

PERANCANGAN BILAH TIPE *INVERSE TAPER* PADA TURBIN ANGIN BERDASARKAN KONDISI ANGIN DI PEKANBARU

Muhammad Hatta¹, Awaludin Martin²

Laboratorium, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas

¹ mhaaatta@gmail.com, ² awaludinmartin01@gmail.com

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

ABSTRACT

The increasing consumption of fossil fuels as energy source of the world cause a decrease in a number of fossil fuels. Wind energy as one of renewable energy resource has a great potential to solve the problem of dependency on fossil fuels, especially in Pekanbaru, Indonesia. Pekanbaru wind speed condition which is considered relatively low can be harnessed efficiently by designing blades which suits wind characteristics in Pekanbaru. Blades are designed using aerodynamic equations and software assistance such as Microsoft Excel, Qblade, and Autodesk Inventor. As a result, the blades had a solid structure, easily in manufacturing and affordable which can generate mechanical power at low wind speeds with a radius 1,1 m and hub 0,2 m and the chord length at the base of the blade 0,13 m and at the tip 0,26 with twist angle at the base of the blade 20,4° and at the tip 5,6°. The result of this research is to show that the inverse taper blade design is applicable in low wind speed conditions in order to produce an affordable, compact, and efficient wind turbine appropriate for wind characteristic in Pekanbaru.

Keyword : Chord, Twist Angle, Blades, Inverse Taper, Wind Turbine

1. Pendahuluan

Besarnya konsumsi bahan bakar fosil sebagai sumber energi dunia mengakibatkan berkurangnya bahan bakar fosil dari waktu ke waktu karena bahan bakar fosil memerlukan waktu yang sangat lama untuk diperbaharui. Akibat dari berkurangnya bahan bakar fosil ini memicu perkembangan yang pesat dalam riset energi terbarukan.

Energi angin sebagai salah satu sumber energi terbarukan mempunyai potensi yang besar untuk memecahkan masalah ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, khususnya di Indonesia. Hasil pemetaan oleh Lembaga Penerbangan Antariksa Nasional (LAPAN) yang merupakan departemen aeronautika Indonesia menunjukkan bahwa 120 tempat di negara ini memiliki kecepatan angin rata-rata diatas 5 m/s [1].

Penelitian Turbin angin ini dirancang sesuai dengan karakteristik angin didaerah perkotaan yang kecepatan anginnya berkisar antara 3-7 m/s (BMKG Kota Pekanbaru). Dikarenakan peletakan turbin angin di daerah perkotaan, maka turbin angin yang dirancang berupa turbin angin mikro. Karena turbin angin mikrodengan *tip speed ratio* yang kecil akan mengurangi kebisingan saat turbin angin beroperasi [2].

Di banyak negara maju riset-riset yang berhubungan dengan energi terbarukan terus dikembangkan bahkan sudah dijadikan sebagai suatu sumber energi baru yang sudah dapat dirasakan oleh masyarakat. Salah satu negara yang

sudah menggunakan energi angin sebagai sumber energi listrik sehari-hari adalah negara China, dimana total energi turbin angin yang telah didirikan yaitu sebesar 114,763 MW [3].

2. Metode

2.1 Perancangan

Tipe turbin angin yang akan dirancang pada penelitian ini adalah Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) 5 bilah dengan tipe bilah *inverse taper*. Bilah dirancang menggunakan persamaan aerodinamis dan bantuan perangkat lunak seperti Microsoft Excel untuk menentukan geometri bilah dan Qblade untuk mengetahui karakteristik dan performa dari bilah.

Dalam melakukan suatu kegiatan penelitian, tentu ada langkah-langkah yang akan dilakukan sesuai dengan urutannya. Mulai dari menentukan daya rencana hingga menghasilkan geometri bilah yang akan dirancang.

