

Waterwheel performance parameters and influencing factors

Carolus Borromeus Krishna Sampurno^{1*}, Ika Maulita², Anastasia Febiyani³, Yunus Ari Rokhim⁴,
Almas Rifqi Darmawan¹, Herlian Seto Margono¹, dan Retno Pangestu¹

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

² Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jenderal Soedirman,
Jl. Raya Mayjen Sungkono No. KM 5, Purbalingga 53371, Indonesia

³ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri dan Desain, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Jl.
DI Panjaitan No.128, Karangreja, Banyumas 53147, Indonesia

⁴ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap,
Jl. Kemerdekaan Barat No.17, Gligir, Cilacap 53274

*E-mail: krishnasampurno@gmail.com (corresponding author)

Abstract

Renewable energy is the cleanest source available on the planet. Water energy is one of the renewable energy sources that are widely available around us. Hydropower is energy obtained from flowing water or falling water. One of the utilization of hydropower by using a waterwheel. Since the 18th century waterwheels have been widely used both for grain milling, textile industry, and other uses. In the 20th century waterwheels began to be used for power generation. However, due to its low efficiency, the waterwheel began to be abandoned as a power plant. There have been many studies conducted to improve the performance of waterwheels, but the information is widely spread, so this article was made with the aim of collecting this information so that it can be known what parameters affect the performance of a waterwheel. The design of the right overshot waterwheel can achieve an efficiency of about 85%, the undershot waterwheel can reach 25% making these two wheels suitable for exploiting from varied and most frequently used flows. The performance of the waterwheel is made based on water discharge data, head differences, and how to use it so that it can be said that the waterwheel has different performance characteristics so that certain parameters are needed. Parameters that affect the performance of the waterwheel include the design of the blades, the amount of water collected on the overshot mill blades, the ratio of the sinking blades on the undershot waterwheel, and the angle used on the breastshot mill blades so that the waterwheel can work optimally to release the potential of water power with a low head.

Keywords: characteristic, undershot waterwheel, waterwheel, waterwheel overshot

1. Pendahuluan

Dalam perkembangan zaman sekarang ini, kebutuhan energi merupakan salah satu kebutuhan elementer. Kebutuhan energi dunia semakin meningkat seiring dengan meningkatnya populasi manusia dan pertumbuhan ekonomi dunia [1]. Hal tersebut berbanding terbalik dengan jumlah cadangan energi yang selama ini kita kenal merupakan sumber energi utama dalam memenuhi kebutuhan akan energi dunia, yaitu energi fosil. Energi fosil selain membutuhkan waktu yang sangat lama untuk diproduksi kembali juga memiliki sisi negatif dalam penggunaannya terhadap lingkungan yang mana dapat menyebabkan pencemaran udara dan pemanasan global [2]. Pada era ini, semangat untuk menemukan solusi energi yang tidak hanya bergantung pada sumber daya fosil terus mendorong para peneliti dalam mencari alternatif yang berkelanjutan. Dalam upaya mencapai keberlanjutan energi, istilah "energi terbarukan" menjadi fokus utama, merujuk pada jenis energi yang dapat diperbaharui dengan cepat melalui proses alam. Energi terbarukan bukan hanya sekadar konsep, melainkan suatu kenyataan yang mencakup beragam sumber daya, seperti energi air yang berasal dari arus sungai dan air pasang, panas bumi yang dapat dieksploitasi melalui pembangkit listrik geotermal, energi matahari yang dikonversi menjadi listrik melalui panel surya, angin yang dapat dimanfaatkan melalui turbin angin, serta sumber-sumber lain seperti biogas, biomasa, dan gelombang laut. Keberagaman sumber energi terbarukan ini menciptakan potensi besar untuk mengurangi ketergantungan global pada bahan bakar fosil, mengurangi dampak lingkungan, dan merangsang

perkembangan teknologi yang ramah lingkungan. Dengan terus menggali potensi ini, kita dapat memandang masa depan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Menurut data statistik yang dikeluarkan oleh International Renewable Energy Agency (IRENA) tentang total energi baru terbarukan di Indonesia mencapai 9.471 MW [3]. Potensi energi air sebagai sumber daya terbarukan yang signifikan di Indonesia tercermin dari kondisi geografisnya yang unik. Dengan wilayah yang berada di iklim tropis, curah hujan tinggi, dan topografi yang dipenuhi pegunungan dan sungai-sungai, Indonesia memiliki keunggulan alam yang membuat air menjadi sumber daya yang sangat melimpah. Keberlimpahan ini menjadikan air sebagai kandidat potensial untuk dikembangkan sebagai pembangkit tenaga listrik secara berkelanjutan.

Data menunjukkan bahwa ketersediaan air di Indonesia mencapai 694 miliar meter kubik per tahun, namun hanya sekitar 23% dari jumlah tersebut yang benar-benar dimanfaatkan [4]. Oleh karena itu, masih terdapat peluang besar untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya air guna memenuhi kebutuhan energi yang terus berkembang.

