

Perancangan dan Analisis Kinerja Sudu Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Tipe *Darrieus*

Hamid¹, M Zaenudin^{1,*}, Ade Sunardi¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Global Jakarta, Jl. Boulevard Raya No. 2, Tirtajaya, Sukmajaya, Depok 16412, Indonesia

Article Info	ABSTRAK
<p>Article history:</p> <p>Received 01 April 2024 Revised 20 Mei 2024 Accepted 21 Mei 2024</p> <hr/> <p>Keywords:</p> <p>Turbin <i>darrieus</i> PLTB Jumlah sudu Energi terbarukan</p>	<p>Energi angin merupakan sumber energi terbarukan yang penting dalam kemajuan peradaban manusia, berkorelasi dengan peningkatan kualitas hidup dan industrialisasi. Turbin angin tipe Darrieus mampu beroperasi pada kondisi angin rendah dan variabel, dengan keunggulan menerima angin dari segala arah dan ditempatkan di berbagai lokasi. Penelitian ini menganalisis pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin tipe Darrieus. Data menunjukkan bahwa sudu dengan panjang lengan 35 cm menghasilkan gaya tertinggi 24,746 N, sedangkan panjang lengan 30 cm menghasilkan gaya terendah 1,425 N. Daya tertinggi diperoleh pada penggunaan 5 sudu sebesar 3,72 W, sementara daya terendah pada 4 sudu sebesar 0,47 W. Hasil ini menegaskan bahwa jumlah dan panjang sudu signifikan mempengaruhi kinerja turbin, berkontribusi pada pengembangan turbin angin yang lebih efisien dan ramah lingkungan.</p>
<p>*Corresponding Author:</p> <p>M Zaenudin Jurusan Teknik Mesin, Universitas Global Jakarta, Jl. Boulevard Raya No. 2, Tirtajaya, Sukmajaya, Depok 16412, Indonesia Email: mzaenudin@jgu.ac.id DOI: https://doi.org/10.56904/imejour.v2i1.11</p>	

1. PENDAHULUAN

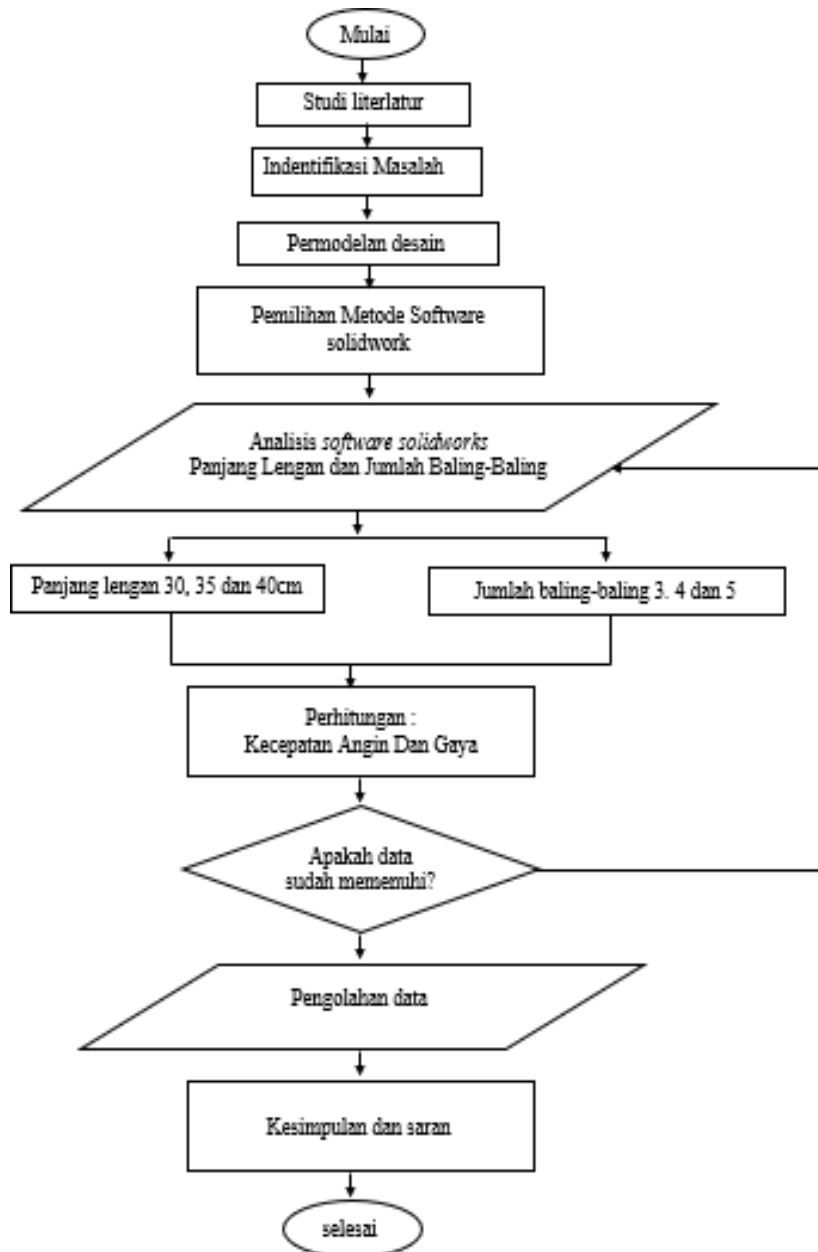
Energi angin adalah sumber energi bersih dan terbarukan yang menawarkan banyak manfaat, namun masih kurang populer dan belum banyak diterapkan secara optimal di Indonesia [1]. Sejarah kemajuan peradaban manusia selalu diiringi oleh peningkatan konsumsi energi, yang berhubungan langsung dengan peningkatan kualitas hidup dan kemajuan industrialisasi [2]. Turbin angin tipe darrieus adalah salah satu jenis turbin angin yang mampu beroperasi pada kondisi angin dengan kecepatan rendah dan berubah-ubah. Keunggulan utama dari turbin tipe Darrieus adalah kemampuannya untuk menerima angin dari segala arah, memungkinkan mekanisme turbin ini ditempatkan di berbagai lokasi, termasuk di samping rumah [3]. Turbin ini dapat beroperasi efektif meskipun dalam kondisi kecepatan angin yang lemah, sehingga cocok untuk lingkungan dengan angin yang tidak stabil. Dengan memperkenalkan dan mengimplementasikan teknologi turbin angin tipe darrieus, Indonesia dapat memanfaatkan potensi energi angin secara lebih efisien dan berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon serta peningkatan penggunaan energi terbarukan.

