



PERANCANGAN DAN PEMBUATAN *UNDERSHOT WATERWHEEL* SEBAGAI PENGGERAK *SPIRAL PUMP* UNTUK IRIGASI PERTANIAN

DESIGN AND MANUFACTURE OF UNDERSHOT WATERWHEEL AS A SPIRAL PUMP DRIVEN FOR AGRICULTURAL IRRIGATION

Rochmad Eko P.U.¹⁾, Agung Fauzi Hanafi²⁾*, I. G. N. A. Satria Prasetya D.Y. ³⁾, Enggar Priyadi⁴⁾

^{1,3} Teknik Manufaktur Kapal, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia

^{2,4} Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia

email: rochmad@poliwangi.ac.id¹⁾, agung@poliwangi.ac.id²⁾*, agungsatris@poliwangi.ac.id³⁾
enggarpriyadi123@gmail.com⁴⁾

Received:
30 Januari 2023

Accepted:
28 Juni 2023

Published:
30 Juni 2023



Abstrak

Kurangnya air menjadi salah satu permasalahan pada sektor pertanian. Sawah menjadi sulit untuk dialiri air karena lokasi yang berada diatas sumber air. Hal ini menyebabkan proses irigasi pada sawah terhambat. Saat musim kemarau, petani terpaksa harus memompa air menggunakan mesin pompa air. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah pompa air yang lebih ekonomis salah satunya ialah *spiral pump* yang digerakkan oleh *undershot waterwheel*. Perancangan ini bertujuan untuk memperoleh desain *water wheel* yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi lingkungan. Hasil perancangan *undershot waterwheel* didapatkan ukuran diameter 1 m, lebar 1, 15 m, dan luas sudu 0,459 m². Rangka kincir dibuat dari bahan besi beton polos diameter 8 mm, sudu kincir dibuat dengan bahan plat galvanis tebal 0, 4 mm, penyangga kincir dibuat dengan bahan besi siku ukuran 4 x 4 cm, sedangkan poros kincir terbuat dari bahan pipa galvanis dengan ukuran diameter luar 33, 8 mm dan tebal 3, 2 mm. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, diperoleh putaran kincir 15, 2 rpm, torsi 9, 5 Nm, daya kincir 15, 11 watt, dan efisiensi *undershot waterwheel* sebesar 16, 54 %.

Kata Kunci: *Undershot Waterwheel*, *Spiral Pump* dan irigasi pertanian

Abstract

Lack of water is one of the problems in the agricultural sector. The location of the farm which is located above the water source causes difficulties in flowing the rice field area. During the dry season, farmers are forced to lift water using a water pump. Therefore, a more economical water pump is needed, one of that is a *spiral pump* which is driven by an *undershot waterwheel*. The results of the *undershot waterwheel* design obtained a diameter of 1 m, a width of 1.15 m, and a blade area of 0.459 m². The frame of the wheel is made of plain concrete iron with a diameter of 8 mm, the blade of the wheel is made of 0.4 mm thick galvanized plate, the support for the pinwheel is made of angled iron with a size of 4 x 4 cm, while the shaft of the pinwheel is made of galvanized pipe with an outer diameter of 33.8 mm and 3.2 mm thick. From the test results, the wheel

rotation is 15.2 rpm, torque is 9.5 Nm, wheel power is 15.11 watts, and the undershot waterwheel efficiency is 16.54%.

Keywords: *undershot waterwheel, spiral pump, and agricultural irrigation*

DOI:10.20527/sjmekinematika.v8i1.242

How to cite: Utomo, R. E. P., Hanafi, A. F., & Prasteya D.Y., I. G. N. A. S., "Perancangan dan Pembuatan Undershot Waterwheel Sebagai Penggerak Spiral Pump untuk Irigasi Pertanian". *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 8(1), 13- 24, 2023.

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan yang mendasar pada sektor pertanian adalah ketersediaan air. Air terbatas dalam jumlah, waktu, ruang dan letak sumber air yang lebih rendah dari lahan pertanian. Sektor pertanian dan konsumsi masyarakat membutuhkan air dalam jumlah besar, baik yang berasal dari sumber air permukaan maupun air tanah. Terkait tingginya kebutuhan air tersebut, pemanfaatan teknologi yang mampu mengangkat dan mengalirkan air dari sumbernya ke lahan-lahan pertanian serta hunian penduduk sangat dibutuhkan. Penggunaan pompa air yang digerakkan dengan tenaga listrik menjadi pilihan utama saat ini. Sementara itu, energi listrik ini memiliki kelemahan yaitu biaya operasional cukup besar dan tidak semua tempat terdistribusi listrik[1-3].