Tenaga air, sebagai salah satu bentuk energi terbarukan, dapat dimanfaatkan dalam dua bentuk, yaitu secara mekanis dan sebagai sumber energi listrik. Proses ini sering kali melibatkan penggunaan teknologi seperti kincir air atau turbin air, yang mampu mengonversi pergerakan air di sungai menjadi tenaga yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik. Pendekatan ini tidak hanya memberikan solusi untuk diversifikasi sumber energi, tetapi juga memiliki potensi untuk mengurangi dampak lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan energi non-terbarukan.

Dengan mendorong pengembangan lebih lanjut dalam pemanfaatan energi air, Indonesia dapat tidak hanya memanfaatkan kekayaannya secara berkelanjutan, tetapi juga bergerak menuju ketahanan energi yang lebih baik, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan memberikan kontribusi positif terhadap mitigasi perubahan iklim secara global.

Sejak awal abad ke-18, kincir air telah menjadi pemanfaatan utama dalam berbagai kegiatan, seperti penggilingan gandum dan penggergajian kayu, serta digunakan dalam berbagai keperluan lainnya. Seperti penelitian oleh Smith [5] and Reynolds (1983) pada awal revolusi industri kincir air dibuat dengan menggunakan kayu. Selama sejak abad ke 18 dan 19, beberapa pengujian dan perkiraan teoritis dengan tujuan pengembangan efisiensi kincir air telah banyak dilakukan, seperti pada penelitian oleh Bresse [6], Frizell [7], dan Müller [8].

Pada zaman modern ini, pemanfaatan kincir air masih dilakukan pada daerah – daerah terpencil yang belum mendapatkan listrik namun memiliki daerah aliran air di sekitarnya. Salah satu pemanfaatan kincir air sebagai pembangkit listrik dilakukan oleh Yogi (2023) pada gambar (a) yang menggunakan kincir air tipe undershot sebagai pembangkit listrik di daerah Pinoh Selatan, Melawi, Kalimantan Barat untuk penerangan listrik rumah tangga [9]. Selain untuk pembangkit listrik, kincir air juga dimanfaatkan sebagai irigasi pertanian seperti yang dilakukan oleh Tri (2020) pada gambar (b). Kincir air untuk irigasi dimanfaatkan untuk mengambil air dari aliran air bawah yang kemudian dialirkan ke lahan pertanian yang ada di atasnya [10].



(a)



(b)

Gambar 1. Pemanfaatan kincir air

Artikel ini bertujuan untuk menguraikan dan mengidentifikasi parameter yang dapat mempengaruhi kinerja dari kincir air guna meningkatkan efisiensi dan performanya sehingga dalam pengembangan kincir air menjadi lebih jelas dan para peneliti sudah mengetahui parameter – parameter yang mempengaruhi kincir air.

2. Metodologi

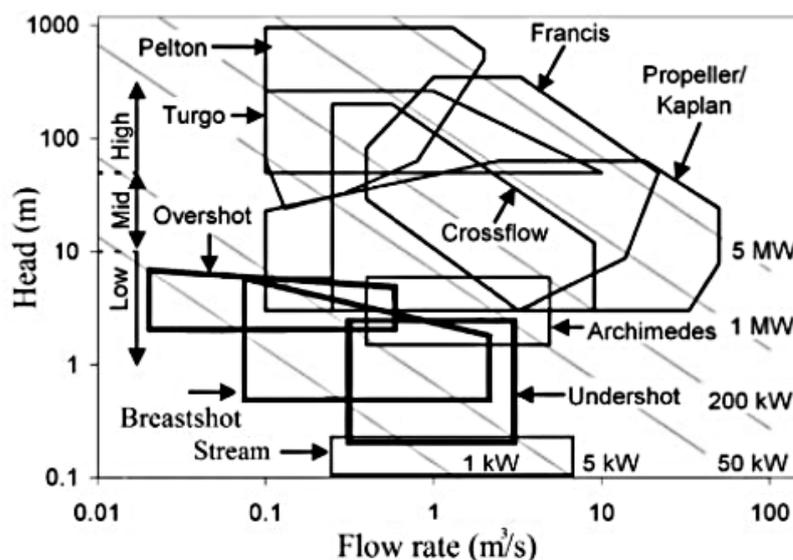
Penelitian ini dilaksanakan dengan metode studi literatur. Studi literatur yang dilakukan selain dengan mempelajari konsep PLTMH, juga dengan mengumpulkan beberapa artikel hasil penelitian yang sudah ada dari tahun 2010 hingga 2020 yang berkaitan dengan penelitian ini. Analisis dilakukan pada jurnal dan artikel tersebut untuk mengetahui parameter yang mempengaruhi performa dari kincir air.

