

Analisis dan Pemodelan Teknologi Pembangkit Energi Terapung Berbasis Kincir

Yulikastomo¹, Dan Mugisidi^{2*}, Fadhlurrahman Zaki³, Oktarina Heriyani⁴

*Email corresponding author: dan.mugisidi@uhamka.ac.id

Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri dan Informasi, Universitas Muhammadiyah Prof Dr Hamka, Jakarta Indonesia

Article history: Received: 30 November 2023 | Revised: 12 Januari 2024 | Accepted: 30 Januari 2024

Abstract. *This research aims to analyze and model wheel-based floating energy generation technology. The current energy crisis requires us to look for sustainable solutions to meet energy needs. The Indonesian government has targeted renewable energy use of 23% by 2025, especially in remote areas. One solution to overcome this challenge is energy storage technology. Energy storage using floating technology is an innovative solution that is being developed. In this research, we analyze the design of a floating energy wheel with a capacity of 126 kW as an alternative source of electrical energy. Wheel energy is produced from a combination of buoyancy energy and energy originating from the weight of water which is produced by the difference in fluid density in the water and air environments. The research results show that this floating energy wheel can produce a torque of 8268,84 Nm and a power of 126,42 kW, showing great potential in renewable energy storage applications. Wheel-based floating energy generation technology has the potential to be an innovative solution in renewable energy storage. Further research needs to be carried out on a larger scale and field tests to validate the potential and efficiency of this technology in the real world.*

Keywords - *Renewable energy, Energy storage, Floating energy wheel, Torque, Power*

Abstrak. *Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan memodelkan teknologi pembangkit energi terapung berbasis roda. Krisis energi yang terjadi saat ini mengharuskan kita mencari solusi berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi. Pemerintah Indonesia menargetkan penggunaan energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025, terutama di daerah terpencil. Salah satu solusi untuk mengatasi tantangan ini adalah teknologi penyimpanan energi. Penyimpanan energi dengan menggunakan teknologi terapung merupakan solusi inovatif yang sedang dikembangkan. Pada penelitian ini dilakukan analisa perancangan floating energy wheel berkapasitas 126 kW sebagai sumber energi listrik alternatif. Energi kincir dihasilkan dari gabungan antara energi daya apung dan energi yang berasal dari berat air yang dihasilkan oleh perbedaan massa jenis fluida pada lingkungan air dan udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kincir energi terapung ini mampu menghasilkan torsi sebesar 8268,84 Nm dan daya sebesar 126,42 kW sehingga menunjukkan potensi besar dalam aplikasi penyimpanan energi terbarukan. Teknologi pembangkit energi terapung berbasis roda berpotensi menjadi solusi inovatif dalam penyimpanan energi terbarukan. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan dalam skala yang lebih besar dan uji lapangan untuk memvalidasi potensi dan efisiensi teknologi ini di dunia nyata*

Kata Kunci - *Energi terbarukan, Penyimpanan energi, Kincir energi apung, Torsi, Daya*

PENDAHULUAN

Krisis energi ketika pasokan energi tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dan industri [1]–[3], yang disebabkan oleh kenaikan konsumsi energi [4], [5]. Selain itu ketergantungan pada bahan bakar fosil yang tidak terbarukan menyebabkan emisi gas rumah kaca sehingga memicu perubahan cuaca ekstrem dan kenaikan suhu global [6], [7]. Oleh karena itu maka teknologi energi terbarukan merupakan solusi menuju keberlanjutan energi yang lebih baik [8]–[10]. Pemerintah Indonesia menargetkan penerapan energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025, terutama untuk daerah terpencil di wilayah Indonesia [11], dan penyimpanan energi dapat menjadi salah satu solusi untuk mengatasi tantangan ini [12], [13]. Rendahnya efisien dan tingginya biaya teknologi menjadi hambatan serius untuk mengimbangi permintaan listrik yang terus meningkat [14]–[16]. Saat ini penyimpanan energi kembali populer dengan adanya peningkatan penyediaan energi dengan lebih efisien [17]–[19].

Teknologi penyimpanan energi memainkan peran kunci dalam transformasi menuju sumber energi yang efisien. [20]–[22]. Kemajuan dalam bidang ini, dapat mengatasi tantangan utama dalam memanfaatkan sumber energi terbarukan [23]–[25], sehingga teknologi penyimpanan energi menjadi solusi yang inovatif untuk mengatasi tantangan dalam penyimpanan energi terbarukan yang banyak dikembangkan seperti *flywheels*, [26], [27]. *pumped hydro* [28],

[29], penyimpanan energi udara bertekanan [30]–[33], dan penyimpanan energi bertekanan dibawah air [34], [35]. Namun tidak terbatas itu, penyimpanan energi menggunakan gaya apung juga menjadi teknologi penyimpanan energi lain yang menjanjikan [36]–[38].

Buoyancy work energy storage (BWES) [30], [39], merupakan sistem penyimpanan energi yang memanfaatkan daya apung untuk menyimpan dan melepaskan energi [40]–[42]. Sistem BWES biasanya menggunakan dua tangki, satu dengan cairan yang lebih ringan dan satu cairan yg lebih berat [30], [43], konsep BWES benda yang lebih ringan daripada disekitarnya akan mengapung, sedangkan benda yang lebih berat akan tenggelam. Hal ini menjadi prinsip dasar dalam sistem penyimpanan energi storage [44], [45]. Sejauh ini belum ada BWES yang menggunakan kincir pada dua fluida yaitu air dan udara.

