

Perancangan Turbin Angin Bilah Horizontal Jenis Semi-Invers Taper dan Potensi Penggunaannya di Pantai Gajah Padang

Design of a Semi-Inverse Taper Horizontal Blade Wind Turbine and Its Potential use at Gajah Beach Padang

Putri Pratiwi^{1,*}, Frizky Yurian²

¹ Department of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang

² Undergraduate Program, Department of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia

[doi.10.21063/jtm.2021.v11.i1.74-79](https://doi.org/10.21063/jtm.2021.v11.i1.74-79)

*Correspondence should be addressed to pratiwi009@yahoo.com

Copyright © 2021 P. Pratiwi. This is an open access article distributed under the CC BY-NC-SA 4.0.

Article Information

Received:

March 28, 2021

Revised:

April 26, 2021

Accepted:

April 28, 2021

Published:

April 30, 2021

Abstract

The development of the use of wind energy to produce electrical is still quite attractive, especially in developing country such as Indonesia. Padang City is an area located on the west coast of Indonesia and is influenced by low speed wind with speeds ranging from 2 m/s to 10 m/s. The purpose of this research is to design a blade that can rotate in that speed range. The blade designed is a semi-inverse taper with a chord ratio of 1:1,3, the length of the blade is 90 cm. The design showed that the highest peak was found at 51% at TSR 4.5. Assuming a maximum generator speed of 500 rpm and the range of wind speeds from 1 m/s to 12 m/s, it is known that the blades begin to rotate at 2.1 m/s, the maximum power is 1324 Watts when the wind speed is 12 m/s.

Keywords: wind energy, turbine, blade, semi-inverse taper, NACA 4412.

1. Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan energi menjadi suatu permasalahan mendasar dalam kehidupan manusia. Demi mendapatkan kenyamanan serta diimbangi oleh ketersediaan teknologi yang semakin maju, memaksa manusia semakin bergantung pada ketersediaan sumber energi. Dalam *Outlook* Energi Indonesia tahun 2020 dijelaskan bahwa sumber energi di Indonesia masih didominasi oleh bahan bakar fosil sebagai penyedia energi di berbagai sektor seperti rumah tangga, transportasi, industri, komersil dan lainnya. Pada sektor transportasi, minyak bumi merupakan sumber energi utama, semetara sektor rumah tangga dan sektor industri menggunakan Batubara sebagai bahan bakar utama (sektor pembangkit listrik masih

didominasi PLTU Batubara). Hal ini diperkirakan masih akan berlangsung sampai tahun 2050 karena sumber energi ini masih dianggap efisien dan harganya lebih kompetitif dibandingkan dengan sumber energi lain [1]. Namun, hal ini menjadi beban berat bagi pemerintah karena sumber energi fosil, khususnya bahan bakar minyak ini masih disubsidi oleh negara melalui APBN. Untuk mengurangi beban subsidi tersebut, pemerintah berusaha mengurangi ketergantungan kepada bahan bakar minyak ini dan mencari dan mengembangkan sumber energi alternatif untuk diversifikasi energi [2].

Indonesia memiliki berbagai sumber daya energi salah satunya energi terbarukan. Potensi energi terbarukan di Indonesia cukup tinggi, tetapi belum dimanfaatkan secara optimal.

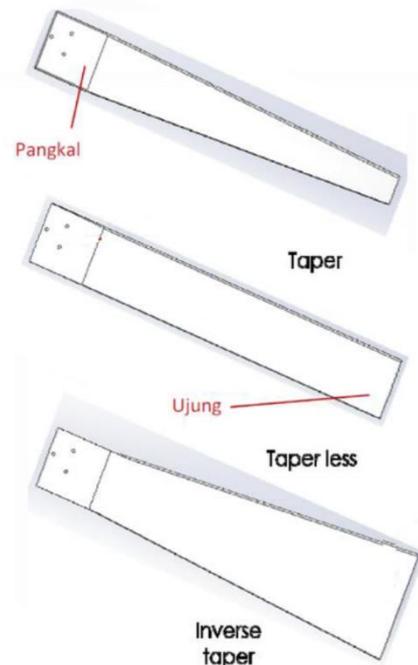
Energi terbarukan yang berpotensi dimanfaatkan di sektor ketenagalistrikan yaitu Tenaga Hidro, Panas Bumi, Biomassa, Biodiesel, Tenaga Surya, Angin dan lainnya [3].

