

ANALISIS KARAKTERISTIK TURBIN *CROSSFLOW* KAPASITAS 5 kW

Zulkifli Saleh¹, Yosi Apriani², Feby Ardianto³, Ricky Purwanto⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang

zulkiflisaleh@yahoo.com¹, yosiapriani82@gmail.com², ardianto.feby@gmail.com³,
rikipurwanto01@gmail.com⁴

ABSTRAK

Turbin *crossflow* dikelompokkan dalam jenis turbin skala mikro dengan rentang tinggi jatuh efektif aliran dibawah 30 m, dengan sudut peletakan turbin maksimal 30°. Kajian penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik turbin *crossflow* kapasitas 5 kW. Metode penelitian kasus berdasarkan pengumpulan data pada objek kajian. Kesimpulan yang disarikan dari kajian penelitian tersebut berupa kecenderungan kenaikan putaran poros turbin berbanding dengan penambahan kecepatan alir fluida. Fenomena ini cukup signifikan dengan karakteristik kurva turbin *crossflow*. Indikasi perubahan daya terbangkitkan yang diakibatkan oleh perubahan putaran pada poros turbin yang beragam disebabkan oleh heterogenitas aliran pada saluran pembawa. Karakteristik mekanis menghasilkan putaran sebesar 256,30 rpm dan daya yang terbangkitkan pada turbin sebesar 4,88 kW.

Kata kunci : *Crossflow*, Putaran, Daya.

I. PENDAHULUAN

Pola pengembangan pembangkitan kelistrikan Indonesia masih cenderung mengandalkan ketersediaan bahan bakar berbasis energi fosil. Menipisnya ketersediaan energi fosil memicu pengembangan pembangkitan berbasis energi non fosil. Salah satu segmen energi bauran adalah energi air dengan tingkat kecukupan kapasitas tidak terbatas di Indonesia (Saleh, 2014).

PLTMH adalah salah satu alat konversi energi alternatif yang dapat dikembangkan dalam upaya meningkatkan peran dan potensi Sumber Energi Setempat (SES). Potensi energi air ini layak dikembangkan mengingat di wilayah Kabupaten Oku Selatan Kecamatan Banding Agung Desa Merbau Dusun Sarwan terdapat beberapa potensi air yang dapat dimanfaatkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

Turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak dimana fluida kerjanya adalah air. Berdasarkan prinsip kerja turbin (momentum fluida kerjanya) dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis (Mafruddin & Marsuki, 2017).

Pemakaian jenis turbin *crossflow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikrohidro lain. Salah satu contohnya adalah daya guna atau efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi dari pada daya guna kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin *Ossberger* menyimpulkan bahwa daya guna kincir air jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70% sedangkan efisiensi turbin *crossflow* mencapai 82%. Tingginya efisiensi turbin *crossflow* ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan *runner*. Kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitas yang tinggi dan kesederhanaan pada sistem keluaran air dari *runner* (Pratilastiarso & Hamka, 2016).

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. PLTMH

PLTMH sistem pembangkit listrik yang dapat mengubah potensial air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator (Susatyo & Subekti, 2009). Kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu (*flow capacity*) sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah *head* (Rompas, 2011). Aliran air pada rumah pembangkit akan menumbuk turbin air sehingga menghasilkan energi mekanik berupa berputarnya poros turbin air (Firmansyah, Purnomo, & Utomo, 2012).

B. Turbin Air

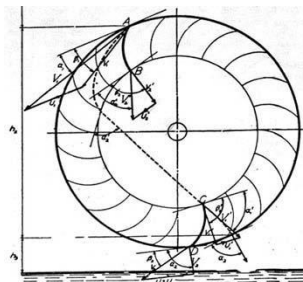
Turbin air adalah alat untuk mengubah energi air menjadi energi putar. Energi putar ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator (Luknanto, 2012). Prinsip kerja turbin air adalah mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Aliran air yang

mempunyai energi potensial akan disemprotkan ke sudu-sudu turbin oleh *nozzle*. Putaran dari sudu-sudu tersebut akan mengakibatkan poros turbin ikut bergerak dan kemudian putaran poros turbin akan diteruskan ke generator listrik untuk diubah menjadi energi listrik (Asrori, 2015).

