

Perancangan Kincir Air *Undershot* untuk PLTPH pada *Tailrace* di PT X

Farhan Fihilmi Wahyudin^{1*}, Wahyu Budi Mursanto², Putri Vicky Hapsari³

^{1,2,3} Program Studi D4 Teknologi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung Barat

*Penulis Korespondensi, email: farhan.fihilmi.tptl21@polban.ac.id

Received: 06/08/2025

Revised: 09/09/2025

Accepted: 19/09/2025

Abstract. This research aims to design a Pico Hydro Power Plant (PLTPH) system utilizing the Tailrace flow from PLTA X by applying an undershot waterwheel. The design process involved field data collection, technical calculations, and modeling using SolidWorks software. The waterwheel was designed based on a flow velocity of 1.71 m/s and a discharge of 4.021 m³/s, producing mechanical power of 1.75 kW with an energy conversion efficiency of 49%. The final design features an outer diameter of 2.86 m, a blade width of 3 m, and a total of 18 blades. The selected material is aluminum alloy 6061-T6 with a blade thickness of 9 mm, chosen for its corrosion resistance and good mechanical strength. The analysis results indicate that this system is feasible to be implemented as a renewable energy source to support public street lighting around the PLTA site.

Keywords: PLTPH, Undershot waterwheel, Tailrace, Renewable energy, SolidWorks

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) dengan memanfaatkan aliran air buangan (*Tailrace*) dari PLTA X menggunakan kincir air tipe *undershot*. Perancangan dilakukan melalui pengumpulan data lapangan, perhitungan teknis, serta pemodelan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*. Kincir dirancang berdasarkan kecepatan aliran 1,71 m/s dan debit 4,021 m³/s, menghasilkan daya mekanis sebesar 1,75 kW dengan efisiensi konversi energi sebesar 49%. Desain akhir memiliki diameter luar 2,86 m, lebar sudu 3 m, dan jumlah sudu sebanyak 18 buah. Material yang digunakan adalah *aluminium alloy 6061-T6* dengan ketebalan sudu 9 mm, dipilih karena ketahanan korosi dan kekuatan mekanisnya yang baik. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem ini layak diterapkan sebagai sumber energi terbarukan untuk mendukung penerangan jalan umum di sekitar lokasi PLTA.

Kata Kunci: PLTPH, Kincir air *undershot*, *Tailrace*, Energi terbarukan, *SolidWorks*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri. Saat ini, pemenuhan kebutuhan energi masih didominasi oleh penggunaan energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam, yang berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca dan berdampak negatif pada lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan upaya memanfaatkan sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan, salah satunya adalah Pembangkit listrik berbasis tenaga air [1].

Saat ini pembangkit listrik berbasis tenaga air menjadi salah satu sumber energi terbarukan cukup penting. Pembangkit listrik berbasis tenaga air menghasilkan beberapa keunggulan dibandingkan sebagian besar pembangkit listrik yang lainnya.

Energi potensial air termasuk energi yang bisa dikatakan paling murah dalam segi operasionalnya dalam pembangkitan listrik, seperti contoh salah satunya yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH). Dapat dikatakan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air Pikohidro karena pembangkit ini menghasilkan listrik di bawah 5kW [2].

Oleh karena itu, pada penelitian ini membahas terkait potensi energi yang tersedia sehingga dapat dimanfaatkan kembali untuk sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro pada saluran *Tailrace* PLTA X dengan menggunakan teknologi kincir air tipe *undershot*. Teknologi ini dianggap cocok karena kincir air tipe *undershot* dapat bekerja dengan hanya memanfaatkan air pada permukaan datar, debit, kecepatan aliran dan tidak terlalu menguntungkan perbedaan ketinggian air (*head*),

seperti yang terdapat pada saluran *Tailrace*. Melalui memanfaatkan air pembuangan dari PLTA X yang masih memiliki potensi air untuk memutar kincir air dengan memanfaatkan debit dan kecepatan aliran air yang ada.

Pemanfaatan air pembuangan dari PLTA X ini tidak hanya dapat meningkatkan kapasitas produksi listrik, tetapi juga berkontribusi dalam peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya air dan menghemat penggunaan listrik pemakaian sendiri dari PLTA X. Selain itu, penerapan PLTPH pada *Tailrace* PLTA X dapat menjadi salah satu solusi untuk memaksimalkan potensi energi terbarukan di Indonesia, sejalan dengan kebijakan pemerintah untuk meningkatkan kontribusi energi terbarukan dalam bauran energi nasional.

Kincir air merupakan komponen yang memanfaatkan energi kinetik menjadi energi mekanik yang di mana lebih sederhana dibandingkan dengan turbin air dalam membangkitkan listrik. Kincir air hanya memerlukan debit air dan kecepatan air untuk memutar kincir yang dihubungkan dengan generator. Pada konstruksi kincir air sendiri memungkinkan tidak memerlukan parameter yang sangat spesifik seperti turbin air.