Penggunaan energi angin telah dimanfaatkan sejak lama, mulai dari tenaga penggerak perahu hingga pembangkit listrik di sektor rumah tangga dan industri. Pemanfaatan energi angin sebagai pembangkit listrik memiliki prospek yang baik untuk diterapkan di Indonesia karena sumber energi ini memiliki biaya operasional yang relatif murah, tidak perlu bahan bakar sehingga tidak menimbulkan polusi, dan memiliki potensi angin yang cukup baik di beberapa daerah di Indonesia. Dibalik prospek yang baik tersebut, terdapat tantangan yang menyebabkan energi angin ini belum dapat dimanfaatkan secara optimal yaitu rendahnya kecepatan angin di beberapa Kawasan tropis di Indonesia [3]. Untuk itu diperlukan penelitian dan pengembangan lanjutan agar energi ini dapat dimanfaatkan dengan baik.

Turbin angin merupakan salah satu alat konversi energi yang memanfaatkan energi angin untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik. Salah satu komponen penting pada turbin angin adalah Bilah. Komponen ini langsung berinteraksi dengan angin dan merupakan penggerak awal pada sebuah turbin angin. Untuk menghasilkan turbin angin dengan efisiensi yang tinggi dan sesuai dengan kondisi angin di daerah tempat turbin tersebut dipasang, perancangan bilah sebuah turbin angin sangat penting dilakukan. Terdapat tiga jenis bilah yang sering digunakan pada turbin angin tipe horizontal yaitu: *Taper* (mengecil ke ujungnya), *Taperless* (pangkal dan ujungnya memiliki lebar yang sama) dan *Invers Taper* (membesar ke ujungnya). Ketiga bilah ini memiliki kemampuan dan kegunaan yang berbeda. Bilah *Taper* cocok untuk angin berkecepatan tinggi, *Invers Taper* untuk angin berkecepatan rendah dan *Taperless* berada diantara keduanya [4][5]. Penampakan desain ketiga bilah ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Padang, Indonesia memiliki kecepatan angin rata-rata 3 m/s yang berpotensi untuk dimanfaatkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) skala kecil. Pembangkit listrik skala kecil ini memiliki beberapa kelebihan seperti biaya yang relatif murah, dapat dipindahkan dan dapat digunakan dalam keadaan darurat seperti saat terjadi bencana alam [6]. Daerah pesisir kota Padang dikelilingi oleh Samudera Hindia yang

dipengaruhi oleh angin berkecepatan rendah [7] dengan kecepatan 2 m/s sampai 10 m/s (BKMKG Kota Padang, Stasiun Meteorologi Maritim Teluk Bayur). Untuk kondisi angin seperti ini diperlukan bilah yang dapat berputar pada kecepatan angin rendah dan tahan terhadap angin dengan kecepatan tinggi.



Gambar 1. Jenis-jenis Desain Bilah Turbin Angin Tipe Horizontal [8]

Sebagaimana yang dijelaskan sebelumnya, bilah *Invers Taper* merupakan bilah dengan sudu yang ukurannya ujungnya lebih besar dibandingkan pangkal, bilah ini diketahui cocok digunakan pada daerah yang kecepatan angin [9]. Namun, Penggunaan bilah ini masih kurang maksimal karena batas kerjanya tersebut dan peluang bilah ini rusak saat dikenai angin dengan kecepatan tinggi cukup besar. Untuk maksimalkan potensi penggunaan bilah ini, dilakukan sedikit modifikasi. Bilah hasil modifikasi ini dikenal sebagai bilah *Semi-Invers Taper*. Bilah ini memiliki ujung yang sedikit lebih besar dari pangkal bilah tetapi tidak terlalu menonjol seperti pada bilah *Inverstaper*. Karena dimensi yang seperti ini, bilah ini dirasa dapat bertahan di angin kecepatan tinggi. Bilah jenis ini yang akan coba dirancang dan akan dipasang di Pantai Gajah, Jl. Cendrawasih belakang kampus Universitas Negeri Padang, salah satu Kawasan pesisir kota Padang, Sumatera Barat.

