



## Analisis Perancangan Bilah Horizontal Axis Wind Turbin Jenis Taperless Dengan Airfoil NACA 4418

Wahid Yusuf Ramadhan<sup>1</sup>, Jojo Sumarjo<sup>2</sup>, Viktor Naubnome<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang Jl. H.S Ronggowaluyo, Telukjambe Timur, Kabupaten Karawang, 4136.

Received: 12 Juli 2022  
Revised: 18 Juli 2022  
Accepted: 29 Juli 2022

### Abstract

Wind speed in Indonesia only ranges from 3 meters/s to 11 meters/s, it is quite difficult to generate electricity on a large scale, it is also what makes the utilization of wind energy still very low. Wind turbine modifications need to be carried out by adjusting to low wind speed conditions to be able to produce optimal electrical energy. Therefore, a HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) blade design was made using NACA airfoils that have a high  $C_l / C_d$  value to produce 500 W of power at a wind speed of 1 meter / s – 12 meters / s. The study was conducted in 3 stages, First the calculation stage to determine the radius, chord and twist of the blade. The second stages is initial design of the blades were carried out by simulation using Q-Blade software to determine the NACA airfoil used and find out the coefficient performance and power produced. The last stages of blade design use solidworks software that produces a 3D blade design. The design results produced HAWT blades with Taperless type NACA 4418 airfoils with a blade radius of 0.9 m, chord width of 0.12 m, and a twist angle of  $6.92^\circ - 10.08^\circ$ .

**Keywords:** Blade, NACA 4418, Wind Turbine

(\*) Corresponding Author: [1810631150152@student.unsika.ac.id](mailto:1810631150152@student.unsika.ac.id), HP. 083874194160

**How to Cite:** Ramadhan, W., Sumarjo, J., & Naubnome, V. (2022). Analisis Perancangan Bilah Horizontal Axis Wind Turbin Jenis Taperless Dengan Airfoil NACA 4418. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(14), 355-369. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6994964>

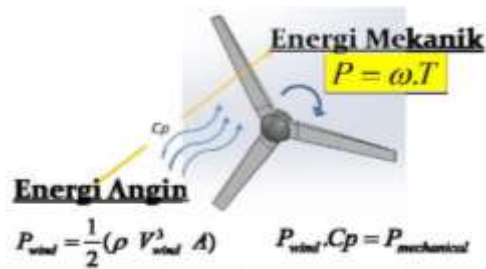
## PENDAHULUAN

Energi angin dapat ditentukan oleh keadaan setengah kali densitas udara, luas area sapuan bilah serta kecepatan angin yang tinggi pangkat 3 (LAN, 2014). Sedangkan energi mekanik ditentukan oleh seberapa banyak putaran rotor yang di kalikan dengan torsi. Turbin angin horizontal dengan tipe 3 bilah merupakan turbin angin yang memiliki kemampuan tertinggi sebesar 45%, bahkan dalam hipotesis Betz dapat mencapai 59%. Jika diuraikan, semakin tinggi efektivitas sudu bilah maka semakin ideal dalam mengubah energi angin. Bagaimanapun, kecepatan angin normal di Indonesia hanya 3 m/s – 6 m/s yang termasuk kedalam klasifikasi angin yang rendah (KESDM, 2016).

Berdasarkan data dari KESDM, daerah-daerah yang memiliki potensi angin ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan karakteristik turbin angin skala kecil, maka dibutuhkan kecepatan angin sekurang-kurangnya 3 m/s untuk memutar bilah. Kecepatan energi angina di daerah pesisir selatan jawa, sumatera, dan pulau-pulau

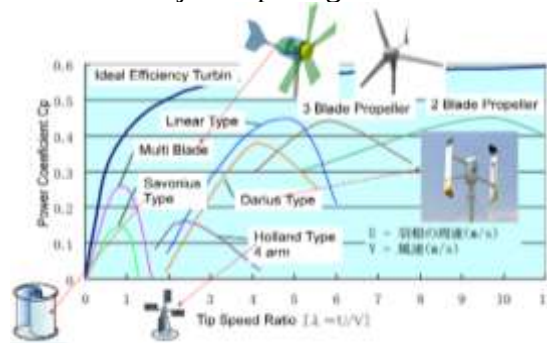






**Gambar 3.** Skema terjadinya konversi energi pada turbin angin.

Turbin angin memiliki nilai Coefficient Performance ( $C_p$ ) yang sudah ditentukan sejak awal perancangan, sehingga dapat diperoleh energi mekanik yang maksimal. Energi mekanik dari turbin ini berupa kecepatan putaran bilah ( $\omega$ ) dan torsi (besar gaya yang diberikan pada suatu Panjang lengan beban/bilah). Nilai efesiensi turbin ( $C_p$ ) terhadap nilai Tip Speed Ratio (TSR) untuk tipe turbin angin secara umum ditunjukkan pada gambar 4 berikut:



