

PENENTUAN RADIUS OPTIMAL POSISI PANJANG CHORD MAKSIMUM (L_{cmax}) BLADE SHROUDED TURBIN ANGIN AKSIAL TIGA BLADE

Ridwan A maligana¹⁾, W. M. Rumaherang²⁾, Sefnath J. E. Sarwuna³⁾

¹⁾S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email : ridwanmaligana31@gmail.com

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: maxrumaherang72@gmail.com

³⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: etwansarwuna19@gmail.com

Abstrak suatu tantangan dalam perancangan turbin angin di Indonesia, dikarenakan sebagian besar wilayah Indonesia memiliki potensi angin yang rendah. Oleh karena itu diperlukan analisis yang tepat untuk memaksimalkan potensi dari energi angin tersebut. Dengan penambahan shrouded pada turbin angin akan mempercepat aliran masuk ke *blade* dan meningkatkan performa turbin sehingga dapat mengatasi masalah kecepatan angin yang rendah. Penelitian terdahulu mengkaji tentang *blade* turbin angin. Penelitian ini tentang pengaruh radius posisi panjang chord maksimum *blade* shrouded turbin angin aksial. Dimana bentuk pada *airfoil blade* mempunyai pengaruh yang besar dalam kecepatan rotasi turbin. Yang mana menggunakan profil *airfoil national advisory committee for aeronautics* (NACA) 5 digit. Permasalahan dalam penelitian ini berapakah radius dari panjang chord maksimum shrouded turbin angin. Karena itu penelitian ini bertujuan untuk menentukan radius optimal pada posisi panjang chord maksimum yang shrouded turbin angin. Sehingga parameter-parameter energi kinetik turbin yang berhubungan jumlah aliran, Performa energi yang meliputi koefisien daya dan koefisien torsi mencapai titik optimal atau titik dengan koefisien daya maksimum. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan simulasi hidrodinamika dengan kecepatan angin 4 m/s dengan putaran turbin sesuai nilai tip speed ratio (TSR) yang ditetapkan. *Blade* turbin yang divariasikan sebanyak 5 model. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin dekat posisi radius panjang chord maksimum dengan hub, maka performance energi semakin tinggi yang mana ini merupakan kalau nilai dari parameter-parameter energi terbaik untuk shrouded turbin angin aksial dengan nilai optimal $TSR = 3 (\lambda)$, $\omega = 24$ (rad/s) = koefisien Torsi = 1.32, koefisien daya = 31,69 pada kecepatan angin 4 m/s.

Kata Kunci : Model Shrouded turbin angin 3 blade, NACA 5 digit, Koefisien torsi, Koefisien daya,

1. PENDAHULUAN

Isu pengurangan emisi karbon dioxide secara signifikan pada tahun 2030, dengan rata-rata pengurangan emisi karbon 28% merupakan harapan para eksekutif industri dunia. Salah satu sumber energi baru terbarukan yang memiliki prospek yang baik dan ramah lingkungan adalah energi angin.

Pertumbuhan tenaga angin di Indonesia saat ini masih terkategori rendah. Salah satu penyebabnya merupakan sebab kecepatan angin rata-rata di daerah Indonesia terkategori kecepatan angin rendah, ialah berkisar antara 3 m/s sampai 5 m/s.

Turbin angin dibagi dua yaitu *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). Penggunaan *diffuser* di sekitar rotor berfungsi meningkatkan kecepatan

aliran di sekitar rotor, sehingga putaran rotor semakin meningkat. sehingga Performance pada turbin dengan selubung (ducted wind turbine) hal ini dikarenakan aliran udara yang melawati penampang ducted turbin lebih banyak karena adanya peningkatan kecepatan di inlet akibat pembukaan penampang diffuser sehingga laju aliran massa udara yang melewati penampang turbin menjadi lebih tinggi.

