

RANCANG BANGUN PROTOTYPE TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINI HIDRO (PLTMH) DI NAGARI KOTO GAEK GUGUK, SOLOK

Sanny Ardhy¹, Meiki Eru Putra², Islahuddin³

¹Prodi Teknik Mesin, Unidha

email: sannyardhy@gmail.com

²Prodi Teknik Mesin, Unidha

email: meikieruputra@gmail.com

³Prodi Teknik Mesin, Unidha

email: islahuddin@unidha.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v3i1.1686>

Abstract: Saat ini, Rasio Elektrifikasi (RE) Sumbar sebesar 92,80 persen. Masih ada sekitar 7,2 persen atau 78 ribu rumah tangga yang belum menikmati listrik. Dari total tersebut, RE PT. PLN (Persero) sebesar 98,78 persen dan sisanya 1,22 persen berasal dari RE listrik non PLN (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro/PLTMH dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya/PLTS). Dalam hal ini, PLN tidak sepenuhnya menyediakan tenaga listrik, terutama bagi masyarakat di daerah terpencil. Salah satu solusi, dibangun PLTMH. RE Kabupaten Solok pada tahun 2017, adalah 91,77 persen yang berada di bawah target nasional, 97,15 persen. Dalam penelitian ini, dipilih lokasi Nagari Koto Gaek Guguk, Kecamatan Gunung Talang. Penelitian ini hanya memfokuskan perancangan prototype turbin air. Dalam proses perencanaan, dibutuhkan data-data berupa debit dan head di lokasi PLTMH berada. Data diperoleh dari data gabungan, instansi terkait dan survei lapangan. Berdasarkan hasil survei didapatkan data berupa debit aliran sebesar 7 m³/s dan tinggi jatuh air (head) sebesar 39,41 m. Selanjutnya, dilakukan perencanaan pemilihan turbin dan perancangan komponen. Seperti perencanaan dimensi runner turbin, guide vane, dimensi spiral casing dan dimensi poros. Berdasarkan hasil dan pembahasan, didapatkan jenis turbin yang dipakai adalah turbin Francis sebanyak 2 buah dengan daya terbangkit 2.117,48 kW.

Keywords: Rasio Elektrifikasi, PLTMH, Turbin Francis, Daya

PENDAHULUAN

Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Indonesia diperkirakan sebesar 76.670 Megawatt (MW) dan Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTMH) sebesar 770 Megawatt (MW). Dari potensi tersebut, baru sekitar 6 persen yang telah dikembangkan [1]. Padahal, kebutuhan energi listrik kian meningkat seiring bertambahnya konsumen. Kurangnya energi listrik yang tersuplai, menyebabkan sebagian daerah tidak teraliri listrik. Di Sumbar sendiri, masih banyak nagari yang belum teraliri listrik. Beberapa kabupaten di Sumbar masih ada yang memiliki rasio elektrifikasi (RE) di bawah 83,2 persen [2]. Kabupaten Solok sendiri, RE pada tahun 2017, adalah 91,77 persen. Angka ini berada di bawah target nasional, 97,15 persen [3]. Karena itu, penelitian ini diambil sampel di daerah Kabupaten Solok. Padahal, faktor geografis Sumbar memiliki potensi sumber daya air yang berlimpah, yaitu 1.100 MW. Sumbar memiliki 4 danau dan 32 sungai besar. Dengan sumber