**Gambar 4.** Efisiensi turbin angin berdasarkan tipenya

## 2. Komponen Turbin Angin

Adapun komponen penting yang terdapat pada turbin angin sumbu horizontal, yaitu sebagai berikut:



**Gambar 5.** Komponen Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) (Sumber: LAN, 2014)

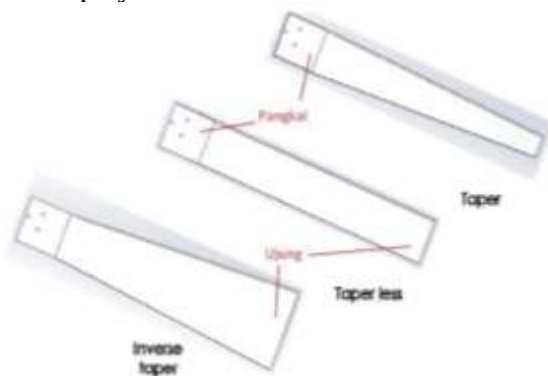
### – Bilah

Bilah atau baling-baling adalah bagian penting dalam kerangka pembangkit turbin tenaga angin, karena bagian inilah yang berhubungan langsung dengan angin. Bilah memiliki bagian-bagian yang meliputi:

- Radius* (panjang bilah)
- Chord* (lebar bilah)

- c. *Leading Edge* (permukaan depan airfoil)
- d. *Trailing Edge* (permukaan belakang airfoil)
- e. *Chord line* (garis yang menghubungkan tepi utama dan tepi berikutnya)
- f. *Setting of angle* (sudut antara garis chord dan bidang putaran rotor)
- g. *Angle of Attack* (sudut antara garis chord dengan arus angin relatif)
- h. *Coefficient Performance* ( $C_p$ ), kapasitas kincir angin untuk menyerap energi.
- i. *Twist* atau sudut puntir adalah titik antara garis chord dan bidang poros rotor.
- j. *Tip Speed Ratio* (TSR) adalah proporsi kecepatan langsung di ujung bilah terhadap kecepatan angin
- k. Airfoil adalah bentuk bilah berdasarkan daya angkat dan hambat terhadap arus atau aliran angin yang melewatinya

Berdasarkan bentuknya, bilah pada turbin angin sumbu horizontal di bedakan menjadi 3 tipe yaitu:

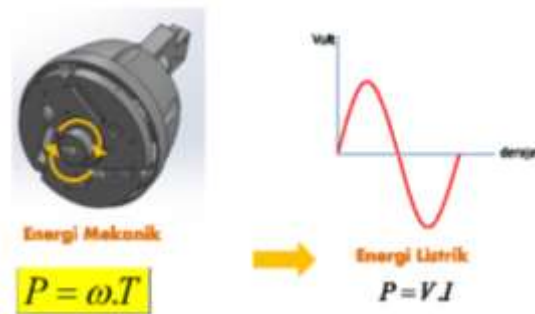


**Gambar 6.** Jenis bilah berdasarkan bentuknya. (Sumber: LAN, 2014)

- *Taper*: memiliki pangkal yang lebih besar daripada ujungnya, cocok untuk kecepatan angin yang tinggi.
- *Taperless*: pangkal sampai ujungnya berukuran yang sama. Bilah ini cocok untuk daerah yang energi anginnya berkecepatan sedang.
- *Inverse Taper*: pangkalnya lebih kecil daripada ujungnya atau bisa dikatakan bilah jenis ini memiliki bentuk semakin besar ke ujung nya. Bilah jenis ini sangat cocok untuk wilayah yang kecepatan anginnya rendah

#### – Generator

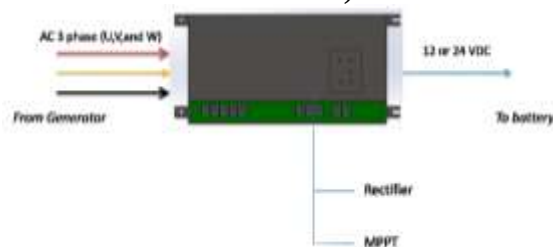
Generator merupakan alat konversi energi mekanik yang merupakan penjumlahan energi potensial dengan energi kinetik menjadi energi listrik. Generator berfungsi untuk mengubah torsi ( $\tau$ ) dan kecepatan putar rotor yang diterima dari bilah menjadi nilai tegangan ( $v$ ) dan arus ( $I$ ). Hasil keluaran dari generator ialah listrik bertegangan AC dengan 3 fasa.



