

Rancang Bangun Turbin Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Hendrik Eka Pranata¹, Achmad Zidan Bahrul Ilmi², Adelia Diah Kusuma Wardani³
^{1,2,3}Universitas Muhammadiyah Malang, Malang

INFORMASI NASKAH

Diterima : 9 Oktober 2022
Direvisi : 30 Maret 2023
Disetujui : 30 Maret 2023
Terbit : 31 Maret 2023

Email korespondensi:
hendriekapranata04@
gmail.com

Laman daring:
[https://doi.org/10.37525/
sp/2023-1/380](https://doi.org/10.37525/sp/2023-1/380)

ABSTRAK

Air salah satu sumber daya alam yang digunakan sebagai energi terbarukan untuk pembangkit listrik dan dapat menggantikan kebutuhan akan bahan bakar minyak. Turbin air adalah alat yang merubah energi aliran menjadi energi mekanik poros. Pemilihan jenis turbin yang sesuai untuk suatu pembangkit tenaga mikrohidro tergantung pada karakteristik aliran yaitu tinggi jatuh dan debit aliran yang tersedia serta kecepatan turbin.

Dari hasil pengamatan dan perhitungan kecepatan aliran sungai dengan menggunakan metode pelampung, dan luas penampang melintang sungai didapat debit total sungai $Q = 0,323 \text{ m}^3/\text{s}$. Dari pengukuran didapatkan juga tinggi jatuh air terjun $H = 12 \text{ m}$. Berdasarkan tinggi jatuh dan debit yang ada, direncanakan dimensi-dimensi utama dari suatu turbin air jenis Pelton Mikro Hidro sebagai penggerak generator pembangkit listrik.

Hasil perhitungan untuk head efektif $= 12 \text{ m}$, dengan debit air yang digunakan untuk menggerakkan runner $Q = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$, didapat daya yang dibangkitkan sebesar 4.0 kW . Dengan data tersebut direncanakan dimensi utama turbin mikro jenis Pelton yaitu diameter luar runner $D_o = 380,8 \text{ mm}$, diameter lingkaran tusuk $D = 202 \text{ mm}$, jumlah mangkuk $z = 19$ buah dengan 1 nosel, dan diameter poros $d_s = 45 \text{ mm}$.

Kata kunci: Turbin, Mikrohidro, Pelton



PENDAHULUAN

Salah satu sumber energi penghasil energi listrik yang masih banyak tersedia di Indonesia dan ramah lingkungan adalah sumber energi air. Negara Indonesia sangat berpotensi untuk membangun pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi air dikarenakan di wilayah Negara masih banyak mempunyai sumber daya alam air yang sangat melimpah.

Instalasi yang dapat digunakan untuk memanfaatkan sumber daya air adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). PLTMH merupakan pembangkit listrik skala kecil yang memanfaatkan energi air sebagai tenaga penggerak. Energi air yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi berasal dari sungai, air terjun, atau saluran irigasi.

Turbin memiliki komponen-komponen utama yang harus tahan dari air dan korosi, tahan dari proses kerja turbin itu sendiri dalam menghasilkan tenaga listrik sesuai daya rencana output generator yang dikeluarkan. Guna memenuhi kebutuhan tersebut, maka dibuat desain turbin yang mendukung untuk keluaran daya rencana keluaran generator.

Berdasarkan tinjauan diatas, maka akan dilakukan perancangan turbin air mengetahui daya yang dapat dibangkitkan turbin dengan sumber daya alam yang tersedia sebagai prototype PLTMH dengan menggunakan turbin air jenis Pelton.