Terdapat beberapa lokasi pertanian di Kabupaten Banyuwangi yang berada di atas sumber air. Secara alami, hal ini menyebabkan air sulit untuk mengalir menuju ke sawah. Kurangnya pasokan air akan mempengaruhi lahan pertanian, terutama pada musim kemarau. sehingga para pelaku pertanian menggunakan pompa untuk mengangkut air ke sawahnya. Karena air diangkat oleh pompa yang ditenagai oleh listrik, maka menyalakan pompa membutuhkan listrik. Generator umumnya digunakan untuk menghasilkan listrik. Bahan bakar seperti bensin atau solar juga dibutuhkan untuk menyalakan genset tersebut. Secara alami, hal ini membutuhkan biaya yang relatif mahal.

Karena sejumlah keuntungan yang ditawarkan, termasuk fakta bahwa pompa spiral tidak memerlukan energi listrik untuk beroperasi, pompa spiral dianggap mampu mengatasi masalah ini. Selain itu, pompa spiral tidak memerlukan biaya yang mahal. Selama ada air yang mengalir melewatinya, pompa spiral dapat beroperasi terus menerus. Perawatan pompa yang relatif sederhana ini merupakan keunggulan lainnya. Tekanan rotasi udara dan air di dalam pompa adalah prinsip dasar pompa spiral[4]. Agar pompa spiral dapat beroperasi, kincir air harus berfungsi sebagai motor utama. Karena mempengaruhi keluaran air pompa spiral, kincir air merupakan komponen yang sangat penting. Jenis kincir air undershot akan digunakan karena mudah perawatan dan pembuatannya sehingga lebih mudah dipahami oleh masyarakat.

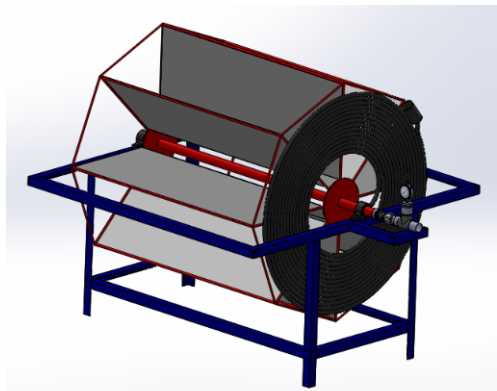
Penelitian tentang *undershot waterwheel* telah banyak dilakukan, diantaranya: Adanta dkk. melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah sudu pada kincir air *undershot* dengan variasi kecepatan aliran air. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan 8 sudu dan kecepatan masuk 1 m/s menghasilkan efisiensi 45,58% dan 5 m/s menghasilkan efisiensi 13,84%, yang merupakan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya (jumlah sudu 6, 7, 9, dan 10 dan $u = 3$ m/s)[5]. Rahman melakukan penelitian tentang pengaruh debit air terhadap kinerja kincir air. Berdasarkan hasil penelitian, debit air sangat mempengaruhi kinerja dari pada kincir, apabila debit aliran air besar, maka daya dan efisiensi yang dihasilkan juga besar, apabila debit aliran air kecil, maka daya dan efisiensi yang di hasilkan juga akan kecil. Zhao dkk. melakukan penelitian yang bertujuan untuk mempelajari pengaruh perbedaan kedalaman perendaman terhadap kinerja kincir air dan karakteristik aliran menggunakan simulasi numerik. Hasil menunjukkan bahwa rasio radius terbenam 82,76%, roda menunjukkan kinerja terbaik, mencapai efisiensi maksimum 18,05% pada tip-speed ratio (TSR) 0,1984[1].

Penelitian – penelitian sebelumnya telah memaparkan beberapa metode untuk meningkatkan kinerja *undershot waterwheel* seperti memvariasikan jumlah sudu dan kedalaman terendam kincir[6]. Namun, hingga saat ini masih sedikit referensi yang berkaitan dengan perancangan dimensi *undershot waterwheel*. Oleh sebab itu, Proyek Akhir ini dilakukan untuk merancang dimensi *undershot waterwheel* yang optimal untuk menggerakkan *spiral pump*.

