



Jurnal Artikel

Perancangan Bilah Inverse Taper Pada Turbin Angin Sumbu Horizontal Skala Kecil

Tegar Imaniar Kusnanto¹, Oktarina Heriyani^{2*}, Dan Mugisidi³, Yos Nofendri⁴

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka, Jl Tanah Merdeka, No.6, Ciracas, Jakarta Timur, 13830

*Email: oktarina@uhamka.ac.id

Artikel Info - : Received : 26 Feb 2023; Revised : 15 March 2023; Accepted: 20 March 2023

Abstrak

Background: Energi baru terbarukan merupakan energi yang dapat diperbarui dan tidak berpolusi. Salah satu energi baru terbarukan yaitu angin, Indonesia sendiri mempunyai kecepatan angin rata – rata berkisar 3 – 6 m/s. Turbin angin merupakan alat yang digunakan untuk mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik, turbin angin skala kecil merupakan turbin angin yang memiliki daya output maksimalnya tidak lebih dari 500 watt. Terdapat beberapa komponen pada turbin angin seperti generator, fin, controller, data logger, baterai dan bilah. Salah satu komponen penting pada turbin angin ialah bilah dikarenakan bilah merupakan komponen yang langsung berhadapan dengan angin. Bilah yang dirancang adalah bilah jenis inverse taper yang memiliki bentuk melebar ke ujung dengan mengaplikasikan bentuk penampang airfoil naca 6412. Pengujian kinerja bilah dilakukan selama 3 hari dengan perolehan data kecepatan angin tertinggi sebesar 8.12 m/s pada pukul 13:00 siang hari dan daya listrik tertinggi yang diperoleh sebesar 136.53 watt pada pukul 13:00 siang hari.

Kata kunci: Turbin Angin, Bilah, Daya Listrik, Kecepatan Angin

Abstract

Background: Renewable energy is renewable and non-polluting energy. One of the new renewable energies is wind, Indonesia itself has an average wind speed of around 3-6 m/s. Wind turbines are tools used to convert wind energy into electrical energy, small-scale wind turbines are wind turbines that have a maximum output power of no more than 500 watts. There are several components in a wind turbine such as generators, fins, controllers, data loggers, batteries and blades. One of the important components in a wind turbine is the blade because the blade is the component that is directly facing the wind. If what is designed is an inverse taper type blade which has a widening shape towards the end by applying the cross sectional shape of the NACA 6412 airfoil. The performance test of the blade is carried out for 3 days with the highest wind speed data acquisition of 8.12 m/s at 13:00 noon and electric power the highest obtained was 136.53 watts at 13:00 noon.

Keywords: Wind Turbine, Blades, Electrical Power, Wind Speed



© 2020 by authors. Lisensi Jurnal Metal : Manufaktur, Energi, Material Teknik, Uhamka, Jakarta. Artikel ini bersifat open access yang didistribusikan di bawah syarat dan ketentuan Creative Commons Attribution ([CC-BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)) license.

Pendahuluan

Energi baru terbarukan ialah energi yang dapat diperbarui dan tidak meninggalkan polusi yang berpengaruh pada perubahan iklim dan pemanasan global dikarenakan sumber energi yang diperoleh berasal dari proses alam yang berkelanjutan sehingga tidak merusak lingkungan disekitarnya, energi yang tergolong energi baru terbarukan yaitu angin, air,

sinar matahari. Hal ini membuktikan bahwa energi sudah tersedia di lingkungan sekitar dan tidak memiliki efek terhadap pencemaran lingkungan[1]. Salah satunya energi angin, Indonesia sendiri mempunyai kecepatan angin rata – rata antara 3 sampai 6 m/s[2] yang termasuk very low wind speed (kecepatan angin rendah)[3].