Teori momentum elementer Betz sederhana berdasarkan pemodelan aliran dua dimensi angin yang mengenai rotor menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin angin. Kecepatan aliran udara berkurang pada saat melewati. Berkurangnya kecepatan aliran udara disebabkan sebagian energi kinetik diserap oleh rotor turbin angin. Putaran rotor menghasilkan perubahan kecepatan angin pada arah tangensial yang akibatnya mengurangi jumlah total energi yang dapat diambil dari angin. Efisiensi konversi energi turbin angin biasanya ditandai dengan koefisien daya yang merupakan perbandingan antara daya mekanik turbin angin dengan daya angin.

Konstruksi *blade* untuk mendapatkan performa yang optimal dari sebuah kincir angin ketika dioperasikan maka perlu diperhatikan : bentuk *blade* seperti sekrup atau memuntir, sehingga aerodinamisnya semakin baik. Untuk mendapatkan energi yang lebih baik baling-baling dipasang langsung pada rotor turbin angin. Untuk *blade* yang dipakai berjumlah 3 buah *blade*, pada daerah kecepatan angin rendah orang biasanya menggunakan turbin angin tiga *blade* karena *blade* tersebut bisa menangkap energi angin lebih efektif.

Karakteristik turbin sebagai hubungan antara rasio kecepatan, koefisien tekanan C_{pb} dan koefisien daya C_p sebagai fungsi dari koefisien tahanan serta hubungan antara efisiensi turbin dengan rasio kecepatan *blade local*. Koefisien daya hasil dari konversi daya angin ke daya mekanis turbin tergantung pada perbandingan dari kecepatan angin sebelum dan sesudah dikonversikan. Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor. Untuk menganalisis seberapa besar energi angin yang dapat diserap oleh turbin angin, digunakan Teori Momentum Elementer Betz. Angka $16/27 = (0.593\%)$ ini disebut batas Betz (Betz limit, diambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz) angka ini secara teori menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin tipe sumbu horisontal.

dari uraian-uraian diatas. Belum ada penjelasan tentang berpakah radius optimal dari panjang chord maksimum blade shrouded turbin angin aksial tiga blade, oleh karena itu dilakukan studi tentang " penentuan radius optimal posisi panjang chord maksimum (L_{cmx}) blade shrouded turbin angin aksial tiga blade" merupakan permasalahan penting yang akan ditinjau dalam penelitian ini

2. VARIABEL PENELITIAN

A. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah radius *blade* pada panjang *chord* maksimum (L_{cmx}) yang divariasikan yang ditulis sebagai $x = R_1, R_2, R_3, R_4$, dan R_5 radius L_{cmx} yang konstan untuk memudahkan penelitian ini maka pada simulasi aliran pada kecepatan angin aliran $V_0 = 4 \text{ m/s}$.

B. Variabel Terikat

Penelitian variabel terikat (y) adalah parameter-parameter energi turbin angin yaitu torsi, turbin, tip speed ratio dan efisiensi. yang diuraikan sebagai berikut:

$$y = f(x)$$

$$\text{➤ } y_1 = f(x)$$

Dimana :

$$x = \text{radius } R_{cmx}$$

$$y_1 = \text{torsi (N.m)}$$

$$\text{➤ } y_2 = f(x)$$

Dimana :

$$x = \text{radius } R_{cmax}$$

$$y_2 = \text{daya turbin}$$

$$\text{➤ } y_3 = f(x)$$

Dimana :

$$x = \text{radius } R_{cmax}$$

$$y_3 = \text{tip speed ratio } (\lambda, \text{TSR})$$

$$\text{➤ } y_4 = f(x)$$

Dimana :

$$x = \text{radius } R_{cmax}$$

$$y_4 = \text{Efisiensi}$$

C. Langkah Pengujian dibuat dalam CFX

Penelitian ini akan di laksanakan secara experimental dan melalui metode simulasi hidrodinamika dengan bantuan software CFX ,yang akan berlangsung dengan prosedur sebagai berikut

