

ANALISIS PERFORMA AIRFOIL USA-35B DALAM PERANCANGAN BILAH JENIS *TAPERLESS* PADA TURBIN ANGIN SUMBU *HORIZONTAL* 500 WATT

Lamhot Fernando Remember Simanjuntak^{1, a*}, Bobie Suhendra^{2, b}

¹Perumahan Regency, Jln. Biduri 1 No. 46 Blok E8 Rt/Rw 004/016, Cikampek Utara, Kec. Kota Baru, Kab. Karawang, Jawa Barat 41373,

² Jl. HS. Ronggo Waluyo, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361

^alamhot.nando9@gmail.com, ^bbobie.suhendra@ft.unsika.ac.id

Abstrak

Tenaga listrik adalah salah satu sistem energi yang mempunyai peranan penting dalam pembangunan kemajuan suatu negara. Terlebih pada saat sekarang ini muncul tantangan yang dihadapi umat manusia sejalan dengan bertambahnya jumlah penduduk aspek yang harus dipenuhi adalah pengadaan listrik yang terus meningkat. Konsumsi energi yang besar di ikuti dengan berkurangnya ketersediaan minyak khususnya di Indonesia. Salah satu contoh pemanfaatan energi angin adalah dengan turbin angin atau yang biasa kita sebut kincir angin. Indonesia sangat berpotensi untuk pengembangan energi terbarukan karena Indonesia memiliki kekayaan alam yang sangat melimpah, baik matahari, air, dan angin merupakan energi alternatif yang dapat dimanfaatkan sebaik mungkin oleh pemerintah. Indonesia merupakan salah satu negara dengan sumber daya berlimpah yang berpotensi menjadi energi terbarukan saat ini. Pada pembangkit listrik tenaga bayu yang menggunakan turbin angin terdapat beberapa komponen penting termasuk Bilah. Bilah ini bagian pertama yang berfungsi menerima angin lalu energi mekanik nya dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator Di PT. Lentera Bumi Nusantara (LBN). Oleh karena itu perlu dilakukan analisis untuk mengetahui jenis bilah yang cocok untuk diaplikasikan pada turbin angin di PT. Lentera Bumi Nusantara. Dari hasil simulasi menggunakan aplikasi *Qblade* didapatkan data analisis yaitu *Coeficient lift/Coeficient drag* sebesar 63.8 pada alpha 5,5. Pada kecepatan angin 12 m/s daya listrik yang dihasilkan adalah 1.415 watt, hasil daya listrik tersebut masih berpengaruh pada efisiensi generator dan efisiensi controller sehingga hasil akhir daya yang dihasilkan oleh turbin angin kurang lebih adalah 500 watt.

Kata kunci : Energi Angin, Turbin Angin, *Airfoil USA-35B*

Abstract

Electric power is one of the energy systems that has an important role in the development of a country's progress. Especially at this time, there are challenges faced by mankind in line with the increasing number of people, the aspect that must be met is the supply of electricity which continues to increase. The large energy consumption is followed by the reduced availability of oil, especially in Indonesia. One example of the use of wind energy is a wind turbine or what we usually call a windmill. Indonesia has great potential for the development of renewable energy because Indonesia has abundant natural resources, both sun, water and wind are alternative energies that can be utilized as best as possible by the government. Indonesia is one of the countries with abundant resources that have the potential to become renewable energy today. In wind power plants that use wind

turbines, there are several important components including blades. This blade is the first part that functions to receive wind and then its mechanical energy is converted into electrical energy by a generator. At PT. Lantern Bumi Nusantara (LBN). Therefore, it is necessary to conduct an analysis to determine the type of blades that are suitable to be applied to wind turbines at PT. Lantern Bumi Nusantara. From the simulation results using the Qblade application, the analysis data obtained is Coefficient lift/Coefficient drag of 63.8 at alpha 5.5. At a wind speed of 12 m/s the electrical power produced is 1,415 watts, the results of the electric power still affect the efficiency of the generator and the efficiency of the controller so that the final result of the power generated by the wind turbine is approximately 500 watts.

