

STUDI EKSPERIMENTAL TURBIN DARRIEUS DENGAN SUDU OVERLAP

Kaprawi ^{*(1)}, Fajri Prawira ⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya,
Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

^(*)E-mail Corresponding Author : kaprawi@unsri.ac.id

Abstrak

Saat ini energi listrik merupakan kebutuhan primer manusia. Energi angin merupakan alternatif yang tepat untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi. Turbin angin Darrieus merupakan turbin angin yang tepat karena mampu menyerap daya lebih baik dibandingkan turbin angin lainnya. Namun, turbin ini efektif bekerja pada kecepatan angin yang tinggi. Untuk mengatasi hal tersebut, overlap pada sudu dapat menjadi alternatif. Metode eksperimen digunakan karena lebih dapat dipercaya dibandingkan metode lainnya. Dari hasil pengujian turbin angin Darrieus menggunakan overlap dapat menjadi alternatif karena turbin dapat bekerja pada kecepatan angin yang rendah. Semakin besar torsi suatu putaran, maka daya yang dihasilkan cukup tinggi.

Kata Kunci: Turbin angin Darrieus, Turbin angin overlap Darrieus, Torsi (T), Kecepatan sudut (ω), Kecepatan sudu (u), daya turbin dan angin (W), Tip speed ratio (λ), Koefisien daya (C_p), Koefisien Torsi (C_t).

Abstract

The need for energy is needed at this time. Energy is useful for daily life that can be utilized in human survival. For that we need energy that can be utilized by humans, one of them is wind energy. The Darrieus turbine is a vertical axis wind turbine (VAWT) wind turbine that has high efficiency and is capable of producing large enough torque at high wind speeds and rotations. The working principle of the darrieus turbine utilizes wind that blows the blades where the turbine can rotate with high wind speeds, and does not have good self starting so that assistance is needed at low wind speeds. the purpose of this study is the utilization of overlap on the darrieus blade can rotate low wind speeds and have a good self starting. The darrieus blade study was used only in wind tunnels with a blade thickness of 20 mm, width of 50 mm and blade length of 200 mm. The range of wind speeds used in the wind tunnel ranges from 7 m / s, 9 m / s, 11 m / s. Overlap research conducted with a distance of 4 mm blade.

Keywords: Darrieus solo turbine, Darrieus overlap turbine, Torque (T), Angular velocity (ω), blade speed (u), turbine and wind power (W), tip speed ratio (λ), power coefficient (C_p), torque coefficient (C_t).

1 PENDAHULUAN

Energi telah merupakan kebutuhan primer manusia. Ini menyebabkan banyak kajian tentang pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi. Energi angin disinyalir merupakan alternatif yang tepat untuk menghasilkan energi listrik. Turbin angin merupakan teknologi yang mengkonversi energi angin menjadi energi listrik. Turbin angin jenis Darrieus dengan bentuk Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) merupakan teknologi turbin angin yang banyak digunakan.

Turbin angin jenis Darrieus dengan bentuk VAWT banyak digunakan karena mampu menciptakan torsi yang tinggi pada putaran yang tinggi [2]. Turbin ini dapat berputar dengan kecepatan angin yang tinggi. Namun, turbin ini tidak mempunyai self starting yang baik sehingga dibutuhkan bantuan putaran saat

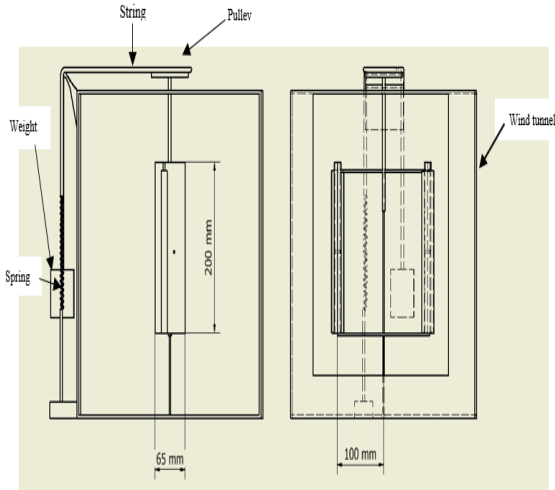
kecepatan angin rendah. Untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan overlap. Overlap digunakan untuk menambah kecepatan rotor. Overlap adalah suatu kondisi dimana bentuk bidang sudu diperbesar dari ukuran sebelumnya, lebih tepatnya pada bagian leading edge. Sehingga diharapkan mampu menambah kecepatan rotor dari sudu turbin.