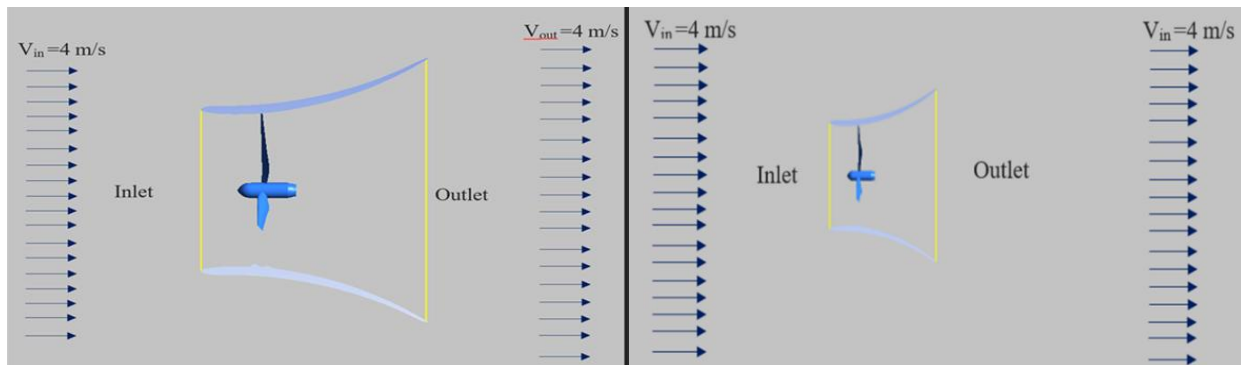
- 1) Gambar konstruksi blade shrouded turbin angin menggunakan *software* Solidworks.
- 2) File disimpan dan *export* file dengan format IGES File
- 3) Pembuatan domain (*grid system*) menggunakan *software* Workbench
- 4) *Save* dan *export* file dengan format CGNS File
- 5) Melakukan simulasi dengan CFX
- 6) *Setting boundary condary* dan *initial condition*. *Boundary condutuin* terdiri dari inlet, outlet, yaitu rotor, *stasionery* yaitu tunnel. *Boundary condition* bervariasi sesuai dengan perubahan kecepatan angin yang digunakan dalam pengujian *performance* turbin *bounfary condition* tersebut ditampilkan dalam (rotor) penelitian ini ditampilkan dalam table 1.

No	ρ	D1	R1	A tunnel	Swept area A	Vin	mA	TSR	ω	n
	[kg/m3]	[m]	[m]	[m2]	[m2]	m/2	[kg/s]	[-]	[rad/s]	[rpm]
1	1.23	1	0.5	16	0.785398	4	102000	0.25	2	19.099
2	1.23	1	0.5	16	0.785398	4		0.5	4	38.197
3	1.23	1	0.5	16	0.785398	4		0.75	6	57.296
4	1.23	1	0.5	16	0.785398	4		1	8	76.394
5	1.23	1	0.5	16	0.785398	4		1.25	10	95.493
6	1.23	1	0.5	16	0.785398	4		1.5	12	114.592
7	1.23	1	0.5	16	0.785398	4		1.75	14	133.690
8	1.23	1	0.5	16	0.785398	4		2	16	152.789
9	1.23	1	0.5	16	0.785398	4		2.25	18	171.887
10	1.23	1	0.5	16	0.785398	4		2.5	20	190.986
11	1.23	1	0.5	16	0.785398	4		2.75	22	210.085
12	1.23	1	0.5	16	0.785398	4		3	24	229.183
13	1.23	1	0.5	16	0.785398	4		3.25	26	248.282
14	1.23	1	0.5	16	0.785398	4		3.5	28	267.380
15	1.23	1	0.5	16	0.785398	4		3.75	30	286.479
16	1.23	1	0.5	16	0.785398	4		4	32	305.577