Energi angin adalah salah satu sumber energi terbarukan yang berkembang pesat di dunia saat ini [4]. Pemanfaatan angin sebagai sumber energi telah lama dilakukan oleh manusia. Energi angin sangat fleksibel dan dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti pembangkit listrik. Ismail (2017) [5] dalam penelitiannya yang berjudul "Perancangan Turbin Angin Vertikal Tipe Darrieus untuk Penerangan Jalan Tol" menyusun turbin dengan dua bilah, sudut putaran bilah sebesar 30 derajat, diameter rotor sebesar 350 mm, dan ketinggian rotor

sebesar 1.050 mm. Turbin ini dirancang untuk beroperasi pada kecepatan rata-rata angin sebesar 2,1 m/s dan mampu menghasilkan daya sebesar 1.908 Wh, dimana energi listrik yang dihasilkan dapat disimpan dalam akumulator sebesar 24 V dan bertahan selama 12 jam. Susio, Bambang Widodo, dan tim (2019) [6] dalam penelitian mereka yang berjudul "Pengaruh Jumlah Bilah dan Sudut Pasang Terhadap Daya Turbin Angin H-Darrieus Termodifikasi sebagai Pembangkit Tenaga Listrik Skala Rumah Tangga" mendesain bilah menggunakan airfoil dan profil yang memberikan daya keluaran optimal pada sudut pasang tertentu. Turbin angin ini didesain dengan 3, 4, dan 5 bilah, dengan sudut pasang yang dapat diatur untuk mendapatkan daya optimal dari masing-masing desain. Norbertus Dodi (2020) [7] dalam penelitiannya yang berjudul "Pengaruh Jumlah Bilah terhadap Kinerja Turbin Sumbu Vertikal Tipe Darrieus-H" menemukan bahwa turbin angin dengan variasi dua bilah masih membutuhkan bantuan untuk melakukan putaran awal. Hal ini disebabkan oleh aliran udara yang menerobos melalui celah-celah di tengah turbin, yang mengakibatkan turbin berhenti pada putaran rendah. Penelitian-penelitian ini (termasuk penelitian lainnya pada referensi [8,9]) menunjukkan bahwa desain dan konfigurasi bilah turbin sangat mempengaruhi kinerja dan efisiensi turbin angin. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang faktor-faktor ini, energi angin dapat dimanfaatkan secara lebih efektif untuk memenuhi kebutuhan energi terbarukan di berbagai skala aplikasi.