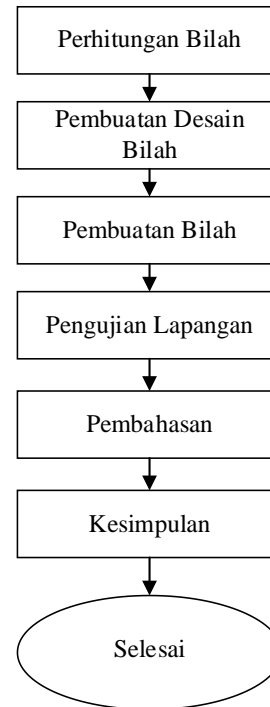
Turbin angin merupakan alat yang digunakan untuk mengkonversikan energi angin menjadi energi

listrik. Turbin angin skala kecil adalah turbin angin yang memiliki daya output maksimalnya tidak lebih dari 500 watt[4]. Turbin angin memiliki beberapa komponen seperti generator, fin, controller, data logger, baterai dan bilah. Bilah adalah komponen penting pada sistem turbin angin dimana salah satu komponen yang langsung berhadapan dengan angin sebelum dirubah menjadi energi mekanik yang pada nantinya akan menghasilkan listrik[5].

Pada dasarnya bilah memiliki tiga jenis yaitu taper, taperless dan inverse taper yang dapat dibedakan dari bentuk bilah itu sendiri. Dimana bilah taper memiliki bentuk mengecil ke ujung, taperless memiliki bentuk sama rata dari pangkal hingga ujung dan inverse taper memiliki bentuk membesar ke ujung[6].

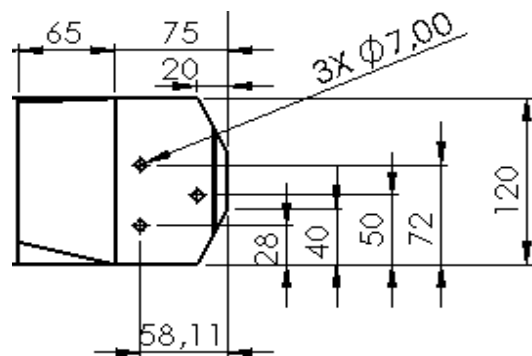
Kebanyakan turbin angin pada dasarnya menggunakan jenis bilah taper yang memiliki dimensi mengecil ke ujung, namun menurut[5] bilah inverse taper sendiri memiliki kelebihan yang baik digunakan pada kecepatan angin rendah, maka dari itu pada penelitian ini mencoba untuk melakukan perancangan bilah jenis inverse taper dengan menggunakan airfoil NACA 6412 yang rasio Cl/Cd sebesar 147.06, dengan harapan mendapatkan bilah yang memiliki kinerja yang dapat menghasilkan listrik pada kondisi angin diindonesia.

Metode

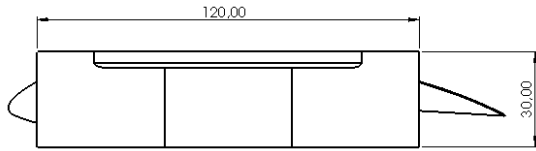


Dalam perancangan bilah inverse taper yang memiliki ukuran panjang 0.800 m dan lebar pada bagian pangkal 0.120 m dengan melebar ke ujung sebesar 0,156 m memerlukan software solidworks 2018 untuk mendesain bilah ini sesuai dengan ukuran yang sudah ditentukan, sehingga hasil dari pendesainan bilah dapat digunakan sebagai panduan ukuran dalam proses pembuatan bilah inverse taper.