Penggunaan overlap adalah solusi yang alternatif yang tepat agar turbin Darrieus tetap dapat menyerap energi angin meski kecepatan angin rendah. Studi ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penggunaan overlap pada sudu turbin Darrieus menggunakan metode eksperimen. Metode eksperimen dipilih karena hasilnya lebih dipercaya dibandingkan metode lainnya.

2 STUDI PUSTAKA

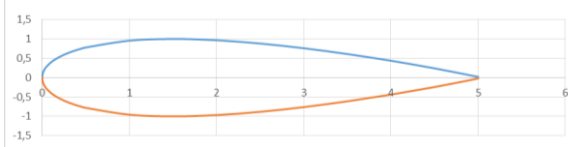
2.1 Pembuatan Turbin Darrieus

Turbin Darrieus mempunyai beberapa komponen seperti lengan turbin, tiang dukungan lengan, dan sudu, [3] Proses pembuatan sudu ini juga ditambahkan plat pada sudu yang disebut *overlap*. Skematik turbin angin Darrieus yang akan dimanufaktur terdapat pada Gambar 1.



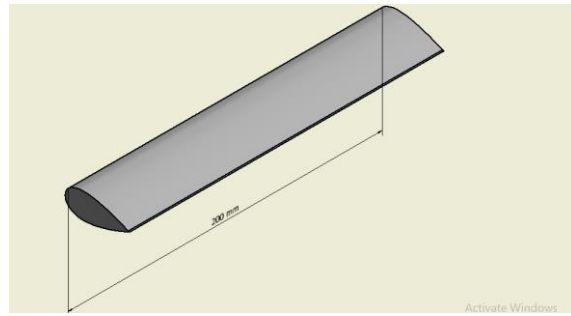
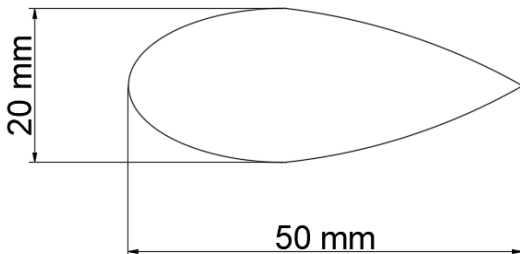
Gambar 1 Dimensi ukuran turbin darrieus

Sudu turbin berbentuk National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) airfoil 0020. NACA airfoil 0020 dipilih karena memiliki bentuk sederhana sehingga ini dapat mempermudah proses manufaktur sudu. Skematik NACA airfoil 0020 dapat dilihat pada Gambar 2.[7]



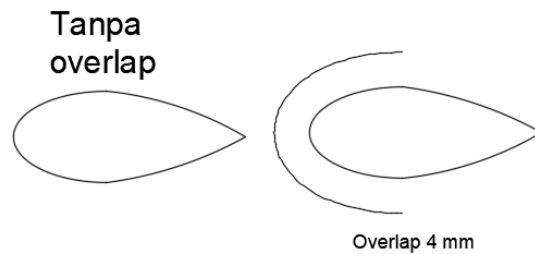
Gambar 2 Desain NACA

Berdasarkan Gambar 2, maka bentuk sudu yang digunakan dalam studi ini dapat dilihat pada Gambar 3