Keywords: Wind Energy, Wind Turbine, Airfoil USA-35B

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi angin yang sangat tinggi untuk mengembangkan pembangkit listrik dengan energi terbarukan. Energi angin merupakan salah satu potensi yang dimiliki oleh negara Indonesia dalam membangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).

Berdasarkan hasil pemetaan Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasioanal (LAPAN) pada 120 lokasi berbeda yang berada di indonesia, terdapat beberapa daerah yang kecepatan anginnya diatas m/s. Daerah tersebut meliputi Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan dan Pantai Selatan Jawa.

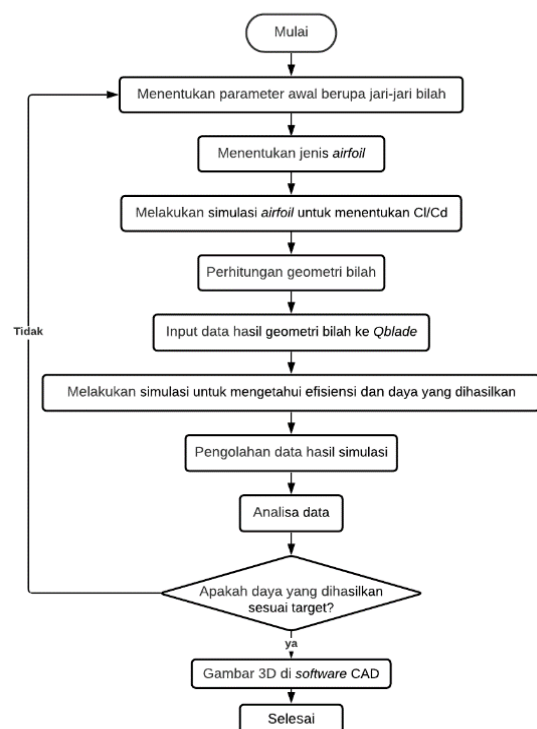
Di PT. Lentera Bumi Nusantara terdapat 2 jenis bilah yang diterapkan yaitu jenis taper dan *taperless*. Untuk bilah *taper* (mengecil ujungnya) itu cocok untuk angina yang berkecepatan tinggi sedangkan jenis *taperless* (lebar pangkal dan ujungnya sama) cocok untuk angina yang berkecepatan rendah dan tinggi. Rata-rata kecepatan angin di pantai ciheras yaitu 12m/s dengan turbin skala mikro dan didesain untuk TSR 7 [1].

Turbin dengan skala mikro ini dipilih karena biaya investasi yang terbilang kecil, hanya dengan menggunakan bahan kayupun bilah dapat dibuat. Dengan proses manufaktur yang sederhana ini maka tingkat ketelitian nya kurang presisi tapi tetap dapat dijalankan.

PT. Lentera Bumi Nusantara biasanya digunakan tipe *airfoil* naca clark y, naca 4412, naca 4415 dll. Dan pada penelitian kali ini untuk mengetahui performa bilah jenis *taperless* dengan menggunakan Airfoil USA-35B.

Energi angin itu sendiri adalah sebuah proses perubahan angin atau laju angin maka energi kinetik dari angin berubah menjadi energi mekanik dan dapat menghasilkan energi listrik setelah diproses pada alat generator.

METODE PENELITIAN



Gambar 1 ; Diagram Alir
Sumber : Koleksi Pribadi

1. Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah, atau dari daerah yang bersuhu rendah ke daerah yang bersuhu tinggi. Udara yang panas di suatu tempat di permukaan bumi akan mengalami pengembangan atau pemuaian sehingga tekanan udara menjadi lebih rendah dibandingkan sekitarnya. Udara yang lebih dingin dan bertekanan lebih tinggi di tempat lain akan bergerak menuju daerah ini untuk mengisi kekosongan yang ada.

