

UNJUK KERJA KINCIR AIR *UNDERSHOT* SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK MINIHIDRO DI LEMBANG PATONGLOAN

Atus Buku¹⁾, Benyamin Tangaran²⁾, Herby Calvin Pascal Tiyouw³⁾ dan Noprianto Tolan⁴⁾

^{1,2)} Dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar

³⁾ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar

⁴⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar

ABSTRACT

Water wheel Undershot or water wheel under running water current work on the walls of the blade located at the bottom of the waterwheel. This type is suitable for installation in shallow water in flat areas. Here the flow of water is opposite to the direction of the blade which rotates the wheel. This research is an applied research that will be utilized in the regions. The purpose of this study was to determine the performance water wheel undershot as mini-hydro power plants. From the results it can be concluded that, for the conditions without the bucket and use of dynamos, the maximum force on the blade is 240.71 0.5833 N in water discharge m³/s. The maximum rotation of the waterwheel on the water wheel without a bucket is 18.70 revolutions/minute with the maximum rotation of the waterwheel using a dynamo 15.10 revolutions/minute. The maximum power of a water wheel on a water wheel without a bucket is 1232.97watt and on a water wheel using a dynamo the maximum power is 995.60 watts. For maximum efficiency obtained at the waterwheel without a bucket of 74.296%.

Keywords: Water wheel Undershot; Mini Hydro Power Plant

1. PENDAHULUAN

Dalam pembuatannya kincir air paling banyak ditiru dalam hal pemanfaatan tinggi air jatuh dan kapasitas air. Selain energi potensial gravitasi, faktor yang harus diperhatikan pada kincir air ialah pengaruh berat air yang mengalir masuk ke dalam sudu-sudunya [6]; [10]. Tinggi jatuh air yang bisa digunakan kincir berkisar antara 0,1 m sampai dengan 12 m dan kapasitas airnya 0,05 m³/s sampai dengan 5 m³/s. Kincir air digunakan di daerah yang aliran airnya tidak tentu, berubah-ubah, dan tinggi air jatuhnya kecil. Apabila perubahan kecepatan putaran kincir air tidak diperhitungkan dan kecepatan putarannya kecil yaitu 2 putaran/menit sampai dengan 12 putaran/menit, daya pada poros transmisi masih bisa digunakan. Kincir air memiliki rendemen antara 20% sampai dengan 80%. Kincir air dengan kecepatan putaran pelan dapat dibuat dari kayu, tetapi apabila kecepatan putar tinggi dan air jatuh yang besar, kincir air dibuat dari besi [1]; [3]. Data sejarah menunjukkan bahwa prinsip konversi energi air menjadi energi mekanik telah dikenal sejak lebih 2.500 tahun yang lalu yang dimulai dengan penggunaan kincir air sederhana yang terbuat dari kayu dan berfungsi sebagai mesin pembangkit tenaga. Penggunaan kincir air diawali di India kemudian berkembang ke Mesir, ke Eropa dan seterusnya merambah ke Amerika. Rancangan sistematis kincir dimulai pada abad ke-18. Untuk hal ini, banyak riset dilakukan untuk meningkatkan kinerja kincir air yang telah dibangun yang akhirnya menuju ke konstruksi turbin air. Kincir air yang dirancang secara teoretik dikembangkan oleh *poncelet* dan banyak digunakan di Inggris pada awal abad ke-19 [4]; [9].

Kincir air *undershot* atau kincir air arus bawah bekerja apabila air yang mengalir menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah kincir air. Tipe ini cocok dipasang pada perairan dangkal di daerah yang rata. Tipe ini disebut juga dengan “vitruvian”. Di sini aliran air berlawanan dengan arah sudu yang memutar kincir [8]; [11]. Kelebihan kincir air tipe *undershot* ialah konstruksi yang sederhana, lebih ekonomis, dan mudah untuk dipindahkan [11], sedangkan kekurangannya ialah efisiensi kecil (25%-70%) dan daya yang dihasilkan relatif kecil. Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya *head* dan debit air [11]. Dalam hubungan dengan reservoir air, *head* adalah perbedaan ketinggian antara muka air pada reservoir dan muka air keluar dari kincir air/turbin air [5]; [12]. Persamaan yang digunakan dalam menganalisis kincir air dikemukakan berikut ini.

