

Rancang bangun *flywheel* bahan beton sebagai komponen penggerak mula turbin *cross-flow* untuk pembangkit skala piko-hidro

Asep Neris Bachtiar*

Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang. Jl. Hamka No. 121 Padang, Indonesia.

asepnerisb@sttind.ac.id*

*Penulis Koresponden

ABSTRAK

Flywheel adalah salah satu komponen penting dari sistem permesinan khususnya pada sistem turbin *cross-flow*. *Flywheel* yang digunakan di masyarakat dan banyak dijual di pasaran adalah *flywheel* konvensional dari bahan baja tuang yang dibuat melalui proses pengecoran logam sehingga harganya relatif mahal. Penelitian eksperimen ini bertujuan untuk mengidentifikasi *flywheel* bahan beton sebagai alternatif pengganti *flywheel* konvensional karena bahan bakunya banyak dijual di pasaran dengan harga relatif murah. Proses pembuatannya relatif mudah yang dapat dikerjakan oleh bengkel-bengkel kecil di masyarakat. Hasil pengujian menunjukkan, harga per unit *flywheel* bahan beton 40% lebih murah dibanding *flywheel* konvensional. Biaya pengadaan *flywheel* bahan beton yang murah sangat cocok untuk diterapkan pada sistem turbin air pembangkit skala piko-hidro maupun mikro-hidro. Hal itu sangat beralasan mengingat turbin air skala piko-hidro maupun mikro-hidro banyak dioperasikan di pedesaan terpencil yang belum memiliki jaringan listrik yang identik dengan kemampuan ekonomi masyarakatnya yang lemah. Hasil pengujian, diketahui kemampuan *flywheel* bahan beton ini mampu menyimpan energi yang berasal dari daya bangkit turbin secara normal sehingga turbin dapat beroperasi maksimal. Daya bangkit dan putaran turbin relatif stabil dan getaran yang terjadi dalam batas normal, *Flywheel* bahan beton menjadi solusi dan menjadi penyemangat sehingga masyarakat akan termotivasi untuk dapat membangun pembangkit listrik sendiri dengan memanfaatkan potensi air yang ada di lingkungannya walaupun biaya yang dimiliki masyarakat relatif terbatas.

Kata kunci: *Flywheel*, Turbin air, *Cross-flow*, Piko-hidro.

ABSTRACT

Flywheel is one of the important components of the machining system, especially in *cross-flow* turbine systems. The *flywheels* that are used in the community and are widely sold in the market are conventional *flywheels* made of cast steel made through a metal casting process, so the price is relatively expensive. This experimental study aims to identify *flywheels* made of concrete as an alternative to conventional *flywheels* because the raw materials are widely sold in the market at relatively cheap prices. The manufacturing process is relatively easy, which can be done by small workshops in the community. The test results show that the price per unit of *flywheel* made of concrete is 40% cheaper than conventional *flywheels*. The low cost of procuring a *flywheel* made of concrete is very suitable to be applied to water turbine systems for pico-hydro and micro-hydro power plants. This is very reasonable considering that many pico-hydro and micro-hydro scale water turbines are operated in remote villages that do not yet have an electricity network which is synonymous with the weak economic capacity of the people. From the test results, it is known that the *flywheel* of this concrete material is able to store energy originating from the turbine's normal power generation so that the turbine can operate optimally.

Keywords: *Flywheel*, Water turbine, *Cross-flow*, Pico-hydro

diunggah: Juni 2023, direvisi: Juni 2023, diterima: Juni 2023, dipublikasi: Juni 2023

Copyright (c) 2023 Asep Neris Bachtiar
This is an open access article under the CC-BY license

