

Terbit online pada laman web jurnal : <http://metal.ft.unand.ac.id>

METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal

| ISSN (Print) 2477-3085 | ISSN (Online) 0000-0000 |



Research Paper

Perancangan dan Analisis Ekonomi Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro di Desa Garabak Data Kabupaten Solok Sumatera Barat

Adly Havendri¹, Dendi Adi Saputra¹, Mulya Cipta Nurmansyah²¹Dosen Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas, Padang, Indonesia²Mahasiswa Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas, Padang, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 03 Februari 2017

Revisi Akhir: 01 Maret 2017

Diterbitkan Online: 01 April 2017

KATA KUNCI

Pico hydro

Power

Electric

Turbine

Generator

KORESPONDENSI

E-mail: adlyhave05@gmail.com

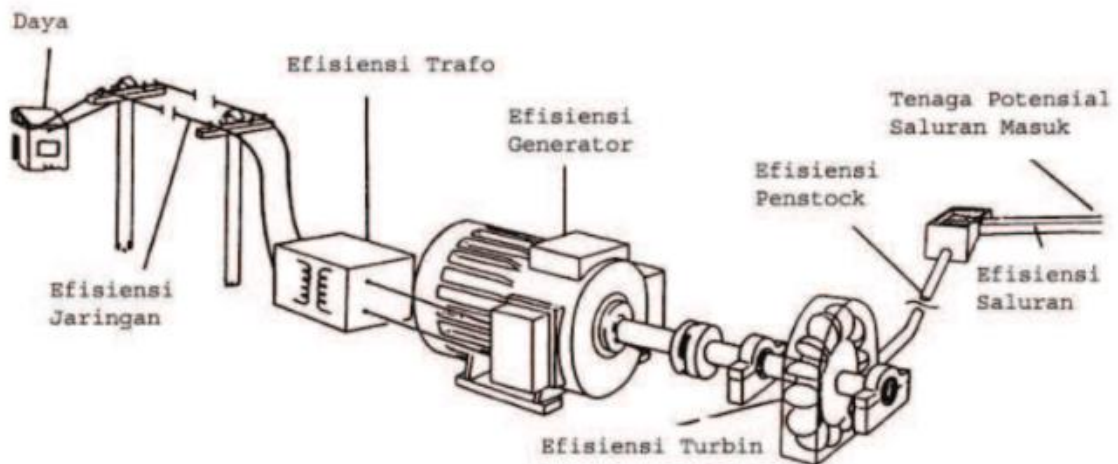
A B S T R A C T

In this research, development of a pico hydro power plant utilizing the river with water flow $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ and head 1.5 m is conducted. According to the available potential of the area, the waterwheel turbine with type undershot and efficiency about 71-76% is selected. The synchronize generator with 1 phase and 10 kVA capacity is chosen according the maximum generated power of the plant power which is about 8.81 kW. Due to the loses inside the turbine and generator, therefore the average electrical power that can be distributed is 4.96 kW. For stabilizing the voltage and current from the generator, a 7,5 kVA stabilizer with safety factor 20% is used. As the result, the stable electrical power 34.759,68 kWh can be generated every year with the capacity factor about 80%. The design results of the pico hydro power plant indicated that the power plant in Garabak Data able to produce the electrical power about Rp899,05 per kWh.

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi (DJLPE) pada tahun 2008 Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi air yang besar karna memiliki begitu banyak aliran sungai dan danau yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi yaitu dari sekitar 75.67 GW energi yang ada, baru dimanfaatkan sekitar 4.2 GW. Diantara potensi tersebut digunakan untuk pembangkit listrik tenaga piko hidro sekitar 450 MW dan yang baru dimanfaatkan sekitar 230 MW. Pencapaian rasio

elektrifikasi baru mencapai 64% dan rasio desa yang mendapatkan energi listrik mencapai 88% dari total 66.000 desa [1, 2]. Garabak Data adalah sebuah desa di Kecamatan Tigo Lurah, Kabupaten Solok, Sumatera Barat yang masih mendapatkan energi listrik sampai saat ini. Ditinjau dari lokasinya, Desa Garabak Data memiliki potensi pemanfaatan aliran sungai sebagai sumber energi pembangkit listrik tenaga piko hidro. Hal ini dapat dilihat dari karakteristik aliran sungai yang memiliki *head* rendah namun debit yang tinggi. Selain itu, lokasi aliran sungai yang terdapat di sekitar permukiman penduduk akan memudahkan



Gambar 1. Skema pembangkit listrik piko hidro

akses dalam perancangan dan pembangunan PLTPH ini nantinya. Oleh sebab itu, diperlukan sebuah kajian awal mengenai perancangan dan analisis ekonomi untuk melihat kelayakan pembangunan PLTPH ini.

