

## **PERENCANAAN MIKROHIDRO DENGAN TURBIN KAPLAN SEBAGAI PENGGERAK MULA PADA DEBIT 0,52 m<sup>3</sup>/s DAN KETINGGIAN 2,65 m**

Didik Sugiyanto

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik  
Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta  
email: didiksgy@gmail.com

### **Abstrak**

Turbin Kaplan merupakan mesin konversi energi dengan air sebagai fluida kerjanya. Dalam merencanakan sebuah mikrohidro perlu diperhatikan besar kecilnya debit aliran serta ketinggian air jatuh. Dengan mengetahui debit aliran serta ketinggian air jatuh dapat ditentukan jenis turbin yang sesuai dengan sumber daya alam yang tersedia. Sering kali kita mengabaikan keberadaan sumber daya alam di sekitar kita, sehingga banyak aliran-aliran sungai yang belum dimanfaatkan sumber dayanya dan hanya terbuang sia-sia. Dengan debit aliran rendah kita dapat memanfaatkannya sebagai penggerak sebuah turbin yang kemudian energi mekanik yang dihasilkan turbin dapat berguna sebagai penggerak mesin-mesin seperti generator listrik, mesin penumbuk padi dan lain-lain. Perencanaan di mulai dengan melakukan survey lokasi guna mendapatkan data-data pada perencanaan turbin Kaplan. Pada perencanaan ini direncanakan turbin dengan posisi poros vertical. Dengan data-data yang diperoleh dapat dilakukan perhitungan dimensi turbin dan diperoleh spesifikasi turbin yang lain dengan menggunakan formula perhitungan yang tersedia pada beberapa referensi yang digunakan.

Dari hasil analisis perhitungan, diperoleh data-data: dimensi baling-baling turbin 0,379 m dengan bahan kuningan, diameter poros 50 mm dengan bahan SNCM 1, bantalan berbahan perunggu dan dengan efisiensi 85% dapat menghasilkan daya turbin sebesar 15.086,226 kW.

**Kata kunci:** Turbin kaplan, kecepatan spesifik, daya turbin

### **PENDAHULUAN**

Kebutuhan akan energi listrik amat vital dalam kehidupan masyarakat dewasa ini dalam menunjang kemajuan masyarakat. Mudah diamati listrik sangat diperlukan dalam kehidupan sehari-hari. Listrik merupakan energi penggerak motor atau mesin-mesin dalam proses industri. Terlebih lagi peranan listrik di jaman modern ini yang jauh lebih banyak lagi. Listrik merupakan sumber energi untuk penerangan, setrika, radio, sumber panas untuk kompor listrik, dan lain-lain. Pendek kata listrik berperan penting terhadap semua pekerjaan atau kepentingan sehari-hari.

Pelayanan listrik untuk masyarakat di Indonesia dilakukan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Dengan adanya pelayanan listrik dari PLN kita dapat menikmati manfaat yang diberikan dari tenaga listrik dalam kehidupan sehari-hari kita.

Beruntunglah daerah yang sudah mendapatkan pelayanan sehingga dapat menikmati energi listrik dalam kehidupan sehari-hari. Pada kenyataannya di Indonesia ada sebagian wilayah yang belum terjangkau jaringan listrik PLN. Biasanya daerah tersebut merupakan tempat terpencil yang sulit dijangkau karena jarak dan kondisi geografis yang tidak mampu ditempuh dengan kendaraan pengangkut alat-alat atau perangkat pembangunan jaringan listrik dari PLN.

Bagi daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik PLN, diperlukan usaha untuk mendapatkan energi listrik agar masyarakat di wilayah tersebut dapat menikmati manfaat tenaga listrik. Usaha ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan potensi alam yang ada di sekitar lokasi seperti energi matahari, angin, atau air.

Dalam penulisan tugas akhir ini dibahas tentang perencanaan sistem pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan turbin air. Dalam penulisan ini juga dibahas tentang teknik perencanaan turbin

air secara sederhana dan mudah dengan peralatan dan model yang disesuaikan dengan kondisi alam.

Dalam perencanaan turbin air ini diambil lokasi di Aliran Air Terjun Jumok, dengan pertimbangan rumah warga sekitar belum mendapatkan pelayanan listrik dari PLN selain itu juga sebagai penambah daya tarik wisata. Sementara itu di sekitar wilayah tersebut terdapat sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit tenaga listrik.