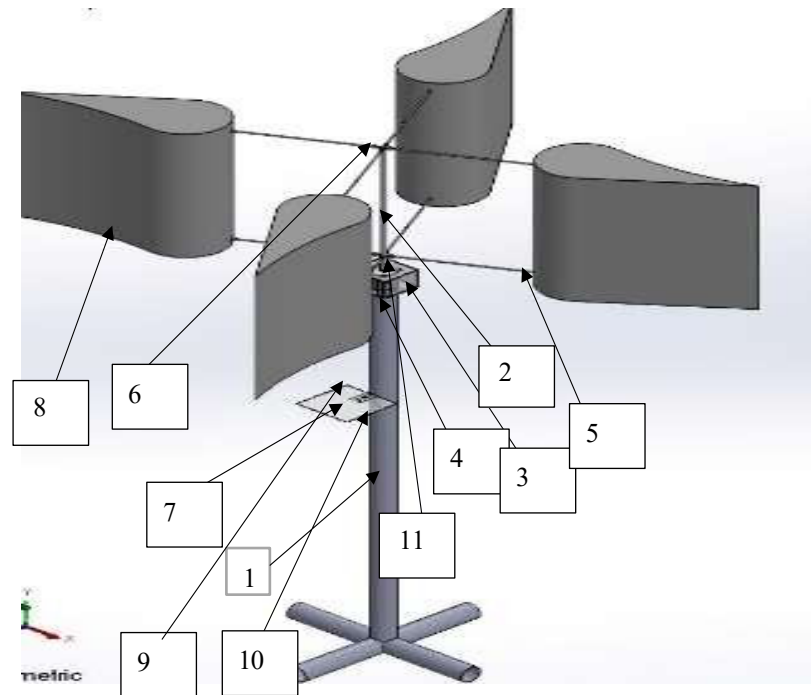
2. METODE

Tahapan-tahapan proses yang dilakukan dalam penyelesaian penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 1.



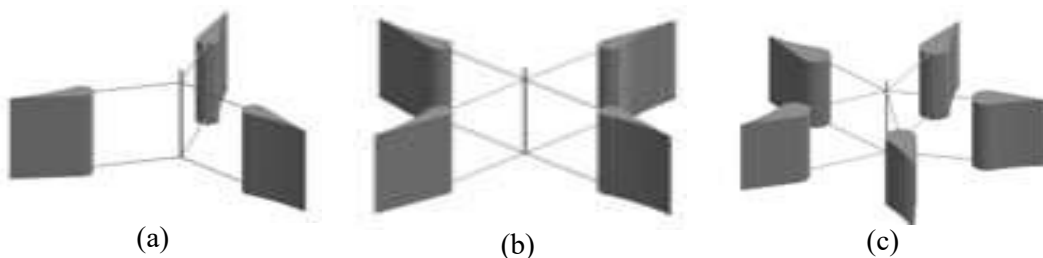
Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Desain turbin tipe *darrieus* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Sudu-sudu yang digambarkan pada Gambar 2 akan dibuat bervariasi berdasarkan jumlah sudunya. Jumlah sudu yang akan diteliti pada penelitian ini yaitu 3, 4, dan 5. Selain jumlah sudu, panjang lengan sudu juga dibuat bervariasi, mulai dari 30 cm (3 buah sudu), 35 cm (4 buah sudu), dan 40 cm (5 buah sudu). Perbedaan jumlah sudu dan panjang lengan sudu ini akan disimulasikan dengan menggunakan piranti lunak Solidworks® versi *student*. Meskipun jumlah node/elmennya cenderung terbatas, namun pada penelitian ini dirasa sudah cukup memenuhi keperluan analisis yang dilakukan. Simulasi yang dilakukan adalah simulasi dinamika fluida menggunakan metode *computational fluid dynamics* (CFD). Secara umum, simulasi melibatkan angin yang berhembus dengan kecepatan tertentu (yaitu berkisar antara 2,1 m/s sampai dengan 4,3 m/s) dan mengenai sudu. Hasil dari simulasi tersebut adalah gaya dorong, yang kemudian dikonversi sedemikian rupa menjadi daya. Hasil dari simulasi tersebut kemudian dibandingkan juga dengan hasil eksperimen.

