

Perencanaan Turbin Air sebagai Penggerak Mula Sistem Pembangkit Tenaga Piko-hidro Model Drum

Asep Neris Bachtiar^{1)*}, Irwan Yusti²⁾, Ahmad Fauzi Pohan³⁾

^{1,2} Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang, Indonesia.

³ Fisika, FMIPA, Universitas Andalas, Indonesia.

asepnerisb@sttind.ac.id^{1)*}; irwanyusti@gmail.com²⁾; ahmadfauzipohan@sci.unand.ac.id³⁾

ABSTRAK

Penelitian survey ini akan menganalisis jenis penggerak mula apa yang tepat untuk diterapkan pada sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum. Jenis penggerak mula yang banyak digunakan pada sistem pembangkit skala kecil antara lain kincir air, turbin *Kaplan*, turbin *Francis*, turbin *Cross-flow*, dan turbin *Pelton*. Masing-masing turbin memiliki kriteria tertentu sesuai dengan potensi *head*, debit air, daya bangkit, dan sistem pembangkit yang direncanakan. Dengan demikian perencanaan pemilihan penggerak mula harus mempertimbangkan banyak aspek dan pembahasannya melibatkan banyak formula yang tepat. Dari empat kriteria pengklasifikasian turbin air didapat informasi bahwa ada dua tipe turbin yang cocok untuk diterapkan pada sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum yaitu turbin *Francis* dan turbin *Cross-flow*. Di antara kedua turbin tersebut, turbin *Cross-flow* lebih tepat untuk diterapkan pada sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum mengingat kemudahan dalam proses fabrikasinya. Turbin *Cross-flow* dapat dibuat di bengkel-bengkel kecil yang ada di masyarakat sementara turbin *Francis* hanya dapat dibuat oleh bengkel tertentu yang memiliki dapur pengecoran logam. Spesifikasi turbin *Cross-flow* hasil analisis ini adalah sebagai berikut, jenis turbin : turbin *Cross-flow*, daya bangkit turbin : 0,4 kW, putaran turbin : 810 rpm, kecepatan spesifik turbin : 163, *head* turbin : 2,5 m, debit air masuk turbin : 20 liter/s, dan diameter runner turbin : 80 mm.

Kata kunci: Turbin air, Cross-flow, Piko-hidro, Penggerak mula.

ABSTRACT

This survey research will analyze what type of prime mover is appropriate to be applied to a drum model pico-hydro power generation system. The types of prime movers that are widely used in small-scale generating systems include water wheels, Kaplan turbines, Francis turbines, Cross-flow turbines and Pelton turbines. Each turbine has certain criteria according to the head potential, water flow, generating power, and planned generating system. Thus, planning for the selection of first movers must consider many aspects and the discussion involves many appropriate formulas. From the four criteria for classifying water turbines, information was obtained that there are two types of turbines that are suitable for application in drum model pico-hydro power generation systems, namely Francis turbines and Cross-flow turbines. Between the two turbines, the Cross-flow turbine is more appropriate to be applied to drum model pico-hydro power generation systems considering the ease of the fabrication process. Cross-flow turbines can be made in small workshops in the community while Francis turbines can only be made by certain workshops that have metal casting kitchens. Cross-flow turbine specifications as a result of this analysis are as follows, turbine type: Cross-flow turbine, turbine power: 0.4 kW, turbine rotation: 810 rpm, turbine specific speed: 163, turbine head: 2.5 m, discharge water entering the turbine: 20 liters/s, and turbine runner diameter: 80 mm.

Keywords: Water turbine, Cross-flow, Pico-hydro, Prime mover.

Copyright (c) 2024 Asep Neris Bachtiar, Irwan Yusti, Ahmad Fauzi Pohan
DOI: <https://doi.org/10.36275/m27r7e32>

PENDAHULUAN

Masa depan negara maju dan negara berkembang di dunia bergantung pada ketersediaan dan keberlanjutan energi [Badullah Safdar et al., 2020]. Dalam waktu dekat

konsumsi energi dunia terus meningkat, Upaya mendapatkan energi merupakan permasalahan mendasar bagi kehidupan manusia [Sascha Thyer and Tony White, 2023]. Perkembangan sistem energi melalui eksploitasi berbagai sumber daya alam seperti batu bara dan minyak bumi telah banyak dilakukan dalam beberapa tahun terakhir, fenomena ini membawa peningkatan polutan berbahaya di atmosfer [Edwin Gallego et al., 2021]. Penggunaan sistem energi terbarukan merupakan alternatif terbaik untuk mencapai pengurangan tingginya biaya penyediaan energi dan emisi karbon [Dendy Adanta et al., 2024]. Banyak tantangan dalam memenuhi kebutuhan listrik oleh masyarakat yang disebabkan oleh peningkatan jumlah penduduk. Selain itu, pengoperasian pembangkit energi konvensional belum mampu memenuhi seluruh kebutuhan konsumen. Dalam hal ini penggunaan energi terbarukan sangat cocok dan ekonomis untuk memenuhi kebutuhan masyarakat [Priyanka Malhan et al., 2021]. Rencana masa depan untuk dapat memenuhi kebutuhan masyarakat dengan 100% energi terbarukan akan terwujud jika melibatkan teknologi baru dalam membangun sistem tenaga listrik [Atmaram Kayastha et al., 2021]. Meskipun permintaan dan tuntutan terhadap energi yang ramah lingkungan terus meningkat, namun masih terdapat permasalahan yang belum terselesaikan terkait dengan ketidakstabilan pasokan listrik dan efisiensi pembangkitan yang relatif rendah [Selaki Ivy Ramarope et al., 2023]. Langkah-langkah penyelesaian yang dapat dilakukan antara lain efisiensi penggunaan energi melalui perluasan sistem penyimpanan energi, sistem manajemen energi dan inovasi pembangkitan energi [Felix A. Ishola et al., 2019]. Dalam beberapa tahun terakhir, sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, hidrogen, air, dan angin menjadi lebih populer karena pemanasan global dan menipisnya bahan bakar fosil [B. Poudel et al., 2021]. Potensi energi air, panas bumi, dan bioenergi cukup besar sehingga pada tahun 2050 target pemanfaatan energi alternatif dapat mencapai sekitar 31% [R.A. Ofosu et al., 2019]. Inovasi sistem pembangkit terus dilakukan oleh para peneliti diantaranya sistem pembangkit yang dibangun lebih sederhana, lebih kompak, tidak berisik dan pemanfaatannya serbaguna [K.Raghavendra Naik et al., 2022]. Sumber energi terbarukan sedang dikaji, terutama potensi energi air skala kecil (piko-hidro dan mikro-hidro) yang banyak tersedia di pedesaan. Pembangkit tenaga air mempunyai beberapa keunggulan sehingga pembangkit tanpa polusi ini menarik untuk diteliti dan dikembangkan [Nikhila Sanampudi et al., 2021]. Perkembangan pembangkit listrik tenaga piko-hidro menarik untuk dikaji karena terdapat tiga mesin fluida yaitu pompa, blower dan kompresor sentrifugal yang dapat diubah menjadi turbin air [Bachtiar A.N. et al., 2020].

