

Kaji Teoritis dan Eksperimental Turbin Crossflow Pancaran Ganda Kapasitas 3kW-5kW

Jamal^{1*}, Abdul Salam², L. Sonda³, Aswar Anas⁴, M. N. Ichsan⁵, dan R. Tonapa⁶

^{1,2,3,4,5,6} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*jamal@poliupg.ac.id

Abstract: *The theoretical and experimental studies of 3kw – 5 kw capacities of double jets crossflow turbine is aim to determine the dimensions of crossflow turbine design that fits the power produced which will be used not only as a testing device but also can be applied to the society as well as to find out the theoretical calculation with the experimental result of the crossflow turbine. The designing and manufacturing is conducted by studying the crossflow turbine theoretically to get the following things, they are the dimension of turbine design, the design of crossflow, the manufacturing of the components, the assembling process of testing device. The result of the research obtained is getting the crossflow turbine design dimension, where the turbine power = 2.77kw ≈ 2.8 kw, the high water fall (head) = 6 m, the runner diameter = 0.21 m, the number of angles = 21 pieces, the penstock pipe diameter = 6 inches, and the shaft diameter = 18.87 mm. the result of the calculation is used for making the turbine components. The voltage generated is 350 volt average.*

Keywords: *Crossflow Turbine; Dimensional desain; Head; Voltage*

Abstrak: Kaji teoretis dan eksperimental Turbin *Crossflow* pancaran ganda kapasitas 3kW-5kW bertujuan untuk mengetahui berapa dimensi desain Turbin *Crossflow* yang sesuai dengan daya yang dihasilkan yang tidak hanya dapat digunakan sebagai alat uji, juga dapat diaplikasikan ke masyarakat serta untuk mengetahui hasil perhitungan secara teoretis dengan hasil eksperimental dari Turbin *Crossflow*. Perancangan dan pembuatan dilakukan dengan mengkaji secara teoretis Turbin *Crossflow* sehingga didapatkan dimensi desain turbin, rancangan turbin *Crossflow*, pembuatan komponen-komponen dan proses assembly alat uji. Hasil penelitian tugas akhir ini didapatkan dimensi desain turbin *crossflow*, dimana: Daya Turbin = 2,778 kW ≈ 2,8 kW, tinggi jatuh air (head) = 6 m, Diameter runner = 0,21 m, jumlah sudu = 21 buah, diameter pipa penstock = 6 Inchi, dan diameter poros = 18,87 mm. Selanjutnya dari hasil perhitungan tersebut dibuat komponen-komponen turbin. Adapun tegangan yang dihasilkan rata-rata 350 Volt.

Kata kunci : Turbin Crossflow; Dimensi desain; Head; Tegangan

I. PENDAHULUAN

Listrik adalah sumber daya yang paling banyak digunakan karena memiliki banyak fungsi, diantaranya dalam menunjang kehidupan manusia, sebagai catu alat-alat elektronik dan alat lainnya yang membutuhkan listrik. Listrik menopang kelangsungan diberbagai bidang seperti halnya bidang industri, bidang pendidikan, dan lain sebagainya. Potensi tenaga air yang tersebar hampir diseluruh Indonesia diperkirakan mencapai 75000 MW, 500 MW diantaranya adalah potensi untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Potensi mikrohidro yang mencapai 500 MW baru dimanfaatkan hanya 4% saja yaitu 20 MW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik daerah pedesaan yang belum terjangkau PLN dan mengingat sumber daya air Indonesia yang banyak dan tersebar namun pemanfaatannya masih di bawah potensinya maka penerapan PLTMH merupakan alternatif yang paling baik [1].

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang merupakan institusi pendidikan vokasi yang memiliki sarana penunjang untuk melakukan penelitian tentang energi baru dan terbarukan. Salah satu kendala dalam melakukan penelitian tentang energi baru dan terbarukan khususnya PLTMH adalah institusi ini memerlukan alat yang tidak hanya dapat digunakan dalam melakukan pengujian tetapi alat tersebut juga dapat diaplikasikan di masyarakat.