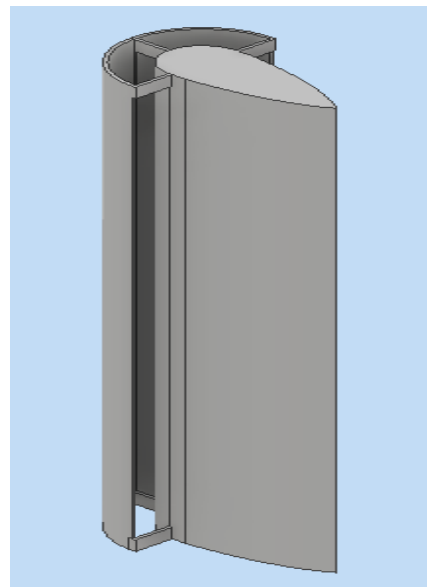


Gambar 3 Skematik dimensi sudu dan tampak isometric ssudu turbin

Setelah dilakukan bentuk sudu pada turbin, maka akan dilanjutkan didalam pengerjaan sudu yang telah di overlap. *Overlap* adalah suatu kondisi dimana dilakukan penambahan plat bagian tepi depan pada bidang sudu airfoil. [8] Penambahan overlap dilakukan pada jarak antara sudu dan plat (lihat Gambar 4).

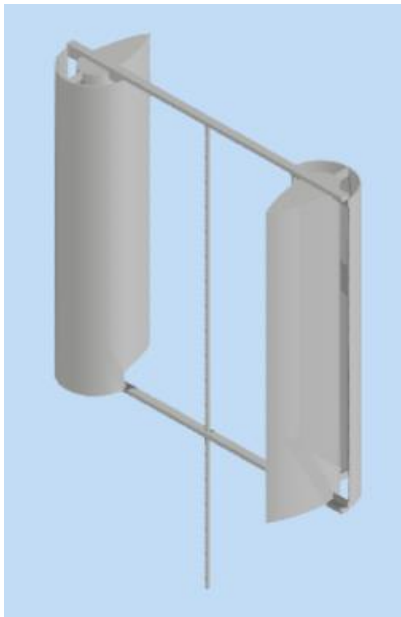


Gambar 4 Skematik sudu Turbin Darrieus dengan penambahan overlap



Gambar 5 Tampak isometry sudu turbin Darrieus dengan penambahan overlap

Gambar 6 merupakan hasil perancangan turbin angin Darrieus dengan penambahan overlap.



Gambar 6 Desain turbin darrieus setelah dipasang

2.2 Prinsip Kerja Turbin Darrieus

Turbin Darrieus bekerja berdasarkan gerak melingkar yang digerakkan oleh angin [6]. Untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh turbin terlebih dahulu torsi (T) dan kecepatan sudut (ω) harus diketahui. Untuk menghitung nilai T menggunakan pers.1 [1]:

$$T = F \times r \quad (1)$$

Dimana F adalah gaya dan r adalah jari-jari turbin. Selanjutnya untuk pers. 2 digunakan untuk mengkonversi kecepatan putaran (n) menjadi kecepatan sudut (ω), yaitu:

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

Setelah ω diketahui, menggunakan pers. 3 maka kecepatan sudut (u) dapat ditentukan:

$$u = \frac{d \times \omega}{2} \quad (3)$$

Pers. 5 merupakan analisis matematik untuk menentukan daya angin [4], yaitu:

$$P = 0,5 \times C_L \times \rho \times A \times v^3 \quad (4)$$

Dimana C_L adalah koefisien lift, ρ adalah massa jenis udara dan A adalah luas penampang dari suatu bidang dan v adalah kecepatan angin yang memukul turbin.

Selanjutnya menentukan daya yang diserap oleh turbin [9], yaitu:

$$P = T \times \omega \quad (5)$$

Diketahui nilai dari kecepatan sudut agar bisa mendapatkan nilai kecepatan dari angin yang di dapatkan dari persamaan *tip speed ratio*. [5] Tip speed ratio ini berguna untuk melakukan perbandingan terhadap koefisien daya dan koefisien torsi. Rumus *tip speed ratio* (λ) adalah :

$$TSR = \frac{\omega \times r}{v_{angin}} \quad (6)$$

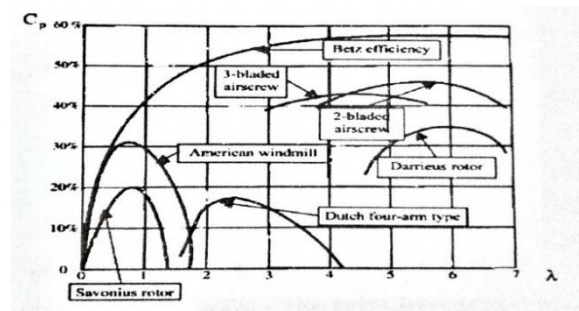
Dimana koefisien daya (C_p) dan koefisien torsi (C_t) adalah :

