

PERENCANAAN PEMBANGUNAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DI KINALI PASAMAN BARAT

Oleh :

Sulaeman¹ dan Ramu Adi Jaya²

*Dosen Teknik Mesin¹ – Mahasiswa Teknik Mesin²
Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Padang*

Abstrak

Seiring dengan perkembangan peradaban manusia, tingkat kebutuhan energi juga semakin meningkat dan mengakibatkan menipisnya bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama. Oleh karena itu diperlukan energi alternative yang terbarukan. Sungai Batang Kularian Kinali Pasaman Barat mempunyai potensi daya yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energy yang terbarukan. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) merupakan salah satu bentuk energi alternatif yang mengolah energi potensial air berubah menjadi energi listrik yang berguna untuk kebutuhan hidup masyarakat. Perencanaan PLTMH dimulai dari survey lokasi perencanaan di Sungai Kularian Kinali Pasaman Barat. Survey dilakukan untuk mendapatkan data perancangan berupa head dan debit air. Data tersebut dapat digunakan untuk menentukan besarnya potensi energi pada lokasi perencanaan PLMTH. Pada perencanaan PLTMH di Sungai Kularian Kinali Pasaman Barat diperoleh data debit air seluruhnya 0,4 m³/s dan potensi energi listrik sebesar 25 kW. Perencanaan pipa penstock menggunakan pipa berdiameter 500 mm.

Kata kunci : Energi terbarukan, PLMTH, Turbin Cross flow, Sungai Kularian.

PENDAHULUAN

Keterbatasan tenaga listrik merupakan salah satu permasalahan energi yang paling mendasar. Ketersediaan pembangkit listrik masih sangat kurang. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya daerah yang belum teraliri listrik. Maka dari itu, perlu diciptakan alat atau pembangkit listrik yang dapat menjangkau tempat terpencil yang ramah lingkungan dan harganya terjangkau.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah salah satu alat konversi energi alternatif yang dapat dikembangkan dalam upaya menjangkau listrik pedesaan. Potensi energi air ini layak dikembangkan mengingat di wilayah Kabupaten Pasaman Barat terdapat beberapa potensi air yang dapat dimanfaatkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. Di Nagari Kinali Jorong Banjar Durian Gadang terdapat perkampungan yang didiami sekitar 90 rumah dimana masyarakatnya belum menikmati energi listrik. Kalau dilihat dari kondisi geofrafis daerah ini mempunyai potensi sumber daya air yang bisa dikembangkan menjadi pembangkit listrik,

karena daerah ini dekat dengan aliran Sungai Batang Kularian yang mempunyai ketersediaan air yang cukup sepanjang tahun dan debit yang dapat diandalkan. Pemanfaatannya sebagai PLTMH diharapkan dapat membantu masyarakat sekitar untuk meningkatkan keadaan ekonomi dan memenuhi kebutuhan konsumsi listrik di daerah tersebut.

Untuk itu perlu perhitungan dan pertimbangan yang cermat dalam melakukan perencanaan pembangunan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, sehingga didapatkan sistem yang dapat bekerja secara efisien dan optimal.

METODE PENELITIAN

Nanas Jenis penelitian ini termasuk penelitian yang bertujuan untuk mengetahui perencanaan pembangunan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di jorong Banjar Durian Gadang, Nagari Kinali, kecamatan VI Koto, Kabupaten Pasaman Barat.

2.1 Survey Data Lapangan

Sebelum melakukan perancangan dan perencanaan pembangunan PLTMH dilakukan studi dan evaluasi untuk mendapatkan data-data aktual di lapangan. Seperti besarnya debit air sungai dan jatuh air aktual (*head*). Disamping data-data jumlah rumah penduduk serta jarak pembangkit ke lokasi pemukiman penduduk.

1. Pengukuran Debit Air

Pengukuran ini didapat dengan menggunakan alat ukur yaitu Current Water Meter, namun dapat juga dilakukan secara manual yaitu dengan mencari nilai rata-rata dari kecepatan aliran air, kedalaman sungai dan lebar sungai. Maka dari hasil survey dan pengukuran didapat nilai debit air sebesar 400 l/d atau 0,4 m³/s.

2. Pengukuran tinggi jatuh air

Pada pengukuran tinggi jatuh air dapat menggunakan alat ukur atau Theodolite untuk lebih presisi. Adapun pengukuran tinggi jatuh air (*head*) meliputi *head* aktual dan *head* geodetik. *Head* aktual adalah tinggi jatuh air efektif yang di rancang dan diukur antara permukaan bak penenang (*fore bay*) dan permukaan saluran pembuangan (*tail race*). Sedangkan *head* geodetik adalah tinggi jatuh air antara permukaan sungai dan permukaan air laut. Untuk pengukuran *head* aktual yang diukur di lokasi didapat tinggi jatuh air sebesar 10 meter.

