

# Perhitungan Rancangan Turbin Air dengan *Head* 1 m dan Debit Air 0,120 m<sup>3</sup>/s untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air

Henny Sudibyo

Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik - LIPI  
Komplek LIPI Gedung 20, Jalan Sangkuriang, Bandung, Indonesia, 40135

henny.sudibyo@lipi.go.id

## Abstrak

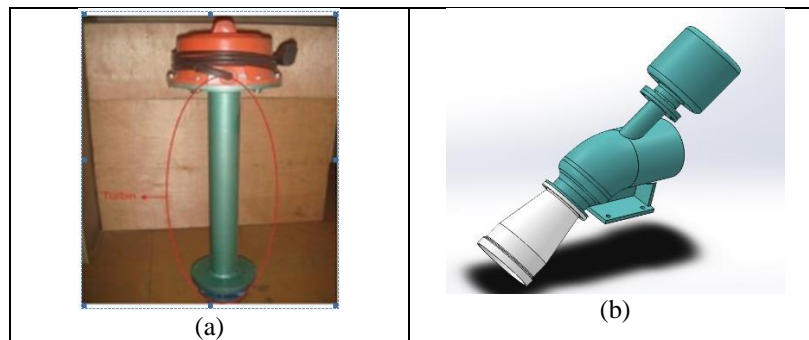
*Pembangunan Mikrohidro atau lebih dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) cukup menjanjikan karena Indonesia memiliki potensi air yang besar. Turbin sebagai mesin penggerak yang mengubah tenaga air menjadi energi mekanik yang menghasilkan daya atau energi yang bisa dimanfaatkan oleh manusia. Pengembangan turbin air sebaiknya direncanakan sesuai dengan kondisi potensi sungai-sungai di Indonesia memiliki yaitu debit besar dan head yang rendah. Pada makalah ini dipaparkan perhitungan rancangan turbin untuk pembangkit listrik tenaga air. Perancangan Turbin Propeler merupakan jenis turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetik pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran runner disebabkan oleh perubahan momentum oleh air. Hasil perancangan turbin Propeler dengan debit air ( $Q$ ) desain 0,120 m<sup>3</sup>/s, tinggi jatuh 1 m dan efisiensi desain 70 % diperoleh daya turbin efektif 824 watt dengan kecepatan putar ( $N$ ) desain 500 rpm, putaran spesifik 503 rpm diperoleh dimensi diameter luar turbin sebesar 0,3 m. Perhitungan dimensi turbin dengan menggunakan segitiga kecepatan turbin.*

*Kata-kata Kunci : debit, head, propeller, turbin*

## PENDAHULUAN

Salah satu sumber energi terbarukan di Indonesia adalah tenaga air. Potensi tenaga air di seluruh Indonesia secara teoretis diperkirakan sekitar 75.000 MW yang tersebar di berbagai daerah. Tenaga air merupakan salah satu potensi sumber energi yang sangat besar, tetapi pemanfaatannya masih jauh di bawah potensinya. Penelitian, pengembangan dan penerapan ilmu pengetahuan bidang energi terbarukan sangat dibutuhkan untuk mencapai energi mix 2025 [1] Buku Putih Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025 Indonesia menyatakan strategi jangka pendek (2005-2010) litbangrap IPTEK dalam penyediaan sumber energi nasional mencakup teknologi energi salah satunya dari sumber mikro dan minihidro [1]. Berdasarkan *roadmap* riset dan teknologi PLTMH, arah penelitian dan pengembangan PLTMH 2010-2015 yaitu pengembangan turbin *low head* hingga peningkatan efisiensi turbin [2].

Pengembangan turbin *low head* sangat cocok dengan kondisi potensi Indonesia, di mana sungai-sungai di Indonesia memiliki debit besar dan *head* yang rendah. Untuk itu penelitian turbin air dengan tinggi jatuh atau *head* rendah sangat diperlukan. Turbin *head* rendah juga dapat dipasang pada lokasi aliran yang deras yang terdapat pada saluran irigasi. Jumlah saluran irigasi yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia merupakan potensi energi yang perlu dimanfaatkan. Turbin yang optimal untuk beda ketinggian relatif kecil adalah turbin reaksi. Turbin ini bekerja memanfaatkan perubahan tekanan dan beroperasi terendam dalam air. Contoh turbin reaksi adalah Turbin Francis, Propeler, dan Kaplan.