daya alam yang potensial ini, maka sangat mungkin untuk dibangun PLTMH sebagai salah satu energi alternatif, termasuk di Koto Gaek Guguk, sebuah nagari di Kecamatan Gunung Talang. Nagari ini memiliki jumlah penduduk sebesar 46.738 jiwa. PLTMH dapat dijadikan sebagai energi alternatif. Ini dikarenakan proyek PLTMH dapat dikerjakan secara mudah oleh masyarakat, biayanya murah, dan bahan baku sumber energi air yang melimpah dan terbarukan (renewable energy). Masyarakat dalam hal ini, cukup memanfaatkan air terjun atau air aliran sungai sebagai sumber energi (source energy). Energi potensial air dalam hal ini, diubah menjadi energi kinetik dan mekanik oleh turbin yang selanjutnya akan memutar generator untuk mengubahnya menjadi energi listrik. PLTMH memiliki kapasitas 5 - 100 kW dan bisa mengaliri listrik untuk 100 unit rumah penduduk [4]. Tak hanya untuk biaya operasional yang kecil, perawatannya juga mudah. Seperti diketahui, PLTMH bukan hanya untuk penerangan.

Namun juga bertujuan sebagai penggerak usaha produktif yang berwawasan lingkungan. PLTMH sendiri adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air saluran irigasi, sungai, atau air terjun alam, dengan cara memanfaatkan tinggi terjun air (head, dalam m) dan jumlah debit air ($m^3/detik$). Pemanfaatan energi tenaga air ini dilakukan dengan mengalirkan sejumlah air melalui pipa pesat (penstock) untuk memutar turbin air [5]. Energi mekanik putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh generator.

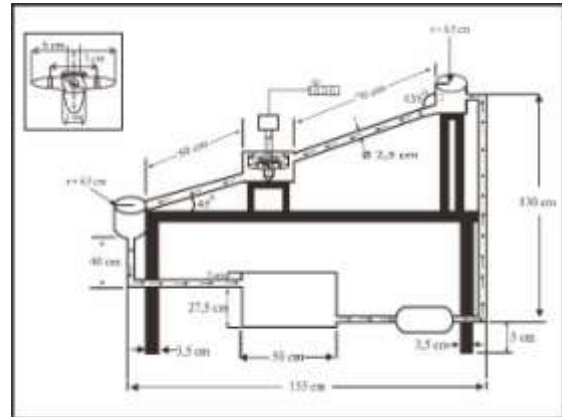
Adapun tujuan penelitian ini untuk merancang turbin air PLTMH, membantu Pemkab Solok untuk mengatasi keterbatasan listrik di nagari setempat, serta meningkatkan perekonomian masyarakat. Awalnya kegiatan ekonomi masyarakat Nagari Koto Gaek Guguk hanya dilakukan di siang hari. Dengan adanya PLTMH ini, nantinya diharapkan masyarakat bisa berkegiatan hingga malam hari. Seperti pembuatan perabot, bengkel, hueller, penggilingan kopi dan lainnya. Intinya, akan tercipta tambahan lapangan kerja bagi masyarakat sekitar.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Nagari Koto Gaek Guguk. Penelitian ini didasari dengan pengambilan variabel independen dari data lapangan, yakni penyusunan studi kelayakan maupun detail desain pembangkit listrik tenaga air. Penelitian ini diawali dengan studi hidrologi yang bertujuan untuk mengetahui ketersediaan potensi air sungai (low flow) yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik maupun potensi banjir (high flow) yang terjadi dan digunakan untuk menentukan perhitungan desain bangunan yang diinginkan [6]. Ada dua ruang lingkup pekerjaan dari studi hidrologi ini. Pertama, pengukuran debit sesaat di beberapa titik di sepanjang sungai di bawah Gunung Talang. Kedua, pengumpulan data sekunder/survei instansional untuk pengumpulan data, seperti data curah hujan. Lanjutnya, masuk ke dalam tahap studi topografi. Di sini, data tinggi jatuh air yang direncanakan dapat diketahui. Tinggi jatuh air adalah selisih antara tinggi permukaan air atas (TPA) dengan tinggi permukaan air bawah (TPB) [7]. TPA berada di permukaan air pada bak penenang dan TPB pada saluran buang.