3. Hasil dan pembahasan

Kincir air, sebagai teknologi yang telah lama ada, menjadi salah satu pilihan utama dalam eksploitasi sumber daya air. Bentuknya berupa roda dengan sudu (bucket atau vane) pada sekeliling tepi, dan fungsinya adalah mengambil keuntungan dari energi yang terkandung dalam arus air. Energi ini kemudian diubah menjadi energi mekanik berupa torsi pada poros kincir. Prinsip dasar kinerja kincir air melibatkan penggunaan perbedaan ketinggian alamiah dari permukaan sungai. Selanjutnya, kincir air dilengkapi dengan belt atau rantai, yang menghubungkan putaran kincir dengan sistem pembangkit listrik atau sistem kerja lainnya.

Pemanfaatan kincir air menjadi lebih efisien karena mampu mengonversi potensi energi air menjadi daya yang dapat digunakan secara lebih luas. Keberadaannya tidak hanya sebagai sarana pembangkit listrik tetapi juga sebagai teknologi yang mendukung berbagai sistem kerja. Oleh karena itu, kincir air tetap menjadi solusi yang relevan dalam konteks pemanfaatan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan listrik dan keperluan mekanis lainnya..

Faktor yang harus diperhatikan pada kincir air adalah pengaruh dari berat air yang jatuh atau melewati sudu – sudu. Kecepatan air tersebut harus kecil agar tidak ada energi yang tidak termanfaatkan akibat air yang terbuang dari sudu [11]. Kincir air saat ini sudah jarang sekali digunakan, namun pada kondisi tertentu kincir air dapat menjadi salah satu pilihan untuk digunakan.



Gambar 2. Grafik karakteristik jenis turbin [11]

Dalam proses perencanaan dan perancangan kincir air, perlu memperhatikan beberapa hal berikut agar diperoleh hasil yang maksimal :

3.1. Debit Air

Debit air merupakan ukuran dari banyaknya volume air yang lewat atau masuk per satuan waktu [20]. Berdasarkan pengertian tersebut, maka dapat dihasilkan persamaan :

$$Q = v A \tag{1}$$

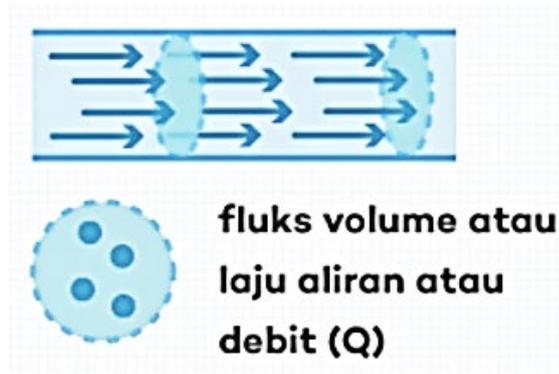
Dengan:

v : kecepatan aliran air (m/s)

A : luas penampang aliran air (m²)

Prinsip dasar pembangkit listrik tenaga air, termasuk kincir air, secara langsung berkaitan dengan besarnya debit air yang mengalir. Semakin besar debit air yang dihasilkan, semakin besar potensi energi mekanik yang dapat dihasilkan untuk memutar kincir [21]. Fenomena ini terkait erat dengan hukum fisika, di mana jumlah energi kinetik air yang mengalir dapat dikonversi menjadi energi mekanik oleh kincir air. Oleh karena itu, dalam konteks pembangkit listrik tenaga air, tingkat produksi energi secara esensial tergantung pada seberapa besar aliran air yang tersedia.

Sebagai aliran air meningkat, daya dorong yang diberikan pada kincir air juga meningkat, mengakibatkan putaran kincir yang lebih cepat dan efisiensi yang lebih tinggi dalam mengonversi energi air menjadi energi mekanik. Oleh karena itu, pengelolaan debit air menjadi kunci penting dalam merancang dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik tenaga air. Memahami keterkaitan antara debit air dan energi mekanik yang dihasilkan oleh kincir air menjadi faktor kunci dalam meningkatkan efisiensi dan kinerja keseluruhan dari sistem pembangkit listrik tenaga air. Dengan demikian, penelitian dan pengembangan dalam bidang ini dapat membantu mengidentifikasi cara-cara untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya air sebagai sumber energi terbarukan.



Gambar 3. Proyeksi debit air

Kincir air bekerja dengan memanfaatkan selisih ketinggian dari permukaan sungai baik secara alamiah maupun buatan. Kinerja dari kincir air sangat dipengaruhi oleh aliran air yang ada, yang disebabkan karena perbedaan ketinggian tersebut. Semakin besar kecepatan aliran air maka akan meningkatkan jumlah debit air yang ada, sehingga peningkatan daya yang dihasilkan kincir air semakin meningkat seiring dengan meningkatnya debit air [22].

