

ANALISIS KOLAM TANDO UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO UMBUL KENDAT

Novi Herawati ¹⁾, Dr. Ir.RR.Rintis Hadiyani, MT ²⁾, Ir. Suyanto, MM ³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

²⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

³⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: novi.herawati.079@gmail.com

Abstract

Development of micro hydro power plant (MHP) is a constructive effort to urge people to care about the environment. The turbine is driven by utilizing the flow of water, so that the turbine wheel generates electrical energy, and therefore the flow of water to be maintained by preserving the natural surroundings. One of the areas in Boyolali potential as an energy source is a micro hydro power plant interruption Bannerman channel located in the village of Hamlet, District Banyudono, Boyolali. This study simulates the layout of an tando and look for potential energy produced by the turbine dye. The research location on the river interruption, Boyolali. The results showed that the discharge of produced 0.248 m³ / sec and higher effective fall of 2m yield P = 3 kW, E = 26205 kWh in a year with a profit of Rp 38.376.648,-. Economic feasibility analysis conducted generate IRR = 19,65%, BCR = 1,98 and NPV = Rp 373.709.724,80 so that the development of MHP feasible.

Keyword : Micro hydro, potential, economic, tando

Abstrak

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan upaya konstruktif untuk mengajak masyarakat peduli dengan lingkungan hidup. Turbin digerakkan dengan memanfaatkan aliran air, sehingga putaran turbin tersebut menghasilkan energi listrik, maka dari itu debit air harus tetap terjaga dengan menjaga kelestarian alam sekitar. Salah satu daerah di Kabupaten Boyolali yang berpotensi sebagai sumber energi pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah Saluran Umbul Kendat yang terletak di Desa Dukuh, Kecamatan Banyudono, Kabupaten Boyolali. Penelitian ini mensimulasi tata letak kolam tando dan mencari potensi energi yang dihasilkan turbin celup. Lokasi penelitian di Sungai Kendat, Boyolali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit yang dihasilkan 0,248 m³/detik dan tinggi jatuh efektif sebesar 2 m menghasilkan P= 3 kW, E=26205 kWh dengan keuntungan dalam satu tahun sebesar Rp 38.376.648. Analisis kelayakan ekonomi yang dilakukan menghasilkan nilai IRR= 19,65%, BCR= 1,98 dan NPV=Rp 373.709.724,80 sehingga pembangunan PLTMH layak dilaksanakan.

Kata Kunci : Mikro hidro, potensial, ekonomi, tando

PENDAHULUAN

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan upaya konstruktif untuk mengajak masyarakat peduli dengan lingkungan hidup. Turbin digerakkan dengan memanfaatkan aliran air, sehingga putaran turbin tersebut menghasilkan energi listrik, maka dari itu debit air harus tetap terjaga dengan menjaga kelestarian alam sekitar. Salah satu daerah di Kabupaten Boyolali yang berpotensi sebagai sumber energi pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah Saluran Umbul Kendat yang terletak di Desa Dukuh, Kecamatan Banyudono, Kabupaten Boyolali.

TINJAUAN PUSTAKA

Debit air 2,5 m³/s dan head terukur 2,3 m berpotensi membangkitkan daya listrik sebesar 4,848 kW dan tegangan 220 V dengan putaran katub turbin $\frac{3}{4}$ atau 1 putaran penuh (Ika Novia Anggraini dkk, 2012).

LANDASAN TEORI

Debit Sesaat

Debit sesaat diperoleh dengan mengalikan luas tampang dan kecepatan aliran. Menurut Aris Munandar dan Kuwahara (1991), debit sesaat dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots [1]$$

dengan :

- Q = debit sesaat (m³/s),
- A = luas tampang saluran (m²),
- v = kecepatan aliran (m/s).

Data Curah Hujan

Hujan adalah uap yang mengkondensasi dan jatuh ke tanah dalam rangkaian proses siklus hidrologi. Data hujan dapat diperoleh dari stasiun pengamatan hujan yang dimiliki oleh instansi yang membutuhkan data hujan. Instansi tersebut diantaranya Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG), Dinas Pengairan, Dinas Pertanian, dan Instansi Pengelola Bandara (Sobriyah,2012).

