

# PERANCANGAN BILAH TURBIN ANGIN TIPE *INVERSE TAPER NACA 4412*

Adipa Putra<sup>[1]</sup>, Awaludin Martin<sup>[2]</sup>

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau,  
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia

<sup>[1]</sup>adipa.putra3905@student.unri.ac.id, <sup>[2]</sup>awaludinmartin01@gmail.com

## ABSTRACT

*The condition of electricity in Pekanbaru is really apprehensive, there are still many people who have not been supplied with electricity around the area. Wind energy as a renewable energy source has great potential to overcome the problem of electricity dependence. The relatively low wind speed conditions can be used efficiently by designing blades that are suitable for the wind speed in Pekanbaru area. The blades are designed using aerodynamic equations with software such as Q-Blade and Microsoft excel to determine blade geometry, as well as Autodesk Inventor 2013 to perform blade modeling. As a result, the blade that is designed has a tough structure and can produce mechanical power at low wind speeds with a blade radius of 1.3 m and a root chord length of 0.17 m and a chord length at the end of 0.34 m with a torsion angle at the base is 23.9 ° and the torsion angle is 7.3 ° at the ends of the blade.*

**Keywords:** *Blades, Chords, Inverse Taper, Wind Turbines.*

## 1. Pendahuluan

Energi mempunyai peranan sangat penting dalam kehidupan manusia. Energi merupakan pendukung utama bagi kegiatan ekonomi nasional dan dipakai sebagai alat untuk mencapai tujuan sosial, ekonomi dan lingkungan.

Dalam kehidupan sehari-hari energi terbagi menjadi beberapa macam, salah satunya energi listrik. Pertumbuhan konsumsi energi listrik di berbagai negara disebabkan oleh berkembangnya industri dan teknologi. Bukan hanya negara-negara maju, tapi hampir semua negara termasuk Indonesia mengalaminya. Kapasitas pembangkit tenaga listrik sampai dengan tahun 2018 mencapai 64,5 GW atau naik sebesar 3% dibandingkan kapasitas tahun 2017. Kapasitas terpasang pembangkit listrik tahun 2018 sebagian besar berasal dari pembangkit energi fosil khususnya batubara (50%), diikuti gas bumi (29%), BBM (7%) dan energi terbarukan (14%). Produksi listrik dari pembangkit energi terbarukan masih rendah karena rendahnya kapasitas terpasang dibandingkan pembangkit fosil. Faktor lainnya adalah menurunnya produksi listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Di tahun 2017, pembangkit listrik berbahan bakar fosil menghasilkan 7 kali lebih banyak energi dari pada pembangkit berbasis energi terbarukan. Namun jika ditahun-tahun berikutnya hanya memanfaatkan pembangkit listrik energi fosil, tidak menutup kemungkinan sulitnya mencari suplai bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik yang ada [1].

Pada penelitian ini akan dibahas lebih spesifik tentang bilah turbin angin yang cocok untuk wilayah Pekanbaru. Berdasarkan data pengukuran oleh BMKG Pekanbaru, energi angin yang ada di Pekanbaru berada dalam klasifikasi kecepatan angin rendah (3 sampai 6 Knot) [2]. Oleh karena itu berdasarkan arah sumbu gerak, jenis turbin angin yang dipilih adalah turbin angin sumbu horizontal.

Turbin angin sumbu horizontal memiliki kelebihan dibandingkan turbin angin sumbu vertikal yang membuatnya baik digunakan pada wilayah dengan kondisi kecepatan angin rendah, yaitu sumbu putar rotor yang searah dengan arah datangnya angin [3].

Turbin angin sumbu horizontal memiliki 3 jenis bilah berdasarkan bentuk desain, yaitu *taper* (meruncing ke atas), *taperless* (tidak meruncing), *inverse taper* (meruncing terbalik) [4]. Untuk wilayah dengan klasifikasi kecepatan angin rendah, diperlukan jenis bilah yang dapat mengkonversi energi angin menjadi putaran rotor dengan torsi yang besar [5]. Oleh karena itu dipilih jenis bilah *inverse taper*.

Pada turbin angin sumbu horizontal dengan torsi yang besar cenderung memiliki putaran yang rendah, oleh karena itu diperlukan *tip speed ratio* yang rendah [6]. Berdasarkan pengujian Nishizawa, turbin angin dengan bilah jenis *inverse taper* berjumlah 5 buah, menghasilkan torsi yang paling tinggi dengan *tip speed ratio* 2,5, dibandingkan jenis dan jumlah bilah turbin angin lainnya [7].