Dalam penelitian ini dihadapkan pada permasalahan sebagai berikut:

Apakah dari sejumlah warga yang ditemui sepakat bahwa energi listrik sangat diperlukan warga untuk menunjang kehidupan sehari-hari?

Apakah dengan merancang sistem pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan potensi alam sekitar lokasi dapat dijadikan panduan warga dalam pembangunan sistem pembangkit tenaga listrik?

Turbin adalah mesin penggerak mula, dimana energi fluida kerja dipergunakan langsung untuk memutar roda jalan turbin yang terhubung dengan poros daya yang menggerakkan atau memutar bebannya (generator listrik pompa, kompresor, baling-baling, atau mesin-mesin lain) yang membutuhkan energi mekanis sebagai penggerak.

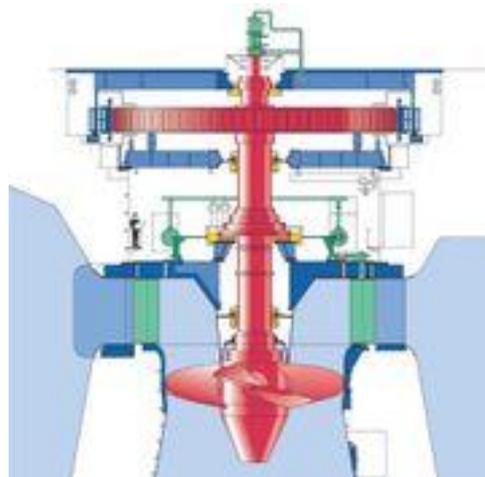
Pada roda turbin terdapat sudu dan fluida kerja mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut. Apabila kemudian ternyata bahwa roda turbin dapat berputar, maka tentu ada gaya yang bekerja pada sudu. Gaya tersebut timbul karena terjadinya perubahan momentum dari fluida kerja yang mengalir diantara sudu.

Di dalam turbin, fluida kerja mengalami proses ekspansi, yaitu proses penurunan tekanan, dan mengalir secara kontinyu. Menurut fluida kerjanya turbin dibagi menjadi tiga, yaitu Turbin Gas, Turbin Uap dan Turbin Air.

Turbin air adalah turbin dengan air sebagai fluida kerjanya. Air yang mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju ke tempat yang lebih rendah. Dalam hal tersebut air memiliki energi potensial. Dalam proses aliran, energi potensial berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik. Di dalam turbin energi kinetik air diubah menjadi energi mekanis, dimana air memutar roda turbin.

Turbin Kaplan adalah turbin bertekanan lebih yang spesial. Sudu jalan turbin ini kerugiannya sangat kecil dan pada saluran sudu jalan belokannya sangat sedikit. Pada waktu bekerja sudu jalan turbin ini dapat di atur posisinya sesuai dengan perubahan air jatuh, sehingga turbin ini sangat cocok untuk pusat pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan tenaga air yang dibangun di sungai-sungai yang memiliki debit air yang relatif kecil.

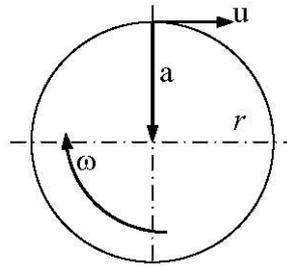
Keuntungan turbin Kaplan bila dibandingkan dengan turbin Francis adalah kecepatan putarnya dapat dipilih lebih tinggi, dengan demikian ukurannya lebih kecil.



Gambar 1. Gambar konstruksi Turbin Kaplan

### Gerak Melingkar Beraturan

Gerak melingkar yaitu gerak benda yang lintasannya berupa lingkaran dan mempunyai besar kecepatan yang tetap, tetapi arah kecepatannya selalu menyinggung lingkaran, sehingga mempunyai percepatan yang arahnya menuju ke pusat lingkaran.



