

ANALISIS DESAIN BILAH TERHADAP PEFORMA TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL MENGGNAKAN SOFTWARE QBLADE

NREL'S 822 PERFORMANCE ANALYSIS ON TAPERLESS TYPE HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE (HAWT) USING QBLADE SOFTWARE

Nur Ichsan Abdillah⁽¹⁾, Hendri Nurdin⁽²⁾, Eko Indrawan⁽³⁾, Febri Prasetya⁽⁴⁾

^{(1), (2), (3), (4)}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Kampus Air Tawar, Padang 25131, Indonesia

nurichsanabdillah@gmail.com

hens2tm@ft.unp.ac.id

ekoindrawan@ft.unp.ac.id

febriprasetya@ft.unp.ac.id

Abstrak

Turbin angin adalah alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, dengan bilah sebagai salah satu komponennya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh *twist* (sudut puntir) dan *chord* (lebar) terhadap *coefficient of power* (C_p) dengan linierisasi pada tiap elemen bilah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi dengan menggunakan perangkat lunak. Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah menemukan desain terbaik dengan metode linierisasi *twist* dan *chord* serta mengaplikasikan desain tersebut dalam sebuah rancang desain, dimana hasil akhirnya akan didapat grafik *coefficient of power* (C_p) atau efisiensi dan *tip speed ratio* (TSR). Hasil penelitian ini telah dilakukan menunjukkan bahwa optimasi desain bilah turbin angin tipe taper dengan *airfoil* NREL's 822 memiliki *maximum twist* sebesar 6,59 hingga *minimum twist* 0,12 serta *maximum chord* sebesar 0,107 meter dan *minimum chord* sebesar 0,015 meter. Pada proses simulasi tersebut menghasilkan efisiensi sebesar 48% pada TSR 8.

Kata Kunci : Turbin Angin, Bilah turbin, *Chord*, *Twist*, Efisiensi

Abstract

A wind turbine is a device that converts mechanical energy into electrical energy, with blades as one of its components. The purpose of this research is to analyze the effect of torsion (twist angle) and chord (width) on the power coefficient (C_p) by linearizing each blade element. The method used in this study is a simulation method using software. The objective to be achieved in this study is to find the best design with the torsion and chord linearization method and apply the design in a design plan, where the final result will be obtained by graphically representing the power coefficient (C_p) or efficiency and peak gear ratio (TSR). The results of this study showed that the design optimization of cone-type wind turbine blades with NREL's 822 airfoil has a maximum twist of 6.59 at a minimum twist of 0.12 and a maximum chord of 0.107 meters and a minimum rope of 0.015 meters. The simulation process produces an efficiency of 48% at TSR 8.

Keywords : Wind turbine, Blade turbine, *Chord*, *Twist*, *Coefficient of Power*

I. Pendahuluan

Pemanfaatan energi baru terbarukan saat ini perlu ditingkatkan karena sumber energi tak terbarukan sudah semakin menipis ketersediaannya. Hal ini disebabkan oleh karena kebutuhan energi yang terus-menerus digunakan tanpa bisa diperbaharui. Kebutuhan energi yang semakin meningkat ini berdampak di tengah masyarakat dan membebani pemerintah, sehingga harus disubsidi bahan bakar yang berpengaruh terhadap kehidupan masyarakat. Dengan meningkatnya kebutuhan dan harga bahan bakar yang sulit diprediksi dalam satu dekade terakhir telah mendorong pengembangan bioenergi dan penggunaan energi terbarukan sebagai sumber energi alternatif (Nurdin et al., 2018). Indonesia memiliki potensi yang cukup besar. Pemanfaatan energi yang tidak terbatas sehingga memiliki banyak cara yang bisa dilakukan untuk memanfaatkan energi (A. Saputra et al., 2022). Dalam hal ini salah satunya yaitu pemanfaatan energi angin sebesar 2 – 6 m/s dalam rata-rata harian (Augustiantyo et al., 2021). Turbin angin dapat merubah energi kinetik menjadi energi listrik bersih (Sumiati et al., 2013). Sehingga alat konversi ramah lingkungan yang berfungsi untuk memanfaatkan energi angin. Dalam membangun turbin angin, perancangan bilah turbin angin jadi salah satu kunci utama untuk turbin angin agar dapat menyesuaikan kondisi angin di Indonesia (M. Saputra, 2016). Metode linierisasi merupakan penaksiran stabilitas lokal (Ridhoari et al., 2021). Sehingga dari titik keseimbangan menggunakan sistem persamaan differensial nonlinier. Tata cara ini linierisasi sering juga digunakan dalam berbagai bidang seperti fisika, ekonomi, dan industri (Situngkir, 2009). Tata cara linierisasi ini digunakan supaya nilai disetiap elemen seperti *twist* dan *chord* tidak memiliki perbandingan nilai yang besar. Hal tersebut dapat memudahkan proses manufaktur karena menghasilkan desain yang linier. Turbin angin akan memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam menangkap energi angin, hal ini terjadi karena dipengaruhi oleh bilah turbin angin itu sendiri (Mita, 2021).

