



Perancangan Bilah Tipe Taper pada Turbin Angin A-Wing Sumbu Horizontal

Amelia Putri Isnaeni¹, Ananda Kuswibawa Pratama², Aprilia Anre Ongan³, Dwiki Armansyah⁴, Muhammad Fatkhul Arifansyah⁵, Nadiyah Damayanti⁶, Naisya Cikal Putri Syabilah⁷, Roikhatal Jannah⁸, Rudi Setiawan⁹, Sefia Rachmasari¹⁰, Sofi Dwi Pratiwi¹¹, Tito Rizky Herdianto¹², Achmad Jauhari Widodo¹³

¹⁻¹³ Prodi Teknik Energi Terbarukan, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember, Indonesia
Politeknik Negeri Jember Jl. Mastrip PO.BOX 164 Jember, Kode Pos 68161

Abstract. *Wind Turbine Blades are one of the renewable energy sources that are the main solution to reduce excessive use of conventional fuels. Wind Turbine Blades absorb kinetic energy into mechanical energy which is then converted into electrical energy by the generator. This study uses the National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) 1.2 horizontal axis wind turbine blade design with a taper type (having a wide base and a small tip). The initial wind turbine blade data was obtained rotating at a wind speed of 3.5 m/s with a voltage of 5.1 Volts. This blade design was carried out using maximum wind speed data of 9.5 m/s and minimum wind speed data of 3.6 m/s, then current and voltage data were obtained. The results of this study confirm that the design of this wind turbine blade affects the efficiency of converting wind energy into electricity. This taper type wind turbine blade is designed to produce optimal performance in a certain windspeed range.*

Keywords: *taper type blades; blade design; Q-blade; horizontal axis wind turbine.*

Abstrak. Bilah Turbin Angin merupakan salah satu sumber daya energi terbarukan yang menjadi solusi utama untuk mengurangi penggunaan bahan bakar konvensional yang berlebihan. Bilah Turbin Angin menyerap energi kinetik menjadi energi mekanik kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Penelitian ini menggunakan desain bilah turbin angin sumbu horizontal National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) 1,2 dengan tipe taper (memiliki bentuk pangkal yang lebar dan ujung yang kecil). Didapatkan data bilah turbin angin awal berputar pada kecepatan angin 3,5 m/s dengan tegangan sebesar 5,1 Volt. Desain bilah ini dilakukan dengan menggunakan data kecepatan angin maksimum sebesar 9,5 m/s serta data kecepatan angin yang minimum sebesar 3,6 m/s, kemudian didapatkan data arus dan tegangan. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa desain bilah turbin angin ini berpengaruh terhadap efisiensi konversi energi angin menjadi listrik. Bilah turbin angin tipe taper ini dirancang untuk menghasilkan performa yang optimal dalam rentang kecepatan angin tertentu.

Kata Kunci: bilah tipe taper; desain bilah; Q-blade; turbin angin sumbu horizontal.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi di dunia semakin meningkat pesat karena perkembangan sektor industri dan peningkatan jumlah penduduk global. Penggunaan energi terbarukan menjadi solusi untuk mengurangi ketergantungan penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan. Energi angin merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat diakses tanpa biaya dan mudah ditemukan di berbagai lokasi di seluruh dunia. Turbin angin secara luas dimanfaatkan di berbagai belahan dunia untuk menghasilkan listrik dari energi angin. Energi ini dapat diaplikasikan dalam berbagai sektor, termasuk pertanian, industri, dan penyediaan listrik untuk kebutuhan rumah tangga. Berdasarkan laporan World Wind Energy Association