Diharapkan perancangan kincir air untuk PLTPH yang dapat digunakan untuk penerangan jalan umum (PJU) di sepanjang jalan menuju PLTA X dapat memberikan solusi yang tepat. Sistem ini tidak hanya memanfaatkan energi terbarukan yang ramah lingkungan, tetapi juga mendukung keamanan dan kenyamanan masyarakat serta pekerja yang melewati akses tersebut. Selain itu, pengembangan ini sejalan dengan upaya pengurangan emisi karbon dan peningkatan pemanfaatan sumber energi terbarukan.

II. METODOLOGI

Metodologi penelitian ini mencakup langkah-langkah sistematis mulai dari studi literatur, pengumpulan data lapangan, perancangan kincir air menggunakan *software Solidworks* dan analisis hasil. Setiap tahapan dilakukan untuk memastikan

desain yang dihasilkan memenuhi efisiensi yang ditargetkan.

Menurut Haryanto (2017) pada bukunya menunjukkan bahwa efisiensi kincir air adalah 25%-45% untuk kincir *undershot*, 35%-65% untuk kincir *breastshot*, dan 60%-75% untuk kincir *overshot*, seperti yang diperlihatkan pada tabel 1 [3].

Tabel 1. Efisiensi Kincir Air

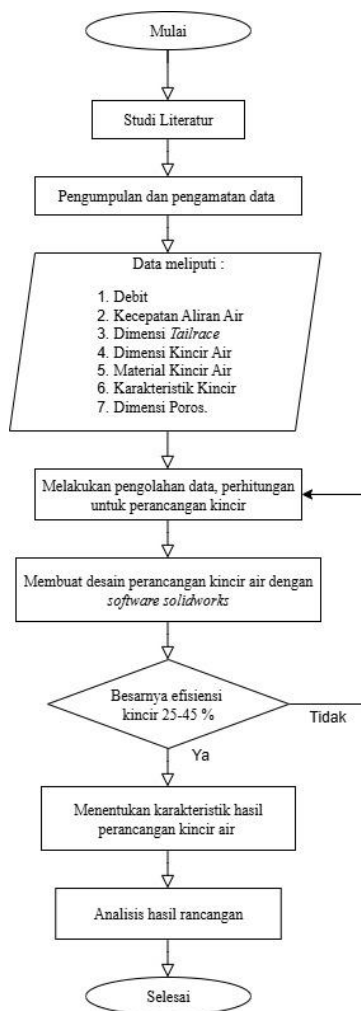
Kincir Air	<i>Undershot</i>	<i>Breatshot</i>	<i>Overshot</i>
Efisiensi (%)	25 - 45	35 - 65	60 - 75

Untuk merancang sebuah kincir air dapat ditentukan berdasarkan nilai debit aliran dan *head* menurut (Quaranta dan Revelli, 2018 dalam Prima Bintang Fajar Edly, 2021). Berikut merupakan klasifikasi tipe kincir air yang ditunjukkan pada tabel 2 [4] :

Tabel 2. Pemilihan Kincir Air

Type	Head (M)	Max. Flow Rate (m ³ /s)	Max. Efficiency
<i>Overshot</i>	3 – 6	0,2	80 – 85
<i>Breatshot</i>	1 – 4	0,6 – 1	70 – 85
<i>Undershot</i>	≤ 1.5	1	70 - 85

Pada gambar 1 merupakan diagram alir dari penelitian yang akan dilakukan. Pertama akan dilakukan studi literatur dimana akan dilakukan pengumpulan beberapa informasi refrensi yang terdapat kaitannya dengan penelitian yang akan dilakukan. Setelah mencari informasi refrensi, selanjutnya melakukan pengambilan data awal sebagai parameter awal untuk parameter awal perancangan. Untuk parameter awal yang ditentukan yaitu data debit pada *Tailrace* PLTA X, kecepatan aliran air pada *Tailrace* PLTA X, dimensi *Tailrace*, dimensi kincir air, material kincir air dan dimensi pada poros kincir. Setelah dilakukan pengumpulan parameter awal, dilakukan penentuan untuk jenis kincir air yang akan digunakan (kincir air *undershot*). Untuk menentukan efisiensi kincir air *undershot* sebesar 25% hingga 45%.



Gambar 1. Flow Chart Penelitian

A. Sumber data



Gambar 1. Tailrace PLTA X

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data yang menjadi dasar dalam proses perancangan. Data primer atau data yang diperoleh dari pengamatan dan pengukuran secara langsung sebagai referensi awal untuk memperkirakan desain yang akan dibuat, serta dilengkapi dengan data sekunder atau data yang diperoleh dari perusahaan yang telah diolah lebih lanjut dan biasanya disajikan dalam bentuk diagram atau tabel. Dalam perancangan

kincir air *undershoot* untuk pemanfaatan air pembuangan pada Tailrace di PLTA X, beberapa data digunakan sebagai parameter utama, yang disajikan dalam tabel 3 :

Tabel 3. Data pada Tailrace

DATA TAILRACE PLTA X	
Lebar terukur oleh alat	4 m
Luas Penampang Basah	2,5 m ²
Kecepatan rata-rata	1,83 m/s
Debit terukur	4,44 m ³ /s
Rata-rata debit 1 tahun kebelakang	4,021 m ³ /s
Panjang Tailrace	29 m

B. Tahapan perancangan kincir

Perancangan kincir air dilakukan melalui beberapa tahapan yang bertujuan untuk menghasilkan desain yang sesuai dengan kondisi lapangan dan kebutuhan daya. Salah satu jenis kincir yang dirancang dalam penelitian ini adalah kincir air tipe *undershot*, yang cocok digunakan pada aliran air berkecepatan rendah dan tinggi debit.