METODE PENELITIAN

Desain Alat

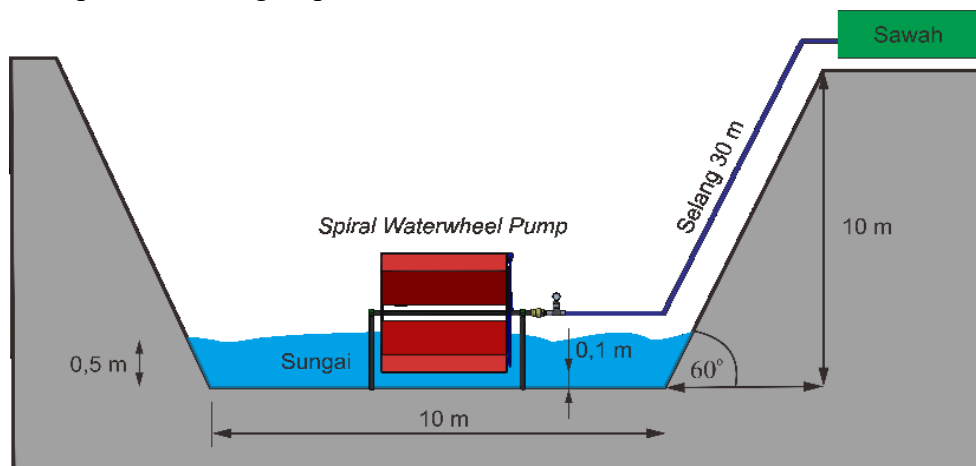
Spiral waterwheel pump memiliki komponen seperti: sudu (*blade*), bantalan (*bearing*), *pressure gauge*, *rotary seal*, selang *spiral*, penyangga kincir, poros kincir, rangka kincir. Desain alat dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain *Spiral Waterwheel Pump*

Skema Cara Kerja Alat

Gambar 2 menggambarkan diagram ketinggian dan jarak yang diharapkan dari Pompa Kincir Air Spiral untuk irigasi pertanian.



Gambar 2. Skema *Spiral Waterwheel Pump*

Ketika aliran air mengenai dinding bilah di bagian bawah kincir air, hal tersebut menghasilkan energi kinetik yang menggerakkan kincir air. Roda akan berputar saat air

mengenai bilahnya. Pompa spiral digerakkan oleh putaran kincir air ini. *Waterscoop* menarik air ke dalam selang saat pompa spiral berputar. Saat spiral pump tidak dalam posisi mengambil air (posisi *waterscoop* berada di bawah dan terendam air), udara akan masuk ke dalam selang saat berputar. Selang akan mengembangkan kolom air sebagai hasilnya. Kolom air ini berjalan di sepanjang selang, kemudian mengalir ke poros pompa baja galvanis dengan melewati katup tussen, atau katup satu arah, yang mencegah air mengalir balik di selang dan pipa baja[7].

Pada skema tersebut dijelaskan bahwa jarak *Spiral Waterwheel Pump* menuju area persawahan adalah 30 meter dengan ketinggian vertikal 10 meter dan kemiringan 60°. Aliran sungai yang digunakan sebagai tempat pengujian memiliki lebar 10 meter dan kedalaman 0,5 meter. Percobaan dan pengujian nantinya akan dilakukan setelah *Spiral Waterwheel Pump* telah dibuat.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk pembuatan *undershot waterwheel* adalah gergaji besi, bor tangan, meteran, peralatan las, kunci pas, gerinda dan APD (alat pelindung diri). Bahan yang digunakan untuk pembuatan *undershot waterwheel* adalah, besi siku ukuran 4 x 4 cm, besi beton polos diameter 8 mm, besi pipa tebal 3,2 mm, plat galvanis tebal 0,4 mm, besi plat tebal 5 mm, mur baut, cat besi, *plain bearing*.

Waktu dan Tempat

Proyek Akhir ini dilaksanakan selama 5 bulan pada semester 6 dengan target pembuatan alat dan pembuatan laporan. Dalam proses pembuatan alat ini membutuhkan waktu yang cukup lama karena diperlukan perhitungan yang cukup rumit agar mendapatkan kerja alat secara maksimal sesuai dengan kebutuhan. Tempat untuk pembuatan dan perakitan alat berada di Politeknik Negeri Banyuwangi, sedangkan pengujian alat dilakukan di aliran sungai Sasak Tambong Desa Pakistaji, Kecamatan Kabat, Kabupaten Banyuwangi.

Metodologi Pelaksanaan

Beberapa metodologi pelaksanaan Proyek Akhir ini sebagai berikut:

1. Pencarian Data

Pencarian data wajib dilakukan terlebih dahulu karena sebagai acuan dalam proses perancangan. Pencarian data ini meliputi identifikasi masalah, studi literatur, studi lapang, dan pembuatan konsep alat.