Gambar 1 bounfary condition

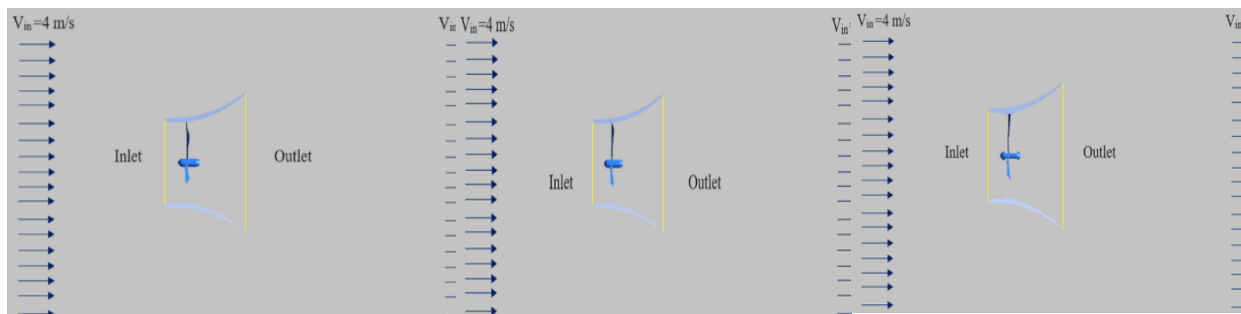
- 7) Analisa performa model blade shrouded turbin angin berdasarkan hasil pengujian model blade shrouded turbin berdasarkan jumlah variasi radius panjang chord maksimum blade shrouded turbin angin
- 8) Penggambaran karakteristik berdasarkan jumlah variasi radius pajang chord maksimum

9) Menentukan perbandingan karakteristik model blade shrouded turbin angin



Gambar 2 Turbin Model 1

Gambar 3 Turbin Model 2



Gambar 4 Turbin Model 3

Gambar 5 Turbin Model 4

Gambar 6 Turbin Model 5

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 Hasil Perhitungan Daya Poros, Koefisien, Daya dan Koefisien Torsi Pada $R_{Lcmax} = 150$

No	TSR	ω	Torsi	Pp	Cp	Cq
1	0.25	2	0.571434	1.142868	0.0259653	0.14788056
2	0.5	4	1.15983	4.63932	0.1054027	0.3001507
3	0.75	6	1.14992	6.89952	0.1567532	0.2975861
4	1	8	1.17678	9.41424	0.2138862	0.30453716
5	1.25	10	1.30185	13.0185	0.2957729	0.33690384
6	1.5	12	1.46081	17.52972	0.3982653	0.37804087
7	1.75	14	1.62286	22.72004	0.5161864	0.41997755
8	2	16	1.67911	26.86576	0.6103748	0.4345344
9	2.25	18	1.6412	29.5416	0.6711684	0.42472373
10	2.5	20	1.55306	31.0612	0.7056928	0.40191411
11	2.75	22	1.44308	31.74776	0.7212911	0.37345255
12	3	24	1.32076	31.69824	0.720166	0.34179753
13	3.25	26	1.19395	31.0427	0.7052725	0.30898056
14	3.5	28	1.06122	29.71416	0.6750888	0.27463156
15	3.75	30	0.923289	27.69867	0.629298	0.2389366
16	4	32	0.78089	24.98848	0.5677241	0.20208537

Tabel 2 Hasil Perhitungan Daya Poros, Koefisien, Daya dan Koefisien Torsi Pada $R_{L_{max}} = 237$

No	TSR	ω	Torsi	Pp	Cp	Cq
1	0.25	2	1.11316	2.22632	0.05058	0.288073
2	0.5	4	1.09486	4.37944	0.09949	0.283337
3	0.75	6	1.12504	6.75024	0.15336	0.291147
4	1	8	1.20192	9.61536	0.21845	0.311043
5	1.25	10	1.30533	13.0533	0.29656	0.337804
6	1.5	12	1.43935	17.2722	0.39241	0.372487
7	1.75	14	1.56047	21.84658	0.49634	0.403831
8	2	16	1.60824	25.73184	0.58461	0.416194
9	2.25	18	1.58875	28.5975	0.64971	0.411150
10	2.5	20	1.51689	30.3378	0.68925	0.392553
11	2.75	22	1.41823	31.20106	0.70887	0.367021
12	3	24	1.3075	31.38	0.71293	0.338366
13	3.25	26	1.17794	30.62644	0.69581	0.304837
14	3.5	28	1.04657	29.30396	0.66576	0.270840
15	3.75	30	0.9099	27.29994	0.62023	0.235497
16	4	32	0.7684	24.5893	0.55865	0.19885