Pembangunan pembangkit tenaga air skala kecil khususnya mikro-hidro dan piko-hidro selama ini membutuhkan biaya yang cukup mahal karena sistem pembangkit dibangun secara permanen, sehingga hal ini menjadi salah satu kendala dalam pengembangannya (Bachtiar A.N. et al., 2023). Bangunan sipil sistem pembangkit konvensional ini lebih dominan baik volume kerja maupun bahan yang digunakan saat pembangunan, sehingga biaya pemeliharaan dan investasi relatif lebih mahal. Dengan karakteristik seperti itu menjadi kendala untuk pengembangan dan penyebaran PLTMH di masyarakat (Bachtiar A.N. et al., 2021). Sistem pembangkit tenaga mikro/ piko-hidro model drum adalah solusi mengingat sistem pembangkit dibangun dengan sistem *knock-down* dimana mulai dari saluran buang sampai saluran pengantar dapat diurai menjadi beberapa komponen, dengan demikian pelaksanaan pembangunan dan perakitan sistem pembangkit di lapangan relatif lebih cepat. Investasi sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum relatif lebih murah sehingga dapat mempercepat pengembangan dan penyebaran pembangkit mikro-hidro dan piko-hidro ke depan. Penggerak mula atau *prime mover* adalah komponen sistem pembangkit model drum yang sangat penting karena diantara komponen penggerak mula ini terdapat runner sebagai elemen bergerak yang membangkitkan daya dan putaran. Beban kerja penggerak mula ini sangat berat dibanding komponen-komponen sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum lainnya, dengan

demikian maka kinerja sistem pembangkit ditentukan oleh kinerja turbin tersebut. Jenis *prime mover* atau penggerak mula yang banyak digunakan pada sistem pembangkit skala kecil antara lain kincir air, turbin *Kaplan*, turbin *Francis*, turbin *Cross-flow*, dan turbin *Pelton* (Bachtiar A.N. et al., 2023). Masing masing turbin memiliki kriteria tertentu sesuai dengan potensi *head*, debit air, daya bangkit, dan sistem pembangkit yang direncanakan. Dengan demikian perencanaan pemilihan penggerak mula harus mempertimbangkan banyak aspek dan pembahasannya melibatkan banyak formula yang tepat. Penelitian ini akan menganalisis jenis turbin apa yang tepat untuk diterapkan pada sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum.

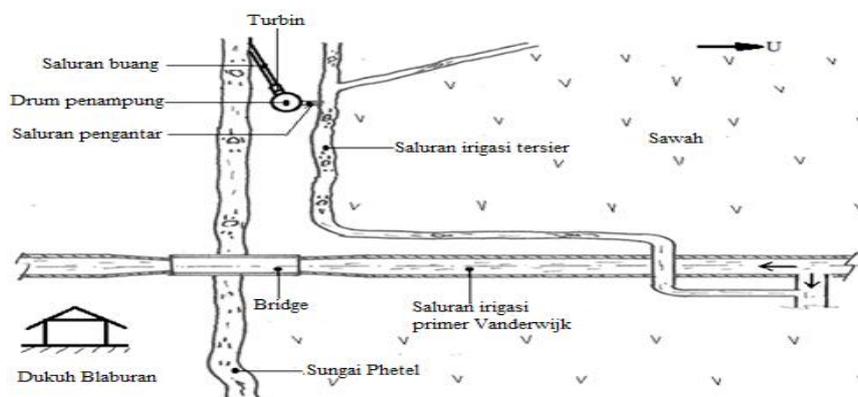
METODE

Jenis penelitian

Jenis penelitian adalah penelitian survey dengan tujuan untuk menghasilkan dokumen rancangan dalam pemilihan jenis turbin yang ideal untuk diterapkan pada sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum. Luaran dari penelitian ini di samping dokumen rancangan pemilihan jenis turbin juga keputusan akhir perihal rekomendasi jenis turbin apa yang ideal untuk diterapkan pada sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum.