2. KAJIAN PUSTAKA

Sistem pembangkit tenaga listrik membutuhkan sumber-sumber energi dari alam untuk mengubah suatu energi menjadi energi lain, dan yang dikaji pada penelitian kali ini yaitu energi listrik yang diperoleh berdasarkan hukum kekekalan energi (hukum termodinamika 1) yaitu: energi tidak bisa diciptakan ataupun dimusnahkan, namun dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain [3]. Pada umumnya untuk membangkitkan energi listrik dibutuhkan energi mekanik berupa kecepatan dan putaran pada poros untuk memutar poros generator sehingga menghasilkan energi listrik. Sumber energi mekanik itu bisa didapat dari tenaga air, tenaga angin, tenaga uap, tenaga geothermal, tenaga gas, tenaga diesel, tenaga nuklir. Pada Gambar 1 diperlihatkan skema pembangkit energi listrik piko hidro. Pada Gambar 1 tersebut terlihat bahwa energi potensial air disimpan pada tempat penyimpanan sementara yang berada di ketinggian tertentu. Air ini selanjutnya dialirkan ke dalam turbin yang digunakan untuk menggerakkan generator.

Daya listrik yang dihasilkan oleh generator pembangkit listrik piko hidro berasal dari energi potensial air pada ketinggian h dan dikurangi oleh rugi-rugi energi pada turbin dan generator [4].

$$P = \rho \times g \times Q \times h \times \eta_{turbin} \times \eta_{generator} \quad (1)$$