Tabel 3 Hasil Perhitungan Daya Poros, Koefisien, Daya dan Koefisien Torsi Pada $R_{L_{max}} = 325$

No	TSR	ω	Torsi	Pp	Cp	Cq
1	0.25	2	1.142	2.284	0.05189	0.2955365
2	0.5	4	1.16048	4.64192	0.10546	0.3003189
3	0.75	6	1.21825	7.3095	0.16606	0.3152691
4	1	8	1.2725	10.18	0.23128	0.3293084
5	1.25	10	1.34998	13.4998	0.30670	0.3493593
6	1.5	12	1.44613	17.35356	0.394263	0.3742418
7	1.75	14	1.53717	21.52038	0.48893	0.3978019
8	2	16	1.56406	25.02496	0.56855	0.4047607
9	2.25	18	1.544	27.792	0.63141	0.3995694
10	2.5	20	1.47496	29.4992	0.67020	0.3817027
11	2.75	22	1.37758	30.30676	0.68855	0.3565019
12	3	24	1.26417	30.34008	0.68930	0.3271526
13	3.25	26	1.14091	29.663	0.67394	0.2952544
14	3.5	28	1.0017	28.04821	0.63723	0.2592341
15	3.75	30	0.86026	25.8078	0.58633	0.2226254
16	4	32	0.7199	23.03977	0.52345	0.1863259

Tabel 4 Hasil Perhitungan Daya Poros, Koefisien, Daya dan Koefisien Torsi Pada $R_{L_{max}} = 412$

No	TSR	ω	Torsi	Pp	Cp	Cq
1	0.25	2	1.17044	2.34088	0.05318	0.302896
2	0.5	4	1.22927	4.91708	0.11171	0.318120
3	0.75	6	1.30845	7.8507	0.17836	0.338611
4	1	8	1.3729	10.9832	0.24953	0.355290
5	1.25	10	1.43444	14.3444	0.32589	0.371216
6	1.5	12	1.54188	18.50256	0.42036	0.399020

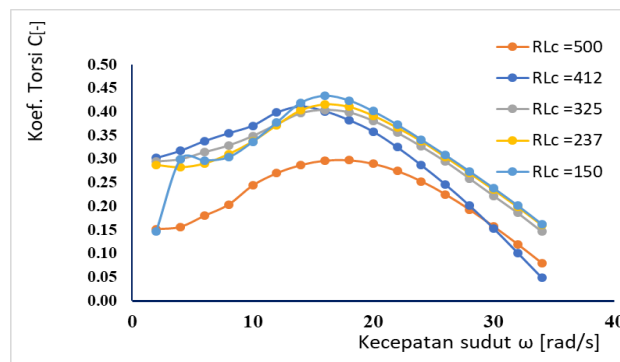
7	1.75	14	1.59145	22.2803	0.50619	0.411849
8	2	16	1.55247	24.83952	0.56433	0.401761
9	2.25	18	1.48087	26.65566	0.60560	0.383232
10	2.5	20	1.38619	27.7238	0.629869	0.358730
11	2.75	22	1.25838	27.68436	0.62897	0.325654
12	3	24	1.11108	26.66592	0.60583	0.287534
13	3.25	26	0.9527	24.7723	0.56281	0.246568
14	3.5	28	0.7804	21.8533	0.49649	0.201978
15	3.75	30	0.5941	17.8239	0.40493	0.153749
16	4	32	0.3931	12.5815	0.28584	0.101748