METODE PENELITIAN

a. Langkah Persiapan

Sebelum dilakukan penelitian terlebih dahulu di ambil data kecepatan aliran sungai supaya turbin pelton yang di desain sesuai dengan kondisi sungai tempat penelitian. Data kecepatan aliran sungai akan digunakan untuk input data simulasi CFD untuk menguji permodelan turbin air.

b. Proses dan Luaran

Turbin pelton termasuk dalam kelompok turbin impuls. Karakteristik umumnya adalah pemasukan sebagai aliran air kedalam runner pada tekanan atmosfer. Energi air yang meliputi energi potensial termasuk komponen tekanan dan kecepatan aliran air yang terkandung didalamnya merubah menjadi energi kinetik untuk memutar turbin. Energi puntir yang dihasilkan selanjutnya diubah menjadi energi listrik melalui generator. Dalam proses perubahan energi, pemanfaatan beda elevasi antara dua permukaan air yang dinamakan tinggi terjun atau head umumnya juga digunakan khususnya pada daerah ketinggian hal ini sangat berperan dalam meningkatkan efisiensi turbin. Untuk menghasilkan energi secara umum komponen turbin terdiri dari poros dan sudu-sudu serta sudu tetap (Stationary Blade) yang tidak ikut berputar, berfungsi hanya untuk mengarahkan aliran fluida sedangkan sudu putar (Rotari Blade) mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga menimbulkan gaya yang memutar poros.

c. Komponen Utama Turbin Pelton

1. Rumah Turbin (Housing)

Rumah turbin merupakan bagian dari turbin Pelton yang berfungsi untuk mengarahkan aliran air ke nozzle dan Pelton Wheel serta untuk mengurangi kebisingan dan tekanan yang dihasilkan oleh turbin. Housing terbuat dari bahan yang kuat dan tahan terhadap tekanan air yang tinggi. Rumah turbin selain sebagai tempat turbin terpasang juga berfungsi menangkap dan membelokkan percikan aliran air keluar mangkuk sedemikian hingga baik runner maupun pancaran tidak terganggu.

2. Runner/Pelton Wheel (Roda Pelton)

Runner pada turbin Pelton adalah komponen yang terdiri dari roda gigi berbentuk corong



yang memiliki sudu-sudu atau pisau-pisau yang dipasang secara simetris pada roda. Runner pada turbin Pelton terdiri dari bagian yang dapat berputar, yaitu Pelton Wheel dan bucket atau pondasi.

Runner pada turbin Pelton berfungsi untuk mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik yang dapat digunakan untuk menggerakkan generator listrik. Ketika air dengan tekanan tinggi mengalir melalui nozzle dan mengenai sudu-sudu pada Pelton Wheel, energi kinetik air diubah menjadi energi mekanik yang memutar runner. Putaran runner kemudian dihubungkan dengan generator listrik melalui poros untuk menghasilkan listrik.

Runner pada turbin Pelton harus terbuat dari bahan yang kuat dan tahan aus, seperti baja tahan karat, karena harus menahan tekanan air yang tinggi dan gesekan yang berulang kali akibat aliran air yang terus menerus. Desain dan ukuran runner juga harus disesuaikan dengan kecepatan dan tekanan air yang tersedia di lokasi instalasi turbin Pelton..

Kecepatan keliling runner dapat dihitung dengan persamaan:

$$U_1 = k_u(2 \cdot g \cdot H_n)^{1/2} \text{ (m/s)}$$

Dimana :

U_1 = kecepatan keliling optimal (m/s)

k_u = koefisien 0.45 – 0.49

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

H_n = tinggi jatuh efektif (m)

Diameter luar runner dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$D_0 = D + 1.2 h \text{ (m)}$$

$$D = \frac{60 \cdot U_1 \cdot i}{\pi \cdot n_G}$$

Dimana :

D_0 = Diameter luar runner (m)

D = Diameter lingkaran tusuk (DLT) (m)

h = Tinggi mangkuk (m)

i = Angka perbandingan putaran

n_G = Putaran mesin yang digerakan (rpm)

3. Nozzle (Nozel)

Nozzle berfungsi untuk mempercepat aliran air dan mengarahkannya ke arah sudu-sudu turbin. Nozzle pada turbin Pelton biasanya berbentuk cincin atau saluran dengan diameter yang dapat disesuaikan untuk mengatur laju aliran air.

Kecepatan mutlak adalah kecepatan air sebelum memasuki nozzle atau sebelum mengenai sudu-sudu pada Pelton Wheel. Kecepatan mutlak yang diinginkan pada turbin Pelton adalah kecepatan yang tepat untuk menghasilkan energi kinetik yang optimal pada sudu-sudu Pelton Wheel.