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (7)$$

P_{out} dari rumus adalah daya turbin sedangkan P_{in} adalah daya angin. Sedangkan rumus koefisien torsi adalah ;

$$C_t = \frac{C_p}{\lambda} = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho \times v^2 \times A \times r} \quad (8)$$

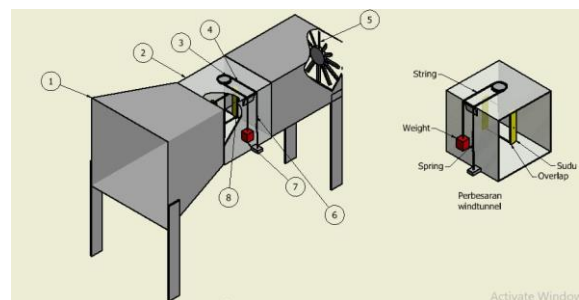
Maka kecepatan angin bisa didapat dari perhitungan diatas, dimana data awal putaran didapat dari tachometer digital dan nilai TSR diambil dari grafik koefisien C_p terhadap λ .



Gambar 7 Grafik koefisien C_p terhadap λ

2.3 Pengujian

Pengujian anemometer dilakukan di laboratorium fenomena dasar mesin di fakultas teknik program studi teknik mesin di Universitas Sriwijaya. Turbin Darrieus akan di tempatkan di dalam *wind tunnel* agar dapat dibandingkan turbin Darrieus dengan tanpa *overlap* dan menggunakan *overlap* 4 mm.



Gambar 8 Setup eksperimens

Keterangan :

1. Sisi masuk
2. Section Test
3. String
4. Pulley
5. Sisi keluar
6. Spring
7. Load
8. Turbin

Pengujian dilakukan dengan tiga variasi kecepatan inlet: 7 m/s, 9 m/s dan 11 m/s. Pengujian ini akan

mendapatkan tiga data, yaitu: gaya, kecepatan putaran turbin dan kecepatan angin. Kecepatan angin diukur menggunakan anemometer digital, gaya diperoleh dari pegas, dan kecepatan putaran turbin dari tachometer.



Gambar 9 Turbin Darrieus pada saat dipasang



Gambar 10 Turbin Darrieus pada saat berputar

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran turbin dengan dan tanpa overlap di tiga variasi kecepatan masuk terdapat pada Tabel 1 - 6.

Tabel 1. Turbin Darrieus dengan kecepatan angin $v = 7,01$ m/s

No	Beban (gr)	Pegas (gr)	Putaran poros turbin (rpm)	Kecepatan Udara, v (m/s)
1	0	0	1783	7,01
2	10,2	20	1585	6,63
3	11,3	50	1563	6,63
4	10,5	80	1524	6,63

5	10,6	100	1481	6,66
6	11,5	120	1472	6,66
7	10,7	140	1461	6,66
8	10,3	160	1396	6,84
9	10,4	160	1325	6,84
10	10,8	180	1280	6,84
11	10,5	200	1216	7,06
12	10,6	220	1160	7,06