3.2. Energi yang terdapat pada air

Tenaga air, sebagai bentuk energi terbarukan, merupakan hasil eksploitasi dari pergerakan air. Dalam konteks ini, terdapat dua bentuk energi yang dapat dimanfaatkan secara efisien, yaitu energi potensial yang terkandung pada air yang jatuh dan energi kinetik yang terdapat pada air yang mengalir. Energi potensial muncul ketika air memiliki ketinggian dan kemudian jatuh ke bawah, menciptakan potensi besar untuk menghasilkan energi mekanik atau bahkan energi listrik melalui perangkat seperti kincir air. Di sisi lain, energi kinetik berkaitan dengan gerakan air yang mengalir, dan dapat diubah menjadi energi mekanik atau listrik sesuai kebutuhan.

Pentingnya tenaga air sebagai sumber energi terbarukan tidak hanya terletak pada potensinya untuk memenuhi kebutuhan energi, tetapi juga pada sifatnya yang ramah lingkungan. Dalam praktiknya, besarnya tenaga air yang dapat dimanfaatkan bergantung pada dua faktor utama, yaitu besarnya head (perbedaan ketinggian) dan debit air dari suatu sumber. Dalam penggunaannya dengan adanya reservoir atau bak penampung, head diukur sebagai perbedaan ketinggian antara permukaan air pada reservoir dengan air yang keluar dari kincir air. Konsep ini menjadi kunci dalam mengoptimalkan pemanfaatan tenaga air, di mana pengetahuan yang mendalam tentang head dan debit air sangat penting dalam merancang dan mengelola sistem pembangkit listrik tenaga air. Melalui pemahaman yang baik terhadap karakteristik ini, masyarakat dapat mengembangkan sumber daya energi terbarukan yang berkelanjutan, membawa dampak positif tidak hanya pada ketersediaan energi, tetapi juga pada lingkungan. Pada energi potensial yang terdapat pada air jatuh persamaan yang digunakan :

$$E = m g h \quad (2)$$

Dengan

m : massa air

h : head (m)

g : percepatan gravitasi (m/s²)

Daya merupakan energi tiap satuan waktu, sehingga daya air yang tersedia dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$P = \rho Q g h \quad (3)$$

Dengan

P : daya yang terdapat pada air

ρ : densitas air (kg/m³)

Q : debit aliran (m³/s)

g : percepatan gravitasi (m/s²)

h : head (m)

Sedangkan pada aliran air datar yang dalam hal ini energi yang tersedia merupakan energi kinetik :

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad (4)$$

Dengan

v : kecepatan aliran air (m/s)

sehingga daya dari air yang tersedia dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$E = \frac{1}{2} \rho Q v^2 \quad (5)$$

3.3. Gaya yang terjadi pada kincir

Kincir air dapat berputar karena terjadi gaya dorong dari air mengalir atau air jatuh yang menghantam sudu kincir.

Dalam perhitungan ini ada beberapa faktor yang harus diperhatikan :

a. Kecepatan Kincir

Kecepatan kincir adalah jumlah putaran kincir yang berotasi tiap satuan waktu.

$$n = \frac{60v}{\pi d} \quad (6)$$

Dengan:

v adalah kecepatan air (m/s)

d adalah diameter kincir air (m)

b. Fluida yang mengenai sudu

Daya dorong yang dihasilkan oleh arus sungai adalah faktor kunci yang menentukan kinerja optimal kincir air. Besar gaya dorong yang dapat diterima oleh kincir dipengaruhi oleh seberapa cepat air mengalir dan ukuran sudu kincir.

$$F = \rho A v^2 \quad (7)$$

Dengan:

ρ : masa jenis air (kg/m²)

A : luas permukaan sudu yg terkena air (m²)

v : kecepatan aliran air (m/s)

Pada kincir air undershot dan breastshot, terdapat pula air yang berada pada belakang sudu yang menjadi penghambat dari laju sudu sehingga menyebabkan kincir air tidak dapat berputar maksimal.

$$C_d = \frac{2F_d}{\rho v^2 A} \quad (8)$$

Dengan:

F_d adalah gaya hambat atau drag force dari sudu yang digunakan.

Gaya total yang bekerja pada sudu kincir air undershot adalah

$$F_{\text{kincir}} = F - F_d \quad (9)$$

Daya yang dihasilkan oleh kincir air dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$P = (F \cdot r) \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right) \quad (10)$$

Dengan:

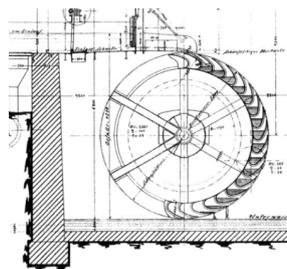
F adalah gaya dorong yang bekerja pada kincir air (kg)

r adalah jari – jari kincir air (m)

n adalah putaran dari kincir air (rpm)