Gambar 2. Skema Racangan alat turbin angin tipe *darrieus*.

Keterangan:

- | | |
|--------------------------|-------------------|
| 1. Pipa besi Black steel | 7. Fitting lampu |
| 2. Poros besi | 8. Plat aluminium |
| 3. Mur baut | 9. Lampu |
| 4. Generator | 10. Akriik |
| 5. Long drat | 11. Bearing |
| 6. Long nut | |



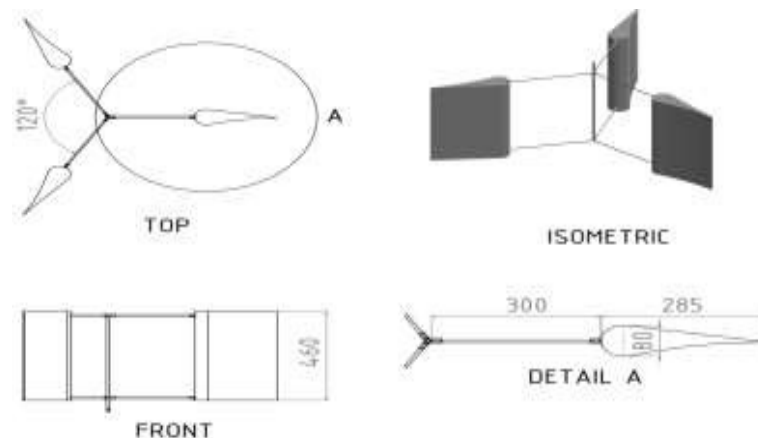
Gambar 3. Variasi desain dengan perbedaan pada jumlah sudu untuk (a) 3 buah sudu, (b) 4 buah sudu, dan (c) 5 buah sudu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

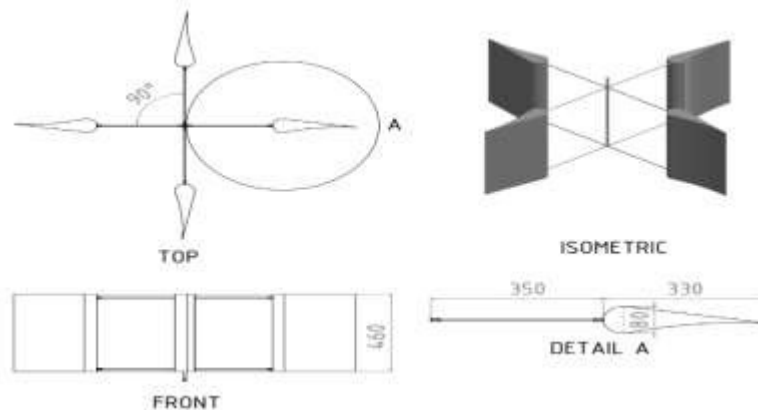
3.1. Detail desain

Desain yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3, 4, dan 5, dengan masing-masing jumlah sudu 3, 4, dan 5. Lengan yang digunakan pada desain ini yaitu berjumlah dua yang ada pada masing-masing ujung sudu. Desain ini dianggap merupakan posisi paling pas dalam hal optimasi daya yang dikeluarkan, maupun kekuatan desainnya. Lebih lanjut lagi, sudut yang dibuat berdasarkan jumlah sudu dirancang sedemikian rupa agar

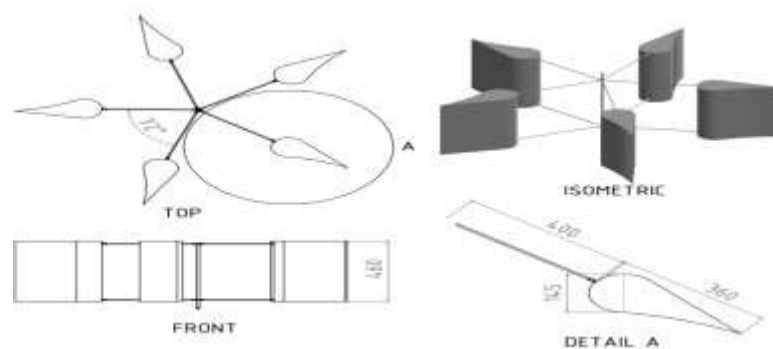
memiliki nilai yang sama besar atau dibagi rata, dimana 3 buah sudu memisahkan 120° antara masing-masing sudu, 4 buah sudu memisahkan 90° antara masing-masing sudu, dan 5 buah sudu memisahkan 72° antara masing-masing sudu. Desain ini dibuat sedemikian rupa untuk kemudian dapat disimulasikan bagaimana karakteristik aliran angin yang melaluinya, sehingga didapatkan jumlah sudu dan panjang lengan yang paling baik untuk desain yang diusulkan.