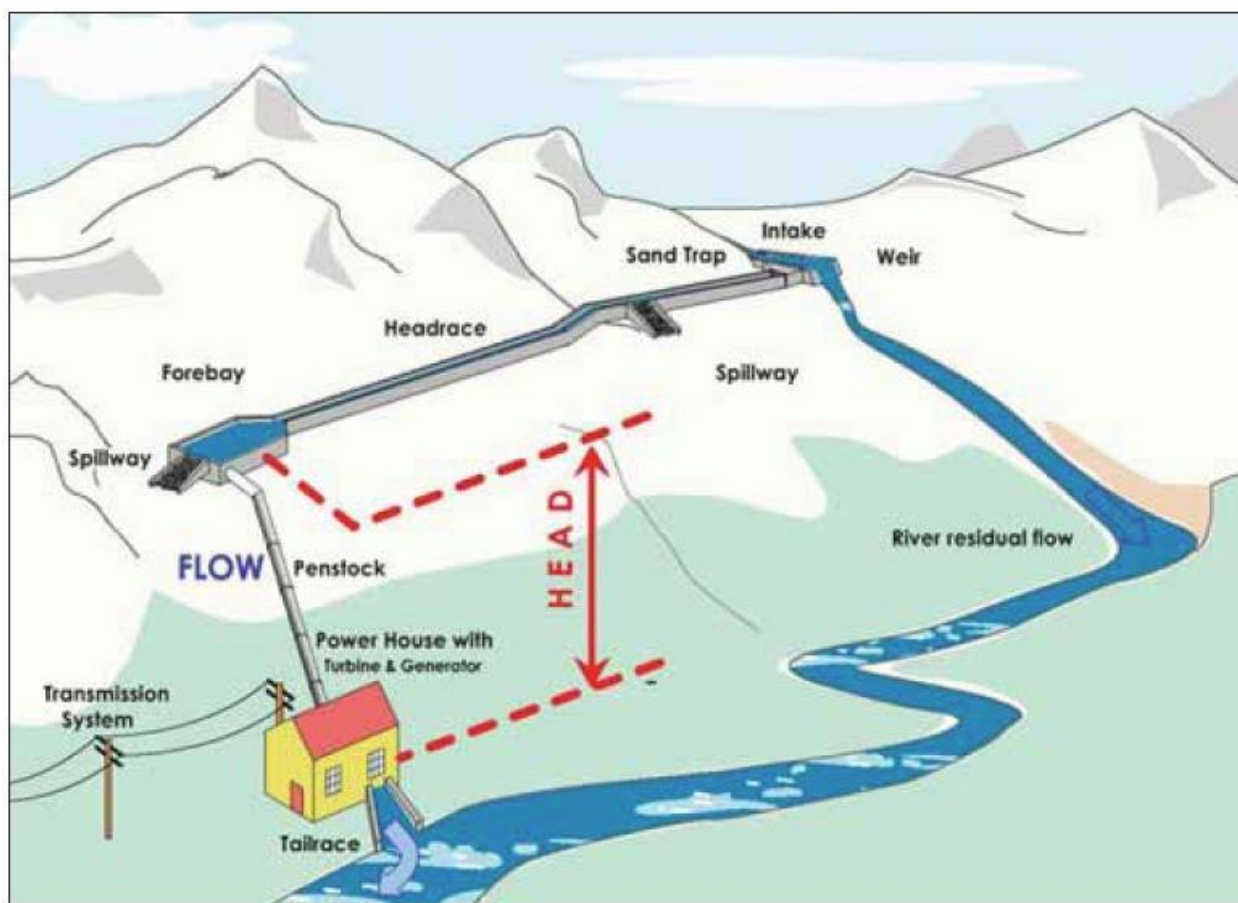
2.1. Kriteria Pemilihan Jenis Bahan

Parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu:

1. Faktor tinggi jatuhnya air efektif (*Net Head*) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin.
2. Faktor daya (*power*) yang diinginkan berkaitan dengan head dan debit yang tersedia.
3. Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator.

2.2. Skema Sipil Pembangunan PLTPH

Pada suatu lokasi yang berpotensi untuk membangkitkan energi piko hidro dapat dipetakan sebagai suatu sistem yang terdiri dari komponen-komponen bangunan sipil seperti bendungan, bangunan pengambil, saluran pembawa, bak pengendap, saluran pelimpah, pipa pesat, rumah pembangkit dan saluran buang [5]. Pada Gambar 2 diperlihatkan peta dari suatu sistem pembangkit listrik piko hidro.



Gambar 1. Skema pembangkit listrik piko hidro

3. METODOLOGI

Secara garis besar, tahapan penelitian diperlihatkan dalam bentuk diagram alair pada Gambar 3. Tahapan-tahapan penelitian tersebut adalah:

a. Studi Literatur

Studi Literatur yang dilakukan adalah mempelajari dan memahami konsep mengenai perancangan PLTPH, yang mencakup studi kelayakan pendirian suatu pembangkit dan analisis ekonomi. Selain itu dilakukan mengenai metode pengukuran head dan debit aliran air dari sungai di daerah Garabak Data.

b. Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk mengetahui potensi aliran sungai untuk dimanfaatkan sebagai lokasi *intake* pembangkit serta

melakukan pengukuran *head* dan debit aliran sungai.

c. Perancangan PLTPH

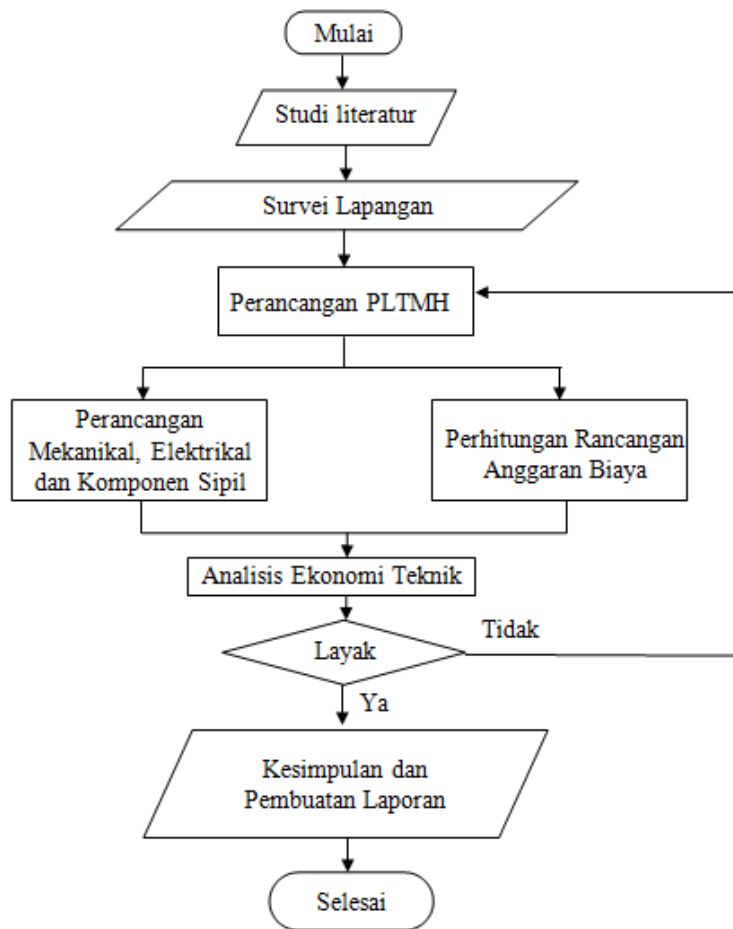
Perancangan PLTPH meliputi konstruksi komponen sipil dan peralatan mekanikal elektrikal yang optimal dari sistem suatu pembangkit, serta mengkalkulasikan rancangan anggaran biaya.