Gambar 2. Skema Gerak Melingkar

$$u = \frac{2 \pi r}{t} \dots\dots\dots(1)$$

$$= \omega \cdot r$$

$$\omega = \frac{2 \pi r}{t}$$

$$a = u/t$$

dimana :

u = kecepatan keliling [m/s]

r = jari-jari lingkaran [m]

t = waktu [s]

a = percepatan tangensial [m/s<sup>2</sup>]

ω = kecepatan sudut [rad/s]

**Aliran Fluida**

Fluida adalah zat yang mampu mengalir dan menyesuaikan diri dengan bentuk tempatnya. Bila dalam keseimbangan, fluida tidak dapat menahan gaya tangensial atau gaya geser. Aliran dalam suatu saluran dapat berupa *aliran saluran terbuka* maupun *aliran saluran tertutup*. Saluran dengan permukaan bebas disebut sebagai aliran saluran terbuka.

**Bilangan Reynolds**

Aliran fluida khususnya air diklasifikasikan berdasarkan perbandingan antara gaya-gaya inersia dengan gaya-gaya akibat kekentalannya menjadi tiga bagian laminar, transisi atau turbulen. Untuk mengetahui aliran laminar, transisi atau aliran turbulen dipakai bilangan Reynolds :

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu}$$

$$= \frac{V \cdot L}{\nu} \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

ρ = kerapatan air [1000 kg/m<sup>3</sup>]

V = kecepatan rata-rata air [m/s]

L = panjang lintasan [m]

ν = kekentalan kinematik =  $\frac{\mu}{\rho}$  [kg/m.s]

Adapun klasifikasi aliran berdasarkan bilangan Reynolds dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu :

Re < 500 : aliran laminar

500 ≤ Re ≤ 12.500 : aliran transisi

Re > 12.500 : aliran turbulen

Umumnya aliran pada saluran terbuka mempunyai nilai Re > 12.500, sehingga alirannya termasuk dalam kategori aliran turbulen.

**Persamaan Kontinuitas**

Persamaan dasar berpangkat satu dari persamaan kontinuitas mempunyai bentuk :

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

dimana A dan V menyatakan luas potongan permukaan dari aliran dan kecepatan rata-rata berturut-turut pada titik 1 dan 2.

Untuk turbin Kaplan, persamaan didasarkan pada daerah aliran anular pada pemasukan penggerak, sehingga persamaan menjadi :

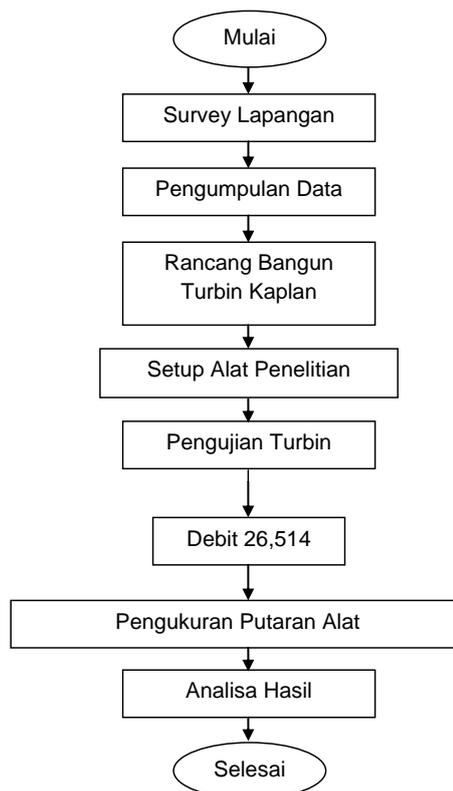
$$Q = \frac{\pi}{4} (D_L^2 - D_N^2) V = A_d \cdot V_d \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

$D_L$  = diameter luar sudu [m]

$D_N$  = diameter leher poros [m]

V = kecepatan rata-rata [m/s]

**METODE****Diagram Alir Penelitian**

Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

**Bahan dan Alat**

Bahan dan alat dalam penelitian

- Hydrometer
- Theodolith

Bahan dan alat dalam Pengujian

- Tachometer
- Stopwatch

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Direncanakan sebuah mikrohidro dengan menggunakan turbin sebagai penggerak mula. Perencanaan ini mengambil lokasi pada aliran sungai air terjun di desa Nogosaren Kecamatan Getasan Kabupaten Semarang dengan debit aliran rata-rata ( $Q$ ) =  $0,052\text{m}^3/\text{s}$  dan ketinggian air jatuh ( $H$ ) = 2,65 m.

