

DESAIN DAN PEMBUATAN TURBIN CROSS-FLOW

ABDUL AZIZ M. BASRI¹
SURIANTO BUYUNG²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin
Politeknik Saint Paul Sorong

Email : abdulazis160118@gmail.com; tmpoltekstpaul22@gmail.com

ABSTRAK

Turbin secara umum dapat diartikan sebagai mesin penggerak mula di mana energi fluida kerja yang digunakan langsung memutar roda turbin, fluida kerjanya yaitu berupa air, uap air dan gas. Dengan demikian turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air. Pada roda turbin terdapat sudu yaitu suatu konstruksi lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerja mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut, dengan demikian roda turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada suatu gaya yang bekerja. Gaya tersebut akan terjadi karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir diantara sudunya. Sudu hendaknya dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja air tersebut.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui desain dan pembuatan turbin cross-flow untuk trainer mikrohidro. Hasil dari penelitian ini adalah sebuah turbin cross-flow dengan ukuran jumlah sudu 18, tinggi sudu 34 mm, jarak sudu bagian dalam 11 mm, jarak sudu bagian luar, diameter luar turbin 100 mm, diameter dalam turbin 66 mm dan diameter poros turbin 19 mm.

Kata Kunci : *cross-flow, turbin, mikrohidro*

ABSTRACT

A turbine can generally be interpreted as a prime mover machine where the working fluid energy is used to directly rotate the turbine wheel, the working fluid is in the form of water, steam and gas. Thus, a water turbine can be interpreted as a prime mover machine whose working fluid is water. On the turbine wheel there are blades, which are a plate construction with a certain shape and cross-section, water as the working fluid flows through the space between the blades, thus the turbine wheel will be able to rotate and a force will act on the blades. This force will occur because there is a change in momentum of the working fluid, water flowing between the blades. The blade should be shaped in such a way that changes in momentum can occur in the water working fluid.

The aim of the research is to determine the design and manufacture of cross-flow turbines for micro-hydro trainers. The result of this research is a cross-flow turbine with a blade size of 18, a blade height of 34 mm, an inner blade distance of 11 mm, an outer blade distance, an outer turbine diameter of 100 mm, a turbine inner diameter of 66 mm and a turbine shaft diameter of 19 mm.

Keywords: *cross-flow, turbine, micro-hydro*

PENDAHULUAN

Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha (kerja) atau melakukan suatu perubahan. Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi dapat dirubah bentuknya. Menurut dari sumber didapatnya, energi terbagi menjadi energi tak terbarukan dan energi terbarukan. Salah satu energi terbarukan adalah pembangkit listrik tenaga mikro hidro, yang di Indonesia dapat dibuat karena banyak sungai dan banyak daerah

yang belum terjangkau oleh jaringan listrik negara (PLN).

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) mengacu pada pembangkit listrik dengan skala di bawah 100 kW. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Tenaga air berasal dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik. Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi

potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Pembangkit tenaga air merupakan suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. (Dwiyanto, 2016)

Pemilihan jenis turbin air dalam PLTMH disesuaikan dengan debit air, dan ketinggian terjun air (*head*). Ada beberapa jenis turbin untuk menghasilkan energi listrik yang optimal, salah satunya adalah Turbin cross-flow. (Wiranata et al., 2020)

Adapun jenis turbin air yang dapat digunakan dalam PLTMH salah satunya yaitu turbin air cross-flow. Turbin air cross-flow adalah salah satu jenis turbin aksi (impuls turbin), yang memiliki efisiensi lebih besar dibandingkan dengan turbin mikro hidro lainnya. (Irawan, 2019)

Berdasarkan penelitian terdahulu ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap kinerja turbin cross-flow diantaranya yaitu sudut nosel dan sudut sudu. Hasil penelitian (Irawan, 2019) menunjukkan sudut nosel dan sudut sudu sangat berpengaruh terhadap kinerja turbin. Efisiensi turbin tertinggi sebesar 77% diperoleh dengan sudut nosel 15° dan sudut sudu 16°. Sudut nosel semakin meningkat maka efisiensi turbin semakin menurun. (Setiawan et al., 2013) memvariasikan debit air dan sudut serang nosel, hasil penelitian menunjukan efisiensi tertinggi didapatkan sebesar 72,90%.

