

OPTIMASI KINCIR AIR TIPE UNDERSHOT: PENGARUH JUMLAH SUDU DAN KETINGGIAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN EKSPERIMENTAL

Carolus Borromeus Krishna Sampurno¹, Oktavianus Ardhian Nugroho², Regina Chelinia Erianda Putri³

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Perwira Purbalingga
Jl. Letjen S Parman No.53, Kedung Menjangan, Kec. Purbalingga, Kab. Purbalingga, Jawa Tengah
53316

² Program Studi Mesin Industri, Politeknik Industri ATMI
Jl. Kampus Hijau No. 3 Kawasan Jababeka Education Park, Jl. Raya Lemahabang, Simpangan, Kec.
Cikarang Utara, Kab. Bekasi, Jawa Barat 17520

³ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma
Yogyakarta
Jl. Paingan, Krodan, Maguwoharjo, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta
ardhianatmi@gmail.com¹

Abstrak

Energi listrik merupakan energi yang paling dibutuhkan saat ini. Energi listrik sudah menjadi hal utama dalam seluruh segi kehidupan manusia karena itulah pemenuhan kebutuhan energi listrik menjadi sangat penting. Bentuk pembangkit energi yang menggunakan sumber terbaharukan menjadi hal utama yang dicari saat ini. Ada beberapa jenis energi terbaharukan yang dapat dijadikan sebagai sumber energi terbaharukan misalnya seperti energi surya, angin, dan air. Energi air merupakan salah satu sumber energi terbaharukan yang dapat dimanfaatkan pada daerah terpencil yang belum terdapat listrik dengan menggunakan teknologi kincir air. Pemanfaatan teknologi kincir air undershot merupakan teknologi yang tidak menimbulkan dampak pada lingkungan sekitar. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui daya output terbaik dari kincir air undershot. Metode yang digunakan yaitu dengan mengukur torsi dan daya yang dihasilkan dengan melakukan variasi pada debit air dan penggunaan variasi bentuk serta jumlah sudu dari kincir air undershot. Hasil yang didapat dari penelitian, diketahui bahwa penggunaan bentuk sudu setengah silinder menghasilkan daya dan torsi yang tertinggi sebesar 31,05 watt dan 4,01 kg.m masing – masing pada ketinggian jatuh air 4 meter.

Kata kunci : air, ketinggian, kincir, sudu, undershot, unjuk kerja.

Abstract

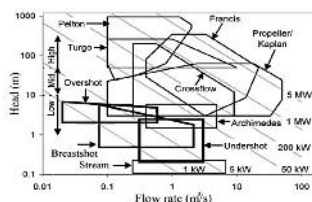
Electrical energy is the most needed energy today. Electrical energy has become the main thing in all aspects of human life, that's why meeting the needs of electrical energy is very important. The form of energy generation that uses renewable sources is the main thing to look for today. There are several types of renewable energy that can be used as renewable energy sources such as solar, wind, and water energy. Water energy is one of the renewable energy sources that can be utilized in remote areas where there is no electricity using waterwheel technology. The use of undershot waterwheel technology is a technology that does not have an impact on the surrounding environment. This study was conducted to determine the best output power of the undershot waterwheel. The method used is to measure the torque and power produced by varying the water discharge and using variations in the shape and number of blades of the undershot waterwheel. The results obtained from the study, it is known that the use of a half-cylinder blade shape produces the highest power and torque of 31.05 watts and 4.01 kg.m respectively at a water fall height of 4 meters.

Key words : water, height, waterwheel, blade, undershoot, efficiency.