Kecepatan mutlak dapat dihitung dengan persamaan:

$$c_1 = k_c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_n}$$

Dimana :

c_1 = kecepatan mutlak jet (m/s)

k_c = koefisien nosel (0,96-0,98)

g = percepatan gravitasi m/s^2

H_n = Head efektif (m)



4. Mangkuk

Mangkuk pada turbin Pelton adalah komponen yang berfungsi sebagai rumah atau tempat bagi sudu-sudu pada Pelton Wheel. Mangkuk pada turbin Pelton biasanya terbuat dari logam atau bahan lain yang kuat dan tahan aus seperti baja tahan karat. Mangkuk ini dirancang secara khusus untuk menampung sudu-sudu Pelton Wheel sehingga sudu-sudu dapat berputar dengan mudah dan bekerja secara optimal.

Mangkuk pada turbin Pelton memiliki bentuk corong terbalik dengan alur atau lekukan di sekelilingnya untuk menampung sudu-sudu Pelton Wheel. Mangkuk ini juga biasanya memiliki tutup atas yang dapat dibuka untuk memudahkan perawatan dan pembersihan.

Mangkuk pada turbin Pelton harus dirancang dengan presisi yang tinggi agar dapat menampung sudu-sudu Pelton Wheel secara tepat dan efisien. Mangkuk juga harus mampu menahan tekanan air yang tinggi dan tahan aus akibat gesekan dengan air yang terus menerus selama operasi. Keausan pada mangkuk dapat mengurangi efisiensi turbin Pelton dan mempengaruhi kinerja keseluruhan dari turbin tersebut. Oleh karena itu, pemilihan material dan desain yang tepat untuk mangkuk turbin Pelton sangat penting untuk mencapai performa optimal dan umur pakai yang panjang.

Jumlah mangkuk optimal dihitung dengan persamaan :

$$z = \frac{\pi \cdot Q}{2 \cdot d} + 15$$

Diameter jet optimal dapat dihitung dengan persamaan :

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot c_1}}$$

Tabel 1. dimensi-dimensi dapat dihitung dengan persamaan-persamaan berikut :

Keterangan	Rumus
Lebar mangkuk	$b = (2,5 \sim 3,2) d$
Tinggi mangkuk	$h = (2,1 \sim 2,7) d$
Lebar bukaan mangkuk	$a = 1,2 \cdot d$
Kedalaman mangkuk	$t = 0,9 \cdot d$
Kelonggaran cetakan mangkuk	$k = (0,1 \sim 0,7) D$

Dimana:

D = diameter lingkaran tusuk (DLT) (m)

d = diameter jet optimal (m)

Q = debit air (m³/s)

c₁ = kecepatan mutlak jet (m/s)

z = jumlah mangkuk optimal

5. Poros

Poros adalah komponen turbin Pelton yang berfungsi untuk menghubungkan Pelton Wheel dengan generator listrik. Poros harus cukup kuat untuk menahan beban dari Pelton Wheel dan memberikan putaran yang stabil pada generator. Poros merupakan salah satu bagian terpenting dari setiap mesin. Jika faktor koreksi adalah f_c maka daya rencana P_d (kW) sebagai patokan adalah :

$$P_d = f_c \cdot P$$

Tabel 2. faktor-faktor koreksi daya yang akan ditransmisikan f_c .

Daya yang akan ditransmisikan	f_c
Daya rata-rata yang diperlukan	1,2 - 2,0
Daya maksimal yang diperlukan	0,8 - 1,2
Dan normal	1,0 - 1,5

Jika momen puntir disebut momen rencana adalah F (kg.mm) maka, momen puntir rencana ditentukan dengan persamaan:

$$P_d = \frac{\left(\frac{T}{1000}\right) \times \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{n_1}{60}\right)}{102}$$

Sehingga

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n_1}$$

Maka untuk menghitung diameter poros dapat menggunakan persamaan [13]

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau a} \sqrt{(K_m \cdot M)^2 + (K_t \cdot T)^2} \right]^{2/3}$$

θ defleksi puntiran dapat dilihat pada persamaan berikut [13] :

$$\theta = 584 \frac{T \cdot l}{G d_s^4}$$

6. Bearings (Bantalan)

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan lama pemakaiannya. Dalam perencanaan bantalan radial maka kita harus memperhatikan hal-hal berikut :