2. Metode

A. Deskripsi Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada perancangan turbin angin dengan bilah jenis *Semi-Invers Taper* dengan lebar pangkan dan ujung ditetapkan sebesar 10 cm dan 13 cm. Bilah yang telah dirancang berjumlah tiga buah bilah yang selanjutnya dipasangkan ke piringan poros dengan menggunakan baut dan mur sehingga dapat berputar dengan baik. Proses pembuatan turbin angin dengan rancangan yang dilaporkan pada penelitian ini telah diaplikasikan pada turbin angin dan di lakukan uji prestasi di Pantai Gajah, Padang oleh tim kami. Hasil penelitian telah dilaporkan pada jurnal dengan judul “Efficiency Analysis of NACA 4412 Semi-Inverse Taper Wind Turbine For Power Plant” [9].

B. Perancangan Bilah

Perancangan bilah *Semi-Inverse Taper* didahului dengan perencanaan energi listrik maksimal (W_e) yang dibutuhkan oleh turbin angin, efisiensi bilah, efisiensi transmisi, efisiensi generator, efisiensi kontroler dan kecepatan angin maksimum (v_{max}). Setelah menetapkan nilai dari besaran-besaran tersebut, dilakukan penghitungan nilai efisiensi sistem (K). Nilai efisiensi sistem selanjutnya digunakan untuk mendapatkan daya angin (W_a) dalam satuan watt.

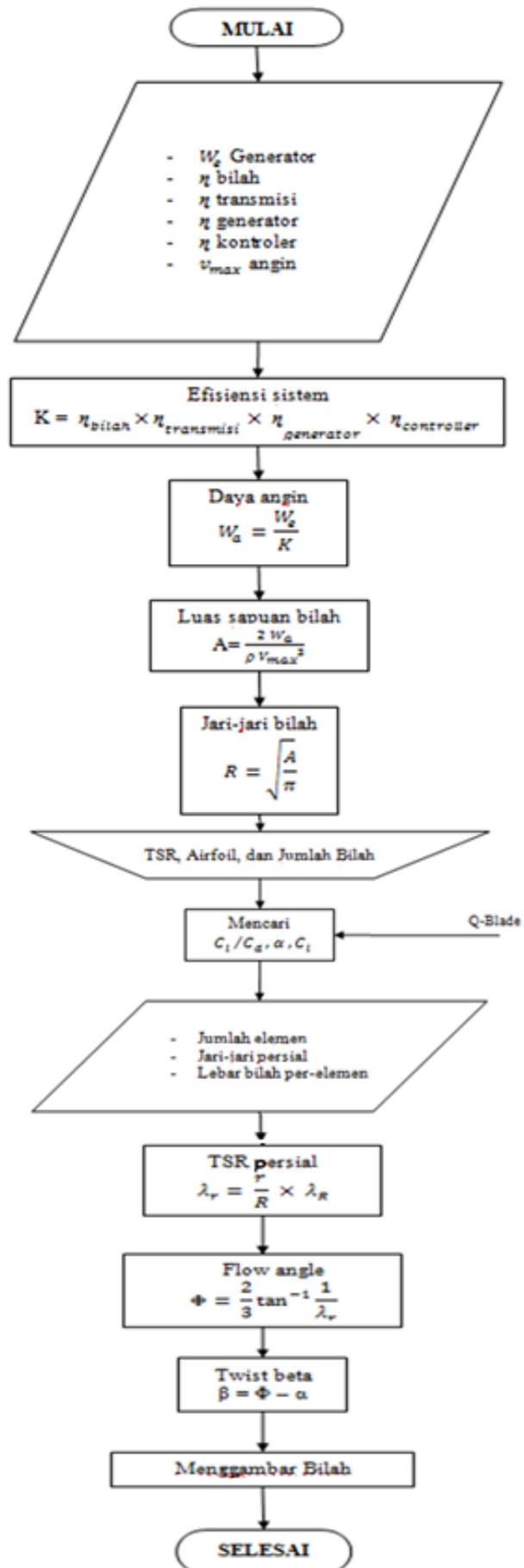
Kecepatan angin maksimum (v_{max}) digunakan untuk menghitung luas sapuan turbin angin (A) dalam satuan m^2 , dan selanjutnya A digunakan untuk mendapatkan panjang bilah atau jari-jari bilah dalam meter.

