



## Perancangan bilah tipe *taperless* pada kincir angin: studi kasus di PT. Lentera Bumi Nusantara Tasikmalaya

### *Design of taperless type blades on wind turbines: case studies at PT. Lentera Bumi Nusantara Tasikmalaya*

**N.H. Sari<sup>\*</sup>, W.G. Laksmana**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP. 082235458894

\*Email: [n.herlinasari@unram.ac.id](mailto:n.herlinasari@unram.ac.id)

#### ARTICLE INFO

#### ABSTRACT

##### Article History:

Received 08 February 2019

Accepted 04 March 2019

Available online 1 July 2019

##### Keywords:

Chord

Twist angle

Blades

Taperless

Wind turbine



The studies related to new renewable energy are still being developed. This study aims to design taperless blades on wind turbines, case studies at PT. Lentera Bumi Nusantara. The wind speed conditions in Tasikmalaya which are considered relatively moderate can be designed efficiently by the appropriate wind characteristics in Tasikmalaya. Microsoft Excel, Qblade, Solid Works, and aerodynamic equations have been used to design a blade. The result shows that the blades have a solid, easy to make and affordable structure that can produce mechanical power at low wind speeds with a radius, diameter hub and chord length of 0.8 m, 0.19 m and 0.12 m, respectively. A twisting angle at the base and at the end of the blade are 11.14° and 7.17° respectively. The conclusion of this design exhibited that the blade design with the same edge blade can be applied to moderate wind speeds to produce efficient, compact and affordable wind turbines with wind characteristics in Tasikmalaya, Indonesia.

*Dinamika Teknik Mesin*, Vol. 9, No. 2, Juli 2019, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

### 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan sumber daya alam berlimpah yang berpotensi menjadi energi terbarukan. Saat ini, perkembangan energi terbarukan bertenaga angin menjadi fokus penelitian dari para peneliti dan industriawan dikarenakan Indonesia berada di daerah ekuator yang mendapatkan pergerakan udara lebih banyak (Zahra dan Situmorang, 2015). Ketergantungan terhadap bahan *fossil fuels* dapat dipecahkan dengan menggunakan energi bertenaga angin. Hasil *mapping* oleh Lembaga Penerbangan Antariksa Nasional Indonesia melaporkan bahwa kecepatan angin rata-rata di Indonesia di atas 5 m/s (Gibran dkk., 2015).

Beberapa studi telah merancang turbin angin dan tipe bilah yang disesuaikan dengan karakteristik pergerakan angin di perkotaan. Nishizawa (2011) telah merancang turbin angin untuk daerah perkotaan yang memiliki kecepatan angin berkisar 3-7 m/s. Ia melaporkan bahwa turbin angin yang cocok untuk daerah perkotaan adalah turbin angin mikro, hal ini dikarenakan *tip speed ratio*

