

PERANCANGAN TURBIN AIR TIPE *OVERSHOT* SEBAGAI PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MICROHIDRO DI SUNGAI RAHTAWU

Rizaldi Kurnia

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
rizaldikurnia22@gmail.com

Rianto Wibowo

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
Email : rianto.wibowo@umk.ac.id

Akhmad Zidni Hudaya

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
Email: akhmad.zidni@umk.ac.id

ABSTRAK

Pengembangan pembangkit mikrohidro disesuaikan dengan kondisi geografis, debit dan bentuk energinya. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) memanfaatkan energi air (potensial kinetik) sebagai sumber energi/daya dengan kapasitas daya terbangkitkan antara 2 kW sampai dengan 200 kW. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses perancangan desain turbin air tipe *overshot* dengan sudu lengkung untuk pembangkit listrik dan mengetahui nilai torsi turbin yang dihasilkan dengan penerapan turbin air sumbu horizontal tipe *overshot* dengan sudu lengkung. Metode yang di gunakan untuk perancangan turbin air ini adalah dengan perhitungan jumlah sudu aktif, perhitungan jarak antar sudu dan perhitungan diameter poros kincir. Hasil penelitian menunjukkan perhitungan Daya hidrolik yang mampu dihasilkan dari aliran sungai di desa rahtawu dengan besar debit $0,018 \text{ m}^3/\text{s} = 18 \text{ l/s}$, *head* air 0,825 mm, dan kecepatan aliran 1,98 m/s adalah 0,180 kW. Daya pada kincir yang mampu dihasilkan dengan nilai efisiensi 80 % adalah sebesar 0,75 kW. Nilai perhitungan torsi secara teoritis yang dihasilkan dengan besar daya 180 watt dan putaran kincir 55,12 rpm adalah 54,68 nm. Diameter poros untuk kincir yang sesuai dengan menggunakan material jenis baja ST37 adalah 19,48 mm.

Kata kunci : Energi Air, Turbin *Overshot*, Sudu Lengkung, Mikro Hidro

ABSTRACT

The development of micro hydro power plants is adjusted to the geographical conditions, the discharge and the form of energy. Micro Hydro Power Plant (PLTMH) utilizes water energy (kinetic potential) as a source of energy/power with a generated power capacity of between 2 kW to 200 kW. This study aims to determine the design process of an overshot type water turbine with curved blades for power generation and to determine the value of turbine torque produced by the application of an overshot type horizontal axis water turbine with curved blades. The method used for the design of this water turbine is the calculation of the number of active blades, the calculation of the distance between the blades and the calculation of the diameter of the pinwheel. The result of research was calculation The hydraulic power that can be generated from the river flow in the village of Rahtawu with a large discharge of $0.018 \text{ m}^3/\text{s} = 18 \text{ l/s}$, a plunge head of 0.825 mm, and a flow velocity of 1.98 m/s is 0.180 kW. The power on the wheel that can be produced with an efficiency value of 80% is 0.75 kW. The theoretical value of torque calculation produced with 180

watts of power and 55.12 rpm rotation of the wheel is 54.68 nm. The diameter of the shaft for the appropriate wheel using ST37 steel type material is 19.48 mm.

Keywords : *Water Energy, Overshot Turbine, Curved Angle, Microhydro*

1. PENDAHULUAN

Energi listrik adalah bentuk lain dari energi yang ada saat ini dan digunakan secara luas dalam kegiatan masyarakat, kebutuhan energi listrik sendiri juga semakin meningkat sebanding dengan bertambahnya pertumbuhan penduduk, bahkan saat sekarang ini banyak bermunculan produk-produk elektronik berteknologi canggih yang sangat membantu masyarakat mulai dari perlengkapan memasak, perlengkapan medis, kendaraan bertenaga listrik sampai dengan mesin-mesin industri yang mulai menggunakan teknologi robotik.

Pertumbuhan jumlah penduduk akan menumbuhkan kebutuhan energi terutama energi listrik, karena kegiatan rumah tangga dan industri sebagian besar memanfaatkan listrik. Dalam menyikapi pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin meningkat, maka energi terbarukan sesuai dengan potensi sumber daya alamnya untuk dapat semaksimal mungkin untuk memenuhi kebutuhan listrik dengan memanfaatkan potensi sumber daya alam [1].