Tabel 2. Turbin Darrieus dengan kecepatan angin $v = 9,21$ m/s

No	Beban (gr)	Pegas (gr)	putaran poros turbin (rpm)	Kecepatan Udara, v (m/s)
1	0	0	2400	9,21
2	10,5	20	2385	8,94
3	11,3	40	2297	8,73
4	10,6	60	2272	8,73
5	10,6	90	2242	8,73
6	11,4	100	2195	8,43
7	10,6	120	2175	8,43
8	10,8	140	2148	8,43
9	11,4	160	2128	8,32
10	10,5	180	2105	8,32
11	10,8	200	2056	8,32
12	11,1	220	2039	8,31
13	10,4	240	2032	8,31
14	11,1	260	2005	8,31
15	10,4	280	1984	8,33
16	11	290	1974	8,33
17	11,3	300	1953	8,33
18	11,5	320	1881	8,26
19	10,6	340	1850	8,26
20	10,3	360	1683	8,26
21	10,6	370	1623	8,28
22	11,4	380	1605	8,28
23	10,3	400	1550	8,28
24	10,6	420	1375	8,34
25	11	430	1356	8,34
26	10,1	440	1265	8,34
27	0	300	0	9,04

Tabel 3. Turbin Darrieus dengan kecepatan angin $v = 11,09$ m/s

No	Beban (gr)	Pegas (gr)	putaran poros turbin (rpm)	Kecepatan Udara, v (m/s)
1	0	0	2962	11,09
2	0	0	2921	10,09
3	10,6	20	2900	10,09
4	10,2	60	2894	10,09
5	11	100	2843	10,09
6	11,5	140	2814	9,93
7	10,6	160	2801	9,93
8	11,6	180	2793	9,93
9	10,2	200	2780	9,82
10	10,8	220	2769	9,82
11	10,5	240	2756	9,82
12	10,1	260	2746	9,94
13	11,1	270	2737	9,94
14	10,2	280	2732	9,94
15	10,6	290	2693	9,81
16	11,1	300	2659	9,81
17	11,2	320	2633	9,81
18	11	340	2614	9,89
19	10,5	360	2608	9,89
20	11,6	380	2586	9,89
21	11	400	2537	9,83
22	10,8	420	2521	9,83
23	11,2	440	2502	9,83
24	11,1	460	2484	9,82
25	10,7	470	2436	9,82
26	10,9	480	2359	9,82
27	12,1	500	2251	9,87
28	11,2	510	2241	9,87
29	10,7	530	2220	9,87
30	10,6	540	2208	9,84
31	10,8	560	2194	9,84
32	10,9	580	2165	9,84
33	11,2	590	2006	9,74
34	10,2	600	1949	9,74
35	10,4	620	1934	9,74
36	11,6	640	1908	9,82
37	10,9	660	1900	9,82
38	10,6	680	1867	9,82
39	11,6	700	1846	9,85
40	11,5	710	1837	9,85

Tabel 4. Turbin *overlap* Darrieus dengan kecepatan angin $v = 7,08$ m/s

No	Beban (gr)	Pegas (gr)	putaran poros turbin (rpm)	Kecepatan Udara, v (m/s)
1	0	0	385	7,08
2	5	20	366,9	6,84
3	5,6	40	332,9	6,84
4	5,5	50	317,3	6,84
5	5,3	60	290,2	6,83
6	5,8	70	255,2	6,83
7	5	80	176,5	6,83
8	5,3	80	155,1	6,98
9	5,6	90	152,5	6,98
10	5,4	100	149,6	6,98
11	5,5	100	130,9	6,91
12	5,5	110	126,7	6,91
13	5	120	119,7	6,91
14	5,6	130	104,6	7,07
15	5,4	140	96,9	7,07
16	6,1	150	84,8	7,07
17	5,4	160	70,9	6,83
18	6	170	65,2	6,83
19	5,3	170	60,1	6,83

Tabel 5. Turbin *overlap* Darrieus dengan kecepatan angin $v = 9,02$ m/s

No	Beban (gr)	Pegas (gr)	putaran poros turbin (rpm)	Kecepatan Udara, v (m/s)
1	0	0	362,8	9,02
2	10,4	20	303	8,9
3	10,8	60	270,1	8,9
4	11,2	100	249,4	8,46
5	11,2	120	218	8,46
6	10,8	130	209,3	8,46
7	10,6	140	186,7	8,47
8	11,1	160	171,2	8,47
9	10,6	170	161,2	8,47
10	10,7	190	144,6	8,54
11	10,7	210	123,8	8,54
12	10,1	230	108,3	8,54
13	10,7	240	87,3	8,79
14	11,2	260	74,2	8,79
15	11,1	280	58,2	8,79
16	11,3	300	41,3	8,58