(TSR) yang dimiliki oleh jenis turbin ini kecil sehingga kebisingan dapat diminimalkan saat turbin angin berkerja. Kemudian, Hatta dan Martin (2017) telah mendesain bilah tipe *inverse taper* pada turbin angin sumbu horizontal. Mereka menemukan bahwa bilah *inverse taper* yang dirancang memiliki nilai *coefficient power* ( $C_p$ ) sebesar 0,5 dan cocok untuk kecepatan angin 3-7 m/s. Selain itu, mereka melaporkan bahwa bilah yang dirancang memiliki jari-jari, diameter hub, panjang *chord awal* dan ujung sebesar 1,1 m, 2 m, 0,13 m dan 0,27 m, berturut-turut. Sudut puntir pangkal dan ujung telah diketahui sebesar  $20,4^\circ$  dan  $5,6^\circ$  berturut-turut, dan berat per bilah sekitar 0,7 kg. Madi (2017) telah merancang bilah tipe *tapper* dimana jenis dari bilah ini mengecil ke ujung menggunakan NACA 4412 pada turbin angin sumbu horizontal. Hasil rancangannya menunjukkan bahwa bilah yang dirancang memiliki jari-jari 1 m dan panjang *chord* dan sudut puntir awal sebesar 0,15 m dan  $10,66^\circ$ ; sedangkan ujung bilah dan sudut puntir ujung sebesar 0,03 m dan  $4,08^\circ$  berturut-turut. Nilai koefisien *lift/koefisien drag* ( $Cl/Cd$ ) ditemukan sebesar 133,5 dengan sudut  $Alpha$   $6^\circ$ , dan pada *tip speed ratio* (TSR) sebesar 7. Demikian juga, Ismail dan Arrahman (2017) telah merancang bilah tipe pada turbin angin sumbu horizontal. Mereka melaporkan bahwa kecepatan angin yang digunakan untuk merancang sebesar 7,5 m/s dengan ketinggian 110 m, nilai *tip speed ratio* adalah 9 dengan radius rotor sebesar 85 m dan diameter *hub* sebesar 10 m. Rotor telah diketahui sebesar 7,62 rpm. Mereka juga melaporkan bahwa pengujian rotor menggunakan *software* Q-Blade dengan sudut *pitch*  $2,95^\circ$  dan kecepatan awalan angin untuk memutar turbin (*cut in*) sebesar 3 m/s dapat menghasilkan koefisien daya ( $C_p$ ) adalah 0,493. Dari literatur-literatur diatas menunjukkan bahwa desain bilah *taperless* untuk turbin angin belum diselidiki. Dari berbagai tipe bilah yang tersedia, tipe bilah *taperless* adalah bilah yang paling mudah dalam pembuatannya, nilai efisiensi ideal dari bilah dapat mencapai 40% dan cocok untuk kondisi kecepatan angin 5-10 m/s (Hatta dan Martin, 2017).

Dalam pemilihan tipe bilah, faktor  $C_p$  dan TSR sangat penting untuk diperhatikan. Semakin besar nilai  $C_p$  menunjukkan kemampuan sebuah turbin untuk mendapatkan energi semakin tinggi. Demikian juga dengan nilai TSR; semakin besar nilai TSR maka akan semakin besar putarannya. Hal ini berarti bahwa kecepatan angin, *tip speed ratio*, koefisien *lift* dan *drag* merupakan parameter yang penting untuk diselidiki dari bilah jenis *taperless* ini karena dapat mempengaruhi performansi dari suatu turbin.

Oleh sebab itu, studi ini bermaksud untuk mendesain bilah jenis *taperless* pada kincir angin sumbu horizontal. Efisiensi dari bilah, kecepatan angin, *tip speed ratio*, koefisien *lift* dan *drag* telah dilaporkan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait jenis bilah *taperless* untuk turbin angin yang cocok untuk kondisi angin dengan kecepatan sedang 5-10 m/s.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Perancangan

Tipe bilah *taperless* dari turbin angin sumbu horizontal (TASH) 3 bilah telah dirancang dalam studi ini. Persamaan aerodinamis telah digunakan untuk mendesain bilah, *Qblade software* dimaksudkan untuk menyelidiki performa dan karakteristik dari bilah, sedangkan *microsoft excel*; menentukan geometri bilah.

Dari hasil perhitungan daya rencana didapatkan bahwa jari-jari yang digunakan adalah 0,8 m, dengan asumsi efisiensi bilah yang akan dirancang ialah dalam rentang 0,3 – 0,4 dengan kecepatan angin maksimal 12 m/s. Material yang digunakan adalah kayu mahoni; hal ini dikarenakan material kayu memiliki sifat kuat tapi ringan dan mudah didapatkan (Sari, 2018; Piggot, 2000). Tiap-tiap bilah kayu yang dirancang memiliki berat 1 kg per bilah, jenis *airfoil* yang digunakan adalah NACA 4415 dengan nilai  $Cl/Cd$  sebesar 129,5 (Hasting dkk, 1984).

### 2.2 Validasi rancangan

Validasi telah dilakukan terhadap hasil rancangan menggunakan *Qblade software*; hal ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik turbin angin yang telah dirancang yang disajikan dalam bentuk grafik dan kerja optimal dari turbin dibawah kondisi yang diterapkan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran dimensi bilah dilakukan dengan menetapkan variabel-variabel seperti disajikan dalam tabel 1. Output dari turbin angin yang akan dihasilkan menjadi dasar dilakukannya pengukuran ini.

Geometri bilah telah dihasilkan dengan menggunakan persamaan aerodinamis dan jumlah elemen bilah telah diketahui sebanyak 11 elemen.