2. Pengertian Turbin Angin

Turbin adalah suatu alat yang digunakan untuk merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Baik sumbernya berasal dari angin maupun arus laut, kedua sumber tersebut hasil dari setengah kali massa jenis/kepadatan massa sumber (ρ) dengan luas penampang turbin (A) dan pangkat tiga dari kecepatan (V^3) pergerakan sumber (angin maupun arus laut). Sehingga semakin besar kepadatan massa serta kecepatan pergerakan sumbernya, maka akan semakin besar energi listrik yang dihasilkan. Tidak ada sistem di dunia ini yang sempurna hingga mencapai batas 100%, salah satunya adalah sistem turbin angin. Suatu sistem hanya bisa menyerap energi di bawah 100%, kemampuan menyerap energi itulah yang disebut sebagai efisiensi (C_p). Energi angin berupa kecepatan putaran (ω) turbin dan torsi (T) [2].

Jenis-Jenis Turbin Angin

- a. Turbin Angin Sumbu Horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine)
Turbin anginsumbu horizontal memiliki poros rotor utamasejajar dengan arah angin, seperti pada sayap pada pesawat. Turbin angin jenis ini harus diarahkan sesuai dengan arah datangnya angin pada ketinggian yang memiliki kecepatan paling tinggi. Kelebihan dari turbin angin sumbu horizontal adalah tingkat ke-efisienan yang lebih

baik dikarenakan gaya hambat yang lebih kecil dibandingkan dari turbin angin sumbu vertikal [3].



Gambar 2 ; (HAWT)

Sumber : PT. LBN

- b. Turbin Angin Sumbu Vertikal (Vertical Axis Wind Turbine)
Turbin angin dengan sumbu vertikal merupakan turbin angin dengan poros yang berposisi tegak lurus terhadap arah angin. Prinsip kerja turbin angin poros vertikal dipengaruhi oleh gaya dorong angin yang menabrak bilah pada turbin angin sehingga menyebabkan terjadinya perputaran pada rotor



Gambar 3 ; (VAWT)

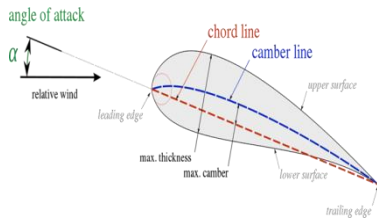
Sumber : Internet

3. Komponen Turbin Angin

Turbin angin mempunyai komponen - komponen utama yang secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Bilah (Blade).

Bilah adalah bagian rotor dari turbin angin yang mana menerima energi kinetik dari angin dan diubah ke dalam energi gerak putar. Menggunakan prinsip aerodinamika seperti halnya pesawat. Bilah memiliki beberapa bagian sebagai berikut:



Gambar 4 ; Bagian-bagian Bilah
 Sumber : LAN, 2014

- Radius, jari – jari blade untuk menentukan banyaknya energi angin yang diperoleh berdasarkan luas area sapuan benda.
- *Chord*, lebar blade.
- *Leading Edge*, tepi depan bilah dilihat dari tampak samping.
- *Trailing Edge*, tepi belakang bilah dilihat dari tampak samping.
- *Chord Line*, garis yang menghubungkan *leading edge* dengan *trailing edge*.
- *Setting of Angle, pitch* atau sudut yang terbentuk antara *chord line* dan bidang rotasi dari rotor.
- *Angle of Attack*, sudut serang atau sudut yang terbentuk antara *chord line* dengan arah gerak aliran udara *relative*

b. Generator

Generator merupakan alat konversi energi mekanik menjadi energi listrik. Generator mengubah torsi dan kecepatan putar rotor yang diterimanya dari blade menjadi nilai tegangan dan arus [2].