Tabel 6. Turbin *overlap* Darrieus dengan kecepatan angin $v = 11,09$ m/s

No	Beban (gr)	Pegas (gr)	Putaran poros Turbin (rpm)	Kecepatan Udara, v (m/s)
1	0	0	438,3	11,09
2	10,8	20	387,2	10,64
3	11,1	60	372	10,64
4	10,8	80	361,3	10,64
5	11,8	100	352,7	10,63
6	11,2	120	345,5	10,63
7	11,2	140	326,7	10,63
8	10,6	160	308,9	10,63
9	11,2	180	286,6	10,7
10	10,3	200	266,6	10,7
11	10,9	220	245,3	10,7
12	10,3	240	229,4	10,61
13	11	250	219,2	10,61
14	10,6	260	216,5	10,61
15	11,8	270	195,6	10,74
16	11,2	290	184,8	10,74
17	10,6	300	164,7	10,74
18	11,3	320	157,5	10,86
19	10,4	340	148,3	10,86
20	11,5	350	135	10,86
21	10,8	370	132,5	10,76
22	10,3	380	127,8	10,76
23	10,7	400	123,5	10,76
24	11,3	420	119,6	10,68
25	10,2	430	104,8	10,68
26	10,2	440	90	10,68
27	10,7	460	80,44	10,82
28	11,2	480	60,31	10,82
29	11	490	30,4	10,82
30	10,5	500	28	10,82
31	10,7	440	0	11,09

Contoh analisis perhitungan dijabarkan di bawah ini, salah satu sampel yang dilakukan analisis adalah sampel di Tabel 1 no 4, sebagai berikut:

Gaya (F)

Mencari gaya dengan cara mengubah massa yang ada dari satuan gram menjadi kg dikalikan dengan gravitasi dengan satuan newton (N).

$$F = m \times g$$

Untuk gaya akibat beban (kelereng) atau F_1 dihitung

$$F_1 = 10,5 \text{ gram} = \frac{10,5}{1000} \text{ kg} \times 9,81 = 0,214 \text{ N}$$

Untuk gaya akibat beban (pegas) atau F_2 dihitung:

$$F_2 = 80 \text{ gram} = \frac{80}{1000} \text{ kg} \times 9,81 = 0,785 \text{ N}$$

Torsi (T)

Setelah didapatkan gaya yang ada maka akan dilanjutkan dengan mengambil torsi. Cara mendapatkan nilai torsi yaitu gaya yang ada dikalikan dengan jari – jari turbin dengan satuan newton meter (Nm). Dalam persamaan rumus. [1]

$$T = F \times r$$

$$T = (F_2 - F_1) \times 0,04 = 0,0069 \text{ Nm}$$

Kecepatan sudut (ω)

Untuk mendapatkan kecepatan sudut adalah dengan cara sudut tempuh dibagi dengan waktu tempuh dengan satuan radian per sekon (rad/s). Persamaan rumus.

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \times 3,14 \times 1524}{60} = 159,51 \text{ rad/s}$$

Kecepatan sudu (u)

Dalam mendapatkan data kecepatan sudu ini berkaitan dengan kecepatan sudut dikalikan dengan diameter dibagi dua sesuai persamaan rumus seperti.

$$u = \frac{d \times \omega}{2}$$

$$u = \frac{0,18 \times 159,51}{2} = 14,36 \text{ m/s}$$

Diameter turbin = 0,18 m

Daya angin (P_{angin})

Untuk mendapatkan daya adalah usaha dibagi dengan waktu dengan satuan joule per sekon (joule/s) atau watt (W). Untuk lebih jelas bisa dilihat langkah persamaan dari persamaan rumus sebagai berikut :