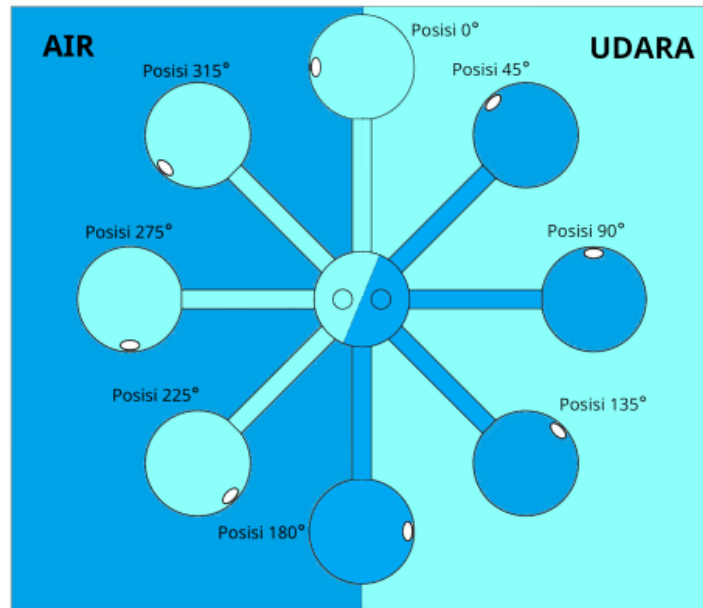
Penelitian ini menyampaikan model kincir BWES dan analisa daya yang dapat dihasilkan. potensi energi yang dapat dihasilkan dari perbedaan antara air dan udara dalam lingkungan berbeda, dengan memanfaatkan perbedaan kondisi lingkungan air dan udara.

METODE

Pada penelitian ini perancangan BWES didasarkan pada kebutuhan listrik sebesar 126 kW. Kincir BWES bekerja pada dua media yaitu air dan udara seperti terlihat pada Gambar 1. Penggerak utama BWES ini adalah berat air dan ember pada media udara serta memanfaatkan gaya apung pada media air. Ember bola dipasang pada setiap poros kincir dan diisi secara bergantian dengan air atau udara. Ketika tabung bola berada pada posisi 0° maka bola akan terisi air hingga mencapai posisi 45° , pada saat yang sama udara yang sebelumnya berada di dalam bola akan keluar sehingga menghasilkan gaya dorong. Selanjutnya ember bola yang berisi air akan bergerak ke bawah karena gravitasi sehingga menghasilkan torsi dan menyebabkan kincir berputar. Ketika bola bucket mencapai posisi 180° maka air yang ada di dalam ember akan terdorong keluar oleh udara hingga bola bucket terisi penuh dengan udara pada posisi 225° . Pelepasan air menghasilkan gaya dorong. Udara di dalam tabung menyebabkan massa jenis gabungan tabung bola lebih rendah dibandingkan air sehingga menimbulkan gaya angkat atau gaya apung (F_b). Proses ini terjadi pada delapan tabung bola secara terus menerus sehingga terdapat empat tabung bola berisi air dan empat tabung bola berisi udara pada lingkungan kerja yang berbeda. Gravitasi air dan gaya apung udara akan menyebabkan kincir berputar sehingga menghasilkan torsi sehingga menghasilkan tenaga. Material yang digunakan pada perancangan ini adalah alumunium tipe 6061 yang mempunyai massa jenis 2.700 kg/m^3 . Bentuk domain floating wheel dan spesifikasi kincir dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Spesifikasi Kincir Bouyancy

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Diameter kincir	2,986.00	mm
2	Radius kincir	1,490.00	mm
3	Diameter pipa	101.60	mm
4	Panjang pipa	700.00	mm
5	Diameter base	500.00	mm
6	Diameter bucket	550.00	mm
7	Diameter outer	25.40	mm
8	Diameter dalam	102.00	mm
9	Sudut sudu	45.00	derajat
10	Ketebalan bucket	1,11	mm



Gambar 1. Domain Kincir Bouyancy

Untuk ketebalan yang digunakan dalam desain bucket kincir buoyancy untuk bucket agar bisa mengapung dilingkungan air, ditentukan menggunakan persamaan [46] :

$$t = \frac{p \cdot D_{\text{bucket}}}{4\sigma_t} \cdot FS \quad (1)$$

Dimana :

T = Ketebalan bucket

p = Tekanan

D = Diameter bucket

FS = Faktor keamanan (safety factor)

σ_t = Gaya tegangan tarik (gaya tensile)

Untuk mendapatkan hasil volume total bucket menggunakan dengan persamaan [47] [48] :

$$V_{\text{bucket}} = V_{bo} - V_{bi} = \frac{4\pi}{3} \cdot Ro^3 - \frac{4\pi}{3} \cdot Ri^3 \quad (2)$$

Dimana:

V_{bucket} = Volume bucket

V_{bo} = Volume bucket outer

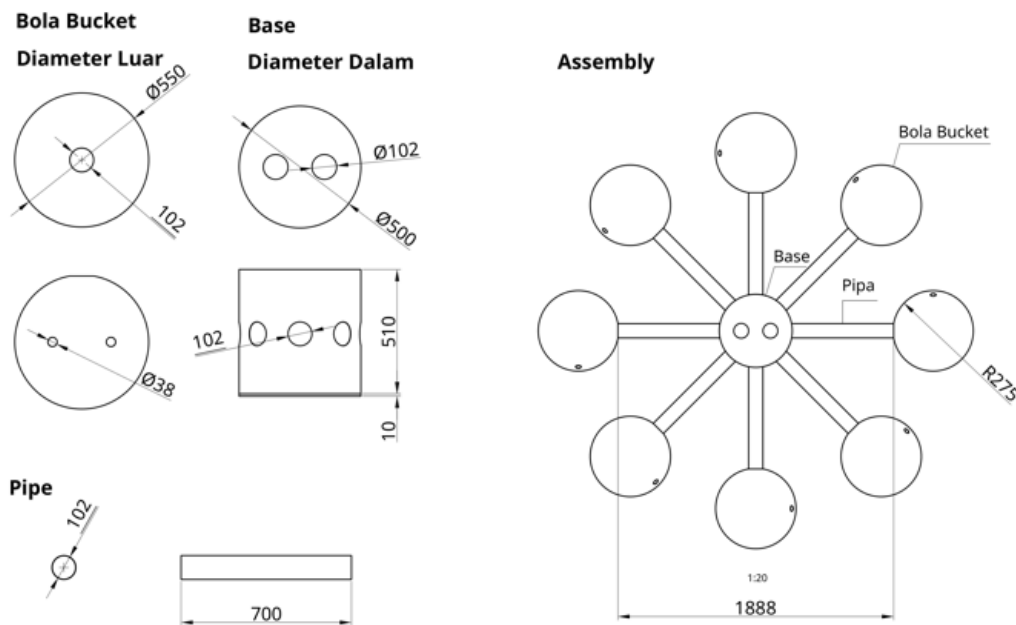
V_{bi} = Volume bucket inlet

$\frac{4\pi}{3}$ = Volume bucket dengan jari – jari

Ro^3 = Jari – jari bucket sebelum berputar

Ri^3 = Radius inlet bucket

Ukuran kincir bouyancy dan bucket dapat dilihat pada Gambar 2 :



Gambar 2. Skema Uji Kincir Bouyancy

Pengecekan pengapungan dilakukan dalam rangka memastikan bucket yang digunakan akan mengapung berikut adalah persamaan yang digunakan [49] :

$$F_B = F_{bottom} - F_{top} \quad (3)$$

$$F_B = g \cdot (s + h) \cdot A - \rho_f \cdot g \cdot s \cdot A \quad (4)$$

$$F_B = \rho_f \cdot g \cdot h \cdot A = \rho_f \cdot g \cdot V \quad (5)$$

$$F_B = \rho_{avg, body} \cdot g \cdot V_{total} \quad (6)$$

Dimana:

F_B = Gaya apung

F_{bottom} = Gaya tekanan fluida dibagian bawah

F_{top} = Gaya tekanan fluida dibagian atas

ρ_f = Massa jenis fluida

g = Gravitasi

s = Kedalaman bucket didalam fluida

h = Tinggi bucket

W = Gaya berat

A = Luas penampang bucket

$\rho_{avg, body}$ = Massa jenis rata – rata bucket

V_{total} = Volume total bucket

V = Volume bucket

Untuk memastikan bucket berputar pada kincir bouyancy maka dapat dituliskan sebagai :

$$F_1 = F \text{ thrust udara} \quad (7)$$

$$F_2 = (w + F \text{ air}) \cdot \cos 45^\circ \quad (8)$$

$$F_3 = w + F \text{ air} \quad (9)$$

$$F_4 = w + F \text{ air} \cdot \cos 45^\circ \quad (10)$$

$$F_5 = F \text{ thrust air} \quad (11)$$

$$F_6 = (Fb - w) \cdot \cos 45^\circ \quad (12)$$

$$F_7 = Fb - w \quad (13)$$

$$F_8 = (Fb - w) \cdot \cos 45^\circ \quad (14)$$

Untuk mendapatkan hasil torsi kincir didapatkan oleh gaya kincir (F) dan jari-jari kincir (r) dengan menggunakan persamaan yang sebagai berikut [50] :

$$T = F \cdot r \quad (15)$$

Dimana:

$T = \text{Torsi (Nm)}$

$F = \text{Gaya (N)}$

$r = \text{Jari - Jari kincir (m)}$

Dalam hal ini, hasil moment inersia kincir didapatkan dengan menggunakan persamaan di bawah ini [51] :

$$\Sigma I_{kincir} = I \text{ base} + 8 I \text{ pipa} + 8 I \text{ bucket} \quad (16)$$

$$= mr^2 + 8 \left(\frac{2}{3} mL^2 \right) + 8 \left(\frac{2}{3} mr^2 + m d^2 \right) \quad (17)$$

Untuk mendapatkan hasil percepatan sudut didapatkan oleh torsi (T) kincir dan momen inersia (I) kincir dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [52] :

$$\alpha = T/I \quad (18)$$

Dimana:

$\alpha = \text{Percepatan sudut (m/s}^2\text{)}$

$T = \text{Torsi (Nm)}$

$I = \text{Momen inersia (m/s}^2\text{)}$

Untuk mendapatkan hasil dari percepatan linier (a) dapat dihitung dengan percepatan sudut (α) dan jari-jari kincir (r) dan kecepatan sudut ω dapat dihitung dengan percepatan linier a dan jari-jari kincir (r) maka menggunakan persamaan sebagai berikut [52]–[55]:

$$a = \alpha \cdot r \quad (19)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{a}{r}} \quad (20)$$

$r = \text{Jari - Jari kincir (m)}$

$\omega = \text{Kecepatan sudut (rad/s)}$

$\alpha = \text{Percepatan sudut (m/s}^2\text{)}$

$a = \text{Percepatan linier}$

Untuk mengetahui hasil dari putaran kincir dapat dihitung dari kecepatan sudut dan waktu maka menggunakan persamaan berikut [47], [56], [57]:

$$n = \frac{\omega \cdot 60}{2\pi} \quad (21)$$

n = Putaran sudut (rad/s)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

Untuk mendapatkan daya yang dihasilkan oleh kincir dapat dihitung dengan kecepatan sudut dan torsi kincir maka menggunakan persamaan sebagai berikut [58]:

$$P = \omega \cdot T \quad (22)$$

P = Daya (W)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

T = Torsi (Nm)