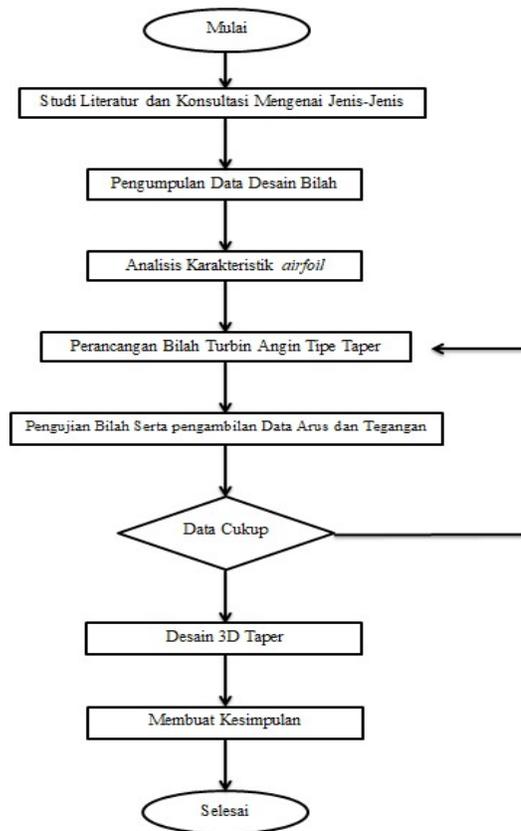
(AWEA), permintaan energi angin mengalami pertumbuhan yang signifikan secara global. Pada tahun 2021, total kapasitas terpasang turbin angin di seluruh dunia mencapai sekitar 840 GW, meningkat sebesar 97,3 GW dibandingkan tahun sebelumnya, 2020[1]. Bilah merupakan salah satu komponen penting dalam turbin angin, karena berfungsi memutar poros generator untuk menghasilkan energi. Selama masa pakainya, bilah menghadapi tantangan besar, seperti beban angin dan gravitasi. Oleh sebab itu, para peneliti terus mengembangkan desain dan bahan bilah agar lebih tahan terhadap faktor eksternal. Desain bilah yang optimal sangat berpengaruh terhadap efisiensi turbin, dengan peningkatan karakteristik aerodinamis dianggap sebagai faktor kunci untuk mencapai kinerja yang lebih tinggi [2]. Ekstraksi energi yang optimal dari angin bergantung pada desain aerodinamis bilah. Parameter yang terkait dengan optimalisasi geometris bilah sangat penting karena setelah dioptimalkan, bilah yang lebih kecil dapat menghasilkan daya jauh lebih besar dibandingkan bilah yang lebih besar tetapi kurang dioptimalkan [3,4].

Pada penelitian ini dilakukan perancangan bilah turbin angin A-Wing sumbu horizontal dengan jenis bilah yaitu *taper* dengan naca 1,2 dan daya listrik keluaran maksimal 1000 Watt.. Kemudian bilah dianalisis kekuatannya untuk memastikan bilah dapat beroperasi dengan aman. Proses perancangan dilakukan dengan menggunakan software Qblade untuk mengetahui performa dari bilah.

2. METODE

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah model simulasi yang menggunakan software Qblade untuk menentukan desain, naca serta kecepatan angin. Sedangkan, software AutoCAD, digunakan untuk membuat desain blade yang lebih realistis agar lebih mudah direalisasikan saat proses pembuatan. Tidak hanya itu, dalam proses pembuatan blade digunakan juga software Microsoft Word dan Microsoft Excel untuk mengelola data hasil penelitian.

Dalam pengembangan dan perancangan bilah turbin angin dengan daya keluaran maksimal 1000 Watt, Proses penelitian yang dilakukan adalah dengan alur sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Alur simulasi Qblade Gambar Diagram Alur menunjukkan sebagian dari tahapan kegiatan perancangan turbin tipe Taper, yaitu pada penggunaan simulasi Qblade. Hasil simulasi ini akan digunakan sebagai pertimbangan proses selanjutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada perancangan desain bilah dilakukan sekitar 2 minggu. Dimulai pembuatan desain pada Senin, 2 September 2024. Pada perancangan memiliki beberapa tahapan yang diantaranya :

a. Persiapan alat dan bahan

Alat yang digunakan terdiri dari :

- 1) Meteran
- 2) Gergaji kayu
- 3) Gerinda
- 4) Amplas gerinda
- 5) Timbangan
- 6) Mesin ketam kayu