Pada penelitian ini dengan membandingkan 4 jenis *airfoil* dan 4 tipe *NACA* (*National Advisory Committee for Aeronautics*) dengan kecepatan angin 4 – 7 m/s dan *NACA 4412* terpilih sebagai *airfoil* dengan nilai  $C_L/C_D$  yang paling besar [8].

Adapun tipe *airfoil* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *NACA 4412*. Data *NACA 4412* yang di-input memiliki rasio koefisien *lift & drag* ( $C_L/C_D$ ) sebesar 111,36 dengan sudut serangnya adalah 6,5 ° dan koefisien *lift* terhadap sudut serang ( $C_L$ ) sebesar 1,163.

## 2. Metodologi

Adapun tahapan perancangan dalam penelitian ini dilakukan sebagai berikut:

## 2.1 Penentuan Data Kecepatan Angin Perancangan

Untuk mengetahui data kecepatan angin perancangan, pengambilan data kecepatan angin di Pekanbaru dilakukan di *Rooftop* Gedung C Fakultas Teknik, Universitas Riau. Adapun data yang diperoleh, dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut ini.

Tabel 1. Data Kecepatan Angin 03 dan 04 Maret 2020

03 dan 04 Maret 2020		
Waktu Pengujian	Kecepatan Angin (m/s)	Temperatur (°C)
17:00	6,5	30,3
18:00	2,1	28,30
19:00	1,1	29,00
20:00	1,6	28,40
21:00	1,1	28,10
22:00	0,7	29,20
23:00	1,4	27,10
0:00	0,8	28,30
1:00	0,9	26,40
2:00	0,9	27,40
3:00	1,00	27,70
4:00	1,1	27,60
5:00	1,3	26,40
6:00	1	26,20
7:00	1,2	27,10
8:00	0,6	27,90
9:00	0,83	30,90
10:00	0,87	30,70
11:00	2,52	32,00
12:00	1,30	31,10
13:00	1,50	30,10
14:00	2,68	34,60
15:00	1,46	36,40
16:00	1,6	33,10
17:00	0,9	32,40
V Rata-Rata =		1,5 m/s

Tabel 2. Data Kecepatan angin 05 dan 06 Maret 2020

05 dan 06 Maret 2020		
Waktu Pengujian	Kecepatan Angin (m/s)	Temperatur (°C)
17:00	5,11	25,4
18:00	1,63	26,90
19:00	2,32	26,30
20:00	1,74	25,60
21:00	3,62	25,10
22:00	4,12	25,00
23:00	3,1	24,30
0:00	1,63	26,30
1:00	2,01	24,80
2:00	1,88	24,60
3:00	1,01	24,50
4:00	2,34	24,20
5:00	1,21	24,60
6:00	0,82	24,70
7:00	1,34	24,60
8:00	2,25	26,20
9:00	0,50	27,50
10:00	2,04	28,60
11:00	3,68	29,20
12:00	0,59	33,10
13:00	1,08	32,60
14:00	2,57	36,60
15:00	2	30,90
16:00	1,7	30,40
17:00	1,4	30,00
V rata-rata =		2,15 m/s

Kecepatan angin perancangan yang dipilih adalah kecepatan angin maksimum [9]. Berdasarkan data kecepatan angin yang diperoleh, untuk menghindari kerusakan bilah apabila menerima kecepatan angin yang tinggi. Oleh karena itu,

kecepatan angin perancangan yang dipilih adalah 6,5 m/s.

## 2.2 Linierisasi Rancangan

Setelah diperoleh geometri bilah, dilakukan linierisasi rancangan untuk mengetahui apakah rancangan bisa beroperasi dengan optimal. Proses linierisasi ini dilakukan dengan simulasi aerodinamis bilah menggunakan perangkat lunak *microsoft excel* dan perangkat lunak *Q-Blade*. Hasil simulasi ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik bilah turbin angin yang telah dirancang.

