

PEMANFAATAN *REUSED WATER* DARI TURBIN UNTUK PENINGKATAN DAYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

Farida Ayu Dewayanti¹⁾, Mamok Suprpto²⁾, Agus Hari Wahyudi³⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

^{2) 3)} Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir. Sutami No.36A Surakarta 57126. Telp: 0271647069. Email : faaridayu94@yahoo.com

Abstract

Increasing population growth also increase resulting in the need of energy continues to grow. This is contrasts with the availability of fossil energy which has been the primary fuel. Micro hydro power plant (PLTMH) is one of alternative to producing electricity that cheap and environmentally friendly. Micro hydro powerplant are environment-friendly because the primary energy use water flow. By utilizing high waterfall (head) and the discharge of water, the water potential is converted into electricity by using a water turbine and generator. This study focused on increasing the power that can be generated by the hydropower that is by manipulating the repetition of falling water. In this case the necessary additional components that include a pump for pumping the water back to the begin of head. The energy generated by the turbines are summed to obtain the total energy value of the benefit then calculated and analyzed the economic feasibility. Potential for electricity production in first scenario generated per year by using Q80 is 291,128.5 kWh with a sales value is Rp 459,566,400.00. NPV > 0, which is Rp 2,403,924,100.00. BCR > 1 at 4.5 and IRR > 6.5%, is 62.3%, it can be concluded that first scenariois worthy in terms of investment. Potential for electricity production in second scenario generated by 291 219 kWh with a sales value is Rp 459,566,400.00. NPV > 0, which is Rp 2,141,877,500.00. BCR > 1 is 3.4 and IRR > 6.5% is 46.14%, it can be concluded that is feasible in second scenario in terms of investment. However, it was found that second scenario are considered less efficient because it lowers the value of NPV, BCR, IRR on the economic feasibility analysis.

Keywords: Energy, Pump's Capacity, Falling Water Repetition, MHPP

Abstrak

Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat mengakibatkan kebutuhan energi terus bertambah. Hal ini bertolak belakang dengan ketersediaan energi fosil yang selama ini menjadi bahan bakar utama. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu alternatif penghasil listrik yang murah dan ramah lingkungan. Pembangkit listrik tenaga air skala kecil dinilai ramah lingkungan karena energi primernya menggunakan aliran air yang dapat diperbaharui. Dengan memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan debit air, potensi air diubah menjadi tenaga listrik dengan menggunakan turbin air dan generator. Penelitian ini menitikberatkan pada peningkatan daya yang dapat dihasilkan oleh PLTMH yaitu dengan cara merekayasa pengulangan jatuh air. Dalam hal ini diperlukan penambahan komponen yang meliputi pompa guna memompa kembali air menuju *head* awal. Energi yang dihasilkan oleh turbin-turbin dijumlahkan untuk mendapatkan energi total yang kemudian dihitung nilai *benefit*-nya dan dianalisis kelayakan secara ekonomi teknik. Besar potensi produksi listrik pada skenario 1 yang dihasilkan per tahun dengan menggunakan Q80 sebesar 291.128,5 kWh dengan nilai penjualan Rp 459.566.400,00. Nilai NPV > 0, yaitu sebesar Rp 2.403.924.100,00 BCR > 1 yaitu 4,5 dan IRR > 6,5 % yaitu 62,3 %, maka dapat disimpulkan secara investasi skenario 1 layak dari segi investasi. Besar potensi energi pada skenario 2 dihasilkan sebesar 291.219 kWh dengan nilai penjualan Rp 459.566.400,00. Nilai NPV > 0, yaitu sebesar Rp 2.141.877.500,00 BCR > 1 yaitu 3,4 dan IRR > 6,5 % yaitu 46,14 %, dapat disimpulkan secara ekonomi skenario 2 layak dari segi investasi. Namun didapatkan bahwa skenario 2 dianggap kurang efisien karena justru menurunkan nilai NPV, BCR, IRR pada analisis kelayakan ekonomi.