A. Horizontal Axis Wind Turbine

Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) ataupun turbin angin sumbu horizontal ialah turbin angin yang mempunyai desain bilah semacam propeller serta putarannya terletak pada sumbu vertikal. HAWT terdiri dari dua jenis, ialah upwind dan downwind. Perbedaannya terletak pada posisi rotor yang menghadap angin. Sedangkan pada downwind, rotor ditempatkan di belakang tower sehingga arah datangnya angin mengenai bilah terlebih dahulu (Sahid & Priyoatmojo, 2019).

B. Vertikal Axis Wind Turbine

Vertikal Axis Wind Turbine (VAWT) ataupun turbin angin sumbu vertikal mempunyai keunggulan dibanding dengan Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) dari sisi perawatan turbin angin. Letak tower VAWT tidak terlalu tinggi dari permukaan tanah. Tidak hanya itu, bilah turbin angin dapat berputar pada kecepatan angin yang berbeda. VAWT memiliki dua jenis, yaitu jenis dorong (*savonius*) dan jenis angkat (*darrieus*). *Savonius* adalah jenis VAWT yang bergerak dengan memanfaatkan gaya *drag*. Sebaliknya *darrieus* tipe VAWT yang bergerak dengan memanfaatkan gaya *lift*. Unjuk kerja dari suatu turbin angin dapat dilihat dari daya poros, torsi, dan efisiensi turbin yang dihasilkannya (Abidin et al., 2013)

C. Bilah Turbin Angin

Bilah adalah bagian utama dari turbin angin, bentuknya seperti mata pisau dan bertanggung jawab untuk mengarahkan aliran angin. Kapasitas penyerapan angin oleh bilah tergantung pada bentuk bilah. Umumnya ada tiga jenis bilah yaitu *taperless*, *taper*, serta *inverse taper*. Bilah tipe *taperless* mempunyai lebar yang sama dari pangkal sampai ke ujung. Bilah jenis *taper* mempunyai lebar yang mengerucut dari pangkal sampai ke ujung. Sebaliknya, bilah *inverse taper* ialah kebalikan dari bilah *taper* yaitu bilah semakin besar dari pangkal ke ujung (Hidayatullah, 2020).

D. Airfoil

Airfoil adalah bagian dari penampang bilah yang bisa menciptakan efek *aerodinamis*. Suatu fluida yang mengalir melalui *airfoil* menimbulkan efek *aerodinamis*, yaitu gaya hambat (*drag*) dan gaya angkat (*lift*). Gaya angkat terjadi karena laju aliran fluida di atas permukaan *airfoil* lebih cepat daripada laju aliran fluida di bagian bawah *airfoil*. Hal ini menyebabkan tekanan di bagian atas *airfoil* menjadi lebih kecil daripada tekanan di bagian bawah untuk memungkinkan bilah bisa terangkat (Sholichan, 2020). Koefisien gaya angkat dan hambat selalu berbeda pada masing-masing *airfoil* (Rumakso, 2021).