Gambar 1. Turbin Propeller dengan (a) merupakan turbin propeller *open flume* [3] (b) merupakan turbin propeller dalam pipa yang dihubungkan generator

Gambar 1 menunjukkan turbin reaksi *propeller open flume* TC 60 dan generator sinkron satu fasa kapasitas 100 Watt, 200–220 volt, 90 Hz. Hasil dari pengukuran pembebanan generator, menghasilkan daya listrik sebesar 71 watt, dengan tegangan tertinggi 5,5% dari 220 volt dan drop tegangan – 13,3% dari 220 volt, serta drop frekuensi – 19% dari 90 Hz [3]. Untuk *head* rendah sedang tipe Turbin Propeler dan Kaplan banyak digunakan. Turbin Propeler memiliki *blade* yang mirip dengan propeler pesawat terbang atau kapal laut. Banyak kelebihan yang dimiliki oleh turbin *head* sangat rendah, antara lain adalah bentuknya yang sederhana karena terakit menjadi satu poros dengan generator.

Tabel 1. Tipe Turbin berdasarkan *head pressure* dan kecepatan spesifik[4]

Turbin Runner	Head pressure			Tipe Turbin	Kecepatan Spesifik (rpm, HP, m)
	High	Medium	Low		
Impuls	Pelton	Crossflow	Crossflow	Pelton	10 – 35
	Turgo	Turgo		ImpulsTurgo	35 – 60
	Multi-jet	Multi-jet		Crossflow	20 – 80
	Pelton	Pelton		Francis	60 – 300
Reaction		Francis	Propeller	Propeller dan Kaplan	300 – 1000
		Pump-as-Turbine	Kaplan	Tabung	> 1000

Tipe turbin yang dipilih untuk tekanan dan kecepatan spesifik tertentu dapat dilihat pada tabel 1. Turbin propeler memiliki kecepatan spesifik antara 300-1000 rpm. Saat ini teknologi yang memanfaatkan energy arus sungai atau pun potensi energi air dengan ketinggian di bawah 1 meter belum banyak dikembangkan di Indonesia sehingga perancangan turbin dengan ketinggian *head* sekitar 1m dan debit tertentu dapat dipertimbangkan.

### METODE PERANCANGAN

Alur penulisan penelitian ini meliputi studi literatur. Pada tahap penelitian ini dilakukan studi pustaka dari berbagai literatur tentang teori –teori turbin propeler yang relevan sehingga dapat dijadikan acuan. Pendataan spesifikasi *input* desain turbin yang akan dirancang berdasarkan spesifikasi yang ditetapkan. Perancangan dan perhitungan pada penelitian ini meliputi bentuk profil sudu turbin, perhitungan dimensi sudu, perancangan dan sistem *casing* turbin. Perancangan kali ini dengan data tinggi jatuh air,  $H=2$  m, dan debit air,  $Q = 0,12$  m<sup>3</sup>/s

Berdasarkan data prototipe yang ada dilakukan perencanaan dengan perhitungan yang meliputi: perhitungan daya turbin, perhitungan kecepatan spesifik, perancangan roda gerak dengan analisis segi tiga kecepatan, perencanaan dinding *runner* dan perencanaan sudu. Dari analisis perhitungan diperoleh nilai nilai hasil dimensi turbin yang akan dirancang.