Menurut Purwanto dan Jumaedi [2], “untuk rancang bangun Turbin *Crossflow* sudah dapat dibuat dan penentuan dimensi komponen-komponen Turbin *Crossflow* lainnya untuk debit dan head yang bervariasi dapat diketahui melalui program komputer yang telah dibuat. Referensi rancangan awal daya turbin (rendah): 3 kW, 5 kW, dan 10 kW, daya turbin (sedang): 20 kW, 30 kW, 40 kW, dan 50 kW, daya turbin (tinggi): 60 kW, 80kW, dan 100 kW.”

Rancang bangun Turbin *Crossflow* yang dilakukan sebelumnya berupa penelitian tugas akhir hanya sebatas perancangan dan pembuatan saja, belum menyentuh secara keseluruhan sistem PLTMH yang tentunya sangat mempengaruhi kinerja turbin *Crossflow* itu sendiri pada pengaplikasiannya [3]. Dalam hal ini umumnya turbin *Crossflow* yang dibuat dimensinya relatif sama untuk bermacam-macam debit dan head air, sehingga hasil rancangan turbin *Crossflow* yang dikondisikan untuk menyesuaikan debit dan head aktual. Disamping itu, pengujian kinerja Turbin *Crossflow* sulit mencapai kondisi ideal karena membutuhkan debit air yang besar (belum tersedia di Jurusan Teknik Mesin PNUP), sementara kondisi potensi air yang ada di daerah-daerah Sulawesi Selatan masih terdapat daerah dengan debit air yang tidak terlalu besar tapi cukup potensial karena merupakan daerah penghasil komoditas pertanian yang potensial dikembangkan. Dalam penelitian ini akan dilakukan perhitungan secara teoretis untuk menentukan dimensi-dimensi komponen turbin *Crossflow* yang sesuai dengan kapasitas daya rendah (3kW–5kW) untuk PLTMH kemudian merancang turbin sesuai dengan dimensi yang diperoleh dan melakukan pengujian kinerja turbin di Jurusan Teknik Mesin secara aktual, sehingga turbin *Crossflow* tersebut nantinya dapat diaplikasikan di daerah terpencil di Sulawesi Selatan. Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian secara teoritis dan eksperimental dimana dalam penelitian ini akan menghasilkan suatu prototipe Turbin *Crossflow* yang sesuai antara dimensi dengan kapasitas daya yang akan dihasilkan (3kW-5kW).

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang mengubah energi potensial air menjadi kerja mekanis, memutar turbin dan generator untuk menghasilkan daya listrik skala kecil, yaitu sekitar 0-100 kW.

Pengerjaan PLTMH khususnya di daerah Sulawesi Selatan masih sangat minim, hal ini disebabkan oleh kurangnya pengetahuan masyarakat tentang pemberdayaan sumber daya air secara maksimal sehingga banyak potensi yang belum bisa dimaksimalkan. Selain itu, yang menjadi pertimbangan dalam pengembangan PLTMH adalah pengadaaan sumber daya manusia yang baik.

A. Prinsip kerja PLTMH

Prinsip kerja PLTMH hampir sama dengan cara kerja dinamo lampu sepeda. Roda yang berputar kemudian memutar dinamo sehingga menghasilkan listrik untuk menyalakan lampu sepeda. Itu berarti dapat disimpulkan secara sederhana bahwa PLTMH juga mengubah tenaga gerak yang berasal dari air menjadi energi listrik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Daya yang akan dihasilkan turbin dapat dihitung dengan:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \dots\dots\dots(1)$$

Dimana P = daya yang dibangkitkan oleh turbin (watt), ρ = rapat massa air (1000 kg/m³), g = percepatan gravitasi (9,81 m/ s²), Q = kapasitas aliran air (m³/s), H = ketinggian atau head efektif (m).

B. Klasifikasi PLTMH

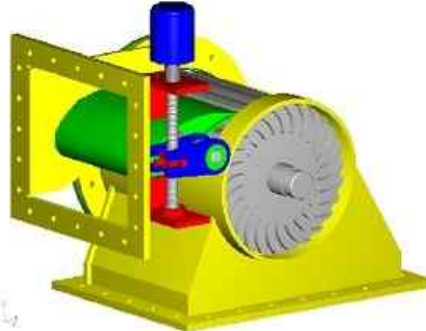
Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Menurut Yanziwar [4], turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

Tabel 1. Pengelompokan Turbin

<i>Turbine Runner</i>	<i>Head Preasure</i>		
	<i>High</i>	<i>Medium</i>	<i>Low</i>
<i>impulse</i>	<i>Pelton Turgo Multi-jet Pelton</i>	<i>Cross-flow Turgo Multi-jet Pelton</i>	<i>Cross-flow</i>
<i>Reaction</i>		<i>Francis Pump-as-Turbine</i>	<i>Propeller Kaplan</i>

C. Pengertian Turbin *Crossflow*

Turbin *Crossflow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse turbine*). Prinsip kerja turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama Turbin Banki. Turbin *Cross Flow* dapat dioperasikan pada debit 20 litres/sec hingga 10 m³/sec dan head antara 1 s/d 200m.