Rumus daya adalah :

$$P = \frac{w}{t}$$

Karena udara mempunyai massa, maka energi yang ditimbulkannya dapat dihitung berdasarkan energi kinetik yang dirumuskan sebagai berikut:

$$P = 0,5 \times \rho \times A \times v^3$$

$$P = \frac{1}{2} \times 1,1684 \times 0,036 \times 6,63^3 = 6,129 \text{ W}$$

Luas penampang = panjang (L) x tebal (b) = 0,2 x 0,18 = 0,036 m²

Massa jenis udara = 1,1684 kg/m³ (tabel densitas udara)

Daya turbin (P_{turbin})

Dalam mendapatkan daya turbin maka diperlukan penjabaran rumus daya bisa dilihat pada persamaan berikut.

persamaan daya turbin ialah.

$$P = T \times \omega$$

$$P = 0,0069 \text{ Nm} \times 159,51 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 1,093 \text{ W}$$

Tip speed ratio (λ)

Untuk mendapatkan tip speed ratio maka di perlukan rumus sesuai dengan persamaan rumus.

$$\lambda = \frac{\omega \times r}{v_{\text{udara}}}$$

$$\lambda = \frac{u}{v_{\text{udara}}}$$

$$\lambda = \frac{14,36 \text{ m/s}}{6,63 \text{ m/s}} = 2,165$$

Koefisien daya (Cp) dan Koefisien torsi (Ct)

Pada koefisien daya turbin yaitu daya yang keluar dibagi dengan daya yang masuk, ini bisa dilihat pada rumus.

$$Cp = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

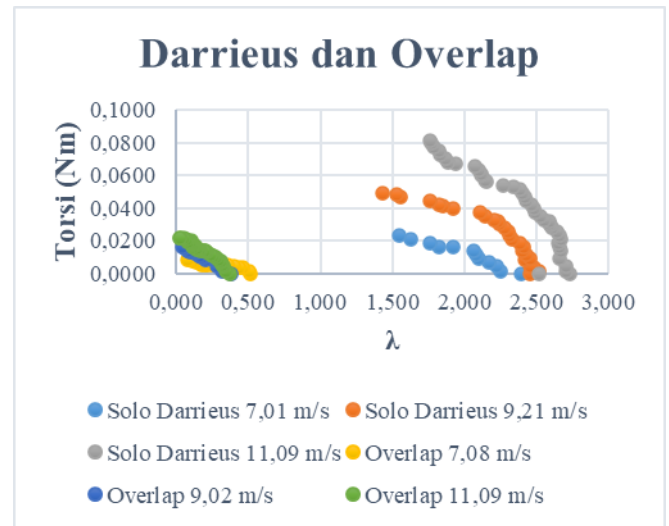
$$Cp = \frac{1,093 \text{ W}}{6,129 \text{ W}} = 0,178$$

Pada koefisien torsi yaitu koefisien daya dibagi dengan tip speed ratio

$$Ct = \frac{Cp}{\lambda}$$

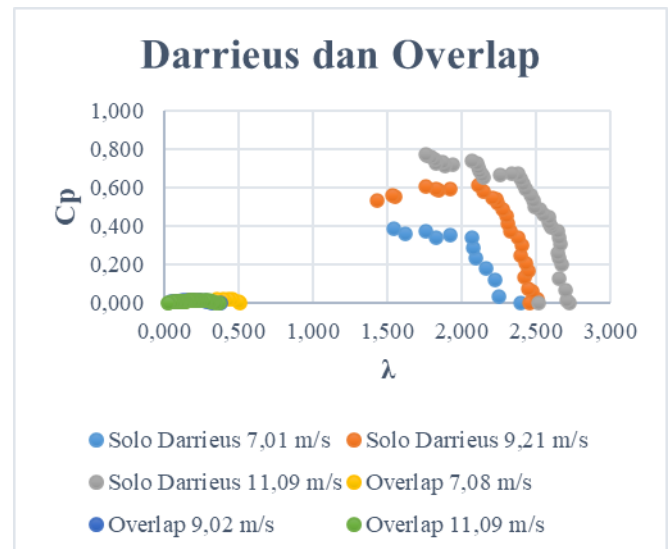
$$Ct = \frac{0,178}{2,165} = 0,082$$

Ini adalah contoh sampel data yang di analisa. Hasil perhitungan untuk data lain nya sama dengan data diatas dan dapat dilihat dari hasil perhitungan,