PENDAHULUAN

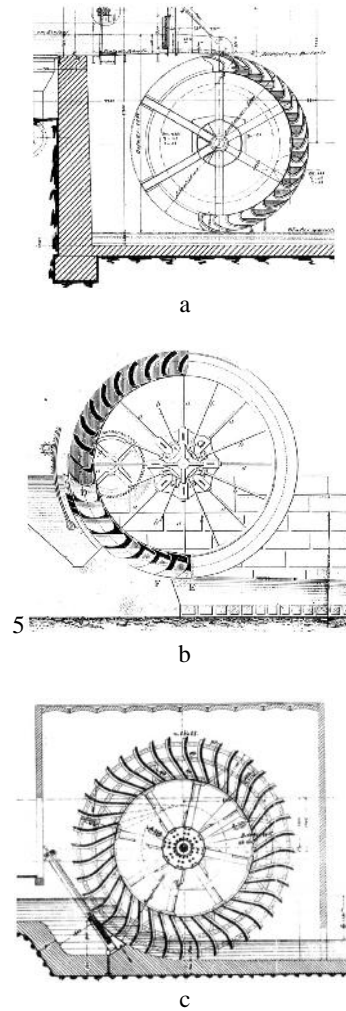
Energi listrik merupakan salah satu energi yang semakin dibutuhkan pada zaman modern baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun kebutuhan industry [1]. Pemenuhan akan kebutuhan energi listrik menjadi salah satu sumber masalah pada lingkungan karena penggunaan energi fosil yang menjadi sumber bahan bakar [2]. Selain itu, ketersediaan sumber bahan bakar fosil yang semakin hari makin berkurang dan tidak dapat diperbarui lagi. Oleh karena itu, saat ini penggunaan energi terbarukan semakin banyak digunakan untuk menggantikan sumber bahan bakar energi fosil. Salah satu energi yang terbaharukan yang paling sering dipakai di dunia adalah energi air [3]. Di Indonesia sendiri air keberadaannya sangat melimpah, apalagi ketika memasuki musim pengujan. Menurut Boli [4] Di Indonesia sendiri ketersediaan air mencapai 694 milyar/m³ per tahun, jumlah yang besar ini membuat energi air berpotensi besar untuk dapat dimanfaatkan. Namun hanya sebesar 23% saja yang telah dimanfaatkan dan dari jumlah tersebut hanya sekitar 80% yang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan irigasi. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu pemanfaatan sumber energi alternative baru dan terbarukan. salah satu tujuannya adalah untuk mencapai pembangunan PLTMH 0,1% dari Bauran Energi Nasional pada tahun 2025 [5], jenis pembangkit PLTMH digunakan pada sungai-sungai dengan aliran rendah yang sangat banyak ditemu di indonesia [3].

Bentuk pemanfaatan energi air PLTMH ini berbagai macam, yaitu dengan menggunakan teknologi turbin, kincir, maupun hidrokinetik ketika aliran air mencukupi [6] [7]. Pada umumnya, teknologi pemanfaatan energi air hanya memanfaatkan aliran air dengan debit besar saja yang sering dimanfaatkan, sedangkan aliran dengan debit yang kecil sering terlupakan. Pada Gambar 1 menunjukkan bentuk grafik pemilihan jenis turbin pembangkit listrik yang ada di bumi menurut Adipradana [8].



Gambar 1. Grafik pemilihan jenis turbin [8]

Penggunaan energi kinetik dari aliran air dapat dimanfaatkan melalui penggunaan kincir air, yang mengubahnya menjadi energi gerak atau mekanik tanpa mengonsumsi air [9] [10]. Jenis kincir air, seperti kincir air Overshot, Undershot, dan breastshot, dapat dibedakan berdasarkan tipenya [11]. Ilustrasi dalam gambar 2 menunjukkan berbagai bentuk kincir air yang biasanya digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air [12].



Gambar 2. a) Kincir air overshot, b) Kincir air breastshot, c) Kincir air undershot [11]

Setiap desain memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Dari ketiga desain yang ada, kincir air undershot memiliki konstruksi yang lebih sederhana karena sumber penggeraknya terletak di bagian bawah kincir. Oleh karena itu, kincir air undershot dapat dipasang di mana pun ada aliran air yang cukup, membuatnya cocok untuk daerah terpencil yang belum memiliki pasokan listrik [13]. Kincir air ini efektif digunakan di