1. Wet circumference

Wet Circumference (keliling basah) adalah panjang total keliling penampang saluran yang bersentuhan langsung dengan fluida (air). Sebelum menentukan radius hidrolis perlu diketahui dulu keliling basah pada Tailrace. Untuk menentukan keliling basah dapat ditentukan dengan persamaan 1 [5] :

$$K = B + 2 \times Y \quad (1)$$

$$K = 4 + 2 (0,7 \text{ m})$$

$$K = 5,4 \text{ m}$$

2. Hidrolik

Setelah diketahui nilai dari keliling basah maka radius hidrolis dapat ditentukan dengan persamaan 2 [6] :

$$R_h = \frac{A}{K} \quad (2)$$

$$R_h = \frac{2,8}{5,4}$$

$$R_h = 0,52 \text{ m}$$

3. Diameter luar

Penentuan diameter luar kincir mengacu pada radius hidrolik yang telah ditentukan, sehingga diameter luar dapat ditentukan dengan persamaan 3 [6] :

$$\begin{aligned} D_{out} &= \frac{2 \times R_h}{0.3621} \quad (3) \\ D_{out} &= \frac{2 \times 0,52}{0.3621} \\ D_{out} &= 2,86 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Diameter dalam

Panjang diameter dalam merupakan 2/3 dari diameter luar, sehingga nilai diameter dalam dapat dihitung menggunakan persamaan 4 [6]:

$$\begin{aligned} D_{in} &= \frac{2}{3} \times D_{out} \quad (4) \\ D_{in} &= \frac{2}{3} \times 2,86 \text{ m} \\ D_{in} &= 1,9 \text{ m} \end{aligned}$$

5. Lebar sudu kincir

Sudu kincir adalah bagian bilah (*blade*) pada kincir air yang berfungsi menangkap energi aliran air dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Lebar sudu ditentukan berdasarkan diameter luar. Lebar sudu dapat ditentukan dengan persamaan 5 [6] :

$$\begin{aligned} B_k &= 0,17 \times D_{out} \quad (5) \\ B_k &= 0,17 \times 2,86 \text{ m} \\ B_k &= 0,49 \text{ m} \end{aligned}$$

6. Panjang sudu kincir

Panjang sudu kincir air *undershot* dapat dihitung berdasarkan diameter luar dan panjang diameter dalam, maka panjang sudu kincir dapat ditentukan dari persamaan 6 [5]:

$$\begin{aligned} b &= \frac{D_{out} - D_{in}}{2} \quad (6) \\ b &= \frac{2,86 \text{ m} - 1,9 \text{ m}}{2} \\ b &= 0,48 \text{ m} \end{aligned}$$

7. Jumlah sudu kincir

Jumlah sudu pada kincir dapat dihitung berdasarkan diameter luar dan lebar sudu, maka

untuk menentukan jumlah sudu kincir dapat ditentukan dari persamaan 7 [5] :

$$\begin{aligned} Z &= \frac{\pi \times D_{out}}{B_k} \quad (7) \\ Z &= \frac{\pi \times 2,86 \text{ m}}{0,49} \\ Z &= 18,47 = 18 \text{ sudu} \end{aligned}$$

8. Luas sudu kincir

Luas sudu kincir ditentukan berdasarkan perkalian antara panjang dan lebar sudu kincir, maka luas sudu kincir didapatkan dengan persamaan 8 [7] :

$$\begin{aligned} A_s &= b \times h \quad (8) \\ A_s &= 0,48 \times 0,49 \\ A_s &= 0,23 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

9. Kecepatan keliling kincir

Kecepatan keliling kincir dapat dihitung berdasarkan kecepatan aliran air dan kemiringan sudu, maka kecepatan keliling kincir dapat ditentukan dengan persamaan 9 [4] :

$$\begin{aligned} U &= \frac{v \times \cos(\theta)}{2} \quad (9) \\ U &= \frac{1,71 \times \cos(0^\circ)}{2} \\ U &= 0,86 \text{ m/s} \end{aligned}$$

10. Putaran kincir

Putaran kincir air dapat ditentukan berdasarkan kecepatan keliling kincir dan diameter luar pada kincir, maka putaran kincir dapat ditentukan dengan persamaan 10 [4] :

$$\begin{aligned} n &= \frac{60 \times U}{\pi \times D_{out}} \quad (10) \\ n &= \frac{60 \times 0,86 \text{ m/s}}{\pi \times 2,86 \text{ m}} \\ n &= 5,7 \text{ rpm} \end{aligned}$$