2.2 Studi Literatur

Studi Pustaka atau literatur meliputi pencarian sumber-sumber ilmu yang berhubungan dengan turbin air, yang berupa teori dasar dan perhitungan-perhitungan dalam merancang dan merencanakan pembangunan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

2.3 Pengolahan data dan perencanaan

Dalam hal pengolahan data dan perencanaan pembangunan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro didapat dari hasil survey lokasi yang kemudian dilanjutkan dengan perhitungan yang didapat dari teori dasar dan studi kepustakaan dengan menggunakan metode penelitian.

HASIL DAN PEMBEHASAN

3.1 Data Lokasi

Lokasi pembangunan 1 (satu) unit Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro beserta jaringan sebagai berikut :

- Jorong : Banjar Durian Gadang
- Nagari : Kinali
- Kecamatan : VI Koto Utara
- Sungai : Batang Kularian
- Bendung : N. 00⁰ 00' 19,4" dan BT. 100⁰ 00' 43,1"
- Bak Penenang : N. 00⁰ 00' 17,9" dan BT. 100⁰ 00' 42,1"
- Rumah Turbin : N. 00⁰ 00' 16,8" dan BT. 100⁰ 00' 44,2"

2.2 Pengolahan Data

1. Debit air yang digunakan

Tabel 3.1 : Data pengukuran debit air dan tinggi jatuh air

No	Lebar Sungai L (m)	Kedalaman h (m)	Kecepatan Aliran Air V (m/s)	Tinggi Jatuh Air H (m)
1	1,25	0,7	0,3	9,6
2	1,45	1,0	0,4	10,3
3	1,50	1,3	0,6	10,1
Rata-rata	$\Sigma L = 1,40$	$\Sigma h = 1,00$	$\Sigma V = 0,43$	$\Sigma H = 10,00$

Dari tabel 3.1 dapat dihitung debit air pada sungai :

$$\begin{aligned}
 Q &= \Sigma L \times \Sigma h \times \Sigma V \\
 &= 1,40 \text{ m} \times 1,00 \text{ m} \times 0,43 \text{ m} \\
 &= 0,6066 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Tinggi jatuh air yang digunakan adalah 10 m
 Debit air yang tersedia berdasarkan hasil survey pada musim hujan adalah $Q_{\text{mak}} = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$, sedangkan dimusim kemarau berkurang sekitar 5 % dari biasanya. Pada gambar 4.1 menunjukkan debit maksimal, debit minimal dan debit yang akan digunakan.

Debit air sungai dimusim kemarau

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{min}} &= 0,60 \text{ m}^3/\text{s} - (5\% \times 0,60 \text{ m}^3/\text{s}) \\
 &= 0,60 \text{ m}^3/\text{s} - 0,03 \text{ m}^3/\text{s} \\
 &= 0,57 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Debit air yang akan digunakan direncanakan 70 % dari debit air dimusim hujan dapat ditentukan dengan persamaan 2.

Debit air yang digunakan ;

$$\begin{aligned}
 Q &= 70\% \times Q_{\text{min}} \\
 &= 70\% \times 0,57 \text{ m}^3/\text{s} \\
 &= 0,4 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned} \tag{2}$$

2. Perhitungan Pipa Pesat (penstock)

Sebelum menentukan jenis turbin yang akan dirancang terlebih dahulu harus dihitung diameter pipa pesat, kecepatan air dan panjang pipa pesat, kerugian energi disepanjang pipa pesat, tinggi jatuh air efektif dan kecepatan spesifik turbin.

1. Diameter Pipa Pesat

Diameter dalam pipa pesat dapat ditentukan dengan persamaan :

$$D_{1.1} = 0,011 \sqrt{\frac{Q^{0,001}}{1,006 C^{0,001}}} \tag{3}$$

Debit yang akan digunakan (Q) = $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ dan direncanakan bahan pipa pesat adalah baja las ST 37 dengan tebal 3 mm dan Koefesien $C = 120$, maka diameter dalam pipa pesat ($D_{1.1}$) yang direncanakan adalah :

$$D_{1.1} = 0,011 \sqrt{\frac{(0,4)^{0,001}}{1,006 (120)^{0,001}}}$$

$$D_{1.1} = 0,34 \text{ m}$$

Diameter luar di awal pipa pesat

$$\begin{aligned}
 D_{1.2} &= D_{1.1} + (2 \times 3\text{mm}) \\
 &= 0,34 + 0,006 \\
 &= 0,346 \text{ m}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Untuk menghindari terjadinya kavitasi disepanjang pipa pesat karena perbedaan tekanan maka diameter di akhir pipa pesat dibuat lebih kecil dari diameter pipa pesat.