Kata Kunci: Energi, Optimasi, Kapasitas Pompa, Pengulangan Jatuh Air, PLTMH

PENDAHULUAN

Kondisi kelistrikan nasional hingga akhir 2014 berdasarkan catatan yang ada di Kementerian energi dan sumberdaya mineral hingga akhir 2014 menunjukkan total kapasitas terpasang pembangkit 53.585 MW. Konsumsi energi rata-rata 199 TWh sedangkan produksi tenaga listriknya 228 TWh (hanya PLN dan IPP). Rasio elektrifikasi nasional tercatat sebesar 84,35 persen. Sebelum bahan bakar fosil habis, sektor energi terbarukan harus dikembangkan untuk cukup menggantikan batubara, minyak bumi, dan gas alam dan ini hanya dapat dilakukan jika kemajuan teknologi energi terbarukan berlanjut di tahun-tahun mendatang. Energi terbarukan ini meliputi energi matahari, energi air, energi angin, energi panas bumi. Indonesia dialiri oleh banyak sungai dan

belum dimanfaatkan secara optimal. Sumber-sumber air yang melimpah di daerah pedesaan sudah selayaknya dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah terpencil, dan juga dikembangkan untuk sistem interkoneksi dengan jaringan PLN yang ada. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu alternatif penghasil listrik yang murah dan ramah lingkungan. Dengan memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan debit air, potensi air dengan ketinggian dan debit tertentu diubah menjadi tenaga listrik dengan menggunakan turbin air dan generator. Salah satu terjunan air yang dapat dimanfaatkan untuk PLTMH adalah salah satu anak sungai yang terletak di Desa Ngancar, Kecamatan Plaosan, Kabupaten Magetan. Anak sungai tersebut terletak satu lokasi dengan tempat rekreasi air terjun Tirtosari. Dalam pemanfaatan air terjun tersebut, dilaksanakan penelitian untuk mengetahui besarnya debit sungai dan tinggi jatuh air terjun. Sehingga diketahui hasil dari energi yang dihasilkan. Daya yang dibangkitkan antara 5 kW sampai 100 kW. Guna meningkatkan potensi untuk menghasilkan energi yang lebih besar, maka diterapkan sebuah inovasi yaitu skenario pengulangan jatuh air dengan bantuan pompa untuk mengangkat air dengan *head* kurang dari atau sama dengan *head* dari terjunan tersebut. Skenario tersebut dilakukan secara berulang hingga didapatkan kelayakan teknis dan ekonomi yang optimal.

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

A. Potensi Energi Hidro

Menurut Sulistiyono (2013) energi yang dimiliki air dapat dimanfaatkan dan digunakan dalam wujud energi mekanis maupun energi listrik. Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan menggunakan kincir air atau turbin air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun atau aliran air di sungai.

1. Tinggi Jatuh (*head*)

Menurut Jafan Sidqi (2011) menjelaskan mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (*head*). Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis (tata letak sungai), tinggi jatuhnya air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi.

a. Tinggi Jatuh Bruto

Untuk menghitung jarak datar dapat menggunakan Persamaan [1] dan untuk menghitung beda tinggi dapat digunakan Persamaan [2].

$$S \text{ (jarak datar)} = D \cos m \dots\dots\dots [1]$$

$$= (BA - BB) \times 100 \times \cos^2 m$$

$$\text{Beda Tinggi} = \Delta H = \frac{1}{2} (BA - BB) \times 100 \sin 2m + i - BT \dots\dots\dots [2]$$

Keterangan:

- S = jarak datar (m)
- ΔH = beda tinggi (m)
- i = tinggi alat (m)
- BA = bacaan benang atas (m)
- BB = bacaan benang bawah (m)
- BT = bacaan benang tengah (m)
- m = sudut miring ($^{\circ}$)
- z = sudut zenith ($90^{\circ}-m$) ($^{\circ}$)
- ΔH_{AB} = beda tinggi antara titik A dan B (m)
- D = jarak miring (m)

b. Tinggi Jatuh Efektif

Perhitungan Angka Reynold

Menurut Bambang Triatmodjo (1996) bilangan *Reynolds* dapat dihitung dengan rumus:

$$Re = \frac{vD}{\nu} \dots\dots\dots [3]$$

Keterangan:

Re = angka *Reynold*

- v = kecepatan aliran dalam pipa (m/dt)
- D = diameter pipa pesat (m)
- ν = kekentalan kinematik fluida (m²/dt)

Perhitungan koefisien gaya gesek pipa

Untuk hubungan antar koefisien gesek pipa dengan angka *Reynolds* untuk pipa halus dapat dihitung dengan Persamaan [4].