Setelah didapatkan nilai jari-jari bilah, dilakukan penentuan TSR, jenis *airfoil* dan jumlah bilah yang akan digunakan pada turbin angin ini. Jenis *airfoil* yang telah ditetapkan memberikan kita data grafik Cl/Cd dan α (α), Nilai-nilai ini selanjutnya akan digunakan untuk menentukan geometri bilah.

Dalam penentuan geometri bilah, hal pertama yang harus ditentukan adalah banyaknya elemen bilah, jari-jari parsial, dan lebar bilah pada masing-masing elemen bilah. Biasanya, banyaknya elemen bilah berkisar antara 10 sampai dengan 20 elemen.

TSR parsial dapat dihitung dengan menggunakan nilai jari-jari bilah (R), panjang elemen bilah (r), dan λ_R (TSR yang digunakan) dengan persamaan berikut [10]:

$$\lambda_r = \frac{r}{R} \times \lambda_R \quad (1)$$



Gambar 2. Diagram alir proses perancangan

Grafik $Cl-\alpha$ pada *software Q-blade* memberikan kita nilai α yang selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan $twist$ (β). $Twist$ (β) pada setiap elemen didapatkan dengan menggunakan nilai α dan *flow angle* (Φ). *Flow angle* merupakan sudut yang dibentuk oleh arah angin relatif terhadap bidang rotasi rotor. Nilai ini mempengaruhi kecepatan rotor. Setelah semua parameter didapatkan bilah siap di Gambar. Diagram alir dari proses perancangan ini dapat dilihat pada Gambar 2.

3. Hasil dan Pembahasan

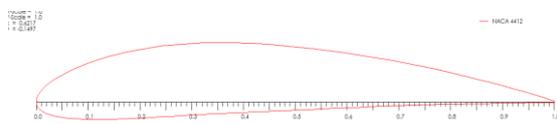
Hasil rancangan didapatkan dengan perencanaan beberapa variabel yang berguna dalam penentuan geometri bilah. Adapun variabel yang ditetapkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel yang ditetapkan dari bilah semi-invers taper

Daya rencana	500 Watt
Efisiensi bilah	0,3 – 0, 4
Efisiensi generator	0,9
Efisiensi transmisi	0,9
Densitas Udara	1,225 kg/m ³
Tip Speed Ratio (TSR)	7
Kecepatan Angin rancangan	12 m/s ²

Parameter-parameter yang tersedia pada tabel diatas digunakan untuk mendapatkan jari-jari bilah dengan menggunakan rumus yang dijelaskan pada bagian 2, dimana jari-jari ini bernilai 0,9 meter.

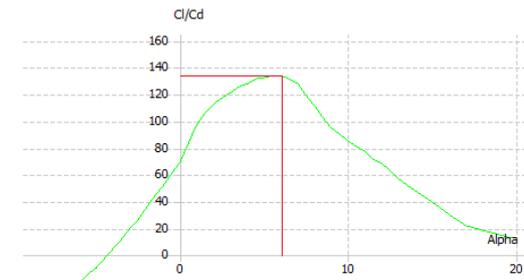
Software Q-blade digunakan untuk menentukan *airfoil*, Cl/Cd , α , dan Cl . Dengan menggunakan *software* ini kita bisa melihat bentuk dan membedakan *airfoil*. Pada penelitian ini *airfoil* yang digunakan adalah NACA 4412 seperti yang terlihat pada Gambar 3.