**Gambar 7.** Mekanisme perubahan energi pada generator (Sumber: LAN, 2014)

#### – Controller

Controller berguna untuk mengubah energi listrik AC menjadi DC seperti halnya mengelola kerangka tegangan informasi yang berfluktuasi dari generator untuk diseimbangkan sebelum disimpan ke dalam baterai. Ada dua perspektif utama dalam pengatur turbin angin, khususnya penyearah (*rectifier*) dan MPPT (*Maximum Power Point Tracker*).



**Gambar 8.** Sistem controller. (Sumber: LAN, 2014)

#### – Baterai

Baterai berfungsi sebagai mekanisme penyimpanan energi listrik yang dihasilkan dari putaran rotor di generator. Di dalam baterai terdapat reaksi elektrokimia yaitu pengisian (*charging*) dan pelepasan (*discharging*).

#### – Inverter

Inverter berfungsi untuk mengkonversi energi listrik dengan tegangan DC pada baterai menjadi tegangan berarus AC yang nantinya dapat digunakan untuk kebutuhan alat rumah tangga yang memerlukan energi listrik bertegangan AC.



**Gambar 9.** Inverter (Sumber: LAN, 2014)

### 3. Perhitungan Perancangan Bilah

Perancangan bilah ini dimulai dengan penentuan kapasitas daya maksimal yang dihasilkan oleh kincir angin, dimana generator yang digunakan adalah *The Sky Dancer* (TSD) dengan daya 500 W.

Sebelum melakukan tahap desain bilah, diharuskan untuk menentukan nilai parameter yang akan digunakan terlebih dahulu sebagai acuan dalam melakukan perancangan geometri bilah. Parameter tersebut adalah sebagai berikut :

– **Daya angin ( $P_{wind}$ )**

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Keterangan :

$P_{wind}$  = Daya energi angin (W)

$\rho$  = Densitas jenis udara ( $Kg/m^3$ )

$A$  = Luas area sapuan bilah ( $m^2$ )

$v$  = Kecepatan angin ( $m/s$ )

– **Efisiensi sistem turbin angin ( $K$ )**

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

Keterangan :

$K$  = efisiensi sistem

$\eta_b$  = efisiensi pada bilah

$\eta_g$  = efisiensi pada generator

$\eta_t$  = efisiensi pada transmisi

$\eta_c$  = efisiensi pada kontroler

– **Tip Speed Ratio / TSR ( $\lambda$ )**

TSR merupakan perbandingan antara kecepatan linear di ujung bilah terhadap kecepatan angin, yang ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$\lambda = \frac{(\omega \times R)}{v}$$

dimana :

$\omega$  = Kecepatan sudut ( rad/s )

– **Jari-jari bilah ( $R$ )**

Dari persamaan dalam menentukan daya angin akan didapat persamaan untuk mencari luas sapuan bilah serta jari-jari bilah ( $R$ ), yang ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$A = \frac{2P_a}{\rho v^3}$$

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Keterangan:

$A$  = luas sapuan bilah ( $m^2$ )

$R$  = jari-jari bilah ( $m$ )

– **Koefisien Lift ( $C_l$ )**

Nilai koefisien lift  $C_l$  untuk tiap elemen bilah menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

Keterangan:

$C_l$  = koefisien lift

$B$  = jumlah bilah

$C_r$  = lebar bilah / chord

$r$  = jari-jari parsial

– **Sudut puntir / Twist ( $\beta$ )**

Sudut puntir pada setiap elemen bilah dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