Desa Rahtawu berada didataran tinggi dan memiliki beberapa titik sumber air alami yang alirannya membentuk aliran air yang relatif kecil dengan beberapa terjunan namun memiliki arus cukup deras serta berpotensi untuk dimanfaatkan alirannya untuk sumber energi listrik. Bentuk aliran air inilah yang mendasari untuk melakukan pemanfaatan air di daerah Rahtawu sebagai tempat uji coba turbin *overshot* ini.

Mikrohidro dapat dibuat dengan ketinggian air 2.5 meter dapat dihasilkan listrik 400 watt, merupakan energy terbarukan. Perbedaan antara Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan mikrohidro terutama pada besarnya tenaga listrik yang dihasilkan, PLTA dibawah ukuran 200 KW digolongkan sebagai mikrohidro [2].

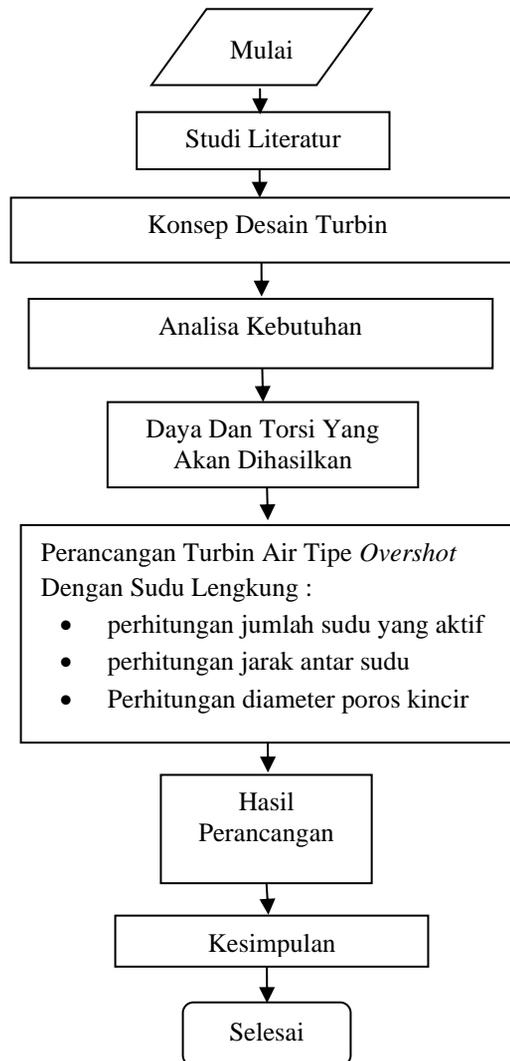
Turbin air merubah energi air menjadi energi mekanik berupa perputaran poros pada kincir air yang akan memutar generator penghasil listrik. Tinggi jatuh air yang bisa digunakan kincir antara 0,1 m sampai dengan 12 m dan kapasitas airnya adalah 0,05 m³/s sampai dengan 5 m³/s. Pemakaian Turbin air adalah di daerah yang aliran airnya tidak tentu, berubah-ubah dan tinggi air jatuhnya kecil. Bila perubahan kecepatan putaran kincir air tidak diperhitungkan dan kecepatan putarannya kecil yaitu 2 putaran/menit sampai dengan 12 putaran/menit, maka daya pada poros transmisi masih bisa digunakan. Kincir air memiliki rendemen antara 20% sampai dengan 80%, [3].

Perancangan dan simulasi turbin air telah dikembangkan untuk daya 20 KW, dengan tipe turbin pelton untuk tinggi jatuh air 12 m dan jumlah sudu 18 buah [4]. Tipe turbin *overshot* juga telah dikembangkan dengan jumlah sudu 16 buah dan sudut nosel 30⁰, dengan *head* 0,6 m sehingga daya yang dihasilkan relatif kecil [5]. Penelitian terhadap berbagai bentuk sudu turbin tehak dilakukan dengan bentuk setengah lingkaran, sudu segitiga, dan sudu sirip, hasilnya diperoleh torsi tertinggi pada sudut nosel 30⁰ [6]. Perancangan dan pembuatan turbin *overshot* teh dilakukan pada debit air 0,324 m³/s dan jatuh air 1,5 m. Hasilnya mampu membangkitkan daya 5,05 KW [7].