PENDAHULUAN

Turbin *cross-flow* adalah sejenis turbin impuls yang dioperasikan di bawah kecepatan aliran dan head rendah (Du J. et al., 2017). Pada turbin *cross-flow* konvensional, air mengalir melalui pipa pesat dan runner turbin terpasang di ujung pipa pesat tersebut. [Sammartano V. et al., 2020]. Sejumlah penelitian telah dilakukan secara simulasi atau eksperimental untuk menemukan parameter optimal guna meningkatkan kinerja turbin *cross-flow* (Bouabdellah A. et al., 2021, Eiichi N. et al., 2022, Acharya N. et al., 2020). Turbin *cross-flow* telah banyak dioperasikan masyarakat pada pembangkit listrik tenaga air mikro-hidro dan piko-hidro, sehingga teknologi turbin *cross-flow* sudah sangat matang (Hannah R. Et al., 2022). 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 oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama Turbin Banki kadang disebut juga Turbin Michell-Ossberger (Haimerl, L.A., 1960). Pemakaian jenis turbin *cross-flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin piko/ mikro-hidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50 % dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran turbin *cross-flow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air. Dari beberapa kelebihan 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. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin *Ossberger* Jerman menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70 % sedang efisiensi turbin *cross-flow* mencapai 82 % (Haimerl, L.A., 1960). Tingginya efisiensi *Turbin cross-flow* ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu pada saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan *runner*. Adanya kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitasnya yang tinggi dan kesederhanaan pada sistem pengeluaran air dari *runner*.

Salah satu dari komponen penggerak mula turbin *cross-flow* adalah *flywheel*. *Flywheel* berbentuk sebuah roda dengan diameter, tebal, dan berat tertentu yang terpasang kuat pada ujung poros turbin air melalui sambungan pasak dan baut-mur. *Flywheel* berfungsi untuk menyediakan energi yang terus menerus dalam sistem turbin terutama pada saat turbin air tidak stabil atau tidak kontinyu dalam membangkitkan torsi. Dalam sistem turbin ini, *flywheel* akan menyimpan energi ketika turbin membangkitkan torsi, dan melepaskan energi yang tersimpan di dalamnya ketika turbin tidak maksimal menghasilkan torsi. *Flywheel* memiliki spesifikasi dimensi dan berat yang lebih menonjol dibanding dengan komponen-komponen turbin lainnya. Agar karakteristik seperti itu dipenuhi, maka *flywheel* konvensional dibuat dari baja tuang melalui proses pengecoran logam sehingga tidak bisa dibuat oleh masyarakat umum maupun bengkel-bengkel kecil yang umumnya tidak memiliki dapur pengecoran logam.

Selanjutnya, penelitian eksperimen ini bertujuan untuk mengatasi permasalahan pengadaan komponen turbin *cross-flow* khususnya *flywheel* yang harganya di pasaran relatif mahal. Menghadapi tantangan seperti itu, maka peneliti berhasil menggagas pembuatan *flywheel* melalui proses pengecoran beton. Keunggulan dari *flywheel* beton ini ialah harganya yang jauh lebih murah dibanding *flywheel* konvensional, dapat dibuat oleh bengkel-bengkel kecil, ukuran diameter, tebal dan beratnya dapat disesuaikan dan dirancang sendiri. Keunggulan lainnya ialah, bahan baku untuk pembuatan *flywheel* beton ini mudah diperoleh di pasaran dengan harga yang relatif murah diantaranya pipa baja, busung poros, besi beton, pasir, koral, semen, dan air. Konsep *flywheel* alternatif ini dapat membantu memudahkan dan meringankan biaya investasi pembangunan pembangkit listrik tenaga piko-hidro maupun

mikro-hidro. Pengadaan *flywheel* yang mudah dan murah akan memotivasi masyarakat untuk melengkapi penggerak mulanya dengan *flywheel* sehingga turbin air dapat beroperasi maksimal.