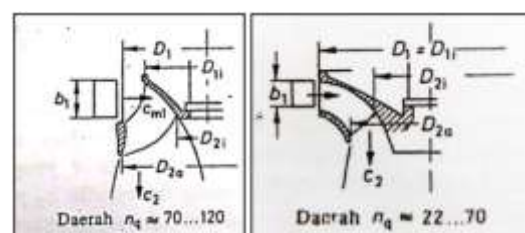
Untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh turbin, dapat dipakai rumus $P = 9,8 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_t$ [8].

Adapun rancangan prototipe dari PLTMH dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 1. Desain Prototipe PLTMH

Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu tinggi jatuh air (Head) dan debit, daya (power) dan kecepatan putaran turbin. Ketiga faktor di atas seringkali diekspresikan sebagai kecepatan spesifik (n_s), yaitu kecepatan putar turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi jatuh air satu satuan panjang. Kecepatan spesifik setiap turbin memiliki kisaran (range) tertentu berdasarkan data eksperimen. Sementara dalam perencanaan geometri turbin, akan dibagi berdasarkan komponen-komponennya. Pertama, dimensi turbin yang terbagi menjadi diameter roda turbin (D_1), diameter keluar terkecil dan terbesar sisi turbin (D_{2i} & D_{2a}), dan Lebar sudu sisi masuk (B_1). Bentuk dari dimensi turbin berdasarkan nilai dari n_q (kecepatan spesifik basis debit) dapat dilihat pada Gambar 2 [9].



Gambar 2. Dimensi Turbin

Kedua, analisis kinematis sudu gerak (Runner). Analisis kinematis ini akan menentukan beberapa besaran vektor yang berhubungan dengan kinematika pada turbin. Analisis Kinematis dari sudu turbin ditentukan dengan menggunakan metoda segitiga kecepatan. Analisa kinematis ini dibagi menjadi dua, yaitu sisi masuk dan sisi keluar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi air sungai Gunung Talang dapat diketahui berdasarkan data curah hujan di stasiun penakar hujan dan pengukuran debit sesaat menggunakan alat ukur current meter di beberapa titik di sepanjang sungai. Data tersebut diolah menggunakan model F.J Mock [10].

Parameter data sekunder

Perolehan data dari spesifikasi pompa :

1. H_{gross} = 39,41 m (ditentukan dari spesifikasi pompa yang sudah ada)
2. Q = 7 m³/s (debit pompa)
3. Diameter pipa = 1 inchi = 0.0254 m
4. Ng = 500 rpm (hipotesa)

Perolehan data dari spesifikasi pipa

1. Elbow = 4 buah
2. Valve = 6 buah
3. L_{pipa} (panjang) = 3 m

- Diameter penstock

Jika diketahui Debit (Q) 0,000467 m³/s. Gross Head (H_g) 2 m, panjang pipa pesat adalah 3 m dan material yang digunakan adalah PVC dengan *manning's coefficient* 0,009, maka diameter penstock adalah:

$$Dp = 2,69 \left(\frac{n^2 \times Q^2 \times Lp}{Hg} \right)^{0,1875}$$

$$Dp = 2,69 \left(\frac{0,009^2 \times 0,000467^2 \times 3}{2} \right)^{0,1875}$$

$$Dp = 0,02796 \text{ m} = 1,1 \text{ in}$$

- Total minimal penstock

Tebal minimal *penstock* (t) berdasarkan anjuran ASME seperti berikut ini:

$$t = 2,5 \times Dp + 1,2$$

$$t = 2,5 \times 0,02769 + 1,2$$

$$t = 1,2699 \text{ mm}$$

- Kecepatan aliran dalam pipa

Dari diameter pipa, dapat diketahui kecepatan aliran dalam pipa, sebagai berikut :

$$Vp = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} Dp^2}$$

$$Vp = \frac{0,000467}{\frac{\pi}{4} 0,02796^2} = 0,76 \text{ m/s}$$

- Head loss pada penstock
Rugi gesekan pada *penstock* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan Manning's.