c. Contoller

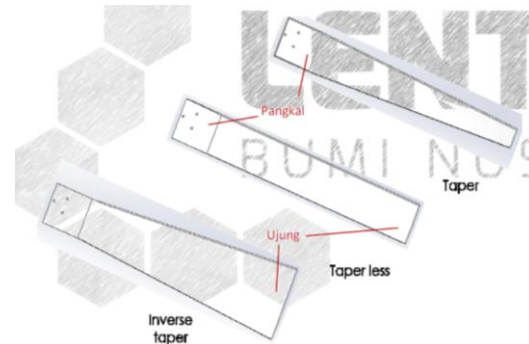
Contoller berperan sebagai alat konversi energi listrik AC menjadi DC dan pengatur sistem tegangan masukan yang fluktuatif dari generator untuk distabilkan sebelum disimpan ke baterai. Ada dua aspek utama dalam contoller turbin angin, yaitu rectifier dan MPPT [2].

d. Baterai

Baterai berperan sebagai media penyimpanan energi listrik keluaran dari contoller. Pada baterai terjadi reaksi elektrokimia charging dan discharging. Inverter

Inverter merupakan alat konversi listrik bertegangan AC dari baterai (12/24V) menjadi listrik bertegangan AC (220 V) sehingga bisa digunakan untuk peralatan listrik bertegangan AC, seperti peralatan rumah tangga sehari – hari yang bekerja pada tegangan 220 V/ 110 V [2].

4. Jenis-Jenis Bilah



Gambar 5 ; Jenis-jenis bilah
 Sumber : PT. LBN

a. Taper

Bilah jenis ini memiliki chord yang mengecil ke ujung. Bilah jenis ini cocok digunakan pada angin dengan kecepatan tinggi, karena semakin tinggi kecepatan angin maka putaran yang dihasilkan akan semakin tinggi juga [6].

b. Taperless

Bilah jenis ini memiliki chord yang sama dari pangkal sampai ke ujung. Bilah jenis ini cocok digunakan pada kecepatan angin rendah sampai tinggi [6].

c. Inverse taper

Bilah jenis ini memiliki chord yang membesar ke ujung, sehingga membuatnya cocok digunakan pada kondisi angin kecepatan rendah karena memiliki nilai torsi yang tinggi dibandingkan dengan jenis bilah yang lainnya [6].

5. Perhitungan Perancangan Bilah

Adapun sebelum mendesain bilah, hal yang terlebih dahulu harus dilakukan ialah menentukan parameter-parameter yang akan digunakan sebagai dasar perancangan geometri bilah. Parameter tersebut antara lain:

1. Daya angin yang dibutuhkan (Pa)

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

Dimana :

P_{wind} = Daya angin yang dibutuhkan (Watt)

ρ = Densitas udara (1,225 kg/m³)

A = Luas sapuan bilah (m²)

V = Kecepatan angin (m/s)

2. Efisiensi sistem kincir angin (K)

$$K = \eta_{Bilah} \times \eta_{Generator} \times \eta_{Transmisi} \times \eta_{Controller}$$

Dimana :

K = Efisiensi sistem

η bilah = Efisiensi bilah

η transmisi = Efisiensi transmisi

η generator = Efisiensi generator

η controller = Efisiensi controller

3. Luas Sapuan Bilah

Untuk mencari besarnya luas sapuan bilah maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$A = \frac{2p_a}{\rho v_{max}^3}$$

Dimana :

A = Luas sapuan bilah (m²)

ρ = Densitas udara (1,225 kg/m³)

v = Kecepatan angin (m/s)

4. Jari-jari Bilah yang akan Digunakan
Kemudian untuk mencari jari-jari bilah, maka persamaannya adalah:

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

Dimana :

R = Jari-jari bilah (m)

A = Luas sapuan bilah (m²)

π = 3,14

5. Jari-jari Parsial

$$r = 0.170 + \left[\left(\frac{R - 0.170}{n} \right) \times (\text{Elemen}) \right]$$

Dimana :

R = Jari-jari bilah yang digunakan (m)

n = Jumlah elemen,

Dalam hal ini, pada elemen ke-10 nilai jari-jari parsial (r) harus dipastikan sama dengan jari-jari bilah (R).