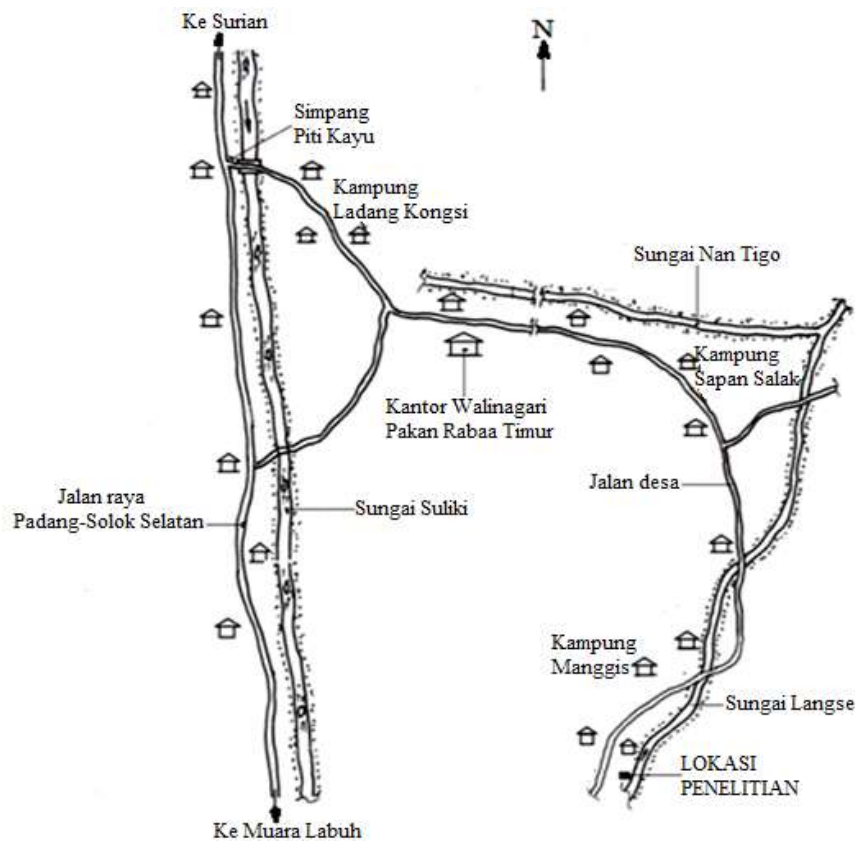
METODE

Jenis penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen untuk menghasilkan metode atau proses pembuatan hingga dapat mewujudkan *flywheel* alternatif yang dapat dibuat sendiri oleh masyarakat sehingga akan memudahkan dan meringankan pembiayaan dalam pengadaannya. Variabel teknis yang terkait dengan penelitian eksperimen ini diantaranya adalah potensi debit air, tinggi jatuh atau *head*, daya bangkit turbin, putaran turbin, dan spesifikasi alat dan bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan *flywheel*.

Lokasi penelitian

Lokasi penelitian terletak di Desa Mamping yang berbatasan dengan Desa Manggis di Kecamatan Pakan Rabaa Timur, Kabupaten Solok Selatan, Provinsi Sumatera Barat pada posisi koordinat 101,06⁰ BT dan 1,509⁰ SL seperti terlihat pada Gambar 1. Lokasi penelitian dibangun di tepi Sungai Langse, sebuah anak sungai yang mengalir melalui Desa Mamping yang digunakan masyarakat untuk mengairi sawah, mandi, dan mencuci seperti terlihat pada Gambar 2. Debit air aliran Sungai Langse cukup besar, pada musim kemarau debitnya 150 liter/s, kemiringan dasar saluran sekitar 10⁰. Airnya yang bersih sangat mendukung untuk digunakan sebagai fluida penggerak turbin air. Lokasi pembangkit listrik piko-hidro akan memanfaatkan lokasi kincir air yang sudah empat tahun rusak dan tidak beroperasi. Bangunan yang sudah ada di sekitar lokasi pembangkit adalah bendungan dan saluran pengantar atau *head race* sepanjang 90 m. Areal di sekitar lokasi pembangkit berupa perbukitan yang sebagian besar merupakan hutan dan persawahan, selebihnya berupa ladang dan perkampungan penduduk.