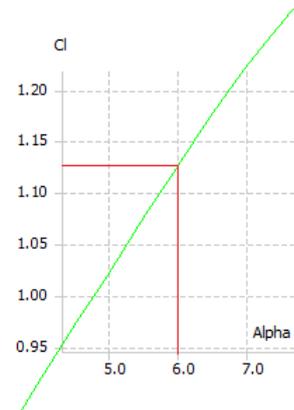
Gambar 3. Airfoil NACA 4412

Nilai Cl/Cd didapatkan dari grafik seperti yang terlihat pada Gambar 4. Disini, titik tertinggi diambil sebagai acuan sehingga didapatkan nilai 133, 6 untuk Cl/Cd dan 6 untuk nilai α .

Hal yang sama dapat dilakukan untuk mencari nilai Cl yang berasosiasi dengan nilai α seperti yang terlihat pada Gambar 5. Adapun nilai Cl didapatkan sebesar 1,13 pada saat α bernilai 6.



Gambar 4. Grafik $Cl/Cd - \alpha$



Gambar 5. Grafik $Cl - \alpha$

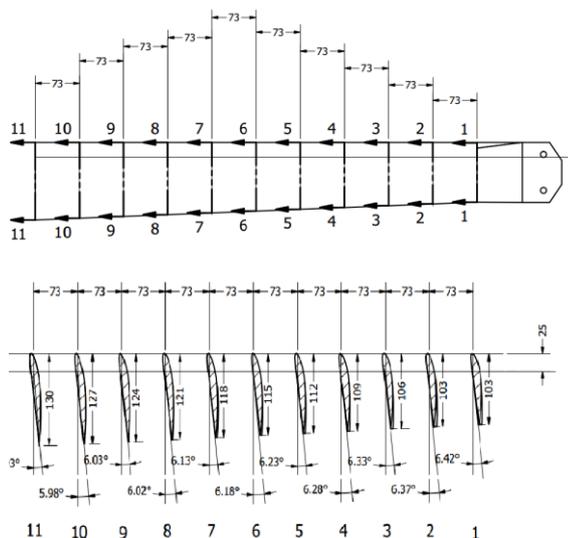
Proses selanjutnya adalah membagi elemen menjadi sepuluh bagian dan menetapkan *Innermost Station* atau jarak dari pusat hubung ke bagian bilah yang tidak akan menempel ke generator sebesar 0,17 m. Nilai *flow angle* dapat dicari dengan menggunakan rumus yang terdapat pada Gambar 1. Selanjutnya, bisa didapatkan grafik *twist* (β) terhadap jari-jari parsialnya (posisi elemen) yang dapat digunakan untuk melihat kecenderungan sudut puntir. Selanjutnya dilakukan linearisasi 75% dengan menggunakan dua titik acuan dan didapatkan parameter bilah seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Bilah

Elemen	r (m)	TSR parsial	Twist
0	0.170	1.488	6.424
1	0.243	2.126	6.374
2	0.316	2.765	6.325
3	0.389	3.404	6.276
4	0.462	4.043	6.226
5	0.535	4.681	6.177
6	0.608	5.320	6.127
7	0.681	5.959	6.078
8	0.754	6.598	6.029
9	0.827	7.236	5.979
10	0.900	7.875	5.930

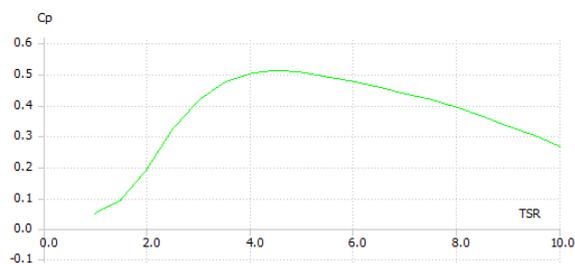
Dari tabel tersebut didapatkanlah hasil rancangan dimana kita bisa mengetahui berapa jari-jari parsial, lebar bilah, dan sudut puntir yang di inginkan. Setelah semua data di dapatkan barulah bisa membuat perancangan

bilah pada Inventor, dengan memasukan data-data yang sudah di cari tadi, sehingga didapatkanlah rancangan seperti Gambar 6.