Dari berbagai pengembangan turbin *overshot* menunjukkan factor yang berpengaruh adalah debit air, tinggi jatuh air, sudut nosel dan jumlah sudu turbin. Penelitian ini bertujuan merancang turbin tipe *overshot* untuk head kecil untuk pembangkit tenaga listrik mikro hidro.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode dalam proses perancangan turbin air tipe *overshot* dimulai dari perhitungan komponen desain turbin untuk penentuan dimensi yang sesuai untuk bisa diterapkan dalam prototipe pembangkit energi listrik. Tahapan untuk merealisasikan prototipe ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Diagram metode pelaksanaan penelitian

2.1. Survey Lokasi

Pada penelitian ini, pengukuran debit air dilakukan secara langsung dengan menggunakan metode apung.

3.1.1 Data pengukuran kecepatan aliran.

Waktu pengukuran kecepatan aliran diukur berdasarkan waktu jarak tempuh media apung dari titik input aliran sampai dengan titik output aliran pada penampang aliran, dari lima data pengukuran kemudian dihitung nilai rata-ratanya sebagaimana ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Data pengukuran waktu tempuh media apung.

Pengukuran ke-	Waktu kecepatan aliran (s)
1	0,76 s
2	0,46 s
3	0,61 s
4	0,59 s
5	0,73 s
Waktu rata-rata	0,63 s

Data Hasil Survei berupa data pengukuran di Sungai Desa Rahtawu hasil survei di lapangan telah didapatkan dan diuraikan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Survei

No	Tinggi Jatuh Air	Debit Air	Tinggi air
1	0,825 cm	18 l/s	0,57 m

2.2. Perhitungan Potensi Energi Pada Aliran Sungai

Perhitungan potensi energi yang tersedia ditentukan dengan melakukan survei pada lokasi pengujian kincir air dan mencari data dilapangan, kemudian menentukan parameter - parameter lain menggunakan rumus. Perhitungan yang harus ditentukan antara lain :

(a). Perhitungan Luas Penampang Saluran Fluida

Nilai luas penampang fluida yang direncanakan (A) dihitung menggunakan persamaan berikut dengan nilai setiap sisinya yang diketahui.

Volume penampang saluran prisma.

Diketahui, lebar sisi atas : 0,17 m

Lebar sisi bawah : 0,27 m

Panjang sisi : 0,5 m

Tinggi sisi : 0,17 m

Luas trapesium :

$$L \triangle = \frac{a+b}{2} \times c = \frac{0,17+0,27}{2} \times 0,5 = 0,11 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume prisma } \triangle \times d = 0,11 \times 0,17 = 0,0187 \text{ m}^2$$

- a. Volume penampang balok
Diketahui, panjang : 0,75 m
Lebar : 0,17 m
Tinggi : 0,17 m
Volume balok = $P \times l \times t = 0,75 \times 0,17 \times 0,17 = 0,0216 \text{ m}^3$
Nilai luas total area penampang saluran fluida (A) :
V. prisma + V. Balok = $0,0187 \text{ m}^2 \times 0,0216 \text{ m}^2 = 0,0403 \text{ m}^2$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Debit Air Dalam Penampang Saluran

Diketahui tinggi air dalam penampang saluran = 5 cm = 0,05 m, maka untuk menentukan nilai debit air dalam penampang dihitung dengan persamaan :

- a. volume basah prisma = $L \triangle \times \text{tinggi air}$
 $= 0,11 \times 0,05 = 5,5 \times 10 \text{ m}^{-3}$
 $= 0,0055 \text{ m}^3$
b. Volume basah balok = $P \times l \times \text{tinggi air}$
 $= 0,75 \times 0,17 \times 0,05 = 6,375 \times 10 \text{ m}^{-3}$
 $= 0,000638 \text{ m}^3$
c. Volume basah total dalam penampang saluran :
Volume basah prisma + Volume Basah balok
 $= 0,0055 + 0,00638$
 $= 0,0119 \text{ m}^3$

3.2. Perhitungan Debit Air

Diketahui volume basah air dalam penampang (Q) = 0,0119 m³ dan kecepatan rata-rata dalam saluran penampang (t) = 0,83 s, maka untuk menentukan besarnya debit air (Q) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q = \frac{\text{V. basah total}}{\text{kecepatan air rata-rata}} = \frac{0,0119}{0,63} = 0,018 \text{ m}^3/\text{s} = 18 \text{ L/s}$$