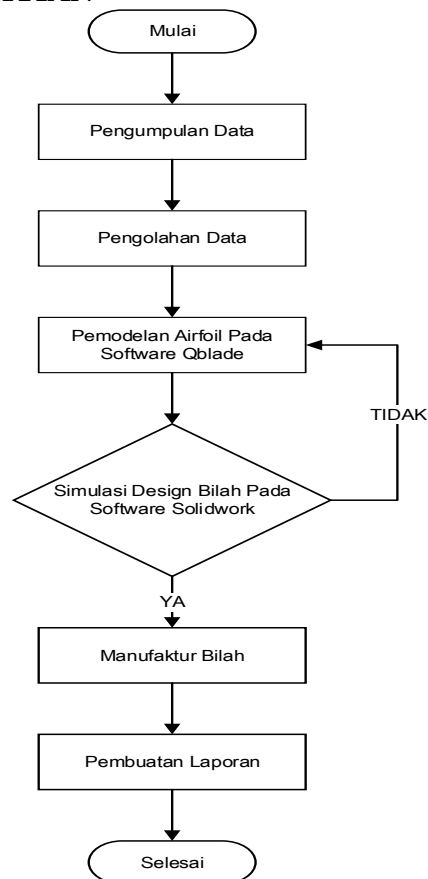
$$\beta = \phi \times \alpha$$

Keterangan :

$\beta$  = Sudut puntir (Twist)

$\alpha$  = Sudut serang (angle of attack)

## METODOLOGI PENELITIAN



**Gambar 10.** Diagram alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Perancangan Geometri Bilah

Simulasi yang dilakukan menggunakan metode BEM (*Blade Element Momentum*) pada software Q-Blade, hal ini dilakukan agar nilai yang berupa grafik  $C_p$ -TSR serta Daya (P) yang dihasilkan terhadap kecepatan angin (v) diketahui. Diharapkan pada saat posisi dimana nilai TSR sebesar 7 dan kecepatan dari energi anginnya sebesar 12 m/s, bilah pada turbin angin dapat menghasilkan daya sebesar  $P \geq 500$  W.

#### ➤ Perhitungan Model

Dalam tahap ini nilai efisiensi bilah dimasukkan 2 kali, yaitu saat efisiensi dalam keadaan rendah (batas atas) sebesar 30% dan efisiensi tinggi (batas bawah) sebesar 40%. Pada perancangan ini juga nilai efisiensi yang digunakan di transmisi, generator, serta efisiensi di controller sebesar 80%. Sehingga data parameter awal pada perancangan yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut:

**Tabel 1.** Parameter awal perancangan

| No | Data                     | Simbol               | Nilai | Satuan            |
|----|--------------------------|----------------------|-------|-------------------|
| 1  | Kapasitas Daya Listrik   | $P_{el}$             | 500   | W                 |
| 2  | Efisiensi Bilah          | Batas atas $\eta_b$  | 0.3   | -                 |
|    |                          | Batas bawah $\eta_b$ | 0.4   |                   |
| 3  | Efisiensi Transmisi      | $\eta_t$             | 0.8   |                   |
| 4  | Efisiensi Generator      | $\eta_g$             | 0.8   |                   |
| 5  | Efisiensi Controller     | $\eta_c$             | 0.8   |                   |
| 6  | Kecepatan Angin Maksimum | $V_{max}$            | 12    | m/s               |
| 7  | Densitas Udara           | $\rho$               | 1.225 | Kg/m <sup>3</sup> |

Parameter bilah ditentukan berdasarkan kecepatan angin, kapasitas daya listrik, dan efisiensi system (efisiensi bilah, generator, transmisi, dan controller). Parameter data untuk menentukan panjang jari-jari pada bilah dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

**Tabel 2.** Parameter perancangan bilah dengan panjang jari-jari 0.9 m

| $P_{el}$ | Efisiensi |          |          |          |      | $P_{wind}$ | $V_{max}$ | A    | R    | R    |
|----------|-----------|----------|----------|----------|------|------------|-----------|------|------|------|
|          | $\eta_b$  | $\eta_t$ | $\eta_g$ | $\eta_c$ | K    |            |           |      |      |      |
| 500      | 0.3       | 0.8      | 0.8      | 0.8      | 0.15 | 3255.2     | 12        | 3.00 | 0.98 | 0.90 |
|          | 0.4       |          |          |          | 0.20 | 2441.4     |           | 2.25 | 0.85 |      |