Untuk mengetahui kecepatan kincir dapat dihitung dengan kecepatan sudut dan jari-jari kincir dengan menggunakan persamaan [52] :

$$v = \omega \cdot r \quad (23)$$

v = Kecepatan kincir

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

r = Jari – jari kincir

Untuk mengetahui laju aliran massa kincir dapat dihitung dengan massa jenis fluida, luas penampang kincir dan kecepatan fluida yang keluar dari bucket menggunakan persamaan [59] :

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot V \quad (24)$$

\dot{m} = Laju aliran fluida

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

A = Luas penampang

V = Kecepatan fluida

Untuk mengetahui F Thrust kincir dapat dihitung dengan massa jenis fluida dan kecepatan kincir berputar maka menggunakan persamaan sebagai berikut [49]:

$$F_R = \dot{m}V_2 - \dot{m}V_1 = \dot{m}(V_2 - V_1) \quad (25)$$

F_R = Gaya reaksi force

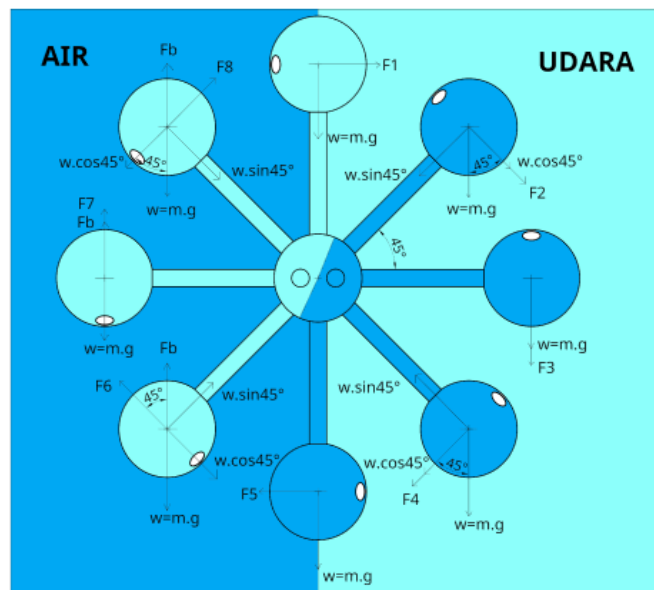
\dot{m} = Laju aliran massa

V_1 = Kecepatan awal aliran fluida

V_2 = Kecepatan akhir aliran fluida

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian desain ini diawali dengan menentukan kebutuhan daya, dilanjutkan dengan menentukan dimensi kincir dan *ball bucket*. Setelah dimensi ember bola ditentukan, maka perlu dihitung apakah ember bola akan mengapung, terendam, atau tenggelam di air menggunakan persamaan [6]. Didapatkan gaya apung air sebesar 854,15 N dan gaya berat *ball bucket* ketika di udara sebesar 27,32 N, sehingga dihasilkan gaya apung untuk *ball bucket* sebesar 826,83 N. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa *ball bucket* dapat mengapung di zona air karena gaya apung air untuk *ball bucket* lebih besar dibandingkan gaya beratnya.



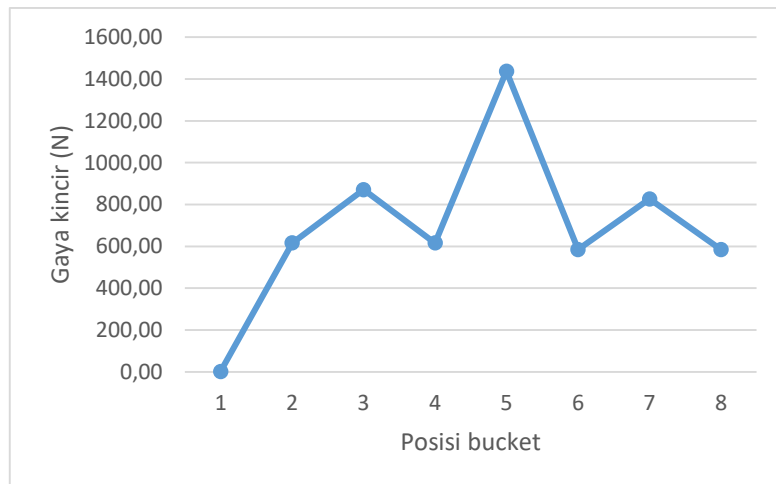
Gambar 3. Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Kincir Bouyancy

Proses selanjutnya adalah menentukan besarnya gaya yang bekerja pada kincir BWES karena setiap posisinya berbeda-beda seperti terlihat pada Gambar 3. Berdasarkan perhitungan awal, putaran kincir BWES adalah 146 rpm, sehingga waktu tempuh dari posisi 0° ke posisi 45° adalah 0,12 detik. Karena volume di dalam ember bola adalah $0,043 \text{ m}^3$, maka laju aliran udara adalah $0,360 \text{ m}^3/\text{s}$ sehingga kecepatan aliran udara adalah $39,51 \text{ m/s}$. Sedangkan gaya dorong juga terjadi pada posisi 180° sampai 315° . Untuk memastikan bahwa *ball bucket* dapat berputar, gaya kincir diperoleh dengan menggunakan persamaan (7)-(14) seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Gaya Kincir Bouyancy

