

KAJI EKSPERIMENTAL TURBIN CROSSFLOW PANCARAN GANDA KAPASITAS DAYA RENDAH

Muhammad Iswar¹⁾, Luther Sonda²⁾ dan Baso Nasrullah³⁾
^{1,2,3)}Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

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. Metode rancang bangun dilakukan dengan mengkaji secara teoretis turbin crossflow sehingga didapatkan dimensi desain turbin, rancangan turbin crossflow, pembuatan komponen-komponen dan proses assembly alat uji, pengambilan dan pengolahan data, pembahasan, dan pembuatan kesimpulan. Hasil penelitian diperoleh dimensi desain turbin crossflow, dimana: Daya Turbin = 4779,432 Watt = 4,779 kW, tinggi jatuh air (head) = 7 m, Diameter runner = 0,21 m, jumlah sudu = 21 buah, diameter pipa penstock = 6 Inchi, dan diameter poros = 18,87 mm. Dari hasil perhitungan dimensi tersebut, selanjutnya dibuat komponen-komponen turbin, dirakit, dan diuji secara eksperimental turbin crossflow pancaran ganda (double jet). Diperoleh putaran turbin 320 rpm – 390 rpm dan tegangan yang dihasilkan dari generator 210 V – 260 V, rata-rata sekitar 235 Volt.

Kata kunci : turbin crossflow, dimensi, desain, putaran, 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. (Joke dan Fifi. 2012). Menurut Purwanto dan Jumaedi (2012), “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 (Wahid, dkk. 2012).

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 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:

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

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

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.

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 sebagai berikut.

Table 1. 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:

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

Dimana: NS = kecepatan spesifik

N = kecepatan putaran turbin (rpm)

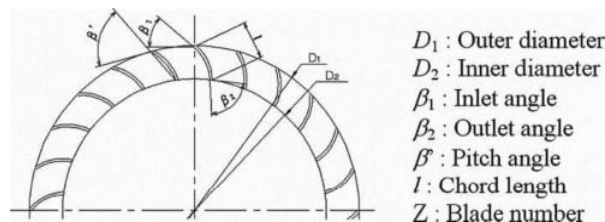
P = maksimum turbin output (kW)

H = head efektif (m)

E. Perhitungan parameter-parameter Turbin Cross Flow

1. Diameter luar (L) dan lebar Sudu Turbin (L)

$$LD = \frac{2.627Q}{\sqrt{H}} \quad (\text{Joke, 2012})$$



Gambar 1. Sudu Runner

2. Diameter dalam Turbin (D_2)

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

3. Jumlah sudu

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

4. Diameter dalam
- Runner*
- (D2)

$$D2 = D1 - 2a$$

5. Kecepatan maximum
- Runner*
- turbin (N)

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

6. Kecepatan spesifik

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

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

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

Keterangan:

Q = Debit (m^3/s)

H = Head (m)

 ρ = Massa jenis air = $1000 \text{ kg}/m^3$ g = Gaya gravitasi = $9,81 \text{ m}/s^2$ η = Efisiensi turbin = 0,8

10. Perencanaan Poros dan Pasak

- a. Perhitungan Poros

$$Pd = Fc \cdot P \text{ (kW)} \quad (\text{Sularso, 1978})$$

momen puntir adalah T (kg.mm) maka:

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

Dari harga diatas besarnya τ_a 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

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 sabuk

Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_p}{d_p} \quad (\text{Sularso, 1978})$$

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:

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

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 (Suryanto, 1995), dimana tegangan tarik yang terjadi pada sambungan:

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

Untuk tegangan tarik (σ_t)

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

$$A = l \eta$$

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

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.

II. METODE PENELITIAN

A. Metode Perancangan

1. Studi literature dan Pengumpulan data, yaitu proses verifikasi data dan pemetaan rancangan sistem PLTMH melalui referensi pembuatan Turbin *crossflow* yang dilakukan sebelumnya.
2. Perancangan turbin, yaitu merancang Turbin *crossflow* skala 3kW-5kW secara utuh yang dapat digunakan sebagai alat uji dan dapat diaplikasikan di masyarakat. Turbin *crossflow* yang dirancang menggunakan data-data yang diperoleh dari hasil kaji teoretis yang telah dilakukan sebelumnya. Dalam merancang Turbin *crossflow*, aplikasi yang akan digunakan adalah SolidWorks.