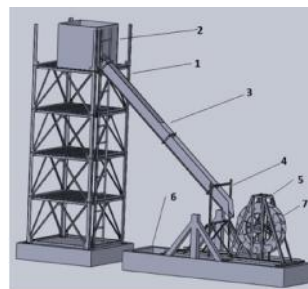
wilayah-wilayah dengan air dangkal dan ketinggian air yang rendah [14]. Prinsip kerja kincir air undershot adalah saat air mengalir dan menabrak sudu yang terletak di bagian bawah kincir, sudu tersebut memutar poros kincir air. Gerakan putar ini, yang berupa energi mekanik, kemudian disalurkan melalui transmisi ke generator dan diubah menjadi energi listrik. Perkembangan penelitian tentang teknologi PLTMH ini sudah banyak dilakukan seperti, penelitian sebelumnya tentang Pembangkit listrik tenaga mikro hidro pernah dilakukan oleh Lena tria melati [15] dalam penelitiannya dengan metode studi literatur dan analisis SWOT menunjukkan teknologi PLTMH di Indonesia mengalami perkembangan yang signifikan sehingga meningkatkan rasio elektrifikasi di Indonesia. Penelitian lain dalam pengembangan teknologi PLTMH dilakukan oleh Mafruddin Mafruddin [16] dalam penelitian dia membuat sebuah turbin air cross-flow dengan metode studi pustaka, observasi, perencanaan, pembuatan dan pengujian didapatkan turbin cross-flow didapatkan daya turbin yaitu 236,82 Watt, dengan efisiensi mekanik turbin yaitu 30 % dan daya listrik yang dihasilkan 162 Watt. Penelitian oleh [3] eka sari misalnya dalam penelitiannya dilakukan variasi sudut kemiringan turbin untuk mendapatkan daya listrik pada heat yang berbeda. Dari Penelitian penelitian PLTMH yang dilakukan belum ada yang mencari pengaruh bentuk sudu, jumlah sudu, dan ketinggian air secara bersamaan terhadap nilai efisiensi kincir ketika bekerja.

Penelitian yang dibuat ini bertujuan untuk mengetahui daya output terbaik dan efisiensi dari kincir air undershot, nantinya sebuah kincir air tipe undershot akan diteliti akan memiliki bentuk sudu berupa sudu miring dan setengah silinder. Selain bentuk sudu nantinya juga akan divariasikan jumlah sudunya. Besarnya variasi yang digunakan sebanyak 8 dan 16 buah sudu.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan melakukan pengujian langsung pada objek yang akan diteliti. Setelah proses pembuatan kincir air beserta komponen pendukung, dilakukan perakitan seluruh peralatan baik kincir airnya sendiri maupun komponen pendukung yang akan dibutuhkan dalam pengambilan data. Gambar 3 menunjukkan bagian bagian dari alat uji untuk metode experiment yang akan dilakukan. Bentuk kincir air yang dibuat memiliki dua sistem yang pertama adalah sistem kincir itu sendiri, yang kedua adalah sistem aliran air untuk menggerakkan kincir. Pada susunan alat

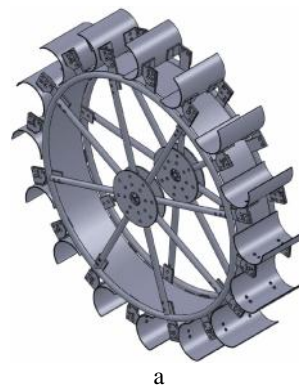
percobaan aliran air menggunakan saluran air yang dibuat menggunakan plat besi seperti pada gambar 3. sedangkan rangka besi siku di buat sedemikian rupa membentuk sebuah tower air. Bentuk susunan kincir air dan saluran airnya berbentuk seperti di gambar 3. Keterangan pada gambar alat pengujian 1. Rangka tower Air, 2. Bak tampung, 3. Saluran air, 4. Penyangga dan dudukan saluran air; 5. Penyangga dan dudukan kincir air, 6. Kolam penampung, dan 7. Kincir air.