Luas penampang

$$A = B \cdot h \dots\dots\dots (1)$$

Di mana: A = luas penampang (m²); B = lebar sungai (m); h = kedalaman sungai (m)

Kecepatan Aliran

¹ Korespondensi penulis: Atus Buku, Telp 081392116322, atus@ukipaulus.ac.id

$$v = \frac{s}{t} \dots\dots\dots (2)$$

Di mana: v = kecepatan aliran air (m/s); s = jarak yang ditempuh oleh air (m); t = waktu yang ditempuh aliran air (s)

Debit

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots (3)$$

Di mana: Q = debit air (m³/s); A = luas penampang basah (m²); v = kecepatan aliran air (m/s)

Potensi atau Daya Air

$$P_{air} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \dots\dots\dots (4)$$

Di mana: P_a = daya air (watt); ρ = massa jenis air (kg/m³); g = percepatan gravitasi (m/s²); Q = debit aliran air (m³/s); h = kedalaman air (m)

Energi Kinetik

$$Ek = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \dots\dots\dots (5)$$

Di mana: Ek = energi kinetik (Joule); m = massa air (kg); v = kecepatan aliran (m/s)

Jari-jari Hidrolik

$$R_{hidrotik} = \frac{A}{K} \dots\dots\dots (6)$$

Di mana: R_h = jari – jari hidrolik (m); A = luas penampang basah (m²); K = keliling basah (m)

Diameter Kincir

$$D_{luar} = \frac{2 \times R_h}{0.3621} \dots\dots\dots (7)$$

Untuk diameter dalam:

$$D_{dalam} = \frac{2}{3} \times D_{luar}$$

Di mana: D_l = diameter luar (m); D_d = diameter dalam (m); R_h = jari-jari hidrolik (m)

Jari-jari Kincir

$$r_{kincir} = \frac{D_{luar}}{2} \dots\dots\dots (8)$$

Di mana: r_k = jari – jari kincir (m); D_l = diameter luar kincir (m)

Lebar Sudu

$$a = 0.17 \cdot D_{luar} \dots\dots\dots (9)$$

Di mana: a = lebar sudu (m); D_l = diameter luar (m)

Jarak Sudu

$$t = \frac{D \times \pi}{z} \dots\dots\dots (10)$$

Di mana: t = jarak sudu (m); D = diameter kincir (m); z = jumlah sudu

Kecepatan Keliling Kincir

$$U = \frac{v \cdot \cos(\alpha)}{2} \dots\dots\dots (11)$$

Di mana: U = kecepatan keliling kincir (m/s); v = kecepatan aliran (m/s)

Putaran Kincir

$$n = \frac{60 \cdot U}{\pi \cdot D_{luar}} \dots\dots\dots (12)$$

Di mana: n = putaran kincir (rpm); U = kecepatan keliling kincir (m/s); D_l = diameter luar kincir (m)

Gaya Fluida

$$F = \rho \cdot A \cdot v^2 \dots\dots\dots (13)$$

Di mana: F = gaya (N); ρ = massa jenis air (kg/m³); A = luas penampang (m²); v = kecepatan aliran (m/s)

Torsi

$$T = F \cdot r \dots\dots\dots (14)$$

Di mana: T = torsi kincir (Nm); F = gaya yang mengenai kincir (N); r = jari-jari kincir (m)

Daya Kincir Air

$$P_{Kincir} = F \cdot r \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot z}{60} \dots\dots\dots (15)$$

$$P_{Kincir} = T \cdot \omega$$

$$P_{Kincir} = T \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot z}{60}$$