Gambar 4. Detail desain sudu pada turbin angin tipe *darrieus* dengan 3 sudu.



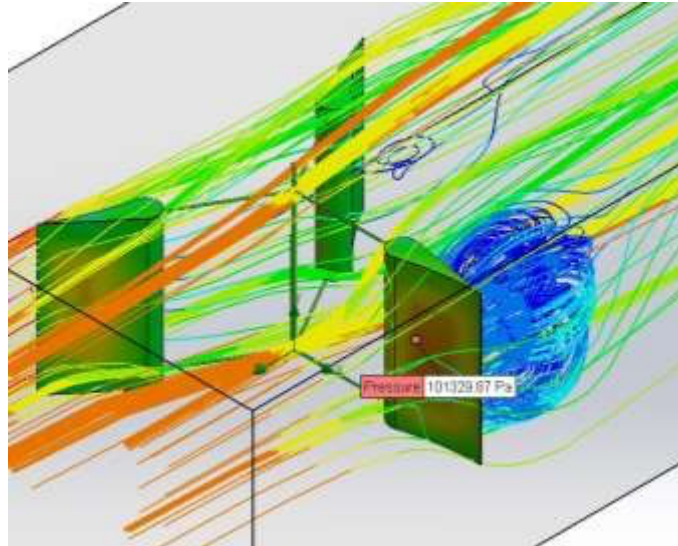
Gambar 5. Detail desain sudu pada turbin angin tipe *darrieus* dengan 4 sudu.



Gambar 6. Detail desain sudu pada turbin angin tipe *darrieus* dengan 5 sudu.

3.2. Simulasi CFD dan eksperimen

Simulasi CFD dilakukan sedemikian rupa untuk mendapatkan data yang berkaitan dengan gaya dan daya yang berpotensi dapat dihasilkan melalui perangkat PLTB (Pembangkit Listrik Tipe Bayu (Angin)). Data tersebut selanjutnya dilakukan konfirmasi melalui pengujian secara langsung (eksperimen). Data hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 7. Contoh cuplikan simulasi CFD pada salah satu desain sudu.

Tabel 1. Data hasil simulasi dan eksperimen pada berbagai jumlah sudu.

No	v (m/s)	3 buah sudu			4 buah sudu			5 buah sudu		
		F (N)	P Sim (Watt)	P Eks (Watt)	F (N)	P Sim (Watt)	P Eks (Watt)	F (N)	P Sim (Watt)	P Eks (Watt)
1	2,2	0,744	0,33	0,51	1,472	0,47	0,84	3,139	0,84	1,44
2	2,9	1,286	0,44	0,66	1,579	0,49	0,87	3,64	0,86	1,65
3	3,1	1,472	0,47	0,66	1,873	0,53	0,93	3,64	0,86	1,83
4	3,4	1,783	0,52	0,78	1,873	0,53	1,08	3,806	0,88	1,89
5	3,6	1,98	0,55	0,84	3,245	0,7	1,14	3,806	0,88	2,04
6	3,6	1,98	0,55	0,87	3,996	0,78	1,17	4,356	0,94	2,04
7	3,7	2,092	0,56	1,08	3,996	0,78	1,29	4,742	0,98	2,76
8	4,2	2,463	0,58	1,17	4,113	0,79	1,35	4,742	0,98	3,15
9	3,9	2,335	0,59	1,17	4,275	0,8	1,41	4,942	1,00	3,45
10	3,9	2,335	0,59	1,38	4,778	0,85	1,47	5,35	1,04	3,66
11	4,0	2,463	0,61	1,47	4,778	0,85	1,50	5,561	1,06	3,72