II. Metode Penelitian

A. Jenis Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan BEM (*Blade Element Method*) dengan menggunakan aplikasi QBlade. Adapula sasaran yang ingin dicapai dalam penelitian ini ialah memperoleh hasil linearisasi *twist* serta *chord* yang maksimal selaku parameter perancangan turbin angin dan mendapatkan desain terbaik untuk bilah turbin angin jenis HAWT. Hasil akhirnya akan mendapatkan

grafik performa *Coefficient of Power* (C_p) dan *Tip Speed Ratio* (RPM)

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam bulan Januari - Juni 2022. Penelitian ini dilakukan di lokasi desain analisis dilakukan di Labor Komputer, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.

C. Software yang digunakan

1. Microsoft Exell

Perangkat lunak ini digunakan untuk menghitung geometri bilah serta proses linearisasi *twist* dan *chord* bilah.

2. QBlade

Qblade digunakan untuk menganalisis airfoil yang digunakan. Tujuan penggunaan perangkat lunak ini juga untuk melakukan simulasi kinerja bilah seperti nilai *Coefficient of Power* (C_p), torsi, TSR dan RPM sesuai dengan hasil analisa pada *airfoil* yang dipilih.

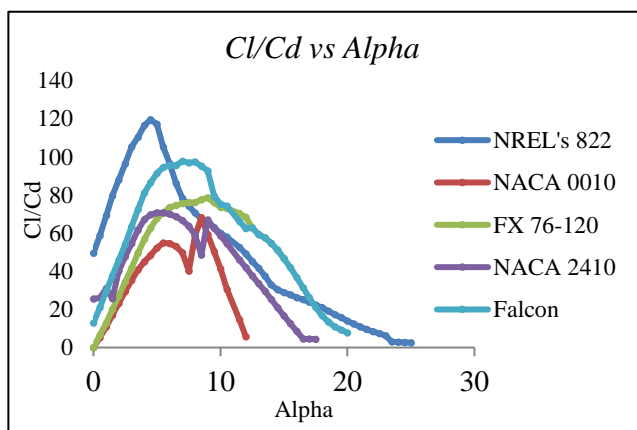
3. SolidWorks

Perangkat lunak ini digunakan untuk mendesain bilah dalam bentuk 2D dan 3D. Desain 2D airfoil dari setiap elemen dapat digunakan untuk membuat cetakan pada proses produksi.

D. Pengolahan Data

1. Analisis Karakteristik Airfoil

Analisis karakteristik *airfoil* dilakukan sebagai langkah pertama dalam merancang turbin angin. *Airfoil* yang digunakan wajib mempunyai kinerja yang maksimal yaitu dapat menghasilkan gaya *lift* (gaya angkat) dan *drag* (gaya hambat). NACA 0010, Wortmann FX 76-120, NACA 2410, Falcon, dan NREL's 822 merupakan jenis-jenis *airfoil* yang dianalisis pada penelitian ini.