Kecepatan air di akhir pipa pesat (V_2) dapat ditentukan dengan persamaan 5 :

$$V_2 = c \sqrt{2 g H_2} \tag{5}$$

Di mana :

Tinggi jatuh air aktual (H) = 10 m (hasil survey)

Percepatan gravitasi (g) = $9,81 \text{ m/s}^2$

Koefesien tahanan pipa (c) = 0,6 (diasumsikan)

$$V_2 = 60 \sqrt{2 (9,81) 10}$$

$$V_2 = 8,4 \text{ m/s}$$

Dengan didapatnya kecepatan diakhir pipa pesat, maka diameter dalam diakhir pipa pesat dapat ditentukan dengan persamaan 6.

$$A_2 = \frac{Q}{V_2}$$

$$D_{2.1} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_2}}$$

Di mana : Debit air yang digunakan

$$(Q) = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kecepatan air diakhir pipa pesat (V_2) = 8,4 m/s

$$D_{2.1} = \sqrt{\frac{(4)(0,4)}{(3,14)(8,4)}}$$

$$D_{2.1} = 0,24 \text{ m}$$

Diameter luar diakhir pipa pesat

$$D_{2.2} = D_{2.1} + (2 \times 3 \text{ mm})$$

$$= (0,24 \text{ m}) + 0,006 \text{ m}$$

$$= 0,246 \text{ m}$$

Diameter dalam rata-rata pipa pesat (D_r) dapat ditentukan dengan persamaan 4.6 :

$$D_r = \frac{D_{1.1} + D_{2.1}}{2}$$

$$D_r = \frac{0,34 + 0,24}{2}$$

$$D_r = 0,29 \text{ m}$$

2. Kecepatan Air dalam Pipa Pesat

Kecepatan air di awal pipa pesat (V_1) dapat ditentukan dengan persamaan 7:

$$V_1 = \frac{Q}{A_1}$$

Di mana :

Debit air yang digunakan (Q) = 0,4 m³/s

Luas penampang di awal pipa pesat

$$(A_1) = \frac{\pi}{4} D_{1.1}^2$$

$$= \frac{3,14}{4} (0,34 \text{ m})^2$$

$$= 0,09 \text{ m}^2$$

$$V_1 = \frac{0,4 \text{ m}^3/\text{s}}{0,09 \text{ m}^2}$$

$$V_1 = 4,44 \text{ m/s}$$

Kecepatan rata-rata air dalam pipa pesat dapat ditentukan dengan persamaan 7 :

$$V_r = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (7)$$

$$V_r = \frac{4,44 + 8,40}{2}$$

$$V_r = 6,42 \text{ m/s}$$

3. Panjang Pipa Pesat

Tinggi jatuh air aktual yang didapat dari hasil survey adalah 10 m, sedangkan kemiringan pipa pesat 45⁰. Beda ketinggian permukaan air di kolam bak penenang dengan mulut pipa 1,5 m, beda ketinggian puncak runner dengan permukaan air disalurkan buang 2 m, maka tinggi jatuh air aktual yang digunakan 6,5 m. Perencanaan untuk pipa pesat adalah sebagai berikut :

$$L_1 = 1,5 \text{ (direncanakan)}$$

$$L_2 = \frac{6,5 \text{ m}}{\sin 45^0}$$

$$L_2 = 9,2 \text{ m}$$

Panjang pipa pesat (L_p) yang direncanakan dapat ditentukan dengan persamaan 8

$$L_p = L_1 + L_2 \quad (8)$$

$$L_p = 1,5 \text{ m} + 9,2 \text{ m}$$

$$L_p = 10,7 \text{ m}$$

3. Perencanaan Turbin

1. Kerugian Energi di sepanjang Pipa Pesat

a. Kerugian energi akibat gesekan fluida di dalam pipa pesat (*Head Losses Mayor*) kerugian ini dapat dihitung dengan persamaan 4.9

$$H_{lf} = \frac{10,666 Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,85}} L \quad (9)$$

Di mana :