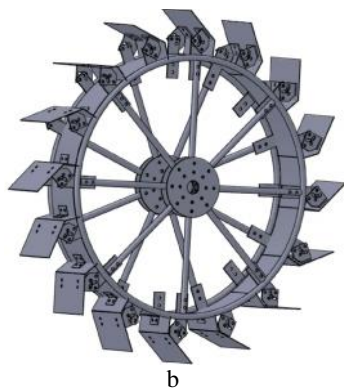


Gambar 3. Susunan Skema Alat Untuk pengujian

Proses pengumpulan data melibatkan beberapa langkah, antara lain mengatur jumlah air yang mengalir (debit air), mengukur kecepatan rotasi poros pada kincir air dan generator dengan memberikan beban lampu secara bertahap, dan terakhir, menghitung efisiensi dari setiap jenis kincir air berdasarkan variasi bentuk sudu dan ketinggian aliran air.

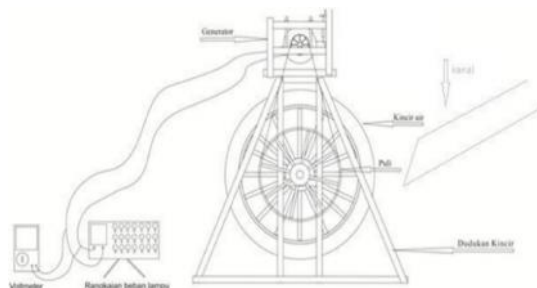
Selain itu bentuk kincir air yang akan diujikan juga ada 2 jenis yaitu kincir air model sudu miring dan kincir air sudu setengah lingkaran. Gambar 4 menunjukkan bentuk 2 model sudu yang akan diuji nilai efisiensinya.





Gambar 4. a) kincir air undershot sudu setengah silinder, b) kincir air undershot sudu miring.

Gambar 4 menunjukkan skema alat pendukung dalam langkah-langkah pengujian sistem kincir air ini, skema pada gambar 4 menggunakan generator sebagai perubah energi putaran pada poros menjadi energi listrik. Kemudian dari generator dihubungkan dengan beban yang dibuat berupa lampu sebagai variasi beban ketika proses pengujian. Putaran dari kincir juga diukur menggunakan takometer untuk melihat perubahan kecepatan putar ketika beban lampu ditambahkan.



Gambar 5. Skema Alat Pendukung

Seperti yang kita tahu, kincir air tipe undershot memiliki prinsip kerja yang serupa dengan kincir air tipe overshoot dan breastshot [1] [17]. Perbedaannya terletak pada posisi sudu pada kincir air overshoot yang terendam dalam air di bagian atas, menyebabkan seluruh sudu terkena air, sementara pada tipe undershoot, hanya setengah bagian sudu yang bersentuhan dengan aliran air. Kincir air berputar karena aliran air dari wadah penampungan mengalir melalui kanal yang mengalami penurunan karena gravitasi, kemudian mengenai sudut-sudu pada kincir air. Kontak air dengan sudut-sudu ini menyebabkan kincir berputar. Gerakan putaran ini kemudian dialirkan melalui poros utama untuk menggerakkan generator, menghasilkan daya, torsi, dan energi listrik.

Beberapa variasi dalam pengujian alat ini yaitu yang pertama memvariasikan ukuran ketinggian bak penampung yaitu di 3 dan 4 meter ketinggian ini dipilih sebagai variasi untuk mendapatkan kecepatan air yang mencukupi [18], kemudian memvariasikan jumlah sudu dari 16 ke 8 buah sudu, dan terakhir variasi beban lampu dari 2 lampu ke 21 lampu. Lampu yang dipakai memiliki hambatan rata-rata 1,6 ohm. Variable yang diukur antara lain besarnya tegangan, nilai rpm (rotasi per menit) generator, nilai rpm poros kincir, gaya pengimbang torsi, dan arus yang dihasilkan.



Gambar 6. Alat Pendukung Neraca Pegas

Langkah dalam pengambilan data yaitu menyiapkan pompa air, memasang neraca pegas seperti pada gambar 5, memasangudukan motor listrik, memposisikan alat pengukur, merangkaikan beban lampu ke generator dan voltmeter, beban lampu yang dipasang harus dikondisikan oof dahulu untuk melihat perbedaan dengan beban dan tanpa beban.