11. Kecepatan sudut

Kecepatan angular atau kecepatan sudut dapat ditentukan dengan persamaan 11 [4] :

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2 \times \pi \times n}{60} \quad (11) \\ \omega &= \frac{2 \times \pi \times 5,7 \text{ rpm}}{60} \end{aligned}$$

$$\omega = 0,60 \text{ rad/s}$$

12. Kecepatan relatif

Kecepatan relatif kincir ditentukan berdasarkan kecepatan aliran air dan kecepatan keliling kincir air, maka kecepatan relatif dapat ditentukan dengan persamaan 12 [7] :

$$V_r = v - U \quad (12)$$

$$V_r = 1,71 \text{ m/s} - 0,86 \text{ m/s}$$

$$V_r = 0,85 \text{ m/s}$$

13. Gaya fluida

Gaya fluida pada kincir adalah gaya dorong dari aliran air yang mengenai permukaan sudu kincir. Gaya Fluida dapat ditentukan dengan persamaan 13 [7] :

$$F = \rho \times A_s \times v \times V_r \quad (13)$$

$$F = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,23 \text{ m}^2 \times 1,71$$

$$\text{m/s} \times 0,85 \text{ m/s}$$

$$F = 334,30 \text{ N}$$

14. Torsi

Torsi dapat ditentukan berdasarkan gaya fluida dan jari – jari kincir, maka untuk mendapatkan nilai torsi pada kincir didapatkan dengan persamaan 14 [8] :

$$\tau = F \times r \quad (14)$$

$$\tau = 334,30 \text{ N} \times 1,4 \text{ m}$$

$$\tau = 468,02 \text{ Nm}$$

15. Daya kincir

Daya kincir air didapatkan perkalian antara torsi dengan kecepatan sudut, maka daya kincir didapatkan dengan persamaan 15 [8] :

$$P_k = \tau \times \omega \quad (15)$$

$$P_k = 475,68 \text{ Nm} \times 0,60$$

$$\text{rad/s}$$

$$P_k = 285,40 \text{ Watt}$$

16. Daya air

Daya air yang dimanfaatkan oleh kincir dapat ditentukan dengan persamaan 16 [9] :

$$P_{air} = 0,5 \times \rho \times A_s \times v^3 \quad (16)$$

$$P_{air} = 0,5 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,23$$

$$\text{m}^2 \times 1,71 \text{ m/s}^3$$

$$P_{air} = 575,02 \text{ Watt}$$

17. Efisiensi

Efisiensi didapatkan dari perbandingan daya kincir dengan daya air, maka efisiensi kincir dapat ditentukan dengan persamaan 17 [8] :

$$\eta = \frac{P_k}{P_{air}} \times 100\% \quad (17)$$

$$\eta = \frac{285,40 \text{ W}}{575,02 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 0,49 = 49\%$$

Perancangan ini penulis mencoba menambahkan dimensi pada kincir yaitu pada sudu yang mulanya memiliki lebar sebesar 0,49 m diubah menjadi 3 m. Perubahan pada lebar sudu kincir ini disebabkan karena pemanfaatan ruang pada *Tailrace* yang masih memiliki ruang yang cukup luas, dimana lebar dari *Tailrace* ini yaitu 4 m, maka dari itu untuk hasil perhitungan jika lebar sudu diubah menjadi 3 m maka perbedaan hasil pada perhitungannya sebagai berikut :

1. Lebar sudu kincir

$$B_k = 3 \text{ m}$$

2. Panjang sudu kincir

Panjang sudu kincir air *undershot* dapat dihitung berdasarkan diameter luar dan panjang diameter dalam, maka panjang sudu kincir dapat ditentukan dari persamaan 18 [5] :

$$b = \frac{D_{out} - D_{in}}{2} \quad (18)$$

$$b = \frac{2,86 \text{ m} - 1,9 \text{ m}}{2}$$

$$b = 0,48 \text{ m}$$

3. Jumlah sudu kincir

Penentuan Jumlah sudu disamakan dengan perhitungan sebelumnya yaitu 18 sudu.

$$Z = 18 \text{ sudu}$$

4. Luas sudu kincir

Luas sudu kincir ditentukan berdasarkan perkalian antara panjang dan lebar sudu kincir, maka luas sudu kincir didapatkan dengan persamaan (19) [7] :

$$\begin{aligned} A_S &= b \times h \\ A_S &= 0,48 \times 3 \\ A_S &= 1,43 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (19)$$

5. Kecepatan keliling kincir

Kecepatan keliling kincir dapat dihitung berdasarkan kecepatan aliran air dan kemiringan sudu, maka kecepatan keliling kincir dapat ditentukan dengan persamaan 20 [4] :

$$\begin{aligned} U &= \frac{v \times \cos(\theta)}{2} \\ U &= \frac{1,71 \times \cos(0^\circ)}{2} \\ U &= 0,86 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (20)$$