No	Gaya Kincir Bouyancy	F (N)
1	$F_1 = F \text{ thrust udara}$	1,76
2	$F_2 = (w + F \text{ air}) \cdot \cos 45^\circ$	615,94
3	$F_3 = w + F \text{ air}$	871,20
4	$F_4 = w + F \text{ air} \cdot \cos 45^\circ$	615,94
5	$F_5 = F \text{ thrust air}$	1437,60
6	$F_6 = (Fb - w) \cdot \cos 45^\circ$	584,57
7	$F_7 = Fb - w$	826,83
8	$F_8 = (Fb - w) \cdot \cos 45^\circ$	584,57

Untuk F_1 laju aliran massa udara sebesar $0,0701 \text{ kg/s}$ dan F_5 laju aliran massa air sebesar $57,25 \text{ kg/s}$ dengan persamaan [24]. Serta kecepatan keluaran air dan udara sebesar $25,11 \text{ m/s}$ sehingga menghasilkan gaya dorong udara sebesar $1,76 \text{ N}$ dan gaya dorong air adalah $1,437 \text{ N}$ dengan persamaan [25]. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 berikut:



Gambar 4. Grafik Gaya Ember Bola

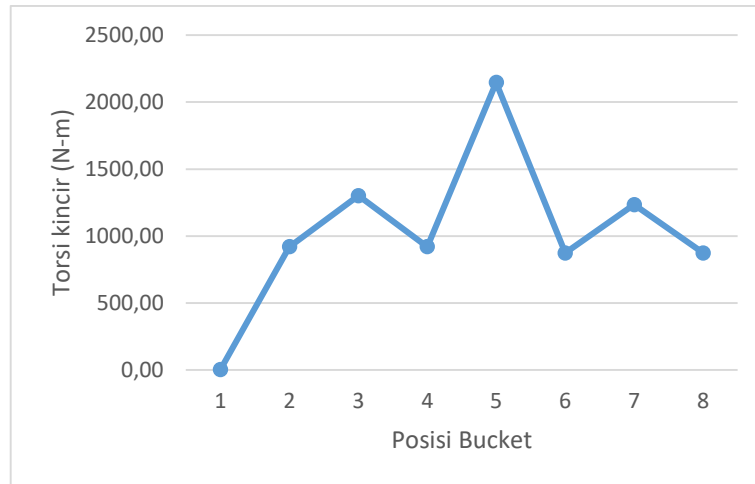
Jika tekanan pengisian 1 bar maka untuk mencapai daya yang diinginkan dipilih diameter roda 3 meter. Ketebalan ember ditentukan melalui persamaan [1] dengan rincian faktor keamanan 2 dan kekuatan luluh Al 6061 276 Mpa. Volume ember ditentukan melalui persamaan [2] jadi volume tebal bola ember adalah 0,0010 m³, volume bagian luar adalah 0,087 m³, volume bagian dalam dari bola ember adalah 0,086 m³.

Pengecekan pengapungan dilakukan dengan menggunakan persamaan [3]-[6] sehingga gaya apung pada ember tersebut adalah 854,153 N. Berdasarkan data tersebut, ember berbahan aluminium 6061 dapat mengapung di air. Gaya torsi yang diperoleh melalui gaya bucket dikalikan dengan jari-jari roda sesuai persamaan [15]. Berikut hasil data torsinya seperti yang ditunjukkan pada tabel 3:

Tabel 3. Gaya Torsi

No	Torsi	T (Nm)
1	$T_1 = F_1 \cdot r$	2,63
2	$T_2 = T_2 \cdot r$	919,60
3	$T_3 = T_3 \cdot r$	1300,70
4	$T_4 = T_4 \cdot r$	919,60
5	$T_5 = T_5 \cdot r$	1588,66
6	$T_6 = T_6 \cdot r$	872,76
7	$T_7 = T_7 \cdot r$	1234,46
8	$T_8 = T_8 \cdot r$	872,76

Untuk F1 laju aliran massa udara yang dihasilkan sebesar 0,0701 kg/s dan F5 laju aliran massa air yang dihasilkan sebesar 57,2537 kg/s dan kecepatan keluaran sebesar 25,11 m/s sehingga menghasilkan gaya dorong udara sebesar 1,76 N dan gaya dorong air sebesar 1,437 N seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 berikut :



Gambar 5. Grafik Gaya Torsi

Untuk mendapatkan nilai momen inersia kincir digunakan untuk menghitung seberapa besar energi yang diperlukan untuk memutar kincir dan bagaimana kincir akan merespons terhadap gaya-gaya luar yang bekerja padanya dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang sesuai dengan bentuk dan distribusi massa suatu benda menggunakan persamaan [16]-[17] seperti yang ditunjukkan pada tabel 4 berikut :

Tabel 4. Momen Inersia Kincir

No	Moment Inersia Kincir	Nilai	Satuan
1	$I_{base} = m_{base} \cdot r_{base}^2$	0,14	$kg \cdot m^2$
2	$I_{pipe} = 1/3 \cdot m_{pipe} \cdot L_{pipe}^2$	0,18	$kg \cdot m^2$
3	$I_{bucket} = 2/3 \cdot m_{bucket} \cdot r_{bucket}^2 + m_{bucket} \cdot d^2$	4,23	$kg \cdot m^2$
4	$\Sigma I_{kincir} = I_{base} + 8 \cdot I_{pipe} + 8 \cdot I_{bucket}$	35,41	$kg \cdot m^2$

Percepatan sudut didapatkan dari hasil dari torsi kincir dan inersia diameter kincir yang menggunakan persamaan [18] . Percepatan linier dan kecepatan sudut didapatkan melalui hasil dengan jari-jari kincir menggunakan persamaan [19]-[20]. Putaran kincir didapatkan dari kecepatan sudut dan diameter kincir menggunakan persamaan [21] . Daya yang dihasilkan didapatkan dari kecepatan sudut dan hasil torsi kincir dengan persamaan [22]. Untuk mengetahui kecepatan kincir dapat dihitung dengan kecepatan sudut dan jari-jari kincir dengan persamaan [23]. seperti yang ditunjukkan pada tabel 5 berikut :