2. Proses Perancangan

Proses perancangan harus dilakukan dengan teliti dan perhitungan yang matang supaya alat dapat berfungsi secara maksimal. Beberapa proses perancangan adalah perancangan diameter kincir, perancangan luas sudu, perancangan lebar kincir, dan perancangan poros kincir.

3. Proses Pembuatan

Proses pembuatan dilakukan setelah proses perancangan selesai. Pembuatan komponen – komponen alat ini dilakukan sesuai dengan desain yang telah dibuat. Beberapa proses perancangan adalah pembuatan rangka kincir, pembuatan sudu kincir, pembuatan poros, dan pembuatan penyangga kincir.

4. Proses Perakitan (*Assembly*)

Proses perakitan dilakukan setelah proses pembuatan komponen – komponen alat selesai. Beberapa proses perakitan adalah pemasangan rangka kincir, pemasangan poros pada bantalan, pemasangan sudu pada rangka kincir, dan pemasangan kincir pada penyangga.

5. Pengujian Alat

Pengujian alat ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari *undershot waterwheel* sebagai penggerak *spiral pump* untuk irigasi pertanian sudah berfungsi secara maksimal atau belum.

6. Penyempurnaan Alat

Penyempurnaan alat ini dilakukan apabila dalam proses pengujian alat terdapat masalah atau kekurangan dalam kinerja alat yang mengakibatkan alat tidak berfungsi secara maksimal sesuai yang diinginkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Kecepatan Aliran Sungai

Pengukuran kecepatan aliran sungai digunakan sebagai acuan dalam merancang dimensi kincir. Pengukuran ini dilakukan saat survei lokasi dengan beberapa perlengkapan, diantaranya *stopwatch* untuk mengukur waktu, meteran untuk mengukur jarak dan pelampung yang akan dihanyutkan berdasarkan jarak yang telah ditentukan untuk mengetahui kecepatan aliran sungai. Proses pengukuran waktu dilakukan sepuluh kali dengan panjang lintasan 3 meter dan rata-rata kedalaman sungai 0,5 meter. Data yang dihasilkan dari pengukuran tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Waktu

No	Hasil Pengukuran
1	4,15 detik
2	4,05 detik
3	4,17 detik
4	4,12 detik
5	4,17 detik
6	4,08 detik
7	4,09 detik
8	4,12 detik
9	4,14 detik
10	4,00 detik

Hasil pengukuran diambil rata-rata dan didapatkan waktu 4,109 detik, sehingga kecepatan aliran sungai dapat dihitung sebagai berikut:

$$v = l/t \quad (1)$$

$$v = \frac{3}{4,109}$$

$$v = 0,73 \text{ m/s}$$

Keterangan v = kecepatan aliran (m/s), l = jarak ukur (m), t = waktu (detik). Sehingga diperoleh hasil kecepatan aliran sungai adalah 0,73 m/s.

Perancangan Diameter Kincir

Perancangan diameter kincir disesuaikan dengan kedalaman sungai. Hasil survey lokasi didapatkan kedalaman sungai 0,5 m, sedangkan jarak bilah kincir dari dasar sungai adalah 0,1 m. Menurut Zhao [1] *Immersed radius ratio* 82,76 % menunjukkan kinerja terbaik, sehingga diameter kincir dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} r &= h / \text{immersed radius ratio} \\ r &= 0,4 \text{ m} / 82,76 \% \\ r &= 0,48 \text{ m} \end{aligned} \quad (2)$$

Keterangan h = Kedalaman terendam kincir (m), r = Jari – jari kincir (m), *mmersed radius ratio* = 82,76 %. Diperoleh Jari-jari kincir sebesar 0,48 m, sehingga diameter kincir yang direncanakan adalah sebesar 1 m.

Perencanaan Putaran Kincir

Besarnya putaran kincir dipengaruhi oleh jari-jari kincir dan kecepatan aliran air. Perencanaan putaran kincir ini digunakan untuk menentukan target daya *output* kincir pada perhitungan *spiral pump*[8]. Sebelum menentukan putaran kincir, terlebih dahulu menghitung besarnya kecepatan sudut menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \omega \times R &= c \times v \\ \omega &= c \times v / R \\ \omega &= 0,2 \times 0,73 / 0,48 \\ \omega &= 0,302 \text{ rad/s} \end{aligned} \quad (3)$$

Keterangan v = kecepatan aliran air (m/s), ω = kecepatan sudut (rad/s), R = jari-jari kincir (m) dan c = *tip-speed ratio*.