6. Putaran kincir

Putaran kincir air dapat ditentukan berdasarkan kecepatan keliling kincir dan diameter luar pada kincir, maka putaran kincir dapat ditentukan dengan persamaan 21 [4] :

$$\begin{aligned} n &= \frac{60 \times U}{\pi \times D_{out}} \\ n &= \frac{60 \times 0,86 \text{ m/s}}{\pi \times 2,86 \text{ m}} \\ n &= 5,7 \text{ rpm} \end{aligned} \quad (21)$$

7. Kecepatan sudut

Kecepatan angular atau kecepatan sudut dapat ditentukan dengan persamaan 22 [4] :

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2 \times \pi \times n}{60} \\ \omega &= \frac{2 \times \pi \times 5,7 \text{ rpm}}{60} \\ \omega &= 0,60 \text{ rad/s} \end{aligned} \quad (22)$$

8. Kecepatan relatif

Kecepatan relatif kincir ditentukan berdasarkan kecepatan aliran air dan kecepatan keliling kincir air, maka kecepatan relatif dapat ditentukan dengan persamaan 23 [7] :

$$\begin{aligned} V_r &= v - U \\ V_r &= 1,71 \text{ m/s} - 0,86 \text{ m/s} \\ V_r &= 0,85 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (23)$$

9. Gaya fluida

Gaya fluida pada kincir adalah gaya dorong dari aliran air yang mengenai permukaan sudu kincir. Gaya Fluida dapat ditentukan dengan persamaan 24 [7] :

$$\begin{aligned} F &= \rho \times A_S \times v \times V_r \\ F &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 1,43 \text{ m}^2 \\ &\quad \times 1,71 \text{ m/s} \times 0,85 \text{ m/s} \\ F &= 2093,62 \text{ N} \end{aligned} \quad (24)$$

10. Torsi

Torsi dapat ditentukan berdasarkan gaya fluida dan jari – jari kincir, maka untuk mendapatkan nilai torsi pada kincir didapatkan dengan persamaan 25 [8] :

$$\begin{aligned} \tau &= F \times r \\ \tau &= 2093,6 \text{ N} \times 1,4 \text{ m} \\ \tau &= 2931,07 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (25)$$

11. Daya Kincir

Daya kincir air didapatkan perkalian antara torsi dengan kecepatan sudut, maka daya kincir didapatkan dengan persamaan 26 [8] :

$$\begin{aligned} P_k &= \tau \times \omega \\ P_k &= 2931,07 \text{ Nm} \times 0,60 \\ &\quad \text{rad/s} \\ P_k &= 1750,07 \text{ Watt} \end{aligned} \quad (26)$$

12. Daya Air

Daya air yang dimanfaatkan oleh kincir dapat ditentukan dengan persamaan 27 [9] :

$$\begin{aligned} P_{air} &= 0,5 \times \rho \times A_S \times v^3 \\ P_{air} &= 0,5 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times \\ &\quad 1,43 \text{ m}^2 \times 1,71 \text{ m/s}^3 \\ P_{air} &= 3580,09 \text{ Watt} \end{aligned} \quad (27)$$

13. Efisiensi

Efisiensi didapatkan dari perbandingan daya kincir dengan daya air, maka efisiensi kincir dapat ditentukan dengan persamaan 28 [8] :

$$\eta = \frac{P_k}{P_{air}} \times 100\% \quad (28)$$

$$\eta = \frac{1750,07 \text{ W}}{3580,09 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 0,49 = 49\%$$

Tabel 4. Hasil Rancangan Kincir

HASIL RANCANGAN KINCIR			
Parameter	Lebar Sudu 0,49 m	Lebar Sudu 3 m	Satuan
Diameter Luar	2,86	2,86	m
Diameter Dalam	1,9	1,9	m
Jari - Jari Luar	1,4	1,4	m
Jari - jari Dalam	0,95	0,95	m
Lebar Sudu	0,49	3	m
Panjang Sudu	0,48	0,48	m
Jumlah Sudu	18	18	
Kecepatan Keliling	0,86	0,86	m/s
Kecepatan Relatif	0,85	0,85	m/s
Gaya Fluida	334,3	2093,62	N
Torsi	468,02	2931,07	Nm
Kecepatan Sudut	0,6	0,6	rad/s
Daya Kincir	285,4	1750,07	W
Efisiensi	0,49	0,49	%

C. Penentuan diameter poros

Poros merupakan komponen vital dalam turbin yang berperan dalam mentransmisikan daya atau torsi ke poros generator yang terhubung dengannya. Dalam proses perakitan, poros biasanya tidak dibuat sebagai satu kesatuan utuh, melainkan terdiri dari beberapa bagian dengan dimensi yang berbeda-beda sesuai kebutuhan desain.