Tabel 5. Parameter Kincir

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Percepatan sudut (α)	233,73	rad/s^2
2	Percepatan linier (a)	348,96	m/s^2
3	Kecepatan sudut (ω)	15,29	rad/s
4	n putaran kincir	146	rpm
5	Daya yang dihasilkan	126,42	kW
6	Kecepatan kincir	22,825	m/s

Pembahasan kincir bouyancy dari hasil daya yang dihasilkan 126 kW melalui teoritis dapat digunakan sebagai referensi untuk memperkirakan kinerja kincir air. Hal ini karena hasil teoritis dapat diperoleh tanpa perlu melakukan eksperimen, sehingga dapat menghemat waktu dan biaya. Namun, perlu diperhatikan bahwa hasil teoritis tidak selalu akurat. Hal ini karena hasil teoritis hanya didasarkan pada beberapa asumsi, model turbulensi yang digunakan. Oleh karenanya, hasil teoritis perlu divalidasi dengan data eksperimen untuk memastikan keakuratannya.

KESIMPULAN

Penelitian ini berfokus pada kincir energi terapung dengan daya 126 kW untuk digunakan sebagai sumber energi listrik alternatif. Kincir ini dirancang untuk memanfaatkan gaya apung yang dihasilkan oleh perbedaan massa fluida pada kondisi lingkungan air dan udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kincir energi terapung ini mampu menghasilkan torsi yang cukup besar, mencapai 8268,84 Nm hasil ini didapatkan dari hasil total gaya torsi kincir seperti yang ditunjukkan pada tabel 3, dan tenaga mencapai 126,42 kW hasil ini didapatkan dari hasil total torsi dan kecepatan sudut kincir menunjukkan potensi untuk digunakan dalam aplikasi penyimpanan energi yang inovatif.

Teknologi pembangkit energi terapung berbasis kincir berpotensi menjadi solusi inovatif dalam penyimpanan energi terbarukan. Kincir energi terapung ini dapat menghasilkan tenaga yang cukup besar dan dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan uji lapangan dan pengujian lebih lanjut terhadap roda energi terapung ini dalam skala yang lebih besar untuk memvalidasi potensi dan efisiensi teknologi ini dalam aplikasi dunia nyata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lemlitbang UHAMKA atas partisipasinya dalam menyerahkan penelitian ini dengan nomor kontrak 50/F.03.07/2022.

REFERENSI

- [1] A. H. Bagdadee and L. Zhang, "Electrical power crisis solution by the developing renewable energy based power generation expansion," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 480–490, 2020, doi: 10.1016/j.egy.2019.11.106.
- [2] G. Granda, "Food Crisis, Energy Crisis and Recession: A Global Opportunity and Challenge towards Endemic," *Int. J. Sci. Soc.*, vol. 4, no. 4, pp. 223–233, 2022, doi: 10.54783/ijssoc.v4i4.567.
- [3] M. S. Islam, A. Q. Al-Amin, and M. S. K. Sarkar, "Energy crisis in Bangladesh: Challenges, progress, and prospects for alternative energy resources," *Util. Policy*, vol. 71, no. July 2019, p. 101221, 2021, doi: 10.1016/j.jup.2021.101221.
- [4] M. Shahbaz and H. Hooi, "Does financial development increase energy consumption? The role of industrialization and urbanization in Tunisia," *Energy Policy*, vol. 40, pp. 473–479, 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2011.10.050.
- [5] H. Sasana and A. E. Putri, "The Increase of Energy Consumption and Carbon Dioxide (CO 2) Emission in Indonesia," *Increase Energy Consum. Carbon Dioxide (CO 2) Emiss. Indones.*, vol. 01008, pp. 1–5, 2018.
- [6] A. Rehman *et al.*, "The Energy Mix Dilemma and Environmental Sustainability ;," 2021.
- [7] Z. Wang, "Role of Renewable Energy and Non-Renewable Energy consumption on EKC: Evidence from Pakistan," *J. Clean. Prod.*, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.03.203.
- [8] A. Kumar, K. Kumar, N. Kaushik, S. Sharma, and S. Mishra, "Renewable energy in India : Current status and future potentials," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 8, pp. 2434–2442, 2010, doi: 10.1016/j.rser.2010.04.003.
- [9] I. Dincer, "Renewable energy and sustainable development: A crucial review," *Renew. Sustain. energy Rev.*, vol. 4, no. 2, pp. 157–175, 2000, doi: 10.1016/S1364-0321(99)00011-8.
- [10] P. A. Owusu and S. Asumadu-Sarkodie, "A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation," *Cogent Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–14, 2016, doi: 10.1080/23311916.2016.1167990.
- [11] D. Mugisidi, I. N. Fauzi, O. Heriyani, Y. Djeli, E. Aidhilhan, and P. H. Gunawan, "Development of the Dethridge Wheel Blade Shape for Hydropower Generation in Irrigation Canals in Indonesia," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 98, no. 2, pp. 146–156, 2022, doi: 10.37934/arfms.98.2.146156.
- [12] T. Weitzel and C. H. Glock, "Energy management for stationary electric energy storage systems: A systematic literature review," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 264, no. 2, pp. 582–606, 2018, doi: 10.1016/j.ejor.2017.06.052.
- [13] T. M. Gür, "Review of electrical energy storage technologies, materials and systems: Challenges and prospects for large-scale grid storage," *Energy Environ. Sci.*, vol. 11, no. 10, pp. 2696–2767, 2018, doi: 10.1039/c8ee01419a.
- [14] G. Castagneto Gisse, P. E. Dodds, and J. Radcliffe, "Market and regulatory barriers to electrical energy storage innovation," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. July 2017, pp. 781–790, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.09.079.
- [15] S. Ould Amrouche, D. Rekioua, T. Rekioua, and S. Bacha, "Overview of energy storage in renewable energy systems," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 41, no. 45, pp. 20914–20927, 2016, doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.06.243.
- [16] S. C. Smith, P. K. Sen, and B. Kroposki, "Advancement of energy storage devices and applications in electrical