Setelah kecepatan sudut sudah diketahui, putaran rencana kincir dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2\pi \cdot n}{60} \\ 0,302 &= \frac{2\pi \cdot n}{60} \\ n &= 2,88 \text{ rpm} \end{aligned} \quad (4)$$

Keterangan ω = kecepatan sudut (rad/s), n = putaran (rpm), Jadi, besarnya putaran rencana kincir adalah 2,88 rpm.

Perancangan Luas Sudu

Perancangan luas sudu dipengaruhi oleh daya output kincir dan kecepatan aliran air sungai. Target daya output kincir diperoleh dari perhitungan *spiral pump* sebesar 22,9 watt, sedangkan kecepatan aliran sungai diperoleh dari hasil pengukuran saat survei lokasi. Penelitian yang dilakukan oleh Zhao menunjukkan kinerja terbaik kincir mencapai efisiensi maksimum 18,05 % pada *tip-speed ratio* 0,2[1]. Sehingga, luas sudu dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} P_{out} &= \rho \times A \times v^3 \times C(1 - C)^2 \\ 22,9 &= 1000 \times A \times 0,73^3 \times 0,2 (1 - 0,2)^2 \\ A &= 22,9 / 1000 \times 0,73^3 \times 0,2 (1 - 0,2)^2 \\ A &= 0,459 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Keterangan P_{out} = Daya output kincir atau Daya kincir (Watt), ρ = massa jenis air (1000 kg/m³), A = luas permukaan sudu (m²), v = kecepatan aliran air (m/s), c = *tip-speed ratio*. Sehingga diperoleh luas sudu yang dibuat sebesar 0,459 m².

Perancangan Lebar Kincir

Perancangan lebar kincir dipengaruhi oleh luas sudu dan tinggi sudu. Lebar kincir memiliki nilai yang sama dengan lebar sudu, sedangkan tinggi sudu diasumsikan sama dengan kedalaman terendam kincir[9]. Sehingga, lebar kincir dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$w = A/h \quad (6)$$

$$w = 0,459/0,4$$

$$w = 1,149 \text{ m}$$

Keterangan A = luas permukaan sudu (m^2), h = tinggi sudu (m), w = lebar sudu (m).
 Sehingga ditentukan lebar kincir yang dibuat adalah 1,15 m.

Perancangan Poros Kincir

Jenis poros yang digunakan adalah *hollow shaft* karena berfungsi untuk saluran air. Sebelum menentukan diameter luar poros, terdapat beberapa hal yang harus dihitung terlebih dahulu seperti berikut:

1. Menghitung Gaya Kincir

Perhitungan gaya kincir adalah sebagai berikut:

$$F = \rho \cdot A \cdot v^2(1 - c)^2 \quad (7)$$

$$F = 1000 \cdot 0,459 \cdot 0,73^2 \cdot (1 - 0,2)^2$$

$$F = 156,849 \text{ N}$$

Keterangan F = Gaya (N), ρ = massa jenis air (1000 kg/m^3), A = luas permukaan sudu (m^2), v = kecepatan aliran air (m/s), c = *tip-speed ratio*. Jadi, gaya yang dihasilkan kincir sebesar 156,849 N.

2. Menghitung Torsi

Perhitungan torsi kincir adalah sebagai berikut:

$$T = F \times r \quad (8)$$

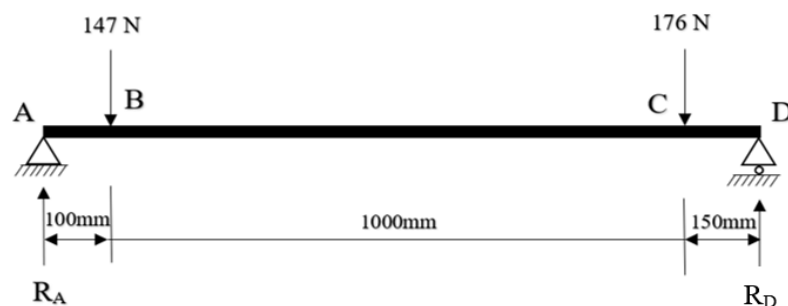
$$T = 156,849 \times 480$$

$$T = 75809,2388 \text{ Nmm}$$

Keterangan T = Torsi kincir (Nmm), F = Gaya (N), r = Jari-jari kincir (mm). Jadi, torsi yang dihasilkan kincir adalah sebesar 75809,2388 Nmm.