Gambar 1. Turbin *Crossflow*

D. Karakteristik Turbin *Crossflow*

Meninjau karakteristik kecepatan spesifiknya, turbin *crossflow* berada diantara turbin pelton dan francis aliran campur. Kecepatan spesifik setiap turbin memiliki kisaran (*range*) tertentu berdasarkan data eksperimen. Kisaran kecepatan spesifik beberapa turbin air ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kecepatan spesifik beberapa turbin

Turbin Pelton	$12 \leq N_s \leq 25$
Turbin Francis	$60 \leq N_s \leq 300$
Turbin Crossflow	$40 \leq N_s \leq 200$
Turbin Propeller	$250 \leq N_s \leq 1000$

Kecepatan spesifik, N_s , didefinisikan dengan formula:

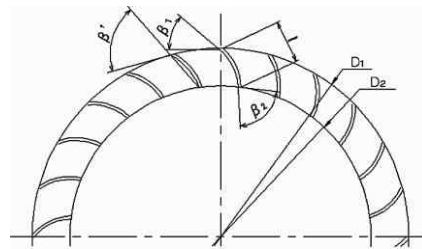
$$N_s = \frac{N \cdot \sqrt{P}}{H^{\frac{5}{4}}} \text{ rpm}$$

Dimana: N_s = kecepatan spesifik, N = kecepatan putaran turbin (rpm), P = maksimum turbin output (kW), H = head efektif (m) .

E. Perhitungan parameter-parameter Turbin Cross Flow

1. Diameter luar (L) dan lebar Sudu Turbin (L) [5]

$$LD = \frac{2.627Q}{\sqrt{H}}$$



D_1 : Outer diameter
 D_2 : Inner diameter
 β_1 : Inlet angle
 β_2 : Outlet angle
 β : Pitch angle
 l : Chord length
 Z : Blade number

Gambar 2. Sudu Runner

2. Diameter dalam Turbin (D_2), [1]

$$(D_2) = 2/3 D$$

3. Jumlah sudu

$$n = \frac{\pi D}{t}$$

4. Diameter dalam Runner (D_2)

$$D_2 = D_1 - 2a$$

5. Kecepatan maximum Runner turbin (N)

$$N = \frac{39.81 \sqrt{H}}{D}$$

6. Kecepatan spesifik

$$N_s = \frac{\pi \sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

7. Daya turbin

$$P = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \cdot \eta$$

8. Diameter pipa Penstock

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

9. Luas penampang pipa Penstock

$$A = \frac{Q}{C_1}$$

Dimana: Q = Debit (m^3/s), H = Head (m), ρ = Massa jenis air = 1000 kg/m^3 , g = Gaya gravitasi = $9,81 \text{ m/s}^2$, η = Efisiensi turbin = 0,8

10. Perencanaan Poros dan Pasak (Sularso, 2004)

- a. Perhitungan Poros

$$Pd = F_c \cdot P \text{ (kW)}$$

momen puntir adalah T (kg.mm) maka:

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{Pd}{n}$$

Dari harga diatas besarnya T dapat dihitung dengan:

$$\tau_a = \sigma_b / S f_1 \times S f_2$$

Adapun rumus untuk menghitung poros adalah:

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} K_t C_b T \right]$$

- b. Perhitungan Pasak [6]