Gambar 1. Peta yang menunjukkan posisi lokasi penelitian



Gambar 2. Aliran sungai langse

Teknik Analisis Data

Daya Potensi dan Daya Bangkit Turbin

Daya potensial (P_p) dan daya bangkit turbin (P_t) dapat ditentukan melalui persamaan (1) dan persamaan (2) (White, F. M. 1979).

$$P_p = \rho \times g \times Q \times H_t / 102 \dots\dots\dots(1)$$

$$P_t = P_p \times \eta_g \times \eta_t \dots\dots\dots(2)$$

Dimana, ρ adalah densitas air = 1.000 kg/m^3 , g adalah gravitasi bumi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, Q adalah aliran air yang masuk ke turbin (m^3/s), H_t adalah head efektif turbin (m), 102 adalah angka konversi satuan yaitu $1 \text{ kW} = 102 \text{ kgf} \cdot \text{m/s}$, η_g adalah efisiensi generator, dan η_t adalah efisiensi transmisi, dalam hal ini direncanakan transmisi yang digunakan untuk mentransfer daya dan putaran dari turbin ke generator adalah transmisi sabuk-puli satu tingkat.

Head Efektif Turbin

Head aktual atau *gross head* (H) adalah jarak vertikal antara permukaan air di bak penenang dengan permukaan air di saluran buang atau *tail race*. Kerugian tekanan total akibat gesekan dan peralatan instalasi pipa disebut *head* loses total (H_l). Maka *head* efektif turbin adalah selisih antara *head* aktual dengan *head* loses total seperti yang dijelaskan pada persamaan (3) (White, F. M. 1979).

$$H_t = H - H_l \dots\dots\dots(3)$$

Head loses total (H_l) dapat diketahui dengan persamaan (4) [8].

$$H_l = \{ \sum c + (f \times L_p/D_p) \} \times \{ V_p^2 / (2 \times g) \} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana, c adalah penjumlahan nilai koefisien resistansi pada pipa, f adalah faktor gesek yang dapat diketahui dari kombinasi nilai ϵ/d dengan bilangan Reynolds (R_e) pada diagram Moody, ϵ adalah nilai kekasaran permukaan dalam pipa, R_e adalah bilangan Reynolds yang dapat diketahui dengan persamaan (5) (White, F. M. 1979).

$$R_e = V_p \times D_p / \nu \dots\dots\dots(5)$$

Dimana, ν adalah kekentalan kinematik air, $\nu = 1.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Putaran dan Diameter Runner Turbin

Jumlah putaran runner turbin (kecepatan kerja) tergantung kepada tinggi jatuh efektif dan diameter runner yang dapat diketahui dengan persamaan (6) (White, F. M. 1979).

$$N = 60 \times (V_r / 3.14) \times D_r \dots\dots\dots(6)$$

Dimana, D_r adalah diameter luar runner dan V_r adalah kecepatan putarann runner yang dapat dicari dengan persamaan (7) (White, F. M. 1979).

$$V_r = 0,5 \times V_n \dots\dots\dots(7)$$

Kecepatan Specific Turbin

Kecepatan spesifik (n_s) suatu turbin adalah putaran runner yang dapat menghasilkan daya efektif turbin sebesar 1 HP untuk setiap ketinggian jatuh 1 m yang dapat dicari dengan persamaan (8) (White, F. M. 1979).

$$n_s = N \times P_t^{1/2} / H_t^{5/4} \dots\dots\dots(8)$$

Berat flywheel

Berat dan ringannya *flywheel* (W) ditentukan oleh besar kecilnya total energi kinetik yang dikandung *flywheel* yang berasal dari daya bangkit dan putaran turbin, dengan rumus ditulis dengan persamaan (9) Khurmi R. S. dan Gupta, J. K. 1985

$$W = E \cdot g / R^2 \cdot \omega^2 \dots\dots\dots(9)$$

Dimana, E adalah total energi kinetik *flywheel* (Joule), R adalah jari jari *flywheel* (m), dan ω adalah kecepatan sudut *flywheel* (rad/s)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan Daya Listrik

Seluruh penduduk di Kampung Mamping berprofesi sebagai petani padi dan ladang dengan tingkat kesejahteraan yang cukup sederhana. Kebutuhan daya listrik setiap keluarga tani sekitar 100 W yang digunakan untuk penerangan dengan lima lampu LED hemat energi masing-masing 20 W. Di Kampung Mamping terdapat 25 rumah yang terkonsentrasi pada satu lokasi sehingga akan memudahkan penyaluran arus listrik, diharapkan seluruh rumah dapat terpenuhi kebutuhan listriknya. Setelah ditambah untuk penerangan jalan dan rugi daya pada jaringan yang diperkirakan sekitar 500 W, total daya listrik yang dibutuhkan sekitar

