

## PERANCANGAN BILAH HORIZONTAL JENIS TAPERLESS DENGAN AIRFOIL NACA 5412

Farid Arya Pratama<sup>1</sup>, Kun Suharno<sup>2</sup>, Sigit Iswahyudi<sup>3</sup>  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tidar  
Jln. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara  
Email: [faridarya1933@gmail.com](mailto:faridarya1933@gmail.com)<sup>1</sup>, [kun\\_plumbor@yahoo.com](mailto:kun_plumbor@yahoo.com)<sup>2</sup>,  
[sigitiswahyudi@untidar.ac.id](mailto:sigitiswahyudi@untidar.ac.id)<sup>3</sup>

### ABSTRAK

**Intisari** - Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang saat ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah energi angin. Energi ini merupakan energi yang bersih dan dalam proses produksinya tidak mencemari lingkungan. Energi angin dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan turbin angin. Komponen utama turbin angin adalah bilah. Unjuk kerja bilah turbin PLT-Angin dapat ditingkatkan dengan memperhitungkan karakteristik aliran fluida yang menyentuh permukaan bilah turbin aerodynamics analysis. salah satu software yang digunakan untuk menganalisis aerodinamika bilah adalah Q-Blade. Kemudian software Solidwork digunakan untuk menampilkan desain 3D bilah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan memmanufaktur Bilah *Horizontal* jenis *taperless* dengan *airfoil* NACA 5412. Metode penelitian yang digunakan adalah perancangan. Hasil Perancangan bilah menggunakan software Qblade sebagai analisis performa bilah, kemudian menggunakan software Solidwork sebagai desain tiga dimensinya dan menggunakan software Microsoft Exel sebagai mengolah data dan perhitungan. Proses manufaktur bilah meliputi pemilihan bahan yang tepat yaitu menggunakan kayu mahoni, kemudian proses pembuatan bilah yang dilakukan sesuai dengan perancangan *airfoil* NACA 5412.

**Kata kunci** - Bilah, NACA 5412, *Qblade*

### ABSTRACT

**Abstract** - One of the uses of renewable energy that currently has great potential to be developed is wind energy. This energy is clean energy and in its production process does not pollute the environment. Wind energy can be converted into electrical energy by wind turbines. The main components of a wind turbine are blades. The performance of the PLT-Wind turbine blades can be improved by taking into account the characteristics of the fluid flow that touches the surface of the turbine blades aerodynamics analysis. One of the software used to analyze blade aerodynamics is Q-Blade. Then Solidwork software was used to display the 3D design of the blade. This study aims to design and manufacture tapered horizontal blades with NACA 5412 airfoil. The research method used is design. The results of the blade design using Qblade software as a blade performance analysis, then using Solidwork software as a three-dimensional design and using Microsoft Exel software to process data and calculations. The blade manufacturing process includes selecting the right material using mahogany wood, then the blade manufacturing process is carried out in accordance with the NACA 5412 airfoil design.

**Keywords** – Blade, NACA 5412, *QBlade*

## PENDAHULUAN

Energi memiliki peran penting dan tidak dapat dilepaskan dalam kehidupan manusia. Terlebih, saat ini hampir semua aktivitas manusia sangat tergantung pada energi. Berbagai alat pendukung, seperti alat penerangan, motor penggerak, peralatan rumah tangga, dan mesin-mesin industri dapat difungsikan jika ada energi. Namun, seperti yang telah diketahui, terdapat dua kelompok besar energi yang didasarkan pada pembaharuan. Dua kelompok tersebut adalah energi terbarukan dan energi yang tersedia terbatas di alam. Energi terbarukan ini meliputi energi matahari, energi air, energi listrik, energi nuklir, energi minyak bumi dan gas, sedangkan energi yang tersedia terbatas di alam meliputi energi yang berasal dari fosil/energi mineral dan batubara. Pada dasarnya, pemanfaatan energi-energi tersebut sudah dilakukan sejak dahulu. Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke tekanan udara rendah. Apabila dipanaskan, udara memuai. Udara yang telah memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun karena udaranya berkurang. Udara dingin disekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah tadi. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Di atas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dikarenakan konveksi. Pengembangan energi terbarukan dapat dijadikan unggulan untuk mendampingi atau mensubstitusi penggunaan bahan bakar minyak. Pengkajian energi ini mutlak dilakukan agar tidak terjadi krisis energi. Melalui kajian mesin konversi energi maka energi terbarukan di Indonesia dapat dimanfaatkan secara optimal untuk kebutuhan energi di dalam menunjang keberlangsungan pembangunan dan

kebutuhan manusia di bidang energi. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang saat ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah energi angin. Energi ini merupakan energi yang bersih dan dalam proses produksinya tidak mencemari lingkungan.