7) Bor

Bahan yang digunakan dalam proses pembuatan bilah sebagai berikut :

- 1) Balok kayu mahoni
- 2) Lem kayu
- 3) Dempul

b. Desain

Dalam proses pembuatan bilah, setelah mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Hal pertama yang disiapkan yaitu desain bilah menggunakan Qblade dan autoCAD.

c. Prosedur pembuatan

- 1) Memilih dan mempersiapkan kayu sebagai bahan baku pembuatan bilah.
- 2) Kayu dikeringkan terlebih dahulu dengan cara dijemur di bawah sinar matahari dan dibalik ketika kayu terlihat sudah cukup kering supaya kayu tidak mengalami keretakan. Kemudian kayu dipotong agar rata dan siku dengan ukuran panjang 100 cm, lebar pangkal 10 cm, dan lebar ujung 5 cm.
- 3) Buatlah mal positif atau negatif sesuai dengan airfoil bilah.
- 4) Ukur dan tentukan posisi titik-titik pada ujung airfoil bagian ujung bilah. Tempel airfoil bagian ujung bilah menggunakan lem agar lebih kuat disesuaikan dengan posisi titik-titik ujungnya.
- 5) Selanjutnya, ukur dan tentukan juga posisi titik-titik pada ujung airfoil bagian pangkal bilah. Tarik garis lurus dari bagian ujung ke pangkal bilah untuk dijadikan sebagai garis bantu pembuatan twist.
- 6) Pembuatan garis bantu menandakan bagian kayu yang tidak digunakan dan dibuang, perpanjang garis tersebut sampai ke pangkal, kemudian lakukan penyerutan kayu atau pemotongan kayu menggunakan gergaji meja.
- 7) Buatlah garis elemen yang telah dibuat.
- 8) Bentuk dan perhalus bilah dengan menggunakan amplas gerinda. Lakukan pengecekan secara berkala dengan mal yang telah dibuat pada bagian bilah sesuai dengan garis elemen yang telah dibuat.
- 9) Perhalus kembali permukaan menggunakan amplas.
- 10) Bentuklah pangkal dan beri lubang pada bilah agar dapat dipasang pada turbin.

d. Proses pembuatan

Pada proses pembuatan bilah dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu :

1) Persiapan material kayu

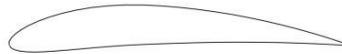
Berdasarkan perancangan ukuran bilah yang dibuat adalah panjangnya 100 cm, lebarnya 10 cm, dan lebar ujung 5 cm. Balok kayu yang dibutuhkan sebanyak

3 balok kayu mahoni. Pada proses pembuatan bilah langkah awal adalah pengeringan dan pemotongan kayu.



2) Pembuatan mal

Pembuatan mal atau cetakan airfoil bilah. Hasil gambar pembuatan dicetak.



3) Pembentukan bilah

Setelah kayu dijemur tahap selanjutnya yaitu penggergajian dan pengetaman, proses ini untuk menyesuaikan ukuran bilah dengan perancangan dan memudahkan proses penggerindaan sesuai bentuk yang dibutuhkan. Gunakan amplas untuk finishing dengan amplas tangan.



4) Pembuatan mal pangkat

Setelah tertempelnya mal lakukan pemotongan sisa kayu dan sudut pada belakang pangkalbilah dengan ukuran kemiringan 30° dengan panjang 3,5 cm dibagian samping.

5) Tahap balancing

Setelah bilah selesai dibuat dilanjutkan tahap balancing. Pengujian kesetimbangan dilakukan dengan menyesuaikan kesetimbangan ketiga bilah dengan mengikismenggunakan amplas atau penambahan dengan dempul atau pemberat lainnya. Balancing menunjukkan bahwa bilah dengan massa yang sama belum tentu memiliki kesetimbangan yang sama.