Debit air yang digunakan (Q) = 0,4 m³/s

Pipa baja yang dilas (C) = 120

Panjang pipa pesat (L) = 10,70 m

Diameter dalam rata-rata pipa (D_r) = 0,29 m

$$H_{lf} = \frac{10,666 (0,4)^{1,85}}{(120)^{1,85} (0,29)^{4,85}} 10,7$$

$$H_{lf} = 0,84 \text{ m}$$

b. Kerugian energi yang terjadi di awal air masuk pipa pada belokan pipa (*Head*

Losses Minor), dalam hal ini direncanakan :

- ujung masuk pipa adalah lurus dengan radius sudut kecil, berdasarkan koefesien kerugian (f_1) untuk tipe (iii) ini adalah : 0,06
- satu buah belokan pipa dengan sudut kemiringan 45° berdasarkan koefesien kerugian (f_2) adalah : 0,18

Kerugian *Head Losses Minor* dapat dihitung dengan persamaan 10 :

$$H_{lm} = \sum f \frac{V_r^2}{2g}$$

Di mana : Kecepatan rata-rata air dalam pipa pesat (V_r) = 6,42 m/s

Total koefesien kerugian

$$\begin{aligned} (\sum f) &= f_1 + f_2 \\ &= 0,06 + 0,18 \\ &= 0,24 \end{aligned}$$

$$H_{lm} = 0,24 \frac{(6,42)}{(2)(9,81)}$$

$$H_{lm} = 0,07 \text{ m}$$

Total kerugian energi disepanjang pipa pesat dapat ditentukan dengan persamaan 10.

$$\begin{aligned} \sum H_l &= H_{lf} + H_{lm} & (10) \\ &= 0,84 + 0,07 \\ &= 0,91 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Tinggi Jatuh Air Efektif

Tinggi jatuh air efektif dapat dihitung dengan persamaan 11

$$H_e = H_a - \sum H_l \quad (11)$$

Di mana : Tinggi jatuh air aktual (H_a) = 10 m

$$\begin{aligned} \text{Total kerugian energi sepanjang pipa } \sum H_l &= 0,91 \text{ m} \\ H_e &= 10 - 0,91 \\ &= 9,09 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Kecepatan spesifik

Kecepatan spesifik roda turbin dapat ditentukan dengan persamaan 12

$$n_s = n_1 \frac{\sqrt{Q}}{(H_e)^{3/4}} \quad (12)$$

Di mana :

Debit air yang direncanakan (Q) = 0,4 m³/s
Tinggi jatuh air efektif (H_e) = 9,09 m
Kecepatan putaran turbin direncanakan (n_1) = 600 rpm

$$n_s = 600 \text{ rpm} \frac{\sqrt{0,4}}{(9,09)^{3/4}}$$

$$n_s = 72,43 \text{ rpm}$$

Dengan didapatnya harga kecepatan spesifik maka jenis turbin yang cocok digunakan di Desa Jorong Durian Gadang Nagari Kinali dapat ditentukan dengan bantuan diagram lampiran 9. Untuk kecepatan spesifik (n_s) = 72,43 dan tinggi jatuh air efektif (H_e) = 9,01 m jenis turbin yang cocok digunakan adalah Turbin Crossflow.

4. Transmisi Sabuk - V

Untuk meneruskan daya dari poros turbin ke generator listrik maka diperlukan komponen transmisi tambahan. Komponen transmisi yang biasa digunakan untuk meneruskan daya ini antara lain sabuk, roda gigi dan kopling.

1. Perencanaan sabuk

Dari data sebelumnya didapat :

Daya yang dihasilkan turbin $P_e = 25 \text{ kW}$
Kecepatan putaran turbin $n_1 = 600 \text{ rpm}$
Kecepatan putaran generator $n_2 = 1500 \text{ rpm}$
a. Daya Rencana

Daya rencana dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 13 :

$$P_d = P_e \times f_c$$

Di mana :

P_d = Daya rencana (kW)

f_c = Faktor koreksi pada lampiran 12 dengan

pemilihan mesin yang digerakkan adalah variasi beban sedang dengan momen puntir puncak > 200 % dan jumlah jam kerja 16-24 jam ($f_c = 1,8$)

$$P_d = 25 \text{ kW} \times 1,8 \\ = 45 \text{ kW}$$

Sementara sabuk direncanakan adalah 4 buah sehingga untuk sabuk-V mentransmisikan daya sebesar 11,25 kW.