Lokasi Penelitian

Variabel lapangan dalam penelitian survey ini adalah potensi debit air (Q) dan potensi *head* atau tinggi jatuh (H). Kedua variabel tersebut diperoleh dari kegiatan survey di lapangan yaitu di Kabupaten Magelang tepatnya di Desa Bligo, Kecamatan Ngluwar. Alhamdulillah satu lokasi pengujian yang sangat strategis telah peneliti dapatkan, debit air yang dibutuhkan bisa diatur, lokasinya cukup mudah dijangkau, dan *head*nya lebih dari 2,5 m. Sumber air yang akan dimanfaatkan berasal dari saluran irigasi tersier yang bersumber dari Saluran Irigasi Primer Vanderwijk. Sekitar 150 m dari hulu saluran irigasi tersier tersebut terdapat lubang pembilas, air bilasan tersebut jatuh ke dasar tebing yang cukup terjal setinggi 4 m. Debit saluran tersier rata-rata 40 L/s, penambahan debit saluran tersier dapat mudah dilakukan dengan cara membuka pintu pengatur pada saluran primer Vanderwijk. Debit air bilasan yang jatuh akan mengalir masuk ke Sungai Phetel yang ada di bawahnya, sedangkan debit air saluran tersier dimanfaatkan untuk pengairan sawah. Gambar 1. berikut menjelaskan sekitar lokasi pengujian sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum berupa semak-semak, pesawahan, dan perkampungan penduduk.



Gambar 1. Lay-out di sekitar lokasi pengujian, Dukuh Blaburan, Desa Bligo, Kecamatan Ngluwar, Kabupaten Magelang
Variabel Penelitian

Variabel teknis yang terkait dengan kegiatan survey adalah debit turbin dan *head* turbin, sementara variabel penelitian lainnya adalah daya bangkit turbin dan putaran turbin dengan variabel penentu akhir adalah kecepatan spesifik (n_s).

Teknis Analisis Data

Klasifikasi Turbin Air

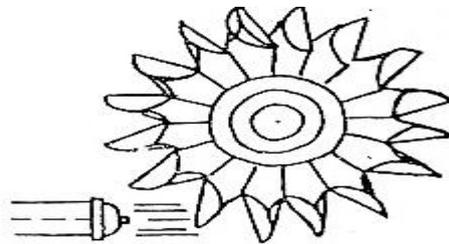
Memperhatikan sumber energi air yang cukup banyak tersedia di pedesaan akhirnya timbullah inovasi para peneliti untuk menghasilkan turbin air yang sesuai dengan potensi *head* dan debit air yang tersedia. Masalah turbin air ternyata menjadi masalah yang menarik untuk terus diteliti. Pengklasifikasian turbin air menjadi pertimbangan penting dalam proses pemilihan turbin yang tepat. Pengklasifikasian turbin air berdasarkan beberapa kriteria, diantaranya berdasarkan kecepatan spesifik, perubahan momentum fluida kerjanya, dan berdasarkan model aliran air masuk runner. (Bisowarno, 1984).

Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Model Aliran Air Masuk Runner

Berdasarkan model aliran air masuk runner, maka turbin air dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu (Bisowarno, 1984),

1. Turbin Aliran Tangensial

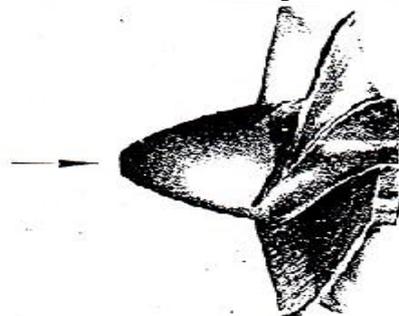
Pada kelompok turbin ini posisi air masuk runner dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros runner mengakibatkan runner berputar, contohnya turbin *Pelton* dan turbin *Cross-flow* seperti ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Model turbin aliran tangensial (L.A. Haimerl, 1960)

2. Turbin Aliran Aksial

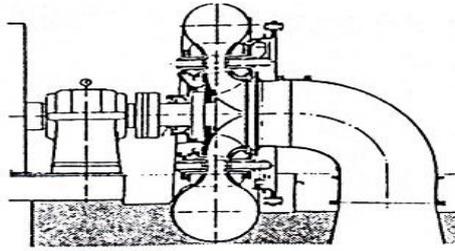
Pada turbin ini, air masuk runner dan keluar runner sejajar dengan poros, turbin *Kaplan* atau turbin *Propeller* adalah salah satu contoh dari tipe turbin ini seperti ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. Model turbin aliran aksial (L.A. Haimerl, 1960)

3. Turbin Aliran Aksial - Radial

Pada turbin ini, air masuk ke dalam runner secara radial dan keluar runner secara aksial sejajar dengan poros turbin. Turbin *Francis* adalah termasuk dari jenis turbin ini seperti ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Model Turbin Aliran Aksial- Radial (L.A. Haimerl, 1960)

Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Perubahan Momentum Fluida Kerjanya.

Menurut klasifikasi ini turbin air dapat dibagi atas dua tipe yaitu (Bisowarno, 1984),

1. Turbin Impuls.

Semua energi potensial air pada turbin ini dirubah menjadi menjadi energi kinetis sebelum air masuk/ menyentuh sudu-sudu runner oleh alat pengubah yang disebut nozel. Conoh turbin yang termasuk jenis turbin impuls antara lain turbin *Pelton* dan turbin *Cross-flow*.

2. Turbin Reaksi.

Pada turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran runner disebabkan oleh perubahan momentum oleh air. Yang termasuk jenis turbin reaksi diantaranya turbin *Francis*, turbin *Kaplan*, dan turbin *Propeller*.

Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Kecepatan Spesifik (n_s)

Yang dimaksud dengan kecepatan spesifik dari suatu turbin ialah kecepatan putaran runner turbin yang dapat menghasilkan daya efektif 1 BHP untuk setiap tinggi jatuh 1 meter atau dengan persamaan (1) dapat ditulis (F.N. Madi, 1985),

$$n_s = n \cdot N_t^{1/2} / H_t^{5/4} \dots\dots\dots (1)$$

- Diketahui, n_s = kecepatan spesifik turbin
- n = kecepatan putaran turbin rpm
- H_t = head efektif turbin..... m
- N_t = daya bangkit turbin..... kW

Daya bangkit turbin dapat diketahui dengan persamaan (2) (F.N. Madi, 1985) yaitu,

$$N_t = \rho_{air} \times g \times Q_t \times H_t \times \eta_t \dots\dots\dots (2)$$

- Diketahui, ρ_{air} = rapat massa air = 1000 kg/m³
- g = percepatan gravitasi = 9,81 m/s²
- Q_t = debit air masuk turbin = 20 lt/s = 0,02 m³/s
- H_t = head turbin = 2,5 m
- η_t = efisiensi turbin dengan asumsi = 75%

Sementara, putaran turbin (n) dapat diketahui melalui persamaan (3) (F.N. Madi, 1985) yaitu,

$$U_o = \pi \times D_o \times n \dots\dots\dots(3)$$

Diketahui, U_o = kecepatan keliling diameter luar runner dan D_o = diameter luar runner turbin. Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik masing-masing, Tabel 1. berikut menjelaskan batasan kecepatan spesifik untuk beberapa turbin konvensional (F.N. Madi, 1985).

Tabel 1. Kecepatan spesifik turbin konvensional

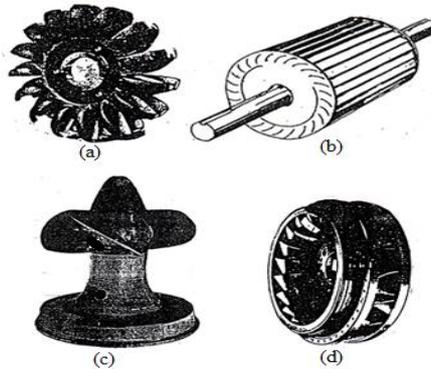
No	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik
1	<i>Pelton</i> dan kincir air	10 - 35
2	<i>Francis</i>	60 - 300
3	<i>Cross-flow</i>	70 - 180
4	<i>Kaplan</i> dan <i>propeller</i>	300 - 1000

Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Head dan Debit.

Dalam hal ini pengoperasian turbin air disesuaikan dengan potensi *head* dan debit air yang ada yaitu (Bisowarno, 1984),

1. *Head* yang rendah yaitu dibawah 40 m tetapi debit air yang besar, maka turbin *Kaplan* atau turbin *Propeller* cocok digunakan untuk potensi seperti ini.
2. *Head* yang sedang antara 30 sampai 200 m dan debit relatif cukup, maka untuk potensi seperti ini gunakanlah turbin *Francis* atau turbin *Cross-flow*.
3. *Head* yang tinggi yakni di atas 200 meter dan debit sedang, maka gunakanlah turbin *impuls* jenis *Pelton*.

Gambar 5. menjelaskan bentuk konstruksi empat macam runner turbin konvensional.



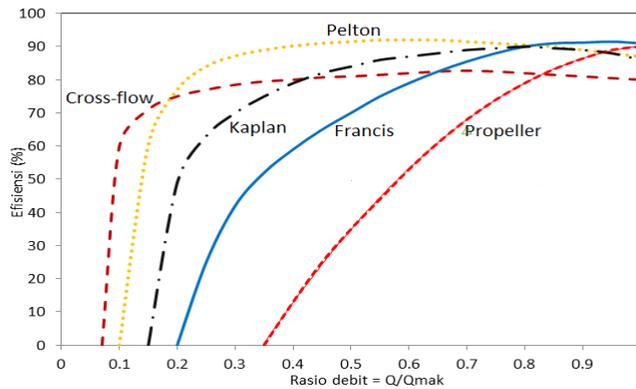
Gambar 5. Empat macam runner turbin konvensional : turbin *Pelton* (a), turbin *Cross-flow* (b), turbin *Propeller* (c), dan turbin *Francis* (d) (L.A. Haimerl, 1960)

Karakteristik Penggerak Mula Turbin *Cross-flow*

Penggerak mula turbin *Cross-flow* memiliki karakteristik yang spesifik dibanding jenis turbin air lainnya diantaranya ialah,

2.2.2.1 Keunggulan Turbin *Cross-flow*

Turbin *Cross-flow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse turbine*). Prinsip kerja turbin *Cross-flow* pertama kali ditemukan pada tahun 1903 oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell. Kemudian turbin *Cross-flow* ini dikembangkan dan dipatenkan oleh Prof. Donat Banki dari Jerman sehingga turbin ini diberi nama turbin *Banki* kadang disebut juga turbin *Michell-Ossberger* (L.A. Haimerl, 1960). Dibandingkan dengan kincir air maupun jenis turbin mikro/ piko-hidro lainnya, maka pemakaian jenis turbin *Cross-flow* lebih menguntungkan. Pembuatan turbin *Cross-flow* untuk daya yang sama dapat menghemat biaya sampai 50% dibanding pembuatan kincir air. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran turbin *Cross-flow* lebih kompak dan lebih kecil dibanding kincir air. Diameter roda jalan atau runner kincir air dapat mencapai ukuran 2 meter ke atas, sementara diameter runner turbin *Cross-flow* dapat dibuat 20 cm saja sehingga komponen dan bahan-bahan yang dibutuhkan jauh lebih sedikit, dengan demikian biaya pembuatan turbin *Cross-flow* bisa lebih murah. Keunggulan lainnya dari turbin *Cross-flow* ialah, efisiensinya yang lebih tinggi dibanding efisiensi kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin *Ossberger* Jerman yang menyimpulkan bahwa, daya guna atau efisiensi turbin *Cross-flow* mencapai 82% sementara daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70% (L.A. Haimerl, 1960). Efisiensi turbin *Cross-flow* yang tinggi terjadi karena pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama pada saat air mulai masuk runner terjadi tumbukan air pada sudu-sudu, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan runner. Terjadinya energi air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal kinerjanya yang tinggi dan kesederhanaan pada sistem pengeluaran air dari runner. Kurva pada Gambar 6. menjelaskan perbandingan kinerja efisiensi turbin *Cross-flow* dengan beberapa turbin konvensional.