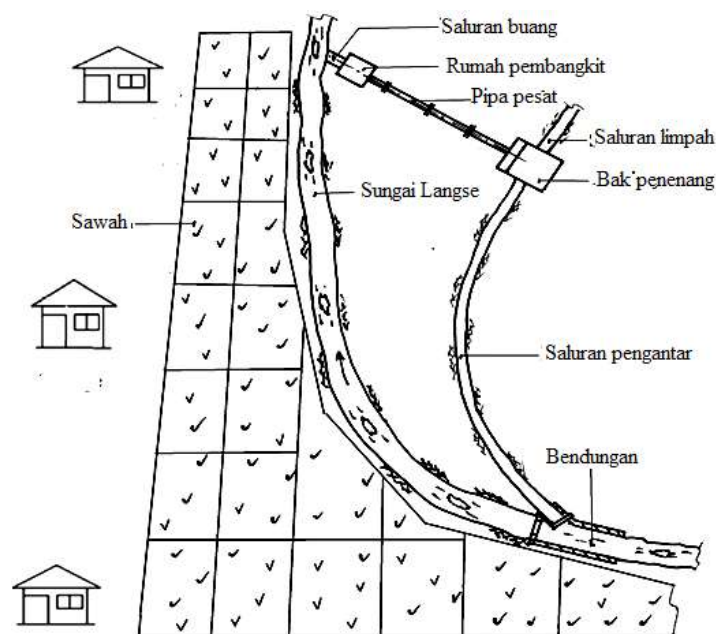
3000 W. Daya 3000 W tersebut dapat dipenuhi oleh sistem pembangkit listrik tenaga pikohidro dengan potensi daya 5 kW .

Debit dan Sumber Air

Sumber air untuk kebutuhan pembangkit piko-hidro berasal dari aliran Sungai Langse yang berasal dari rembesan mata air di sekitar hutan di kecamatan Pakan Rabaa Timur. Karena sumber air Sungai Langse berasal dari rembesan mata air hutan gunung yang cukup lebat, aliran airnya cukup stabil dan jernih, pada musim kemarau tidak begitu berkurang sedangkan pada musim penghujan tidak menyebabkan banjir. Hasil pengukuran yang dilakukan pada awal Januari 2023 diketahui debit air Sungai Langse sekitar 300 liter/s. Pada musim kemarau, debit airnya sekitar setengahnya, yaitu 150 liter/s. Debit air yang dibutuhkan kebutuhan turbin sekitar 80 liter/s, masih di bawah debit minimum, sehingga kebutuhan air untuk pembangkit listrik tenaga piko-hidro cukup aman.

Lay-out Pembangkit Listrik Piko-hidro

Langkah awal untuk melakukan pembangunan pembangkit listrik piko-hidro adalah pemilihan lokasi pembangkit listrik yang tepat. Lokasi yang ideal untuk pembangkit adalah lokasi yang memiliki potensi *head* atau ketinggian yang paling baik, bangunan pembangkit listrik yang aman dari resiko longsor, dan lokasi yang tidak jauh dari pemukiman penduduk. Langkah selanjutnya adalah mengukur dan merancang tata letak sistem pembangkit seperti hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3. Setelah ditentukan posisi rumah pembangkit, bak penenang, saluran pengantar, dan bendungan, langkah selanjutnya adalah membuat kesepakatan dengan pemilik tanah mengenai status tanah yang akan digunakan untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga piko-hidro.