d. Analisis Ekonomi Teknik

Analisis ekonomi teknik dilakukan untuk mengetahui layak atau tidaknya pembangunan suatu pembangkit sesuai standar literatur yang telah ditetapkan.

e. Penarikan Kesimpulan

Hasil dari kesimpulan adalah perancangan pembangunan PLTPH di Desa Garabak Data layak untuk dijalankan.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Potensi

Berdasarkan hasil survei di desa Garabak Data, lokasi ini berpotensi untuk dibangunnya pembangkit listrik tenaga piko hidro. Survei lapangan telah dilakukan untuk mengetahui kondisi data sungai sebagai berikut. Tabel 1 memperlihatkan hasil dari pengukuran data di sungai. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa lebar sungai adalah 4 m dengan kedalaman rata-rata 0,496 m sehingga luas penampang sungai adalah 1,984 m². Selanjutnya dilakukan pengukuran kecepatan aliran dengan panjang aliran diukur 10 m dengan waktu rata-rata yang didapatkan adalah 19,98 s, sehingga diperoleh kecepatan aliran yaitu 0,5004

m/s. Untuk mendapatkan debit air dihitung sebagai berikut:

$$Q = A \times v$$

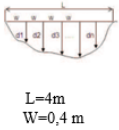
$$Q = 1,984 \text{ m}^2 \times 0,5004 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,992 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dengan menggunakan data-data hasil pengukuran serta hasil perhitungan debit maka untuk perancangan turbin piko hidro digunakan parameter sebagai berikut:

- Head : 1,5 m
- Debit Air : 0,992 m³/s
- Massa Jenis Air : 998 kg/m³
- Percepatan Gravitasi : 9,81 m/s²

Tabel 1. Data hasil pengukuran di sungai

No	Uraian	Satuan	Nomor Pengukuran					Keterangan
			1	2	3	4	5	
1	Waktu Pengukuran	s	19,54	19,66	19,85	19,56	19,83	 L=4m W=0,4 m
			6	7	8	9	10	
			20,52	21,27	19,52	19,93	20,18	
	Panjang Lintasan	m	10					
	Waktu rata-rata	s	19,986					
Kecepatan Aliran	m/s	0,5004						
2	Kedalaman (d)	m	0,15	0,28	0,61	0,72	0,86	
			6	7	8	9	10	
			0,69	0,67	0,48	0,38	0,12	
	Kedalaman rata-rata	m	0,496					
	Luas Penampang	m ²	1,984					
3	Debit Air	m ³ /s	0,9926					

4.2. Peralatan Mekanikal Elektrikal

4.2.1. Pemilihan Turbin

Pemilihan jenis turbin dipilih berdasarkan pada tinggi air jatuh (*head*) dan debit aliran yang mengalir. Berdasarkan hasil survei dan analisa dalam perancangan, *head* yang dirancang yaitu 1,5 m dengan debit 0,6 m³/s. Berdasarkan data *head* dan debit yang didapatkan maka jenis turbin terbaik yang dipilih adalah jenis *water wheel* tipe *undershoot* karena jenis ini dapat digunakan pada *head* yang sangat kecil yaitu antara 1,2 – 2,3 m dengan debit aliran sampai dengan 3 m³/s, namun efisiensi jenis turbin *water wheel undershot* ini paling kecil di antara jenis *water wheel* lainnya yaitu sebesar 71-76% [6,7]. Setelah didapatkan jenis turbin yang sesuai, dilakukan perancangan berdasarkan standar yang merujuk pada standar perancangan turbin. Geometri perancangan dari turbin kincir air *undershot* adalah sebagai berikut:

- Diameter luar turbin : 1 m
- Diameter dalam turbin : 0,75 m
- Tebal rotor : 8 mm
- Tebal sudu : 6 mm
- Luas Sudu : 0,0626 m²
- Jumlah Sudu : 3 buah
- Diameter Poros : 10 cm
- Kecepatan putar : 50 rpm