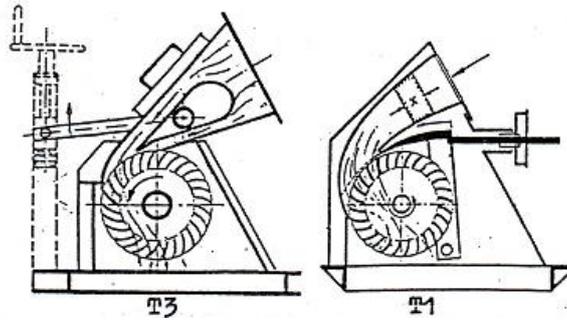


Gambar 6. Kurva efisiensi turbin konvensional dengan rasio debit sebagai variabel (L.A. Haimerl, 1960)

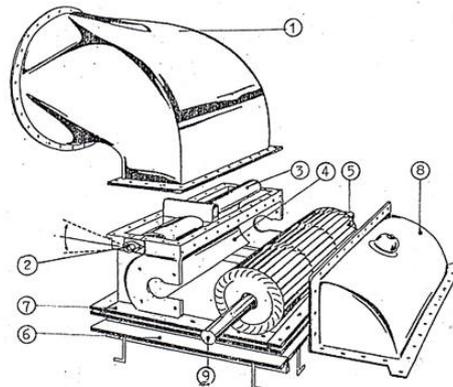
Dari Gambar 6. dijelaskan hubungan pengaruh variasi rasio debit terhadap efisiensi turbin melalui pengaturan pembukaan katup yang dinyatakan dalam perbandingan debit operasional terhadap debit maksimumnya. Untuk turbin *Cross-flow* pada posisi $Q/Q_{mak} = 1$ menunjukkan efisiensi yang cukup tinggi sekitar 80%, sementara itu pada rentang rasio debit 0,2 sampai 1,0 menghasilkan efisiensi yang relatif konstan.

Turbin *Cross-flow* lebih sederhana jika dibandingkan dengan jenis turbin lainnya. Sudu-sudu turbin *Pelton* misalnya, bentuknya sangat pelik sehingga pembuatannya harus dituang melalui proses pengecoran logam. Demikian juga runner turbin *Francis*, *Kaplan*, dan *Propeller* pembuatannya harus melalui proses pengecoran logam. Sementara, runner turbin *Cross-flow* dapat dibuat dari material baja sedang (*mild steel*) seperti plat baja atau poros baja ST.37, dibentuk dingin kemudian dirakit dengan konstruksi las. Demikian juga komponen-komponen lainnya dari turbin ini semuanya dapat dibuat di bengkel-bengkel umum dengan peralatan pokok mesin las listrik, mesin bor, mesin gerinda meja, mesin bubut, dan peralatan kerja bangku, itu sudah cukup. Dari kesederhanaannya itulah maka turbin *Cross-flow* dapat dikelompokkan sebagai teknologi tepat guna yang pengembangannya di masyarakat memiliki prospek cerah karena pengaruh keunggulannya sesuai dengan pengetahuan, kemampuan ekonomi, dan harapan masyarakat desa. Atas dasar beberapa keunggulan turbin *Cross-flow* itulah, maka sampai saat ini pemakaiannya di beberapa negara terutama di Jerman sudah tersebar luas, bahkan yang dibuat oleh pabrik turbin *Ossberger* sudah mencapai 5.000 unit lebih, sebagaimana diungkapkan oleh Haimerl (1960) dalam suatu artikelnya sebagai berikut : “*Today, numerous turbines throughout the world are operating on the Cross-flow principle, and most of these (more than 5.000 so far) have been built by Ossberger*”. Selanjutnya L.A. Haimerl (1960) menyatakan pula bahwa setiap unit dari turbin ini dapat dibuat sampai kekuatan kurang lebih 750 kW, dapat dipasang pada ketinggian jatuh antara 01 m sampai 200 meter dengan debit air sampai 3 m³/s, cocok difungsikan sebagai pembangkit listrik, penggerak instalasi pompa, mesin pertanian, bengkel dan lain sebagainya.

Turbin *Cross-flow* secara umum dapat dibagi dalam dua tipe yakni tipe T1 dan tipe T3. Tipe T1 yaitu turbin *Cross-flow* kecepatan rendah (< 500 rpm) dan tipe T3, yaitu turbin *Cross-flow* kecepatan tinggi (≥ 500 rpm) seperti konstruksinya ditunjukkan Gambar 7. dan komponen rakitan turbin *Cross-flow* seperti ditunjukkan Gambar 8.