Di mana: P_{kincir} = daya kincir (watt); T = torsi (N.m); n = putaran kincir (rpm); z = jumlah sudu; ω = kecepatan sudut (rad/s)

Efisiensi Kincir

$$\eta = \frac{P_{Kincir}}{P_{Air}} \times 100\% \dots \dots \dots (16)$$

Di mana: η = Efisiensi (%); P_k = besarnya daya kincir (watt); P_a = besarnya daya air (watt)

Putaran Generator (Rpm_{generator})

$$n_{generator} = \frac{n_1}{n_3} = \frac{D_1}{D_2} \times \frac{D_3}{D_4} \dots \dots \dots (17)$$

$$n_{generator} = n_3 = n_1 \frac{D_1}{D_2} = n_2 \frac{D_3}{D_4}$$

Di mana: n_1 = putaran Kincir (rpm); n_3 = putaran generator (rpm); D_1, D_2, D_3, D_4 = diameter pulley (Inch)

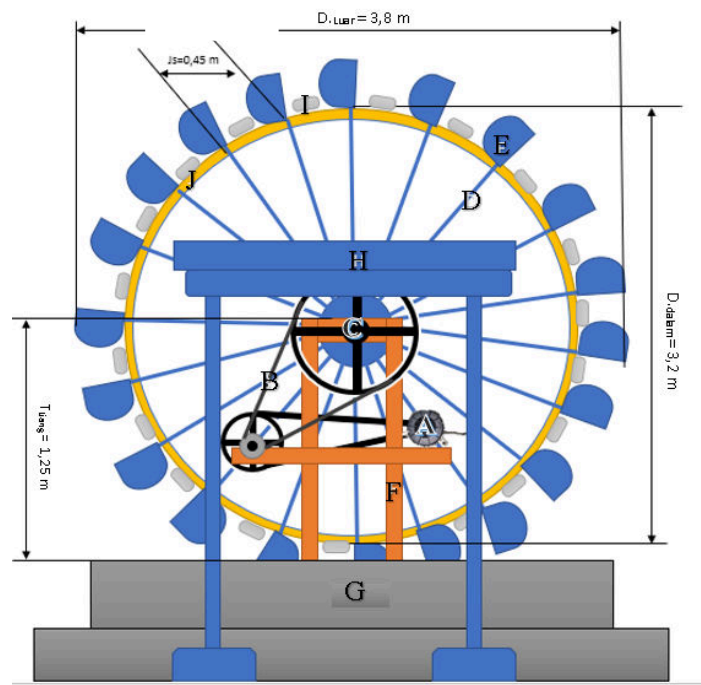
Efisiensi Generator

$$\eta = \frac{P_{generator}}{P_{kincir}} \times 100\% \dots \dots \dots (18)$$

Di mana: η = efisiensi (%); P_{kincir} = daya kincir (watt); $P_{generator}$ = daya generator (watt). Penelitian ini bertujuan menentukan gaya, putaran, daya, dan efisiensi maksimum kincir air.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian terapan teknologi yang dilakukan di Lembang Patongloan, Kabupaten Tana Toraja, Provinsi Sulawesi Selatan. Di lokasi ini terdapat sumber daya alam yang melimpah dan sungai yang mengalir sehingga cocok untuk dilakukan penelitian. Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini ialah kincir air *undershot* yang terdiri atas beberapa bagian alat yang digunakan, yaitu penyangga/dudukan kincir air, roda kincir air *undershot*, sudu, penyangga sudu, roda kincir, batang kincir, poros kincir, dan *pulley*. Alat yang digunakan ialah dinamo listrik, beban, dan *tachometer*.