Jenis turbin yang diambil adalah turbin Kaplan. Dipilih turbin Kaplan karena turbin ini paling sesuai digunakan pada debit aliran rendah jika dibandingkan dengan jenis turbin air yang lain, dengan mengambil harga kecepatan turbin ( $n$ ) = 240 rpm. Dari lampiran 3 grafik  $n_q$  diperoleh data-data sebagai berikut:

$u_1^*$  = faktor kecepatan keliling bagian luar sudu = 1,90

$u_N^*$  = faktor kecepatan keliling bagian leher poros sudu = 0,75

$c_m^*$  = faktor kecepatan meridian = 0,39 dan

$z$  = jumlah sudu = 5

### 1. Kecepatan Putar Turbin ( $n$ )

$$n = n_q \frac{\sqrt{V}}{H^{0,75}} \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

$n_q$  = 240 rpm [kecepatan spesifik]

$H$  = 2,65 m [tinggi air jatuh]

$Q$  = 0,52 m<sup>3</sup>/s [debit aliran]

$$n = \frac{240 \cdot 2,65^{0,75}}{\sqrt{0,52}}$$

$$= 691,264 \text{ rpm}$$

### 2. Kecepatan Keliling Turbin ( $u$ )

- Kecepatan Keliling Bagian Luar Sudu ( $u_L$ )

$$u_L = u_1 \cdot c_o \dots\dots\dots(5)$$

dimana :

$$u_1^* = 1,90$$

$$c_o = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

$$= \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2,65}$$

$$= 7,211 \text{ m/s}$$

$$u_L = 1,90 \cdot 7,211$$

$$= 13,7 \text{ m/s}$$

- Kecepatan Keliling Bagian Leher Poros Sudu ( $u_N$ )

$$u_N = u_N \cdot c_o \dots\dots\dots(6)$$

dimana :

$$u_N^* = 0,75$$

$$u_N = 0,75 \cdot 7,211$$

$$= 5,408 \text{ m/s}$$

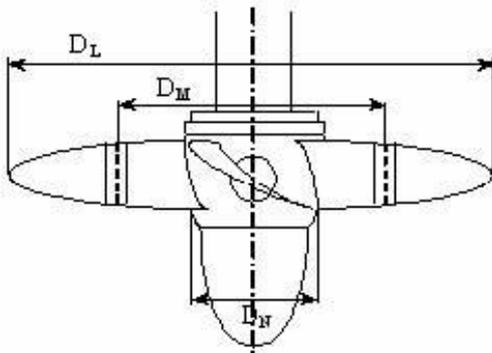
- Kecepatan Keliling Bagian Tengah Sudu ( $u_M$ )

$$u_M = \frac{(u_C + u_N)}{2} \dots\dots\dots(7)$$

$$= \frac{(13,7 + 5,408)}{2}$$

$$= 9,554 \text{ m/s}$$

### 3. Diameter Turbin (D)



Gambar 4. Sket Baling-baling

- Diameter Luar Sudu Turbin ( $D_L$ )

$$D_L = \frac{60 \cdot u_L}{\pi \cdot n} \dots\dots\dots(8)$$

$$= \frac{60 \cdot 13,7}{3,14 \cdot 691,264}$$

$$= 0,379 \text{ m}$$

- Diameter Leher Poros Sudu Turbin ( $D_N$ )

$$D_N = \frac{60 \cdot u_N}{\pi \cdot n} \dots\dots\dots(9)$$

$$= \frac{(60 \cdot 5,408)}{3,14 \cdot 691,264}$$

$$= 0,149 \text{ m}$$

- Diameter Tengah Sudu Turbin ( $D_M$ )

$$D_M = \frac{D_L + D_N}{2} \dots\dots\dots(10)$$

$$= \frac{(0,379 + 0,149)}{2}$$

$$= 0,264 \text{ m}$$

### 4. Segitiga Kecepatan

- Kecepatan Aliran ( $V_{air}$ )

$$V_{air} = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(11)$$

dimana :

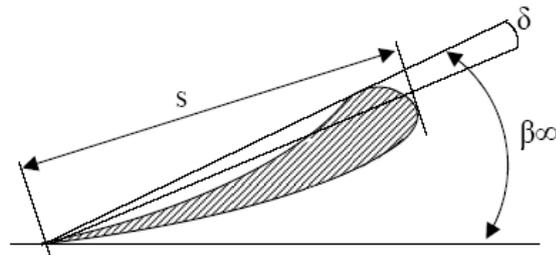
Q = debit aliran ( $m^3/s$ )