Gambar 7. Dua tipe turbin *Cross-flow* (L.A. Haimerl, 1960)

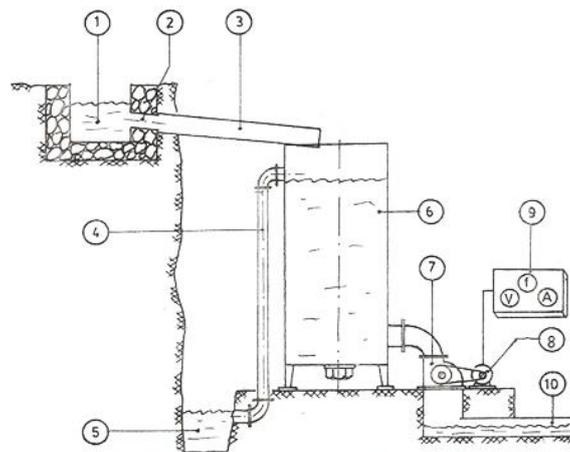


- | | |
|----------------|-----------------|
| 1. Elbow | 6. Rangka |
| 2. Poros katup | 7. Rumah turbin |
| 3. Katup | 8. Tutup turbin |
| 4. Nozel | 9. Poros runner |
| 5. Runner | |

Gambar 8. Komponen rakitan turbin *Cross-flow* (L.A. Haimerl, 1960)

Hipotesis

Memperhatikan kajian pustaka dan teknis analisis data di atas, maka peneliti terinspirasi untuk segera dapat menentukan penggerak mula yang ideal untuk diterapkan pada sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum sesuai dengan prinsip umum penggerak mula turbin air. Dengan demikian tujuan akhir untuk mewujudkan sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum yang paripurna seperti ditunjukkan Gambar 9. dan Gambar 10. dapat tercapai dengan baik.



- | | |
|----------------------|--------------------------|
| 1. Saluran irigasi | 6. Drum penampung |
| 2. Lubang pembilas | 7. Penggerak mula turbin |
| 3. Saluran pengantar | 8. Generator |
| 4. Saluran limbah | 9. Panel kontrol |
| 5. Selokan penampung | 10. Saluran buang |

Gambar 9. Komponen sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum



Gambar 10. Sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum di lapangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dasar-dasar Perencanaan.

Acuan awal yang menjadi dasar perencanaan/ pemilihan turbin air adalah debit air masuk turbin, *head* turbin, dan efisiensi turbin dengan kuantitas sebagai berikut,

$$Q_t = \text{debit turbin} = 20 \text{ liter/s} = 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_t = \text{head turbin} = 2,5 \text{ m}$$

$$\eta_t = \text{efisiensi turbin dengan asumsi} = 75\%$$

Daya Bangkit Turbin (N_t)

Daya yang dibangkitkan turbin dapat diketahui dengan persamaan (2) yaitu,

$$N_t = \rho_{\text{air}} \times g \times Q_t \times H_t \times \eta_t$$

$$N_t = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,02 \text{ m}^3/\text{s} \times 2,5 \text{ m} \times 0,75$$

$$N_t = 400 \text{ N} \cdot \text{m/s}$$

$$N_t = 400 \text{ joule/s}$$

$$N_t = 400 \text{ Watt}$$

$$N_t = 0,4 \text{ kW}$$

Pemilihan Jenis Turbin

Untuk mendapatkan daya guna atau efisiensi penggerak mula yang maksimum, kita harus memilih jenis penggerak mula turbin yang sesuai dengan data awal yang merupakan acuan titik tolak pemilihan penggerak mula yang benar. Dasar-dasar pemilihan itu diantaranya harus sesuai dengan tinggi jatuh atau *head*, sesuai dengan debit yang tersedia, dan sesuai pula dengan kecepatan spesifik (n_s) yang didapatkan dari perhitungan dengan rumus (1). Variabel pengaruh terhadap nilai kecepatan spesifik dijelaskan pada uraian berikut,

1. Kecepatan air masuk runner (V_r)

Dalam hal ini, kecepatan air masuk runner (V_r) sama dengan kecepatan air keluar dari nozel (V_n) yang dapat diketahui dengan persamaan (4) dan (5) (F.N. Madi) yaitu,

$$V_r = V_n \dots\dots\dots(4)$$

$$V_r = K_n \times (2 \times g \times H_t)^{1/2} \dots\dots\dots(5)$$

Diketahui, $K_n =$ koefisien tahanan katup $= 0,96$ (F. N. Madi, 1985)

$g =$ percepatan gravitasi bumi $= 9,81 \text{ m/s}^2$

$H_t =$ head turbin $= 2,5 \text{ m}$, maka

$$V_r = 0,96 \times (2 \times 9,81 \times 2,5)^{1/2} \text{ m/s}$$

$$V_r = 6,8 \text{ m/s}$$

2. Kecepatan keliling diameter luar runner (U_o)

Kecepatan keliling diameter luar runner (U_o) dapat ditentukan dari persamaan (6) [F. N. Madi, 1985] yaitu,

$$U_o = 0,5 \times V_r \dots\dots\dots(6)$$

Hasil percobaan para ahli turbin, mereka menyimpulkan bahwa dengan menentukan harga $U_o = 0,5 \times V_r$ akan mendapatkan efisiensi turbin yang paling besar, dengan demikian maka,

$$U_o = 0,5 \times 6,8 \text{ m/s}$$

$$U_o = 3,4 \text{ m/s}$$

3. Diameter Runner Turbin

Direncanakan diameter luar runner turbin adalah (D_o) $= 80 \text{ mm}$, maka putaran turbin (n) dapat diketahui melalui persamaan (3) yaitu,

$$U_o = \pi \times D_o \times n$$

$$n = U_o / \pi \times D_o$$

$$n = 3,4 \text{ m/s} / (3,14 \times 0,08 \text{ m})$$

$$n = 13,5 \text{ putaran/s}$$

$$n = 810 \text{ rpm}$$

Selanjutnya, kecepatan spesifik turbin dapat diketahui dengan persamaan (1) yaitu,