Tabel 1 Variabel-variabel dari geometri bilah *taperless*

Daya rencana	500 W
Efisiensi bilah rencana	0,3-0,4
Efisiensi generator	0,9
Efisiensi transmisi	0,9
Densitas Udara	1,225 kg/m <sup>3</sup>
Torsi	8,5 Nm
Efisiensi ( <i>C<sub>p</sub></i> )	0,42
<i>Tip Speed Ratio</i>	7
Kecepatan angin rancangan	12 m/s

Penentuan nilai panjang *chord* serta sudut puntir dari setiap elemen dapat ditentukan jika *TSR* parsial dari masing-masing elemen telah diketahui.

Nilai *TSR* dapat ditentukan dengan persamaan 1 (Burton, 2001):

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

dengan,  $\lambda r$  adalah *TSR* parsial,  $r$  adalah jari-jari parsial,  $R$  adalah jari-jari yang digunakan dan  $\lambda R$  adalah *TSR* yang digunakan dalam rancangan.

Sebelum dilakukan perhitungan sudut puntir dari elemen bilah, perhitungan *flow angle* pada setiap elemen bilah telah ditentukan menggunakan persamaan 2 (Burton, 2001):

$$\phi = 2/3 \tan^{-1}(1/\lambda r) \quad (2)$$

dengan,  $\phi$  adalah *flow angle* (sudut alir); dan  $\lambda r$  adalah *TSR* parsial. Selanjutnya, sudut puntir pada setiap elemen dihitung dengan persamaan 3 (Burton, 2001):

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

dengan  $\beta$  adalah sudut puntir,  $\phi$  adalah *flow angle* (sudut alir) dan  $\alpha$  adalah sudut serang fluida. Pengukuran panjang *chord* ( $Cr$ ) dari setiap elemen bilah dapat diperoleh dengan persamaan 4 (Burton, 2001):

$$Cr = \frac{16\pi R(R/r)}{9\lambda^2 BCr} \quad (4)$$

dengan  $Cr$  adalah panjang *chord*,  $R$  adalah jari-jari yang digunakan,  $r$  adalah jari-jari parsial,  $\lambda R$  adalah *TSR* yang digunakan,  $B$  adalah jumlah bilah dan  $Cl$  adalah nilai koefisien *lift*.

Teknik linierisasi 75% dari elemen bilah telah dilakukan; hal ini dimaksudkan untuk mempermudah proses optimasi. Linierisasi telah dilakukan dengan menggunakan bantuan *microsoft excel*, seperti ditunjukkan oleh persamaan 5 (Gibran dkk. 2015). Hasil linierisasi dapat dilihat pada Tabel 2.

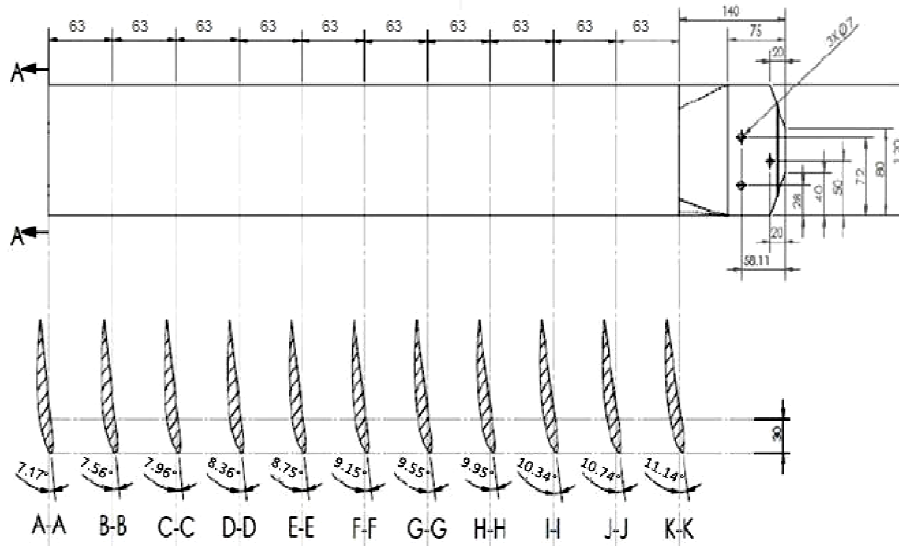
$$y = -6,3053x + 12,216 \quad (5)$$

dengan  $y$  adalah *optimum twist* dan  $x$  menyatakan jari-jari parsial. Lebih lanjut, perangkat lunak *solid works* digunakan untuk membentuk geometri bilah dalam dua dimensi. Hasil dari pemodelan yang dihasilkan disajikan dalam gambar 1.