A = luas penampang (mm)

$$A = \frac{D_L^2 - D_N^2}{4} \cdot \pi$$

- Profil Sudu

Pada profil sudu mempunyai kemiringan  $\delta$  yang kecil, sudut kemiringan  $\delta$  adalah sudut yang dibentuk oleh aliran  $W^\infty$  dengan kemiringan  $\beta^\infty$  dan diantara  $\beta_1$  dan  $\beta_2$  terdapat suatu lengkungan kecil



Gambar 2. Sket Profil Sudu

dimana:

δ = sudut kemiringan

$$\delta = \frac{\zeta_a - 4 \cdot Y_{\max} / S}{0,092} \dots\dots\dots (12)$$

Y<sub>max</sub> = tebal profil

$$Y_{\max} = \left( \frac{s \cdot \zeta_a}{4} \right) - (0,092 \cdot \delta)$$

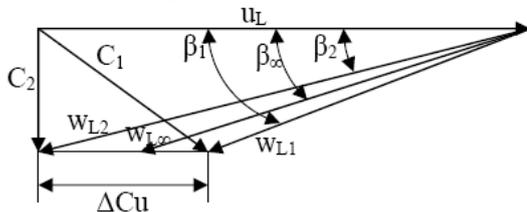
s = panjang profil

ζ<sub>a</sub> = tahanan profil

$$\zeta_a \frac{s}{t} = 2 \frac{\Delta Cu}{w_{\infty}}$$

ζ<sub>a</sub> · s/t dikenal sebagai faktor pembebanan, harga s/t (panjang tali busur/ pembagian sudu) dipilih sampai dengan harga 1,4. Dengan demikian ζ<sub>a</sub> dapat dihitung.

- Profil sudu bagian luar



Gambar 3. Segitiga kecepatan bagian luar

Koefisien gaya angkat/ tahanan profil [ζ<sub>a</sub>]

$$\zeta_a \frac{s}{t} = 2 \frac{\Delta Cu}{w_{\infty}} \dots\dots\dots (13)$$

Dimana s/t diambil harga 1,2

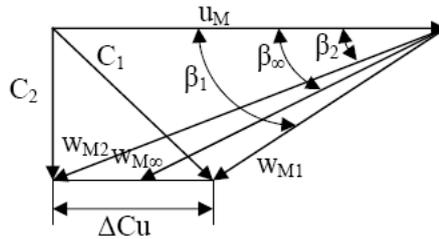
Dari grafik pemasangan sudut dan tahanan profil diperoleh δ

$$t = \frac{D_L \cdot \pi}{z} \dots\dots\dots (14)$$

Tebal profil [Y<sub>max</sub>]

$$Y_{\max} = \left( \frac{s \cdot \zeta_a}{4} \right) - (0,092 \cdot \delta) \dots\dots\dots (15)$$

- Profil sudu bagian tengah



Gambar 4. Segitiga kecepatan bagian tengah

Koefisien gaya angkat/ tahanan profil [ $\zeta_a$ ]

$$\zeta_a \frac{s}{t} = 2 \cdot \frac{\Delta Cu}{w_\infty} \dots \dots \dots (16)$$

dimana s/t diambil harga 1,2

Dari grafik pemasangan sudut dan tahanan profil diperoleh  $\delta$

Panjang profil [s]

s/t = 1,2

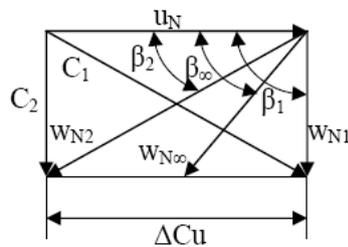
dimana:

$$t = \frac{D_M \cdot \pi}{z} \dots \dots \dots (17)$$

Tebal profil [ $Y_{max}$ ]

$$Y_{max} = \left( \frac{s \cdot \zeta_a}{4} \right) - (0,092 \cdot \delta)$$

- Profil sudu bagian leher poros



Gambar 5. Segitiga kecepatan bagian leher poros

Koefisien gaya angkat/ tahanan profil [ $\zeta_a$ ]

$$\zeta_a \cdot \frac{s}{t} = 2 \cdot \frac{\Delta Cu}{w_\infty} \dots \dots \dots (18)$$

dimana s/t diambil harga 1,2

Dari grafik pemasangan sudut dan tahanan profil diperoleh  $\delta$

Panjang profil [s]

s/t = 1,2

dimana:

$$t = \frac{D_N \cdot \pi}{z}$$

Tebal profil [ $Y_{max}$ ]

$$Y_{max} = \left( \frac{s \cdot \zeta}{4} \right) - (0,092 \cdot \delta)$$

- Daya Turbin [ $P_T$ ]

$$P_T = M_t \cdot \omega \dots \dots \dots (19)$$

dimana:

$M_t$  = momen putar  
 $= F_t \cdot r$

$F_t$  = gaya tangensial  
 $= D_M \cdot \pi \cdot B \cdot V \cdot \rho (W_{u2} - W_{u1})$

$r$  = jari-jari leher poros suhu

$\omega$  = kecepatan sudut

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

$$B = \frac{(D_t - D_N)}{2}$$

- Gaya Aksial [ $W$ ]

$$W = \left( \frac{\rho}{2} \right) \cdot (w_2^2 - w_1^2) \cdot D \cdot \pi \cdot B \dots \dots \dots (20)$$

dimana:

$W$  = gaya aksial [N]

$\rho$  = rapat air [1000 kg/m<sup>3</sup>]

$w_2$  = kecepatan relatif aliran terhadap sudu jalan [m/s]

$w_1$  = kecepatan relatif aliran terhadap sudu pengarah [m/s]

$D$  = diameter tengah sudu [m]

$B$  = jumlah lebar seluruh sudu [m]

- Efisiensi [ $\eta_t$ ]

$$\eta_t = \frac{P_d}{H \cdot Q \cdot \rho \cdot g} \dots \dots \dots (21)$$

dimana:

$\eta_T$  = efisiensi turbin [%]

$P_d$  = daya yang transmisikan turbin [kW]

$H$  = tinggi air jatuh [m]

$Q$  = debit aliran [m<sup>3</sup>/s]

$g$  = percepatan gravitasi [m/s<sup>2</sup>]

$\rho$  = kerapatan air [kg/m<sup>3</sup>]

## SIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan analisis perhitungan dapat disimpulkan bahwa :

1. Dalam merencanakan sebuah turbin kaplan hal utama yang perlu dilakukan adalah survey lokasi dengan mengukur debit aliran serta ketinggian air jatuhnya. Dengan debit aliran dan ketinggian air jatuh dapat diperoleh ukuran perkiraan dimensi turbin.
2. Semakin tinggi ketinggian jatuhnya, harga kecepatan spesifik yang dipilih untuk pemilihan turbin semakin kecil dan diperoleh dimensi turbin yang lebih besar daripada pemilihan kecepatan spesifik yang beeesar.

3. Besarnya debit aliran juga mempengaruhi dimensi turbin yang direncanakan. Karena debit aliran yang besar membutuhkan luas penampang sudu yang besar pula agar diperoleh daya turbin yang maksimum.

Dari analisis perhitungan yang dilakukan diperoleh data-data spesifikasi turbin sebagai berikut :  
Diameter luar = 379 mm, Diameter tengah = 264 mm, Diameter leher = 149 mm, Jumlah sudu = 5 buah, Bahan sudu = kuningan, Diameter poros = 25 mm, Bahan poros = SNCM, Jenis bantalan = bantalan aksial berkerah, Bahan bantalan = perunggu, Umur bantalan = 10 tahun, Daya turbin = 15.086,226 kW, Daya generator = 10.258,634 kW

## DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Wiranto., 1997, *Penggerak Mula Turbin*, ITB Bandung.
- Dandekar, M. M., Sharma K.N., 1991, *Pembangkit Listrik Tenaga Air*, UI Press, Jakarta.
- Dietzel, Fritz, 1996, *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta.
- Kadir, A., 1979, *Mesin Arus Searah*, Percetakan Aka.
- Patty, O.F., 1995, *Tenaga Air*, Erlangga, Jakarta.
- Sularso dan Suga, Kiyokatsu, 1995, *Dasar-dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Triatmodjo, Bambang, 1996, *Hidrolika I*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang, 1996, *Hidrolika II*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Vasandani, V.P., 1984, *Hidrolika Machines Theory and Design*, Khanna Publishers, Delhi.
- White, Frank M; Liek Wilarjo, 1986, *Mekanika Zalir*, Erlangga, Jakarta.