Data Klimatologi

Iklim adalah kondisi rata-rata cuaca dalam waktu yang panjang. Iklim di bumi sangat dipengaruhi oleh posisi matahari terhadap bumi. Terdapat beberapa klasifikasi iklim di bumi ini yang ditentukan letak geografis. Data klimatologi digunakan untuk menghitung besarnya evapotranspirasi yang dihasilkan. Data Klimatologi didapatkan dari Balai Pengairan Sumber Daya Air.

Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah penguapan total baik dari permukaan air, daratan, maupun dari tumbuh-tumbuhan. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi evapotranspirasi ini antara lain: suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, tekanan udara, sinar matahari, ketinggian lokasi proyek, dan lain sebagainya. Di dalam perencanaan irigasi, penilaian jumlah air yang dibutuhkan untuk suatu areal tidak memisahkan antara evaporasi dan transpirasi (Fentri ria dkk, 2013).

Salah satu metode yang digunakan untuk menghitung nilai evapotranspirasi adalah Metode Penman-Monteith. Berikut adalah rumus untuk mencari besar nilai evapotranspirasi:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{mean} + 273} (u_2 (e_s - e_a))}{\Delta + \gamma (1 + 0,34u_2)} \dots\dots\dots [2]$$

$$\Delta_p = \frac{4098 \left[0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27T_{mean}}{T + 237,3}\right) \right]}{T_{mean} + 237,3} \dots\dots\dots [3]$$

dengan:

- ET₀ = evapotranspirasi potensial (mm/hari),
- Δ_p = kemiringan lengkung tekanan uap jenuh (kPa/°C),
- T = temperatur udara (°C),
- R_n = radiasi neto (MJ/m²/hari),
- G = soil heat flux (MJ/m²/hari),
- γ = konstanta Psychrometric (kPa/°C),
- u₂ = kecepatan angin pada ketinggian 2 m (m/dt),
- e_s = tekanan uap jenuh (kPa),
- e_a = tekanan uap nyata (kPa).

Metode Mock

Metode Mock merupakan model neraca air yang dapat menghitung debit bulanan dari data curah hujan, evapotranspirasi, kelembaban tanah dan tampungan air tanah. Model neraca air Mock memberikan metode perhitungan yang relative sederhana untuk berbagai macam komponen berdasarkan riset DAS di seluruh Indonesia (KP-01, 2010).

Debit Andalan

Debit andalan adalah debit minimum sungai dengan kemungkinan debit terpenuhi dalam persentase tertentu, misalnya 90%, 80% atau nilai lainnya, sehingga dapat dipakai untuk kebutuhan pembangkitan. Tingkat keandalan debit tersebut dapat terjadi, berdasarkan probabilitas kejadian mengikuti rumus *Weibull* (Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2009):

$$P = i/(n+1) \times 100\%$$

dengan :

i = Nomor urut debit,

n = Jumlah data,

P = Probabilitas terjadinya kumpulan nilai yang diharapkan selama periode pengamatan (%).

PERENCANAAN BANGUNAN SIPIL PLTMH

Bendung

Rumus untuk menetapkan dimensi peluap adalah :

$$Q = \frac{2}{15} \cdot C \cdot \sqrt{2 \cdot g} [3 \cdot B_1 + 2 \cdot B_2] \cdot h_3^{3/2} \dots\dots\dots [4]$$

dengan :

Q = debit desain (m³/s),

C = koefisien peluapan (0,60 – 0,66),

g = percepatan gravitasi (m/s²),

B₁ = lebar peluap pada mercu bendung penahan,

B₂ = lebar muka air tertinggi (m),

h₃ = tinggi air peluapan (m).

Saluran Pembawa (Headrace)

Saluran pengarah mengikuti kontur dari sisi bukit untuk mengarahkan dan menjaga elevasi dari air yang disalurkan melalui pipa pesat menuju ke turbin.

Bak Penenang (Forebay)

Bak penenang berada di ujung saluran pembawa yang berfungsi untuk mencegah turbulensi air.

Rumah Turbin (Power house)

Rumah turbin berfungsi untuk melindungi turbin dan generator dari panas maupun hujan.