$$n_s = n \times N_t^{1/2} / H_t^{5/4}$$

$$n_s = 810 \times 0,4^{1/2} / 2,5^{5/4}$$

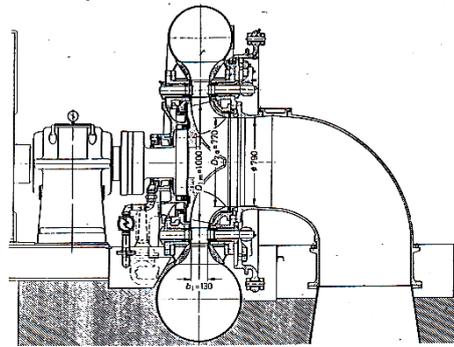
$$n_s = 512 / 3,144$$

$$n_s = 163$$

Kecepatan spesifik turbin diketahui adalah $n_s = 163$, sesuai dengan Tabel 1. tentang kecepatan spesifik turbin konvensional, maka diidentifikasi jenis penggerak mula turbin yang tepat untuk dipilih ialah turbin *Francis* atau turbin *Cross-flow*. Untuk dapat memilih dengan tepat salah satu di antara kedua jenis turbin tersebut diperlukan alasan-alasan yang prinsip, untuk itu perlu diperkenalkan terlebih dahulu spesifikasi kedua turbin.

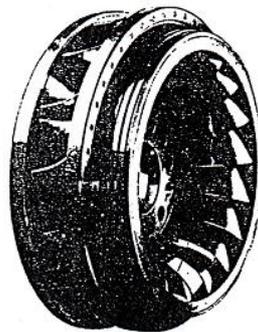
4. Karakteristik Turbin Francis

Turbin *Francis* atau disebut juga *Radial Flow Turbine* adalah turbin reaksi yang dapat dioperasikan untuk debit dan head yang tinggi maupun rendah. Untuk menimbulkan tenaga/tekanan yang besar, digunakan saluran tertutup yang disebut pipa pesat. Turbin air ini terdiri dari dua bagian pokok, yaitu bagian yang diam atau stator dan bagian yang berputar atau rotor. Stator yang merupakan rumah turbin itu sendiri berupa pipa melingkar berbentuk rumah siput/keong. Pada rumah turbin ini terpasang sudu-sudu pengarah yang berfungsi mengarahkan dan mengantarkan air dari pipa pesat ke dalam roda jalan atau runner. Sudu-sudu pengarah ini dapat diatur kedudukannya sehingga celah antara sudu dapat membesar dan menyempit bahkan dapat berimpitan satu sama lain. Dalam keadaan sudu-sudu pengantar tersebut berimpitan, maka aliran air terhenti dan turbinpun berhenti berputar. Bila sudu-sudu pengantar tersebut membuka penuh, maka turbin akan menghasilkan daya yang maksimum. Gambar 11. lebih memperjelas konstruksi Turbin *Francis* yang dimaksud.



Gambar 11. Instalasi turbin *Francis* (Dietzel, 1988)

Pembukaan sudu-sudu pengarah ini dikerjakan secara otomatis oleh sebuah alat pengatur kecepatan yang juga bertugas mengatur besar kecilnya daya yang dibangkitkan turbin dengan cara mengatur pembukaan sudu-sudu pengarah tersebut. Alat pengatur tersebut biasa disebut governor. Gambar 12. memperlihatkan bentuk runner turbin *Francis* yang dapat dibuat dengan proses pengecoran logam.



Gambar 12. Runner turbin *Francis* (Dietzel, 1988)

5. Perbandingan Turbin *Francis* dengan Turbin *Cross-flow*

Tabel 2. berikut membandingkan spesifikasi utama dari kedua jenis turbin. Pada tabel tersebut ditunjukkan bahwa turbin *Cross-flow* lebih sesuai digunakan untuk pembangkit dengan daya bangkit yang relatif kecil. Di samping itu turbin *Cross-flow* memiliki jangkauan operasi *head* yang bervariasi. Untuk kasus turbin dengan daya yang dibangkitkan relatif kecil ($N_t = 0,4 \text{ kW}$) sedang tinggi jatuh yang ada jauh dibawah 200 meter dan debit air masuk turbin relatif kecil ($Q = 20 \text{ liter/s}$), maka diputuskan dipilih turbin *Cross-flow* sebagai penggerak mula sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum. Dengan terpilihnya turbin *Cross-flow* sebagai penggerak mula sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum akan didapat beberapa keuntungan, disamping proses pembuatannya relatif lebih mudah juga biaya produksi relatif lebih murah. Dengan demikian kebijaksanaan ini akan memberi kesempatan kepada banyak pihak khususnya masyarakat desa untuk membangun sendiri turbin *Cross-flow* dan menerapkannya pada sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum.

Tabel 2. Perbandingan spesifikasi turbin *Francis* dan turbin *Cross-flow*

No	Spesifikasi	Turbin <i>Francis</i>	Turbin <i>Cross-flow</i>
1	Penggunaan secara umum	Daya bangkit besar (> 750 kW)	Daya bangkit relatif kecil (< 750 kW)
2	Proses fabrikasi	Rumit	Sederhana
3	Fabrikasi runner	Pengecoran logam	Dirakit sambungan las
4	<i>Head</i> (m)	30 - 200	1 - 200

Hasil analisis perencanaan dan pemilihan turbin air untuk diterapkan pada sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum adalah dapat disimpulkan sebagai berikut,

1. Jenis turbin : turbin *Cross-flow*
2. Daya turbin : 0,4 kW
3. Putaran turbin : 810 rpm
4. Kecepatan spesifik : 163
5. *Head* turbin : 2,5 m
6. Debit turbin : 20 liter/s
7. Diameter runner : 80 mm