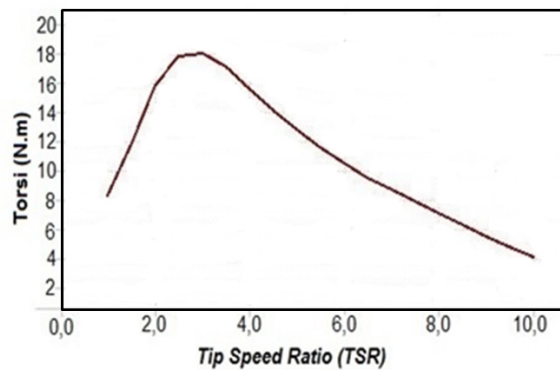
Selanjutnya, proses validasi; dalam proses ini hasil perhitungan geometri dimasukkan ke dalam *Qblade*. Hasil dari validasi ini diperlihatkan dalam gambar 2, 3 dan 4 yang meliputi daya, torsi, kecepatan putaran rotor, dan kecepatan angin, serta efisiensi dari bilah yang telah dihasilkan.

Bilah rancangan dengan jari-jari bilah 0,8 m, panjang bilah 0,77 m, lebar bilah atau *chord* 0,12 m dan tebal bilah 0,018 m telah dihasilkan dalam studi ini. Dari hasil simulasi *Qblade* (lihat gambar 2) memperlihatkan bahwa pada kecepatan angin 3 m/s, bilah mulai *cut in* atau menghasilkan energi listrik. Kecepatan angin rancangan, nilai *TSR* dan torsi mekanik telah diperoleh sebesar 12 m/s, 7

dan 8,5 Nm berturut-turut (lihat gambar 2). Lebih lanjut, nilai efisiensi ( $C_p$ ) telah ditemukan sebesar 0,42 (lihat gambar 3) dan daya mekanik yang dihasilkan sebesar 500 watt pada kecepatan putaran rotor sebesar 300 rpm (lihat gambar 4). Wood, (2011) menyatakan bahwa sistem *furling* dapat membantu mencegah rotor *overspeeding* dan turbin angin berhenti menghasilkan daya listrik (pada 13 m/s).



Gambar 1. Geometri bilah jenis *taperless* dalam 2 dimensi. A-A, B-B, C-C, D-D; E-E, F-F, G-G, H-H, I-I, J-J, dan K-K merupakan *section* penampang pada elemen 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 dari bilah *taperless*.