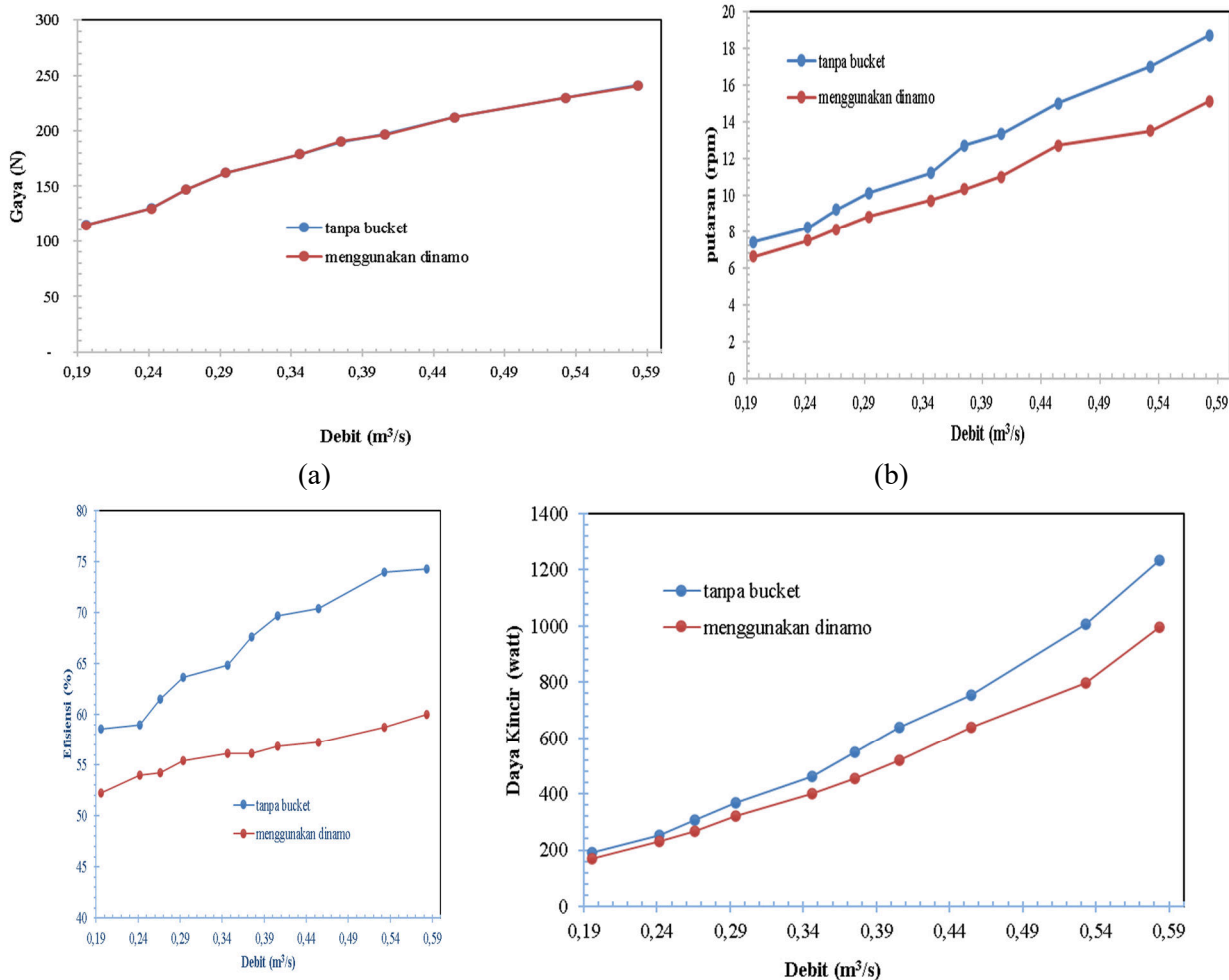
Gambar 1. Kincir Air

Keterangan: A. Generator; B. Fan belt; C. Pulley; D. Batang Sudu; E. ; F. Tiang kincir; G. Irigasi; H. Talang, Bucket, Roda Kincir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data Penelitian