Selanjutnya ketika percobaan posisi bak penampung divariasikan menjadi ketinggian 3 meter dan 4 meter air yang mengalir dari 2 ketinggian tersebut selanjutnya akan jatuh dan memutar kincir. Bentuk alat uji yang telah dibuat tercantum seperti pada Gambar 7. Dari percobaan yang dilakukan besarnya rpm poros diukur dengan menggunakan tachometer dengan posisi tachometer harus tegak lurus dengan sumbu poros untuk mendapatkan data yang benar pada waktu pengukuran. Untuk proses pengukuran daya yang muncul di generator, pada poros kincir terdapat puley yang sudah dihubungkan dengan puli yang ada di poros generator menggunakan belt dan puley. Dengan rasio puley 5:1 yang sudah disesuaikan dengan kebutuhan torsi dan rpm pada sistem kincir. Dalam eksperimen ini, gerakan rotasi dan torsi yang terjadi pada poros generator menghasilkan energi listrik yang kemudian dipelajari dengan mengubah beban lampu. Proses percobaan dimulai dari kondisi tanpa beban hingga saat di mana seluruh lampu tidak dinyalakan secara bersamaan. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengukur tegangan dan kuat arus

yang dihasilkan oleh kincir air melalui perantara generator. Dengan memvariasikan beban lampu, peneliti dapat mengamati bagaimana respons kincir air terhadap perubahan beban tersebut, serta menganalisis tegangan dan kuat arus yang dihasilkan pada berbagai tingkat beban.

Pada proses pengujian kincir air untuk mendapatkan data yang relevan dibuatlah sebuah tabel matrix pengujian [19], tabel 1 dibawah ini berfungsi untuk merangkum parameter parameter yang digunakan dalam pengujian.

Tabel 1. Tabel matrix pengujian

No	Parameter Pengujian	Parameter	Pengujian
1	Tegangan		
2	Arus Listrik		
3	Load Cell (Gaya)	Beban lampu 0 – 14 lampu	Ketinggian air 3 dan 6 meter
4	Putaran		

Data hasil percobaan ini memberikan informasi yang penting dalam memahami efisiensi dan kinerja kincir air sebagai sumber energi listrik, serta memberikan dasar untuk peningkatan desain dan pengoptimalan penggunaan energi dari kincir air dalam berbagai konteks aplikasi.



Gambar 7. Bentuk Alat Uji Coba Kincir Air

Kesalahan dalam pengukuran [20] juga dapat terjadi seperti untuk alat ukur tegangan dan arus Listrik kesalahan seperti membaca skala dan pemakaian alat ukur bisa diatasi dengan mengukur tegangan pada kondisi yang sama secara berkali-kali untuk memastikan kondisi lingkungan di sekitar alat juga dipastikan kering sehingga meminimalisir kesalahan dan kerusakan alat sebelum percobaan data yang didapat ketika menggunakan alat ukur tegangan dengan kondisi tanpa beban lampu dari generator muncul nilai 29,1 Volt, selanjutnya dari alat ukur voltmeter pada beban lampu dengan

kondisi tanpa lampu 29,5 Volt maka nilai eror $(29,5 - 29,1) / 29,1$ dikalikan 100% maka nilai erornya sebesar 1,37 %. Untuk pengecekan load cell (gaya) proses kalibrasi sebelum pengujian pengecekan kerusakan pada load cell dan pengecekan fisik juga dilakukan sebelum proses pengujian sehingga mengurangi kesalahan pengukuran beban ketika kincir bekerja berat air pada ketinggian 3 meter sebesar 40 kg dengan luas pipa air 600 mm² maka didapatkan debit air yang mengenai sudu sebesar 1,17 kg per detik maka nilai eror yang muncul dengan menggunakan alat ukur neraca pegas adalah $(1,17 - 1,16) / 0,5$ dikalikan 100% didapat hasil sebesar 8,6 %.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa uji coba telah dilakukan, salah satunya fokus pada desain sudu berbentuk setengah lingkaran. Dari hasil uji coba ini, data mengenai torsi generator, rpm generator, dan kincir telah diperoleh. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan debit air yang konstan, namun variasi beban diterapkan pada generator, mulai dari tanpa beban hingga mencapai beban maksimal ketika semua lampu indikator mati. Perlu dicatat bahwa tiap lampu memiliki hambatan rata-rata 1,6 Ω dan daya 25 watt. Selain itu, uji coba juga melibatkan perubahan jumlah sudu dari 16 buah menjadi 8 buah. Untuk meningkatkan debit air, tinggi bak penampung divariasikan dari 3 hingga 4 meter.