Saluran Pembuang

Saluran pembuang adalah saluran tempat menyalurkan air setelah melewati turbin, yang selanjutnya kembali mengalir ke sungai semula.

PERENCANAAN KEMAMPUAN TENAGA AIR

Tinggi Jatuh Efektif

Penentuan tinggi jatuh efektif dapat diperoleh dengan mengurangi tinggi jatuh total (dari permukaan air sampai permukaan air saluran bawah) dengan kehilangan tinggi pada saluran air. Tinggi jatuh penuh adalah tinggi air yang kerja efektif saat turbin air berjalan (Arismunandar dan Kuwahara, 1991). Rumus yang dapat digunakan adalah

$$H_{eff} = H_{bru} - H_{losses} \dots\dots\dots [5]$$

dengan:

H_{bruto} = tinggi bruto,

H_{losses} = tinggi dari tekan air yang hilang.

Analisis Daya

Besarnya daya yang dibangkitkan bergantung dengan debit dan ketinggian jatuhnya air. Semakin besar debit dan tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial dan semakin besar pula daya yang dihasilkan.

Perhitungan daya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P = g \times \eta_t \times Q_{andalan} \times H_{eff} \dots\dots\dots [6]$$

dengan :

P = daya yang dihasilkan (kW),

g = percepatan gravitasi (m/s²),

η_t = efisiensi turbin,

Qandalan = debit andalan (m³/s),

H_{eff} = tinggi jatuh efektif (m).

Energi yang Dapat Dihasilkan

Besarnya energi yang dihasilkan merupakan hasil dari besarnya daya yang dapat dibangkitkan dikalikan dengan lamanya waktu operasi pada PLTMH tersebut. Besarnya energi yang dihasilkan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E = P \times \text{Lama operasi} \dots\dots\dots [7]$$

dengan :

E = energi yang dihasilkan (kWh),

P = daya yang dibangkitkan (kW).

Analisis Potensi Ekonomi

Analisis ekonomi yang dipakai pada penelitian ini menggunakan beberapa parameter antara lain:

- a. *Benefit Cost Ratio (BCR)*,
- b. *Net Present Value (NPV)*,
- c. *Internal Rate of Return (IRR)*.

Benefit Cost Ratio (BCR)

BCR adalah perbandingan antara nilai ekuivalen dari *benefit* (manfaat) dengan nilai ekuivalen dari *cost* (biaya) pada suatu titik waktu yang sama, misalnya *present worth* (sekarang), *future worth* (yang akan datang) ataupun *annual worth*.

Secara umum rumus untuk perhitungan nilai ini dapat diuraikan sebagai berikut:

$$BCR = \sum_{t=1}^{i=n} \frac{B_t}{(1+i)^t} : \sum_{t=1}^{i=n} \frac{C_t}{(1+i)^t} \dots\dots\dots [8]$$

dengan:

B_t = *benefit* pada tiap tahun,

C_t = *cost* pada tiap tahun,

t = 1,2,3,

n = jumlah tahun,

i = tingkat bunga.

apabila :

- BCR > 1 maka proyek layak untuk dilaksanakan.
- BCR < 1 maka proyek tidak layak untuk dilaksanakan.

Net Present Value (NPV)

NPV adalah jumlah dari keseluruhan manfaat (*benefit*) dikurangi dengan keseluruhan biaya (*cost*) pada suatu titik waktu yang sama, misalkan *present worth*, *future worth*, ataupun *annual worth*.

Rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya NPV adalah

$$NPV = \sum_{t=0}^{i=n} \frac{(B_t - C_t)}{(1+i)^t} = 0 \dots\dots\dots [9]$$

dengan:

- Bt = *benefit* pada tiap tahun,
- Ct = *cost* pada tiap tahun,
- t = 1,2,3
- n = jumlah tahun,
- i = tingkat bunga.

apabila :

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

Internal Rate of Return (IRR)

IRR merupakan nilai suku bunga yang diperoleh jika BCR bernilai sama dengan 1 atau nilai suku bunga yang diperoleh jika NPV bernilai sama dengan 0 (nol). IRR dihitung atas dasar pendapatan pertahun bersih dan total investasi.

Rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya IRR adalah

$$IRR = I1 + \frac{NPV1}{(NPV1+NPV2)} \times (I2 - I1) \dots\dots\dots [10]$$

dengan:

- I1 = suku bunga rendah,
- I2 = suku bunga tinggi,
- NPV1 = NPV suku bunga rendah,
- NPV2 = NPV suku bunga tinggi.

apabila :

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

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif kuantitatif, dengan teknik pengumpulan data dari sumber atau instansi terkait sehingga penelitian ini data yang digunakan adalah data sekunder. Selain itu juga menggunakan data primer dari lokasi penelitian.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Sungai Kendat, Desa Dukuh, Kecamatan Banyudono, Kabupaten Boyolali yang terdiri dari lima terjunan potensial. Terjunan tersebut terletak pada koordinat 7°33'25.50"S dan 110°40'55.80"E





Gambar 1 Lokasi Terjunan Potensial

Tahap Persiapan

Dalam tahap persiapan ini disusun hal-hal penting yang harus segera dilakukan dengan tujuan untuk mengefektifkan waktu dan pekerjaan. Tahapan ini meliputi kegiatan sebagai berikut :

- a. Menentukan kebutuhan data.
 - b. Studi pustaka terhadap landasan teori yang berkaitan dengan penanganan permasalahan untuk menentukan garis besarnya.
 - c. Survey lokasi untuk mendapatkan gambaran umum kondisi *existing* lokasi.
- Sehingga dari tahap persiapan ini dapat diketahui langkah-langkah penyelesaian pekerjaan secara berurutan dan teratur agar didapat hasil yang optimal.

Metode Pengumpulan Data

Setelah melaksanakan tahap persiapan maka dilanjutkan dengan pengumpulan data yang berkaitan dengan perencanaan PLTMH.

Menurut cara mendapatkannya, data tersebut dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dari hasil survey langsung ke lapangan.

Data primer mencakup hal-hal sebagai berikut :

- a. Letak dan kondisi wilayah Sungai Kendat.
- b. Kondisi saluran yang mengalir wilayah tersebut.
- c. Ketinggian terjunan.
- d. Kecepatan dan dimensi saluran.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dengan cara mencari informasi baik dari buku, jurnal, internet, maupun instansi yang terkait dengan potensi sungai sebagai PLTMH.

Data sekunder mencakup hal-hal sebagai berikut :

- a. Peta topografi daerah penelitian.
- b. Data curah hujan.
- c. Data klimatologi.

ALAT YANG DIGUNAKAN

Alat Bantu Survey Lokasi

- a. Meteran yang digunakan untuk mengukur dimensi saluran dan bendung.
- b. *Current meter* untuk mengetahui kecepatan aliran sehingga diperoleh debit aliran air pada lokasi yang direncanakan.
- c. GPS yang digunakan untuk menentukan titik koordinat lokasi PLTMH.
- d. *Theodolite* yang digunakan untuk mengukur ketinggian terjunan.

Alat Bantu Perhitungan

- a. *Software AutoCAD* untuk penggambaran tinggi efektif terjunan.
- b. *Software Microsoft Excel* untuk pengolahan data hujan menjadi data debit, analisis potensi energi dan analisis ekonomi yang dihasilkan.
- c. *Software Microsoft Word* untuk penyusunan jurnal.
- d. *Cropwat* untuk mengolah data klimatologi sehingga diperoleh besar ETo.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengukuran pada saluran didapat kecepatan rata-rata aliran 0,38 m/detik dan luas penampang 0,653 m² sehingga debit saluran yaitu:

$$Q = 0,38 \times 0,653$$

$$Q = 0,248 \text{ m}^3/\text{detik}$$

= 248 lt/detik

Daya Teoritis

Dengan tinggi jatuh 2,05 m dan debit 0,248 m³/detik, maka daya teoritis yang dibangkitkan sebesar:

$$P = 9,8 \times H \times Q$$

$$= 9,8 \times 2,05 \times 0,248$$

$$= 5 \text{ kW}$$

Digunakan 60% dari daya = 3 kW

Energi Teoritis

Dengan daya 5 kW, maka energi yang dihasilkan dalam 1 tahun sebesar:

$$E = P \times 24 \times 365$$

$$= 3 \times 24 \times 365$$

$$= 26280 \text{ kWh}$$

Analisis Investasi

Perhitungan NPV

Tabel 1. Perhitungan Nilai NPV 7,5%

Tahun	Cash Flow	Interest rate	Present value
1	Rp34,776,647.64	0.930232558	Rp32,350,369.90
2	Rp34,776,647.64	0.865332612	Rp30,093,367.35
3	Rp34,776,647.64	0.80496057	Rp27,993,830.09
4	Rp34,776,647.64	0.74880053	Rp26,040,772.18
5	Rp34,776,647.64	0.696558632	Rp24,223,974.12
6	Rp34,776,647.64	0.647961518	Rp22,533,929.41
7	Rp34,776,647.64	0.602754901	Rp20,961,794.80
8	Rp34,776,647.64	0.560702233	Rp19,499,344.00
9	Rp34,776,647.64	0.521583473	Rp18,138,924.65
10	Rp34,776,647.64	0.485193928	Rp16,873,418.28
	total present value		Rp238,709,724.80
	original investmen		Rp135,000,000.00
	net present value		Rp373,709,724.80

karena nilai npv >1 maka proyek layak dilaksanakan

Perhitungan IRR

Untuk mengetahui nilai IRR maka nilai NPV 7,5 % tadi akan dibandingkan dengan nilai NPV 20%.

Tabel 2. Perhitungan Nilai NPV 20%

tahun	cash flow	interest rate	present value
1	Rp34,776,647.64	0.833333333	Rp28,980,539.70
2	Rp34,776,647.64	0.694444444	Rp24,150,449.75
3	Rp34,776,647.64	0.578703704	Rp20,125,374.79
4	Rp34,776,647.64	0.482253086	Rp16,771,145.66
5	Rp34,776,647.64	0.401877572	Rp13,975,954.72
6	Rp34,776,647.64	0.334897977	Rp11,646,628.93
7	Rp34,776,647.64	0.279081647	Rp9,705,524.11
8	Rp34,776,647.64	0.232568039	Rp8,087,936.76
9	Rp34,776,647.64	0.193806699	Rp6,739,947.30
10	Rp34,776,647.64	0.161505583	Rp5,616,622.75

total present value	Rp145,800,124.47
original investmen	Rp135,000,000.00
net present value	Rp10,800,124.47

$$\begin{aligned} \text{Maka nilai } IRR &= I1 + \frac{NPV1}{(NPV1+NPV2)} \times (I2 - I1) \\ &= 7,5 + \left(\frac{372,261,127.72}{372,261,127.72 - 38,476,786.12} \right) \times (20 - 7,5) \\ &= 19,65\% \end{aligned}$$

Karena nilai IRR > dari nilai suku bunga awal 10% maka proyek layak dilaksanakan.

Perhitungan BCR

Untuk mengetahui nilai BCR maka nilai total present value dibandingkan dengan nilai original investment.

$$\begin{aligned} \text{BCR} &= \frac{\text{total investment}}{\text{original investment}} \\ &= \frac{238,709,724.80}{135000000} \\ &= 1,98 \end{aligned}$$

Dari hasil analisis ekonomi di atas didapat hasil sebagai berikut :

Nilai BCR > 1, yaitu sebesar 1,98

Nilai IRR > dari tingkat suku bunga, yaitu sebesar 19,65%

Nilai NPV > 0, yaitu Rp 373.709.724,80

Dari hasil tersebut maka dapat disimpulkan PLTMH Umbul Kendat layak dibangun karena memenuhi nilai-nilai ekonomis yang disyaratkan.