Tabel 5 Hasil Perhitungan Daya Poros, Koefisien, Daya dan Koefisien Torsi Pada $R_{Lcmax} = 500$

No	TSR	ω	Torsi	Pp	Cp	Cq
1	0.25	2	1.17044	2.34088	0.04298	0.302896
2	0.5	4	1.22927	4.91708	0.10151	0.318120
3	0.75	6	1.30845	7.8507	0.16816	0.338611
4	1	8	1.3729	10.9832	0.23933	0.355290
5	1.25	10	1.43444	14.3444	0.31569	0.371216
6	1.5	12	1.54188	18.50256	0.41016	0.399020
7	1.75	14	1.59145	22.2803	0.49599	0.411849
8	2	16	1.55247	24.83952	0.56413	0.401761
9	2.25	18	1.48087	26.65566	0.61540	0.383232
10	2.5	20	1.38619	27.7238	0.6596	0.358730
11	2.75	22	1.25838	27.6843	0.6787	0.325654
12	3	24	1.11108	26.6659	0.67563	0.287534
13	3.25	26	0.95278	24.7723	0.65761	0.246568
14	3.5	28	0.78047	21.8533	0.61629	0.201978
15	3.75	30	0.59411	17.823	0.55473	0.153749
16	4	32	0.3931	12.5815	0.47464	0.101748

A. Pembahasan hubungan koefisien torsi dan koefisien daya pada berbagai R_{Lcmax}

Besaran mekanik yang akan menghubungkan angin turbin dengan generator adalah torsi dan kecepatan putaran pada poros, dimana torsi tergantung pada kecepatan putaran ω (Benatiallah et al., 2017). Hasil yang diperoleh menunjukkan hubungan torsi yang diinduksi oleh blade turbin terhadap kecepatan rotasi yang berhubungan dengan tip speed ratio λ dan kecepatan angin Torsi yang dibangkitkan blade pada poros turbin dengan kecepatan rotasi ω . Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai koefisien torsi sangat ditentukan oleh kecepatan angin dan kecepatan rotasi.



Gambar 6 Hubungan Koefisien Torsi Pada Berbagai R_{Lc}

Pada gambar 6 terlihat bahwa kurva koefisien torsi C_q mengalami perubahan pada setiap ukuran R_{lcmax} .

Pada turbin model 1 ($R_{lcmax1} = 150$ mm), untuk pada kecepatan sudut $\omega = 2 - 32$ rad/s, nilai koefisien daya turbin $C_q = 0.184 - 0.34$ dengan nilai maksimum = 0.34 ditemukan pada nilai kecepatan sudut $\omega = 24$ rad/s atau sesuai dengan nilai *tip speed ratio* $TSR = 3$.

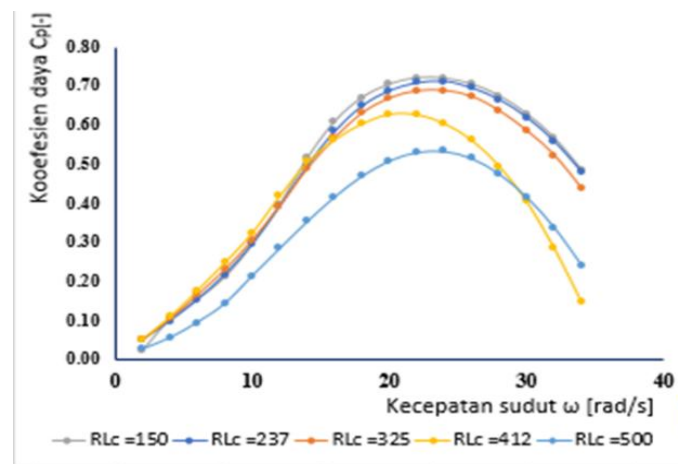
Pada turbin model 2 ($R_{lcmax2} = 237$ mm), untuk pada kecepatan sudut $\omega = 2 - 32$ rad/s, nilai koefisien daya turbin $C_p = 0.28 - 0.33$ dengan dengan nilai kecepatan maksimum = 0.33 ditemukan pada nilai kecepatan sudut $\omega = 24$ rad/s atau sesuai dengan nilai *tip speed ratio* $TSR = 3$.