3.3.1. Kincir air overshot

Kincir air overshot telah banyak digunakan sejak abad ke 14 dan masih banyak digunakan hingga sekarang. Kincir air jenis ini merupakan kincir air dengan efisiensi paling baik, karena dapat memanfaatkan energi potensial yang terdapat pada air dengan baik. Kincir ini digunakan untuk perbedaan head 2,5 m – 10 m, dan dengan debit air 0,1 – 0,2 m³/s. Dengan perancangan yang baik, kincir air overshot dapat mencapai efisiensi hingga 75% memungkinkan juga untuk mencapai 85%, namun efisiensi yang sebenarnya hanya dapat ditentukan melalui serangkaian percobaan. Prinsip kerja dari kincir air ini adalah air yang mengalir jatuh ke dalam bagian sudu – sudu pada sisi bagian atas kincir, air yang jatuh ke dalam sudu kemudian tertampung dan karena gaya berat air yang menekan ke bawah hingga sudu yang tadinya berada di atas berisi air berada pada posisi paling bawah dan menyebabkan roda kincir dapat berputar. Untuk mencegah berkurangnya efektivitas dari kincir air, maka setidaknya setiap sudu dari kincir air terisi hingga 30-50% volume. Ketika kincir berputar dengan kecepatan rendah, sudu menjadi terisi. Ketika sudu kincir berputar terlalu cepat, hanya sedikit air yang dapat mengisi setiap sudu [12].



Gambar 4. Kincir air *overshot*

Keuntungan :

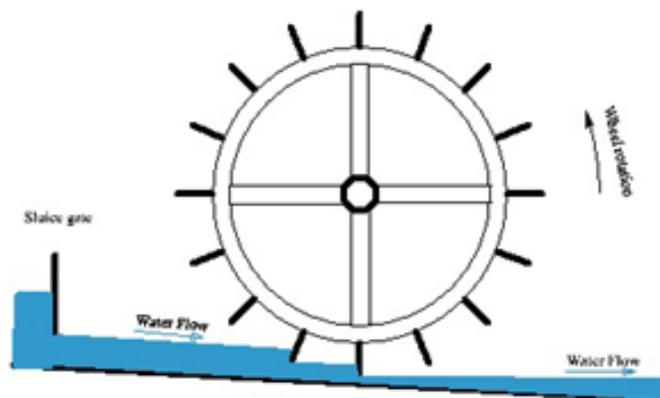
- a) Dapat bekerja pada aliran yang tidak deras.
- b) Teknologi yang sederhana dan menggunakan konstruksi yang sederhana sehingga dapat digunakan pada daerah yang terpencil.
- c) Dengan tingkat penghasilan efisiensi yang tinggi, kincir jenis ini lebih sering digunakan karena lebih menghasilkan output yang lebih tinggi dari jenis yang lainnya.

Kerugian :

- a) Karena sumber air yang menggerakkan kincir berasal dari atas, maka biasanya dibutuhkan reservoir atau penampungan.
- b) Membutuhkan tempat – tempat tertentu untuk pemasangannya karena sumber air sebagai penggerak harus dari atas.

3.3.2. Kincir air *undershot*

Kincir air *undershot* atau yang biasa disebut dengan Vitruvian adalah kincir air yang pertama kali ditemukan dan sudah ada sejak abad pertama. Namun, kincir undershot hanya memiliki efisiensi yang kecil, yaitu sekitar 15% - 25%. Kincir air ini digunakan pada perbedaan head 0,5 m – 2,5 m, dan dengan debit air 0,5 – 0,95 m³/s. Cara kerja kincir air undershot didasarkan pada mekanisme interaksi antara arus air dan struktur sudu yang dipasang di bagian bawah kincir air. Prinsip kerjanya terletak pada saat aliran air bertemu dengan dinding sudu yang terletak di bagian bawah kincir air. Gaya dorong yang dihasilkan oleh tekanan air ini menyebabkan sudu-sudu kincir terdorong, mengubah energi kinetik air menjadi tenaga mekanik. Akibatnya, kincir air mulai berputar sebagai respons terhadap gaya dorong air yang terus menerus, menghasilkan pergerakan rotasi yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan. Dengan prinsip kerja yang seperti itu dan efisiensi yang kecil, terkadang kincir air undershot tidak hanya digunakan untuk pembangkit listrik saja, namun dapat digunakan untuk mengangkat air dari bawah ke penampungan di atas, pengangkatan sampah, dan lain – lainnya.