Besar energi listrik yang dihasilkan PLTA Angin sangat dipengaruhi oleh unjuk kerja bilah turbin (rotor) untuk menghasilkan putaran [1]. Putaran bilah turbin menghasilkan torsi untuk memutar generator. Putaran dan torsi pada bilah turbin dipengaruhi oleh aerodinamika bilah turbin dan kecepatan angin. Unjuk kerja bilah turbin PLTA Angin dapat ditingkatkan dengan memperhitungkan karakteristik aliran fluida yang menyentuh permukaan bilah turbin (aerodynamics analysis) [3]. Berdasarkan latar belakang tersebut penelitian ini bertujuan untuk merancang dan memmanufaktur Bilah *Horizontal* jenis *taperless* dengan *airfoil* NACA 5412

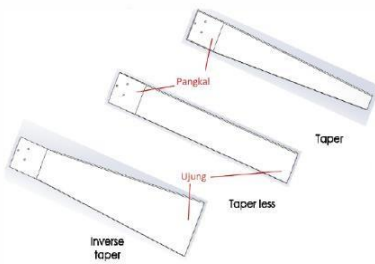
## LANDASAN TEORI

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Turbin angin dimanfaatkan untuk menghasilkan energi kinetik maupun energi listrik.

Desain dari kincir/turbin angin sangat banyak macam jenisnya, berdasarkan bentuk rotor, kincir angin dibagi menjadi dua tipe, yaitu turbin angin sumbu mendatar (*horizontal axis wind turbine*) dan turbin angin sumbu vertikal (*vertical axis wind turbine*) [1].

Komponen yang pertama berinteraksi dengan angin sebelum dikonversi menjadi energi mekanik, atau komponen yang pertama kali menerima energi angin adalah bilah. Bilah memiliki tiga jenis, yaitu *taper*, *taperless* dan *inverse taper*. *Taper* memiliki ciri yaitu pangkal yang mengecil. *Taperless* memiliki ciri dimensi ujung sampai pangkal

bilah adalah sama sedangkan *invers taper* memiliki ciri pangkal bilah yang membesar [4]. Jenis bilah seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

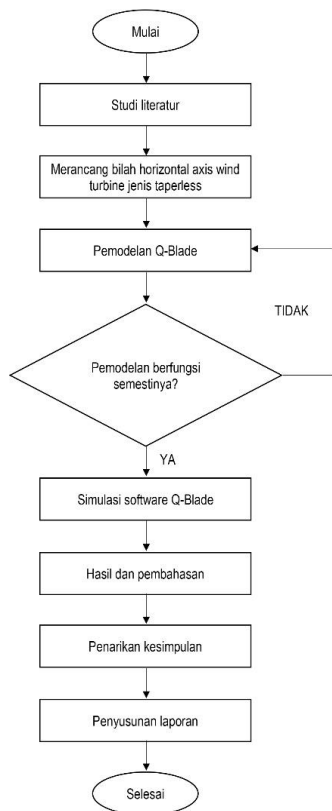


Gambar 1. Jenis bilah

*Q-Blade* adalah *open source* turbin angin, *software* perhitungan, didistribusikan di bawah *GNU General Public License*. Perangkat lunak mulus diintegrasikan ke *XFOIL*, alat desain dan analisis *airfoil*.

**METODE PENELITIAN**

Diagram alir yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Perancangan Bilah**

Asumsi nilai parameter perancangan bilah, sebagai berikut:

1. Daya listrik ( $W_e$ ) : 500 watt
2. Efisiensi bilah ( $\eta_b$ ) : atas bawah 0,3  
batas atas 0,4
3. Efisiensi generator ( $\eta_g$ ) : 0,9
4. Efisiensi transmisi ( $\eta_t$ ) : 1
5. Efisiensi controller ( $\eta_c$ ) : 0,9
6. Kecepatan angin ( $V$ ) : 12 m/s
7. Massa jenis udara ( $\rho$ ) : 1,225 kg/m<sup>3</sup>

Rumus perhitungan:

Efisiensi Sistem (K) :

$$K = \eta_b \times \eta_g \times \eta_t \times \eta_c \times \eta_s$$

Daya Angin ( $W_a$ ) :  
 Luas Sapuan Area (A) :  
 Jari-jari (R) :  $W_a = \frac{W_e}{K}$

Hasil *input* parameter dan perhitungan dari perancangan bilah dengan parameter yang sudah ditentukan oleh PT Lentera Bumi Nusantara. Seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Parameter perancangan bilah 1

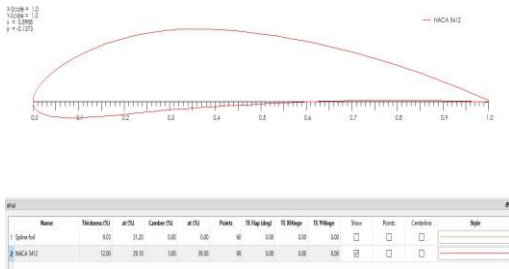
Daya Listrik P(watt)	Efisiensi					Daya Angin P(watt)
	Bilah	Generator	Transmisi	Controller	Sistem	
500	0,2	0,9	1	0,9	0,162	3086,420
	0,4				0,324	1543,210

$$R = \sqrt{\frac{W_a}{\rho V_{max}^3}}$$

Tabel 2. Parameter perancangan bilah 2

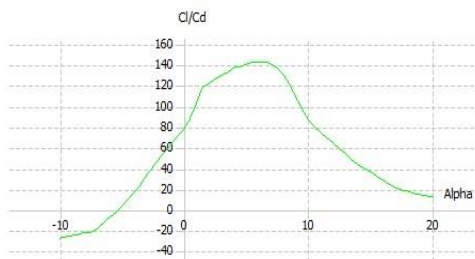
Kecepatan Angin	Masa Jenis Udara	Luas Sapuan Area	Jari-Jari	Jari-Jari yang Digunakan
(m/s)	(kg/m <sup>3</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m)	
12	1,225	2,92	0,96	1
		1,46	0,68	

Tampilan profil *airfoil* NACA 5412, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. profil *airfoil* NACA 5412

Dari analisis XFOIL menggunakan software Q-Blade diperoleh grafik Cl/Cd – Alpha. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Cl/Cd - Alpha

Selanjutnya masukkan nilai Cl/Cd tertinggi pada tabel perancangan bilah. Seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter perancangan bilah 3

TSR	Airfoil	Cl/Cd	Cr	Jumlah Bilah
7	NACA 5412	142,8	0,12	3

Rumus jari-jari parsial bilah:

$$r = 0,17 + \left[ \left( \frac{R - 0,17}{n} \right) \times (\text{elemen}) \right]$$

Rumus TSR parsial:

$$\lambda_{\text{elemen}} = \lambda_{\text{TSR}} \times \text{elemen}$$

Dengan  $\lambda_{\text{TSR}}$  ialah TSR yang digunakan. Pastikan pada elemen ke-10 TSR parsial

( $\lambda_{\text{elemen}}$ ) sama dengan TSR bilah ( $\lambda_{\text{TSR}}$ ). Seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Geometri bilah 1

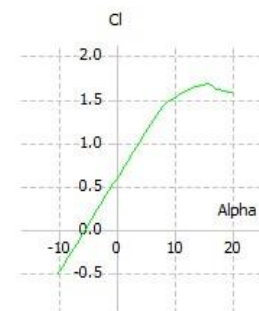
GEOMETRI BILAH

Elemen	Jari-Jari Parsial	TSR Parsial
0	0,170	1,2
1	0,253	1,8
2	0,336	2,4
3	0,419	2,9
4	0,502	3,5
5	0,585	4,1
6	0,668	4,7
7	0,751	5,3
8	0,834	5,8
9	0,917	6,4
10	1,000	7,0

Rumus koefisien lift (Cl) untuk tiap elemen bilah:

$$Cl = \frac{16\pi R \left(\frac{R}{r}\right)}{9\lambda^2 B Cr}$$

Mencari nilai Alpha untuk masing-masing nilai Cl menggunakan grafik Cl-Alpha pada Q-Blade. Bila nilai Cl tidak berasosiasi dengan nilai Alpha, maka gunakan nilai Alpha tertinggi. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik Cl - Alpha

Rumus *flow angle*  $\phi$  untuk tiap elemen bilah:

$$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda r}$$

Rumus *twist*  $\psi$  untuk tiap elemen bilah:

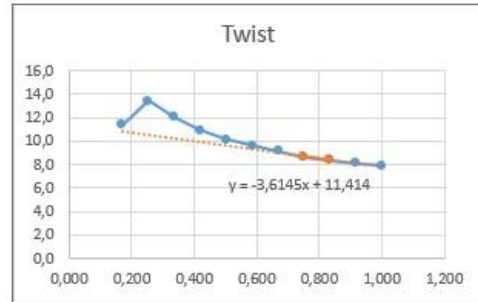
$$\psi = \phi - \phi_{\text{elemen}}$$

Berikut adalah geometri bilah dengan *flow angel* dan *twist* yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Geometri bilah 2

GEOMETRI BILAH

Elemen	Jari-Jari Parsial	TSR Parsial	Flow Angel	Cl	Alpha	Twist
0	0,170	1,2	26,7	1,86	15,3	11,4
1	0,253	1,8	19,6	1,25	6,2	13,4
2	0,336	2,4	15,4	0,94	3,3	12,1
3	0,419	2,9	12,6	0,76	1,6	11,0
4	0,502	3,5	10,6	0,63	0,4	10,2
5	0,585	4,1	9,1	0,54	-0,5	9,6
6	0,668	4,7	8,0	0,47	-1,1	9,1
7	0,751	5,3	7,2	0,42	-1,5	8,7
8	0,834	5,8	6,5	0,38	-1,9	8,4
9	0,917	6,4	5,9	0,35	-2,2	8,1
10	1,000	7,0	5,4	0,32	-2,5	7,9



Gambar 2 Grafik linearisasi sudut punter

Rumus *twist linear* untuk tiap elemen bilah menggunakan persamaan garis lurus yang telah diperoleh sebelumnya:

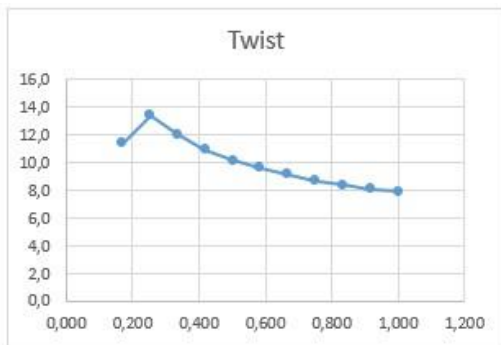
$$= -3.6145x + 11.414$$

Berikut adalah tabel nilai *twist linear* seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 4.6 Twist

Twist	Twist Linear 75%	Twist Linear
11,4		10,80
13,4		10,50
12,1		10,20
11,0		9,90
10,2		9,60
9,6		9,30
9,1		9,00
8,7	8,7	8,70
8,4	8,4	8,40
8,1		8,10
7,9		7,80

Grafik *twist* terhadap jari-jari parsial (posisi elemen) untuk melihat kecenderungan sudut puntir, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

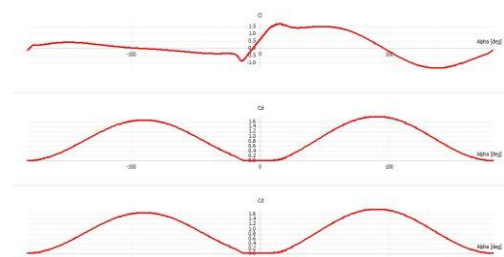


Gambar 1 Grafik sudut puntir

Mengambil dua titik sebagai acuan untuk membuat persamaan garis linear, misalnya titik ke-7 dan ke-8. Titik ke-7 dan ke-8 digunakan karena posisi 75% jari-jari merupakan titik yang paling optimal untuk dibuat persamaan garis linear

Grafik linearisasi sudut puntir, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

Berikut adalah grafik hasil ekstrapolasi polar pada software Q-Blade ditunjukkan pada Gambar 8.