Dari bentuk variasi beban lampu, perubahan jumlah sudu, dan perubahan ketinggian menyebabkan munculnya beban torsi pada generator tabel 2 menunjukkan data hasil pengujian ketika kincir air di ujicoba dengan panjang lengan torsi 0,25 m, tinggi bak penampung 3 meter, dengan jumlah sudu 16 buah.

Tabel 2 Nilai hasil rata rata pengujian pada tinggi 3 meter dan jumlah sudu 16 buah

Jumlah Lampu	Tegangan (Volt)	Kuat arus (Ampere)	Beban (kg)	Putaran pada Generator
0	29.50	0.00	0.60	267.10
2	24.60	2.40	1.17	244.63
4	18.07	4.00	2.25	227.43
6	14.87	5.57	3.00	217.20
8	12.40	6.73	3.75	209.03
10	10.43	7.77	4.00	202.90
12	8.97	8.30	4.50	198.23
14	7.80	8.87	4.75	194.27
16	6.80	9.40	4.92	190.90

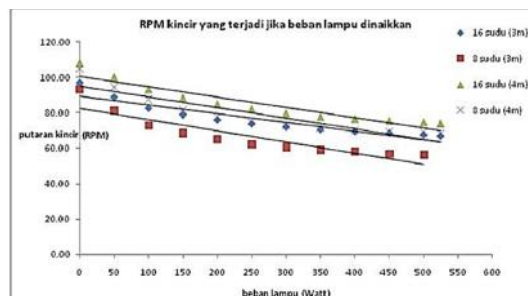
18	5.83	9.93	5.17	188.40
20	5.13	10.13	5.25	185.70
21	4.77	10.20	5.25	183.90

Berikutnya adalah data data dari hasil pengujian kemudian dibuat data penghitungan torsi, kecepatan sudut generator, daya mekanik generator, kecepatan sudut kincir air, dan torsi. Nilai efisiensi juga didapatkan dengan membandingkan besar daya air dengan ketinggian 3 dan 4 meter dibandingkan dengan daya mekanik kincir. Sehingga didapatkan tabel hasil penghitungan seperti yang tertera pada tabel 3. Pada tabel tersebut menunjukkan perhitungan data percobaan pada ketinggian 3 meter dengan sudu 16 buah. pada contoh di tabel 2 dengan daya air ketinggian 3 m diketahui sebesar 1165,3 W.

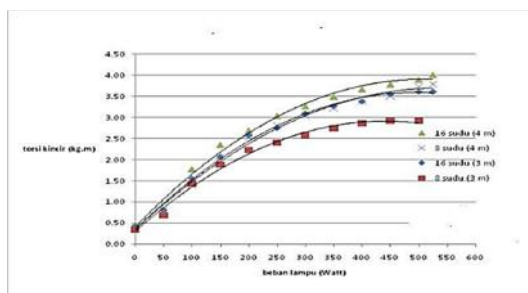
Tabel 3 Hasil perhitungan dari data tinggi 3 meter sudu 16 buah daya air 1165.3 W

Torsi Generator (kg m)	Kecepatan Sudut Generator (rad/sec)	Daya mekanik generator = Daya mekanik kincir (Watt)	Kecepatan Sudut Kincir (rad/sec)	Torsi kincir (N.m)	Efisiensi (%)
0,15	27.96	4.22	10.17	4.07	0.36
0,29	25.60	7.47	9.31	7.87	0.64
0,56	23.80	13.39	8.66	15.17	1.15
0,75	22.73	17.05	8.27	20.23	1.46
0,94	21.88	20.51	7.96	25.29	1.76
1	21.24	21.24	7.72	26.98	1.82
1,13	20.75	23.34	7.54	30.35	2.00
1,19	20.33	24.15	7.39	32.04	2.07
1,23	19.98	24.56	7.27	33.16	2.11
1,29	19.72	25.47	7.17	34.84	2.19
1,31	19.44	25.51	7.07	35.41	2.19
1,31	19.25	25.26	7.00	35.41	2.17