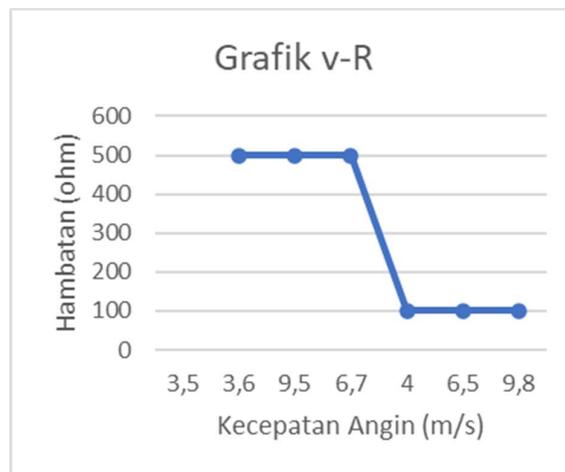


Pada pengujian bilah menggunakan turbin angin A-Wing sumbu horizontal didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 1. Data Pengujian Bilah

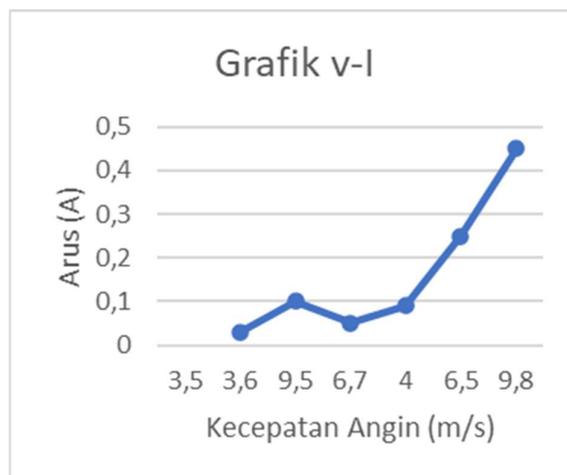
Kecepatan angin (m/s)	Tegangan (V)	Hambatan (Ω)	Arus (A)
3,5	5,1	-	-
3,6	10,2	500	0,03
9,5	34,5	500	0,1
6,7	20,2	500	0,05
4	6,3	100	0,09
6,5	20,3	100	0,25

9,8	28,7	100	0,45
-----	------	-----	------



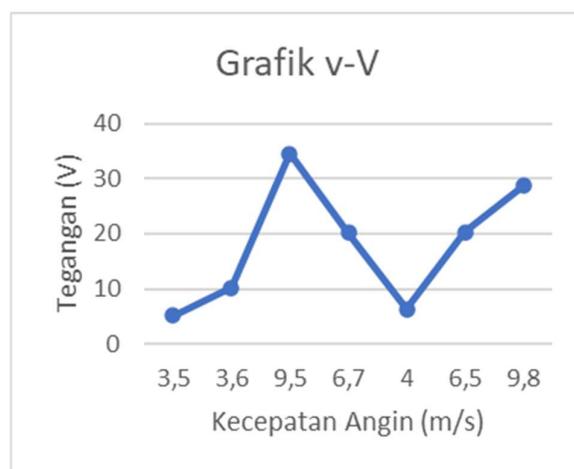
Grafik 1. Kecepatan Angin terhadap Hambatan

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa hambatan (resistansi) tetap konstan pada nilai 500 ohm ketika kecepatan angin berada di kisaran rendah hingga sedang. Namun, ketika kecepatan angin mencapai 6,7 m/s, hambatan menurun secara drastis hingga mencapai 100 ohm. Setelah mengalami penurunan, hambatan kembali stabil saat nilai rendah meskipun kecepatan angin terus meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa hambatan pada sistem dipengaruhi oleh perubahan kecepatan angin secara signifikan, terutama di sekitar titik transisi.



Grafik 2. Kecepatan Angin terhadap Arus

Grafik tersebut menunjukkan peningkatan arus secara bertahap seiring dengan peningkatan kecepatan angin. Arus awalnya kecil pada kecepatan angin rendah sekitar 3,5–3,6 m/s, kemudian meningkat secara signifikan setelah kecepatan angin melebihi 6,7 m/s. Hal tersebut menunjukkan hubungan antara kecepatan angin dan arus, di mana angin yang lebih cepat akan menghasilkan arus yang lebih besar. Peristiwa tersebut sesuai dengan hukum Ohm, di mana peningkatan tegangan akibat energi kinetik angin dapat menyebabkan arus meningkat.