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{Re \sqrt{f}}{2,51} \dots\dots\dots [4]$$

Keterangan:

- Re = bilangan *Reynolds*.
- f = koefisien gesek pipa.

Kehilangan energi karena gesekan (*Major Losses*)

Kehilangan energi akibat gesekan dinyatakan dalam bentuk persamaan *Darcy-Weisbach* sebagai berikut:

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g} \dots\dots\dots [5]$$

Keterangan:

- h_f = kehilangan energi (m)
- f = koefisien gesekan pipa
- L = panjang ruas pipa (m)
- D = diameter dalam pipa (m)
- v = kecepatan aliran pipa (m/dt)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/dt²).

Kehilangan energi karena belokan pada pipa (*Minor Losses*)

Untuk kehilangan energi yang terjadi akibat aliran yang melalui sambungan dan percabangan dapat dihitung dengan Persamaan [6].

$$h_e = k \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots [6]$$

Keterangan:

- h_e = kehilangan energi (m)
- k = faktor sambungan/percabangan
- v = kecepatan aliran (m/dt)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/dt²)

Perhitungan tinggi jatuh efektif

Tinggi jatuh yang digunakan pada analisis merupakan tinggi jatuh efektif yang dapat dihitung dengan Persamaan [7].

$$H_{eff} = H_{bruto} - (h_f + h_e) \dots\dots\dots [7]$$

Keterangan:

- H_{eff} = tinggi jatuh efektif (m)
- H_{bruto} = tinggi jatuh bruto (m)
- h_f = kehilangan energi dalam pipa (m)
- h_e = kehilangan energi karena belokan (m)

2. Debit

Menurut Nina B. Rustiati (2011) debit merupakan jumlah air yang mengalir melalui suatu penampang sungai tertentu per satuan waktu. Debit dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti curah hujan, geologi, vegetasi, suhu dan lainnya di sebelah hulu sungai. Debit selalu berubah dari musim ke musim dan dari hari ke hari. Kecenderungan karakteristik dan besarnya debit dapat diketahui secara kasar melalui pengamatan dalam jangka waktu yang lama. Pengukuran debit sangat penting untuk menentukan tenaga yang dihasilkan suatu pembangkit tenaga air.

a. Debit Sesaat

Data yang didapatkan dengan alat bantu *current meter* dengan baling 6: *Propeller: 6-123296*, diubah menjadi kecepatan aliran dengan koversi sesuai jumlah putaran kincir per satuan waktu yang didapatkan, seperti salah satu Persamaan [8] - [10].

$$\begin{aligned}
 n \leq 1,77 & \quad v = 0,0978 \times n + 0,039 \dots\dots\dots [8] \\
 1,77 \leq n \leq 6,84 & \quad v = 0,1040 \times n + 0,028 \dots\dots\dots [9] \\
 6,84 \leq n \leq 19,19 & \quad v = 0,1040 \times n + 0,028 \dots\dots\dots [10]
 \end{aligned}$$

(Sumber: *Operating Instructions OTT C Small Current Meter 10.150.005.B.E*)

Keterangan:
 n = jumlah putaran
 v = kecepatan aliran (m/dt)

Kemudian debit sesaat dihitung dengan persamaan [11].

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots [11]$$

Keterangan:
 Q = debit sesaat (m³/dt)
 A = luas penampang saluran (m²)
 v = kecepatan aliran (m/dt)

b. Debit Andalan

1) Uji Pangkah Data Hujan

Dalam penelitian ini uji pangkah menggunakan persamaan RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) sebagai berikut:

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}), \text{ dengan } k = 1, 2, 3, \dots, n \dots\dots\dots [12]$$

$$S_0^* = 0 \dots\dots\dots [13]$$

$$S_0^{**} = \frac{S_k^*}{D_y}, \text{ dengan } k = 0, 1, 2, 3, \dots, n \dots\dots\dots [14]$$

$$D_y^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n} \dots\dots\dots [15]$$

Keterangan:
 Y_i = data hujan ke i
 Y = data hujan rerata -i
 D_y = deviasi standar
 n = jumlah data

Untuk uji pangkah digunakan cara statistik dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}
 Q &= IS^{*0} \leq I, 0 \leq k \leq n, \text{ atau} \dots\dots\dots [16] \\
 R &= \text{maksimum } S_k^{**} - \text{minimum } S_k^{**}, \text{ dengan } 0 \leq k \leq n
 \end{aligned}$$