Pada pengujian ini terdapat pengaruh penambahan beban ketika lampu satu persatu dinyalakan. Perubahannya terlihat dari nilai rpm dan torsi yang muncul. Gambar 8 dan gambar 9, grafik yang menerangkan karakteristik kincir yang terjadi ketika penambahan beban lampu. Pada gambar 8 memperlihatkan putaran semakin berkurang jika beban lampu ditambah, selain itu juga terlihat besarnya penurunan kecepatan putar pada kincir sebesar 3%. Gambar 9 memperlihatkan efek penambahan beban terhadap torsi kincir yang terjadi. Jika beban bertambah maka torsi akan semakin besar dengan presentasi kenaikan torsi sebesar 15 %.



Gambar 8 Hubungan RPM dengan penambahan beban



Gambar 9 Hubungan torsi pada kincir dengan penambahan beban

Gambar 8 dan 9 menunjukkan bahwa saat diberi beban daya sekitar 25 Watt dan hambatan sekitar 1,6 ohm per lampu, terjadi peningkatan resistansi yang besar. Hal ini menyebabkan arus listrik menjadi tinggi, tetapi seiringnya tegangan mengalami penurunan. Fenomena ini digunakan sebagai metode pengereman pada kincir, di mana peningkatan torsi pada generator mengakibatkan penurunan rpm pada generator secara otomatis. Misalnya, pada saat kincir berputar tanpa beban dengan tinggi air jatuh 4 meter dan 16 sudu, rpm yang dihasilkan adalah 108,16 rpm dengan torsi 0,45 kg.m. Namun, ketika kincir diberi beban lampu dengan jumlah sudu yang sama, rpm kincir turun sebesar 73,98 rpm, tetapi torsi meningkat hingga 4,01 kg.m. Hal ini terjadi karena untuk mencapai putaran yang dibutuhkan oleh generator untuk menghasilkan daya, kincir perlu berputar dengan kecepatan tinggi [21].

KESIMPULAN

Dari eksperimen yang dilakukan pada penelitian kincir air ini, beberapa kesimpulan dapat diambil. Pertama, penelitian ini berhasil menciptakan sistem kincir air undershoot dan overshoot yang dapat diaplikasikan dan berfungsi dengan baik. Selama proses percobaan dengan kincir undershoot berjumlah 16 sudu dan ketinggian 4