B. Metode Pembuatan dan Perakitan

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: Penutup turbin, Runner, Base (Dudukan), Flange Turbin, Regulator valve, Perakitan turbin
2. Komponen-komponen turbin yang 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 dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Dimensi Turbin crossflow

Daya turbin	4779,432 Watt \approx 4,8 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_o)	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 (a_2)	49,14°
kecepatan runner	462,152 Rpm	Diameter Pulli	10 Inch
Kecepatan spesifik (Ns)	106,896 Rpm	Panjang Sabuk	87 Inch
Panjang Penstock	6,22m.	Diameter Poros	27 mm

B. Data Hasil Pengujian Turbin crossflow

Tabel 3. Data pengujian kinerja turbin crossflow pancaran ganda kapasitas 5 kW

No.	Pembukaan Katup	Volume air pada bak penampungan (Q)	Luas Penampang Pipa Penstock (A)	Ketinggian/ Head (H)	Putaran yang dihasilkan	Tegangan yang dihasilkan
1	Katup 1 = 25% Katup 2 = 100%	2000 dm ³	0,012 m ²	7 m	340 rpm	220 V
2	Katup 1 = 50% Katup 2 = 100%	2000 dm ³	0,012 m ²	7 m	360 rpm	230 V
3	Katup 1 = 75% Katup 2 = 100%	2000 dm ³	0,012 m ²	7 m	370 rpm	230 V
4	Katup 1 = 100% Katup 2 = 100%	2000 dm ³	0,012 m ²	7 m	390 rpm	260 V
5	Katup 1 = 100% Katup 2 = 25%	2000 dm ³	0,012 m ²	7 m	350 rpm	230 V
6	Katup 1 = 75% Katup 2 = 25%	2000 dm ³	0,012 m ²	7 m	375 rpm	240 V
7	Katup 1 = 50% Katup 2 = 25%	2000 dm ³	0,012 m ²	7 m	350 rpm	225 V
8	Katup 1 = 25% Katup 2 = 25%	2000 dm ³	0,012 m ²	7 m	320 rpm	210 V

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Dimensi Turbin crossflow.

P	4779,432 Watt = 4,779 kW	Ts	0,002 m
D	6 Inch	S	58,68°
Q	0,059 m ³ /s	S_o	0,018 m
D₁	0,211 m	U₁	1,564 m/s
D₂	0,138 m	W₁	1,809 m/s
a	0,036 m	W₂	2,746 m/s
t	0,031 m	C₂	3,629 m/s
N	21 buah	a₂	49,14°
n	462,152 Rpm	Dp	10 Inch
Ns	106,896 Rpm	L	87 Inch
I	6,22m.	ds	27 mm

2. Kapasitas daya Turbin crossflow pancaran ganda (*double jet*) secara teoretis sebesar 4,8 kW dapat diaplikasikan untuk menggerakkan generator 3kW-5kW dan menghasilkan tegangan listrik, V = 210–260 Volt sesuai pembukaan katup.

B. Saran

1. Disarankan penelitian lanjutan, dengan penamahan sistem kontrol pengaturan debit air yang keluar dari tangki penampung atas (reservoir) yang bekerja secara otomatis mengatur jumlah debit air yang akan masuk ke turbin dengan mengambil sumber input dari tegangan yang dihasilkan generator, sehingga putaran turbin dan tegangan yang dihasilkan generator relatif dapat lebih konstan.
2. Sirkulasi air dari bak penampung bawah ke tangki penampung atas (reservoir) sedapat mungkin berlangsung kontinu, suplai air dari pompa di bak penampung bawah sebanding dengan debit air yang keluar, sehingga pengambilan data kinerja turbin tidak perlu menunggu air di tangki penampung atas (reservoir) penuh.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Dietzel, Fritz. 2002. Turbin Air. Dalam *Turbin Pompa dan Kompresor*. Diterjemahkan oleh Dakso Sriyono. Hlm 1-73. Jakarta: Erlangga.
- Hidayat, Nur. 2013. *SolidWorks 3D Drafting and Design*. Bandung: Informatika
- Pratilastiarso, Joke dan Fifi Hesti Soliha. 2012. Evaluasi Teoritis Unjuk Kerja Turbin Cross Flow. Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- Purwanto, Agung Ari dan Jumaedi 2012. 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.
- Rizqy, Andi Muh., dkk. (2014). Rancang Bangun Turbin crossflow Pancaran Ganda Kapasitas 5kW-100kW. Laporan Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Safiril. 2010. Perencanaan Runner dan Poros Turbin crossflow Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Padang: (online). <http://ojs.polinpdg.ac.id/index.php/JTM/article/download/441/453> (diakses 2 Desember 2014).
- Sahril dkk. 2012. Rancang Bangun Turbin crossflow Kapasitas 1000 Watt untuk Penerangan Dusun Salu Tiwo Kabupaten Mamuju. Laporan Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Sularso dan Kiyokatsu Suga. 1978. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Wahid, Abdul dkk. 2013. Rancang Bangun Alat Uji Kinerja PLTMH dengan Variasi Sudut Pipa Penstock. Laporan Tugas Akhir. Makassar. Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Yanziwar. 2007. Perencanaan Turbin Cross Flow. Padang: (online), <http://ojs.polinpdg.ac.id/index.php/JTM/article/download/364/384> (diakses 2 Desember2014)