$$\frac{hf}{L} = 10,3 \times \frac{n^2 \times Q^2}{Dp^{5,333}}$$

$$\frac{hf}{3} = 10,3 \times \frac{0,009^2 \times 0,000467^2}{0,02796^{5,333}}$$

$$hf = 0,105 \text{ m}$$

- Head loss pada sisi masuk pipa
Jika sudut masukan diasumsikan sebesar 30⁰ maka, *head losses* pada sisi masuk pipa pesat h_{lp}

$$h_{lf} = kc \times \frac{Vp^2}{2 \times g}$$

$$h_{lf} = 0,02 \times \frac{0,76^2}{2 \times 9,81}$$

$$h_{lf} = 0,000589 \text{ m}$$

- Head loss pada elbow
Jika diasumsikan besar K_b sebesar 0,4 dengan 4 jumlah belokan maka *head losses* pada elbow

$$h_{lb} = Nb \times kb \times \frac{Vp^2}{2 \times g}$$

$$h_{lb} = 4 \times 0,4 \times \frac{0,76^2}{2 \times 9,81}$$

$$h_{lb} = 0,047 \text{ m}$$

- Head loss pada katup
Besarnya koefisien hambatan k_v jika besar koefisien k_v adalah 0,6

$$h_{lv} = Nv \times kv \times \frac{Vp^2}{2 \times g}$$

$$h_{lv} = 3 \times 0,6 \times \frac{0,76^2}{2 \times 9,81}$$

$$h_{lv} = 0,053 \text{ m}$$

- Head loss pada sambungan T

$$h_{lt} = Nt \times kt \times \frac{Vp^2}{2 \times g}$$

$$h_{lt} = 2 \times 0,19 \times \frac{0,76^2}{2 \times 9,81}$$

$$h_{lt} = 0,0112 \text{ m}$$

- Head loss total

Jika tidak ada rugi-rugi lain, maka

Head losses total

$$H_{loss} = hf + h_{lp} + h_{lb} + h_{lv} + h_{lt}$$

$$H_{loss} = 0,105 + 0,000589 + 0,047 + 0,053 + 0,0112 = 0,217 m$$

$$H_{loss} = 0,217 m$$

- Head nett

$$H_{nett} = H_{gross} - H_{loss}$$

$$H_{nett} = 2 - 0,217$$

$$H_{nett} = 1,783 m$$

➤ Perhitungan dimensi utama turbin

- Kecepatan air keluar

Dimana:

C_1 = kecepatan mutlak jet (m/s)

K_c = koefisien jet (0.96- 0.98)

g = gravitasi

H_n = head net (m)

$$C_1 = \sqrt{2 \times g \times H_n}$$

$$C_1 = \sqrt{2 \times 9,81 \times 1,783}$$

$$C_1 = 5,915 \frac{m}{s}$$

- Kecepatan tangensial

Dimana :

C_1 = kecepatan mutlak jet (m/s)

U = kecepatan keliling optimal (m/s)

$$U = \frac{C_1}{2}$$

$$U = \frac{5,915}{2}$$

$$U = 2,957 \frac{m}{s}$$

- Diameter roda rata-rata

Dimana :

D = diameter jet optimal (mm)

U = kecepatan keliling optimal (m/s)

N = kecepatan (rpm)

$$D = \frac{60 \times U}{\pi \times n}$$

$$D = \frac{60 \times 2,957}{\pi \times 500}$$

$$D = 0,113 m = 113 mm$$

- Diameter pancaran air

D = diameter jet optimal (mm)

Q = Debit aliran (m^3/m)

H_n = head net (m)

$$d = 0,54 \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H_n}}}$$

$$d = 0,54 \sqrt{\frac{0,000467}{\sqrt{1,783}}}$$

$$d = 0,0101 m = 10,1 mm$$

- Perhitungan D/d

Dimana :