- power system,” *IEEE Power Energy Soc. 2008 Gen. Meet. Convers. Deliv. Electr. Energy 21st Century, PES*, pp. 1–8, 2008, doi: 10.1109/PES.2008.4596436.
- [17] D. Larcher and J. M. Tarascon, “Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage,” *Nat. Chem.*, vol. 7, no. 1, pp. 19–29, 2015, doi: 10.1038/nchem.2085.
- [18] M. Beaudin, H. Zareipour, A. Schellenberglobe, and W. Rosehart, “Energy storage for mitigating the variability of renewable electricity sources: An updated review,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 14, no. 4, pp. 302–314, 2010, doi: 10.1016/j.esd.2010.09.007.
- [19] E. M. G. Rodrigues, R. Godina, S. F. Santos, A. W. Bizuayehu, J. Contreras, and J. P. S. Catalão, “Energy storage systems supporting increased penetration of renewables in islanded systems,” *Energy*, vol. 75, pp. 265–280, 2014, doi: 10.1016/j.energy.2014.07.072.
- [20] Ö. E. Tugrul Atasoy, Hülya Erdener Akinç, “Integration of Renewable Energy Systems in Smart Cities,” *Integr. Renew. Energy Syst. Smart Cities*, vol. 5, pp. 547–550, 2015.
- [21] C. Breyer, A. Azzuni, and C. Breyer, “ScienceDirect ScienceDirect Energy security and energy storage technologies Energy security and energy storage technologies the feasibility of using the heat demand-outdoor temperature function for a long-term district heat demand forecast,” *Energy Procedia*, vol. 155, pp. 237–258, 2018, doi: 10.1016/j.egypro.2018.11.053.
- [22] S. Wicki, E. G. Hansen, S. Wicki, and E. G. Hansen, “Clean Energy Storage Technology in the Making : An Innovation Systems Perspective on Flywheel Energy Storage,” *J. Clean. Prod.*, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.05.132.
- [23] M. Ruhul and A. Bhuiyan, “Overcome the future environmental challenges through,” no. May, pp. 402–416, 2022, doi: 10.1049/mna2.12148.
- [24] F. Manzano-agugliaro, F. G. Montoya, C. Gil, A. Alcayde, J. Gómez, and R. Ba, “Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review,” vol. 15, pp. 1753–1766, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2010.12.008.
- [25] X. F. Zheng, C. X. Liu, Y. Y. Yan, and Q. Wang, “A review of thermoelectrics research – Recent developments and potentials for sustainable and renewable energy applications A review of thermoelectrics research – Recent developments and potentials for sustainable and renewable energy applications,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 32, no. May 2019, pp. 486–503, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2013.12.053.
- [26] X. Li, B. Anvari, A. Palazzolo, Z. Wang, and H. Toliyat, “A Utility-Scale Flywheel Energy Storage System with a Shaftless, Hubless, High-Strength Steel Rotor,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 65, no. 8, pp. 6667–6675, 2018, doi: 10.1109/TIE.2017.2772205.
- [27] D. Nderitu and P. V Preckel, “Lucart to try out PM,” *PPI This Week*, vol. 16, no. 44, p. 3, 2001.
- [28] D. Buhagiar and T. Sant, “Modelling of a novel hydro-pneumatic accumulator for large-scale offshore energy storage applications,” *J. Energy Storage*, vol. 14, pp. 283–294, 2017, doi: 10.1016/j.est.2017.05.005.
- [29] J. D. Hunt, M. A. V. Freitas, and A. O. Pereira Junior, “Enhanced-Pumped-Storage: Combining pumped-storage in a yearly storage cycle with dams in cascade in Brazil,” *Energy*, vol. 78, pp. 513–523, 2014, doi: 10.1016/j.energy.2014.10.038.
- [30] A. H. Alami, “Experimental assessment of compressed air energy storage (CAES) system and buoyancy work energy storage (BWES) as cellular wind energy storage options,” *J. Energy Storage*, vol. 1, no. 1, pp. 38–43, 2015, doi: 10.1016/j.est.2015.05.004.
- [31] Y. M. Kim, D. G. Shin, and D. Favrat, “Operating characteristics of constant-pressure compressed air energy storage (CAES) system combined with pumped hydro storage based on energy and exergy analysis,” *Energy*, vol. 36, no. 10, pp. 6220–6233, 2011, doi: 10.1016/j.energy.2011.07.040.
- [32] P. Y. Li, T. W. Simon, J. D. Van De Ven, and S. E. Crane, “Compressed Air Energy Storage for Offshore Wind Turbines,” 2011.
- [33] Z. Wang, W. Xiong, D. S. K. Ting, R. Carriveau, and Z. Wang, “Comparison of underwater and underground CAES systems for integrating floating offshore wind farms,” *J. Energy Storage*, vol. 14, pp. 276–282, 2017, doi: 10.1016/j.est.2017.11.001.
- [34] A. Vassel-be-hagh, R. Carriveau, and D. S. Ting, “Structural analysis of an underwater energy storage accumulator,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 11, pp. 165–172, 2015, doi: 10.1016/j.seta.2014.11.004.
- [35] H. Wang *et al.*, “applied sciences Underwater Compressed Gas Energy Storage (UWCGES): Current Status , Challenges , and Future Perspectives,” 2022.
- [36] A. H. Alami, “Analytical and experimental evaluation of energy storage using work of buoyancy force,” *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 6, no. 1, 2014, doi: 10.1063/1.4866036.
- [37] K. M. Powell and T. F. Edgar, “An adaptive-grid model for dynamic simulation of thermocline thermal energy storage systems,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 76, pp. 865–873, 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2013.08.043.