Dalam melakukan pendesainan bilah dibantu dengan software solidworks, dimana berfungsi sebagai memvisualkan bentuk bilah yang sudah dirancang sebelum masuk ketahap pembuatan, berikut ini terdapat bagian – bagian dari bilah, sebagai berikut:

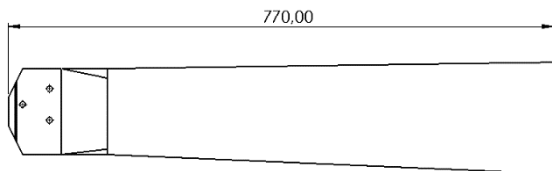


Gambar 2. Tampak Atas Pangkal Bilah



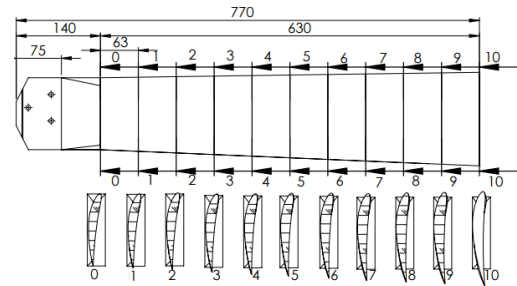
Gambar 3. Tampak Belakang Bilah

Dari Gambar 2. Dan Gambar 3. dapat dilihat bentuk dari pangkal bilah yang memiliki ukuran panjang 140 mm, lebar 120 mm dan tebal 30 mm, memiliki tiga diameter sebesar 7 mm yang diperuntukan untuk lokasi baut yang akan mengikat pangkal bilah dan turbin angin (titik center dua lingkaran sejajar berada di 58.11 mm dari bagian paling belakang pada pangkal dan 28 mm untuk lingkaran pertama, 72 mm untuk lingkaran kedua terhitung dari sisi tepi kiri pangkal dan untuk lingkaran di bawah kedua lingkaran sejajar memiliki titik center di 40mm dari bagian paling belakang pada pangkal dan 50 mm dari sisi tepi kiri pangkal). Dari sisi kanan dan kiri pangkal bilah juga berbentuk segitiga dengan ukuran 20 x 40 mm yang bertujuan agar pada saat pemasangan ketiga bilah tidak saling bertabrakan antara pangkalnya.



Gambar 4. Tampak Atas Bilah

Pada Gambar 4. Menunjukkan diameter bilah yang telah didesain adalah 800 mm, namun karena diameter total bilah dihitung dari titik tungan rotor hingga ujung bilah maka ada pengurangan 30mm yang disebabkan terdapat jarak dari titik tungan rotor hingga ke bagian bilah di pasang kan maka dari itu bilah dalam perancangan menjadi 770 mm dari terhitung dari pangkal hingga ujung bilah, dan bagian yang diimplementasikan bentuk dari airfoil hanya 630 mm karena bagian itulah yang akan terkena hembusan angin.



Gambar 5. Bilah dibagi menjadi beberapa elemen

Pada Gambar 5. dapat dilihat desain dari satu bilah yang dipecah menjadi beberapa elemen tujuan dari pemecahan menjadi beberapa elemen adalah diperuntukan mempermudah dalam proses pembuatan bilah, dari hasil pemecahan bilah menjadi per elemen itu lah yang akan dijadikan mal airfoil.

Berisi bagaimana data dikumpulkan, sumber data dan cara analisis data, disertai alur penelitian yang dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan perancangan yang meliputi bentuk dan diameter yang akan digunakan pada bilah dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

Pada perancangan bilah inverse taper, terdapat perhitungan untuk menentukan dimensi/ukuran. Berikut ini perhitungan yang dibutuhkan diantaranya sebagai berikut:

Dalam menentukan jari - jari bilah meliputi efisiensi sistem, daya angin dan luas sapuan area sehingga didapatkan jari – jari bilah yang dibutuhkan.

Hasil perhitungan efisiensi sistem, dalam perhitungan efisien bilah diberi rentang minimal sebesar 0.2% dan maksimal sebesar 0.4% [4], dimana menurut [7] nilai tersebut berdasarkan nilai efisiensi yang cukup baik untuk bilah yang dirancang, nilai efisiensi generator sebesar 0.9% dikarenakan terjadi kerugian sebesar 0.1% yang disebabkan oleh gesekan pada shaft generator dan controler sebesar 0.9%[8].

