

UJI COBA PERFORMA BENTUK AIRFOIL MENGGUNAKAN SOFTWARE QBLADE TERHADAP TURBIN ANGIN TIPE SUMBU HORIZONTAL

AGUNG DWI SAPTO¹⁾, HINGGIL PANDU RUMAKSO²⁾

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gunadarma

Email: adwisapto98@gmail.com¹⁾

Abstrak - Konsumsi energi yang begitu besar diikuti dengan berkurangnya ketersediaan minyak bumi di alam. Salah satu contoh pemanfaatan energi angin adalah dengan turbin angin atau yang lebih kita kenal dengan sebutan kincir angin. Energi angin dapat diubah menjadi energi listrik melalui gerak mekanik dari turbin angin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performa horizontal axis wind turbine dengan tipe bilah taper menggunakan airfoil Custom Airfoil, NACA 4412, NACA 65(4)-421, FX 66-S-196 V1, dan NREL's S814 dengan input kecepatan angin maksimal 15 m/s menggunakan software Qblade, dan mengetahui karakteristik airfoil sekaligus mengetahui hasil coefficient power. Penelitian dilakukan menggunakan permodelan dilakukan pada software Qblade dengan membagi bilah dengan 10 elemen pada bilah dan mengoptimasi bilah pada software Qblade. Percobaan diawali dengan simulasi airfoil untuk mendapatkan nilai-nilai airfoil dan karakteristik airfoil tersebut lalu perhitungan perancangan geometri bilah dan optimasi menggunakan nilai $CL/CD - \alpha$ (Alpha) dengan memasukan sudut Alpha pada optimasi. Simulasi permodelan bilah dilakukan pada TSR 7. Hasil simulasi geometri bilah dengan mendapatkan nilai kecepatan putar, torsi, dan Thrust yang dapat diolah menjadi daya turbin. Pada turbin angin sumbu horizontal dengan tipe bilah taper didapat hasil simulasi bahwa nilai kecepatan putar tertinggi sebesar 525,457 rpm, nilai daya tertinggi pada custom airfoil yang memiliki nilai maksimum 28045,6 watt, nilai C_p tertinggi dari variasi airfoil tersebut adalah pada Custom Airfoil yang memiliki nilai maksimum 0,581. Sedangkan nilai C_p terendah dari airfoil tersebut adalah pada FX 66-S-196 V1 yang memiliki nilai maksimum 0,162.

Kata Kunci : Airfoil, Optimasi bilah, Performa, Qblade, Taper, Turbin Angin Sumbu Horizontal

Abstract - The huge energy consumption is followed by the reduced availability of petroleum in nature. One example of utilizing wind energy is wind turbines or what we are better known as windmills. Wind energy can be converted into electrical energy through the mechanical motion of a wind turbine. The purpose of this study was to determine the performance of the horizontal axis wind turbine with a taper blade type using Custom Airfoil, NACA 4412, NACA 65 (4) -421, FX 66-S-196 V1, and NREL's S814 airfoils with a maximum wind speed input of 15 m/s using Qblade software, and knowing airfoil characteristics as well as knowing the power coefficient results. The research was conducted using modeling carried out in qblade software by dividing the blade by 10 elements on the blade and optimizing the blade in the qblade software. The experiment begins with an airfoil simulation to obtain the airfoil values and airfoil characteristics, then calculating the blade geometry design and optimization using the $CL / CD - \alpha$ (Alpha) value by entering the Alpha angle in the optimization. Blade modeling simulation is performed on TSR 7. The simulation results of blade geometry are obtained by obtaining the values of rotational speed, torque and Thrust which can be processed into turbine power. In the horizontal axis wind turbine with taper blade type, the simulation results show that the highest rotational speed value is 525,457 rpm, the highest power value is in the custom airfoil which has a maximum value of 28045.6 watts, the highest C_p value of the airfoil variation is the Custom Airfoil which has a value maximum 0.581. While the lowest C_p value of the airfoil is on the FX 66-S-196 V1 which has a maximum value of 0.162.

Keywords : Airfoil, Horizontal Axis Wind Turbine, Optimazing blade, Performace, Qblade, Taper.

1. PENDAHULUAN

Saat ini penggunaan bahan bakar yang berasal dari minyak bumi semakin mengalami peningkatan yang sangat pesat. Hal tersebut diakibatkan oleh kebutuhan manusia dalam kehidupan sehari-hari. Konsumsi energi yang begitu besar diikuti dengan berkurangnya ketersediaan minyak

bumi di alam. Bahan bakar fosil yang berada di alam merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui. Salah satu bentuk pemanfaatan energi terbarukan yang banyak dimanfaatkan oleh manusia adalah energi angin, dimana penggunaan energi angin yang ketersediaannya sangat berlimpah dan dapat dimanfaatkan

khususnya di Indonesia. Salah satu contoh pemanfaatan energi angin adalah dengan turbin angin atau yang lebih kita kenal dengan sebutan kincir angin. Energi angin dapat diubah menjadi energi listrik melalui gerak mekanik dari turbin angin.