Keterangan:

v = kecepatan angin (m/s)

F = gaya (N)

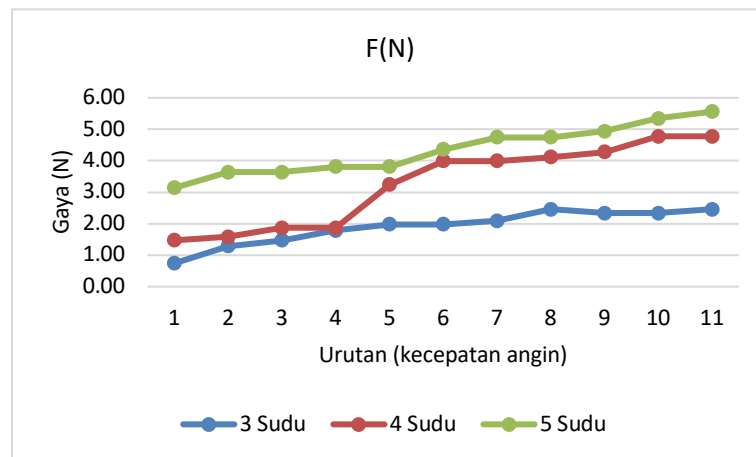
P = daya (Watt)

Sim = nilai hasil simulasi

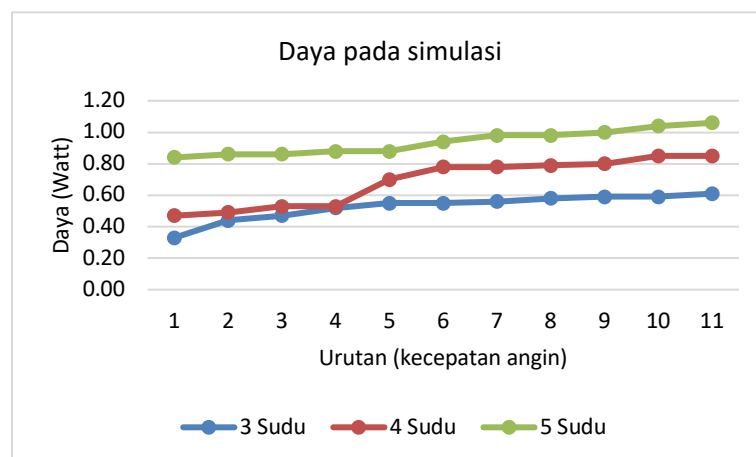
Eks = nilai hasil eksperimen

Peningkatan jumlah daya dan gaya yang dihasilkan, baik melalui simulasi maupun eksperimen, menunjukkan bahwa peningkatan-peningkatan tersebut terjadi mendekati linier. Di mana, peningkatan-peningkatan tersebut juga dipengaruhi oleh jumlah sudu, yaitu sudu dengan jumlah lebih banyak memiliki kecenderungan hasil gaya dan daya yang lebih besar. Namun demikian, dalam penelitian ini hanya difokuskan pada penelitian dengan jumlah sudu 3, 4, dan 5, yang mana di luar jumlah itu, misalnya lebih kecil dapat dimungkinkan gaya dan dayanya lebih kecil, serta jumlah sudu yang lebih banyak dapat dimungkinkan gaya dan daya

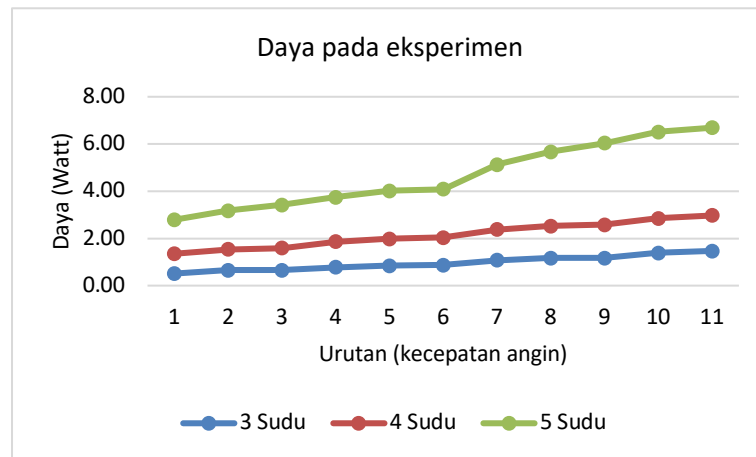
yang lebih besar. Namun demikian, dalam beberapa kasus, terkadang terjadi beberapa keterbatasan, misalnya terjadi fenomena *plateu* atau bahkan penurunan. Bahkan, jumlah sudu genap untuk turbin angin tipe *darrieus* cenderung dihindari, karena akan memberikan dorongan secara bersama-sama pada dua sisi sudu, yang berakibat pada resistensi putaran, sehingga memperkecil daya yang dihasilkan, bukannya justru memperbesar. Oleh sebab itu, beberapa penyesuaian perlu dilakukan, dan dikonfirmasi melalui pengujian yang serupa. Grafik-grafik pada Gambar 8, 9, dan 10 menunjukkan tren kenaikan pada gaya dan daya (simulasi dan eksperimen) yang mana diharapkan hal ini akan memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai karakteristik kinerja turbin tipe *darrieus* dengan jumlah sudu yang bervariasi.