No	Jenis Pengukuran	Hasil Pengukuran
1	Diameter luar kincir	3,8 m
2	Diameter dalam kincir	3,2 m
3	Tinggi irigasi	0,7 m
4	Lebar irigasi	0,6 m
5	Lebar kincir	0,4 m
6	Jumlah sudu kincir	20 buah
7	Panjang irigasi	5 m
8	Berat jenis baja ringan	7.400 kg/m ³
9	Daya generator	500 watt
10	Jumlah puli	4 buah
11	Diameter puli 1, 2, 3, 4	0,5 0,09 0,35 0,08 m
12	Lebar sudu	0,4 m
13	Tinggi sudu	0,12 m
14	Panjang sudu	0,27 m
15	Lebar sungai (sebelum masuk irigasi)	7 m
16	Tinggi jatuh air sungai (h)	0,45 m
17	Tinggi jatuh air irigasi (h)	0,25 m



Gambar 2. (a) Grafik hubungan debit aliran terhadap gaya; (b) grafik hubungan debit aliran terhadap putaran; (c) grafik hubungan debit aliran terhadap efisiensi; (d) grafik hubungan debit aliran terhadap daya kincir

Pada Gambar 2a, grafik hubungan antara debit aliran terhadap gaya, menunjukkan bahwa semakin besar debit aliran air, semakin tinggi pula gaya yang dihasilkan. Selain itu, tampak pula bahwa nilai gaya tanpa *bucket* dan menggunakan dinamo listrik sama. Hal-hal yang memengaruhi gaya ialah kecepatan aliran air. Pada kincir air tanpa menggunakan *bucket* dan kincir air menggunakan dinamo memiliki gaya maksimum yang bernilai sama, yaitu 240,71 N. Hal ini terjadi karena luas yang menghantam sudu dan kecepatannya juga bernilai yang sama, sedangkan pada debit bernilai sama karena luas penampang pada irigasi juga bernilai sama.

Grafik hubungan antara debit aliran terhadap putaran pada kincir air tanpa *bucket* dengan kincir air menggunakan dinamo seperti pada Gambar 2b memperlihatkan bahwa putaran kincir pada pengujian tanpa menggunakan *bucket* mencapai nilai maksimum 18,70 kali putaran dalam 1 menit, sedangkan kincir dengan menggunakan dinamo memiliki putaran maksimum dalam 1 menit 15,10 kali. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi, di antaranya debit aliran, waktu, dan juga tinggi air yang melalui saluran. Penyebab lambatnya putaran pada kincir air yang menggunakan dinamo ialah beban pada *pulley* dan *belt*. Putaran dan debit aliran saling berhubungan dan berbanding lurus karena semakin besar putaran pada kincir akan memengaruhi debit aliran yang dihasilkan.

Pada Gambar 2c merupakan grafik hubungan debit aliran air terhadap daya kincir dengan membandingkan antara kincir tanpa menggunakan *bucket* dengan kincir menggunakan dinamo. Pada hasil perhitungan terlihat bahwa daya kincir pada pengujian kincir tanpa *bucket* lebih besar dibandingkan dengan menggunakan dinamo. Faktor penyebab menurunnya daya setelah dihubungkan dengan dinamo ialah besarnya beban pada *pulley* dan *belt* pada dinamo. Daya kincir air maksimum diperoleh pada kincir air tanpa *bucket* 1232,97 watt, sedangkan daya maksimum jika menggunakan dinamo 995,60 watt. Beberapa hal yang memengaruhi daya kincir ialah gaya kincir, putaran, dan jumlah sudu kincir air.