Tabel 1. Efisiensi Sistem

Daya (P Watt)	Efisiensi (%)
------------------	---------------

	bilah	generator	controler	sistem
500	0.2	0.9	0.9	0.162
	0.4			0.324

Hasil dari perhitungan dapat dilihat pada tabel 4-1, pada efisiensi sistem batas bawah mendapatkan nilai sebesar 0.162 % dan batas atas mendapatkan nilai sebesar 0.324% sehingga dapat dikatakan memiliki nilai efisiensi yang cukup baik. Menurut penelitian yang dilakukan oleh [9] turbin angin skala kecil mempunyai efisiensi pada rentang 30% hingga 45%.

Hasil perhitungan daya angin dapat menggunakan persamaan(2), spesifikasi generator di PT. Lentera Bumi Nusantara dapat menghasilkan 500 watt/peak pada kecepatan angin 12 m/s.

Dari hasil perhitungan daya angin dapat diketahui bahwa untuk mencapai efisiensi sistem batas bawah sebesar 0.243% membutuhkan daya angin sebesar 3086.4 watt untuk mencukupinya dan untuk memenuhi efisiensi batas atas sebesar 0.324% membutuhkan daya angin sebesar 1543.2 watt untuk mencukupinya.

Dari hasil perhitungan luas sapuan area diketahui pada batas bawah bilah memiliki luas dapuan area sebesar dan pada batas atas bilah memiliki luas sapuan area sebesar .

Menurut hasil perhitungan jari – jari bilah jari – jari yang digunakan dalam perancangan bilah didapat dari nilai rata – rata dari kedua hasil perhitungan jari – jari batas bawah dan batas atas. Maka dari itu jari yang digunakan pada perancangan bilah adalah 0.8 m yang didapatkan dari rata – rata jari – jari batas bawah sebesar 0.96 m dan batas atas 0.68 m. dapat dilihat pada tabel 4-2.

Tabel 2. Jari-jari perancangan

Daya angin (Watt)	massa jenis udara (kg/m^3)	Luas sapuan area (m^2)	Jari-jari Perancangan
3086.4	1.225	2.92	0.80
1543.2		1.46	

Dalam menentukan jari – jari parsial, terlebih dahulu panjang dari jari-jari perancangan dibagi menjadi 11 elemen yang per elemennya diberikan penomoran 0 sampai 10 hal ini bertujuan untuk mempermudah dalam proses manufaktur. Dimensi/ukuran bagian pangkal bilah mengikuti dengan generator TSD – 500 dimana memiliki spesifikasi lebar 0.12 meter dan panjang keseluruhannya 0.17 meter. Namun panjang pangkal pada perancangan bilah yang akan dibuat ialah 0.14 meter dikarenakan terdapat jarak dari titik tengah rotor dengan bagian luar pangkal memiliki jarak sebesar 0.03 meter. Perhitungan jari-jari parsial dapat dilihat pada persamaan (6), hasil dari perhitungan jari-jari parsial bilah dapat dilihat pada tabel 4-3.

$$r = n_p + \left[\left(\frac{R - n_p}{B_n} \right) n \right] \tag{5}$$

$$r = 0.170 + \left[\left(\frac{0.800 - 0.170}{10} \right) 1 \right]$$

$$r = 0.233 \text{ m}$$

Keterangan:

- r : Jari – jari parsial (m)
- n_p : Elemen pangkal
- R : Jari – jari bilah (m)
- B_n : Jumlah elemen
- n : Per elemen bilah

Berdasarkan penelitian oleh[10], turbin angin horizontal dengan jumlah bilah 3 buah, memiliki nilai tip speed ratio berkisar 6 sampai 8. Maka dari itu, pada perancangan bilah ini menggunakan tip speed ratio dengan nilai 7 dikarenakan bilah yang dirancang akan diperuntukan turbin angin horizontal dengan 3 buah bilah.