Gambar 1. 1. Analisis Karakteristik *airfoil*

Hasil analisis karakteristik airfoil menampilkan

bahwa nilai Cl/Cd meningkat seiring dengan meningkatnya nilai α sampai menggapai nilai α tertentu (α optimum) pada tiap-tiap airfoil. Nilai Cl/Cd tersebut akan turun setelah melewati nilai α optimum tersebut sebab aliran udara tidak beraturan serta membentuk turbulensi. Kondisi penurunan nilai Cl/Cd sehabis melewati nilai α optimum disebut stall (H. Piggot, 1997). Maka dari itu, nilai Cl/Cd yang besar belum tentu dihasilkan pada nilai α yang tinggi. Nilai Cl/Cd yang bernilai negatif merupakan kondisi tekanan gaya angkat lebih kecil dari tekanan dinamis aliran fluida yang melalui airfoil. Hal tersebut diakibatkan posisi sudut serang angin yang bernilai negatif. Cl/Cd yang bernilai negatif pula menggambarkan bahwa kondisi bilah berputar berlawanan dengan arah porosnya. Hasil analisis karakteristik *airfoil* menunjukkan *airfoil* WORTMANN FX 76-120 memiliki nilai Cl/Cd optimum sebesar 70,08 dengan α sebesar 70,08 dengan nilai α sebesar 8. Airfoil Falcon memiliki nilai Cl/Cd optimum sebesar 87,9 dengan nilai α sebesar 8. Airfoil NACA 2410 memiliki nilai Cl/Cd optimum sebesar 95,38 dengan nilai α sebesar 4,5. Airfoil NACA 00,10 memiliki nilai Cl/Cd optimum sebesar 68 dengan nilai α sebesar 8,5. Airfoil NREL's 822 memiliki nilai Cl/Cd optimum sebesar 119,5 dengan nilai α sebesar 4,5. Mempertimbangkan hasil analisis karakteristik airfoil menggunakan software QBlade, airfoil NREL's 822 dipilih sebagai airfoil dalam perancangan dalam perancangan bilah turbin angin.

2. Perancangan Geometri Bilah

Geometri bilah mempunyai parameter-parameter yang hendak digunakan dalam perancangan antara lain seperti efisiensi sistem (bilah, transmisi, generator, controller), jumlah bilah yang digunakan, kapasitas energi listrik, tip speed ratio, sudut puntir bilah serta lebar bilah.

Tabel 1. 1. Efisiensi Sistem

watt	Bilah	Transmisi	Efisiensi Generator	Controller	Sistem
500	0.3	0.9	0.9	0.9	0.22
	0.4				0.29

Efisiensi sistem adalah hasil perkalian dari efisiensi bilah, efisiensi generator, efisiensi transmisi, serta efisiensi controller. Efisiensi sistem menggambarkan kemampuan turbin angin dalam meresap daya angin setelah melewati losses pada transmisi, generator, sampai controller.

Tabel 1. 2. Jari-jari Bilah

Daya Angin (watt)	Kec. Angin max (m/s)	Luas Sapuan Bilah (m ²)	Jari-jari (m)	Jari-jari yang digunakan
2286.24	12	2.16	0.83	0.8

Penentuan jari-jari turbin angin dipengaruhi oleh daya angin, kecepatan angin maksimal, dan luas sapuan bilah.

Tabel 1. 3. Elemen Bilah

Elemen	Jari-jari parsial	TSR parsial	Flow angle (deg)
0	0.170	1.49	26.69
1	0.233	2.04	19.63
2	0.296	2.59	15.36
3	0.359	3.14	12.55
4	0.422	3.69	10.59
5	0.485	4.24	9.15
6	0.548	4.80	8.05
7	0.611	5.35	7.18
8	0.674	5.90	6.48
9	0.737	6.45	5.90
10	0.800	7	5.42

Jari-jari parsial bilah mempengaruhi nilai TSR parsial bilah. TSR parsial dapat digunakan untuk mencari nilai *flow angle*.

Tabel 1. 4. Twist dan Chord

Twist (°)	Chord (m)
17.61	0.174
12.42	0.127
9.07	0.100
6.77	0.083
5.10	0.070
3.84	0.061
2.85	0.054
2.06	0.049
1.42	0.044
0.88	0.040
0.42	0.037

Twist diperoleh melalui pengurangan antara nilai flow angle pada tiap-tiap elemen dengan alpha yang sudah didapatkan melalui hasil analisis karakteristik sebelumnya. Pada elemen 0 bilah didapatkan nilai twist sebesar 17,61° serta 0,42° pada elemen 10 dengan perbedaan nilai twist antar elemen tidak beraturan. Puntiran dengan nilai tersebut cukup ekstrim dan sulit dibentuk pada proses manufaktur

manual menggunakan material kayu (Augustiantyo, 2021) Pada elemen 0, didapatkan nilai chord sebesar 0,174 meter (*maximum chord*) dan 0,037 meter pada elemen 10 (*minimum chord*). Penelitian ini harus menggunakan *maximum chord* yang mendekati nilai sebesar 0,120 meter (Zahra, 2020).