Untuk nilai Kritik Q dan R ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Nilai Kritik Kepanggahan

N	$\frac{Q}{\sqrt{n}}$			$\frac{R}{\sqrt{n}}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28	1,38
20	1,10	1,22	1,42	1,34	1,43	1,60
30	1,12	1,24	1,46	1,40	1,50	1,70
40	1,13	1,26	1,50	1,42	1,53	1,74
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55	1,78
100	1,17	1,29	1,55	1,50	1,62	1,86
∞	1,22	1,36	1,63	1,62	1,75	2,00

(Sumber: Sri Harto, 1993)

2) Transformasi Hujan Menjadi Aliran

Pada penelitian ini transformasi hujan menjadi aliran menggunakan bantuan *software* HEC-HMS 3.5.

3) Analisis *Basic Year*

Untuk mendapatkan debit andalan sungai, maka debit dianalisis menggunakan HMS sesuai tahun pengamatan yang diperoleh kemudian diurutkan dari terbesar sampai terkecil. Berdasarkan probabilitas kejadian mengikuti rumus *Weibull*.

$$P = m / (n+1) \times 100\% \dots \dots \dots [17]$$

dengan:

- P = Probabilitas nilai yang diharapkan selama periode pengamatan (%).
- m = Nomor urut kejadian
- n = Jumlah data

3. Potensi Energi

Menurut Parabelem T.D. Rompas (2011) sebuah skema mikrohidro memerlukan dua hal yaitu, debit air dan ketinggian jatuh (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Hal ini adalah sebuah sistem konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) ke dalam bentuk energi mekanik dan energi listrik. Daya yang masuk (P_{gross}) merupakan penjumlahan dari daya yang dihasilkan (P_{net}) ditambah dengan faktor kehilangan energi (*loss*) dalam bentuk suara atau panas. Daya yang dihasilkan merupakan perkalian dari daya yang masuk dikalikan dengan efisiensi konversi.

a. Analisis Daya

Potensi daya asli

Persamaan untuk mengetahui daya listrik yang dibangkitkan karena perbedaan tinggi adalah sebagai berikut:

$$P = \rho \cdot g \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot Q_{andalan} \cdot H_{eff} \dots \dots \dots [18]$$

Keterangan:

- P = daya yang dihasilkan (Watt)
- ρ = rapat massa air (kg/m^3)
- $Q_{andalan}$ = debit andalan (m^3/dt)
- g = percepatan gravitasi (m/dt^2)
- H_{eff} = tinggi jatuh efektif (m)
- η_t = efisiensi turbin (0,7 – 0,95 tergantung pada tipe turbin)
- η_g = efisiensi generator (0,80 – 0,95 tergantung pada kapasitas generator)

b. Analisis Energi

Perhitungan besarnya energi yang dihasilkan PLTMH dapat dihitung dengan Persamaan [19].

$$E = P \times \text{lama operasi} \dots\dots\dots [19]$$

Keterangan:

- E = energi yang dihasilkan (Wh)
- P = daya yang dibangkitkan (Watt)

B. Pemanfaatan *Reused Water*

Menurut Heriyanto (2016) berpendapat bahwa optimasi yang dapat dilakukan pada PLTMH adalah dengan menambah tinggi jatuh atau memperbesar debit aliran. Apabila keduanya tidak bisa dilakukan, maka dapat dilakukan pengulangan jatuh air untuk menambah daya yang dihasilkan. Debit air yang jatuh pada turbin pertama dipompa kembali ke atas untuk dijatuhkan kembali pada turbin kedua dan seterusnya (*series*).

Berikut Persamaan [20] - [23] yang digunakan untuk menghitung daya dan energi untuk skenario pengulangan menggunakan tambahan pompa.

$$P_{1\text{akhir}} = P_{1\text{awal}} - P_{\text{input pompa}} \dots\dots\dots [20]$$

$$P_2 = P_{\text{output pompa}}$$

$$E_1 = (P_{1\text{akhir}} \times t_1) + (P_{1\text{awal}} \times t_2) \dots\dots\dots [21]$$

$$E_2 = P_2 \times t_1 \text{ jam} \dots\dots\dots [22]$$

$$E_{\text{total}} = E_1 + E_2 \dots\dots\dots [23]$$

Keterangan:

- $P_{1\text{awal}}$ = daya awal pada pengulangan ke-1 (Watt)
- $P_{1\text{akhir}}$ = daya sisa pada pengulangan ke-1 (Watt)
- $P_{\text{input pompa}}$ = daya yang dibutuhkan untuk menjalankan pompa (Watt)
- $P_{\text{output pompa}}$ = daya yang dihasilkan pompa (Watt)
- P_2 = daya yang dihasilkan pada pengulangan ke-2 (Watt)
- E_1 = energi yang dihasilkan pengulangan ke-1 (Wh)
- E_2 = energi yang dihasilkan pengulangan ke-1 (Wh)
- E_{total} = jumlah energi pengulangan 1 dan 2 (Wh)
- t_1 = lama waktu pengoperasian pompa (jam)
- t_2 = lama waktu pemberhentian pompa (jam)

C. Kelayakan Ekonomi

Menurut Dimas Riadi Permadi (2013) analisis ekonomi dalam pembangunan PLTMH dilakukan untuk mengetahui kelayakan suatu proyek dari segi ekonomi. Dalam melakukan analisis ekonomi dibutuhkan dua komponen utama yaitu: *cost* (komponen biaya) dan *benefit* (komponen manfaat). Kemudian akan dianalisis kelayakan ekonominya dalam bentuk *benefit cost ratio* (BCR), *net present value* (NPV), *internal rate of return* (IRR) dan *paid back period*. Dari parameter biaya (*cost*) dan manfaat (*benefit*) dapat didapat *total present value*

1. Net Present Value (NPV)

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai NPV menggunakan Persamaan [24]

$$NPV = \sum_{i=t}^{i=n} \frac{(B_t - C_t)}{(1+i)^t} = 0 \dots\dots\dots [24]$$

Keterangan:

- NPV = *net present value*
- B_t = keuntungan pada tiap tahun
- C_t = biaya pada tiap tahun
- t = tahun (1,2,3,...t)
- n = jumlah tahun
- i = tingkat bunga

Apabila:

- NPV positif > 0 maka proyek layak untuk dilaksanakan.
- NPV negatif < 0 maka proyek tidak layak untuk dilaksanakan.

2. Benefit Cost Ratio (BCR)

Merupakan perbandingan nilai semua manfaat terhadap nilai semua biaya pada waktu yang sama. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai BCR menggunakan Persamaan [25].

$$BCR = \sum_{i=t}^{i=n} \frac{(Bt)}{(1+i)^t} : \sum_{i=t}^{i=n} \frac{(Ct)}{(1+i)^t} \dots\dots\dots [25]$$

Keterangan:

- BCR = *benefit cost ratio*
- B_t = keuntungan pada tiap tahun
- C_t = biaya pada tiap tahun
- t = tahun (1,2,3,...t)
- n = jumlah tahun
- i = tingkat bunga

Apabila:

- a. BCR ≥ 1 maka proyek layak untuk dilaksanakan,
- b. BCR < 1 maka proyek tidak layak untuk dilaksanakan.

3. Internal Rate of Return (IRR)

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai IRR menggunakan Persamaan [26].

$$IRR = I_1 + \frac{NPV_1}{(NPV_1 + NPV_2)} \times (I_2 - I_1) \dots\dots\dots [26]$$

Keterangan:

- IRR = *internal rate of return*
- I₁ = suku bunga rendah
- I₂ = suku bunga tinggi
- NPV₁ = NPV suku bunga rendah
- NPV₂ = NPV suku bunga tinggi

Apabila:

- a. IRR > suku bunga yang ditetapkan, maka proyek layak untuk dilaksanakan.
- b. IRR < suku bunga yang ditetapkan, maka proyek tidak layak untuk dilaksanakan.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan data primer berupa tinggi jatuh dan debit sesaat yang didapatkan dari survei langsung di lapangan, dan data sekunder berupa data hujan harian dari Stasiun Hujan Sarangan tahun 2006-2015, peta DEM, dan spesifikasi kapasitas pompa. Berikut tahapan penelitian untuk meningkatkan potensi energi pada lokasi penelitian:

1. Menentukan variabel dan parameter data yang dibutuhkan.
2. Mempersiapkan data primer dan data sekunder yang diperlukan.
3. Menghitung tinggi jatuh dari pengukuran di lapangan.
4. Menghitung debit sesaat.
5. Melakukan uji pangkah data hujan dengan Metode RAPS.
6. Mencari luas Daerah Aliran Sungai dengan *Global Mapper* 17.
7. Melakukan transformasi hujan menjadi aliran menggunakan HEC-HMS 3.5.
8. Menghitung debit andalan dengan Rumus *Weibull*.
9. Menghitung tinggi jatuh efektif dengan memperhitungkan kehilangan energi pada pipa pesat.
10. Menghitung daya, energi, dan penjualan energi yang dihasilkan pada skenario 1.
11. Menentukan jumlah dan jenis pompa yang digunakan pada pengulangan tinggi jatuh.
12. Menghitung daya, energi, dan penjualan energi yang dihasilkan pada skenario 2.
13. Melakukan analisis kelayakan ekonomi dengan menghitung nilai NPV, BCR, dan IRR untuk setiap skenario.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Skenario 1

Skenario 1 merupakan skenario yang dilakukan tanpa pengulangan tinggi jatuh. Berikut hasil daya, energi dan penjualan energi pada skenario 1 ditampilkan pada Tabel 2:

Tabel 2. Daya, Energi dan Penjualan Energi pada Skenario 1

Bulan	Jumlah Daya (kW)	Energi (kWh)	Penjualan (Rp)
Januari	2164.3	51942.3	81,969,128,00
Februari	2175.3	52208.0	82,388,410,00
Maret	2193.4	52642.5	83,074,058,00
April	2218.4	53241.8	84,019,911,00
Mei	848.2	20357.1	32,125,165,00
Juni	131.0	3144.8	4,962,709,00
Juli	74.3	1782.0	2,812,161,00
Agusrtus	74.3	1782.0	2,812,161,00
September	71.9	1724.5	2,721,447,00
Oktober	74.3	1782.0	2,812,161,00
November	734.0	17615.6	27,798,774,00
Desember	1374.8	32996.0	52,070,345,00
Total	12134.1	291218.5	459,566,431,00

B. Skenario 2

Skenario 2 merupakan skenario yang dilakukan dengan melakukan pengulangan tinggi jatuh menggunakan pompa. Berikut hasil daya, energi dan penjualan energi pada skenario 2 ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Daya, Energi dan Penjualan Energi pada Skenario 1

Bulan dan Tanggal	P1 (kW)	E1 (kW)	P2 (kW)	E2 (kW)	E (kW)	Penjualan (Rp)
Januari	2095	50839	68.97	1104	51942	81,969,128,00
Februari	2113	51211	62.3	996.8	52208	82,388,410,00
Maret	2124	51539	68.97	1104	52642	83,074,058,00
April	2152	52174	66.75	1068	53242	84,019,911,00
Mei	779.2	19254	68.97	1104	20357	32,125,165,00
Juni	64.29	2077	66.75	1068	3145	4,962,709,00
Juli	5.278	678.5	68.97	1104	1782	2,812,161,00
Agusrtus	5.278	678.5	68.97	1104	1782	2,812,161,00
September	5.108	656.6	66.75	1068	1725	2,721,447,00
Oktober	5.278	678.5	68.97	1104	1782	2,812,161,00
November	667.2	16548	66.75	1068	17616	27,798,774,00
Desember	1306	31892	68.97	1104	32996	52,070,345,00
Total	11322	278225	812.1	12993	291219	459,566,431,00

C. Kelayakan Ekonomi

1. Skenario 1

- Hasil perhitungan NPV menghasilkan nilai sebesar Rp 2.403.924.100,00. Karena nilai NPV>0 maka investasi PLTMH layak untuk direalisasikan.
- Hasil perhitungan BCR menghasilkan nilai sebesar 4,5. Karena nilai BCR>1 maka investasi PLTMH layak untuk direalisasikan.
- Hasil perhitungan IRR menghasilkan nilai sebesar 62,29%. Karena nilai IRR>bunga awal sebesar 6,5%, maka investasi PLTMH layak untuk direalisasikan.

2. Skenario 2

- a. Hasil perhitungan NPV menghasilkan nilai sebesar Rp 2.141.877.500,00. Karena nilai NPV < 0 maka investasi PLTMH tidak layak untuk direalisasikan.
- b. Hasil perhitungan BCR menghasilkan nilai sebesar 3,39. Karena nilai BCR < 1 maka investasi PLTMH tidak layak untuk direalisasikan.
- c. Hasil perhitungan IRR menghasilkan nilai sebesar 46,14%. Karena nilai IRR < bunga awal sebesar 6,5%, maka investasi PLTMH tidak layak untuk direalisasikan.