Gambar 5. Kincir air *undershot*

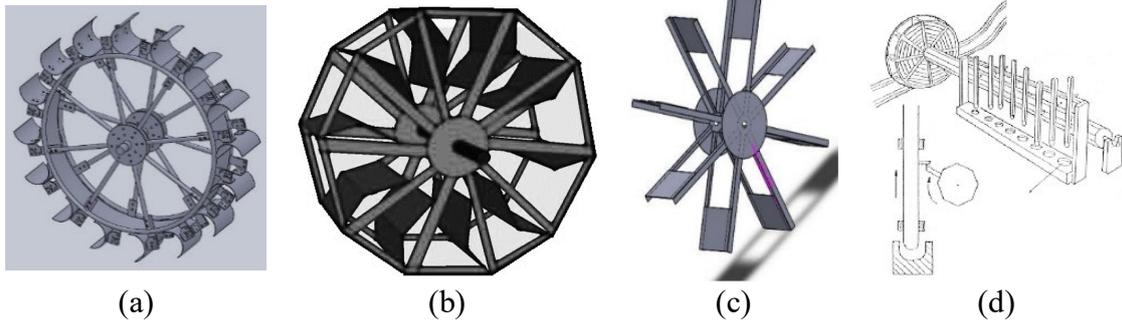
Dengan efisiensinya yang kecil dari kincir air undershot, mendorong para peneliti untuk lebih meningkatkan efisiensi dengan berbagai jenis penelitian. Antara lain penelitian yang dilakukan oleh Kadir [13] menggunakan bentuk sudu datar seperti pada kincir air undershot konvensional. Kincir air dengan sudu datar dapat menghasilkan performa yang baik apabila tinggi sudu semakin kecil. Selain itu penggunaan bentuk sudu lengkung juga dapat meningkatkan performa kincir air karena penggunaan sudu lengkung dapat mengurangi hambatan dari air yang berada di bagian belakang sudu [14]. Sedangkan untuk hasil perbandingan terbaik antara sudu yang tenggelam dengan diameter kincir undershot keseluruhan adalah 1:2 [15]. Pada penelitian lain, permodelan kincir air undershot yang diletakkan pada kanal air menghasilkan performa tertinggi pada jumlah sudu 6 dan perbandingan antara sudu yg tenggelam dan diameter kincir keseluruhan adalah 1:2 [15].

Keuntungan :

- Lebih ekonomis dan dapat di pindah – pindahkan karena sumber air sebagai penggerak terletak di bagian bawah kincir.
- Dapat digunakan pada daerah aliran sungai yang memiliki head rendah.

Kerugian :

- Efisiensinya kecil.
- Daya yang dihasilkan relatif kecil

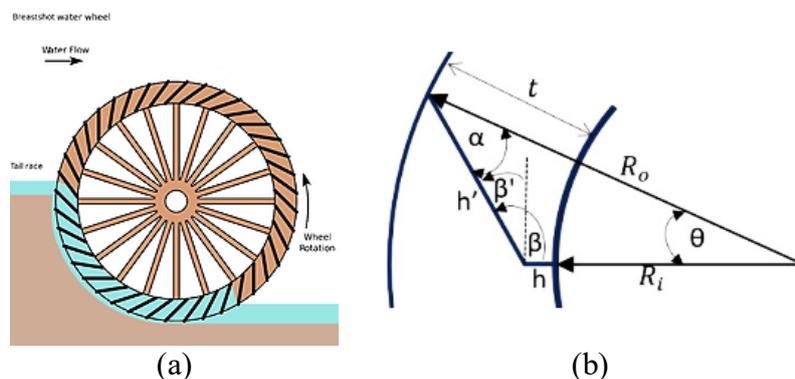


Gambar 6. (a) kincir air *undershot* dengan sudu lengkung [14], (b) kincir air *undershot* dengan sudu miring [16], (c) kincir air *undershot* dengan sudu datar [17], (d) pemanfaatan kincir air *undershot* untuk penggilingan padi.

3.3.3. Kincir air *breastshot*

Dalam rangka untuk memperoleh efisiensi yang tinggi dari *head* yang rendah, maka di kembangkan kincir air *breastshot*. Kincir air *breastshot* telah mulai dikembangkan sejak abad ke 19 dan awal abad 21. Kincir air jenis ini merupakan perpaduan dari kincir air *undershot* dan *overshot* dilihat dari energi yang diterimanya. Jarak tinggi jatuhnya air tidak lebih tinggi dari diameter kincir. Kincir air *breastshot* ini memiliki efisiensi sekitar 45%. Kincir air ini digunakan pada perbedaan head 1,5 m – 4 m, dan dengan debit air 0,35 – 0,65 m³/s.

Peningkatan performa dari kincir air *breastshot* semakin ditingkatkan dengan beberapa penelitian dari bentuk sudu yang digunakan. Penggunaan bentuk sudu dengan kemiringan sudut kemiringan 45° dapat meningkatkan performa dari kincir air *breastshot* [18]. Hal ini disebabkan karena penggunaan sudut 45° dapat menampung air lebih banyak, sehingga efisiensi dalam mengkonversi energi kinetik pada aliran air lebih tinggi. Warjito [19] memberikan saran dalam perancangan sudu dari kincir air *breastshot* agar tidak membuat sudut kemiringan dari sudu (β) dibawah 112,5° sehingga lengan sudu (h') tidak terlalu tegak atau mengarah ke atas. Apabila lengan sudu terlalu tegak maka energi kinetik pada air mengalir tidak dapat diserap dengan baik akibat terhalang lengan sudu. Sedangkan jumlah sudu yang dapat digunakan sehingga performa kincir air *breastshot* maksimal adalah 13 sudu pada debit air 41 L/s. Penelitian lainnya dengan menggunakan pembukaan pintu air dan dua penahan air vertical yang berbeda ketinggian. Dari penelitian tersebut diperoleh efisiensi hingga 75% dengan pembukaan pintu air $>0,075$ m, debit $0,05 < Q < 0,08$ m³/s [12]. Penahan air memiliki peranan untuk membantu meningkatkan efisiensi dari kincir air. *breastshot* dengan memberikan volume air yang lebih besar. Jenis kincir air *breastshot* ini sangat jarang dikembangkan karena sangat jarang menemukan tempat yang cocok untuk aplikasinya di lapangan.