## 3. Hasil

Adapun beberapa variabel yang ditentukan dalam langkah awal perancangan geometri bilah turbin angin dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Variabel-variabel untuk Mendapatkan Geometri Bilah

Variabel	Nilai
Daya Rencana ( $P_e$ )	300 Watt
Kecepatan Angin Perancangan ( $V_D$ )	6,5 m/s
Tip Speed Ratio ( $\lambda$ )	2,5
Jumlah Bilah ( $B$ )	5
Efisiensi Bilah ( $C_p$ )	0,44
Densitas Udara ( $\rho_{air}$ ) @ 30 °C	1,16 kg/m <sup>3</sup>

Dalam perancangan bilah, hal pertama yang harus dilakukan yaitu menghitung jari-jari bilah. Jari-jari bilah dihitung menggunakan persamaan 1 [10]:

$$R = \left[ \frac{2 P_e}{C_P \eta_T \eta_g \rho_a \pi V_D^3} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

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 yang datang menerpa bilah. Untuk menentukan *Tip Speed Ratio Parsial*, digunakan persamaan 2 [10].

$$\lambda_r = \frac{r}{R} \times \lambda \quad (2)$$

Untuk menghitung sudut puntir pada tiap elemen bilah, hal pertama yang harus dilakukan yaitu *flow angle* pada setiap elemen bilah. *Flow angle* dihitung menggunakan persamaan 3 [10].

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

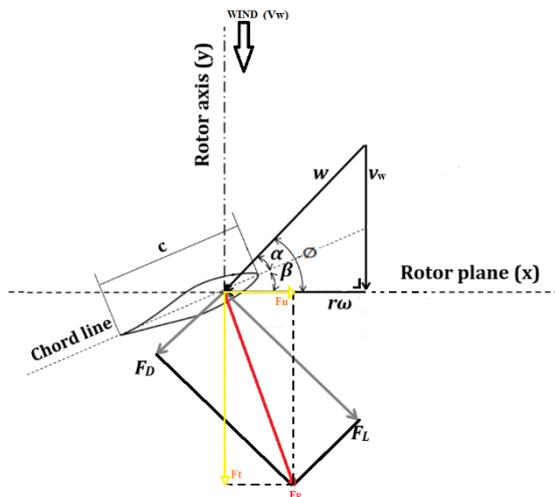
Setelah *flow angle* dihitung, sudut puntir pada setiap elemen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4 [10].

$$\beta = \phi - \alpha \quad (4)$$

Setelah sudut puntir dihitung, selanjutnya panjang *chord* dari setiap elemen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 5 [10].

$$C_r = \frac{8\pi r}{BC_L} \times (1 - \cos \phi) \quad (5)$$

Adapun gaya *aerodinamis* pada bilah sebagai berikut :



Gambar 1. Segitiga Kecepatan Aerodinamis Bilah

Keterangan:

- *Chordline* adalah garis yang menjadi titik sumbu *chord* dari *trailing edge* hingga *leading edge*.
- *Wind relative* adalah angin *relative*, yaitu arah pergerakan atmosfer *relative* terhadap *airfoil*.
- *Velocity wind* adalah arah datangnya angin terhadap suatu objek.
- *Rational velocity* ( $r\omega$ ), adalah objek yang berputar di sekitar sumbu dengan jumlah putaran objek dibagi dengan waktu.
- Gaya *thrust* ( $F_t$ ), adalah gaya dorong yang diciptakan oleh bilah terhadap angin mendorong udara kebelakang.
- Gaya *resultan* adalah gaya yang dihasilkan oleh gaya angkat dan gaya hambat.

Setelah geometri bilah dihitung, langkah selanjutnya melakukan optimasi bilah untuk menghasilkan bilah yang efisien dan untuk memudahkan dalam proses produksinya [9]. Proses optimasi bilah dilakukan dengan cara linierisasi tiap elemen bilah. Untuk mempermudah proses linierisasi, maka dapat dilakukan dengan bantuan *microsoft excel*. Dari hasil linierisasi pada *microsoft* ini didapatkan persamaan berikut ini:

1. Persamaan Linier Panjang *Chord*

$$y = -0,1479x + 0,367 \quad (6)$$

2. Persamaan Linier Sudut Puntir

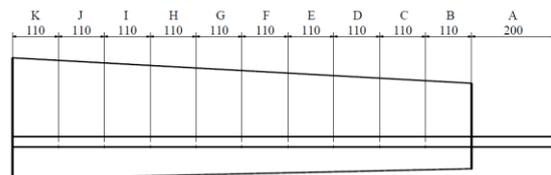
$$y = -15,061x + 26,906 \quad (7)$$

Setelah persamaan linierisasi didapat, maka persamaan tersebut digunakan untuk proses linierisasi geometri yang telah didapat. Hasil linierisasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Geometri Bilah