3. Linierisasi Twist dan Chord

Tabel 1. 5. Hasil Linierisasi Twist

Rentang Elemen	Twist Linier (°)		Perbedaan Antar Elemen	Hasil uji Twist
	Maximum Twist	Minimum Twist		
Twist 5%	17,61	-43,29	5,19	Tidak layak
Twist 15%	15,76	-17,68	3,34	Tidak layak
Twist 25%	13,68	-9,34	2,30	Tidak layak
Twist 35%	11,78	-4,92	1,67	Tidak layak
Twist 45%	10,15	-2,47	1,26	Tidak layak
Twist 55%	8,77	-1,09	0,99	Tidak layak
Twist 65%	7,6	-0,31	0,79	Tidak layak
Twist 75%	6,59	0,12	0,65	Layak
Twist 85%	5,73	0,34	0,54	Layak
Twist 95%	4,98	0,42	0,46	Layak
Twist elemen 1 dan 10	17,61	0,42	1,72	Layak

Linierisasi twist dan chord dilakukan agar perbedaan nilai antar elemen bilah yang awalnya tidak beraturan menjadi sama. Linierisasi twist pada masing-masing rentang dengan elemen menghasilkan perbedaan nilai yang berbeda. Twist optimal belum dapat ditentukan jika hanya sampai tahap ini walaupun beberapa rentang twist sudah dapat dieliminasi. Maka dari itu, diperlukan simulasi kinerja pada masing-masing hasil linierisasi twist optimal sebagai parameter perancangan bilah turbin angin.

Tabel 1. 6. Hasil Linierisasi Chord

Rentang Elemen	Chord Linier (m)		Perbedaan Antar Elemen (m)	Hasil Uji Chord
	Maximum Chord	Minimum Chord		
Chord 5%	0.174	-0.297	0.047	Tidak layak
Chord 15%	0.154	-0.116	0.027	Tidak layak
Chord 25%	0.135	-0.04	0.018	Tidak layak
Chord 35%	0.119	-0.003	0.012	Tidak layak

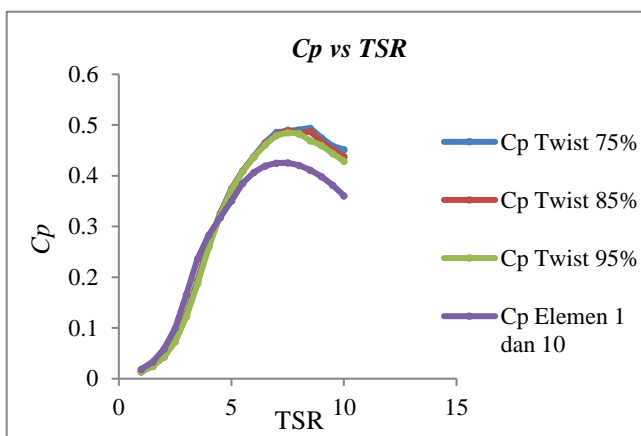
Chord 45%	0.107	0.015	0.009	Layak
Chord 55%	0.096	0.026	0.007	Layak
Chord 65%	0.087	0.031	0.006	Layak
Chord 75%	0.08	0.034	0.005	Layak
Chord 85%	0.074	0.036	0.004	Layak
Chord 95%	0.068	0.037	0.003	Layak
Chord Elemen 1 dan 10	0.174	0.037	0.137	Layak

Linierisasi chord pada elemen 45% bilah menghasilkan maximum chord sebesar 0,107 meter dan minimum chord sebesar 0,015 meter. Maximum chord dengan nilai tersebut merupakan angka yang paling mendekati angka 0,120 meter. Dengan demikian, linierisasi chord pada elemen 45% bilah dipilih sebagai chord perancangan bilah turbin angin.