Pada turbin model 3 ($R_{lcmax3} = 327$ mm), untuk kecepatan sudut $\omega = 2 - 32$ rad/s, untuk nilai koefisien daya turbin $C_q = 0.29 - 0.32$ dengan kecepatan maksimum = 0.32 ditemukan pada nilai kecepatan sudut $\omega = 24$ rad/s atau sesuai dengan nilai *tip speed ratio* $TSR = 3$.

Pada turbin model 4 ($R_{lcmax4} = 420$ mm), untuk kecepatan sudut $\omega = 2 - 32$ rad/s, untuk nilai koefisien daya turbin $C_q = 0.30 - 0.287$ dengan kecepatan maksimum = 0.287 ditemukan pada nilai kecepatan sudut $\omega = 24$ rad/s atau sesuai dengan nilai *tip speed ratio* $TSR = 3$.

Pada turbin model 5 ($R_{lcmax5} = 500$ mm), untuk kecepatan sudut $\omega = 2 - 32$ rad/s, untuk nilai koefisien daya turbin $C_p = 0.151 - 0.253$ dengan nilai kecepatan maksimum = 0.53 ditemukan pada nilai kecepatan sudut $\omega = 24$ rad/s atau sesuai dengan nilai *tip speed ratio* $TSR = 3$.

Sama dengan hasil yang peroleh untuk koefisien torsi, pada Gambar 7 ditunjukkan bahwa nilai koefisien daya juga sangat ditentukan oleh kecepatan angin dan kecepatan rotasi.



Gambar 7 Hubungan Koefisien Daya Pada Berbagai R_{Lcmax}

Pada gambar 7 terlihat bahwa kurva koefisien daya C_p mengalami perubahan pada setiap ukuran R_{lcmax}

Pada model 1 ($R_{lcmax1} = R_1 = 150$ mm), untuk kecepatan sudut $\omega = 2 - 32$ rad/s, nilai koefisien daya turbin $C_p = 0.03 - 0.720$ dengan nilai kecepatan maksimum = 0.720 pada nilai kecepatan sudut $\omega = 3$ rad/s atau sesuai dengan nilai *tip speed ratio* $TSR = 3$.

Pada turbin model 2 ($R_{lcmax2} = 237$ mm), untuk pada kecepatan sudut $\omega = 2 - 32$ rad/s, nilai koefisien daya turbin $C_p = 0.05 - 0.712$ dengan nilai kecepatan maksimum = 0.712 ditemukan pada nilai kecepatan sudut $\omega = 24$ rad/s atau sesuai dengan nilai *tip speed ratio* $TSR = 3$.

Pada turbin model 3 ($R_{lcmax3} = 327$ mm), untuk kecepatan sudut $\omega = 2 - 32$ rad/s, untuk nilai koefisien daya turbin $C_p = 0.05 - 0.689$ dengan nilai kecepatan maksimum = 0.605 ditemukan pada nilai kecepatan sudut $\omega = 24$ rad/s atau sesuai dengan nilai *tip speed ratio*

TSR =3.

Pada turbin model 4 ($R_{lcmax4} = 420$ mm), untuk kecepatan sudut $\omega = 2 - 32$ rad/s, untuk nilai koefisien daya turbin $C_p = 0.05 - 0.605$ dengan dengan nilai kecepatan maksimum = 0.605 ditemukan pada nilai kecepatan sudut $\omega = 24$ rad/s atau sesuai dengan nilai *tip speed ratio* TSR = 3.