Jika momen rencana dari poros adalah T (kg.mm), diameter poros adalah d_s (mm), maka gaya tangensial F (kg) pada permukaan poros adalah:

$$F = \frac{T}{d_s / 2}$$

Adapun tegangan geser (mm^2) yang ditimbulkan adalah:

$$\tau_k = \frac{F}{bl}$$

Tegangan permukaan samping pasak:

$$P = \frac{F}{lx(t_1 \text{ atau } t_2)}$$

Harga tegangan permukaan yang diizinkan:

$$Pa \geq \frac{F}{lx(t_1 \text{ atau } t_2)}$$

11. Perhitungan pulli dan

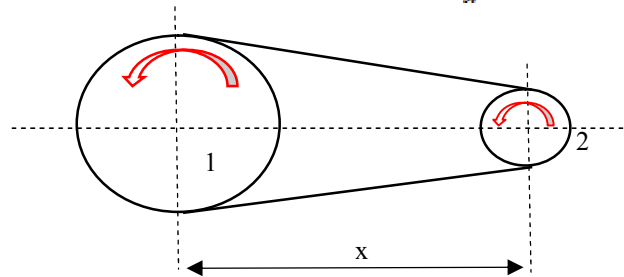
Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut sabuk [6]:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_p}{d_p}$$

Dimana: n_1 = putaran pulli penggerak (rpm), n_2 = putaran pulli yang digerakkan (rpm),
 d_p = diameter pulli penggerak (mm), D_p = diameter pulli yang digerakkan (mm).

Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$L = \pi (r_1 + r_2) + 2x + \frac{(r_1 + r_2)^2}{x}$$



Gambar 3. Panjang sabuk

Dimana:

X = jarak kedua sumbu poros (mm)

r_1 = jari-jari pulli penggerak (mm)

r_2 = jari-jari pulli yang digerakkan (mm)

L = panjang total sabuk (mm)

12. Perhitungan sambunga las

Adapun perhitungan pengelasan menggunakan persamaan

Untuk tegangan tarik:

$$\tau_g = \frac{F}{0,707.h.l}$$

Untuk tegangan tarik (σt)

$$\sigma t = \frac{F}{A}$$

$$A = l\eta$$

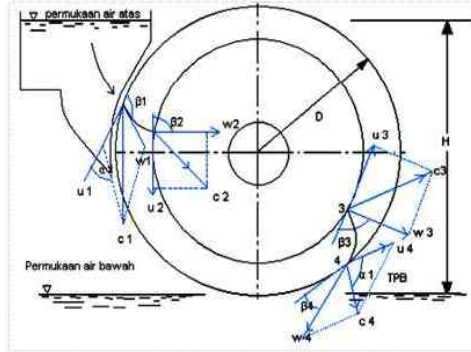
$$l\eta = l - 2a$$

Dimana : τ_g = Tegangan geser (N/mm^2), F = Gaya (N), h = Tinggi pengelasan (mm), l = Panjang pengelasan (mm), $l\eta$ = Panjang efektif

F. Perancangan Turbin *Crossflow*

Perancangan turbin *Crossflow* dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan secara teoretis. Perhitungan perancangan dilakukan untuk memperoleh dimensi turbin

Crossflow sekaligus menjadi acuan dalam pembuatan program perhitungan pada software. Perhitungan perancangan turbin dilakukan dengan 3 tahap, perhitungan manual, perhitungan dengan menggunakan Ms.Excel dan perhitungan dengan menggunakan program Turbin *Crossflow*. Perhitungan dengan menggunakan program Turbin *Crossflow* diberikan batasan hingga 3 angka desimal dibelakang koma. Pembuktian kebenaran perhitungan dengan program Turbin *Crossflow* dapat dibandingkan dengan perhitungan yang dilakukan dengan cara manual dan perhitungan dengan Ms.Excel.



Gambar 4. Segitiga Kecepatan Turbin *Crossflow*

II. METODE PENELITIAN

Adapun metode pembuatan dan perakitan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan turbin, yaitu proses pembuatan secara utuh turbin *Crossflow* meliputi semua komponen-komponen yang sesuai untuk aplikasi PLTMH dengan skala uji dan pengaplikasiannya di masyarakat. Adapun komponen-komponen utama yang akan dibuat adalah:
 - a. Penutup turbin
 - b. Runner
 - c. Base (Dudukan)
 - d. Flange Turbin
 - e. Regulator valve
2. Perakitan turbin. Adapun komponen-komponen yang akan dirakit adalah penutup, *runner*, *base* (dudukan), regulator, dan *flange* turbin. Perakitan komponen-komponen menggunakan las listrik dan baut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil perhitungan dimensi turbin

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil Perhitungan Dimensi Turbin *Crossflow*