1. Penentuan daya rencana

Untuk menentukan daya rencana dapat ditentukan dengan persamaan 29 [10] :

$$Pd = fc \times P \quad (29)$$

$$Pd = 1 \times 1750,07$$

$$Pd = 1750,07 \text{ Watt}$$

2. Torsi rencana

Torsi rencan ditentukan berdasarkan daya rencana, maka untuk mendapatkan momen puntir maksimal dapat ditentukan dengan persamaan 30 [10] :

$$Td = 9,74 \times 10^5 \times \frac{Pd}{n} \quad (30)$$

$$Td = 9,74 \times 10^5 \times \frac{1,75}{5,7}$$

$$Td = 299035,08 \text{ kg.mm}$$

$$Td = 2932,53 \text{ Nm}$$

3. Tegangan geser

Pada perencanaan ini poros yang digunakan berbahan baja karbon S30C JIS G 4501. dengan kekuatan Tarik (σ_B) sebesar 48kg/mm². Untuk jenis bahan S-C memiliki faktor keamanan ($Sf1$) sebesar 6,0. Serta untuk $Sf2$ memiliki faktor keamanan sekitar 1,3– 3,0. Dan pada perancangan ini ditentukan $Sf2$ sebesar 2. Sehingga untuk memperoleh tegangan geser dapat menggunakan persamaan 31 [10] :

$$\tau\alpha = \frac{\sigma_B}{Sf1 \times Sf2} \quad (31)$$

$$\tau\alpha = \frac{48}{6 \times 2}$$

$$\tau\alpha = 4 \text{ kg/mm}^2$$

$$\tau\alpha = 4 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \text{ (Pa)}$$

4. Diameter poros

Untuk memperoleh diameter poros diperlukan faktor koreksi momen puntir (Kt) dan faktor koreksi beban lentur (Cb). Pada perancangan ini menggunakan jenis pembebanan poros yang berputar, sehingga ditentukan Kt sebesar 1,5 dan Cb sebesar 2. Untuk memperoleh dimensi poros dapat menggunakan persamaan 32 [10] :

$$Dp = \left[\frac{5,1}{4} \times Kt \times Cb \times Td \right]^{\frac{1}{3}} \quad (32)$$

$$D_p = \left[\frac{5,1}{4} \times 1,5 \times 2 \times 299035,08 \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_p = 104,58 \text{ mm (105 mm)}$$

$$D_p = 0,105 \text{ m}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil rancangan

Berikut merupakan hasil rancangan dari perhitungan yang telah dibuat dapat dilihat pada tabel 5.

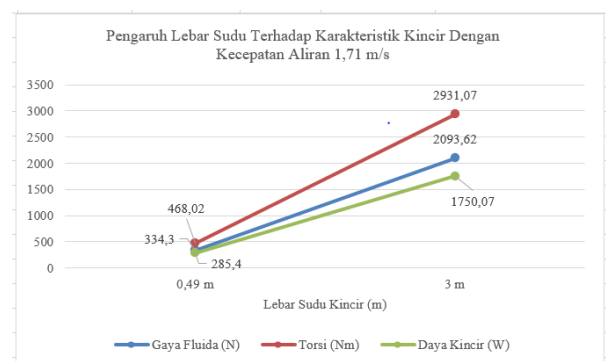
Tabel 5. Hasil Perancangan Kincir Air *Undershot*

TABEL HASIL PERANCANGAN KINCIR AIR <i>UNDERSHOT</i>			
Item	Notasi	Nilai	Satuan
Kriteria Rancangan			
Kecepatan Aliran	V	1,71	m/s
Debit Air	Q	4,021	m ³ /s
Lebar Saluran	B	4	m
kedalaman Aliran	H	0,8	m
Karakteristik Aliran			
Daya Hidrokinetik	P_k	3580,09	W
Luas Penampang Aliran	A	2,8	m ²
<i>Wet Circumference</i>	K	5,4	m
Radius Hidrolik	P_h	0,52	m
Perhitungan Dimensi Kincir			
Diameter Luar	D_{out}	2,86	m
Diameter Dalam	D_{in}	1,9	m
Lebar Sudu	B_k	3	m
Panjang Sudu	L	0,48	m
Jumlah Sudu	Z	18	-
Perhitunga Karakteristik Kincir			
Kecepatan Keliling Kincir	U	0,86	m/s
Kecepatan Putar Kincir	N	5,7	RPM
Kecepatan Sudut	ω	0,60	rad/s
Gaya Fluida	F	2093,62	N
Torsi	T	2931,07	Nm

Daya Keluaran Kincir	P_{out}	1750,07	W
Perhitungan Poros			
Daya Rencana	P_d	1750,07	W
Torsi Rencana	T_d	2932,53	Nm
Tegangan Geser yang Diizinkan	$\tau\alpha$	4×10^6	N/m ² (Pa)
Diameter Poros	D	0,105	m

Tabel 4 menyajikan hasil perancangan sistem kincir air tipe *undershot* yang dirancang untuk memanfaatkan aliran air dengan kecepatan 1,71 m/s dan debit sebesar 4,021 m³/s. Berdasarkan parameter aliran dan dimensi saluran, daya hidrokinetik total yang tersedia dihitung sebesar 3.580,09 W dengan luas penampang aliran 2,8 m². Dimensi utama kincir dirancang dengan diameter luar 2,86 m, diameter dalam 1,9 m, serta jumlah sudu sebanyak 18 buah dengan lebar sudu 3 m dan panjang sudu 0,48 m.