Gambar 7. (a) Kincir air *breastshot*, (b) Desain sudu kincir air *breastshot* [19]

Keuntungan :

- Dapat digunakan pada head air yang pendek.
- Efisiensi yang lebih tinggi dari kincir air undershot.

Kerugian :

- Sudu dari tipe ini lebih rumit dari pada kincir air undershot.
- Apabila aliran air rata diperlukan tempat penampungan air (dam), atau penurunan head apabila terlalu tinggi melebihi diameter kincir.
- Diperlukan biaya yang lebih besar untuk pembuatannya.

3.3.4. Kincir air tub

Kincir air tub adalah salah satu jenis kincir air dengan poros vertikal yang menunjukkan kemiripan dengan turbin Francis dalam hal konstruksi sudu-sudunya. Dalam desain ini, sudu-sudu kincir dibuat miring terhadap garis horisontal, menciptakan struktur yang memungkinkan kincir air untuk menangkap energi baik dalam bentuk potensial maupun kinetik. Perbedaan utama antara kincir air tub dan jenis kincir air lainnya terletak pada arah aliran air yang diarahkan secara menyamping.

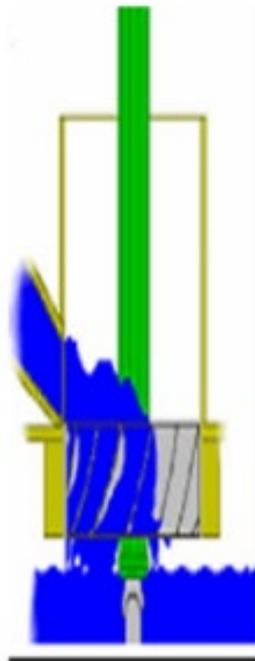
Karena arah aliran air tidak langsung menabrak sudu-sudu secara frontal, kincir air tub menerima energi potensial dan kinetik dari air yang mengalir. Meskipun konsepnya menarik dan memiliki potensi efisiensi dalam menangkap energi air, pengembangan kincir air tub masih terbatas hingga saat ini. Salah satu kendala utama adalah kompleksitas dalam proses pembuatannya, yang memerlukan perhatian khusus terhadap detail desain dan konstruksi. Selain itu, kincir air tub belum umum digunakan karena kapasitas daya yang dihasilkannya cenderung tidak sebesar jenis kincir air lainnya. Meskipun demikian, mesin ini tetap menarik perhatian dalam penelitian dan pengembangan, mungkin membawa potensi solusi energi terbarukan yang lebih efisien dan berkelanjutan di masa depan.

Keuntungan :

- Kecepatan putarnya lebih cepat
- Dapat dibuat dengan bentuk yang kecil

Kerugian :

- Karena komponennya lebih kecil, maka membutuhkan tingkat ketelitian yang tinggi.
- Tidak menghasilkan daya yang besar
- Proses pembuatan dan perawatan kincir yang lebih rumit



Gambar 8. Kincir air tub

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yakni kincir air merupakan teknologi yang dalam pemanfaatannya tidak mempengaruhi lingkungan sekitar aliran sungai. Kincir air juga dapat dimanfaatkan pada daerah aliran air yang memiliki head rendah.

Selain dari bahan pembuatan kincir yang digunakan, bentuk sudu dari kincir air juga sangat mempengaruhi performa kincir. Performa terbaik dari kincir air overshot dicapai apabila setiap sudu dari kincir terisi air hingga 30% - 50% volume air. Kincir air undershot performa terbaik dapat dicapai apabila bentuk sudu yang digunakan dapat mengurangi gaya hambat yang terjadi di belakang sudu dan menggunakan perbandingan 1:2 antara sudu yang terendam air dengan diameter kincir air undershot keseluruhan. Untuk kincir air breastshot dapat menggunakan kemiringan sudu kurang dari $112,5^\circ$ agar meningkatkan performa kincir karena dengan menggunakan sudut kemiringan tersebut, energi kinetik dari air yang mengalir dapat dikonversi secara maksimal.

Kincir air dianggap sebagai solusi yang menarik dan ekonomis untuk mengeksplorasi tenaga air dengan head rendah. Teknologi yang ramah lingkungan ini sangat cocok untuk digunakan sebagai suplai energi untuk negara berkembang.