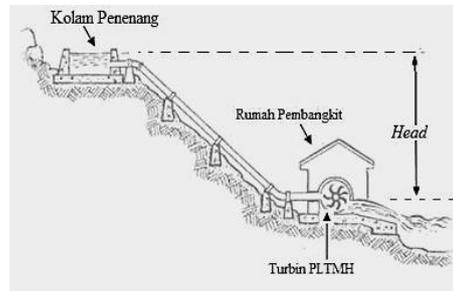
Selama ini belum ada mesin skala lab untuk mensimulasikan kondisi lingkungan turbin bekerja. Mesin skala lab ini dibuat untuk mempelajari karakteristik turbin cross-flow pada lingkungan operasi sesungguhnya. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain dan membuat turbin cross-flow yang akan digunakan pada trainer mikrohidro sebagai media pembelajaran Pendidikan vokasi.

KAJIAN PUSTAKA

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Pembangkit listrik tenaga air skala mikro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik. Sebuah skema

mikro hidro memerlukan dua hal yaitu, debit air dan ketinggian jatuh (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Hal ini adalah sebuah sistem konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) kedalam bentuk energi mekanik dan energi listrik. (Hetharia et al., 2020)



Gambar 1. Prinsip Kerja PLTMH

Turbin Cross-Flow

Turbin secara umum dapat diartikan sebagai mesin penggerak mula di mana energi fluida kerja yang digunakan langsung memutar roda turbin, fluida kerjanya yaitu berupa air, uap air dan gas. Dengan demikian turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air. Pada roda turbin terdapat sudu yaitu suatu konstruksi lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerja mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut, dengan demikian roda turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada suatu gaya yang bekerja. Gaya tersebut akan terjadi karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir diantara sudunya. Sudu hendaknya dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja air tersebut. (Arismunandar & Tsuda, 2004)

Turbin cross-flow dapat dioperasikan pada debit 20 liter/s hingga 10 m³/s dan ketinggian antara 1 m s/d 200 m. Turbin cross-flow menggunakan nosel persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar runner. Terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis ketika air masuk menuju turbin dan mengenai sudu. 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. Pemakaian jenis Turbin cross-flow lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikro hidro

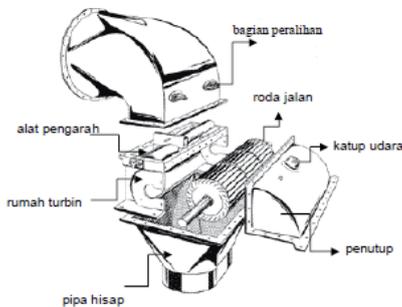
lainnya. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin *Ossberger* Jerman Barat yang menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70 % sedangkan efisiensi turbin cross-flow mencapai 82 %. Tingginya efisiensi Turbin cross-flow ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin 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. (Ahyadi & Prasetyo, 2022)

Keuntungan turbin Cross-Flow:

1. Daya yang dihasilkan besar
2. Konstruksi yang sederhana
3. Mudah dalam perawatan
4. Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.

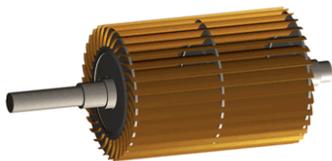
Komponen – komponen utama konstruksi turbin cross-flow adalah: (Mafruddin & Irawan, 2014)

1. Rumah Turbin
2. Alat Pengarah (distributor)
3. Roda Jalan (*runner*)
4. Penutup
5. Katup Udara
6. Pipa Hisap
7. Bagian Peralihan



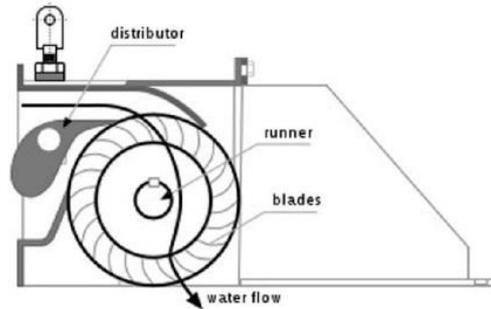
Gambar 2. Konstruksi Turbin Cross-flow

Salah satu komponen utama pada turbin cross-flow yaitu *runner*.