III. Hasil dan Pembahasan

A. Simulasi Kinerja Bilah

Kinerja secara keseluruhan bilah turbin angin bisa dilihat melalui efisiensinya (H. Piggot, 1997). Efisiensinya turbin angin sangat dipengaruhi oleh *coefficient of power* (C_p) sebab bilah turbin angin merupakan komponen pertama yang menyerap daya dari tenaga angin. Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi kinerja bilah turbin angin yang menampilkan nilai C_p terhadap TSR.



Gambar 3.1. Grafik C_p terhadap TSR pada masing-masing rentang elemen bilah

dari masing-masing grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa linierisasi *twist* pada rentang 75% merupakan linierisasi yang memiliki kinerja paling optimum. maka dari itu, linierisasi *twist* pada rentang 75% dan

45% dipilih sebagai parameter perancangan bilah turbin angin.

B. Validasi Data

Validasi data hasil simulasi diatas bertujuan untuk membandingkan data hasil perancangan simulasi software Qblade dengan perhitungan secara manual. Validasi dilakukan dengan menggunakan rumus C_p dimana daya mekanik dibagi dengan daya angin (Zahra, 2020).

$$C_p = \frac{P_{mechanical}}{P_{wind}}$$

$P_{mechanical}$ diperoleh melalui hasil simulasi yang ditampilkan pada grafik dibawah ini sedangkan, P_{wind} diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$P_{wind} = \frac{1}{2} (\rho \cdot v_{wind}^3 \cdot A)$$

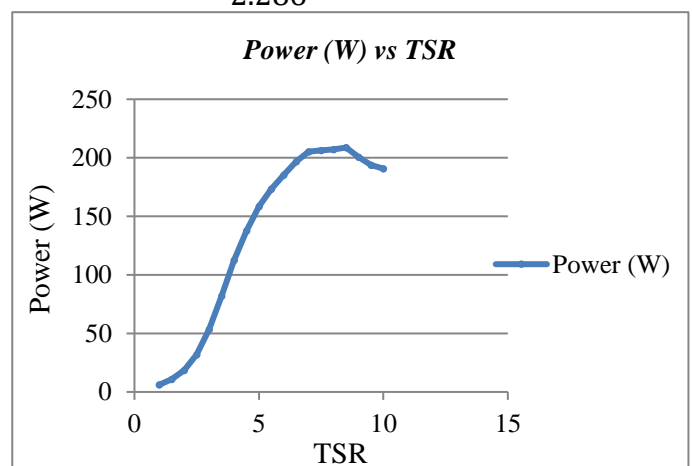
$$P_{wind} = \frac{1}{2} \left(1,225 \frac{kg}{m^3} \cdot 12^3 \cdot 2,1 m^2 \right)$$

$$P_{wind} = 2.286$$

Dengan demikian hasil perhitungan C_p dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini.

$$C_p = \frac{P_{mechanical}}{P_{wind}}$$

$$C_p = \frac{205}{2.286} = 0.089 / 8,9\%$$



Gambar 3.2. Grafik Power (W) terhadap TSR

Hasil pengujian data menunjukkan bahwa nilai efisiensi yang dihasilkan dari perancangan bilah menggunakan *twist* 75% dan chord 45% menghasilkan nilai 0,089 yang mana artinya hasil dari simulasi pada Qblade mengalami eror sebesar 8% dari perhitungan yang sebenarnya.

IV. Kesimpulan

Linierisasi twist dan chord tidak selamanya menghasilkan angka yang layak untuk dilanjutkan pada tahap simulasi kinerja meskipun perbedaan nilai antar elemen bilah sudah sama. Linierisasi chord optimum adalah pada rentang 45%. Sedangkan, linierisasi twist optimum dapat diketahui hasilnya setelah melakukan simulasi pada kinerja bilah di Qblade. Hasil simulasi kinerja bilah turbin angin menggunakan Qblade dengan hasil linierisasi chord optimum pada 45% sebagai chord bilah menunjukkan bahwa linierisasi twist pada rentang 75% merupakan twist optimum dengan menghasilkan efisiensi sebesar 48% pada nilai TSR optimum sebesar 8. Nilai eror hasil simulasi bilah yang dihasilkan melalui validasi numerik adalah sebesar 8,9%