**PERHITUNGAN PERANCANGAN TURBIN PROPELER**

Perhitungan untuk mendesain turbin propeler *head* rendah adalah sebagai berikut: Debit desain ( $Q$ ) direncanakan adalah  $0,120 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tinggi jatuh air ( $H$ ) direncanakan sebesar  $1 \text{ m}$ . Daya turbin teoritis ( $P_a$ ) dihitung dengan persamaan [5,6,7, 8]

$$P_a = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \text{ (watt)} \tag{1}$$

$$P_a = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1 \cdot 0,12 = 1177,2 \text{ Watt}$$

Daya turbin efektif ( $P_t$ ) dihitung dengan persamaan, pada efisiensi 70% adalah

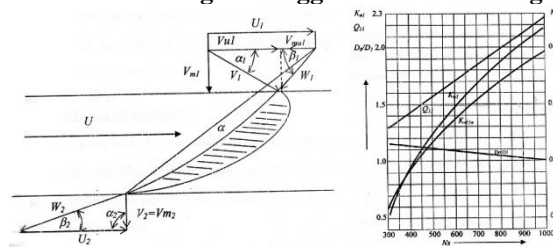
$$P_t = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \cdot \eta = 824,04 \text{ watt} \tag{2}$$

**Kecepatan Spesifik Turbin**

Kecepatan putar ( $n$ ) direncanakan sebesar  $500 \text{ rpm}$  kecepatan. Kecepatan spesifik turbin ( $n_s$ ) dihitung dengan persamaan.

$$n_s = n \frac{P_t^{1/2}}{H^{5/4}} \text{ rpm(3)} = 573 \text{ rpm} \tag{3}$$

**Perancangan roda gerak/*runner* turbin dengan menggunakan analisis segitiga kecepatan**



Gambar 2 segitiga kecepatan turbin propeler dan diagram perbandingan  $K_{u1}$ [9,10]

Kecepatan keliling pada bagian ujung sudu / sisi masuk sudu ( $U_1$ )

Kecepatan keliling pada bagian ujung sudu bernilai sama baik di *sisi masuk* maupun di *sisi luar* ( $U_{1,ujung} = U_{2,ujung} = U_{ujung}$ ). Berdasarkan Diagram Perbandingan Kecepatan  $K_{u1}$  untuk Turbin Propeler dan Kaplan pada Gambar 2.4, dengan menggunakan  $n_s$  sebesar  $573$  maka didapatkan nilai perbandingan kecepatan pada roda turbin ( $K_{u1}$ ) mendekati sebesar  $1,79$  sehingga kecepatan keliling pada sisi masuk sudu diperoleh dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$U_1 = K_{u1} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{ef}} \text{ (m/s)} \tag{4}$$

$$U_1 = 7,52 \text{ (m/s)}$$

Diameter luar sudu roda turbin / *tip* ( $D$ ), Diameter luar sudu roda turbin / *tip* ( $D$ ) dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$D = \frac{60 \cdot U_1}{\pi \cdot n} \text{ (m)} \tag{5}$$

$$= 0,29 \text{ m} \approx 0,3 \text{ m}$$

Diameter dalam sudu roda turbin/*hub* ( $d$ ), Diameter dalam sudu roda turbin / *hub* ( $d$ ) dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$d = 0,5 D1 \tag{6}$$

$$= 0,5 \cdot 0,300 = 0,15 \text{ m}$$

Jumlah sudu roda turbin adalah 6 sudu, jumlah sudu-roda turbin tergantung kepada kecepatan spesifik ( $n_s$ ) dan tinggi jatuh air efektif ( $H_{ef}$ ). Berdasarkan diagram keterkaitan kecepatan spesifik turbin dan tinggi jatuh tersebut serta *design* yang diinginkan maka di pilih sudu berjumlah 6. Kecepatan keliling pada sisi keluar sudu ( $U_2$ ) sama dengan kecepatan keliling pada bagian ujung sudu/ sisi masuk sudu ( $U_1$ ) seperti pada persamaan di bawah ini.

$$U_2 = U_1 = 7,52 \text{ (m/s)} \tag{7}$$

Kecepatan meridian aliran air pada saat melintasi sudu turbin ( $V_{ml}$ ), Kecepatan meridian aliran air pada saat melintasi sudu turbin ( $V_{ml}$ ) dihitung dengan persamaan di bawah ini.