C. Turbin *Crossflow*

Turbin *crossflow* merupakan turbin impuls dengan tipe aliran radial. Awal pengembangan turbin *crossflow* (*banki turbine*) didasarkan pada teori *Banki* yang mempatenkan konsepnya sekitar tahun 1920. Turbin *crossflow* sekarang ini sudah jarang dipakai dan digantikan oleh turbin-turbin yang lebih modern seperti turbin Pelton, *Francis* atau pun *Kaplan*. Tetapi bagaimanapun juga, turbin *crossflow* mempunyai keunggulan-keunggulan tersendiri yang tidak dimiliki turbin jenis lain (Anjar, 2003).

Turbin *crossflow* dapat dioperasikan pada debit air sebesar 20 liter/dt hingga 10.000 liter/dt dan *head* antara 1 m sampai 200 m. Turbin *crossflow* menggunakan nosel persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar *runner*. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanik. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. *Runner* turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel (Mafrudin, 2016).



Gambar 1. Lintasan air melalui turbin (Anjar, 2003)

Turbin *crossflow* adalah radial, turbin bertekanan kecil dengan injeksi tangensial dari putaran kipas dengan poros horisontal. Aliran air mengalir melalui pintu masuk pipa, dan diatur oleh baling-baling pemacu dan masuk ke putaran kipas turbin. Setelah air melewati putaran kipas turbin, air berada pada putaran kipas yang berlawanan, sehingga memberikan efisiensi tambahan. Energi mekanik fluida yang akan diberikan ke turbin setelah dikurangi gesekan dan rugi-rugi lainnya yang dikenal dengan *Water House Power* (WHP).

D. Karakteristik Turbin *Crossflow*

Dalam karakteristik ulir dinyatakan secara umum beberapa konstanta sebagai berikut:

1) Rasio kecepatan

Perbandingan antara kecepatan keliling linier turbin pada ujung diameter nominalnya dibagi dengan kecepatan teoritis air melalui curat dengan tinggi terjun sama dengan tinggi terjun (*H*) yang bekerja pada turbin.

$$r_{nc} = \frac{n_g}{n_t} \quad (1)$$

2) Kecepatan spesifik

Kecepatan turbin model (turbin dengan bentuk sama tetapi skalanya berlainan). Kecepatan spesifik dipakai sebagai tanda batasan untuk membedakan tipe roda turbin dan dipakai sebagai suatu besaran yang penting dalam merencanakan turbin air (Tampubolon & Sitepu, 2014).

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}} \quad (2)$$

3) Tinggi jatuh air (*head*)

Head adalah ketinggian vertikal dimana air jatuh. Besarnya *head* dinyatakan dengan satuan meter (m).

4) Debit

Laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu, dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/dt).

$$Q = v \cdot A \quad (3)$$

5) Kecepatan satuan (*Nu*)

Kecepatan satuan (N_u) adalah kecepatan putar turbin yang mempunyai diameter (*D*) satu satuan panjang dan bekerja pada tinggi terjun (*H*) satu satuan panjang.

$$Nu = \frac{ND}{\sqrt{H}} \quad (4)$$

E. Finite difference method

Penggunaan *finite difference method* dibutuhkan deret Taylor yang merupakan fungsi satu variabel disekitar x (Taflove, A., & Hagness, S. C, 2005) diberikan sebagai:

$$f(x + h) = f(x) + f'(x)h + \frac{f''(x)}{2!}h^2 + \dots \quad (5)$$

$$f(x - h) = f(x) - f'(x)h + \frac{f''(x)}{2!}h^2 - \dots \quad (6)$$

Deret Taylor inilah yang merupakan dasar pemikiran metode beda hingga (Durmin, 2013). Persamaan diferensial parsial ada tiga jenis yaitu:

- *Eliptik*, jika $ac - b^2 > 0$
- *Parabolik*, jika $ac - b^2 = 0$
- *Hiperbolik*, jika $ac - b^2 < 0$

F. Daya

1) Daya available

Daya *available* adalah besarnya daya energi potensi yang tersedia dari suatu sumber air yang tergantung pada besarnya titik jatuh (*head*) dan debit air yang mengalir dalam tiap detik (Dietzel, 1993).

$$P_{air} = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \quad (7)$$

dengan,

- P_{air} = daya air yang tersedia (Watt)
- ρ = massa jenis air (kg/m^3)
- Q = debit (m^3/dt)
- g = gravitasi (m/dt^2)
- H = *head* (m)

2) Daya turbin

Daya turbin air ditentukan oleh besarnya debit air, massa jenis air, gravitasi, tinggi jatuh air (*head*), dan efisiensi turbin sehingga dapat ditulis dengan persamaan (Heriyanto, 2010).