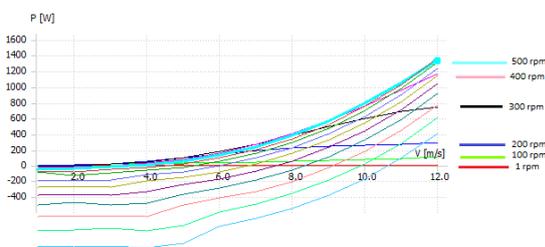
Gambar 6. Geometri Bilah Semi-Inverse Taper dalam 2 Dimensi

Setelah didapatkan panjang *chord* dan sudut *twist* selanjutnya dilakukan Simulasi Parameter BEM (Blade Element Momentum), salah satu hasil simulasi BEM adalah TSR (Tip Speed ratio) terhadap C_p (Coefficient Performance) yang paling optimal pada *Airfoil* NACA 4412. Berdasarkan Teori Betz daya mekanik maksimal yang dapat diekstrak oleh bilah sekitar 59%. Hasil simulasi C_p -TSR dapat dilihat pada Gambar 7. Berdasarkan simulasi tersebut C_p yang terbaik pada NACA 4412 terdapat pada saat perbandingan chord 1 : 1,3, puncak tertinggi terletak TSR 4,5 dan mencapai C_p pada 51%.



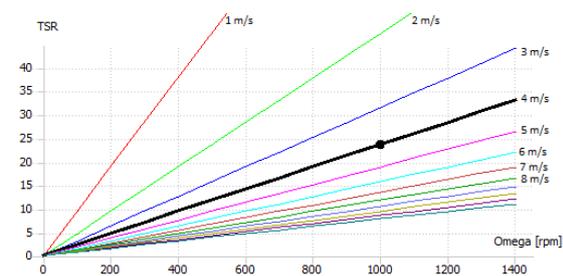
Gambar 7. Kurva C_p -TSR

Performa desain dari bilah ini dapat dilihat dengan melakukan pengujian daya terhadap parameter kecepatan angin yang tersaji pada Gambar 8. Dengan mengasumsikan kecepatan maksimum generator 500 rpm, kecepatan angin mulai dari 1 m/s sampai 12 m/s, diketahui bilah mulai berputar pada angin dengan kecepatan 2,1 m/s, daya maksimum dihasilkan sebesar 1324 Watt pada saat kecepatan angin 12 m/s.



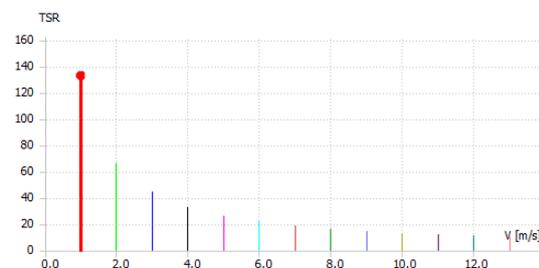
Gambar 8. Hubungan antara Daya dan Kecepatan angin

Gambar 9 memperlihatkan perbandingan nilai TSR dan omega pada berbagai kecepatan angin. Dari Gambar diketahui, saat kecepatan angin 4 m/s diketahui nilai omega 100 rpm dan TSR mencapai 24.



Gambar 9. Perbandingan TSR dengan Omega

Gambar 10 memperlihatkan hubungan antara TRS dengan kecepatan angin. Dari Gambar diketahui bahwa nilai TSR berbanding terbalik dengan kecepatan angin. Semakin besar kecepatan angin, nilai TSR semakin kecil.



Gambar 10. Hubungan TSR dan kecepatan Angin

Setelah memastikan performa desain dari bilah yang dirancang, diGambarlah bilah dengan cara meng-*Extrude* data pada tabel 2 sehingga didapatkan Gambar bilah yang diinginkan dengan bantuan *Software Inventor*. Dudukan bilah juga di Gambar dengan bantuan *Software Inventor* seperti yang terlihat pada Gambar 11.