Pada turbin model 5 ($R_{lcmax5} = 500$ mm), untuk kecepatan sudut $\omega = 2 - 32$ rad/s, untuk nilai koefisien daya turbin $C_p = 0.02 - 0.534$ dengan dengan nilai kecepatan maksimum = 0.534 ditemukan pada nilai kecepatan sudut $\omega = 24$ rad/s atau sesuai dengan nilai *tip speed ratio* TSR = 3.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pengaruh perubahan posisi radius panjang chord maksimum maka dapat dibuat kesimpulan semakin dekat posisi radius panjang *chord* maksimum dengan hub dapat menghasilkan performance blade yang lebih baik, dengan hasil optimal yaitu pada radius $R_{Lcmax} = 150$ mm. Dengan nilai efisiensi yang paling tinggi yaitu, TSR = 3 (λ), ω 24 (rad/s), $C_p = 0,720166$, $C_q = 0,3417975$ dengan kecepatan V_0 4 m/s

DAFTAR PUSTAKA

- Achdi, E., Syahbardia, S., & Rusdianto, F. F. (2023). Model Design of Helical Type Vertical Shaft Wind Turbine with Capacity of 5 W. *Mestro: Jurnal Teknik Mesin Dan Elektro*, 5(1), 16–21. <https://doi.org/10.47685/mestro.v5i1.399>
- Adi Sayoga, I. M., Wiratama, I. K., Mara, M., & Catur, A. D. (2014). PENGARUH VARIASI JUMLAH BLADE TERHADAP AERODINAMIK PERFORMAN PADA RANCANGAN KINCIR ANGIN 300 Watt. *Dinamika Teknik Mesin*, 4(2), 103–109. <https://doi.org/10.29303/d.v4i2.59>
- Alfajri, M. I. K., & Wilis, G. R. (2016). Turbin Angin Horizontal Rotor Ganda Sebagai Penggerak Pompa Irigasi Pertanian. *Engineering: Jurnal Bidang Teknik*, 12(1), 24–30. <https://e-journal.upstegal.ac.id/index.php/eng/article/view/584%0Ahttps://e-journal.upstegal.ac.id/index.php/eng/article/download/584/512>
- Aryanto, F., Mara, M., & Nuarsa, M. (2013). Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal. *Dinamika Teknik Mesin*, 3(1), 50–59. <https://doi.org/10.29303/d.v3i1.88>
- Atmadi, S., & Fitroh, A. J. (2012). Simulasi Penggunaan Diffuser Pada Turbin Angin Sumbu Horizontal Untuk Kenaikan Daya. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 9(1), 41–52. <https://doi.org/10.30536/j.jtd.2011.v9.a1625>
- Budhi, P., Rahyono, T., Program, S. P., Teknik, S., Energi, K., Teknik, J., Politeknik, M., Semarang, N., & Sudarto, J. H. (2014). Analisis Kinerja Turbin Angin Sumbu Horizontal Tipe Tsd 500 Pada Beban Konstan. *EKSERGI Jurnal Teknik Energi*, 10(1), 14–18.
- Firdaus, A. A. (2022). Pemantauan Kecepatan Turbin Angin Sumbu Vertikal Secara Real-time Berdasarkan Internet of Things. *ALINIER: Journal of Artificial Intelligence & Applications*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.36040/alinierv3i1.4758>
- Hasan, O. D. S., Hantoro, R., & Nugroho, G. (2013). Tipe Savonius dengan Variasi Jumlah Fin pada Sudu. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(2), 350–355.
- Hernowo, S. (2020). Rancang bangun turbin angin sumbu horizontal sederhana dengan panjang sudu 1 meter sigit hernowo. *Jurnal Voering*, 5(1), 15–21.
- Indriani, A., Manurung, G., Daratha, N., & Hendra, H. (2019). Perancangan Turbin Sumbu Horizontal dan Sumbu Vertikal untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Studi Kasus di Kota Bengkulu). *Jurnal Amplifier: Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro Dan Komputer*, 9(2), 1–6. <https://doi.org/10.33369/jamplifier.v9i2.15376>