$$V_{ml} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)} \tag{8}$$

$$V_{ml} = 2,26 \text{ (m/s)}$$

Kecepatan absolut aliran air masuk pada bagian ujung sudu ( $V_{u1}$ ), Kecepatan absolut aliran air masuk pada bagian ujung sudu ( $V_{u1}$ ) dihitung dengan persamaan

$$V = \frac{\eta_t \times g \times H_{ef}}{U_1} \tag{9}$$

$$V_{u1,ujung} = 0,83 \text{ m/s}$$

$$\tan \alpha_1 = \frac{V_{ml}}{V_{u1}} \tag{10}$$

$$= \frac{2,26}{0,83} = 69,8^\circ$$

$$V_1 = \frac{V_{ml}}{\sin \alpha_1} \text{ (m/s)} \tag{11}$$

$$= 2,43 \text{ m/s}$$

$$\tan \beta_1 = \frac{V_{ml}}{U_1} (^\circ)$$

$$\tan \beta_1 = \frac{2,26}{7,52} = 0,30 \rightarrow \beta_1 = 16,72^\circ$$

Kecepatan relatif pada sisi masuk sudu ( $W_1$ ), Kecepatan relatif pada sisi masuk sudu ( $W_1$ ) dihitung dengan persamaan

$$W_1 = \frac{V_{m1}}{\sin \beta_1} \text{ (m/s)} \tag{12}$$

$$= \frac{2,26}{0,28} = 8,07 \text{ (m/s)}$$

Kecepatan relatif pada sisi keluar sudu ( $W_2$ ), Kecepatan relatif pada sisi keluar sudu ( $W_2$ ) dihitung dengan persamaan

$$\tan \beta_2 = \frac{V_{m2}}{U_2} (^\circ) \tag{13}$$

$$\tan \beta_2 = \frac{2,26}{7,52} = 30,0^\circ \rightarrow \beta_2 = 16,73$$

$$W_{12} = \frac{U_2}{\cos \beta_2} \text{ (m/s)}$$

$$W_{12} = \frac{7,52}{\cos 16,7} = 7,8 \text{ (m/s)}$$

Kecepatan meridian bernilai sama baik di sisi masuk maupun di sisi keluar sehingga  $V_{m1} = V_{m2} = V_m$ . Kecepatan absolut pada sisi keluar sudu  $V_2 = V_{m1} = V_m$

Kecepatan absolut aliran air pada bagian pangkal sudu ( $V_{uhl}$ ) atau ( $V_{u1, pangkal}$ )

Kecepatan absolut aliran air pada bagian pangkal sudu ( $V_{uhl}$ ) atau ( $V_{u1, pangkal}$ ) dihitung dengan persamaan

$$V_{u1, pangkal} = \frac{\eta_t \times g \times H_{ef}}{U_{pangkal}} \tag{14}$$

$$V_{u1, pangkal} = \frac{0,7 \times 9,81 \times 1}{3,92}$$

$$V_{u1, pangkal} = 1,57 \text{ m/s}$$

Kecepatan keliling pada bagian pangkal sudu atau leher poros ( $U_{hl}$ ), Kecepatan keliling pada bagian pangkal sudu atau leher poros ( $U_{hi}$ ) dihitung dengan persamaan

$$U_{hl} = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{60} \text{ m/s} \tag{15}$$

$$U_{hl} = \frac{0,15 \cdot 3,14 \cdot 500}{60}$$

$$U_{pangkal} = 3,92 \text{ m/s}$$

$$\tan \alpha_{h1} = \frac{V_{m1}}{V_{uh1}} = \frac{2,54}{1,57} = 1,10 \rightarrow 57,3^\circ \quad \tan \beta_{h1} = \frac{V_{m1}}{U_{h1} - V_{uh1}}$$

$$\tan \beta_{h1} = \frac{2,54}{3,92 - 1,57} = 1,57 \rightarrow \beta_{h1} = 47,4^\circ$$