- 1) Kekuatan bantalan yang dinyatakan dengan persamaan :

$$Wb = w \cdot lb$$

Wb = Beban bantalan (kg)

w = beban persatuan panjang (kg/mm)

lb = Panjang bantalan (mm)



2) Pemilihan rasio l_b/d_s

Untuk bantalan, perbandingan antara panjang dan diameternya adalah sangat penting sehingga dalam perencanaan pemilihan harga l_b/d_s harus benar-benar tepat. Harga l_b/d_s terletak antara 0,5 – 2,0.

3) Tekanan Bantalan

Tekanan bantalan adalah beban radial dibagi luas proyeksi bantalan, yang besarnya sama dengan beban rata-rata yang diterima oleh permukaan bantalan dan dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$P_b = \frac{W_b}{l_b \cdot d_s}$$

Dimana :

P_b = Tekanan bantalan (kg/mm²)

W_b = Beban bantalan (kg)

l_b = Panjang bantalan (mm)

d_s = Diameter poros (mm)

7. Generator Listrik

Generator listrik pada turbin Pelton berfungsi untuk mengubah energi kinetik dari air yang menggerakkan Pelton Wheel menjadi energi listrik. Generator ini terletak di bagian atas dari turbin Pelton, biasanya terletak pada saluran air yang keluar dari turbin.

Generator listrik pada turbin Pelton umumnya menggunakan teknologi generator sinkron, yaitu generator yang memiliki medan magnet tetap yang digerakkan oleh rotor yang terhubung dengan Pelton Wheel. Saat Pelton Wheel berputar, rotor pada generator juga akan berputar, dan medan magnet tetap pada generator akan memicu arus listrik pada kumparan kawat di dalam stator. Arus listrik ini kemudian akan dialirkan ke sistem kelistrikan untuk digunakan oleh konsumen.

Generator listrik pada turbin Pelton harus dirancang untuk dapat menangani daya listrik yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan penggunaan. Kapasitas generator harus dipilih berdasarkan laju aliran air dan tekanan yang tersedia pada lokasi instalasi turbin Pelton. Selain itu, kualitas generator juga harus dipertimbangkan agar dapat memberikan performa yang stabil dan andal selama jangka waktu yang lama.

Pada beberapa instalasi turbin Pelton, generator listrik dapat dihubungkan dengan sistem grid untuk memasok listrik ke masyarakat umum atau ke industri. Pada instalasi yang lebih kecil atau di daerah yang terisolasi, generator listrik pada turbin Pelton dapat digunakan sebagai sumber listrik mandiri untuk memenuhi kebutuhan listrik di lokasi tersebut.

8. Perhitungan Pipa Pesat.

Pipa pesat pada turbin Pelton adalah pipa yang mengalirkan air ke roda Pelton dengan kecepatan yang sangat tinggi. Perhitungan pipa pesat pada turbin Pelton melibatkan beberapa faktor seperti debit air, diameter pipa, panjang pipa, dan kehilangan gesekan dalam pipa.

Sehingga head efektif dapat dihitung dengan persamaan :

Untuk $h_{friction\ loss} : H_n = h_{gross} + h_{friction\ loss}$
 $h_{friction\ loss} = h_{wall\ loss} + h_{turb\ loss}$
 $h_{turb\ loss} = \frac{v^2}{2g} (h_{entrance} + h_{bend1} + h_{bend2} + h_{valve})$
 $v = \frac{4 \cdot Q}{\pi d^2}$

Dimana :

$h_{friction\ loss}$ = Total kehilangan *head* pada pipa pesat (m)

$h_{wall\ loss}$ = kehilangan *head* karena aliran turbulen dalam pipa pesat (m)

v = kecepatan air dalam pipa pesat (m/s)

Q = Debit air yang masuk dalam pipa pesat (m³/s)

d = Diameter dalam pipa pesat (m)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Pada pemilihan pipa dapat ditentukan harga perkiraan kekasaran pipa k dibagian dalam dengan menggunakan diagram Moody sesuai dengan rencana umur pipa. Dari situ maka harga k/d dapat diperoleh sehingga dengan menggunakan diagram Moody nilai f bisa didapat.

