,98% dan Nilai *Net Present Value* (NPV) Rp2.464.810.352. Dan pada alternatif On Grid HPP yaitu Rp 1004 dengan waktu pengembalian modal awal selama 8,1 tahun diperoleh *Return Of Investment* (ROI) 2,07% dan Nilai *Net Present Value* (NPV) Rp4.121.417.655. Setelah waktu pengembalian terlampaui, pendapatan yang diperoleh merupakan keuntungan bersih dari proyek PLTMH Gunung Sawur.
3. Secara keseluruhan dari analisis ekonomis maupun ketersediaan energi proyek PLTMH Gunung Sawur 1 dan Gunung Sawur 2 secara Off Grid maupun jika di kelolah oleh PT. PLN (Persero) layak untuk dilaksanakan. Namun kedua PLTMH tersebut tidak layak jika di On Grid karena kondisi yang tidak memenuhi persyaratan secara teknis.

B. Saran

1. Perlu adanya keeriusan dari pihak pemerintah baik pemerintah daerah maupun pusat untuk mendukung dan mendorong pemanfaatan sumber energi terbarukan guna mewujudkan Desa Mandiri Energi.
2. Pemeliharaan dan perawatan PLTMH harus dilakukan secara berkala dan berkesinambungan agar memperpanjang usia pembangkitan dan mempertahankan efisiensinya.
3. Perlu adanya kajian terhadap stabilitas tegangan dan frekuensi terkait persyaratan On Grid ke jaringan Listrik PT. PLN (Persero).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Klaus, Jorde. dkk. (2001). BAIK & BURUK dari *Mini/Mikro Hidro* Vol.1 IMIDAP: Jakarta.
- [2] IMIDAP. 2010 *Mikro dan Mini Hidro Harmoni Alam Peluang Bisnis* . Jakarta.
- [3] IMIDAP. 2009. *Pedoman Studi Kelayakan Ekonomis / Finansial*. Jakarta.
- [4] Patty, O. 1995. *Tenaga Air*. Jakarta: Erlangga
- [5] PERMEN ENERGI dan SUMBER DAYA MINERAL. 2006. *Pengusaha Pembangkit Listrik Tenaga Energi Terbarukan Skala Menengah*. Jakarta.
- [6] Prabantoro, Gatot. 2002 . *mengukur Kelayakan Ekonomis Proyek Sistem Informasi Manajemen Metode 'Cost & Benefit Analysis' Dan Aplikasinya Dengan MS EXCEL 2000*, STIE. Indonesia.
- [7] Wibawa Unggul. 2001. *Sumber Daya Energi Alternatif*. Malang: Universitas Brawijaya.
- [8] Zuhul. 1991. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Bandung: ITB.