Daya hidrolik (P_h) pada aliran Sungai Rahtawu ditentukan dengan menggunakan persamaan 1:

$$\begin{aligned} P_h &= 9,81 \times Q \times h + \frac{1}{2} \times Q \times v^2 \\ (1) \\ &= 9,81 \times 0,018 \times 0,825 + \frac{1}{2} \times 0,018 \times 1,98^2 \\ &= 0,180 \text{ kW} \\ &= 180 \text{ watt} \end{aligned}$$

3.3. Daya air

Rumus perhitungan daya air (P_{air}) menggunakan persamaan 2.

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \quad (2)$$

Maka P = $1000 \times 0,180 \times 9,81 \times 0,825 = 145,678 \text{ Watt}$

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} = \frac{2 \times 3,14 \times 31,53}{60} = \frac{198}{60} = 3,3 \text{ rad/s}$$

3.4. Torsi

Perhitungan torsi menggunakan persamaan 3 :

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{n}{60}} \quad (3)$$

Dimana : P = Daya (W)

n = putaran (rpm)

Data P = 180 watt

n = 31,53 rpm

$$T = \frac{180}{2 \times 3,14 \times \frac{31,53}{60}} = 54,68 \text{ Nm}$$

3.5. Daya pada kincir

Untuk perhitungan daya kincir (P_k) diketahui efisiensinya 0,128 %, maka perhitungan daya kincir adalah :

$$P_k = T \times \omega = 54,68 \cdot 3,3 = 180,44 \text{ Watt}$$

Perhitungan efisiensi (η) menggunakan persamaan 4:

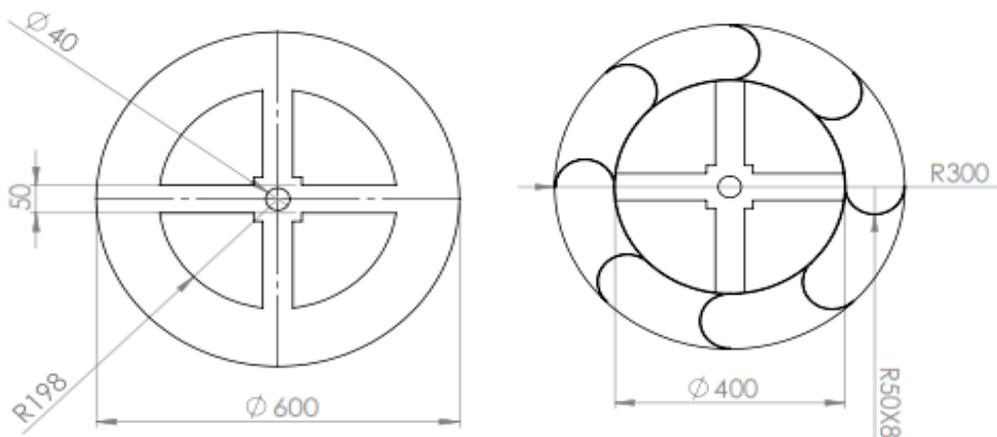
$$\eta = \frac{P_{air}}{P_k} \times 100\% \quad (4)$$

maka :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{145,678}{180,44} \times 100\% \\ &= 80,73 \% \end{aligned}$$

3.6. Perancangan Kincir Air

Hasil survey di lokasi, terdapat perbedaan ketinggian setinggi 2,5 m pada ujung terjunan sampai dengan dasar terjunan air, maka kincir yang direncanakan pada diameter luarnya sebesar 0,6 m. Sedangkan diameter kincir bagian dalam sebesar 0,4 m. Tipe diameter luar dan dalam ditunjukkan gambar 2.



Gambar 2. Diameter luar dan diameter dalam kincir.