Gambar 3. Runner Turbin Cross-flow

Arah aliran di dalam ruang turbin cross-flow dapat dilihat pada gambar 4:



Gambar 4. Arah aliran di dalam ruang turbin cross-flow (Penche, 2014)

Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air. Turbin Cross-Flow digolongkan ke dalam jenis turbin impuls atau tekanan sama. Karena selama mengalir di sepanjang sudu-sudu turbin tidak terjadi penurunan tekanan, sedangkan perubahan seluruhnya terjadi pada bagian pengarah pancaran atau nosel. Energi yang masuk ke roda jalan dalam bentuk energi kinetik. Pada waktu melewati roda turbin, energi kinetik dikonversikan menjadi kerja poros dan sebagian kecil energi terlepas dan sebagian lagi digunakan untuk melawan gesekan dengan permukaan sudu turbin. (Ahyadi & Prasetyo, 2022)

Persamaan Dalam Menentukan Parameter Desain Turbin Cross-flow

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan sebagai berikut:

Debit

Rumus debit: (Arismunandar & Tsuda, 2004)

$$Q = \frac{v}{t} m^3/s \tag{1}$$

Kecepatan Aliran

Rumus kecepatan aliran:

$$V = \frac{Q}{A} m/s \tag{2}$$

Head

Rumus untuk mendapatkan head: (Mockmore & Merryfield, 1949)

$$n = 133\sqrt{H} \tag{3}$$

Diameter Turbin

Diameter luar dan dalam turbin diperoleh rumus:

$$D_1 = 39,3 \frac{\sqrt{H}}{n_g} \quad (4)$$

$$D_2 = \frac{2}{3} D_1 \quad (5)$$

Jarak Antar Sudu

Jarak antar sudu diperoleh dengan persamaan:

$$K_1 = 0,174 D_1 \quad (6)$$

$$K_2 = \frac{2\pi R_1}{28} \quad (7)$$

Jumlah Sudu

Jumlah sudu diperoleh dengan persamaan:

$$N = \frac{\pi D_1}{K} \quad (8)$$

Daya Air

Daya air diperoleh dengan persamaan:

$$P_a = \rho g H Q \quad (9)$$

Diameter Poros

Diameter poros dihitung dengan beberapa persamaan: (Sularso, 1978)

$$P_d = f_c \times P \quad (10)$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \left(\frac{P_d}{n}\right) \quad (11)$$

$$d_s = \left\{ \left(\frac{5,1}{\tau_a}\right) K_t \times C_b \times T \right\}^{1/3} \quad (12)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Metode kepustakaan (studi Pustaka);
2. Metode observasi atau pengamatan secara langsung untuk mendapatkan data berikut:
 - a. Data spesifikasi generator
 - b. Debit air
 - c. Luas penampang keluaran air
 - d. Tinggi head
3. Pengolahan data dan perhitungan untuk menentukan parameter desain turbin;
4. Proses pembuatan turbin sesuai hasil perhitungan parameter desain turbin;
5. Implementasi turbin pada media Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

PEMBAHASAN

Penentuan Parameter Desain Turbin

Penentuan diawali dengan pengambilan data kapasitas debit air keluaran pompa yang digunakan sebesar 0,0045 m³/s dengan asumsi parameter putaran turbin 532 rpm dan luas pipa yang digunakan 0,0019625 m² dari ukuran pipa 2 inch, maka diperoleh ukuran desain turbin sebagai berikut:

Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran diperoleh dari hubungan debit aliran dan luas pipa yang digunakan:

$$Q = V \times A \rightarrow V = \frac{Q}{A} = \frac{0,0045}{0,0019625} = 2,29 \text{ m/s}$$

Head

Head diperoleh dari hubungan putaran turbin yang diasumsi awal:

$$H = \left(\frac{n}{133}\right)^2 = \left(\frac{532}{133}\right)^2 = 16 \text{ m}$$

Diameter Luar Turbin dan Lebar Turbin

Ukuran Lebar turbin mengikuti hasil ukuran D₁, sedangkan putaran (n_g) generator adalah 1500 rpm. Diameter luar turbin diperoleh:

$$D_1 = 39,3 \times \frac{\sqrt{H}}{n_g} = 39,3 \times \frac{\sqrt{16}}{1500} = 0,10 \text{ m}$$

Diameter Dalam Turbin

Diameter dalam turbin diperoleh:

$$D_2 = \frac{2}{3} \times D_1 = \frac{2}{3} \times 0,10 = 0,066 \text{ m}$$

Jarak Antar Sudu

Jarak sudu D₁ dan D₂ dapat diperoleh sebagai berikut:

$$K_1 = 0,174 \times D_1 = 0,174 \times 0,10 = 0,017 \text{ m}$$

$$K_2 = \frac{2 \times \pi \times R_1}{28} = \frac{2 \times 3,14 \times 0,015}{28} = 0,011 \text{ m}$$