Daftar Pustaka

- [1] Nugroho, A . D., Tjahjana, D. D. D. P., and Kristiawan, B. “Slotted blade effect on Savonius wind rotor performance”, AIP Conf. Proceeding, 2217(030102), pp. 1–5, April, 2020.
- [2] Sampurno, C. B. K., Dwi Prija Tjahjana, D. D., and Hadi, S. “The use of phase shift angle (PSA) on double stage savonius wind rotor with three points configuration semi-elliptical blade shape”, IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., 345(1), may, 2019.
- [3] IRENA, "Renewable capacity statistics 2019", International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2019.
- [4] Samekto, C and Winata, E. S. “Potensi Sumber Daya Air di Indonesia”, Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Penyediaan Air Bersih untuk Kabupaten/Kota di Indonesia, February, 2016.
- [5] Smith, N. “The Origins of the Water Turbine”, Scientific American, 242(1), pp. 138–149, December, 1980.
- [6] Bresse, J. A. C., Water-Wheels, Or Hydraulic Motors. Translated from the “Cours de Mécanique Appliquée”... By FA Mahan... Revised by DH Mahan..., New Edition, with the French Measures Translated Into English, J. Wiley&Sons, 1876.
- [7] Frizell, J. P., Water-power: An Outline of the Development and Application of the Energy of Flowing Water, John Wiley & Sons, 1907.
- [8] Müller, G. and Kauppert, K. “Performance characteristics of water wheels”, Journal of Hydraulic Research, 42(5), pp. 451–460, 2004.
- [9] Wiarno, Y. and Taufiqurrahman, M. “Studi Pemanfaatan Aliran Sungai Batang Bolli Untuk Penerangan Listrik Rumah Tangga Desa Menggunakan Kincir Air”, 4(2), pp. 21–26, 2023.
- [10] Handayani, T. S. “Perancangan Kincir Air Irigasi Otomatis Pada Persawahan Menggunakan Teknik PMW Berbasis Arduino”, Universitas Pembangunan Panca Budi Medan, Medan, 2020.
- [11] Rahman, A. and Kimin. “Pengaruh debit air terhadap kinerja kincir air”, Jurnal Dinamis, 2(12), pp. 76–79, 2018.
- [12] E. Quaranta and R. Revelli, “Output power and power losses estimation for an overshot water wheel”, Renewable Energy, 83(2015), pp. 979–987, 2015.

- [13] Kadir, M. Z. and Bambang, “Pengaruh Tinggi Sudu Kincir Air Terhadap Daya Dan Efisiensi Yang Dihasilkan”, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin, 2010, pp. 13–15.
- [14] Sampurno, C. B. K., Ari Rokhim, Y., Hendri Putranto, A., Panunggul, V. B., and Pangestu, R. “Variasi Jumlah Sudu Terhadap Bentuk Sudu Miring dan Setengah Silinder Pada Performa Kincir Air Undershot”, *Jurnal. Foundry*, 6(1), pp. 30–37, Juli, 2023.
- [15] Tevata, A. and Inprasit, C. “The effect of paddle number and immersed radius ratio on water wheel performance”, *Energy Procedia*, 9(2011), pp. 359–365, 2011.
- [16] Boli, R. H., Makhsud, A., Tahir, M., and Tahir, M. “Analisis Daya Output Dan Efisiensi Kincir Air Sudu Miring Yang Bekerja Pada Saluran Horizontal”, *Journal of Infrastructure and Science Engineering*, 1(2), pp. 1-7, 2018.
- [17] Adanta, D., Agil Fadhel Kurnianto, M., Warjito., Nasution, S. B. S., and Budiarmo, “Effect of the number of blades on undershot waterwheel performance for straight blades”, *IOP Conf. Series Earth Environment Sci.*, 431(1), 2020.
- [18] Fachruddin, Syuriadi, A., Nidhar, A., Ramdhan, F., and Candra, R. A. “Penguujian variasi jumlah dan sudut bilah kincir air tipe breastshot”, *Politeknologi*, 14(3), 2015.
- [19] Warjito, Adanta, D., Budiarmo, and Prakoso, A. P. “The effect of bucketnumber on breastshot waterwheel performance”, *IOP Conf. Series Earth Environment Sci.*, 105(2017), 2018.
- [20] Hakim, M. L., Yuniarti, N, and Damarwan, E. S. “Pengaruh Debit Air Terhadap Tegangan Output Pada”, *Jurnal Edukasi Elektro*, 4(1), pp. 75–81, 2020.
- [21] Nurdin, A., Bisri, H., Muhsin, Paundra, F., and Syamsul, H. “Perancangan Turbin Air Archimedes sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air Melalui Pendekatan Teoritis: Studi di Wisma Inri Karangpandan Kabupaten Karanganyar”, *J. Mechanical Engineering*, 5(2), pp. 86–92, 2021.
- [22] Wahyudi, S. and Cahyadi, D. N. “Pengaruh Variasi Tebal Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Datar”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, 3(2), pp. 337–342, 2012.