Gambar 8. Grafik besar gaya hasil simulasi CFD.



Gambar 9. Grafik daya yang dihasilkan hasil simulasi.



Gambar 10. Grafik daya yang dihasilkan hasil eksperimen.

4. KESIMPULAN

Desain, simulasi, dan eksperimen turbin angin tipe *darrieus* telah dilakukan, dan hasilnya telah disampaikan dan didiskusikan dengan menyeluruh. Kesimpulan yang dapat diambil adalah, bahwa pada turbin angin tipe *darrieus*, jumlah sudu 3, 4, dan 5 menunjukkan bahwa peningkatan jumlah sudu dapat meningkatkan jumlah daya yang dihasilkan. Peningkatan juga terjadi dikarenakan peningkatan kecepatan angin. Namun demikian, pada desain penelitian ini, perlu dilihat juga bahwa turbin tipe *darrieus* perlu memiliki kekuatan yang baik, agar angin yang dilaluinya mampu ditopang dan dikonversi menjadi energi listrik. Jika kekuatannya kurang, baik dari sisi lengan maupun desain sudu, maka kecepatan angin yang diperbolehkan dimungkinkan menurun, karena khawatir justru akan merusak sudu. Oleh sebab itu, kombinasi kekuatan struktur dan jumlah sudu berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan oleh PLTB tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Universitas Global Jakarta atas kesempatan dan penyediaan fasilitasnya selama menyelesaikan penelitian ini.

REFERENCES

- [1] A. Prasetyo. (2019). Studi potensi penerapan dan pengembangan pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro*, 1(1).
- [2] M. Bhattacharya, S. R. Paramati, I. Ozturk, & S. Bhattacharya. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. *Applied energy*, 162, 733-741.
- [3] R. Taufiqurrahman & V. Suphandani. (2017). Studi Numerik Turbin Angin Darrieus dengan Variasi Jumlah Sudu dan Kecepatan Angin. *Jurnal Teknik ITS*, 6(1), B13-B18.
- [4] P. A. Østergaard, N. Duic, Y. Noorollahi, H. Mikulcic, & S. Kalogirou. (2020). Sustainable development using renewable energy technology. *Renewable energy*, 146, 2430-2437.
- [5] I. Ismail, E. Pane, & T. Triyanti. (2017). Optimasi perancangan turbin angin vertikal tipe darrieus untuk penerangan di jalan tol. *Prosiding Semnastek*.
- [6] S. Susio, B. Widodo, E. M. Silalahi, & A. Priyono. (2019). Pengaruh jumlah bilah dan sudut pasang terhadap daya turbin angin H-Darrieus termodifikasi sebagai

- pembangkit tenaga listrik skala rumah tangga. *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 12(2), 92-98.
- [7] D. Nobertus. (2020). PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL TIPE DARRIEUS-H. *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*, 18(1), 55-69.
- [8] A. Suandi, A. Sunardi, I. B. Indra, M. Zaenudin, & A. Gamayel. (2022). Analisis Pengaruh Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin. *Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 12(3), 168-173.
- [9] M. N. Hanif, M. Zaenudin, & Y.K.P. Saleh. (2023). Analisis sistem solar tracker terhadap daya yang dihasilkan untuk irigasi hidroponik tenaga panel surya. *JURNAL CRANKSHAFT*, 6(2), 21-36.