Pada setiap elemen bilah mempunyai Tip Speed Ratio yang berbeda di setiap elemennya yang disebut dengan TSR parsial. Untuk mencari nilai TSR parsial dapat menggunakan persamaan (7) dengan hasil perhitungan dapat terlihat pada table 4-3 tip speed ratio.

Tabel 3. jari-jari dan TSR parsial

elemen	jari - jari parsial	TSR Parsial
0	0.170	1.49
1	0.233	2.04
2	0.296	2.59
3	0.359	3.14
4	0.422	3.69

5	0.485	4.24
6	0.548	4.80
7	0.611	5.35
8	0.674	5.90
9	0.737	6.45
10	0.800	7.00

Berdasarkan dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa pada ujung bilah (elemen 10) memiliki tip speed ratio dengan nilai 7, dimana nilai tersebut sesuai dengan perancangan bilah yang menggunakan tip speed ratio 7.

Dalam menentukan sudut alir angin dapat menggunakan persamaan(8), sudut alir angin merupakan dasar untuk menentukan sudut puntir (Twist) yang ada pada bilah yang akan dirancang, untuk menentukan sudut puntir dapat menggunakan persamaan(9). Hasil perhitungan flow angel dan twist disajikan pada tabel 4-4.

Elemen	flowangel	Twist	Twist Linier
0	22.6	16.61	5.54
1	17.4	11.42	4.90
2	14.1	8.07	4.26
3	11.8	5.77	3.62
4	10.1	4.10	2.98
5	8.8	2.84	2.34
6	7.9	1.85	1.70
7	7.1	1.06	1.06
8	6.4	0.42	0.42
9	5.9	-0.12	-0.22
10	5.4	-0.58	-0.86

Twist yang digunakan pada perancangan bilah ini ialah twist yang sudah di linierisasi, tujuan dari linierisasi twist ialah agar mempermudah dalam proses pembuatannya dikarenakan dalam proses pembuatan bilah masih menggunakan sitem manual.



Gambar 4-1 Bilah dengan twist non linier



Gambar 4-2 bilah dengan twist linier

Dapat dilihat pada gambar 4-1 bilah dengan twist non linier memiliki sudut puntir (twist) yang begitu besar sehingga menyulitkan dalam proses pembuatan bilah, maka dari itu untuk mempermudah proses

pembuatan bilah diterapkan linierisasi sudut puntir untuk mempermudah dalam proses pembuatan bilah. Dapat dilihat bentuk bilah yang sudah dilakukan linierisasi pada gambar 4-2.

Dalam menentukan nilai chord bilah jenis inverse taper ini dengan cara mengasumsikan terlebih dahulu nilai pada chord pada bagian pangkal (elemen 0) dan chord pada bagian ujung bilah (elemen 10), pada perancangan ini nilai pada bagian pangkal sebesar 0.12 meter mengikuti dengan spesifikasi Generator TSD – 500 dan nilai pada bagian ujung sebesar 0.156 meter. Untuk nilai chord pada elemen 1 sampai dengan 9 dapat menggunakan persamaan(10). Pada Tabel 4-5 dapat dilihat hasil dari perhitungan nilai chord.

Tabel 4-5 dapat dilihat hasil dari perhitungan nilai chord

Elemen	Chord
0	0.120
1	0.124
2	0.127
3	0.131
4	0.134
5	0.138
6	0.142
7	0.145
8	0.149
9	0.152
10	0.156

Dari hasil perhitungan dapat diketahui nilai chord pada elemen 0 sebesar 0.120 m, elemen 1 0.124 m, elemen 2 0.127 m, elemen 3 0.131 m elemen 4 0.134 m, elemen 5 0.138 m, elemen 6 0.142 m , elemen 7 0.145 m, elemen 8 0.149 m, elemen 9 0.152 m dan elemen 10 0.156 m. dari hasil tersebut dapat dilihat nilai chord pada setiap elemen yang semakin membesar dari elemen 0 hingga 10 sesuai dengan jenis bilah inverse taper itu sendiri yang melebar ke ujung.