D, d = diameter jet optimal (mm)

$$d = \frac{D}{10,1}$$

$$d = \frac{113}{10,1}$$

$$d = 11,188 mm$$

- Jumlah mangkok

Dimana :

z = Jumlah mangkok

D = diameter lingkaran tusuk (mm)

d = diameter jet optimal (mm)

$$z = 5,4 \times \frac{\sqrt{D}}{d}$$

$$z = 5,4 \times \frac{\sqrt{113}}{10,1}$$

$$z = 5,68 = 6$$

- Lebar mangkok

Dimana :

b = Lebar mangkok (mm)

d = diameter jet optimal (mm)

$$b = 2,5 \times d$$

$$b = 2,5 \times 10,1$$

$$b = 25,25 mm$$

- Tinggi mangkok

dimana:

h = Tinggi mangkok (mm)

d = diameter jet optimal (mm)

$$h = 2,1 \times d$$

$$h = 2,1 \times 10,1$$

$$h = 21,21 mm$$

- Lebar bukaan mangkok

dimana:

a = Lebar bukaan mangkok (mm)

d = diameter jet optimal (mm)

$$a = 1,2 \times d$$

$$a = 1,2 \times 10,1$$

$$a = 12,12 \text{ mm}$$

- Kedalaman mangkok

dimana:

t= Kedalaman mangkok (mm)

d = diameter jet optimal (mm)

$$t = 0,9 \times d$$

$$t = 0,9 \times 10,1$$

$$t = 9,09 \text{ mm}$$

- Kelonggaran cetakan

Dimana :

k = Kelonggaran cetakan (mm)

Dlt = diameter lingkaran tusuk (mm)

$$k = 0,1 \times D$$

$$k = 0,1 \times 113$$

$$k = 11,3 \text{ mm}$$

- Diameter runner

Dimana :

D0= Diameter luar Runner (mm)

Dlt = diameter lingkaran tusuk (mm)

h = Tinggi mangkok (mm)

$$D_0 = D \times 1,2 \times h$$

$$D_0 = 113 \times 1,2 \times 21,21$$

$$D_0 = 138,452 \text{ mm}$$

Berdasarkan data lokasi PLTMH berada pada koordinat N 00021'51,5" E 99033'57,5" dengan ketinggian +124 meter dari permukaan laut. Lokasi bak penenang PLTMH berada pada koordinat N 00021'56,3" E 99033'49,9" dengan ketinggian +163,41 meter dari permukaan laut. Berdasarkan data, dapat ditentukan nilai tinggi jatuh air (H) berdasarkan selisih ketinggian dari bak penenang dengan powerhouse yaitu: 163,41 meter. Besarnya daya total turbin PLTMH saat keadaan debit andalan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$P = \eta T$$

$$P = 998 \cdot \frac{1}{3} \times 9,81 / 2 \times 7 \cdot 3 / \times 39,41 \text{ m} \times 0,8$$

$$P = 2.160.697,7 \text{ watt}$$

$$P = 2.160,69 \text{ kW}$$

Sulitnya mendapatkan debit yang konstan sepanjang waktu akibat perubahan musim dan cuaca, maka digunakan dua turbin dengan probabilitas debit air yang diambil

adalah 50 % dari debit andalan sehingga diperoleh debit untuk masing-masing turbin sebesar 3,5 m³/s, maka daya per turbin adalah 1.080,34 kW.

Pemilihan jenis turbin diperoleh berdasarkan besarnya nilai debit aliran air dan besar tinggi air jatuh (head). Berdasarkan data debit aliran adalah sebesar 7 m³/s dan data head sebesar 39,41 m. Jenis turbin yang ideal untuk dipakai dapat ditentukan dengan menggunakan grafik pemilihan turbin. Berdasarkan nilai yang diinputkan pada grafik pemilihan turbin dapat diketahui bahwa turbin yang ideal untuk PLTMH adalah menggunakan turbin Francis. Alasan dipilihnya turbin Francis karena dapat digunakan pada head rendah dan menengah serta debit yang cukup tinggi.