Dengan instalasi pipa yang direncanakan maka kerugian head akibat gesekan dalam pipa bisa dihitung dengan persamaan :

$$h_{wall\ loss} = \frac{f \cdot L_{pipe} \cdot 0,08 \cdot Q^2}{d^5}$$

Dimana :

$$L_{pipe} = \sqrt{L_{hor}^2 + H_{gross}^2}$$

L_{hor} = Jarak horizontal dari forebay ke rumah turbin (m)

H_{gross} = *Head* kotor (m)

HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

A. Data Perencanaan

Dari hasil survei diperoleh data sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan penulis, diperoleh hasil sebagai berikut:

- Data Kecepatan Aliran (V) = 1,29 m/s
- Luas Penampang Sungai (A) = 2,379 m²

2. Tinggi air terjun yang diambil $H = 12$ m

Jadi debit air total yang didapatkan dalam perencanaan turbin Pelton mikro ini pada $H_n = 12$ m sebesar, $Q = 0,4$ m³/s.

B. Perhitungan *Head Loss* Pada Pipa Pesat

Dalam Perhitungan pipa pesat, debit yang dipakai untuk memutar Turbin ditentukan sebesar 2 m³/menit. Dengan menggunakan persamaan diperoleh panjang pipa pesat :

$$L_{pipe} = \sqrt{15^2 + 12,054^2} = 19,24 \text{ m}$$



Bahan pipa pesat dipilih dari baja ringan *galvanize*, dengan nilai kekasaran pipa (k) berdasarkan lampiran tabel A 5.1 sebesar 0,15 mm. untuk ukuran diameter pipa dengan nominal diameter 250 mm dan ketebalan $\frac{1}{2}$ in. Sehingga harga $\frac{k}{d}$ untuk menentukan faktor gesekan pada diagram Moody:

$$\frac{k}{d} = \frac{0,15}{250} = 0,0006$$

$$1,2 \frac{Q}{d} = 1,2 \frac{2}{0,250} = 9,6 \frac{m^2}{menit} = 0,16 \frac{m^2}{s}$$

Untuk faktor gesekan, f , diagram Moody sebesar 0,018.
Besarnya *head loss* pada pipa pesat berdasarkan persamaan :

$$h_{friction\ loss} = h_{wall\ loss} + h_{turb\ loss}$$

Untuk $h_{wall\ loss}$

$$h_{wall\ loss} = \frac{0,018 \cdot 19,24 \cdot 0,08 \cdot (2/60)^2}{0,250^5} = 0,0315\ m$$

dimana kecepatan air dalam pipa pesat, v ,:

$$v = \frac{4 \cdot 0,0062}{\pi \cdot 0,250^2} = 0,68\ m/s$$

Dengan nilai $h_{entrance}$ dan h_{bend1} , dan h_{bend2} dan h_{valve} berdasarkan sebesar, $h_{entrance} = 0,5$, $h_{bend1} = 0,30$, $h_{bend2} = 0,30$, $h_{valve} = 0,1$ maka :

$$h_{turb\ loss} = \frac{0,68^2}{2 \cdot 9,81} (0,5 + 0,30 + 0,30 + 0,1) = 0,028\ m$$

Jadi kehilangan head karena gesekan aliran dalam pipa:

$$\begin{aligned} h_{friction\ loss} &= h_{wall\ loss} + h_{turb\ loss} \\ &= 0,0315 + 0,02 = 0,0595\ m \end{aligned}$$

Maka head efektif diperoleh sebesar :

$$\begin{aligned} H_n &= h_{gross} + h_{friction\ loss} \\ &= 11,9405\ m + 0,0595\ m = 12\ m \end{aligned}$$

C. Pengolahan Data

Daya yang dihasilkan secara aktual oleh turbin : $P = 1000 \cdot 9,81 \cdot (2/60) \cdot 12 \cdot 0,6 = 2,354\ KW$
Sehingga kecepatan spesifik turbin Pelton dapat dihitung:

$$N_s = 710 \frac{2,354^{1/2}}{12^{5/4}} = 48,77\ rpm$$



1. Perhitungan Dimensi-Dimensi Utama Turbin Pelto Mikro

Tabel 3. Perhitungan Dimensi-Dimensi utama Turbin Pelton Mikro.