SIMPULAN

Penelitian survey ini menghasilkan dokumen proses pemilihan turbin air untuk diterapkan pada sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum, dari empat kriteria pengklasifikasian turbin air didapat informasi bahwa ada dua tipe turbin yang cocok untuk diterapkan pada sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum yaitu turbin Francis dan turbin *Cross-flow*. Di antara kedua turbin tersebut, turbin *Cross-flow* lebih tepat untuk diterapkan pada sistem pembangkit tenaga piko-hidro model drum mengingat kemudahan dalam proses fabrikasinya. Turbin *Cross-flow* dapat dibuat di bengkel-bengkel kecil yang ada di masyarakat sementara turbin *Francis* hanya dapat dibuat oleh bengkel tertentu yang memiliki dapur pengecoran logam. pembangkit tenaga piko-hidro model drum identik dengan masyarakat desa dengan pendapatan yang sederhana, maka pengadaan turbin *Cross-flow* dapat dilakukan oleh masyarakat desa sendiri melalui bantuan bengkel las yang ada di sekitar tempat tinggalnya. Spesifikasi turbin *Cross-flow* hasil analisis adalah sebagai berikut, jenis turbin : turbin *Cross-flow*, daya turbin : 0,4 kW, putaran turbin : 810 rpm, kecepatan spesifik turbin : 163, *head* turbin : 2,5 m, debit air masuk turbin : 20 liter/s, dan diameter runner turbin : 80 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmaram Kayastha, Biraj Singh Thapa, Bhola Thapa, and Young Ho Lee , “Experimental investigation for R&D in sediment laden pico hydraulic francis turbine”, *Renewable Energy*, Vol. 155. August 2020.
- Bachtiar A.N., Pohan A.F., R. Ervil, and Nofriadiman, “Feasibility Study on the Development of a Pico-hydro Power Plant for Village Electricity Using a Centrifugal Pump as Turbine (PAT) Prime Mover”, *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology (IJASEIT)*, Vol. 13, 2023.
- Bachtiar A.N., Pohan A.F., R. Ervil, and Nofriadiman, “Effect of Rotation and Constant Head Variation on Performance of three sizes of Pum-as-turbine (PAT)”, *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, Vol. 13, 2023.
- Bachtiar A.N., Pohan A.F., Santosa, Berd I., and Dinata U.G.S, “Effect of Geometric Differences Impeller Blades on Performance Blower-as-Turbine (BAT) on Pico-Hydro Scale”, *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, Vol. 11, 2021.
- Bachtiar A.N., Pohan A.F., Ervil R., Santosa, Berd I., and Dinata U.G.S, “Performance of water wheel knock down system (W2KDS) for rice milling drive”, *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology (IJASEIT)*, vol. 11, 2020.
- Badullah Safdar, Sara Sultan, Hamza Ahmad Raza, Muhammad Umer, and Majid Ali , “Empirical analysis of turbine and generator efficiency of a pico hydro system”, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 37, 2020.
- Bisowarno, “Serba Guna Tenaga Air”, Terate, Bandung. 1984.
- B. Poudel, J. Maley, K. Parton, and M. Morrison, “Factors influencing the sustainability of micro-hydro schemes in Nepal”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 151, 2021.

- Dendy Adanta, DewiPuspita Sari, Imam Syofii, Kaprawi Sahim, Erie Martides, Yadi Radiash, Dalmasius, Ganjar Subagio, Yusuf Suryo Utomo, Abdul Rosyid, and Ahmad Fudholi, "Pico scale undershot waterwheel for ultra-low-head: Analytical, experimental and CFD method", *Renewable Energy Focus*, Vol. 48, 2024.
- Dietzel, F., "Turbin, Pompa Dan Kompresor", Erlangga, Jakarta.1988.
- Edwin Gallego, Ainhoa Rubio, Clemente, Juan Pineda, Laura Velásquez, and Edwin Chica, "Experimental analysis on the performance of a pico-hydro Turgo turbine", *Journal of King Saud University - Engir Sciences*, Vol. 33, 2021.
- Felix A. Ishola, Joseph Azeta, Gecubi, Obafemi O. Olatunji, and Festus Oyawale, "Simulation for Material Selection for a Pico Pelton Turbine's Wheel and Buckets", *Procedia Manufacturing*, Vol. 35, 2019.
- F. M. White, "Fluid Mechanics", New York: McGraw-Hill Inc., 1979.
- F. N. Madi, "Hydraulic and Fluid Mechanics", 2nd ed., vol. 1. Eurasia Publishing House Ltd, 1985.
- L. A. Haimperl, "The Cross-flow Turbine", vol. 12, no. 1, *Water Power*. 1960.
- Nikhila Sanampudi, P. Kanakasabapathy, "Integrated voltage control and frequency regulation for stand-alone micro-hydro power plant", *Procedia Manufacturing*, Vol. 46, 2021.
- Priyanka Malhan, and Monika Mittal, "Evaluation of different statistical techniques for developing cost correlations of micro hydro power plants", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 43, 2021.
- R.A. Ofosu, K.K. Kaberere, J.N. Nderu, and S.I. Kamau, "Design of BFA-optimized fuzzy electronic load controller for micro hydro power plants", *Energy for Sustainable Development*, Vol. 51, 2019.
- Raghavendra Naik, Bhooshan Rajpathak, and C. Sadanala, "Power management scheme of DC micro-grid integrated with photovoltaic - Battery - Micro hydro power plant", *Journal of Power Sources*. Vol. 525, 2022.
- Sascha Thyer and Tony White, "Energy recovery in a commercial building using pico-hydropower turbines: An Australian case study", *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, Vol. 9, 2023.
- Selaki Ivy Ramarope, Olawale Samuel Fatoba, and Tien-Chien Jen, "Hydro-power generation forecast in South Africa based on Machine Learning (ML) models, *Scientific African*", Vol. 22, 2023.