3. Menghitung Momen Lentur

Terdapat beberapa tahapan untuk menentukan momen lentur yang terjadi pada poros. Langkah pertama adalah menggambar diagram benda bebas seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Benda Bebas

Langkah kedua adalah menentukan reaksi di titik tumpuan A dan D.

$$\Sigma M_D = 0$$

$$(R_A \cdot 1250 \text{ mm}) - (147 \text{ N} \cdot 1150 \text{ mm}) - (176 \text{ N} \cdot 150 \text{ mm}) = 0$$

$$R_A = 156,36 \text{ N}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$(-R_D \cdot 1250 \text{ mm}) + (176 \text{ N} \cdot 1100 \text{ mm}) + (147 \text{ N} \cdot 100 \text{ mm}) = 0$$

$$R_D = 166,64 \text{ N}$$

Langkah ketiga adalah menentukan besarnya momen lentur di titik B dan C.

$$M_A = 0, M_D = 0$$

$$M_B = R_A \cdot 100 \text{ mm}$$

$$M_B = (R_D \cdot 1150 \text{ mm}) - (R_C \cdot 1000 \text{ mm})$$

$$M_B = 156,36 \text{ N} \cdot 100 \text{ mm}$$

$$M_B = (166,64 \text{ N} \cdot 1150 \text{ mm}) - (176 \text{ N} \cdot 1000 \text{ mm})$$

$$M_B = 15636 \text{ Nmm}$$

$$M_B = 15636 \text{ Nmm}$$

$$M_C = R_D \cdot 150 \text{ mm}$$

$$M_C = (R_A \cdot 1100 \text{ mm} - R_B \cdot 1000 \text{ mm})$$

$$M_C = 166,64 \text{ N} \cdot 150 \text{ mm}$$

$$M_C = (156,36 \text{ N} \cdot 1100 \text{ mm} - 147 \text{ N} \cdot 1000 \text{ mm})$$

$$M_C = 24996 \text{ Nmm}$$

$$M_C = 24996 \text{ Nmm}$$

Jadi, momen lentur terbesar terletak pada titik C yaitu sebesar 24996 N.

4. Menghitung Tegangan Geser

Perhitungan tegangan geser adalah sebagai berikut:

$$\tau_{\max} = 0,5 \times S_y / N \quad (10)$$

$$\tau_{\max} = 0,5 \times 180 / 4$$

$$\tau_{\max} = 22,5 \text{ N/mm}^2$$

Keterangan $\tau_{\max}$ = tegangan geser maksimum (N/mm^2), S_y = kekuatan luluh (N/mm^2), N = faktor keamanan. Jadi, tegangan geser poros kincir sebesar 22,5 N/mm^2 .

5. Menghitung diameter poros kincir

Setelah beberapa perhitungan telah dilakukan, diameter poros dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\sqrt{M^2 + T^2} = \frac{\pi}{16} \times \tau (d_o)^3 (1 - k^4) \quad (11)$$

$$\sqrt{24996^2 + 75809,2388^2} = \frac{\pi}{16} \times 22,5 (d_o)^3 (1 - 0,8^4)$$

$$d_o = 31,284 \text{ mm}$$

Keterangan T = torsi (Nmm), M = momen lentur (Nmm), τ = tegangan geser (N/mm^2), d_o = diameter luar (mm), d_i = diameter dalam (mm), k = rasio diameter dalam dan diameter luar dari poros (d_i/d_o). Jadi, diameter luar poros kincir yang digunakan adalah 33,8 mm.

Pembuatan Spiral Waterwheel Pump

Proses pembuatan dilakukan setelah proses perancangan selesai. Adapun proses pembuatan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan rangka kincir

Rangka kincir terdiri dari beberapa komponen. Roda kincir, dibuat dengan bahan besi beton polos diameter 8 mm yang dipotong sesuai ukuran dan ditekuk segi 8. Piringan rangka dibuat dengan bahan besi plat tebal 5 mm yang dipotong dengan bentuk segi 8 dan dibor bagian tengahnya sebagai tempat poros. Poros kincir dibuat menggunakan bahan besi pipa dengan tebal 3,5 mm. Salah satu ujung poros ditutup dengan plat besi, sedangkan ujung poros yang lain disambung rumah *rotary seal*. Permukaan besi pipa bagian atas dilubangi menggunakan bor tangan kemudian disambung dengan nepel sebagai tempat menancapkan ujung selang spiral. Dudukan sudu dibuat dengan bahan besi plat tebal 5 mm. Bahan tersebut dipotong dengan ukuran 2 x 5 cm sebanyak 56 buah. Bagian tengahnya dibor dengan diameter 5 mm sebagai tempat rivet. Dudukan selang dibuat dengan bahan besi beton polos diameter 8 mm. Bahan tersebut dipotong dengan ukuran panjang 6,5 cm sebanyak 32 buah.