No.	Keterangan	Perhitungan
1	Kecepatan Mutlak Jet, c_1	$c_1 = 0,98 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 12} = 15 \text{ m/s}$
2	Kecepatan keliling optimal, u_1	$u_1 = 0,49 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 12} = 7,51 \text{ m/s}$
3	Diameter Lingkaran Tusuk, D Karena generator dihubungkan langsung dengan turbin, maka $i = 1$	$D = \frac{60 \cdot 7,51}{3,14 \cdot 710} = 0,202 \text{ m} = 202 \text{ mm}$
4	Diameter Jet Optimal, d . Berdasarkan debit air yang masuk ke turbin sebesar $2 \text{ m}^3/\text{menit}$ maka turbin dirancang menggunakan 1 nosel untuk mendapatkan dimensi mangkuk yang sesuai.	$d = \sqrt{\frac{4 \cdot (2/60)}{\pi \cdot 15,03}} = 0,053 \text{ m} = 53 \text{ mm}$
5	Jumlah Mangkuk, z	$z = \frac{\pi \cdot 202}{2 \cdot 53} + 15 = 20,98 \approx 21 \text{ buah}$
	• Lebar mangkuk, b	$b = 2,5 \cdot 53 = 132,5 \text{ mm}$
	• Tinggi mangkuk, h	$h = 2,1 \cdot 53 = 111,3 \text{ mm}$
	• Lebar bukaan mangkuk, a	$a = 1,2 \cdot 53 = 63,6 \text{ mm}$
	• Kedalaman mangkuk, t	$t = 0,9 \cdot 53 = 47,7 \text{ mm}$
	• Kelonggaran cetakan mangkuk,	$k = 0,1 \cdot 202 = 20,2 \text{ mm}$
6	Diameter Luar Runner	$D_0 = 202 + 1,2 \cdot 63,6 = 278,32 \text{ mm}$

2. Perhitungan Poros Turbin

Untuk perencanaan poros turbin menggunakan poros mendatar atau horizontal. Daya yang ditransmisikan adalah $P = 2,354 \text{ kW}$, sedangkan putaran poros sama dengan putaran generator dan turbin $n_1 = 731 \text{ rpm}$. Dengan urutan Perhitungan sebagai berikut :



Tabel 4. Perhitungan Poros Turbin

No.	Keterangan	Perhitungan
1	Daya rencana dihitung	$P_d = 1,0 \cdot 2,354 = 2,354 \text{ Kw}$
2	Momen puntir yang direncanakan	$T = 9,74 \times 10^5 \cdot \frac{2,354 \text{ kW}}{710} = 3216 \text{ kg mm}$
3	Perhitungan beban Bahan runner dipakai besi cor putih dengan $\rho = 7,7 \text{ gr/cm}^3$ Tebal sisi $b = 132,5 \text{ mm}$ dan jari-jari $r = 101 \text{ mm}$. Maka diperoleh volume dan massa benda Berat benda yang berputar (runner) Perhitungan gaya tangensial (F_t)	$F = W = m \times g$ $v = \pi \times r^2 \times b$ $= 3,14 \times (10,1)^2 \times 13,25$ $= 4246,28 \text{ cm}^3$ $m = \rho \times v$ $= 7,7 \text{ gr/cm}^3 \times 4246,28 \text{ cm}^3$ $= 32,696 \text{ kg}$ $W = 32,696 \times 9,81 = 320,748 \text{ kg}$ $F_t = \frac{3216 \text{ kg mm}}{101 \text{ mm}} = 31,84 \text{ kg}$
4	Momen lentur	$M = 36189 \text{ kg mm}$
5	Di pilih bahan poros adalah baja nikel krom (JIS G 4102) SNC21 dengan kekuatan tarik $\sigma_B = 80 \text{ kg/mm}^2$	$Sf_1 = 6$ $Sf_2 = 3$
6	Tegangan lentur yang di izinkan, τ_a	$\tau_a = \frac{80}{6 \times 3} = 4,44 \text{ kg/mm}^2$
7	Diameter poros, d_s	$d_s = \left(\frac{5,1}{4,44} \cdot \sqrt{(2,0 \cdot 36189)^2 + (2,0 \cdot 3216)^2} \right)^{2/3}$ $= 1919,344 \text{ mm}$
8	Defleksi puntiran, θ	$\theta = 584 \cdot \frac{3216 \cdot 300}{(8,3 \times 10^3 \times 45^4)} = 0,016$ $\theta = 0,016 \leq 0,25 \text{ (baik)}$