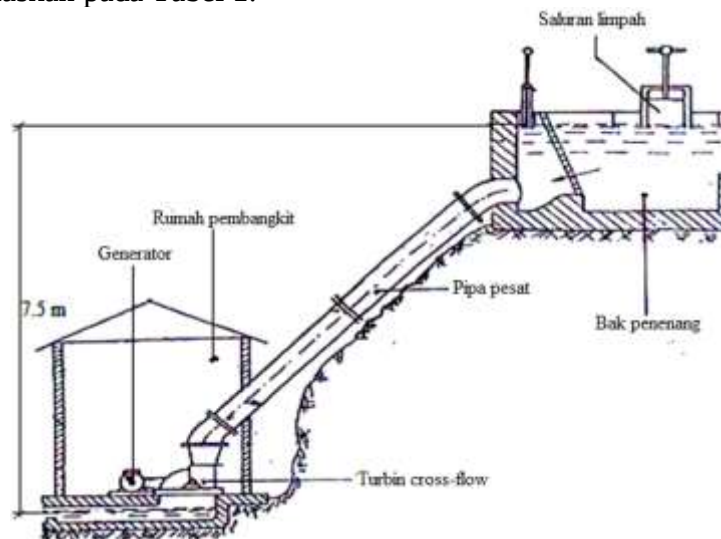


Gambar 3. Lay-out di sekitar lokasi pembangkit

Tinggi Jatuh atau Head

Saluran pengantar yang akan digunakan untuk mengalirkan air dari bendungan ke bak penenang akan memanfaatkan saluran galian tanah yang sudah ada yang telah digunakan masyarakat untuk mengalirkan air ke sawah warga. Saluran pengantar diharapkan mampu mengalirkan air dengan debit yang lebih besar, sehingga saluran pengantar ini diperlebar dan

diperdalam mengelilingi pinggang bukit sepanjang 90 m, sedangkan Sungai Langse mengalir dibawahnya. Bak penenang akan dibangun di ujung saluran pengantar yang dilengkapi dengan saluran inlet turbin, saluran limbah, dan saringan air. Bangunan sipil pembangkit lainnya yang akan dibangun adalah rumah pembangkit yang dilengkapi saluran buang di bawah lantai. Posisi rumah pembangkit atau power house sekitar 8,5 m dari posisi bak penenang. Selisih tinggi permukaan air di dalam bak penenang dengan permukaan air pada saluran buang menghasilkan *head* aktual sekitar $H = 7,5$ m seperti terlihat pada Gambar 4. Rancangan pembangkit listrik tenaga piko-hidro menghasilkan spesifikasi sistem pembangkit listrik seperti dijelaskan pada Tabel 1.



Gambar 4. Penampang sistem pembangkit piko-hidro

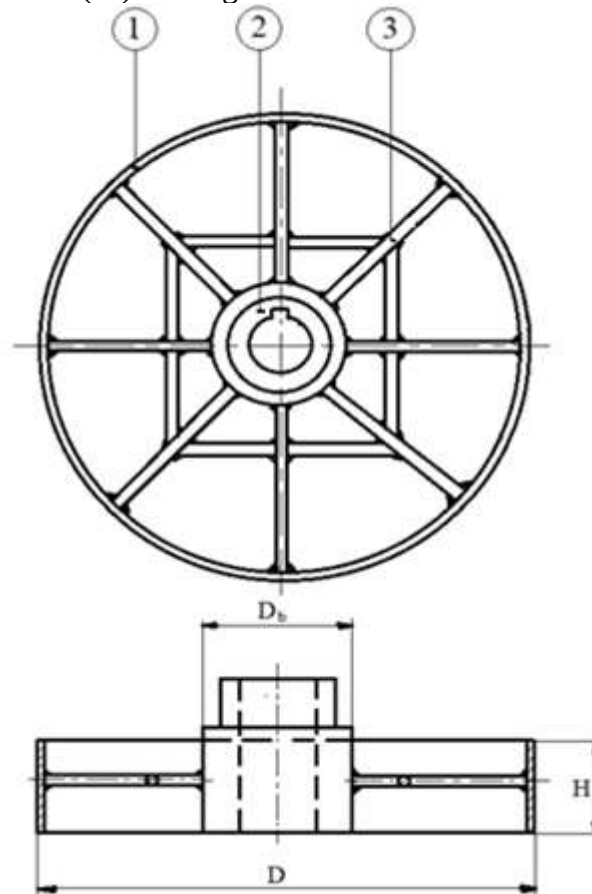
Tabel 1. Spesifikasi sistem pembangkit

No	Spesifikasi	Dimensi
1	Potensi daya	5 kW
2	Daya efektif turbin	3,51 kW
3	Kecepatan putaran turbin	543 rpm
4	Kecepatan spesifik	133
5	<i>Head</i> aktual	7,5 m
6	<i>Head</i> turbin	6,6 m
7	Debit air masuk turbin	0,08 m ³ /s
8	Diameter pipa pesat	15 inchi
9	Panjang pipa pesat	10,9 m
10	Diameter runner turbin	8 inchi