2. Pembuatan penyangga kincir

Penyangga kincir dibuat menggunakan bahan besi siku 4 x 4 cm. Bahan tersebut dipotong sesuai ukuran menggunakan gerinda tangan kemudian dirakit menggunakan

sambungan las dan mur baut. Bagian atas penyangga kincir dilubangi menggunakan bor tangan sebagaiudukan bantalan (*bearing*) dan *rotary seal*.

3. Pembuatan sudu (*blade*)

Sudu (*blade*) dibuat menggunakan bahan plat galvanis tebal 0,4 mm. Plat tersebut dipotong sesuai ukuran menggunakan gerinda tangan kemudian ditekuk bagian tengah dan samping supaya lebih kaku. Bagian tepi sudu dilubangi dengan diameter 5 mm menggunakan bor tangan sebagai tempat sambungan rivet.

4. Pengecatan

Cat besi diterapkan pada semua komponen *water wheel* untuk melindungi dan meningkatkan daya tahan besi, mencegah karat, dan menahan kondisi cuaca buruk. Selain itu, lapisan cat dapat memberikan keindahan yang membuat ornamen besi menarik. Penyangga kincir berwarna biru, rangka roda berwarna merah, dan bilahnya tidak dicat karena terbuat dari bahan galvanis yang tahan terhadap air.

5. Perakitan *spiral waterwheel pump*

Setelah semua komponen sudah dibuat dan dicat, tahap terakhir yaitu perakitan. Rangka dan sudu dirakit menggunakan sambungan rivet. Penyangga, bantalan, dan *rotary seal* dirakit menggunakan sambungan mur dan baut. Sedangkan selang dirakit menggunakan kabel ties.

Pengujian Spiral Waterwheel Pump

Proses pengujian dilakukan pada tanggal 30 Juni 2022 di sungai Sasak Tambong, desa Pakistaji, kecamatan Kabat. Hasil pengujian adalah sebagai berikut:

1. Putaran kincir

Pengukuran putaran kincir dilakukan menggunakan alat ukur *digital tachometer*. Putaran kincir yang dihasilkan adalah sebesar 15,2 rpm dengan kecepatan aliran air 0,86 m/s dan kedalaman terendam kincir 25 cm. Proses pengukuran putaran dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengukuran Putaran Kincir

2. Torsi kincir

Pengukuran dilakukan dengan metode *prony brake dynamometer*. Perlengkapan yang digunakan adalah timbangan gantung digital untuk mengukur gaya. Proses pengukuran dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengukuran Gaya

Proses pengukuran gaya (F) dilakukan menggunakan alat yang memiliki panjang tuas 0,15 m. Data yang dihasilkan dari pengukuran tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran gaya

No	Hasil Pengukuran
1	6,770 kg
2	7,285 kg
3	5,765 kg
4	5,960 kg
5	6,545 kg

Hasil pengukuran diambil rata-rata dan didapatkan gaya sebesar 6,465 kg atau 63,357 N, sehingga torsi dapat dihitung sebagai berikut:

$$T = F \times r \quad (12)$$

$$T = 63,357 \times 0,15$$

$$T = 9,5 \text{ Nm}$$

Keterangan T = torsi (Nm), F = Gaya (N), r = panjang tuas (m). Jadi, torsi kincir adalah sebesar 9,5 Nm.

3. Daya Kincir

Dari data yang didapatkan ketika pengujian putaran dan torsi, besarnya daya yang dihasilkan kincir adalah sebagai berikut:

$$P_{\text{out}} = T \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60} \quad (13)$$

$$P_{\text{out}} = 9,5 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 15,2}{60}$$

$$P_{\text{out}} = 15,11 \text{ watt}$$

Keterangan P = daya kincir (watt), T = torsi kincir (Nm), n = putaran kincir (rpm). Jadi, daya yang dihasilkan kincir adalah sebesar 15,11 watt.

Perhitungan Efisiensi *Undershot Waterwheel*

Sebelum menghitung efisiensi *undershot waterwheel*, harus mengetahui daya input kincir. Besarnya daya input kincir dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$P_{\text{in}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (14)$$

$$P_{\text{in}} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 0,287 \cdot 0,86^3$$

$$P_{\text{in}} = 91,411 \text{ watt}$$

Keterangan P_{in} = Daya input kincir atau daya air (Watt), ρ = massa jenis air (1000 kg/m^3), A = luas sudu yang terendam (m^2), v = kecepatan aliran air (m/s). Jadi, daya input kincir atau daya air adalah sebesar 91,411 watt.