Berdasarkan perhitungan daya rencana didapatkan bahwa diameter bilah yang sesuai untuk kecepatan angin 7 m/s yaitu 2,6 m. Dimana, panjang hub dan bilah masing-masing 0,2 m dan 1,1 m. material yang digunakan untuk bilah yaitu *styrofoam* dan *stainless steel* profil persegi 10 x 40 mm dengan tebal 1 mm untuk memperkuat struktur bilah dengan berat total 0,7 kg. Bentuk *Airfoil* yang digunakan yaitu NACA 4412, dikarenakan memiliki nilai C_L/C_D yang tinggi yaitu 120 [4].

2.2 Validasi Rancangan

Rancangan yang telah didapat dari perhitungan divalidasi untuk mengetahui apakah rancangan bisa beroperasi dengan optimal dibawah kondisi yang telah ditentukan. Validasi ini dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Qblade. Qblade merupakan perangkat lunak *open source* untuk perancangan turbin angin yang dapat mensimulasikan aerodinamis dari turbin angin yang telah dirancang. Validasi ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik turbin angin yang telah dirancang dalam bentuk grafik.

3. Hasil

Perancangan bilah turbin angin dimulai dengan menghitung dimensi bilah. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan variabel-variabel yang telah ditetapkan yang berdasarkan dari *output* turbin angin yang akan dirancang [5]. Variabel-variabel tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Variable-variable untuk Mendapatkan Geometri Bilah

Daya Rencana	300 watt
Efisiensi Bilah	0,35
Efisiensi Transmisi	0,9
Efisiensi Generator	0,8
Kecepatan Angin Rancangan	7 m/s
Densitas Udara	1,22 kg/m ³

Variabel-variabel yang telah ditentukan tersebut digunakan pada persamaan-persamaan aerodinamis yang akan menghasilkan geometri bilah.

Sebelum melakukan perancangan, jumlah elemen dari bilah ditentukan. Pada penelitian ini jumlah elemen bilah yang digunakan yaitu 11 elemen. Geometri yang dihasilkan dari perancangan adalah panjang *chord* dan sudut puntir tiap elemen.

Untuk mendapatkan panjang *chord* dan sudut puntir tiap elemen, *tip speed ratio* parsial dari tiap elemen harus diketahui. *Tip Speed Ratio* Parsial merupakan perbandingan antara kecepatan elemen bilah pada posisi tertentu dengan kecepatan angin dan untuk menentukan *Tip Speed Ratio* Parsial, digunakan Persamaan 1 [7].

$$\lambda_r = \frac{r}{R} \times \lambda \quad (1)$$

Untuk menentukan sudut puntir (β) pada tiap elemen bilah, hal pertama yang harus ditentukan yaitu *flow angle* (ϕ) pada setiap elemen bilah. *Flow angle* ditentukan menggunakan persamaan 2 [7].

$$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_r} \quad (2)$$

Setelah *flow angle* ditentukan, sudut puntir pada setiap elemen dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 3 [7].

$$\beta = \phi - \alpha \quad (3)$$

Setelah sudut puntir diketahui, selanjutnya panjang *chord* (C_r) dari setiap elemen dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 4 [7].

$$C_r = \frac{16 \pi R \left(\frac{R}{r}\right)}{9 \lambda^2 B C_L} \quad (4)$$

Setelah geometri bilah didapat, maka selanjutnya dilakukan optimasi bilah untuk menghasilkan bilah yang efisien dan untuk memudahkan dalam proses produksinya [1]. Proses optimasi bilah dilakukan dengan cara linierisasi 75% dari elemen bilah [8]. Untuk mempermudah proses, linierisasi dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel. Dari linierisasi ini didapatkan persamaan:

- 75% Optimasi Linear *Chord*

$$y = -0,1243x + 0,2902 \quad (5)$$

- 75% Optimasi Sudut Puntir

$$y = -13,392x + 23,038 \quad (6)$$

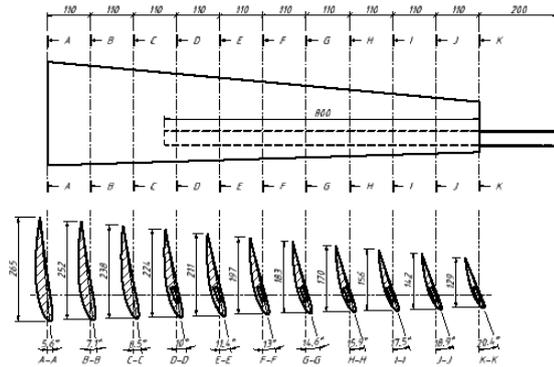
Setelah persamaan linierisasi didapat, maka persamaan tersebut digunakan untuk proses linierisasi geometri yang telah didapat. Hasil linierisasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Geometri Bilah

Jari-jari Parsial (m)	<i>Chord</i> (m)	Sudut Puntir (°)
0,20	0,13	20,4
0,31	0,14	18,9
0,42	0,16	17,4
0,53	0,17	15,9
0,64	0,18	14,5
0,75	0,20	13,0
0,86	0,21	11,5
0,97	0,22	10,0
1,08	0,24	8,6
1,19	0,25	7,1
1,30	0,27	5,6

Setelah dilakukan optimasi, selanjutnya geometri bilah dibuat dalam bentuk tiga dimensi dengan bantuan perangkat lunak *Autodesk Inventor*.

Hasil dari pemodelan menghasilkan gambar kerja yang dapat dilihat pada Gambar 1.

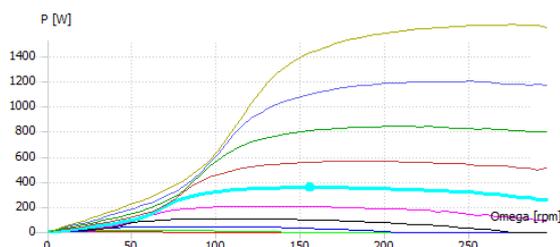


Gambar 1 Geometri Bilah 2D

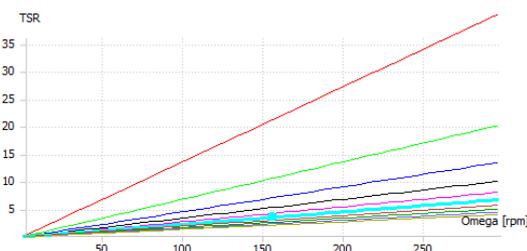
Bahan *styrofoam* yang getas dan mudah patah didukung dengan struktur yang tersusun dari *stainless steel*, sehingga bilah menjadi lebih kokoh.

Setelah model dibuat, proses selanjutnya yaitu proses validasi geometri yang telah dihitung diinput ke perangkat lunak Qblade untuk mengetahui performa dari bilah yang dirancang. Hasil dari validasi ini berupa grafik-grafik yang menunjukkan parameter-parameter penting yang paling mempengaruhi performa bilah yang akan dibuat. Parameter tersebut yaitu, daya, torsi, kecepatan angin, kecepatan putaran rotor dan efisiensi dari bilah yang telah dirancang.

Berdasarkan teori Betz, daya mekanik maksimal yang dapat diekstrak oleh bilah sekitar 59% [7]. Grafik hasil analisis pada Qblade, menunjukkan bahwa C_p maksimal bilah yang telah dirancang mencapai 0,5 dengan TSR 3,5. (Gambar 2).



Gambar 2 Grafik (Daya) P vs Omega



Gambar 3 Grafik TSR vs Omega

4. Pembahasan

Hasil dari perancangan menghasilkan bilah dengan jari-jari bilah 1,1 m dan hub 0,2 m serta panjang *chord* pangkal bilah 0,13 m dan panjang *chord* ujung bilah 0,27 m dengan sudut puntir pangkal dan ujung $20,4^\circ$ dan $5,6^\circ$.