Daya keluaran turbin:

$$P_{th} = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot \eta_t \quad (8)$$

dengan,

- P_{th} = daya turbin (kW)
- ρ = masa jenis air (kg/m^3)
- Q = debit (m^3/dt)
- g = gravitasi (m/dt^2)
- H = *head* (m)
- η_t = efisiensi turbin (%)

3) Daya terbangkitkan

Daya yang terbangkitkan ditentukan oleh besarnya debit air, massa jenis air, gravitasi, ketinggian, efisiensi pembangkit dan efisiensi generator. Sehingga dapat ditulis dengan persamaan:

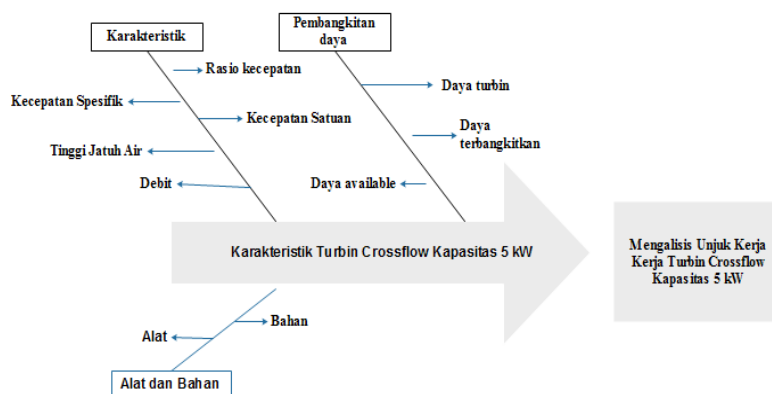
$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot \eta_t \cdot \eta_g \quad (9)$$

dengan,

- P = daya *output* turbin (kW)
- ρ = masajenis air (kg/m^3)
- Q = debit (m^3/dt)
- g = gravitasi (m/dt^2)
- H = *head* (m)
- η_t = efisiensi turbin (%)
- η_g = efisiensi generator (%)

III. METODE PENELITIAN

Untuk mempermudah dalam proses analisis, maka dibuatlah dalam suatu diagram sebab-akibat (*fishbone*) yang dapat dilihat berikut ini.



Gambar 2. Diagram Alir (Fishbone)

IV. DATA DAN ANALISIS

A. Lingkup Data

Data penelitian yang berkaitan dengan substansi kajian difokuskan pada parameter yang melekat pada turbin *crossflow*. Segmentasi parameter tersebut diadopsi dari data pengukuran turbin di lapangan dengan tinjauan perhitungan turunannya. Adapun sebaran data yang diangkat dari turbin *crossflow* adalah sebagai berikut:

1) Data Saluran

Pada pengambilan data aliran di saluran penampang dilakukan pada daerah aliran air terjun sarwan yang memiliki potensi aliran cukup baik, pengukuran dilaksanakan pada 10 (sepuluh) titik dengan asumsi titik pengukuran sampel merata yang dipilih untuk menjadi dasar perhitungan pada titik pengukuran penampang saluran. Pengukuran lebar penampang dan kedalaman saluran, rerata lebar penampang 154 cm dan rerata kedalaman saluran adalah 11,033 cm.

2) Data Aliran

Kecepatan aliran dilakukan melalui metode pengukuran dengan menggunakan *flowatch* dengan variasi pengukuran sebanyak 90 (sembilan puluh) titik dan paparan penampang berjumlah 10 (sepuluh) penampang. Pada gambar diatas terlihat bahwa kecepatan terendah berada pada penampang 1 sebesar 0,1 m/dt, dan kecepatan tertinggi dicapai pada penampang 9 sebesar 1,7 m/dt. Rerata kecepatan aliran untuk seluruh penampang dan titik yang diukur sebesar 0,635 m/dt. Anomali capaian pengukuran terjadi pada pengukuran ke 19 (sembilan belas) untuk penampang 3, sehingga mempengaruhi luaran kecepatan aliran secara keseluruhan.