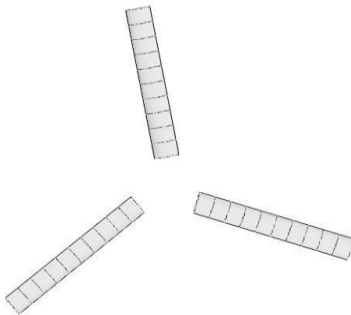
Gambar 3. Grafik ekstrapolasi polar

Berikut adalah parameter input pada software Q-Blade. Input posisi tiap elemen pada kolom Pos(m), lebar chord pada kolom Chord (m), sudut puntir pada kolom Twist, serta jenis *airfoil* beserta polarnya pada kolom Foil dan Polar. Seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Pos (m)	Chord (m)	Twist	Foil	Polar
1	0,17	10,8	NACA 5412	T1_Re1.000_MC
2	0,253	10,5	NACA 5412	T1_Re1.000_MC
3	0,336	10,2	NACA 5412	T1_Re1.000_MC
4	0,419	9,9	NACA 5412	T1_Re1.000_MC
5	0,502	9,6	NACA 5412	T1_Re1.000_MC
6	0,585	9,3	NACA 5412	T1_Re1.000_MC
7	0,668	9	NACA 5412	T1_Re1.000_MC
8	0,751	8,7	NACA 5412	T1_Re1.000_MC
9	0,834	8,4	NACA 5412	T1_Re1.000_MC
10	0,917	8,1	NACA 5412	T1_Re1.000_MC
11	1	7,8	NACA 5412	T1_Re1.000_MC

Gambar 9. Parameter input pada software Q-Blade

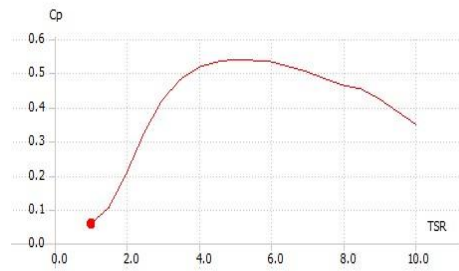
Diperoleh tampilan model bilah pada software Q-Blade, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Tampilan model bilah pada software Q-Blade

## B. Hasil simulasi bilah

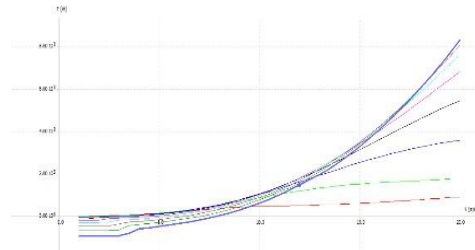
1. Nilai Coefisien power ( $C_p$ ) terhadap Tip speed ratio (Tsr).



Gambar 12. Grafik Daya (P) - Kecepatan (V)

Grafik di atas pada Gambar 11. menunjukkan nilai maksimum *coefisien power* 0,53 pada tip speed ratio 4 hingga 6.

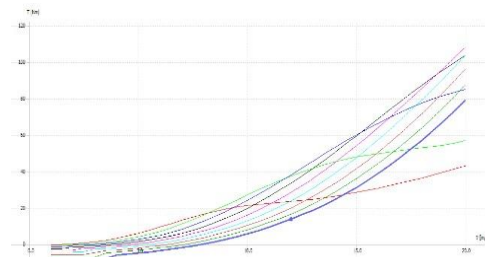
2. Nilai Daya (P) terhadap Kecepatan (V)



Gambar 12. Grafik Daya (P) - Kecepatan (V)

Dari Gambar 12, menunjukkan grafik daya terhadap kecepatan untuk airfoil NACA 5412 memberikan output daya 1450 watt pada kecepatan 12 m/s dan kecepatan putaran 1000 rpm.

3. Nilai Torsi (T) terhadap Kecepatan (V)



Gambar 13. Grafik Torsi (T) - Kecepatan (V)

Dari Gambar 13, menunjukkan grafik daya terhadap kecepatan untuk airfoil NACA 5412 memberikan output torsi 14 Nm pada

kecepatan angin 12 m/s dan kecepatan putaran 1000 rpm.

#### SIMPULAN

Didapatkannya rancangan *blade* turbin angin dengan jumlah sudu sebanyak 3 *blade* dengan diameter 1 m, *airfoil* NACA 5412 dan diperoleh nilai maksimum *coefisien power* 0,53 pada tip speed ratio 4 hingga 6. Output daya 1450 watt pada kecepatan 12 m/s dan kecepatan putaran 1000 rpm. Output torsi 14 Nm pada kecepatan angin 12 m/s dan kecepatan putaran 1000 rpm.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Daryanto, Y., 2007. Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, Balai PPTAGG - UPT-LAGG
- [2] Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N dan Bossanyi, E. 2001. *Wind Energy Handbook*. Chichester, John Wiley & Sons, Ltd.
- [3] Stiesdal, H. 1999. *The Wind Turbine Components & Operation*, Brande, Energy.
- [4] Zahra, Inayah N. 2016. *Dasar – dasar Perancangan Bilah*. Tasikmalaya: Lentera Bumi Nusantara.