#### ➤ Perancangan Model

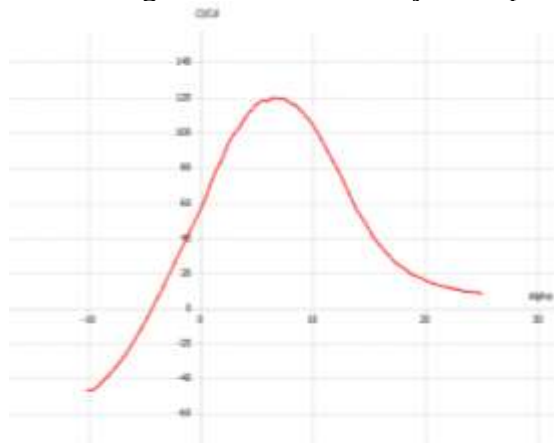
Tahap ini dilakukan pada software Q-Blade dengan cara memasukkan nilai dimensi pada setiap elemen bilah yang sudah diketahui. Tahap selanjutnya ialah menentukan *Tip Speed Ratio* yang akan diestimasi, tetapi di akhir nanti nilai *Tip Speed Ratio* (TSR) dapat berubah. TSR untuk turbin angin dengan 3 bilah memiliki nilai TSR sebesar 7. Pada tabel 4.3 berikut akan menunjukkan nilai TSR yang digunakan pada 3 bilah dengan *airfoil* NACA 4418.

**Tabel 3.** Nilai TSR pada 3 bilah dengan Airfoil 4418

| TSR | Airfoil   | $C_l/C_d$ | Cr   | Jumlah Bilah (B) |
|-----|-----------|-----------|------|------------------|
| 7   | NACA 4418 | 119.3     | 0.12 | 3                |

Pada tabel 3 terdapat nilai  $C_l/C_d$ , yang mana nilai tersebut didapat dari grafik hasil simulasi pada *Software* Q-Blade dengan *Airfoil* NACA 4418. Nilai yang

digunakan pada grafik antara  $C_l/C_d$  dengan alpha yang akan digunakan adalah nilai maksimum dari grafik dan akan ditunjukkan pada gambar berikut:



**Gambar 11.** Grafik  $C_l/C_d$  terhadap Alpha

### ➤ Penentuan Geometri Perancangan Model

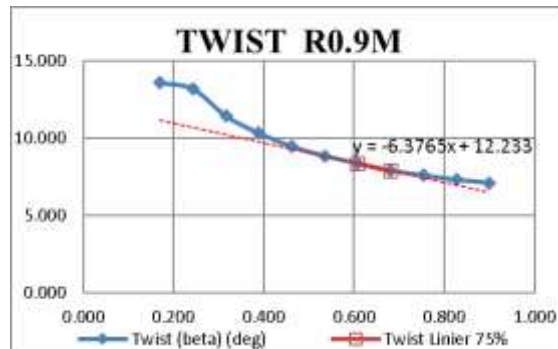
Pada tahap ini, seluruh parameter yang telah didapat akan di hitung untuk memperkirakan bentuk bilah yang akan buat. Tahap pertama yang harus dilakukan ialah melakukan penentuan jumlah elemen. Umumnya pembagian elemen untuk perancangan bilah berkisar antara 10-20 elemen, dan pada perancangan ini jumlah elemen dibagi menjadi 10. Pada kolom pertama merupakan bagian dari *innermost station* atau jarak dari pusat hub ke bagian bilah yang akan menempel ke generator, yaitu sebesar 0.170m.

Penentuan geometri bilah secara lengkap ditunjukkan pada Tabel 4 berikut:

**Tabel 4.** Geometri bilah *taperless* dengan Airfoil NACA 4418-0.9m

| $r$ | $r$   | $\lambda_r$ | $C_l$ | Alpha  | Flow Angle ( $\phi$ ) | Twist ( $\beta$ ) | Twist Linier 75% | Twist Linier 75% |
|-----|-------|-------------|-------|--------|-----------------------|-------------------|------------------|------------------|
| 0   | 0.170 | 1.32        | 1.51  | 11.138 | 24.734                | 13.596            |                  | 11.15            |
| 1   | 0.243 | 1.89        | 1.06  | 5.398  | 18.589                | 13.191            |                  | 10.68            |
| 2   | 0.316 | 2.46        | 0.81  | 3.334  | 14.760                | 11.426            |                  | 10.22            |
| 3   | 0.389 | 3.03        | 0.66  | 1.871  | 12.193                | 10.322            |                  | 9.75             |
| 4   | 0.462 | 3.59        | 0.56  | 0.917  | 10.368                | 9.451             |                  | 9.29             |
| 5   | 0.535 | 4.16        | 0.48  | 0.160  | 9.009                 | 8.849             |                  | 8.82             |
| 6   | 0.608 | 4.73        | 0.42  | -0.396 | 7.960                 | 8.356             | 8.356            | 8.36             |
| 7   | 0.681 | 5.30        | 0.38  | -0.763 | 7.128                 | 7.891             | 7.891            | 7.89             |
| 8   | 0.754 | 5.86        | 0.34  | -1.133 | 6.451                 | 7.584             |                  | 7.43             |
| 9   | 0.827 | 6.43        | 0.31  | -1.411 | 5.891                 | 7.302             |                  | 6.96             |
| 10  | 0.900 | 7.00        | 0.28  | -1.682 | 5.420                 | 7.102             |                  | 6.49             |