3) Perhitungan kecepatan aliran melalui program Matlab

Hasil penelitian kapasitas aliran pada saluran dilakukan pada daerah terjunan Sarwan yang diprediksi memiliki kemampuan cukup baik, pengukuran dilaksanakan pada 10 (sepuluh) titik dengan asumsi titik pengukuran *sample* yang dipilih untuk menjadi dasar perhitungan pada titik pengukuran penampang saluran ke 4 (empat), data hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengukuran kecepatan aliran pada saluran

Sumber: Dokumentasi Penelitian

Va (m/dt)	Vb (m/dt)	Vc (m/dt)	Vd (m/dt)
0,76	0,36	0,16	0,13

Hasil perhitungan menggunakan Matlab dapat diperoleh aliran tercepat pada penampang v7 adalah 0,693 m/dt yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan menggunakan Matlab

Sumber: Dokumentasi Penelitian

v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12	v13	v14
0,556	0,631	0,6647	0,6809	0,6891	0,6926	0,69	0,690	0,6849	0,675	0,6586	0,6300	0,5759	0,4587
2	5	2	8	3	7	3	5	1	1	4	6	2	3

4) Data Putaran

Dari pengukuran di lapangan selama 10 (sepuluh) putaran menggunakan *tachometer*, hasil putaran pada turbin *crossflow* bisa dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Data putaran turbin
Sumber: Dokumentasi Penelitian

Pengukuran ke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rata-rata
rpm	1474	1840	1970	1780	1620	1590	1510	1610	1620	1618	1663,2

B. Perhitungan

Nilai luas penampang saluran didapat dari hasil kali 2 (dua) parameter lebar dan tinggi penampang.

$$A = B \cdot Y$$

$$A = 154 \cdot 11,033 \text{ cm}^2$$

$$A = 0,1699 \text{ m}^2$$

Perhitungan karakteristik turbin *crossflow* menggunakan persamaan-persamaan *Mockmore*.

1) Rasio Kecepatan

Mendapatkan nilai rasio kecepatan turbin *crossflow*.

$$r_{nc} = \frac{n_g}{n_t}$$

$$r_{nc} = \frac{1500}{1663,2}$$

$$r_{nc} = 0,901$$

2) Kecepatan Spesifik

Untuk perhitungan kecepatan spesifik.

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

$$N_s = \frac{1663,2 \cdot \sqrt{7,508}}{10^{5/4}}$$

$$N_s = 256,30 \text{ rpm}$$

3) Head Efektif

Berdasarkan data dilapangan tinggi jatuh air di ukur dengan menggunakan *Global Positioning System* sebesar 10 m.

4) Debit

Kapasitas debit aliran yang diharapkan didasarkan pada perkalian 2 (dua) parameter yaitu; luasan penampang $0,1699 \text{ m}^2$ dan laju kecepatan aliran pada saluran $0,693 \text{ m/dt}$, sehingga besaran debit dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$Q = v \cdot A$$

$$Q = 0,693 \cdot 0,1699$$

$$Q = 0,118$$

5) Kecepatan Satuan

Dengan persamaan 4 dapat menyelesaikan nilai kecepatan satuan pada turbin *crossflow*.

$$Nu = \frac{N \cdot D}{\sqrt{H}}$$

$$Nu = \frac{1663,2 \cdot 20}{\sqrt{10}}$$

$$Nu = 10,51$$

6) Daya Available

Setelah didapat data aliran menjadi faktor pengali untuk mendapatkan daya pada saluran (*daya available*) dan daya keluaran turbin.

$$\begin{aligned}P_a &= \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \\P_a &= 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,118 \cdot 10 \\P_a &= 11564 \text{ W} \\P_a &= \frac{11564}{1000} \text{ W} \\P_a &= 11,56 \text{ kW}\end{aligned}$$

Setelah mengetahui nilai daya pada saluran (daya *available*) maka akan didapat nilai daya keluaran pada turbin.