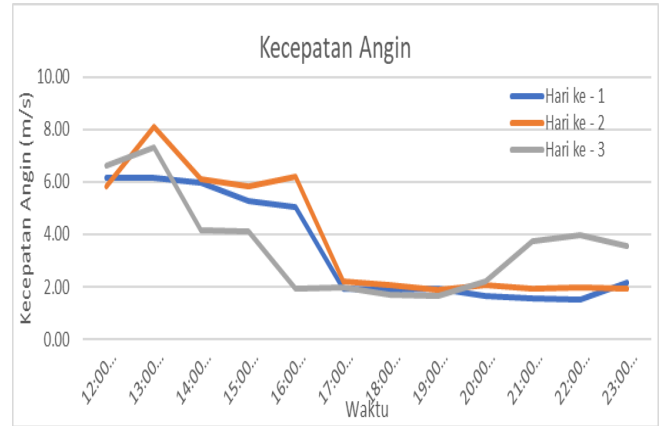
Gambar 6. merupakan hasil dari perancangan bilah inverse taper, dimana proses pembuatannya dilakukan secara manual dengan bantuan peralatan sederhana. Material yang digunakan dalam pembuatan bilah turbin angin adalah kayu mahoni.

Gambar 6. Hasil perancangan bilah inverse taper
Setelah perancangan dan pembuatan bilah telah dilakukan, tahap selanjutnya ialah pengujian kinerja bilah yang langsung diimplementasikan pada turbin angin. Pengujian bilah dilakukan selama 3 hari, pengambilan data pengujian dimulai pada pukul 12:00 siang hingga 00:00 tengah malam tiap harinya.



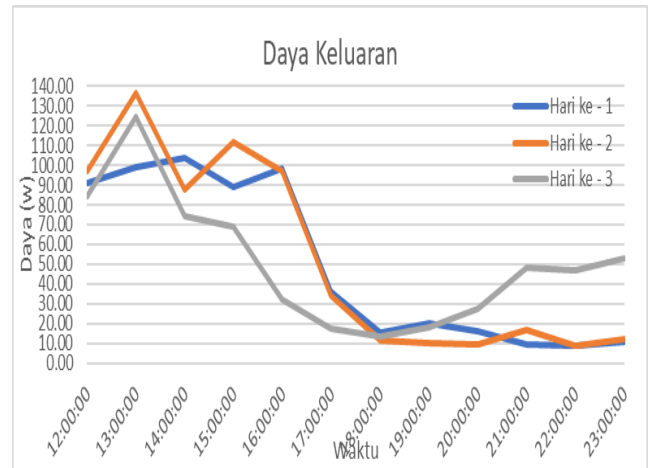
Gambar 7. Pengujian bilah

Pada Gambar 7. Dapat dilihat proses pengimplementasian bilah pada turbin angin skala kecil.



Gambar 8. Grafik kecepatan angin

Berdasarkan Tabel 1. terdapat hasil dari pengujian yang dilakukan selama 3 hari memperoleh data kecepatan angin yaitu, pada hari pertama mendapatkan kecepatan angin tertinggi sebesar 6.15 m/sn pada pukul 12:00 siang hari, hari kedua mendapatkan kecepatan angin tertinggi sebesar 8.12 m/s pada pukul 13:00 siang hari dan hari ketiga mendapatkan kecepatan angin tertinggi sebesar 7.33 m/s pada pukul 13:00 siang hari. Dari hasil pengujian yang dilakukan selama tiga hari dapat diketahui bahwa kondisi kecepatan angin tertinggi berada pukul 12:00 siang hari hingga 16:00 sore hari dan terdapat kondisi dimana kecepatan angin mengalami penurunan pada pukul 17:00 sore hari hingga 00:00 tengah malam.