Jumlah Sudu

Jumlah sudu diperoleh sebagai berikut:

$$N = \frac{\pi D_1}{K} = \frac{3,14 \times 0,10}{0,017} = 18$$

Daya Air

Perhitungan daya air menghasilkan nilai sebagai berikut:

$$P_a = \rho g H Q = 1000 \times 9,8 \times 16 \times 0,0045 = 705,6 \text{ Watt}$$

Diameter Poros

Diameter poros diperoleh dengan perhitungan berikut:

a. Daya Rencana

Daya rencana dapat diperoleh sebesar:

$$P_d = f_c \times P = 1,0 \times 0,8 = 0,8 \text{ kW}$$

b. Momen Rencana

Nilai momen rencana pada turbin T_t yaitu :

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \left(\frac{P_d}{n}\right)$$

$$T_t = 9,74 \times 10^5 \times \left(\frac{0,8}{532}\right) = 1464,661 \text{ kg/mm}$$

c. Bahan Poros

Bahan Poros yang digunakan adalah S30C-D, Tegangan geser yang diizinkan dari persamaan, yaitu :

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{Sf_1 \times Sf_2} = \frac{58}{6 \times 3} = 3,222 \text{ kg/mm}^2$$

d. Diameter Poros

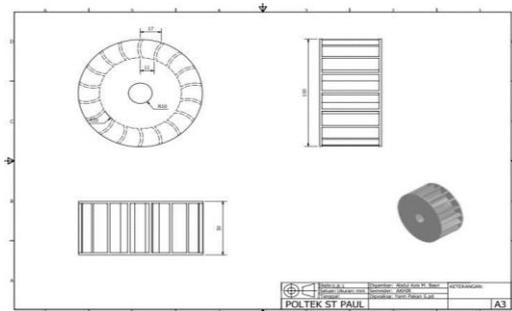
Untuk mendapatkan ukuran diameter poros pada puli penggerak maupun poros puli yang digerakan digunakan persamaan, yaitu:

$$d_s = \left\{ \left(\frac{5,1}{\tau_a} \right) K_t \times C_b \times T \right\}^{1/3}$$

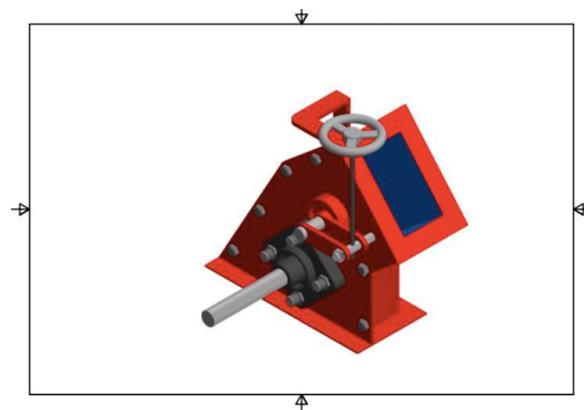
$$d_{s,t} = \left\{ \left(\frac{5,1}{3,222} \right) 1,5 \times 2 \times 1464,661 \right\}^{1/3} = 19,088 \text{ mm}$$

Gambar Kerja

Gambar kerja yang didesain setelah penentuan ukuran turbin adalah:



Gambar 5. Gambar Kerja Turbin Cross-Flow



Gambar 6. Gambar Kerja Cover Turbin

Pembuatan Turbin

Proses Pembuatan Turbin Cross Flow

Proses pembuatan turbin cross-flow sebagai berikut:

1. Siapkan besi plat dengan ketebalan 2 mm;
2. Gambar pola lingkaran dengan diameter 100 mm pada besi plat;
3. potong pola tersebut menggunakan gerinda;
4. potong besi plat ukuran 2 mm yang telah diberikan tanda sebanyak dua buah, untuk dijadikan dinding turbin;
5. siapkan pipa besi kalvanis yang berukuran 4 inch setelah itu potong salah satu sisi dengan ukuran 50 mm x 34 mm sebanyak 18 buah, untuk di jadikan sudu turbin cross flow;
6. siapkan pipa besi berdiameter 60 mm setelah itu potong dengan panjang 50 mm, untuk dijadikan diameter dalam turbin;
7. siapkan mesin trafo las dengan daya 900 watt;
8. las antara kedua dinding turbin dengan pipa 60 mm yang sudah dipotong;

9. siapkan spidol setelah itu beri tanda pada diameter luar dinding turbin dengan jarak 17 mm dan beri tanda lagi pada diameter dalam dengan jarak 11 mm sebanyak 18 buah;
10. las sudu di bagian tengah mengikuti tanda yang sudah di beri sebanyak 18 buah;
11. siapkan mesin bubut dan mata bor 19 mm yang sudah terpasang pada senter mesin bubut;
12. lubangi turbin menggunakan mesin bubut agar lubang presisi;
13. siapkan as dengan diameter 19 mm satukan dengan turbin setelah itu las kedua bagian tersebut;
14. Turbin jenis cross flow siap untuk digunakan.