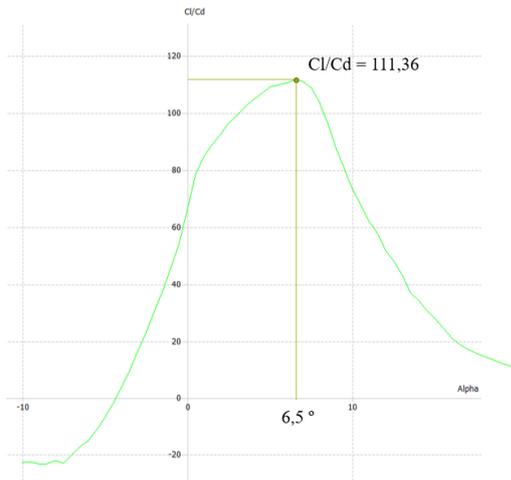
Lokal Radius (m)	Sudut Puntir (°)	Chord (m)
0,20	23,9	0,17
0,31	22,2	0,19
0,42	20,6	0,21
0,53	18,9	0,22
0,64	17,3	0,24
0,75	15,6	0,26
0,86	14,0	0,27
0,97	12,3	0,29
1,08	10,6	0,30
1,19	9,0	0,32
1,30	7,3	0,34

Pemodelan geometri bilah yang akan dibuat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Geometri Bilah

Setelah model dibuat, langkah selanjutnya melakukan validasi rancangan. Hasil validasi rancangan diperoleh geometri bilah yang kemudian di input ke perangkat lunak *Q-Blade*. Untuk melakukan simulasi bilah, variable yang di input adalah tipe *airfoil*. *Airfoil* yang dipilih adalah *NACA 4412*. Adapun spesifikasi yang di dapatkan pada hasil simulasi perancangan bilah menggunakan perangkat lunak *Q-Blade* dapat dilihat pada Gambar 3.



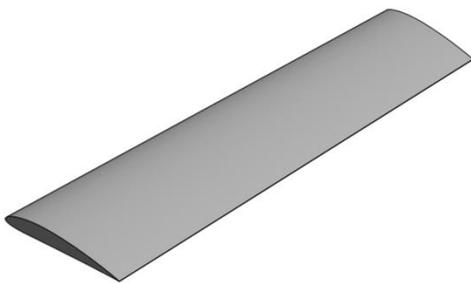
Gambar 3. Grafik  $C_L/C_D$  Berdasarkan Simulasi *Q-Blade*

Tabel 5. Data Airofil *NACA 4412*

Data <i>NACA 4412</i>	
Rasio koefisien lift & drag ( $C_L/C_D$ )	111,36
Sudut Serang ( $\alpha$ )	6,5°
Koefisien lift terhadap sudut serang ( $C_L$ )	1,163
Koefisien drag terhadap sudut serang ( $C_D$ )	0,010
Bilangan Reynold ( $Re$ )	525.500
Ncrit	9

Dari hasil perancangan dan pembuatan bilah didapatkan radius bilah 1,3 m dan hub 0,2 m dengan panjang *chord* di pangkal 0,17 m dan 0,34 m di bagian ujung dengan sudut puntir di pangkal 23,9° dan sudut puntir 7,3° di ujung.

Berikut gambar isometri bilah yang telah dirancang menggunakan perangkat lunak *autodesk inventor 2013*:

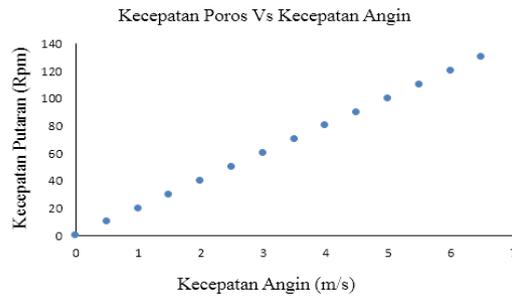


Gambar 4. Bilah *Inverse Taper NACA 4412*

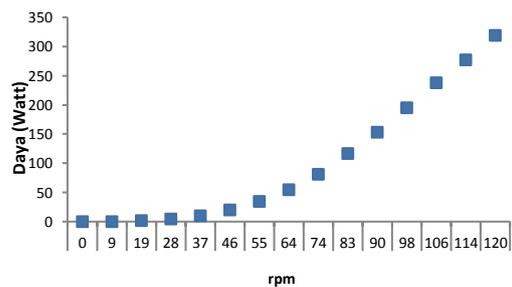
Untuk melakukan simulasi, terlebih dahulu spesifikasi rotor turbin angin di-input seperti, tipe *airfoil*, dimensi bilah, tebal *chord*, kecepatan angin perancangan ( $v_D$ ), *tip speed ratio* ( $\lambda$ ), dan jumlah bilah ( $B$ ).