$$\begin{aligned}P_t &= \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta \\P_t &= 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,118 \cdot 10 \cdot 0,65 \\P_t &= \frac{7516,6}{1000}\end{aligned}$$

$$P_t = 7,5166 \text{ kW}$$

Setelah mengetahui nilai daya turbin yang dapat dibangkitkan maka dapat diprediksi generator yang dapat digunakan adalah jenis generator 1 phasa dengan putaran generator sebesar 1500 rpm dan efisiensi turbin sebesar 65 %. Maka dari nilai *efisiensi* generator yang ada dapat ditentukan nilai daya yang terbangkitkan dari generator.

$$\begin{aligned}P &= P_t \cdot \eta_g \\P &= 7,5166 \text{ kW} \cdot 0,65 \\P &= 4,88 \text{ kW}\end{aligned}$$

C. Analisis

Sisi unjuk kerja turbin *crossflow* dilihat dari performa kecepatan alir fluida dan putaran pada poros turbin. Terjadi kecenderungan kenaikan putaran poros turbin berbanding dengan penambahan kecepatan alir fluida. Fenomena ini cukup signifikan dengan karakteristik kurva turbin *crossflow*. Penyimpangan pola kecenderungan terjadi diakibatkan oleh ketidakseragaman kedalaman dan kontur saluran sehingga menyebabkan turbulensi aliran. Perbaikan unjuk kerja tersebut dapat diatasi dengan memaksimalkan keseragaman tampang basah dan mengoptimalkan saluran pengalih sedimen.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kecenderungan kenaikan putaran poros turbin berbanding dengan penambahan kecepatan alir fluida. Fenomena ini cukup signifikan dengan karakteristik kurva turbin *crossflow*. Indikasi perubahan daya terbangkitkan yang diakibatkan oleh perubahan putaran pada poros turbin yang beragam disebabkan oleh heterogenitas aliran pada saluran pembawa. Karakteristik mekanis menghasilkan putaran sebesar 256,30 rpm dan daya yang terbangkitkan pada turbin sebesar 4,88 kW.

B. Saran

Keterbatasan waktu saat melaksanakan penelitian dan mengakibatkan keterbatasan data yang diolah sehingga kedepannya diharapkan untuk memiliki waktu yang cukup saat melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anjar, S. (2003). Pengembangan turbin airtype crossflow diameter runner 400 mm. *Kedepuitan ilmu pengetahuan teknik, 2*.
- Asrori, K. (2015, Maret 27). *Turbin Air*. Diambil kembali dari This is me: <http://khabibasrori.blogspot.co.id/2015/03/turbin-air.html>
- Dietzel, F. S. (1993). *Turbin Pompa Dan Kompresor*. Jakarta: Erlangga.
- Durmin. (2013). *Studi Perbandingan Perpindahan Panas Menggunakan Metode Beda Hingga dan Crank-Nicholson*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Firmansyah, R., Purnomo, H., & Utomo, T. (2012). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Gunung Sawur unit 3 Lumajang. 2-3.
- Heriyanto, H. (2010). *Rancang Bangun Alat Kontrol dan Proteksi Terintegrasi Berbasis Zelio Logic Smart Relays untuk PLTMH*. Yogyakarta: UGM.
- Luknanto, D. (2012). Bangunan Tenaga Air. *Diktat Kuliah*, 1.
- Mafruddin, & Marsuki. (2017). Pengaruh Bukaannya *Guide Vane* Terhadap Kinerja Turbin Mikrohidro Tipe Crossflow. *Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*, 31-37.
- Mafrudin. (2016). Pembuatan turbin mikrohidro tipe cross-flow sebagai pembangkit listrik di desa bumi nabung timur. *TURBO*, vol.3 no 2 7.
- Pratilastiarso, J., & Hamka, M. (2016). Rancang Bangun PLTMH Menggunakan Turbin Crossflow Berkapasitas 1 kW Untuk Daerah Terpencil Dengan Sumber Air Terbatas., (hal. 1-7). Yogyakarta.
- Susatyo, A., & Subekti, R. A. (2009). Implementasi Teknologi Pembangkit Listrik., (hal. 22-26).
- Taflove, A., & Hagness, S. C. (2005). *Computational electrodynamics: the finite-difference time-domain method*. Artech house.
- Tampubolon, F. A., & Sitepu, T. (2014). Uji Performansi Turbin Pelton Dengan 26 Sudu Pada. *jurnal e-dinamis*, 205.
- Saleh, Z. (2014). Analisis profil. *Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT)2*, 31-36.