9	Perhitungan kritis untuk benda yang berputar	$\theta = 52700 \frac{45^2}{150 \cdot 150} \sqrt{\frac{300}{320,748}} = 4587,032 \text{rpm}$ $\frac{1}{N_c^2} = \frac{1}{3739^2} = 7,15 \times 10^{-8}$ $N_c^2 = 7,15 \times 10^8$ $N_c = \sqrt{7,15 \times 10^8}$ $= 26739 \text{rpm}$
10	Perbandingan antara poros dengan puntiran kritisnya	$\frac{n_1}{N_c} = \frac{731}{26739} = 0,02$ $= 0,027 \leq 0,6 - 0,7 \text{ (baik)}$

3. Perhitungan Bantalan

Untuk perencanaan turbin Petlon, bantalan yang dipakai adalah bantalan radial, parameter yang digunakan dalam perencanaan ini adalah : $d_s = 45 \text{ mm}$, $N = 731 \text{ rpm}$, $W = 241,26 \text{ kg}$

Tabel 5. Perhitungan Bantalan

No.	Keterangan	Perhitungan
1	Wo	= 241,26 kg
2	fc	= 1
3	W	= 241,26 Kg
4	Bahan bantalan : perunggu	$p_a = 0,7 - 0,2 \text{ (kg/mm}^2\text{)}, p_{va} = 4 \text{ (kgm/mm}^2\text{ s)}$
5	$l \geq \frac{\pi}{1000 \times 60} \times \frac{320,748 \times 731}{4}$	= 3,07 mm → 30,7 cm
6	Diameter poros d_s	= 45 mm
7	l/d_s	= 30,7/19,19344 = 1,599
8	Harga 1,599 terletak dalam daerah 0,5 – 2,0 dapat diterima.	
9	p	$\frac{320,748}{30,7 \times 42} = 0,248 \text{ kg/mm}^2$
	v	$\frac{\pi \times 42 \times 731}{60 \times 1000} = 1,6 \text{ m/s}$
	pv	= 0,248 x 1,6 = 0,3968 kgm/mm ² s
10	Harga tekanan $p = 0,248 \text{ kg/mm}^2$ dapat diterima, dimana $p_a = 0,7 - 2,0 \text{ kg/mm}^2$ Harga $pv = 0,3968 \text{ kgm/mm}^2\text{s}$ juga dapat diterima karena kurang dari 4 kgm/mm ²	
11	H	= 0,04 x 320,748 $\frac{\pi \times 19,19344 \times 731}{1000 \times 60}$ = 9,425 kgm/s
12	l	= 30,7 mm, $d_s = 19,19344 \text{ mm}$
	P_H	= 0,16 kW



D. Hasil Pengolahan Data

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa turbin Pelton cocok untuk perancangan turbin Mikro Hidro penggerak generator listrik karena bekerja pada tinggi tekan yang rendah. Hal ini dapat dilihat pada data hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 6. Perhitungan Bantalan

No.	Keterangan	Hasil
1	Turbin	
	Daya aktual yang dihasilkan Turbin	$P = 2,354 \text{ kW}$
	Kecepatan aktual jet	$c_j = 15,03 \text{ m/s}$
	Diameter lingkaran tusuk	$D = 202 \text{ mm}$
	Diameter jet	$d = 53 \text{ mm}$
	Jumlah mangkuk	$z = 21 \text{ buah}$
	Lebar mangkuk	$b = 132,5 \text{ mm}$
	Tinggi mangkuk	$h = 111,3 \text{ mm}$
	Lebar bukan mangkuk	$a = 63,6 \text{ mm}$
	Kedalaman mangkuk	$t = 47,7 \text{ mm}$
	Diameter luar runner	$D_o = 278,32 \text{ mm}$
2	Poros	
	Diameter poros	$d_s = 1919,344 \text{ mm}$
	Defleksi puntiran	$\theta = 0,016$
3	Bantalan	
	Panjang bantalan	$l = 30,7 \text{ mm}$
	Daya yang diserap	$P_H = 0,16 \text{ kW}$
	Kerja Gesekan	$H = 9,425 \text{ kgm/s}$