6. TSR Parsial (λr)

$$\lambda r = \frac{R}{r} \times \lambda$$

Dimana :

r = Jari-jari parsial

R = Jari-jari bilah yang

λR = TSR awal yang digunakan.

7. Flow Angle

Masing-masing elemen didapat dari rumus:

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

Dimana :

λr = TSR parsial tiap elemen bilah.

ϕ = Flow Angle

8. Coefficient Lift (Cl)

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

Dimana :

Cl = Coefficient lift

R = Jari-jari bilah (m)

λ = Tip Speed Ratio (TSR)

B = Jumlah bilah

C_r = Lebar bilah/ Chord

9. Sudut Serang (α)

Nilai alpha untuk masing-masing nilai Cl didapatkan menggunakan grafik Cl terhadap alpha pada *software Q-Blade*. Apabila nilai Cl tidak berasosiasi dengan nilai, maka digunakan nilai alpha tertinggi.

10. Sudut puntir/ Twist (β)

$$\beta = \phi - \alpha$$

Dimana :

β = Twist

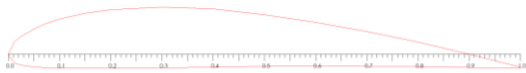
α = Jari-jari bilah (m)

ϕ = Flow angle [4-5]

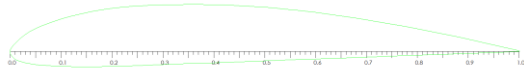
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Airfoil

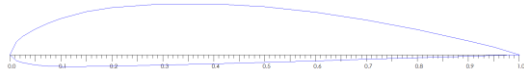
Pemilihan airfoil yang akan digunakan pada bilah ditentukan dengan berdasarkan rasio Cl/Cd airfoil yang tinggi dan insensitifitas terhadap perubahan sudut. Analisis airfoil USA-35B Adilakukan terhadap beberapa airfoil yaitu CLARK Y, GOE 593, dengan menggunakan bilangan Reynold 132254.



Gambar 6 ; Airfoil USA-35B
Sumber : PT. LBN



Gambar 7 ; Airfoil CLARK Y
Sumber : PT. LBN



Gambar 8 ; Airfoil GOE 593
Sumber : PT. LBN

1. Penentuan parameter Awal

batas bawah efisiensi bilah ditentukan sebesar 0.3 dan batas atas sebesar 0.4. Dengan menggunakan persamaan daya angin (P_a) yang dibutuhkan maka diperoleh efisiensi sistem batas bawah untuk nilai efisiensi bilah 0.3 sebesar 0.243, dan untuk batas atas nilai efisiensi bilah 0.4 yaitu sebesar 0.324. Perhitungan perancangan bilah dihitung dengan menggunakan 2 nilai efisiensi sistem yaitu dengan efisiensi bilah 0.3 dan 0.4 agar dapat diperoleh data jari-jari bilah minimal dan maksimal.

Untuk nilai jari-jari bilah diperoleh dengan mencari nilai untuk daya angin terlebih dahulu menggunakan persamaan. ($P_a = \frac{P_e}{\eta_{sistem}}$), kemudian dilanjutkan mencari nilai untuk luas sapuan bilah dengan menggunakan persamaan ($A = \frac{2P_a}{\rho v_{maks}^2}$), dan terakhir mencari jari-jari bilah menggunakan persamaan ($R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$).

Tabel 1 Penentuan parameter awal bilah

Kapasitas daya listrik (We)	Efisiensi					Daya Angin
	Bilah	Transmisi	Generator	Controller	Sistem	
500	0.3	1	0.9	0.9	0.24	2057.613
	0.4				0.32	1543.209

Tabel 2 Penentuan parameter awal bilah

V max	Luas Sapuan	Jari-jari	Jari-jari yang digunakan
12	19.44078958	2.48823919	1

14.58059218	2.15487835
-------------	------------

Langkah untuk parameter bilah taperless yaitu menentukan Tip Speed Ratio (TSR). Nilai TSR yang akan digunakan adalah 7 dengan jumlah bilah 3 buah. Namun pada akhir simulasi nanti TSR dapat berubah. Sedangkan untuk airfoil telah ditentukan sebelumnya.