Setelah mengetahui daya input kincir, efisiensi kincir dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ \varepsilon &= \frac{15,11}{91,411} \times 100\% \\ \varepsilon &= 16,54 \%\end{aligned}\tag{15}$$

Keterangan ε = efisiensi kincir (%), P_{out} = daya output kincir atau daya kincir (watt), P_{in} = daya input kincir atau daya air (watt). Jadi, efisiensi dari *undershot waterwheel* yang telah dibuat adalah sebesar 16,54 %. Nilai tersebut lebih kecil daripada pengujian yang telah dilakukan oleh Zhao [1] yang menghasilkan efisiensi maksimum 18,05 % karena kondisi saat pengujian mengalami perbedaan kecepatan aliran dan kedalaman sungai.

KESIMPULAN

Simpulan

Berdasarkan perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Undershot waterwheel* ini dibuat dengan ukuran diameter 1 m, lebar 1,15 m, dan luas sudu $0,459 \text{ m}^2$. Rangka kincir dibuat dari bahan besi beton polos diameter 8 mm, sudu kincir dibuat dengan bahan plat galvanis tebal 0,4 mm, sedangkan penyangga kincir dibuat dengan bahan besi siku L ukuran 4 x 4 cm. Dari hasil pengujian diperoleh putaran kincir 15,2 rpm dan menghasilkan daya sebesar 15,11 watt.
2. Poros kincir terbuat dari bahan pipa galvanis dengan ukuran diameter luar 33,8 mm dan tebal 3,2 mm yang menghasilkan torsi sebesar 9,5 Nm.
3. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, efisiensi yang dihasilkan *undershot waterwheel* sebesar 16,54 %.

Saran

Beberapa saran untuk mengoptimalkan kinerja kincir sebagai berikut:

1. Pembuatan *undershot waterwheel* diperlukan adanya penambahan sistem apung supaya dapat bekerja secara konsisten saat kondisi kedalaman sungai berubah-ubah.
2. Pengukuran kecepatan aliran air sebaiknya dilakukan dari permukaan air sampai dasar sungai karena kecepatan aliran air pada tiap kedalaman nilainya berbeda.
3. Variasi dalam pengambilan data saat pengujian *undershot waterwheel* sebaiknya dibuat lebih banyak lagi dengan waktu pengambilan data yang lebih lama agar mendapatkan data yang lebih spesifik.

REFERENSI

- [1] M. Zhao, Y. Zheng, C. Yang, Y. Zhang, and Q. Tang, "Performance investigation of the immersed depth effects on a water wheel using experimental and numerical analyses," *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 4, 2020, doi: 10.3390/W12040982.
- [2] Helmizar and G. Muller, "The effect of using upper shroud on the performance of a breashoot water wheel," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1175, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1175/1/012269.
- [3] D. Sulistiono and D. Iswanda, "Optimasi unjuk kerja kincir air undershot," vol. 14, no. 1, pp. 251–260, 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i1.1239.

- [4] P. L. Thompson, S. Milonova, M. Reha, F. Mased, and I. Tromble, "Coil Pump Design for a Community Fountain in Zambia," *Int. J. Serv. Learn. Eng. Humanit. Eng. Soc. Entrep.*, vol. 6, no. 1, pp. 33–45, 2011, doi: 10.24908/ijlsle.v6i1.3217.
- [5] Warjito, D. Adanta, Budiarmo, and A. P. Prakoso, "The effect of bucket number on breastshot waterwheel performance," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 105, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/105/1/012031.
- [6] J. Yohanes Morong, "Rancang Bangun Kincir Air Irigasi Sebagai Pembangkit Listrik di Desa Talawaan," *Kementeri. Ris. Teknol. Dan Pendidik. Tinggi Politek. Negeri Manad.*, pp. 1–35, 2016.
- [7] B. M. Hermawan *et al.*, "Studi Eksperimen Karakteristik Kinerja Kincir Air sebagai Pembangkit Listrik Skala Mikrohidro," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 3, p. 475, 2021, doi: 10.32497/jrm.v16i3.3088.
- [8] A. Rahman and Kimin, "Pengaruh debit air terhadap kinerja kincir air," *J. Din.*, vol. 2, no. 12, pp. 76–79, 2018, [Online]. Available: <http://ojs.ustj.ac.id/dinamis/article/download/94/60>.
- [9] M. Denny, "The efficiency of overshoot and undershot waterwheels," *Eur. J. Phys.*, vol. 25, no. 2, pp. 193–202, 2004, doi: 10.1088/0143-0807/25/2/006.