Penentuan untuk lebar sudu yang awalnya memiliki lebar hanya 0,49 m diubah menjadi lebar sudu sebesar 3 m disebabkan karena masih tersedianya ruang pada *Tailrace* PLTA X. Hasil dari mengubah lebar sudu juga menghasilkan perubahan pada karakteristik kincir, hasil tersebut dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hasil Pengaruh Lebar Sudu Terhadap Karakteristik Kincir

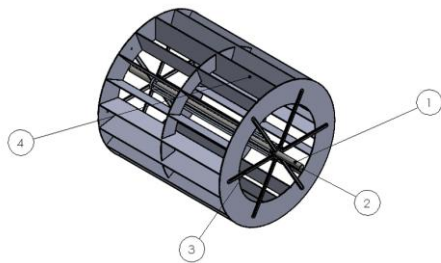
Grafik menunjukkan bahwa peningkatan lebar sudu kincir dari 0,49 m menjadi 3 m memberikan pengaruh signifikan terhadap karakteristik kincir, yaitu gaya fluida, torsi, dan daya keluaran. Gaya fluida meningkat dari 334,3 N menjadi 2093,62 N, torsi naik dari 468,02 Nm menjadi 2931,07 Nm, dan daya kincir bertambah dari 285,4 W menjadi

1750,07 W. Hal ini membuktikan bahwa semakin lebar sudu, maka semakin besar pula energi aliran air yang dapat ditangkap.

Karakteristik putaran kincir menunjukkan kecepatan keliling sebesar 0,86 m/s dengan kecepatan putar 5,7 RPM atau setara 0,6 rad/s. Dari simulasi dan perhitungan gaya fluida sebesar 2.093,62 N, diperoleh torsi sebesar 2.143,091 Nm dan daya keluaran mekanis dari kincir sebesar 1.750,07 W atau setara 1,75 kW, yang sejalan dengan daya rencana awal.

Perhitungan teknis terhadap poros menunjukkan bahwa untuk menahan torsi rencana sebesar 1,75 kW, diperoleh kebutuhan diameter poros sebesar 105 mm, dengan tegangan geser yang diizinkan sebesar 4 kg/mm².

Visualisasi hasil perancangan kincir air undershot dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Rancangan Kincir Air *Undershot*

Keterangan :

1. Poros Kincir
2. Hub Kincir
3. *Radial Arm*
4. Sudu Kincir

B. Penentuan material

Pemilihan material untuk kincir air merupakan aspek penting dalam proses perancangannya. Jenis material yang digunakan akan memengaruhi berat pada kincir, kecepatan putarnya, serta jumlah energi yang mampu dihasilkan.

Menurut Setyawan, (2024) [11] pada penelitiannya yang berjudul “*Effect of blade materials on the undershot water turbine performance*” yang melakukan penelitian terkait

variasi material kincir air, meliputi *Galvanized*, Aluminium, Aluminium *Composite Panel*, dan akrilik. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa aluminium merupakan material yang paling optimal. Hal ini dibuktikan dengan capaian putaran kincir sebesar 24 RPM, daya *Brake Horse Power* sebesar 180 W, dan efisiensi mencapai 30%.

Penelitian menurut Suratmaja et al., n.d. [12] yang berjudul “*Optimalisasi Kinerja Kincir Air Dengan Menggunakan Material aluminium tipe undershot*” yang melakukan penelitian terkait penggunaan aluminium sebagai material kincir air dengan variasi jumlah sudu, yaitu 8, 14, dan 18 sudu. Dari hasil penelitian tersebut, ditemukan bahwa konfigurasi 18 sudu dengan material aluminium memberikan performa paling optimal dibandingkan dengan jumlah sudu lainnya.

Berdasarkan pada penelitian sebelumnya maka pada perancangan ini, material yang digunakan yaitu *aluminium alloy 6061 – T6*, menurut buku J.R. Davis, (2001) [13] *aluminium alloy 6061 - T6* memiliki kemampuan bentuk, kemampuan las, ketahanan korosi, serta kekuatan yang baik, sehingga menjadikannya material serbaguna yang cocok digunakan untuk berbagai aplikasi struktural dan rakitan las.

C. Penentuan ketebalan sudu kincir

Ketebalan sudu kincir termasuk ke dalam parameter utama dalam perancangan kincir air. Karena ketebalan sudu mempengaruhi putaran kincir, berat kincir serta berpengaruh pada karakteristik lainnya untuk kincir. Menurut Wahyudi & Cahyadi, (2012) [14] variasi ketebalan sudu berpengaruh signifikan terhadap kinerja kincir air, khususnya terhadap daya poros dan efisiensi. Diketahui bahwa semakin tebal sudu, maka daya poros dan efisiensi cenderung menurun akibat meningkatnya gaya friksi yang menghambat putaran kincir. Nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada sudu dengan ketebalan 3 mm.