Desain ini telah dipakai pada turbin angin tipe horizontal dan pengujian dari turbin ini dilaksanakan di Pantai Gajah, Jl. Cendrawasih belakang kampus Universitas Negeri Padang, Sumatera Barat. Hasil penelitian telah dilaporkan pada jurnal dengan judul "*Efficiency Analysis of NACA 4412 Semi-Inverse Taper*

Wind Turbine For Power Plant". Dari penelitian tersebut diketahui efisiensi turbin angin tertinggi diperoleh sebesar 84.97 % pada kecepatan angin 5.9 m/s. Sedangkan pada kecepatan angin tertinggi 9,3 m/s, efisiensi turbin adalah yang paling rendah yakni sebesar 37.05 %.



Gambar 11. Bilah dan Dudukan Bilah

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka penulis dapat menyimpulkan sebagai berikut:

1. Perancangan bilah dibagi menjadi 10 elemen dimana setiap elemen tersebut memiliki jari-jari persial, lebar, dan *twist*. Pada elemen 1, jari-jari persialnya berada pada 0,233 m, *chord* 0,103 m dan *twist*nya 6,374°. Pada elemen 10, jari-jari persialnya berada pada 0,9 m, *chord* 0,130 m dan *twist*nya 5,93°.
2. Simulasi yang dilakukan pada bilah *Semi-Inverse Taper Airfoil* NACA 4412 dengan perbandingan pangkal dan ujung bilah 1:1,3 telah di dapatkan hasil dimana puncak tertinggi terletak 51% pada TSR 4,5
3. Bilah mulai berputar pada angin berkecepatan 2,1 m/s dan pada angin berkecepatan 12 m/s daya yang dihasilkan mencapai 1324 watt.
4. Bilah yang berputar pada kecepatan angin 2.1 m/s sangat cocok digunakan di daerah-daerah tepi pantai Padang dimana kecepatan rata-rata angin di pantai Padang berkisaran antara 2 m/s sampai 10 m/s.

Referensi

- [1] BPPT, *Indonesia Energy Outlook 2020 - Special Edition Dampak Pandemi COVID-19 terhadap Sektor Energi di Indonesia*. 2020.
- [2] I. Kholiq, "Editorial Board," *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, vol. 4, no. 1, p. i, 2012, doi: 10.1016/s1877-3435(12)00021-8.
- [3] S. Mujiyanto *et al.*, *Prakiraan Penyediaan dan Pemanfaatan Energi Skenario Optimalisasi EBT Daerah*. 2016.
- [4] R. Wicaksono, *Skripsi Analisis Turbin Angin Horizontal Tipe Tsd 500 Dengan Daya 500 Watt Untuk Kebutuhan Rumah Horizontal Wind Turbine Analysis Type 500 Uses 500 Watts of Power for Household Needs in Pt . Lentera Bumi Nusantara (Lbn) Ciheras West Java*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Yogyakarta 2020, 2020.
- [5] W. Yudiansyah, I. K. Bachtiar, and E. Prayetno, "Perancangan Turbin Angin Multi-Blade Poros Horizontal Tipe American Multi-Blade," pp. 1–11, 2018.
- [6] D. Lestaringtiyas, B. Winarno, and Y. Prasetyo, "Portable Wind Turbines Uses Blade Type Inverse Taper," *JEEMECs (Journal Electr. Eng. Mechatron. Comput. Sci.)*, vol. 2, no. 2, pp. 2–6, 2019, doi: 10.26905/jeemecs.v2i2.3162.
- [7] R. Sumiati, "Pengujian Turbin Angin Savonius Tipe U Tiga Sudu Di Lokasi Pantai Air Tawar Padang," *J. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 30–31, 2012.
- [8] Madi, Tuswan, I. D. Arirohman, and I. Abdi, "Comparative Analysis of Taper and Taperless Blade Design for Ocean Wind Turbin in Ciheras Coastline, West Java," vol. 18, no. 1, pp. 8–17, 2021.
- [9] I. F. Sulaiman, Asmarayanto, "Analisis Efisiensi Turbin Angin Semi-Inverse Taper NACA 4412 Pembangkit Tenaga Listrik Efficiency Analysis of NACA 4412 Semi-Inverse Taper Wind Turbine," vol. 10, no. 1, 2020.
- [10] T. Burton, *Wind Energy Handbook*. England: John Wiley & Sons, Ltd.