Pada grafik hubungan antara debit air terhadap efisiensi kincir seperti terlihat pada Gambar 2d menunjukkan bahwa nilai efisiensi kincir air tanpa *bucket* lebih besar dibandingkan dengan kincir air yang menggunakan dinamo. Efisiensi maksimum diperoleh 74,276% pada kincir air tanpa *bucket*. Untuk kincir air dengan menggunakan dynamo, nilai efisiensi maksimumnya sebesar 59,993%. Efisiensi pada kincir dengan menggunakan dinamo lebih rendah dibandingkan dengan kincir tanpa *bucket* karena beban pada *pulley* dan *belt* pada dinamo.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa untuk kondisi tanpa *bucket* dan menggunakan dinamo diperoleh gaya maksimum mengenai sudu 240,71 N pada debit air 0,5833 m³/s. Putaran kincir air maksimum pada kincir air tanpa *bucket* 18,70 putaran/menit dengan putaran kincir air maksimum dengan menggunakan dinamo sebesar 15,10 putaran/menit. Daya kincir air maksimum pada kincir air tanpa *bucket* 1232,97watt dan pada kincir air dengan menggunakan dinamo daya maksimumnya sebesar 995,60 watt. Untuk efisiensi maksimum diperoleh pada kincir air tanpa *bucket* sebesar 74,296%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adanta, D., Arifianto, S. A., Nasution, S. B. 2018. Effect of Blades Number on Undershot Waterwheel Performance with Variable Inlet Velocity. *Proceedings of the 4th International Conference on Science and Technology (ICST)*, pp. 1–6.
- [2] Buku, A. and Tangaran, B. 2020. Planning of Flat Plate Undershot Waterwheel as Mini Hydro Power Plant and Irrigation Power in Remote Areas. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*, Vol. 11, Issue 12, pp. 342–349.
- [3] Buku, A., Tangaran, B., & Tiyow, H. C. 2019. Analisis Variasi Jumlah Sudu Pada Kincir Air Arus Bawah Sebagai Tenaga Irigasi Skala Laboratorium. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*, III (1): 204–209.
- [4] Buku A, Wong I. L.K., Latuperissa J, and Tiyow, H. C. P. 2018. A Laboratory Scale Curve Bladed Undershot Water Wheel Characteristic as an Irigation Power. *International Jurnal Of Mechanical Engineering and Thcnology*, Vol. 9, Issue 9, pp 1048–1054.
- [5] Buku, A., Wong, I. L. K., Latupeirissa, J. E. and Tiyow, H. C. P. 2020. “The Number of Blades on the Performance of the Curved Blade Waterwheel. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*, Vol. 11, Issue 12, pp 2702–2707.

- [6] Buku, A., Wong, I. L. K., and Tiyow, H. C. P. 2020. Performance of Undershot Waterwheels with a Variation of the Number of Archives of 90 °. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*, Vol. 11, Issue 12, pp. 2702–2707.
- [7] Cleyne, O., Kerikous, E., Hoerner, S. and Thevenin, D. 2018. Characterization of the Performance of a Free-Stream Water Wheel Using Computational Fluid Dynamics”. In: *Energy*, vol. 165, pp 1392–1400.
- [8] Ibrahim, G. A., Che Haron, C. H. and Husna Azhari, C. 2014. Traditional Water Wheels as a Renewable Rural Energy. *The Online Journal on Power and Energy Engineering (OJPEE)*, I (2): 62–66.
- [9] Islam, Rofiqul, Islam, M. Rabiul, dan Beg, Rafiqul Alam. 2008. Renewable Energy Resources and Technologies Practice in Bangladesh. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 12, Issue 2, pp 299–343.
- [10] Wibawa, U., Santoso, H., & Dharmayana, I. G. A. 2014. Perancangan Kincir Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Desa Bendosari Kecamatan Pujon Kabupaten Malang. *Jurnal Elektro Unika Atma Jaya*, VII (1): 45–58.
- [11] Wong I. L. K, Buku A., Latuperissa J, and Tiyow, H.C.P. 2019. Performance of Undershot Water-wheel Curved Blade of the Laboratory Scale. *Materials Science Forum*, Vol. 967, pp 250- 255.
- [12] Yah, N. F., Sahat, I. M. and Oumer, A. N. 2016. Numerical Investigation on Effect of Immersed Blade Depth on the Performance of Undershot Water Turbines. In *MATEC Web of Conferences*, vol. 74, pp 5–9.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat Republik Indonesia yang telah memberikan bantuan dana penelitian sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.