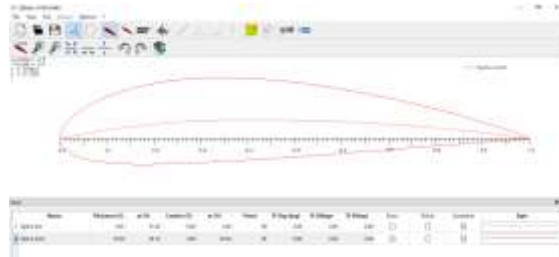
Setelah mendapatkan jari-jari parsial dan twist di tiap elemennya. Twist atau sudut puntir yang didapat ternyata tidak sesuai dan tidak membentuk garis linear, hal tersebut tentunya akan menyulitkan proses pembuatan bilah, maka dari itu diperlukan optimasi sudut twist dengan linearisasi garis. Pada gambar 4 berikut akan menunjukkan optimasi twist geometri bilah dengan parameter panjang 0.9 m.



**Gambar 12.** Grafik twist terhadap jari-jari parsial (R0.9m).

➤ **Simulasi Bilah Dengan Software Q-Blade Dan SolidWork**

Dalam pemodelan bilah menggunakan Software Q-Blade, hal pertama kali kita lakukan adalah memasukan jenis *airfoil* yang akan kita gunakan. Dalam perancangan ini, penulis menggunakan jenis *airfoil* NACA 4418 dengan jenis bilah *taperless*. Pada gambar 4.6 berikut akan ditunjukkan bentuk dari *airfoil* NACA 4418.



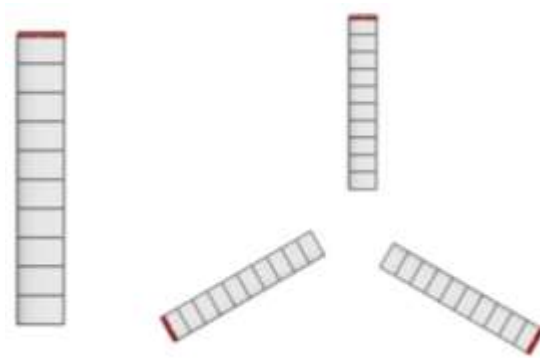
**Gambar 13.** Desain Airfoil NACA 4418 pada Software Q-blade.

Setelah mendapatkan desain dari *airfoil* yang akan digunakan, langkah selanjutnya adalah memasukan data parameter geometri bilah yang akan digunakan untuk mendapatkan desain *rotorblade* seperti ditunjukkan pada gambar 14 dan gambar 15 berikut:

The screenshot displays the Q-Blade software interface showing the parameters for the rotor blade design. The table lists parameters for 9 sections of the blade.

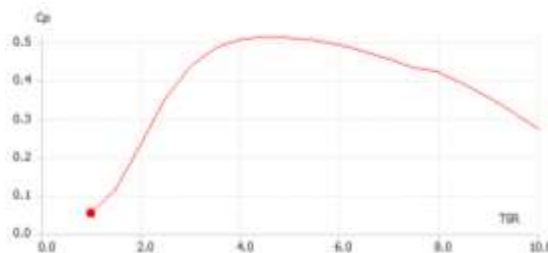
| Pos (m) | Chord (m) | Twist | foil      |
|---------|-----------|-------|-----------|
| 1       | 0.170     | 11.15 | NACA 4418 |
| 2       | 0.243     | 10.68 | NACA 4418 |
| 3       | 0.316     | 10.22 | NACA 4418 |
| 4       | 0.389     | 9.75  | NACA 4418 |
| 5       | 0.462     | 9.29  | NACA 4418 |
| 6       | 0.535     | 8.82  | NACA 4418 |
| 7       | 0.608     | 8.36  | NACA 4418 |
| 8       | 0.681     | 7.89  | NACA 4418 |
| 9       | 0.754     | 7.43  | NACA 4418 |

**Gambar 14.** Parameter pada desain Rotorblade



**Gambar 15.** Desain Rotorblade NACA 4418-R0.9-CR0.12

Setelah didapat desain *rotorblade* dari parameter geometri bilah, lakukan simulasi rotor dengan metode *Blade Element Momentum* pada *software* Q-Blade untuk mendapatkan grafik  $C_p - TSR$ . Berdasarkan hasil simulasi bilah memiliki  $C_p$  51.2 % pada TSR 4.5, hasil simulasi tersebut terangkum pada gambar 16 berikut:



**Gambar 16.** Grafik *coefficient performance* terhadap TSR ( $C_p$ -TSR)

Dari hasil perancangan geometri *airfoil* di Q-blade maka di dapatkan koordinat bilah yang akan digunakan dalam melakukan desain pada *software* solidwork. Gambar 17 memperlihatkan geometri bilah yang sudah di desain pada *software* solidwork.