Referensi

- Abidin, R., Kinerja, A., Angin, T. U., Overlap, S., Inkgat, B., & Penambahan, D. (2013). PENGARUH PANJANG LENGKUNG SUDU TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL SAVONIUS. *Sarjana Thesis, Universitas Brawijaya*.
- Augustiantyo, B. (2021). OPTIMASI DESAIN BILAH DENGAN METODE LINEARISASI CHORD DAN TWIST TERHADAP PERFORMA TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*.
- Augustiantyo, B., Setiawan, R., & Oleh, O. (2021). Optimasi Desain Bilah Dengan Metode Linearisasi Chord Dan Twist Terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 22(2), 97–110. <https://doi.org/10.23917/mesin.v22i2.14712>
- H. Piggot. (1997). *Windpower Workshop*. Time, 1–10.
- Hidayatullah, B. (2020). *Daun Ekor Pada Turbin Angin Sumbu Horizontal Dengan Mekanisme Furling Terhadap Performa Turbin*. 15–16.
- Mita, D. (2021). Rancang Bangun Bilah Turbin Angin Skala Mikro Sumbu Horizontal Tipe Taper Dengan Variasi Mixed Airfoil. *Undergraduate Thesis*, 1–4.
- Nurdin, H., Hasanuddin, H., & Darmawi, D. (2018). Karakteristik Nilai Kalor Briket Tebu Tibarau Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi*, 18(1), 19–24. <https://doi.org/10.24036/invotek.v18i1.172>
- Ridhoari, D., Ridhoari, D. H., Abadi, C. S., & Syuriadi, A. (2021). Pengaruh Linierisasi Sudut Puntir terhadap Efisiensi Bilah Taperless Airfoil NACA 4415 pada Aplikasi PLTB. *Seminar Nasional Teknik Mesin*, 11(1), 70–80. <http://prosiding-old.pnj.ac.id/index.php/sntm/article/view/3879>
- Rumakso, A. D. S. dan H. P. (2021). UJI COBA PERFORMA BENTUK AIRFOIL MENGGUNAKAN SOFTWARE QBLADE TERHADAP TURBIN ANGIN TIPE SUMBU HORIZONTAL. *Teknik Mesin*, 10(1).
- Sahid, -, & Priyoatmojo, S. (2019). Rancang Bangun Turbin Angin Poros Horizontal Tiga Sudu Flat Berlapis Tiga Dengan Variasi Sudut Dan Posisi Sudu. *Eksergi*, 15(1), 14. <https://doi.org/10.32497/eksergi.v15i1.1462>
- Saputra, A., Lapisa, R., Refdinal, R., & Primandari, S. R. P. (2022). Analysis of the Effect of a Glass Layer on the Roof of a House of a Thermoelectric Generator on Temperature and Electrical Voltage. *MOTIVECTION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 4(2), 87–98. <https://doi.org/10.46574/MOTIVECTION.V4I2.115>
- Saputra, M. (2016). Kajian Literatur Sudu Turbin Angin Untuk Skala Kecepatan Angin Rendah. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 2(2). <https://doi.org/10.35308/JMKN.V2I2.839>
- Sholichan. (2020). Pengaruh Sudut Serang Terhadap Koefisien Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal Skala Mikro NACA 4412. *Chasis Jurnal Teknik Mesin*, 1(1), 1–11.
- Situngkir, D. (2009). Metode Linierisasi Estimator Varians Untuk Model Parameter Data Survei Ruwet Medan Model Parameter Data Survei Ruwet. *Universitas Sumatera Utara*.
- Sumiati, R., Zamri, D. A., Pengajar, S., Teknik, J., Politeknik, M., & Padang, N. (2013). RANCANG BANGUN MINIATUR TURBIN ANGIN PEMBANGKIT LISTRIK UNTUK MEDIA PEMBELAJARAN. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(2), 1–8. <https://doi.org/10.21063/JTM.2013.V3.I2.1-8>
- Zahra, I. N. (2020). *Dasar-Dasar Perancangan Bilah*. 13–19.