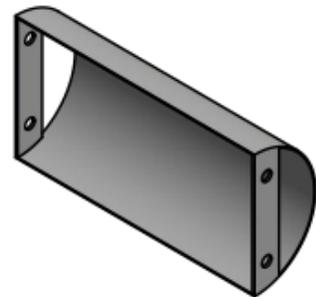
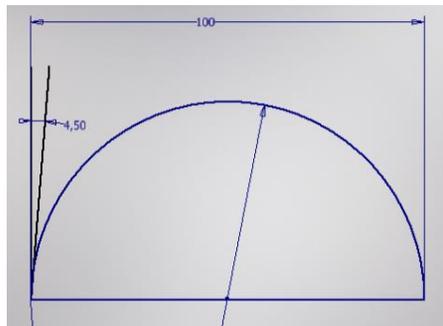
3.7. Kecepatan Air Dalam Penampang

Nilai kecepatan air yang melewati penampang saluran (v) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$v = \frac{s}{t} = \frac{1,25 \text{ m}}{0,63 \text{ s}} = 1,98 \text{ m/s}$$

Kecepatan Keliling Kincir, Untuk menentukan besar kecepatan keliling kincir dihitung melalui persamaan :

$$U_1 = \frac{v_1 \cos \alpha}{2}$$



Gambar 3. sudut alfa (α) pada sudu lengkung.

Data $v = 3,473 \text{ m/s}$

$$\alpha = 4,5^\circ$$

maka, $U_1 = \frac{v_1 \cos \alpha}{2} = \frac{0,18 \cos 4,5^\circ}{2} = 1,731 \text{ m/s}$

Putaran kincir (n) :

$$n = \frac{60 \cdot U_1}{\pi \cdot D_1} = \frac{60 \times 1,731}{3,14 \times 0,6} = \frac{103,83}{1,884} = 55,12 \text{ rpm}$$

3.8. Jumlah Sudu Yang Aktif

Sebelum menentukan jumlah sudu aktif (i) perlu diketahui dahulu kecepatan putar kincir (N) melalui perhitungan berikut dengan diketahui jumlah sudu (z) = 8.

$$N = \frac{n}{60} = \frac{55,12}{60} = 0,918 \text{ rpm}$$

$$i = N \times z = 0,918 \times 8 = 7,350$$

Jumlah sudu yang aktif (i) = 0,3808 Jarak Antar Sudu, Berdasarkan ukuran kincir yang akan dibuat, diameter kincir bagian luar (D_1) = 60 cm = 0,6 m dan diameter dalam (D_2) = 40 cm = 0,4 m, maka diameter rata-ratanya (D_r) adalah :

$$D_r = \frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{0,6 + 0,4}{2} = 0,5 \text{ m}$$

$$t = \frac{D_r \times \pi}{z} = \frac{0,5 \times 3,14}{8} = 0,20 \text{ m}$$

perhitungan jarak antar sudu bagian luar (t_1) adalah :

$$t_1 = \frac{D_1 \times \pi}{z} = \frac{0,6 \times 3,14}{8} = 0,24 \text{ m}$$

untuk perhitungan jarak antar sudu bagian dalam (t_2) adalah :

$$t_2 = \frac{D_2 \times \pi}{z} = \frac{0,4 \times 3,14}{8} = 0,16 \text{ m}$$

3.9. Perhitungan Sudu Kincir

Sudu yang dibuat berbentuk setengah tabung dengan jari-jari (r) sebesar 0,05 m. untuk perhitungan kapasitas air yang diterima tiap sudu aktif menggunakan persamaan :

$$q = \frac{Q}{i} = \frac{0,14}{7,350} = 0,019 \text{ m}^3/\text{s}$$

berdasarkan rumus volume setengah tabung dengan alas setengah lingkaran, yaitu :

$$I = \frac{2 \times v}{\pi r^2}$$

diasumsikan $v = q$ dan $I = b$, maka :

$$b = \frac{2 \times 0,019}{3,14 \times 0,05} = \frac{0,063}{0,157} = 0,242 \text{ m}$$

kemudian tebal pancaran air yang memasuki lorong sudu dihitung dengan persamaan berikut dengan jarak sudu bagian luar (t_1) = 0,24 dan nilai $\alpha_1 = 4,5^\circ$, maka :

$$S_o = t_1 \sin \alpha_1 = 0,24 \sin 4,5$$

$$= 0,019 \text{ m}$$

3.10. Perhitungan Poros

Daya Rencana (Pd) menggunakan persamaan 5

$$Pd = fc \times P \tag{5}$$

Data : $fc = 1,2$; $P = 0,180 \text{ kW}$

Maka :

$$Pd = 1,2 \times 0,180 = 0,216 \text{ kW}$$

Momen Rencana

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{Pd}{n_1}$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{0,216}{55,12} = 3816,83 \text{ (kg.mm)}$$