Tabel 3 Parameter bilah dan airfoil yang dipilih

TSR	Airfoil	CI/Cd	Alpha	CI	Jumlah Bilah
7	USA-35B	63.8	5.5	1.165	3
	Clark-Y	61	6	1.02	3
	GOE 593	59.1	4.5	0.91	3

2. Penentuan Geometri Bilah

Pada tahap ini semua parameter yang telah ditentukan sebelumnya akan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan geometri bilah yang dirancang sebelum dibuat dalam bentuk gambar. Pertama kali yang harus dilakukan adalah penentuan jumlah elemen. Pada umumnya pembagian elemen pada perancangan bilah berkisar antara 10-20 elemen, namun pada perancangan ini bilah dibagi menjadi 11 elemen. Pembagian elemen ini dilakukan untuk mempermudah pada saat proses manufaktur bilah.

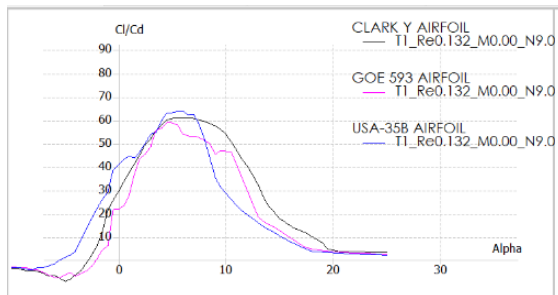
Tabel 4 Geometri Bilah

Elemen	r	TSR parsial	Cl	Alpha	Flow angle	T twist	T twist liner 75%	T twist liner 75%
0	0,250	1,75	0,84	15	19,83	4,83		10,07
1	0,325	2,275	0,65	7,55	15,82	8,27		9,866
2	0,400	2,8	0,53	4,33	13,10	8,77		9,662
3	0,475	3,325	0,44	2,57	11,16	8,59		9,458
4	0,550	3,85	0,38	1,4	9,71	8,31		9,254

5	0,62 5	4,3 75	0,3 4	0,6 4	8,58	7,9 4		9,0 5
6	0,70 0	4,9	0,3 0	- 0,0 4	7,69	7,7 3		8,8 46
7	0,77 5	5,4 25	0,2 7	- 0,5	6,96	7,4 6	7,6 9	8,6 42
8	0,85 0	5,9 5	0,2 5	- 0,8 6	6,36	7,2 2	7,3 5	8,4 38
9	0,92 5	6,4 75	0,2 3	- 1,1 4	5,85	6,9 9		8,2 34
10	1,00 0	7	0,2 1	- 1,4	5,42	6,8 2		8,0 3

3. Simulasi dan Analisis

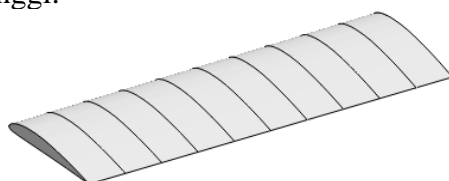
Mensimulasikan bentuk geometri bilah dengan menggunakan software Qblade, dengan memasukan angka-angka hasil perhitungan geometri bilah yang telah dibuat sebelumnya pada kolom yang berwarna abu-abu yang meliputi nilai jari-jari parsial, chord, twist, dan jenis airfoil.