Gambar 11 Hubungan grafik turbin Darrieus dengan overlap pada torsi (Nm) terhadap tip speed ratio (λ)

Pada grafik diatas, terdapat jelas perbedaan pada Darrieus dan *overlap* pada torsi (Nm) terhadap tip speed ratio, pada Darrieus dengan kecepatan 7,01 m/s dibandingkan dengan *overlap* dengan kecepatan 7,08 m/s jelas terdapat perbedaan torsi pada masing – masing turbin tersebut, begitu juga sebaliknya pada turbin Darrieus dan *overlap* pada kecepatan 9 dan 11 m/s pada masing – masing turbin. Nilai torsi paling tinggi terdapat pada kecepatan angin 11 m/s pada turbin Darrieus pada tip speed ratio.



Gambar 12 Hubungan grafik turbin Darrieus dengan *overlap* pada koefisien daya (Cp) dengan tip speed ratio (λ)

Pada grafik diatas, terdapat jelas perbedaan pada Darrieus dan *overlap* pada Cp terhadap λ , turbin Darrieus dengan kecepatan 7,01 m/s dibandingkan dengan *overlap* dengan kecepatan 7,08 m/s jelas terdapat perbedaan torsi pada masing – masing turbin tersebut, begitu juga sebaliknya pada turbin Darrieus dan *overlap* pada kecepatan 9 dan 11 m/s pada masing – masing turbin. Nilai koefisien daya paling tinggi

terdapat pada kecepatan angin 11 m/s pada turbin Darrieus pada *tip speed ratio*. Untuk *overlap* pada kecepatan 9,02 m/s dan 7,08 m/s, masing – masing bentuk grafik mendekati nilai koefisien daya yang sama.

4 KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian turbin darrieus ini ialah :

1. Bahwa dari grafik data diatas yang didapat dari analisa, bisa disimpulkan bahwa turbin angin Darrieus *overlap* lebih dapat menghasilkan daya lebih cepat dibandingkan dengan turbin angin Darrieus.
2. Dari hasil perbandingan grafik, daya yang dihasilkan oleh turbin Darrieus lebih besar dibandingkan turbin *overlap* tetapi lebih membutuhkan waktu yang lama agar mendapatkan daya yang besar dan terpaan angin yang cukup besar.
3. Turbin *overlap* Darrieus membutuhkan rpm yang kecil agar dapat berputar, ini berbanding terbalik dengan turbin Darrieus yang membutuhkan rpm yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agus Febrianto, Agoes Santoso. 2016. Analisa Perbandingan Torsi dan RPM Turbin Tipe Darrieus Terhadap Efisiensi Turbin. Jurnal Teknik ITS Vol. 5 No. 2. Surabaya.
- [2] Dananta Putra Teja. 2017. Studi Numerik Turbin Angin Darrieus – Savonius dengan Penambahan Stage Rotor Darrieus. Surabaya.
- [3] Frank M, White . 1986. Fluid Mechanics McGraw Hill Book Company, New York
- [4] John whilley & Sons, Ltd. 2001. Wind Energy Handbook. Jin XingDistripark, Singapore 129809
- [5] M. Lecther Trevor. 2017. Wind Energy Engginerring A Handbook For Onshore And Offshore Wind Turbine. Joe Hayton. Chennai, India.
- [6] Manwell, J.F., Mc Gowan, J.G. and Rogers, A. L. 2002. Wind Energy Explained (theory ,design and application). John Willey & Sons, Ltd, USA.
- [7] Munson, Bruce R., Donald F. Young, Theodore H. Okiishi. 2002. Fundamentals of Fluid Mechanics. 4th Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Peter J. Schubel and Richard J. Crossley. 2012. Wind Turbine Blade Design. UK
- [9] Philip J. Pritchard. 2010. Fox and McDonald’s Introduction to Fluid Mechanics. John Willey & Sons, Ltd, USA.