**Gambar 17.** Design bilah taperless NACA 4418 pada *software* solidwork

## 2. Pemilihan Jenis Material

Bilah merupakan komponen paling penting dalam sistem turbin angin karena itu diperlukan material yang tahan terhadap situasi apapun. Karena suatu saat kemungkinan akan mengalami kerusakan yang parah seperti retak hingga patah yang di akibatkan oleh besarnya tekanan angin dari luas sapuan bilah. Dalam pembuatan bilah terdapat beberapa jenis material yang dapat digunakan seperti logam, kayu, hingga sterofoam.

Dalam perancangan kali ini, penulis menggunakan material kayu dengan jenis Mahoni yang ditunjukkan pada gambar 18, hal tersebut dikarenakan kayu mahoni memiliki beberapa keunggulan seperti ringan, kuat, anti korosi, mudah untuk

dibentuk, serta memiliki serat yang padat dan tidak terlalu keras sehingga dapat meminimalisir terjadinya patah pada saat pembuatan.



**Gambar 18.** Kayu Mahoni

Kayu yang akan digunakan harus dijemur terlebih dahulu agar serat kayu tidak terlalu basah sehingga dapat mempermudah proses pembuatannya.

### 3. Manufaktur Bilah

Di PT. LBN terdapat beberapa alat yang dapat digunakan untuk proses pembentukan bilah, seperti mesin ketam, mesin gerinda tangan, dan mesin bor duduk. Tahap pertama, yang harus dilakukan adalah menggaris batas kayu agar sesuai dengan geometri bilah yang telah direncanakan sebelumnya, seperti ketebalan bilah, lebar bilah maupun panjang bilah, yang kemudian dilakukan pemotongan dengan menggunakan mesin ketam.



**Gambar 19.** Proses manufaktur bilah dengan mesin ketam.

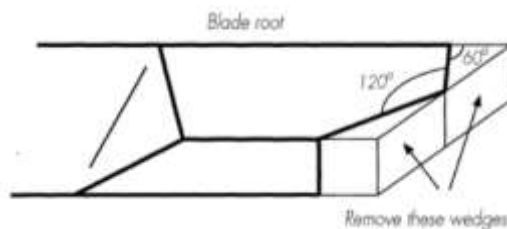
Setelah melakukan proses pengetaman kayu yang sesuai dengan rancangan, tahap selanjutnya ialah membuat mal dengan 10 elemen agar kemiringan ataupun bentuk radius geometri bilah sesuai dengan yang dirancang. Khusus pada mal nomor 10 akan ditempel desain *airfoil* yang telah di print agar dapat terlihat bentuk lengkungan yang akan dibuat.

Selanjutnya yaitu, proses pengikisan kayu dengan menggunakan mesin ketam untuk proses awal, yang kemudian dilanjutkan dengan amplas yang telah dirancang atau dipasang pada mesin gerinda tangan. Amplas yang digunakan pada proses ini ialah amplas 60 yang berguna untuk pengikisan awal karena amplas jenis ini cukup kasar sehingga dapat memudahkan proses pemakanan kayu, selain itu digunakan juga amplas 140 yang berguna untuk pengikisan tahap akhir (*finishing*) karena amplas 140 ini memiliki permukaan yang cukup halus.



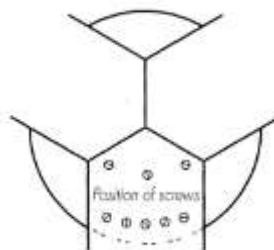
**Gambar 20.** Kayu Yang Telah Dibentuk Dan Dihaluskan

Setelah itu, tahap selanjutnya ialah pembentukan siku pada pangkal dengan memotong sudut pada kedua siku kayu bagian pangkal dengan sudut  $2 \times 30^\circ$ , lalu pastikan pemotongan kedua sudut tersebut memiliki nilai sebesar  $120^\circ$  yang dihitung dari bagian tengah pangkal. Pada gambar 21 berikut ini akan menunjukkan skema dalam proses pemotongan:



**Gambar 21.** Skema Pembuatan Siku Pada Pangkal Bilah.

Setelah ketiga bilah telah terbentuk sebuah sudut dengan nilai  $120^\circ$ , tahap selanjutnya adalah menempelkan setiap sudut yang bernilai  $120^\circ$  agar dapat terlihat seperti membentuk sudut  $360^\circ$ .