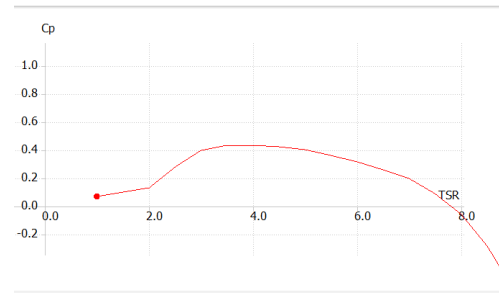
Gambar 9 ; Grafik Cl/Cd terhadap Alpha

Sumber ; Koleksi Pribadi

Hasil simulasi di aplikasi Qblade di dapatkan Cl/Cd terhadap Alpha. Airfoil USA-35B=63.8. CLARK Y=61. GOE 593=59.1. Maka Airfoil yang dipilih untuk perancangan adalah airfoil USA-35B karena memiliki nilai Cl/Cd yang tinggi.



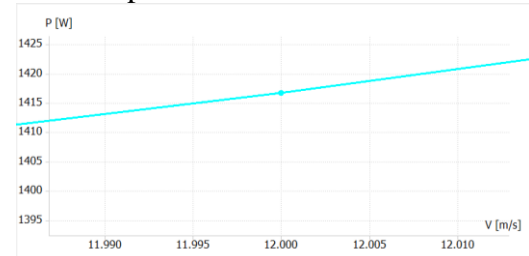
Gambar 10 ; Bilah Taperless Airfoil USA-35B di Qblade
Sumber ; Koleksi Pribadi



Gambar 11. Grafik Cp terhadap TSR Airfoil USA-35B

Sumber ; Koleksi Pribadi

Pada simulasi di Qblade mendapatkan nilai Coeficient power (CP) 0.44 pada Tip speed ratio (TSR) 4 dan memiliki nilai CP pada TSR 7 =0.20.



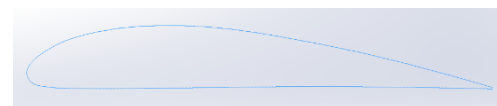
Gambar 12. Grafik daya yang dihasilkan USA-35B

Sumber ; Koleksi Pribadi

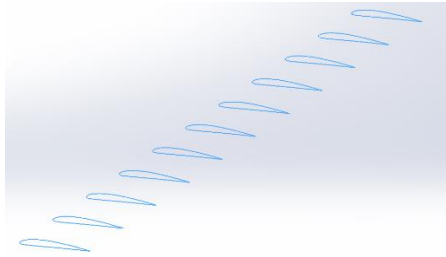
Dalam simulasi di *software* aplikasi Qblade pada kecepatan angin 12m/s, bilah dengan *airfoil* AH 79-100 A daya yang dihasilkan oleh turbin angin adalah sekitar 1415 watt.

4. Desain 3D Bilah

Data koordinat masing – masing elemen di-input dengan toolbar Curve (Curve Through XYZ Points) yang terdapat pada software CAD, akan menghasilkan bentuk airfoil dengan panjang chord 0,180 m, dan jarak koordinat airfoil adalah 0,125 m.

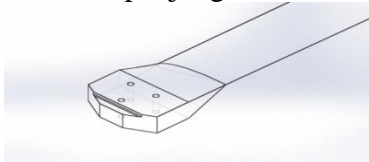


Gambar 13. Bentuk Airfoil dari Koordinat di Software CAD
Sumber ; Koleksi Pribadi

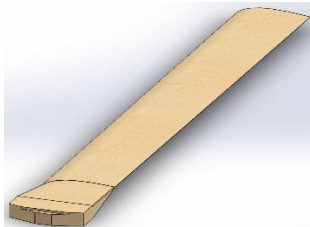


Gambar 14. Hasil Input Koordinat Airfoil tiap Elemen ke Software CAD
Sumber ; Koleksi Pribadi

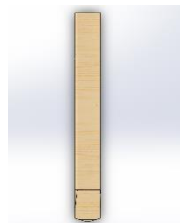
Langkah selanjutnya adalah menambahkan pangkal yang disesuaikan dengan geometri pada generator TSD 500 dan pembuatan lubang baut sesuai dengan ukurannya. Dan jari-jari (radius) bilah memiliki panjang 100 mm