Rancangan dan Proses Pembuatan *Flywheel*

Rancangan dan proses pembuatan *flywheel* diuraikan dengan mengacu kepada gambar-gambar yang menyertainya. Mengacu pada Gambar 5, yang memperlihatkan gambar proyeksi eropah dari rangka *flywheel* yang terdiri dari tiga komponen utama yaitu cincin (1) busung (2) dan tulangan (3). Ketiga komponen tersebut dirakit menjadi satu kesatuan menjadi rangka *flywheel* yang kaku dan kokoh, penyambungan ketiga komponen tersebut menggunakan teknologi las. Ukuran diameter luar *flywheel* ditentukan oleh diameter cincin (D) dan tebal *flywheel* ditentukan oleh tinggi cincin (H). Variasi ukuran *flywheel* dapat mudah diperoleh sesuai keinginan karena di tempat penjualan besi-besi bekas banyak dijual pipa-pipa baja dengan berbagai ukuran diameter dan tebal. Pembelian pipa tersebut diecer dengan menggunakan satuan berat (kg) sehingga sependek apapun kebutuhan panjang pipa yang diinginkan dapat mudah diperoleh dengan harga yang terjangkau. Hasil rancangan *flywheel* yang sesuai dengan daya bangkit turbin (P_t) = 3,51 kW adalah diameter poros turbin (d) =

50 mm, diameter busung (D_b) = 80 mm, diameter luar *flywheel* (D) = 20 inchi, tebal *flywheel* (H) = 10 cm, dan berat *flywheel* (W) = 42 kg.



Gambar 5. Tulangan rangka *flywheel* bahan beton

Gambar 6. dan Gambar 7. menjelaskan kegiatan proses pengadaan komponen *flywheel* diantaranya cincin, busung dan tulangan. Cincin dibentuk dari pipa baja diameter 20 inchi yang dipotong dengan ukuran panjang potongan sesuai dengan tebal *flywheel* yang diinginkan yakni 10 cm. Pemotongan menggunakan busur las, hasil pemotongan diratakan dengan gerinda tangan. Komponen *flywheel* lainnya adalah busung yang dibentuk dari bahan dasar poros pejal, diameter luar dan diameter lubang tengahnya dibentuk dengan proses pembubutan. Selanjutnya, busung disambungkan dengan tulangan yang bahan dasarnya adalah besi beton diameter 10 mm yang berjumlah 16 buah potongan.



Gambar 6. Pemotongan pipa



Gambar 7. Cincin dan tulangan telah terbentuk

Gambar 8. dan Gambar 9. menjelaskan proses perakitan rangka *flywheel*, tahapannya adalah cincin diletakkan pada permukaan lantai yang rata, selanjutnya tulangan besi beton disambungkan dengan busung, dan setiap ujung tulangan disambung laskan dengan permukaan dalam cincin. Rangka *flywheel* yang telah terbentuk selanjutnya dilakukan pembersihan dari kerak-kerak bekas hasil lasan dan dilakukan perataan permukaan dengan menggunakan gerinda tangan.



Gambar 8. Perakitan rangka *flywheel*



Gambar 9. Rangka *flywheel* selesai dirakit

Gambar 10. dan Gambar 11. menjelaskan proses pengecoran adonan beton ke dalam rangka *flywheel*. Langkahnya adalah rangka *flywheel* yang telah terbentuk diletakkan pada permukaan lantai yang rata yang dilapisi dengan kertas. Selanjutnya, dibuat adukan pasir, kerikil, semen dan air sampai merata sesuai standar beton K2. Tuangkan adukan ke dalam celah antara cincin dan busung sambil adonan ditusuk-tusuk dengan sendok tembok agar adonan padat mengisi setiap rongga antara tulangan hingga tulangan tertutupi penuh oleh adukan. Ratakan dan licinkan permukaan hasil akhir pengecoran dengan acian semen. Hasil pengujian diketahui, perbandingan antara berat tulangan rangka *flywheel* dengan bahan pengisi beton standar K2 adalah 3 : 7.