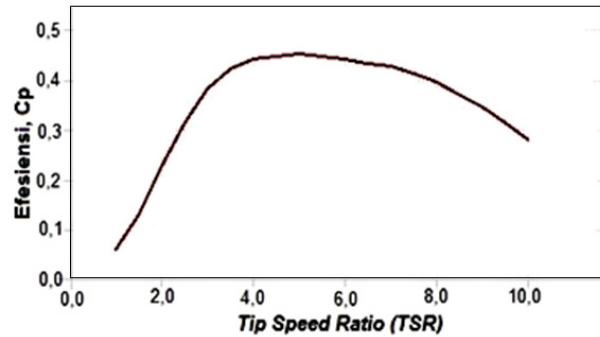


Gambar 2. Hubungan torsi dengan *tip speed ratio* dari bilah jenis *taperless*

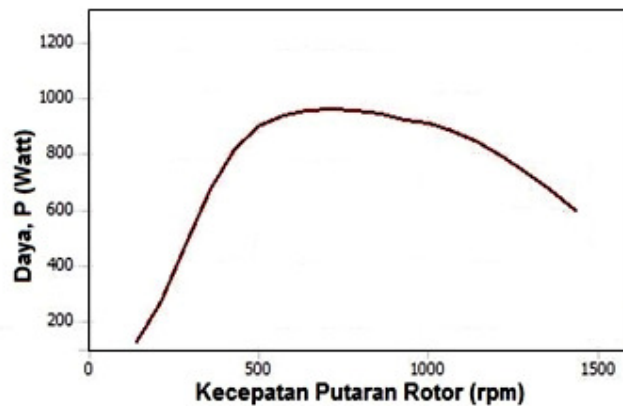
Tabel 2. Geometri bilah *taperless*

Elemen	Jari-jari parsial (m)	<i>Optimum twist</i> (°)
0	0,17	11,14
1	0,23	10,74
2	0,30	10,34
3	0,36	9,95
4	0,42	9,55

5	0,49	9,15
6	0,55	8,75
7	0,61	8,36
8	0,67	7,96
9	0,74	7,56
10	0,80	7,17



Gambar 2. Hubungan efisiensi dengan *tip speed ratio* dari bilah jenis *taperless*.



Gambar 4. Hubungan daya dengan kecepatan putaran rotor dari bilah jenis *taperless*.

#### 4. KESIMPULAN

Desain bilah *taperless* telah dihasilkan. Hasil studi menunjukkan bahwa bilah yang dihasilkan memiliki jari-jari bilah 0,8 m, panjang bilah 0,77 m, lebar bilah (*chord*) 0,12 m dan tebal bilah 0,018 m. Sudut puntir dari pangkal keujung sekitar 11,4° sampai 7,17°. Hasil ini memperlihatkan bahwa penerapan bilah *taperless* pada turbin angin sesuai untuk kecepatan angin yang ada di Tasikmalaya dalam kisaran 7-12 m/s dengan nilai *Cp* maksimum 0,5. Material bilah *taperless* ini disarankan adalah kayu mahoni; dikarenakan ringan, kuat dan mudah dibandingkan dengan besi dan plastik. Desain bilah *taperless* ini diharapkan dapat menjadi alternatif bilah pada turbin angin untuk angin yang berkecepatan sedang.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian sehingga paper ini terselesaikan. Yang kedua penulis mengucapkan terimakasih kepada Muhammad Al Roshady Said, ST selaku pembimbing lapangan

pada penelitian dalam rangka praktik kerja lapangan ini yang bertempat di Tasikmalaya, Jawa Barat, Indonesia.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Burton T., 2001, Wind energy handbook, John Wiley & Sons, Ltd, England.
- Fried L., 2015, Global wind statistic 2014, Belgium, Brussels.
- Gibran F., Safhire., 2015, Simulation of inverse taper wind turbine blade and transmission for indonesia wind condition, Indonesian Scholars International Convention, London.
- Hatta M., Martin A., 2017, Perancangan bilah tipe inverse taper pada turbin angin berdasarkan kondisi angin di pekanbaru, jurnal Jom FTEKNIK, 4(1), 1-4.
- Hasting R.C., 1984, Studies of the flow field near a NACA 4412 aerofoil at nearly maximum lift, Royal Aircraft Establishment, Farnborough, England.
- Ismail, Arrahman T., 2017, Perancangan turbin angin sumbu horizontal tiga sudu dengan kapasitas 3 MW, Jurnal /PRESISI, 18(2), 10-19.
- Madi, 2017, Studi perancangan horizontal axis wind turbine dengan perbedaan desain air foil pada bilah jenis taper untuk pembangkit listrik tenaga angin laut di Pantai Ciheras, PT. Lentera Angin Nusantara Surabaya, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Nishizawa Y., 2011, An experimental study of the shape of rotor for horizontal-axis wind turbine, Japan, InTech.
- Piggot H., 2000, Windpower workshop building your own wind turbine, British Wind Energy Association, Peninsula.
- Sari N.H., 2018, Material teknik, Edisi pertama, Deepublish, Yogyakarta.
- Wood D., 2011, Small wind turbines, Springer, Canada.
- Zahra I.N., 2014, Pengenalan teknologi pemanfaatan energi angin Tasikmalaya, PT. Lentera Bumi Nusantara, Tasikmalaya.
- Zahra I.N., Situmorang., 2015, Renewable energi nusantara Tasikmalaya, PT. Lentera Bumi Nusantara, Tasikmalaya.