Gambar 4. 1 Pangkal Bilah
Sumber ; Koleksi Pribadi



Gambar 4. 2 Bilah Taperless 3D Isometri
Sumber ; Koleksi Pribadi

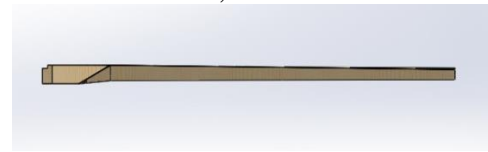


Gambar 4. 3 Bilah Taperless 3D Tampak Atas
Sumber ; Koleksi Pribadi



Gambar 4. 4 Bilah Taperless 3D Tampak Bawah

Sumber ; Koleksi Pribadi



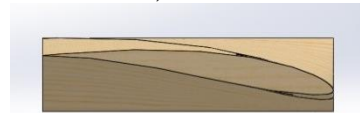
Gambar 4. 5 Bilah Taperless 3D Tampak kiri

Sumber ; Koleksi Pribadi



Gambar 4. 6 Bilah Taperless 3D Tampak Kanan

Sumber ; Koleksi Pribadi



Gambar 4. 7 Bilah Taperless 3D Tampak Depan

Sumber ; Koleksi Pribadi



Gambar 4. 8 Bilah Taperless 3D Tampak Belakang

Sumber ; Koleksi Pribadi

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa maka didapatkan kesimpulan yaitu sebagai berikut.

1. Turbin angin adalah suatu alat yang digunakan untuk merubah energi angin menjadi energi listrik.
2. Sistem kerja Turbin Angin yakni putaran blade membuat generator berputar dan menghasilkan tegangan AC. Kemudian dialirkan menuju Controller dan hasil keluaran dari controller ini berupa tegangan DC (telah dikonversi dari AC dan DC karena media penyimpanan energi dalam bentuk DC). Setelah itu dialirkan kembali menuju Data Logger untuk dilakukan perekaman data dan selanjutnya disimpan ke dalam

baterai/ aki. Sebelum digunakan ke beban (peralatan listrik AC), energi yang telah disimpan ini harus dikonversi terlebih dahulu melalui Inverter (tegangan DC menjadi AC). Hasil dari pengkonversian ini dialirkan di Site Ciheras di sudut – sudut seperti Mess Mahasiswa, Office, Dapur Umum, dan Ciheras Learning Centre

3. Hasil perancangan blade tipe Taperless Airfoil USA-35B memiliki panjang jari-jari 0,60 m, lebar chord 0,18 m, dan twist angle $6,74^{\circ}$ - $9,14^{\circ}$.
4. Hasil simulasi menunjukkan bilah memiliki C_p maksimum sebesar 0,44 pada TSR 4 dengan output daya yang dihasilkan maksimal sebesar 1440 Watt pada kecepatan angin maks 12 m/s yang mana tipe blade ini cocok untuk angin berkecepatan sedang/tinggi.

REFERENSI

- [1] Nusantara.L, Pengenalan Teknologi Pemanfaatan, Tasikmalaya, Lentera Angin Nusantara, 2014.
- [2] Nusantara. L. A, Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin, Tasikmalaya, LAN, 2014.
- [3] Sayogo. A, Caroko. N, Perancangan dan Pembuatan Kincir Angin Tipe Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) Untuk Daerah Pantai Selatan Jawa, Yogyakarta, Simposium Nasional Teknologi Terapan, 2016.
- [4] Piggot. H, Windpower Workshop: Building Your Own Wind Turbine, British, Centre of Alternative Technology Publications, 2003.
- [5] Piggot. H, Blow. J, Windpower Workshop: Building your Own Wind Turbine, Centre for Alternative Technology, 2011.
- [6] Zahra. I. N, Dasar-dasar Perancangan Bilah, Tasikmalaya, Lentera Bumi Nusantara, 2016.