Design Bangunan Sipil

Desain Lebar Bak Penenang/Tando

$$B = Q/H.V$$

dengan :

$$H = 2 \text{ meter}$$

$$V = 0.38 \text{ m/detik}$$

$$Q = 0.206 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Maka B = 0.27 m, untuk perencanaan selanjutnya nilai B = 1.5 meter

Desain Panjang Bak Penenang

$$L = V.(H/U)$$

dengan :

$$H = 0.73 \text{ meter}$$

$$U = 0.1 \text{ m/detik}$$

$$V = 0.38 \text{ m/detik}$$

Maka L = 2.6 meter

$$\text{Volume Bak Penenang} = B.H.L$$

Dengan :

$$B = 1,5 \text{ meter}$$

$$H = 2 \text{ meter}$$

$$L = 2,6 \text{ meter}$$

Maka Volume Bak Penenang 7,8 m³

Menentukan Tinggi Tenggelam Pipa

$$\delta = 1,7V\sqrt{D/g}$$

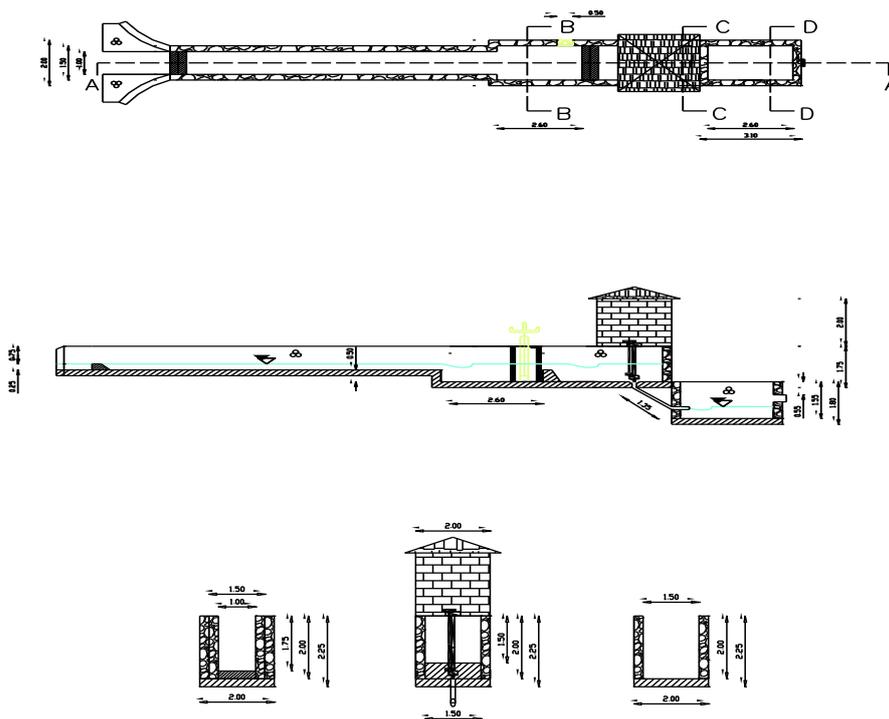
dengan :

$$D = 0.30 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/detik}^2$$

$$V = 0.38 \text{ m/detik}$$

Maka $\delta = 0.11 \text{ meter}$



Gambar 2 Desain Kolam Tando

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian berada di Sungai Kendat, Desa Dukuh, Kecamatan Banyudono, Kabupaten Boyolali yang terdiri dari lima terjunan potensial. Terjunan tersebut terletak pada koordinat $7^{\circ}33'25.50''S$ dan $110^{\circ}40'55.80''E$
2. Dengan debit 248 m³/detik dan tinggi efektif 2 m, maka didapat potensi daya 3kW dan energi yang dihasilkan dalam satu tahun 26280 kWh.

REFERENSI

- [1] Anggraini, Ika Novia dkk. 2012. *Pembangunan Pembangkit Listrik Mikrohidro dengan Pemanfaatan Potensi Air di Desa Benteng Besi Kabupaten Lebong Propinsi Bengkulu*. Jurnal *Amplifier* Vol. 2 No. 1, Mei 2012, hlm 45-50.
- [2] Munandar, Aris dan Kuwahara. 1991. *Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: Pradaya Paramitha.
- [3] Sobriyah. 2012. *Model Hidrologi*. Surakarta: UNS Press.
- [4] Standar Perencanaan Irigasi KP-01. 2010. Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Jakarta.
- [5] Mock, F. J. 1973. *Water Availability Appraisal in Indonesia (Land Capability Appraisal)*, Basic Study Prepare for the FAO/UNDP Land Capability Appraisal Project. Bogor-Indonesia.