Gambar 7. Turbin Cross-Flow

Pembuatan Cover Turbin Cross-Flow

Proses pembuatan cover turbin cross-flow sebagai berikut:

1. Siapkan besi plat dengan ketebalan 3 mm;
2. potong besi plat mengikuti dimensi yang sudah ditentukan;
3. las dan satukan besi plat yang sudah di potong mengikuti desain;
4. bor dinding cover menggunakan mata bor 19 mm untuk lubang as;
5. siapkan besi plat dengan ketebalan 2 mm dan potong dengan ukuran 7 cm x 5 cm untuk membuat bukaan *valve*;
6. gerinda sisa terak las pada dinding cover dan *valve*;
7. bor lubang baut menggunakan mata bor 14 mm;
8. dempul bagian sudut cover dan *valve* serta amplas sisa-sisa dempul agar terlihat rapi;
9. cat bagian dalam dan luar cover turbin;
10. cover turbin siap dirakit



Gambar 8. Cover Turbin

Perakitan Turbin pada Cover Turbin

Perakitan turbin pada cover turbin sebagai berikut:

1. Turbin cross-flow dimasukkan pada lubang cover yang telah dibuat;
2. *valve* dimasukkan pada lubang cover;
3. satukan dinding cover menggunakan baut 14 mm;
4. pasang *bearing Pillow block* 19 mm pada poros turbin setelah itu satukan menggunakan baut 17 mm;
5. pasang as pada bukaan *valve* setelah itu satukan menggunakan baut 14 mm;
6. siapkan cover dan turbin yang telah dirakit dan pasang pada rangka;
7. masukan baut 14 mm yang sudah di lengkapi dengan karet pada lubang cover turbin;
8. turbin dan cover turbin siap digunakan.



Gambar 9. Turbin Cross-flow dan Cover Turbin

PENUTUP

Hasil desain dan pembuatan turbin cross-flow menghasilkan sebuah komponen turbin cross-flow dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Turbin

No	DATA	UKURAN
1	Model Turbin	Cross-Flow
2	Debit	0,0045 m ³ /s
3	Luas pipa	0,0019625 m ²
4	Kecepatan aliran	2,29 m/s
5	Jumlah sudu	18
6	Tinggi sudu	34 mm
7	Jarak sudu bagian dalam	11 mm
8	Jarak sudu bagian luar	17 mm
9	Diameter luar turbin	100 mm
10	Diameter dalam turbin	66 mm
11	Diameter poros	19 mm
12	Daya air	705,6 Watt

DAFTAR PUSTAKA

- Ahyadi, H., & Prasetyo, D. A. (2022). Analisa Rancang Bangun Turbin Cross-Flow Saluran Terbuka Dengan Debit Air 14 Liter/Menit Skala Laboratorium. *Presisi*, 24(2), 1–10.
- Arismunandar, W., & Tsuda, K. (2004). Motor Diesel Putaran Tinggi, PT. *Pradnya Paranta, Jakarta*.
- Dwiyanto, V. (2016). *Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Studi Kasus: Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai)*.
- HETHARIA, M., LEWERISSA, Y. J., & Matapere, R. O. Y. (2020). Analisis Ukuran Sabuk untuk Turbin Cross Flow pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) 30 KVA. *Jurnal Voering*, 5(1), 7–14.
- Irawan, H. (2019). Perancangan Turbin Air Tipe Crossflow Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. *AL JAZARI: JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN*, 4(1).
- Mafruddin, M., & Irawan, D. (2014). Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe Cross-Flow Sebagai Pembangkit Listrik Di Desa Bumi Nabung Timur. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 3(2).
- Mockmore, C. A., & Merryfield, F. (1949). *The Banki water turbine*.
- Setiawan, Y., Wahyudi, I., & Nandes, E. (2013). Unjuk kerja turbin air tipe cross flow dengan variasi debit air dan sudut serang nosel. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 2(1).
- Sularso, I. (1978). Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin. (*No Title*).
- Wiranata, I. P. A., Janardana, I. G. N., Wijaya, I. W. A., Elektro, T., Teknik, F., & Udayana, U. (2020). Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Menggunakan Turbin Cross-Flow. *J. Spektrum*, 7(4).