Daya turbin	2,8 kW	Tebal sudu	0,002 m
Diameter Penstock	6 Inch	Sudut kelengkungan sudu	58,68°
Debit air	0,059 m ³ /s	Perhitungan Nosel (S_0)	0,018 m
Diameter Runner	0,211 m	kecepatan tangensial sisi masuk (U_1)	1,564 m/s
Diameter dalam	0,138 m	kecepatan relative pada sisi masuk (W_1)	1,809 m/s
lebar lingkaran sudu	0.036 m	kecepatan relative pada sisi keluar (W_2)	2,746 m/s

Jarak antar sudu	0,031 m	Kecepatan absolut fluida pada sisi keluar (C_2)	3,629 m/s
Jumlah sudu	21 buah	Sudut kecepatan mutlak sisi keluar (α_2)	49,14°
kecepatan runner	462,152 Rpm	Diameter Pulli	10 Inch
Kecepatan spesifik (Ns)	106,896 Rpm	Panjang Sabuk	87 Inch
Panjang <i>Penstock</i>	6,22m.	Diameter Poros	27 mm

Tabel 6. Biaya manufaktur

No.	Biaya manufaktur	Harga
1.	Biaya bahan langsung	Rp 3.490.500
2.	Biaya tenaga kerja	Rp 356.589,57
3.	Biaya tidak langsung	Rp 11.553.531
	Jumlah	Rp 15.400.620

Titik impas atau BEP untuk pembuatan turbin *Crossflow* pancaran ganda ini akan tercapai saat produk terjual sebanyak **3 unit/bulan** atau pada saat penghasilan mencapai **Rp 25.585.378,-**

B. Data Hasil Pengujian alat

Berdasarkan pengujian alat telah diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 7. Data Hasil Pengujian

No	Pembukaan katup	Volume air pada bak penampungan (Q)	Luas Penampang Pipa Penstock (A)	Ketinggian air / Head (H)	Putaran yang dihasilkan (n)	Tegangan yang dihasilkan (V)
1.	Katup 1=100% Katup 2=100%	1200 dm ³	0,0182 m ²	6 m	390 rpm	230 V *
2.	Katup 1=50% Katup 2=50%	1200 dm ³	0,0182 m ²	6 m	395 rpm	260 V
3.	Katup 1=25% Katup 2=25%	1200 dm ³	0,0182 m ²	6 m	409 rpm	280 V
4.	Katup 1=100% Katup 2=50%	1200 dm ³	0,0182 m ²	6 m	394 rpm	240 V *
5.	Katup 1=100% Katup 2=25%	1200 dm ³	0,0182 m ²	6 m	400 rpm	265 V
6.	Katup 1=25% Katup 2=75%	1200 dm ³	0,0182 m ²	6 m	405 rpm	270 V

* Lampu menyala

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang dilakukan pada bab-bab sebelumnya, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- Dimensi desain turbin *crossflow*, dimana: Daya Turbin = 2,778 kW \approx 2,8 kW, tinggi jatuh air (head) = 6 m, Diameter runner = 0,21 m, jumlah sudu = 21 buah, diameter pipa penstock = 6 Inchi, dan diameter poros = 18,87 mm.
- Tegangan yang dihasilkan rata-rata 350 Volt.
- Titik impas atau BEP untuk pembuatan turbin *Crossflow* pancaran ganda ini akan tercapai saat produk terjual sebanyak 3 unit/bulan atau pada saat penghasilan mencapai Rp 25.585.378.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. H. Sholihah dan J. Pratilastiarso, “Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH),” ITS, Surabaya, 2010.
- [2] A. A. Purwanto dan Jumaedi, “Perancangan Turbin Crossflow Kapasitas Daya Air Bervariasi: Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Wilayah Terpencil Sulawesi Selatan,” Laporan Tugas Akhir, Makassar, Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2012.
- [3] A. Wahid, dkk, “Rancang Bangun Alat Uji Kinerja PLTMH dengan Variasi Sudut Pipa Penstock,” Laporan Tugas Akhir, Makassar, Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2013.
- [4] Y. Yanziwar, “Perencanaan Turbin Cross Flow,” *J. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 51–61, 2012.
- [5] R. Nur and M. A. Suyuti, *Perancangan mesin-mesin industri*. Deepublish, 2018.
- [6] S. K. Sularso, “Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, cetakan Kesebelas, Jakarta, PT,” *Pradnya Paramita*, 2004.