Bahan yang digunakan dan spesifikasinya, Untuk poros kincir menggunakan logam jenis baja ST37 dengan spesifikasinya : kekuatan tarik (σ_b) = 37 kg/mm²; faktor keamanan (Sf_1) = 0,6; factor pengalih alir (Sf_2) = 1,3.

$$\text{Tegangan Geser Ijin } (\tau_a) = \tau_a = \sigma_b / (Sf_1 \times Sf_2)$$

$$\tau_a = 37 / (0,6 \times 1,3)$$

$$= 4,74 \text{ kg/mm}^2$$

Diameter Poros, Ukuran diameter poros dapat diperoleh dengan perhitungan rumus berikut :

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} \cdot K_t \cdot C_b \cdot T \right]^{\frac{1}{3}}$$

dimana :

d_s = diameter poros (mm)

τ_a = tegangan geser ijin (Kg/mm²)

K_t = faktor koreksi tumbukan

C_b = fator koreksi kemungkinan terjadinya beban lentur

T = momen rencana (kg.mm)

Diketahui :

$$\tau_a = 4,74 \text{ Kg/mm}^2$$

$$K_t = 1,5$$

$$C_b = 1,2$$

$$T = 3816,83 \text{ kg.mm}$$

Maka :

$$d_s = \left[\frac{5,1}{4,74} \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 3816,83 \right]^{\frac{1}{3}} = 19,48 \text{ mm}$$

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian, didapatkan kesimpulan :

- Telah di rancang Turbin Air tipe *overshot* dengan daya hidrolik yang mampu dihasilkan dari aliran sungai di desa rahtawu dengan besar debit 0,018 m³/s = 18 l/s, *head* terjunan 0,825 mm, dan kecepatan aliran 1,98 m/s adalah 0,180 kW.
- Daya pada kincir yang mampu dihasilkan dengan nilai efisiensi 80 % adalah sebesar 0,75 kW.
- Nilai perhitungan torsi secara teoritis yang dihasilkan dengan besar daya 180 watt dan putaran kincir 55,12 rpm adalah 54,68 nm.
- Diameter poros untuk kincir yang sesuai dengan menggunakan material jenis baja ST37 adalah 19,48 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Boli, A. Makhsud, M. Tahir, and M. Tahir, (2018) “Analisis Daya Output Dan Efisiensi Kincir Air Sudu Miring Yang Bekerja Pada Saluran Horizontal,” *Gorontalo J. Infrastruct. Sci. Eng.*, vol. 1, no. 2, p. 1, doi: 10.32662/gojise.v1i2.423.
- [2] J. Emitor, J. Teknik, E. Fakultas, and U. M. Surakarta, (2012), “pemanfaatan pemandian umum untuk pembangkit tenaga listrik mikrohidro (PLTMH) menggunakan kincir tipe,” vol. 12, no. 01, 2012.
- [3] Fernando, R. (2017). Kaji Eksperimental Turbin Air Tipe Undershot Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air Dipasang Secara Seri Pada Saluran Irigasi. *Jom F.TEKNIK*, 4(2), 1.
- [4] A.H. Ahrori, M. Kabib, R. Wibowo, (2019), Perancangan Dan Simulasi Turbin Pelton Daya Output Generator 20.000 Watt, *Jurnal Crankshaft*, Volume 2, No. 2, pp. 12-26.
- [5] Saputra, I. W. B., Weking, A. I., & Jasa, L. (2017). Rancang Bangun Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Menggunakan Kincir Overshot Wheel. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 16(2), 48. <https://doi.org/10.24843/mite.2017.v16i02p09>.
- [6] Christiawan, D., Jasa, L., & Sudarmojo, Y. P. (2017). Studi Analisis Pengaruh Model Sudu Turbin Pada Pembangkit Lisrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 16(2), 104. <https://doi.org/10.24843/mite.2017.v16i02p18>.
- [7] Santoso, H. A., Kusuma, G. E., So, S., Sarena, S. T., (2018). Perancangan dan Pembuatan Kincir Air Type Overshot Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *Proceeding 3rd Conference of Piping Engineering and its Application*, pp. 145–150.