Berdasarkan hasil simulasi Qblade, bilah yang dirancang mulai menghasilkan listrik (*cut-in*) pada kecepatan angin 3,2 m/s yang memiliki torsi mekanik sebesar 4 Nm dan daya mekanik yang dihasilkan sebesar 4.3 watt dengan kecepatan putaran (ω) 10 rpm pada TSR 0,5 dan C_p 0,05.

Kondisi optimum turbin angin menghasilkan daya terjadi pada TSR 3,4 sampai 4. Dimana kecepatan angin antara TSR 3,4 - 4 adalah 6 m/s yang menghasilkan daya mekanik sebesar 350 watt pada kecepatan putaran (ω) 150 rpm dengan torsi mekanik 3,5 Nm dan C_p 0,5.

Besarnya torsi yang dihasilkan mengakibatkan kecepatan putaran rotor menjadi rendah [9]. Sehingga dibutuhkan transmisi yang dapat menggandakan putaran dan tentunya menggandakan daya listrik yang dihasilkan oleh generator.

Turbin angin akan berhenti menghasilkan daya listrik pada generator (*cut-off*) pada kecepatan 8 m/s dengan bantuan sistem *furling* yang dapat mencegah rotor *overspeeding* [10].

5. Simpulan

Dari hasil penelitian bilah yang dirancang memiliki jari-jari bilah 1,1 m dan hub 0,2 m serta panjang *chord* pangkal bilah dan ujung bilah 0,13 m 0,27 m dengan sudut puntir pangkal dan ujung $20,4^\circ$ dan $5,6^\circ$.

Pada penelitian ini, ditemukan bahwa turbin angin dengan tipe bilah *inverse taper* sesuai untuk kecepatan angin 3-7 m/s dengan nilai C_p maksimal 0,5.

Berdasarkan hukum perputaran mesin, semakin berat massa rotor maka semakin besar pula gaya yang dibutuhkan untuk memutarinya [11]. Oleh karena itu, material yang digunakan dalam penelitian ini adalah *styrofoam* dengan rangka pendukung dari *stainless steel* dengan berat 0,7 kg per bilah, sehingga dapat berputar pada kecepatan angin yang rendah.

Jadi dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin di Indonesia yang relatif rendah dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik alternatif dengan melakukan pengembangan baru dalam merancang turbin angin yang nantinya diharapkan dapat mengurangi pemakaian bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik. Salah satunya yaitu dengan menggunakan bilah dengan tipe *inverse taper*.

Daftar Pustaka

[1] F. Gibran dan M. Saphire, "Simulation Of Inverse Taper Wind Turbine Blade and

- Transmission For Indonesia Wind Condition,” Indonesian Scholars International Convention, London, 2015.
- [2] Y. Nishizawa, “An Experimental Study of the Shape of Rotor for Horizontal-Axis Wind Turbine,” InTech, Japan, 2011.
- [3] Global Wind Energy Council, “Global Wind Statistic 2014,” GWEC, Brussels, 2015.
- [4] R. C. Hasting dan W. B. R., “Studies of the Flow Field near a NACA 4412 Aerofoil at Nearly Maximum Lift,” Royal Aircraft Establishment, Farnborough, England, 1984.
- [5] Lentera Angin Nusantara, “Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin,” LAN, Tasikmalaya, 2014.
- [6] H. Piggot, Wind Power Workshop, England: Center For Alternative Technology, 2000.
- [7] T. Burton, Wind Energy Handbook, England: John Wiley & Sons, Ltd, 2001.
- [8] J. Manwell, Wind Energy Explained, United Kingdom: Jhon Willy & Sons, Ltd, 2002.
- [9] MIT, Mechanical Engineering, “Designing with D.C. Motors,” Center for Innovation in Product Development, 1999. [Online]. Available:
<http://lancet.mit.edu/motors/index.html>.
[Diakses 20 Mey 2016].
- [10] D. Wood, Small Wind Turbines, Canada: Springer, 2011.
- [11] R. S. Khurmi dan G. J. K, “Machine Design,” Eurasia Publishing House, New delhi, 2005.