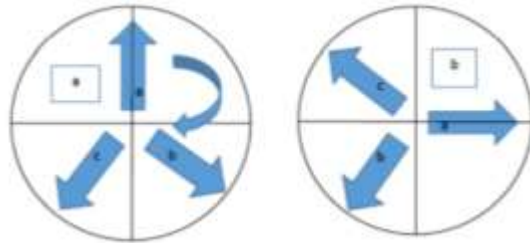


**Gambar 22.** Skema Penyambungan Siku Bilah

Tahap akhirnya adalah melakukan proses balancing pada ketiga bilah tersebut. Balancing sendiri merupakan sebuah metode dalam menyeimbangkan bilah yang bertujuan untuk memastikan agar pusat gravitasi tetap pada rotor yang terletak dibagian tengah dan bukan pada bilah itu sendiri.

Proses balancing harus dilakukan dalam ruangan yang bebas dari aliran fluida (dalam hal ini fluida yang dimaksud adalah angin). Sebagai contoh, pada saat proses balancing sedang berlangsung ternyata salah satu bilah ada yang berputar, maka hal tersebut dapat di nyatakan salah atau gagal. Hal tersebut di akibatkan oleh adanya perbedaan berat pada salah satu bilah,

Untuk mengatasi kesalahan tersebut maka dilakukan kembali proses pengikisan ataupun penambahan beberapa gram pada bilah sampai ketiga bilah tersebut seimbang. Balancing tidak harus memiliki berat yang sama tetapi reaksi yang dihasilkan dari ketiga bilah tersebut harus sama. Jika salah satu bilah dalam keadaan diam, maka semua bilah pun harus diam.



**Gambar 23.** Cara *balancing* bilah.

Proses balancing ini dapat mempengaruhi performansi pada turbin angin, jika bilah tidak seimbang maka akan dapat merusak rotor pada generator dari turbin angin tersebut.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa perancangan bilah taperless dengan airfoil 4418, maka didapatkan kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Perancangan bilah Taperless NACA 4418 menggunakan parameter panjang jari-jari 0.9 m, dengan lebar chord 0,12 m, dan *twist angle* 6.49 – 11.15°.
2. Simulasi rotor dengan metode *Blade Element Momentum* pada software Q-Blade bilah memiliki  $C_p$  51.2 % pada TSR 4.5.
3. Daya maksimum yang dihasilkan bilah *taperless* dengan *Airfoil* NACA 4418 saat kecepatan angin 12 m/s adalah sebesar 1440 Watt ketika kecepatan sudut bilah 620 rpm.

Dan dari hasil pengujian kayu mahoni terjadi kelengkungan pada kayu untuk bilah karena efek penjemuran kayu terlalu lama, dan terpapar matahari langsung.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Sanchez-Miralles, C. Calvillo, F. Martín, dan J. Villar,s. (2014). “*Use, Operation and Maintenance of Renewable Energy System*”. vol. July 2014.
- Inayah N. Zahra, (2016), “DASAR-DASAR PERANCANGAN BILAH”, Ciheras: Lentera Bumi Nusantara.
- KESDM. (2015). “Rencana Strategis Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral 2015-2019”.
- N.H. Sari, W.G. Laksmna. (2019). “Perancangan Bilah Taperless Pada Kincir Angin: Studi Kasus Di PT. Lentera Bumi Nusantara Tasikmalaya”. *Jurnal Keilmuan Dan Terapan*. 9(2). 104-109
- Piggot, Hugh. “*Windpower Workshop: Building Your Own Wind Turbine. Centre of Alternative Technology Publications*”.
- Tim Lentera Angin Nusantara. (2014). “Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin”. Tasikmalaya, Jawa Barat.
- Tim Lentera Angin Nusantara. (2017). “Profil Lentera Bumi Nusantara”. Tasikmalaya, Jawa Barat.

Sayogo, A., & Caroko, N. (2016). “Perancangan Dan Pembuatan Kincir Angin Tipe Horizontal Axis Wind Turbine (Hawt) Untuk Daerah Pantai Selatan Jawa”. *Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT)* 4, 438-445.