meter, torsi tertinggi yang berhasil dihasilkan pada generator mencapai 4,01 kg.m. Namun, saat dilakukan variasi jumlah sudu menjadi 8 dengan ketinggian yang sama, torsi yang dihasilkan adalah 3,78 kg.m. Pada kondisi yang sama dengan tinggi dan jumlah sudu, daya kincir mencapai puncaknya pada 31,05 watt, sedangkan dengan jumlah sudu 8, daya tersebut turun menjadi 27,18 watt. Semakin banyak lampu yang menyala, torsi akan meningkat dan putaran per menit (rpm) kincir akan semakin rendah. Sebagai contoh, pada kondisi 16 sudu dan ketinggian 4 meter tanpa beban, putaran kincir mencapai 108,16 rpm dengan torsi 0,45 kg.m. Selama uji coba dengan kincir air undershoot, daya maksimal yang berhasil dicapai adalah 525 watt dengan 21 lampu menyala, dengan rpm maksimal 73,98 dan torsi 4,01 kg.m. Dari sini, dihitung efisiensi kincir air undershoot yang mencapai nilai tertinggi sebesar 2,19%. Walaupun demikian, penelitian ini masih memerlukan penghitungan dengan persamaan-persamaan untuk mendapatkan analisis eror dengan metode propagasi error. Dalam penelitian ini analisis tersebut belum dilakukan analisis ini nantinya akan dilakukan di penelitian selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Buku, B. Tangaran, H. C. P. Tiyouw, and N. Tolan, "Unjuk Kerja Kincir Air Undershot Sebagai Pembangkit Listrik Minihidro Di Lembang Patongloan," in *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)*, 2021, vol. 6, no. 1, pp. 179-184.
- [2] A. Rahman and K. J. D. Kimin, "Pengaruh Debit Air Terhadap Kinerja Kincir Air," vol. 2, no. 12 Des, pp. 76-79, 2018.
- [3] A. Rohermanto, "Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)," 2013.
- [4] A. Y. Adipradana, H. T. Setyawan, and A. J. J. T. Mustakhim, "ANALISIS POTENSI LISTRIK PADA TEKNOLOGI TEPAT GUNA KINCIR AIR," vol. 14, no. 1, pp. 91-100, 2022.
- [5] C. B. K. Sampurno, D. D. P. Tjahjana, and S. Hadi, "The use of phase shift angle (PSA) on double stage savonius wind rotor with three points configuration semi-elliptical blade shape," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 345, no. 1, p. 012004: IOP Publishing.
- [6] D. Adanta, S. A. Arifianto, and S. B. Nasution, "Effect of blades number on undershot waterwheel performance with variable inlet velocity," in *2018 4th international conference on science and technology (ICST)*, 2018, pp. 1-6: IEEE.
- [7] D. P. Sari, H. Helmizar, I. Syofii, D. Darlius, D. J. J. o. A. R. i. F. M. Adanta, and T. Sciences, "The effect of the ratio of wheel tangential velocity and upstream water velocity on the performance of undershot waterwheels," vol. 65, no. 2, pp. 170-177, 2020.
- [8] E. Hau and W. J. E. Turbines, Springer-Verlag, Berlin, "Fundamentals, Technologies, Application," 2006.
- [9] E. S. J. M. J. T. M. Wijianti, "KINERJA PUTARAN ROTOR TURBIN AIR SCREW ARCHIMEDES DENGAN VARIASI KEMIRINGAN SUDUT TURBIN," vol. 7, no. 2, pp. 42-46, 2021.
- [10] F. Fachruddin, A. Syuriadi, A. Nidhar, F. Ramdhan, and R. A. J. J. P.-T. Candra, "Pengujian Variasi Jumlah Dan Sudut Bilah Kincir Air Tipe Breastshot," vol. 14, no. 3, 2015.
- [11] G. Müller and K. J. J. o. H. R. Kauppert, "Performance characteristics of water wheels," vol. 42, no. 5, pp. 451-460, 2004.
- [12] J. Razak, Y. Ali, M. Alghoul, M. S. Zainol, A. Zaharim, and K. J. R. A. i. A. M. Sopian, "Application of crossflow turbine in off-grid pico hydro renewable energy system," pp. 519-526, 2010.
- [13] L. T. Melati, I. Supriyadi, and Y. J. G.-T. J. T. T. Ali, "Strategi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Air Mini/Mikro Hidro di Indonesia," vol. 6, no. 2, pp. 91-99, 2022.
- [14] M. J. R. Sabdullah, "Optimalisasi Pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Berbasis Masyarakat Di Bangka Belitung (Pilot Project Kemenesdm 2014)," vol. 12, no. 2, 2017.
- [15] M. Mafruddin and D. J. T. J. P. S. T. M. Irawan, "Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe Cross-Flow Sebagai Pembangkit Listrik Di Desa Bumi Nabung Timur," vol. 3, no. 2, 2014.
- [16] R. Boli, A. Makhsud, M. J. G. J. o. I. Tahir, and S. Engineering, "Analisis Daya Output dan Efisiensi Kincir Air Sudu Miring yang Bekerja pada Saluran Horizontal," vol. 1, no. 2, pp. 1-7, 2018.
- [17] S. Paudel, N. Linton, U. C. Zanke, and N. J. R. e. Saenger, "Experimental investigation on the effect of channel width on flexible rubber blade water wheel performance," vol. 52, pp. 1-7, 2013.