Gambar 10. Pengecoran dg. adonan beton



Gambar 11. *Flywheel* hasil pengecoran

Gambar 12. dan Gambar 13. menjelaskan proses pengeringan, pengamplasan dan pengecatan. *Flywheel* yang telah terbentuk dari hasil pengecoran dibiarkan tetap berada di lantai untuk diangin-anginkan agar pengeringan lebih merata. Setelah diangin-anginkan selama 4×24 jam, proses berikutnya adalah pengamplasan dan pengecatan menggunakan cat minyak. Setelah lapisan hasil pengecatan pertama kering dilanjutkan dengan pengecatan lapisan kedua. Selanjutnya, *flywheel* yang sudah dicat kering siap untuk dipasang pada poros turbin.



Gambar 12. *Flywheel* dikeringkan



Gambar 13. *Flywheel* setelah dicat

Gambar 14. menunjukkan *flywheel* bahan beton yang telah terpasang pada salah satu ujung poros turbin. Pada gambar tampak, keseimbangan dari konstruksinya yaitu pada ujung poros sebelah kiri terpasang puli penggerak sementara pada ujung poros sebelah kanan terpasang *flywheel*. Keseimbangan ini akan mendukung kepada kestabilan turbin saat beroperasi sehingga kedua bearing akan awet dan getaran yang timbul akan berkurang.



Gambar 10. *Flywheel* bahan beton sudah terpasang pada salah satu ujung poros turbin *cross-flow*

SIMPULAN

Penelitian ini menyajikan suatu inovasi proses fabrikasi salah satu komponen penggerak mula turbin *cross-flow* yaitu *flywheel* yang dapat dibuat sendiri dengan biaya yang relatif terjangkau, sederhana, namun sangat strategis untuk membantu memudahkan masyarakat membangun turbin air sendiri. Setelah mendapatkan informasi invensi ini, diharapkan para praktisi dan pemerhati turbin air juga masyarakat desa akan termotivasi untuk membangun pembangkit listrik sendiri dengan memanfaatkan potensi air yang di lingkungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya N., Kim C. G., dan Thapa B. 2020. Numerical Analysis and Performance Enhancement of a Cross-flow Hydro Turbine. *Renewable energy*, 80 (6), 819-826.
- Bouabdellah A., Abdelouahab B., Abdeljelli B., dan M. Gorlov. 2021. Flow Turbines Performance Evaluation and Comparison with the Experiment. *Renewable Energy*, 180 (6), 993-1003.

- Du J., Yang H., dan Shen Z. 2017. Micro Hydro Power Generation from water Supply System in High Rise Buildings Using Pump as Turbines. *Energy*, 137 (4), 431-440.
- Eiichi S. dan Toshihiko. 2022. Development of an Undershot Cross-flow Hydraulic Turbine Resistant to Snow and Ice Masses Flowing in an Installation Canal. *Renewable Energy*, (5), 146-153.
- Hannah R. dan Brian P. 2022. Effects of Dimensionless Parameters on the Performance of a Cross-flow Current Turbine. *Journal of Fluids and Structures*, 114 (5), 103-126.
- Haimenl, L. A. 1960. *The Cross Flow Turbine*. Jerman.
- Khurmi R. S. and Gupta, J. K. 1985. *Machine Design*, New Delhi : Metropolitan Book Co
- Sammartano V., Aricò C. dan Carravetta A. 2020. Banki-Michell Optimal Design by Computational Fluid Dynamics Testing and Hydrodynamic analysis. *Energies*, 6 (5), 2362-2385.
- White, F. M. 1979. *Fluid Mechanics*, New York: McGraw-Hill.Inc.