Kecepatan keliling pada bagian pangkal sudu bernilai sama baik di *sisi masuk* maupun di *sisi keluar* ( $U_{h2} = U_{hi}$ ). Kecepatan keliling pada bagian tengah sudu ( $U_{tengah}$ )

$$U_{tengah} = \frac{(U_{ujung} + U_{pangkal})}{2} \tag{16}$$

$$U_{tengah} = \frac{(7,52 + 3,92)}{2} = 5,72 \text{ m/s}$$

Kecepatan keliling pada bagian tengah sudu bernilai sama baik di sisi masuk maupun di sisi luar ( $U_{1, tengah} = U_{2, tengah} = U_{tengah}$ ).

Kecepatan absolut aliran air masuk pada bagian tengah sudu ( $V_{u1, tengah}$ )

$$V_{u1, tengah} = \frac{\eta_t \times g \times H_{ef}}{U_{tengah}} \tag{17}$$

$$V_{u1, tengah} = \frac{0,7 \times 9,81 \times 1}{5,72}$$

$$V_{u1, tengah} = 2,61 \text{ m/s}$$

Panjang sudu ke arah melingkar pada ujung sudu ( $l_1$ )

Jumlah sudu pada *runner* ( $Z_2$ ) sebanyak 6 buah, maka jarak antara sudu pada keliling lingkaran roda turbin ( $t$ ) diperoleh dengan persamaan

$$t = \frac{\pi \cdot D}{Z_2} \text{ (m)} \tag{18}$$

$$t = \frac{\pi \cdot 0,3}{6}$$

$$t = 0,157 \text{ m}$$

Nilai  $t$  dalam bentuk derajat, sebagai berikut:

$$= \frac{t}{\pi \cdot D} \cdot 360^\circ = \frac{0,157}{\pi \cdot 0,3} \cdot 360^\circ = 60^\circ$$

Sehingga panjang sudu ke arah melingkar pada ujung sudu ( $l_1$ ) diperoleh dengan persamaan

$$l_1 = 0,9 \cdot t \text{ (m)}, l_1 = 0,1413 \text{ m}, \text{ atau } l_1 = 54^\circ \tag{19}$$

Hasil perhitungan segitiga kecepatan turbin baik pada ujung, tengah, dan pangkal sudu diperoleh sudut sudu *runner* yang ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 2 Sudut sudut hasil perhitungan

Keterangan Sudu	$D$	$V_1=CI$	$W_1$	$\beta_1$	$\alpha_1$	$V_2$	$W_2$	$\beta_2$
	mm	m/s	m/s	derajat	derajat	m/s	m/s	derajat
Pangkal	150	17,4	15	71	47,8	2,26	20,59	47
Tengah	226	15,6	28,6	32	60,5	2,26	32,3	28
Ujung	300	15,3	43	20	69,8	2,26	45,7	19

Sudu pengarah terletak di depan sudu gerak (sesuai dengan arah aliran) berfungsi mengubah arah dan besarnya kecepatan aliran fluida. Sudu pengarah ada yang dibuat berbentuk *air foil* agar mempunyai garis-garis aliran yang baik.

- a. Diameter sudu pengarah ( $D_o$ )

Diameter sudu pengarah ( $D_o$ ) dihitung dengan persamaan

$$D_o = \frac{60 \times K_{uo} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{ef}}}{\pi \cdot n} \tag{20}$$

$$D_o = 0,215 \text{ m}$$

- b. Diameter *hub/boss* (DH)

Diameter *hub/boss* (DH) dihitung dengan persamaan

$$DH = (0,38 + (H_{ef}/220)) \cdot D_o \tag{21}$$

$$DH = 0,082 \text{ m}$$

- c. Lebar sudu pengarah ( $B_o$ )

Lebar sudu pengarah ( $B_o$ ) dihitung dengan persamaan

$$B_o = 0,43 \cdot D_o \tag{22}$$

$$B_o = 0,092 \text{ m}$$

- d. Jarak antar sudu ( $t_s$ )