Grafik 3. Kecepatan Angin terhadap Tegangan

Grafik tegangan menunjukkan pola fluktuasi (ketidaktepatan perubahan naik turun akibat suatu mekanisme). Tegangan langsung meningkat pada kecepatan angin awal sekitar 3,5–9,5 m/s hingga mencapai puncak sekitar 35

V. Namun, tegangan menurun saat kecepatan angin berada di 6,7 m/s, dan naik kembali setelah kecepatan meningkat lebih jauh. Pola tersebut menunjukkan adanya pengaruh kondisi operasional tertentu, seperti efisiensi sistem konversi energi yang berfluktuasi atau perubahan beban pada sistem.

4. PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian bilah tipe taper dengan pengambilan data arus dan tegangan pada penelitian ini dapat

disimpulkan bahwa:

1. Dari ketiga grafik tersebut, kecepatan angin memiliki hubungan yang kompleks dengan hambatan, arus, dan tegangan. Hambatan menunjukkan perubahan secara spontan pada titik tertentu, sedangkan arus cenderung meningkat seiring kecepatan angin, dan tegangan menunjukkan pola yang tidak beraturan.
2. Nilai hambatan tetap konstan pada 500 ohm ketika kecepatan angin berada di kisaran rendah hingga sedang. Namun, ketika kecepatan angin mencapai 6,7 m/s, hambatan menurun secara drastis hingga mencapai 100 ohm. Sedangkan nilai tegangan meningkat tajam pada kecepatan angin awal 3,5–9,5 m/s dan mencapai tegangan 35 V. Namun, tegangan menurun ketika kecepatan angin berada di 6,7 m/s. Pada arus nilai awalnya kecil pada kecepatan angin rendah 3,5–3,6 m/s kemudian meningkat secara signifikan setelah kecepatan angin melebihi 6,7 m/s.
3. Penurunan hambatan memungkinkan arus meningkat secara signifikan. Hal ini sesuai dengan prinsip hukum Ohm, dimana arus meningkat saat hambatan menurun, dengan asumsi tegangan tetap atau meningkat.
4. Kecepatan angin yang terus meningkat, menyebabkan tegangan dan arus juga meningkat. Sehingga akan lebih banyak menghasilkan energi listrik.

Saran

Untuk dapat mengoptimalkan pembuatan bilah turbin angin, saran-saran ini dapat dipergunakan sebagai bahan pertimbangan untuk meningkatkan efisiensi dari bilah turbin yaitu: Mengutamakan kualitas bahan baku yang akan digunakan untuk pembuatan bilah, Pada saat pembuatan perlu memperhatikan bentuk, ketebalan dan berat antar satu bilah dengan bilah yang lain agar semua bilah seimbang.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. WWEA. Asosiasi Energi Angin Dunia. Tersedia daring: <https://wwindea.org/information-2/statistics-news/>(diakses pada 24 November 2024)
2. Deghoum, K., Gherbi, M. T., Sultan, H. S., Jameel Al-Tamimi, A. N., Abed, A. M., Abdullah, O. I., Mechakra, H., & Boukhari, A. (2023a). Optimization of Small Horizontal Axis Wind Turbines Based on Aerodynamic, Steady-State, and Dynamic Analyses. *Applied System Innovation*,6(2)33.<https://doi.org/10.3390/asi6020033>
3. Singh, R.K.; Ahmed, M.R. Blade design and performance testing of a small wind turbine rotor for low wind speed applications. *Renew. Energy* 2013, 50, 812–819.
4. Kale, S.A.; Varma, R.N. Aerodynamic design of a horizontal axis micro wind turbine blade using NACA 4412 profile. *Int. J. Renew. Energy Res.* 2014, 4, 69– 72