E. Pembahasan

Dalam perencanaan ini ditentukan debit air yang dipakai untuk memutar turbin sebesar $2 \text{ m}^3 / \text{menit}$, dengan *head* efektif 12 m, diperoleh daya aktual yang dihasilkan turbin adalah 2,354 kW, dimana efisiensi total sebesar 60% berdasarkan kisaran penerapan turbin Pelton mikro.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Dapat dirancang sebuah turbin air Mikro Hidro jenis Pelton untuk digunakan sebagai penggerak pada pembangkit listrik mikrohidro.
2. Dengan *head* efektif 12 m dan debit air $0,06 \text{ m}^3 / \text{s}$ dapat dihasilkan daya 4,0 kW, dan diperoleh dimensi-dimensi utama turbin :



Tabel 7. Hasil Dimensi-Dimensi Utama Turbin

No.	Keterangan	Hasil
1	Diameter lingkaran tusuk	= 202 mm
2	Diameter jet optimal	= 71 mm dengan 1 nosel
3	Diameter luar runner	= 380,8 mm
4	Jumlah mangkuk	= 19 buah
5	Diameter poros	= 45 mm

DAFTAR PUSTAKA

- A. Yani, "Rancang Bangun Alat Praktikum Turbin Air Dengan Pengujian Bentuk Sudu Terhadap Torsi Dan Daya Turbin Yang Dihasilkan," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, 2017, doi: 10.24127/trb.v6i1.463.
- A. M. Kusnadi, G. Pakki, and K. Gunarko, "Rancang Bangun Dan Uji Performansi Turbin Air Jenis," *J. Tek. Mesin Univ.*, vol. 7, no. 2, 2018.
- R. and J. Arifin, "Desain Diffuser Turbin Air Arus Sungai Untuk Meningkatkan Laju Arus Sungai," *Al-Jazari J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 62–66, 2019, doi: 10.31602/al-jazari.v4i2.2645.
- A. Sidiq and A. Gazali, "Perancangan Turbin Air Tipe Aliran Silang Dengan Variasi 3 Kecepatan Pompa," *Al-Jazari J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 67–70, 2019, doi: 10.31602/al-jazari.v4i2.2646.
- C. Poea, G. . Soplanit, and J. Rantung, "Pembangkit Listrik Di Desa Kali Kecamatan Pineleng Dengan Head 12 Meter," *Tek. Mesin*, pp. 1–9, 2013.
- E. Saefudin, T. Kristyadi, M. Rifki, and S. Arifin, "Turbin Screw Untuk Pembangkit Listrik Skala Mikrohidro Ramah Lingkungan," *J. Rekayasa Hijau*, vol. 1, no. 3, pp. 233–244, 2018, doi: 10.26760/jrh.v1i3.1775.
- A. H. Ahrori, M. Kabib, and R. Wibowo, "Perancangan Dan Simulasi Turbin Pelton Daya Output Generator 20.000 Watt," *J. Crankshaft*, vol. 2, no. 2, pp. 17–26, 2019, doi: 10.24176/crankshaft.v2i2.3834.
- Luknanto, D., 2008, "Diktat Kuliah Bangunan Tenaga Air", ITS, Surabaya.
- Himran, S., 2006, "Dasar – Dasar Merencana Turbin Air", Bintang Lamumpatue, Makassar.
- Paryatmo, W., 2007, "Turbin Air", Jilid I, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Sularso dan Kiyokatsu Suga, 1991. Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Jakarta. PT. Pradnya Paramita.
- Eisenring , M. 1994. Turbin Pelton Mikro, terjemahan Sunarto, Edy. M. Jakarta.