Lebar sudu pengarah ( $B_o$ ) dihitung dengan persamaan dengan jumlah sudu pengarah ( $z$ ) sebanyak 18, maka:

$$t_s = \pi \cdot D_o / z \tag{23}$$

$$t_s = \pi \cdot 0,215 / 18$$

$$t_s = 0,036 \text{ mm}$$

- e. Panjang sudu ( $l_s$ )

Panjang sudu ( $l_s$ ) di hitung dengan persamaan

$$l_s = (0,9) \cdot t_s \tag{24}$$

$$l_s = (0,9) \cdot 0,036$$

$$l_s = 0,032 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh dimensi turbin yang akan dirancang. Perancangan yang memperhatikan perhitungan segitiga kecepatan turbin akan diperoleh daya maksimum. Turbin yang mempunyai daya maksimum dengan efisiensi baik diperlukan untuk memanfaatkan potensi sungai-sungai yang tersebar di pedesaan, maka upaya pengembangan turbin propeler head rendah ini akan meningkatkan taraf kesejahteraan hidup masyarakat pedesaan.

Energi listrik yang dibangkitkan oleh pengembangan turbin propeler *head* rendah dengan memanfaatkan air ini memiliki dampak lingkungan maupun sosial kemasyarakatan. Turbin hasil rancangan ini adalah salah satu turbin air penghasil tenaga terbersih, menggantikan pembakaran bahan bakar fosil. Turbin menggunakan energi terbarukan dan didesain untuk beroperasi dalam jangka waktu puluhan tahun. Ada beberapa aspek yang tidak menyebabkan kerusakan lingkungan akibat dari instalasi pembangkit listrik dengan turbin propeler *low head* ini yaitu tenaga/energi air untuk pengembangan PLTMH turbin propeler *head* rendah ini tidak pernah habis dan selalu terbarukan, karena air yang digunakan untuk energi turbin tidak akan mengalami penyusutan.

## KESIMPULAN

Hasil perancangan turbine propeller dengan *water discharge (Q) design* 0.120 m<sup>3</sup>/s, tinggi jatuh 1m dan 70% *of design efficiency* diperoleh daya 824 watt, *revolution (N) design* 500 rpm, and 503 rpm *of specific revolution* dan diperoleh diameter turbin 0.3 m dengan 6 *blades*. Pengembangan turbin propeler hasil rancangan penelitian ini dapat dikembangkan untuk dibuat prototipe dan dilakukan pengujian sehingga dapat terus disempurnakan untuk menjadi produk energi terbarukan.

## REFERENSI

- 1 Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, *Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025*, Buku Putih , Jakarta (2006)
- 2 DESDM, *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional (BP-PEN) 2005–2025*, Departemen Energi Sumber Daya Mineral, Jakarta (2006)
- 3 Busono,S., *Pemanfaatan Teknologi Hidroelektrik Untuk Listrik Pedesaan Di Indonesia*, IPTEK VOICE, Kementrian Negara Riset dan Teknologi, Jakarta (2008)
- 4 Jagdish Lal, DR, *Hidarulics Machines including Fluidics*, Metropolitan Book Co Pt, LTD., Delhi (1979)
- 5 A. Harvey, *Micro-hydro Design Manual : A Guide to Small- Scale Water Power Schemes*, ITGD Publishing, London (1993)
- 6 C. Penche & Minas, *Layman's Guide Book on How to Develop a Small Hydro Site*, European Small Hidropower Association, Brussel (1998)
- 7 Warnick CC, *Hydropower Engineering*, Prentice-Hall. Inc., Englewood Cliffs, New Jersey (1984)
- 8 Arismunandar, A., dan Kuwahara, S., *Teknik Tenaga Listrik Pembangkitan dengan Tenaga Air*, Pradnya Paramitha, Jakarta (2004)
- 9 Japan Electrotechnical Committee, *Water Turbines*, JEC-151, Denki Shoin (1968)
- 10 Khurmi,R.S., *Hidraulic Machines*, S.Chand & Company LTD. Pam Nagar, New Delhi (2001)