Penentuan ketebalan sudu pada perancangan ini penulis memilih menggunakan sudu dengan ketebalan 9 mm. Meskipun secara teoritis efisiensi maksimum tidak dicapai pada ketebalan ini, keputusan tersebut diambil dengan

mempertimbangkan beberapa faktor teknis. Salah satunya adalah dimensi kincir yang cukup besar, yang membutuhkan struktur sudu yang lebih kokoh agar mampu menahan beban dan gaya air. Selain itu, kecepatan aliran air yang digunakan dalam sistem ini adalah sebesar 1,71 m/s, yang menuntut ketahanan mekanis lebih tinggi pada sudu. Oleh karena itu, ketebalan 9 mm dianggap sebagai kompromi yang optimal antara efisiensi kinerja dan kekuatan struktural sudu kincir.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan yang didasarkan pada hasil perhitungan didapatkan kincir air tipe undershot dan dapat disimpulkan bahwa hasil dengan dimensi kincir air berdiameter luar 2,86 m dan lebar sudu 3 m dapat menghasilkan daya sebesar 1,75 kW lebih besar dibandingkan dengan lebar sudu awal 0,49 m pada kondisi aliran air *Tailrace* PLTA X dengan kecepatan 1,71 m/s dan debit 4,021 m³/s. Efisiensi kincir mencapai 49%, yang menunjukkan bahwa teknologi ini layak dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Pemilihan material *aluminium alloy* 6061-T6 dan ketebalan sudu 9 mm menurut penelitian sebelumnya dianggap tepat untuk menjaga kekuatan struktur dan ketahanan terhadap korosi, meskipun sedikit mengorbankan efisiensi optimal.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan pengujian eksperimental terhadap prototipe yang telah dirancang guna memverifikasi hasil simulasi, serta mengeksplorasi penggunaan sudu dengan profil aerodinamis dan variasi sudut kemiringan untuk meningkatkan efisiensi konversi energi. Selain itu, integrasi sistem PLTPH ini dengan sistem penyimpanan energi atau kontrol beban juga dapat dikaji lebih lanjut guna mendukung keandalan suplai listrik bagi penerangan jalan umum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Ir. Wahyu Budi Mursanto, M.Eng. selaku dosen pembimbing pertama, serta kepada Ibu Putri Vicky Hapsari, S.Tr.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing kedua,

atas segala bentuk bimbingan, nasihat, dan dukungan yang telah diberikan selama proses penyusunan penelitian ini. Semoga ilmu dan bantuan yang telah diberikan menjadi amal kebaikan yang terus mengalir serta mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah Subhanahu wa Ta'ala.

REFERENSI

- [1] V. Dwisari, "Pemanfaatan Energi Matahari: Masa Depan Energi Terbarukan."
- [2] G. Molanda *et al.*, "Sinergi Polmed : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Purwarupa Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Menggunakan Turbin Pelton." [Online]. Available: <http://ojs.polmed.ac.id/index.php/Sinergi/index>
- [3] A. Haryanto, *Energi Terbarukan*. Bandar Lampung: Innosain, 2017.
- [4] P. B. F. Edly, "Skripsi Perancangan Kincir Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Aliran Head Rendah: Studi Kasus Di Desa Kutamendala Kabupaten Brebes," Universitas Tidar, 2021.
- [5] Fadly Mahendra Febrian Syach, "Rancangan Kincir Air Undershot Dengan Debit 1,995 m³/s," Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2023.
- [6] B. Tangaran and C. P. Tiwouy, "Performance of Undershot Water Wheel as Mini Hydro Power Plant for Agricultural Road," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, vol. 12, no. 11, pp. 21–30, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/9TBPC>
- [7] Aldi Setiadi, "Rancangan Turbin Air Pada Outfall Kondensor PLTU Suralaya," Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2023.
- [8] H. D. Hafid, "Skripsi Analisis Kinerja Kincir Air Savonius Poros Vertikal Dengan Dua Sudu Pada Beberapa Variasi Debit," Universitas Hasanuddin, 2023.
- [9] Purwanto, "Studi pola aliran fluida pada kincir air tipe undershot sudu datar menggunakan simulasi cfd," 2019.
- [10] Sularso and Kiyokatsu Suga, *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. PT. Pradnya Paramita, 2004.

- [11] Y. Setyawan, “Effect of blade materials on the undershot water turbine performance,” 2024. [Online]. Available: www.jart.icat.unam.mx
- [12] S. Suratmaja, M. Putra, J. Soares, E. Setyawan Institut Teknologi Nasional Malang, and J. Raya Karanglo Km, “Optimalisasi Kinerja Kincir Air Dengan Menggunakan Material Aluminium Tipe Undershot.”
- [13] J.R. Davis, “Aluminum and Aluminum Alloys Introduction and Overview,” 2001, doi: 10.1361/autb2001p351.
- [14] S. Wahyudi and D. N. Cahyadi, “Pengaruh Variasi Tebal Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Datar,” 2012.