5. Generator

- Daya yang dihasilkan generator = 30 kW
- Jenis generator yang digunakan = 3 phasa 1500 rpm
- Frekuensi = 50 Hz
- Jumlah pasang katup = 2 buah

Daya yang masuk ke generator inilah yang dimanfaatkan untuk dialirkan ke rumah masyarakat. Di samping untuk kebutuhan rumah penduduk daya ini juga dimanfaatkan untuk penerangan dan mushala. Dalam hal ini di rencanakan untuk :

1. Untuk lampu jalan sebanyak 5 buah bola lampu (@150 Watt) = 750 Watt
2. Untuk mushala 80 Watt

Daya yang tersisa dialirkan kerumah-rumah penduduk adalah :

$$P_s = 25000 \text{ Watt} - (750 + 80) \text{ Watt} \\ = 24170 \text{ Watt}$$

Dari hasil survey rumah penduduk yang akan dialiri listrik adalah 86 rumah, 1 SD dan 1 Pustu. Apabila daya yang tersisa ini dialirkan semuanya ke masing-masing rumah, maka tiap-tiap rumah mendapat :

$$P_r = 24170 \text{ Watt} / 88 \\ = 274 \text{ Watt/ rumah}$$

Daya untuk masing-masing rumah adalah 274 Watt. Mengingat jarak distribusi yang cukup jauh maka digunakan transformator sebagai penaik tegangan.

KESIMPULAN

1. Dari laporan penelitian dan pelaksanaan pekerjaan pembangunan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro (PLTMH) di Kinali ini didapatkan spesifikasi yang dapat bekerja dengan baik.

2. Di Desa Jorong Banjar Durian Gadang terdapat perkampungan yang belum dapat dialiri listrik, apabila dipandang dari potensi geografisnya daerah ini mempunyai potensi sungai yang dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan tenaga listrik.

Dari hasil survey diketahui :

- Debit air sungai dimusim penghujan = 0,6 m³/s
 - Debit rata-rata air sungai = 0,4 m³/s
 - Tinggi jatuh air actual = 10 m
3. Dari hasil perhitungan yang dilakukan maka didapat hasil data-data spesifikasi yang direncanakan sebagai berikut:
 - a. Turbin
 - Jenis turbin yang cocok digunakan adalah turbin *crossflow*
 - Daya yang dihasilkan turbin = 25 kW
 - Debit air yang digunakan = 0,4 m³/s
 - b. Pipa Pesat
 - Diameter Pipa Pesat = 0,34 m
 - Panjang Pipa Pesat = 10,4 m
 - Kecepatan rata-rata air dalam pipa = 6,42 m/s
 - Kerugian energi disepanjang pipa = 0,91 m
 - c. Generator
 - Daya yang dihasilkan generator = 25 kW
 - Jenis generator yang digunakan = 3 Phasa 1500 rpm
 - d. Transmisi sabuk-V
 - Tipe sabuk-V yang digunakan adalah tipe C
 - Panjang keliling sabuk = 1972,788 mm
 - Kecepatan linier sabuk = 9,92 m/s
 4. Dari hasil perhitungan akhir daya yang masuk ke generator listrik adalah 25 kW. Jumlah rumah yang direncanakan untuk dialiri listrik adalah 86 rumah, 1 SD 2 rumah ibadah dan 1 pustu. Dengan daya masing-masing rumah 274 Watt.

SARAN

1. Diharapkan agar lebih banyak pihak-pihak untuk terlibat dalam hal pemanfaatan energi terbarukan dan perkembangan konversi energi yang tidak bergantung pada energi fosil yang semakin menipis

seperti memanfaatkan potensi mikro hidro khususnya di daerah Sumatera Barat.

2. Agar pemerintah lebih mendukung dan bekerja sama dengan pihak-pihak akademis untuk lebih menggalakan perkembangan studi energi terbarukan dan pemanfaatan mikrohidro khususnya di kawasan Sumatera Barat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anya P. Damastuti, (1997), "*Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro*", Bandung: ITB,
- [2] Direktorat Jendral ESDM, (2009), "*Studi Kelayakan PLTMH*", Jakarta: IMIDAP,
- [3] Sihombing, JM, (2014) "*Evaluasi Teknik PLTMH*", ITB, Bandung,
- [4] Simanjuntak, Patar. A, (2014), "*Evaluasi Potensi Fs PLTMH*", Seminar, Padang,
- [5] Dinas ESDM Sumatera Barat, (2014). "*Laporan Pembangunan PLTMH Kinali*", Pasaman, Padang
- [6] Sularso, Suga Kiyokatsu, (1994). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan elemen Mesin*. Jakarta : Pradnya Paramitha.
- [7] Dietzel, Fritz (1988). *Turbin Pompa dan kompresor*. (Alih Bahasa Ir. Dakso Sriyono) Jakarta : Erlangga
- [8] Wiranto, A (1997). *Penggerak Mula Turbin*. Bandung: ITB