4.2.2. Pemilihan Generator

Terdapat dua jenis generator yaitu generator sinkron dan generator induksi. Generator yang dipilih yaitu generator sinkron dengan alasan lebih mudah dioperasikan dan lebih mudah ditemukan dipasaran. Inti lilitan dinamo terbuat dari material tembaga. Pemilihan lilitan tembaga dipilih karena memiliki efisiensi daya hantar listrik yang tinggi. Spesifikasi Generator yang akan digunakan adalah:

- Daya : 10 kVA
- Tipe : 1 phasa
- Volt : 230 V
- Arus : 21,8 A
- Frekuensi : 50 Hz
- Putaran : 1500 rpm

4.2.3. Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

Tegangan serta arus listrik keluran generator tidak selalu stabil, untuk menjaganya tetap stabil diperlukan stabilizer pada instalasi listrik. Stabilizer listrik memiliki harga maksimum daya output yang berbeda-beda. Stabilizer sebaiknya tidak digunakan sampai beban 100% agar stabilizer tahan lama. Faktor keamanan diperlukan untuk menjaga performa stabilizer. Perancangan stabilizer menggunakan daya maksimum 80% dan faktor keamanan 20%.

- Power Maksimum : 80%
- Arus listrik : 21,8 A
- Tegangan Listrik : 230 V
- Faktor keamanan : 20%

Daya stabilizer dihitung sebagai berikut:

$$P_{\text{stabilizer}} = \frac{\text{Tegangan} \times \text{Arus}}{\text{Power Maksimum} \times \text{Faktor Keamanan}}$$

$$P_{\text{stabilizer}} = \frac{230 \text{ V} \times 21,8 \text{ A}}{80\%} \times 20\%$$

$$P_{\text{stabilizer}} = 7521 \text{ VA}$$

Sesuai dengan hasil perhitungan maka stabilizer yang tepat digunakan yaitu minimal 7500 VA. Setelah melewati stabilizer daya telah stabil maka listrik dapat didistribusikan sehingga tidak merusak

peralatan elektrik konsumen karena ketidakstabilan voltase.

4.3. Skema dan Komponen Sipil

1. Intake

Pada umumnya sebelum menentukan lokasi intake ada beberapa hal yang harus diperhatikan salah satunya yaitu kondisi dasar sungai yang stabil sehingga tidak mudah terjadinya erosi yang mengakibatkan sulitnya air memasuki intake.

2. Bak Penenang (Headtank)

Bak penenang dirancang dengan volume 3m x 3m x 1.5m, untuk mendapatkan debit yang konstan sebesar 0.6 m³/s diameter orifice yang digunakan yaitu 40 cm di dasar bak penenang.

3. Penstock

Penstock berfungsi mengalirkan air dari bak penenang menuju turbin dengan panjang rancangan 17,2 m dengan kemiringan 5° dan langsung menumbuk sudu turbin dengan net head 1,5 m.

4.4. Perhitungan Daya Terbangkit

Dengan menggunakan persamaan 1 dapat diprediksi daya air yang tersedia untuk turbin dengan efisiensi mekanik sebesar 75% dan efisiensi generator 75% maka kapasitas daya terbangkit dengan debit rancangan 0.6 m³/s yaitu:

$$P_w = \rho \times g \times Q \times h \times \eta_{turbin} \times \eta_{generator}$$

$$P_w = 998 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 0,6 m^3/s \times 1,5m \times 0,75 \times 0,75$$

$$P_w = 4956,4 \text{ watt}$$

Jika satu rumah mendapatkan batas pemakaian listrik 220 kVA, maka dengan kapasitas daya terbangkit oleh PLTPH dapat didistribusikan listrik ke 22 rumah yang ada di desa Garabak Data.

4.5. Analisis Biaya

4.5.1. Performa Cash Flow

Penyusutan performa cash flow menggunakan asumsi:

1. Tingkat inflasi = 3,5%
2. Suku bunga = 10,75%
3. Kenaikan tarif listrik/tahun = 15%
4. Pajak = 3%
5. Umur Ekonomis Pembangkit = 20 Tahun

4.5.2. Investasi Awal

Investasi awal merupakan seluruh biaya yang harus dikeluarkan untuk pembangunan dari tahap persiapan sampai tahap pembangkit dapat mendistribusikan energi listrik ke konsumen. Estimasi investasi awal pendirian pembangkit yaitu sebesar Rp 61.270.000.