Gambar 9. Grafik daya keluaran

Berdasarkan Tabel 2. terdapat hasil dari pengujian yang dilakukan selama 3 hari memperoleh data daya keluaran yaitu, pada hari pertama mendapatkan daya keluaran tertinggi sebesar 103.90 watt pada pukul 14:00 siang hari, hari kedua mendapatkan daya

keluaran tertinggi sebesar 136.53 watt pada pukul 13:00 siang hari, dan pada hari ketiga mendapatkan daya keluaran tertinggi sebesar 124.26 watt pada pukul 13:00 siang hari. Dari hasil pengujian yang dilakukan selama tiga hari dapat diketahui bahwa kondisi dimana turbin angin yang menggunakan bilah yang dibuat dapat menghasilkan daya keluaran yang besar pada pukul 12:00 siang hari hingga pukul 17:00 sore hari dan terdapat kondisi dimana daya keluaran yang dihasilkan oleh turbin angin dengan bilah yang dibuat mengalami penurunan pada pukul 17:00 sore hari hingga pukul 00:00 tengah malam.

KESIMPULAN

Bilah jenis inverse taper yang diperuntukan turbin angin sumbu horizontal skala kecil dapat dirancang dan dibuat secara manual dengan bantuan alat – alat sederhana, bilah yang berhasil di buat memiliki ukuran dengan panjang 80 cm dan lebar pada bagian pangkal 12 cm dan ujung 15.6 cm dengan tebal pada bagian pangkal 3 cm. Kemudian berdasarkan hasil pengujian pada turbin angin menggunakan bilah yang dirancang mendapatkan perolehan daya listrik tertinggi pada hari pertama sebesar 103.9 watt, pada pengujian hari kedua mendapatkan perolehan daya listrik sebesar 136.53 watt dan pada pengujian hari ketiga mendapatkan perolehan daya listrik sebesar 124.26 watt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Dirgantini et al., "Pembebanan Pada Turbin Angin Sumbu Horizontal," 2021.
- [2] Wardoyo, "Hubungan Daya Turbin Angin Berbentuk Propeller 5 Blade Terhadap Beban Tower Penyangganya Wardoyo," J. Konversi Energi dan Manufaktur UNJ, no. 1, pp. 1–6, 2016.
- [3] P. Aji, "Rancang Bangun Bilah Inverse Taper Dengan Airfoil S1210 Pada Turbin Angin Sumbu Horizontal Skala Kecil," p. 122, 2019.
- [4] E. Musyarofah, "Laporan tugas akhir rancang bangun sudu inverse taper pada small wind turbine dengan tipe airfoil sg6042," 2020.
- [5] R. Elson, "Pengenalan Turbin Angin Skala Mikro," pp. 1–64, 2015.
- [6] A. Nuraini and C. S. Abadi, "Analisis Perbandingan Bilah Turbin Angin Jenis Taper dengan Taperless pada Turbin Angin Skala Mikro di PT . Lentera Bumi Nusantara,"

Pros. Semin. Nas. Tek. Mesin Politek. Negeri Jakarta, pp. 138–146, 2019.

[7] A. Yulfira Media, "Hasil Penelitian Hasil Penelitian," vol. 3, no. 1, pp. 19–25, 2020, [Online]. Available: <http://www.unhas.ac.id/tahir/BAHAN-KULIAH/00-Fika-data/TEISIS LENGKAP dr. Zulfikar T.>

[8] A. D. Shanca, U. Pembangunan, N. Veteran, and F. Teknik, "Perbandingan performansi bilah tapperless menggunakan airfoil cr001sm dan psu94-097 pada turbin angin sumbu horizontal skala kecil," 2021.

[9] Indra Anggi, "Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknologi Manufaktur dan Kebumian Institut Teknologi Sumatera," 2022.

[10] I. N. Zahra, "Dasar-Dasar Perancangan Bilah," pp. 13–19, 2020.

Note: Penulisan pustaka menggunakan **Mendeley** atau **EndNote** dengan *APA style 7 edition*.