KESIMPULAN

1. Potensi energi skenario 1 untuk pembangunan PLTMH memiliki h_{eff} sebesar 20,095 meter dan rata-rata bulan basah debit andalan Q_{80} sebesar 0,358 meter³/ detik. Serta debit sesaat yang didapatkan pada survei pada tanggal 10 februari 2016 sebesar 0,014 meter³/detik. Besar potensi produksi listrik pada potensi asli yang dihasilkan per tahun dengan menggunakan Q_{80} sebesar 291.128,5 kWh dengan nilai penjualan Rp 459.566.400,00/tahun.
2. Besar potensi energi pada skenario 2 dengan rekayasa pengulangan jatuh air dihasilkan sebesar 291.219 kWh dengan nilai penjualan sama dengan skenario yaitu sebesar Rp 459.566.400,00/tahun.
3. Pada skenario 1 nilai nilai NPV > 0, yaitu sebesar Rp 2.403.924.100,00, BCR > 1 yaitu 4,5 dan IRR > 6,5 % yaitu 62,3%, dapat disimpulkan secara investasi skenario 1 layak untuk dilaksanakan. Pada skenario 2 nilai NPV > 0, yaitu sebesar Rp 2.141.877.500,00, BCR > 1 yaitu 3,4 dan IRR > 6,5 % yaitu 46,14 %, dapat disimpulkan secara ekonomi skenario 2 layak dari segi investasi. Namun didapatkan bahwa skenario 2 dianggap kurang efisien karena justru menurunkan nilai NPV, BCR, IRR pada analisis kelayakan ekonomi.

SARAN

1. Melakukan pengamatan dan pengukuran curah hujan, topografi, debit *baseflow* perbulan dan tinggi muka air terjunan di Kecamatan Tirtosari yang lebih detail.
2. Melakukan perhitungan yang lebih detail mencakup turbin, generator dan komponen-komponen lainnya yang berpengaruh terhadap pembangunan listrik.
3. Dalam rekayasa pengulangan jatuh air, perlu dilakukan pemilihan pompa dengan spesifikasi debit pemompaan kembali agar hasil produksi dapat lebih optimal
4. Penelitian terhadap penyimpanan kelebihan daya listrik yang dihasilkan pada bulan basah perlu dilakukan untuk menambahkan kekurangan daya listrik pada bulan kering.
5. Penerapan pada Desa lain berlaku apabila nilai debit dan tinggi jatuh efektif yang dihasilkan lebih besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Dr. Ir. Mamok Suprpto, M.Eng dan Ir. Agus Hari Wahyudi, M.Sc. yang telah membimbing dan memberi arahan serta masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Bambang Triatmodjo, 2009, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Direktorat Jenderal Listrik Dan Pemanfaatan Energi. 2009. "*Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi*". Jakarta: Buku. Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- Fidari, Jcdfan Sidqi. (2011). *Pengembangan Daya Air Berdasarkan Neraca Air dengan Peruntukan Sebagai PLTMH*. Tesis. Program Magister Manajemen Sumber Daya Air Universitas Brawijaya, Malang.
- Harto, Sri. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Heriyanto. (2016). *Optimasi Potensi Energi Air Terjun Geulis Cisurug sebagai Sumber Energi Listrik*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 19 Tahun 2015.
- Permadi, Dimas Riadi. (2013). *Studi Kelayakan Pemasangan PLTMH pada Pintu Air Bendung Mlirip Mojokerto*. Skripsi. Program Sarjana Teknik Jurusan Pengairan Universitas Brawijaya, Malang.
- Rompas, Parabelem T.D. (2011). *Analisis PLTMH pada Daerah Aliran Sungai Ongkek Mongondow di Desa Muntoi Kabupaten Bolaang Mongondow*. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Negeri Manado, Tondano.
- Rustiati, Nina B. (2011). *Analisis Potensi Sungai Rawa Hulu sebagai Sumber Energi Kecamatan Lindu*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu.
- Sulistiyono. (2013). *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Sungai Cikawat Desa Talang Mulia Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Propinsi Lampung*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung, Bandar Lampung.