4.5.3. Biaya Operasional

Biaya operasional merupakan biaya tahunan yang dikeluarkan setiap tahun untuk perawatan PLTPH, gaji operator dan keperluan lain. Kebutuhan biaya operasional yaitu sebesar Rp 36.000.000.

4.5.4. Penerimaan dari PLTPH

Prediksi daya listrik yang dihasilkan oleh pembangkit per tahun dengan kapasitas faktor 80%

$$P = 4,96 \text{ kW} \times 365 \text{ hari} \times 24 \text{ h} \times 80\% \\ = 34.759,68 \text{ kWh}$$

Berdasarkan peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2015 tentang pembelian tenaga listrik dari pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas sampai dengan 10 MW di daerah Sumatera untuk tegangan rendah oleh PT. Perusahaan Listrik Negara bahwa harga pembelian tenaga listrik dari PLTA yang memanfaatkan tenaga air dari waduk/bendungan atau saluran irigasi yang pembangunannya bersifat multiguna dengan kapasitas sampai dengan 10 MW berdasarkan hasil berikut dengan harga satu US Dollar terhadap Rupiah adalah Rp 13.226,50 [8].

4.6. Harga Daya Terbangkit PLTPH

Hasil perancangan PLTPH dengan kapasitas daya terbangkit yaitu sebesar 4,96 kW membutuhkan biaya Rp 61.270.000 dengan umur ekonomis pembangkit selama 20 tahun membutuhkan biaya operasional Rp 36.000.000 per tahun, maka rata-rata biaya per hari adalah:

$$Rp/hari = \frac{Biaya\ awal + Biaya\ operasional}{Umur\ ekonomis \times 365\ hari}$$

$$Rp/hari = \frac{Rp\ 61.270.000 + Rp\ 720.000.000}{20\ tahun \times 365\ hari}$$

$$Rp/hari = Rp\ 107.023,28$$

Biaya per kWh ditentukan dari biaya listrik per hari dan besarnya energi listrik yang dikonsumsi, maka harga daya terbangkit yang didapatkan yaitu sebesar:

$$Biaya/kWh = \frac{Biaya\ per\ hari}{Energi\ Listrik(kWh/hari)}$$

$$Biaya/kWh = \frac{Rp\ 107.023,28}{4,96\ kWh \times 24\ jam/hari}$$

$$Biaya/kWh = Rp\ 899,05$$

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Hasil perancangan PLTPH di desa Garabak Data menghasilkan daya total sebesar 4,96 kW dengan daya terbangkit per tahun 34.759,68 kWh dengan faktor kapasitas 80%.
2. Berdasarkan potensi head 1,5 m dan debit 0,6 m³/s maka turbin yang paling efektif yaitu tipe *waterwheel undershot*.
3. Harga daya terbangkit yang dihasilkan sebesar Rp 899,05 per kWh.

5.2. Saran

Daya yang terbangkit dari pembangkit listrik piko hidro tergolong kecil untuk itu pendistribusian energi listrik ke konsumen tidak boleh melebihi beban yang diizinkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi. *Pedoman Studi Kelayakan PLTPH*. Jakarta: IMIDAP, 2009.
- [2] Badan Pusat Statistik. “Kapasitas Terpasang, Tenaga Listrik yang Dibangkitkan, dan Listrik yang Didistribusikan Menurut Provinsi. Tersedia”.
<https://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1858>, 2014 [5 Maret 2016].
- [3] W. C. Reynolds, H. C. Perkins. *Termodinamika Teknik edisi kedua*. Alih Bahasa oleh F. Harahao. Jakarta: Erlangga, 1996.
- [4] F. M. White. *Mekanika Fluida edisi kedua*. Jakarta: Erlangga, 1998.
- [5] *Kontrol dan Proteksi Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro*. Tersedia http://indonesien.ahk.de/fileadmin/ahk_indonesien. [5 Maret 2016].
- [6] Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi. *Pedoman Studi Kelayakan PLTPH Mekanikal Elektrikal*. Jakarta: IMIDAP, 2009.
- [7] Zecohydropower. “Pelton Turbine”. Tersedia <https://www.zeco.it/zeco-turbines/pelton-turbine/>. 2012.
- [8] NN1. “Makalah Pembangkit Listrik Tenaga Air”. Tersedia https://www.academia.edu/6251469/MAKALAH_PLTA 2013 [19 Maret 2016].