Dari hasil simulasi *Q-Blade* juga dapat diperoleh, bilah mampu berputar dengan kecepatan 114 rpm pada saat kecepatan angin 6,5 m/s yang

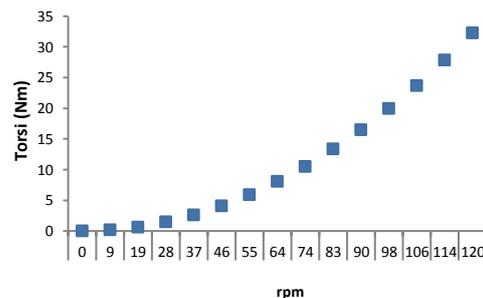
menghasilkan daya sebesar 280 Watt. Adapun torsi yang dihasilkan rotor pada saat kecepatan angin 6,5 m/s yaitu 28 Nm.



Gambar 5. Grafik Kecepatan Putaran (rpm) vs Kecepatan Angin (m/s)



Gambar 6. Grafik Daya (W) vs Kecepatan Putaran (rpm)



Gambar 7. Grafik Torsi (Nm) vs Kecepatan Putaran (rpm)

Bilah menghasilkan torsi yang besar tetapi dengan kecepatan putaran yang rendah. Oleh sebab itu, diperlukan sistem transmisi dengan perbandingan *gear ratio*. Sehingga dapat meningkatkan kecepatan putaran poros pada saat sampai ke generator untuk menghasilkan listrik yang besar.

#### 4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini, yaitu:

1. Perancangan dan pembuatan bilah turbin angin yang dapat digunakan untuk klasifikasi kecepatan angin rendah di Pekanbaru.

2. Pada geometri bilah dengan radius bilah 1,1 m dan *hub* 0,2 m dengan panjang *chord* pangkal bilah 0,17 m dan sudut puntir 23,9° dan panjang *chord* ujung bilah 0,34 m dengan sudut puntir ujung 7,3°.
- 3 Berdasarkan hasil simulasi aerodinamis bilah menggunakan perangkat lunak *Q-Blade*, dengan kecepatan angin 6,5 m/s, bilah mampu berputar dengan kecepatan 120 rpm dan menghasilkan daya sebesar 280 Watt.

#### Daftar Pustaka

- [1] *Institute for Essential Services Reform*. 2018. Laporan Status Energi Bersih Indonesia 2018. Jakarta: *Institute for Essential Services Reform* (IESR)
- [2] Stasiun Metrologi Pekanbaru. 2018. Data Kecepatan Angin di Pekanbaru. Pekanbaru.
- [3] Hatta. 2017. “Perancangan Bilah Tipe *Inverse Taper* Pada Turbin Angin Berdasarkan Kondisi Angin di Pekanbaru”. *Jom F-TEKNIK Vol 4*.
- [4] Bachtiar, Wahyudi Hayattul. 2018. “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras”. Tesis. Teknik Elektro Institut Teknologi Padang
- [5] GS.Tino Ferinando. 2017. “Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu Horizontal Berdiameter 2,6 Meter Di Gedung C Fakultas Teknik Universitas Riau”. *Jom F-TEKNIK Vol 4*
- [6] Ayman, Nada, Ali, Al-Shahrani. 2017. “Shape Optimization of Low Speed Wind Turbine Blades using Flexible Multibody Approach”. Tesis. College of Engineering Jazan University.
- [7] Nishizawa, 2013. An Experimental Study of the Shapes of Rotor for Horizontal-Axis Small Wind Turbines. *Renewable Energy*. Japan. Volume 49. pp 69
- [8] Radhakarisman. 2018. *Design and Optimisation of a Low Reynolds Number Airfoil for Small Horizontal Axis Wind Turbines*. Manipal Institute of Technology, Manipal, Karnataka, India. paper
- [9] Piggott. 2000. *Wind Power Workshop*. England: Centre For Alternative Technology.
- [10] Mathew. 2006. *Wind Energy Fundamentals Resource Analysis and Economics*. India: Springer.
- [11] Marten. Wendler. 2013. *Q-Blade Guidelines v0.6. Q-Blade*