- [38] R. Cazzaniga, M. Cicu, M. Rosa-clot, P. Rosa-clot, G. M. Tina, and C. Ventura, "Compressed air energy storage integrated with floating photovoltaic plant," *J. Energy Storage*, vol. 13, pp. 48–57, 2017, doi: 10.1016/j.est.2017.06.006.
- [39] J. David *et al.*, "Buoyancy Energy Storage Technology: An energy storage solution for islands, coastal regions, offshore wind power and hydrogen compression," vol. 40, no. May, pp. 1–14, 2021, doi: 10.1016/j.est.2021.102746.
- [40] M. K. Koukou, M. G. Vrachopoulos, and N. S. Tachos, "Experimental and computational investigation of a latent heat energy storage system with a staggered heat exchanger for various phase change materials," *Therm. Sci. Eng. Prog.*, 2018, doi: 10.1016/j.tsep.2018.05.004.
- [41] K. P. Bassett, R. Carriveau, and D. S. K. Ting, "Integration of buoyancy-based energy storage with utility scale wind energy generation," *J. Energy Storage*, vol. 14, pp. 256–263, 2017, doi: 10.1016/j.est.2017.04.013.
- [42] P. Nikolaidis and A. Poullikkas, "Cost metrics of electrical energy storage technologies in potential power system operations," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 25, no. November 2017, pp. 43–59, 2018, doi: 10.1016/j.seta.2017.12.001.
- [43] J. D. Hunt *et al.*, "Buoyancy Energy Storage Technology: An energy storage solution for islands, coastal regions, offshore wind power and hydrogen compression," *J. Energy Storage*, vol. 40, no. June, pp. 1–14, 2021, doi: 10.1016/j.est.2021.102746.
- [44] C. M. Costa, J. C. Barbosa, R. Gonçalves, H. Castro, F. J. Del Campo, and S. Lanceros-méndez, "Recycling and environmental issues of lithium-ion batteries: Advances, challenges and opportunities," *Energy Storage Mater.*, vol. 37, no. January, pp. 433–465, 2021, doi: 10.1016/j.ensm.2021.02.032.
- [45] A. J. Pimm, "The University of Nottingham Department of Mechanical, Materials and Manufacturing Engineering Analysis of Flexible Fabric Structures by," no. July, 2011.
- [46] A. H. Alami, *General Concepts BT - Mechanical Energy Storage for Renewable and Sustainable Energy Resources*. 2020.
- [47] Budiarmo, D. Adanta, Warjito, A. I. Siswantara, P. Saputra, and R. Dianofitra, "Optimization of the Water Volume in the Buckets of Pico Hydro Overshot Waterwheel by Analytical Method," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 316, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/316/1/012056.
- [48] A. Bewley, B. Upcroft, and P. Lever, "Automatic in-bucket volume estimation for dragline operations Automatic In-Bucket Volume Estimation for Dragline," no. January, 2009.
- [49] Yunus A. Cengel, *Fluid Mechanics*. 2016.
- [50] A. Sifa, B. Badruzzaman, T. Endramawan, I. Maolana, and A. R. Muhammad, "Pengujian Variasi Jumlah Blade Fiberglass Kincir Angin Type Horizontal Untuk Pemompa Air Garam," *Din. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 89–97, 2018, doi: 10.29303/dtm.v8i2.208.
- [51] D. Kodirov and O. Tursunov, "Calculation of Water Wheel Design Parameters for Micro Hydroelectric Power Station," *E3S Web Conf.*, vol. 97, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/20199705042.
- [52] A. F. Purwaningsih, "Analisis kestabilan model persamaan gerak kincir air," pp. 1–10, 2014.
- [53] K. L. Richards, *Design Engineer's Reference Guide: Mathematics, Mechanics, and Thermodynamics*. 2014.
- [54] C. Tang, "Analysis and Modelling of the Effects of Inertia and Parameter Errors on Wind Turbine Output Power," *Master Thesis*, 2009.
- [55] Y. Hara, K. Hara, and T. Hayashi, "Moment of inertia dependence of vertical axis wind Turbines in pulsating winds," *Int. J. Rotating Mach.*, vol. 2012, 2012, doi: 10.1155/2012/910940.
- [56] B. Karaoglu, *Classical Physics*. 2020.
- [57] M. Hussey, *Fundamental of Mechanical Vibrations*. 1983.
- [58] M. Denny, "The efficiency of overshot and undershot waterwheels," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 2003, doi: 10.1088/0143-0807/25/2/006.
- [59] T. G. Elizarova, "Knudsen effect and a unified formula for mass flow-rate in microchannels," no. August, 2014.
- [60] X. D. Dongfang, W. Mountain, and N. Forest, "Dongfang Angular Motion Law and Operator Equations," no. March, 2023, doi: 10.13140/RG.2.2.30150.22085/1.
- [61] J. D. Louck, "Quantum Theory of Angular Momentum: Introduction," *Unitary Symmetry Comb.*, pp. 1–82, 2008, doi: 10.1142/9789812814739_0001.
- [62] V. S. Ermolin and T. V. Vlasova, "The generalized formula for angular velocity vector of the moving coordinate system," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1959, 2018, doi: 10.1063/1.5034588.