Setelah didapatkan pemilihan turbin sesuai dengan head, debit, dan daya terbangkitkan, maka diperoleh data perhitungan perencanaan turbin.

Pemilihan Generator

Terdapat dua jenis generator yang bisa digunakan untuk PLTMH, yaitu generator sinkron dan generator induksi. Generator sinkron penggunaannya sudah demikian luas pada PLTMH, sedangkan generator induksi teknologi penggunaannya masih baru berkembang dan umumnya digunakan dalam kapasitas kecil. Selain itu, generator sinkron 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. Besarnya daya output generator dapat diselesaikan dengan rumus: $P_{gout} = \eta_g P_t$ (1).

Jika diasumsikan efisiensi generator (η_g) adalah 98 %, maka daya output generator adalah:

$$P_{out} = 0,98 \cdot 1.080,34 \text{ kW} = 1.058,73 \text{ kW}$$

Asumsi faktor daya = 0.8 maka kapasitas generator dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\text{kVA} = 1.058,73 \text{ kW} \times 0,8 = 847 \text{ kVA}$$

Putaran sinkron generator adalah sama dengan putaran turbin dikarenakan putaran turbin ditransmisikan secara langsung ke generator, sehingga putaran generator adalah

750 rpm. Menentukan jumlah kutub generator dapat menggunakan persamaan (1).

Besarnya daya keluaran generator pada PLTM Sikarbau pada keadaan debit andalan dengan probabilitas 50 % sebagai berikut :

$$P = \eta_t \cdot \eta_g$$

$$P = 998/3 \times 9,81/2 \times 73 \times 39,41 \text{ m} \times 0,8 \times 0,98$$

$$P = 2.117.483,75 \text{ watt} = 2.117,48 \text{ kW}$$

PENUTUP

Dari perhitungan perancangan turbin PLTMH, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Diperoleh debit andalan sebesar $7 \text{ m}^3/\text{s}$ berdasarkan probabilitas 50% pada kurva aliran air dan Head setinggi 39,41 m.
2. Turbin terpilih adalah Turbin Francis dengan daya terbangkit yang mampu dihasilkan sebesar 2.117,48 kW.
3. Jumlah turbin yang dipakai adalah 2 unit guna menghindari kekurangan debit air pada musim kemarau. Sehingga debit andalan per turbin adalah $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan daya terbangkit per turbin adalah 1.058,74 kW.

DAFTAR PUSTAKA

- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Republik Indonesia. 2014. Potensi PLTA di Indonesia. Tersedia https://www.pu.go.id/main/view_pdf/9422 (Diakses tanggal 30 Juni 2019)
- Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Kementerian ESDM. 2016. Statistik Ketenagalistrikan 2015. Jakarta : Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Kementerian ESDM.
- Menuju rasio elektrifikasi 99 persen. 2019. Tersedia <http://ebtke.esdm.go.id/post/2018/04/27/1945> (Diakses tanggal 30 Juni 2019)
- <https://www.kompasiana.com/wptyas/59990fe12a582308de56d912/pltmhadalah-solusi-kebutuhan-listrik-di-daerah-terpencil?page=all> (Diakses tanggal 30 Juni 2019)
- Arismunandar, Wiranto. Penggerak Mula Turbin. ITB. Bandung: 2004.
- Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi. (2009). "Pedoman Studi Kelayakan PLTMH". Jakarta: IMIDAP.

Sodiq, Djafar (2011). "Kontrol dan Proteksi pembangkit listrik tenaga mikrohidro".

Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Kementerian ESDM. 2016. Statistik Ketenagalistrikan 2015. Jakarta: Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Kementerian ESDM.

Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen ESDM. 2010. Modul Pelatihan Studi Kelayakan Pembangunan Mini Hidro. Jakarta: IMIDAP.

Nechleba, Miroslav. 2015. Hydraulic Turbine Their Design and Equipment. Czechoslovakia: Artia Pragu