Ironisnya, kondisi listrik di Indonesia sangat mengkhawatirkan, masih banyak masyarakat yang belum tersuplai listrik terutama di daerah Indonesia bagian timur. Sebagian besar dari mereka hanya menggunakan listrik yang dihasilkan dari diesel. Total Kapasitas pembangkit nasional pada tahun 2018 sebesar 64,92 GW dengan persentase masing-masing pembangkit yaitu PLTU sebesar 42,34%, PLTU MT sebesar 3,14%, PLTU-M/G sebesar 3,17%, PLTG sebesar 8,24%, PLTGU sebesar 17,28%, PLTMG sebesar 3,63%, PLTD sebesar 7,13%, PLTA sebesar 8,27%, PLTM sebesar 0,41%, PLTMH sebesar 0,16%, Kapasitas pembangkit nasional PLTB sebesar 0,22%, PLTBg sebesar 0,17%, PLTBm sebesar 2,71%, PLTP sebesar 3,00%, PLTS sebesar 0,09%, PLTSa sebesar 0,02% dan PLT Hybrid sebesar 0,01%[1].

PLTB hanya sebesar 0,22% turbin angin memiliki efektifitas kerja sebesar 20%-30% yang dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis *airfoil* yang digunakan, kecepatan angin yang didapat, jumlah sudu yang digunakan sampai variasi sudut serang dari *airfoil*. Berdasarkan persoalan tersebut maka penulisan ini dilakukan untuk membandingkan hasil kinerja dari turbin angin sumbu horizontal. Dengan bantuan *software Qblade*, lalu dilakukan analisa dari pemodelan turbin angin yang dilakukan dan didapat nilai efisiensi tertinggi

Pada penelitian ini dilakukan studi analisa numerik untuk mengetahui perbedaan tingkat *Coefficient Power (Cp)* serta performansi output daya turbin yang semua didapat dari hasil simulasi *software Qblade*, dari masing-masing pemodelan turbin angin sumbu horizontal dengan variasi perbedaan *airfoil*. Sehingga akan didapat desain turbin angin yang akan memiliki nilai yang lebih baik.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Energi Angin

Angin merupakan udara bergerak yang disebabkan oleh adanya perbedaan tekanan. Udara mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Perbedaan tekanan udara sendiri dipengaruhi oleh sinar matahari, daerah yang mendapat banyak sinar matahari akan

memiliki temperatur udara yang lebih tinggi daripada daerah yang mendapat sedikit sinar matahari. Menurut hukum gas ideal, temperatur berbanding terbalik dengan tekanan, di mana temperatur yang tinggi akan memiliki tekanan yang rendah, dan sebaliknya [3].

Udara yang memiliki massa *m* dan kecepatan *v* akan menghasilkan energi kinetik seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.1[2].

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Volume udara per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan *v* dan melewati daerah seluas *A*, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.2 [2].

$$V = vA \dots\dots\dots(2.2)$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan ρ , atau yang dikenal dengan laju aliran massa seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.3[2].

$$m = \rho V = \rho vA \dots\dots\dots(2.3)$$

Sehingga energi kinetik angin yang berhembus per satuan waktu (daya angin) seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.4[2].

$$P_a = \rho Av^3 \dots\dots\dots(2.4)$$

2.2 Perhitungan Perancangan Bilah

Dalam merancang sebuah turbin angin hal yang paling pertama dilakukan adalah survei tempat atau lokasi yang ingin di bangun kincir angin, data yang harus diambil dari survei lapangan tersebut adalah data kecepatan angin rata-rata di daerah tersebut serta kebutuhan energi listrik. Dari hasil survei tersebut maka akan di simpulkan jenis desain bilah seperti apa yang akan dibuat, mempunyai jari-jari berapa, memiliki sudut puntir berapa, lebar *chord* yang diharuskan berapa, serta jumlah bilah yang diizinkan dan jumlah turbin angin yang harus dibangun.

1. Daya Angin
2. Energi listrik (*We*) maksimal yang dibutuhkan kincir angin.
3. Efisiensi sistem

Efisiensi sistem yang merupakan perkalian antara efisiensi bilah, efisiensi transmisi, efisiensi generator, dan efisiensi kontroler.

$$K = \eta_{Bilah} \times \eta_{Transmisi} \times \eta_{Generator} \times \eta_{Controller} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana : K : Efisiensi Sistem
 η_{Bilah} : Efisiensi Bilah
 $\eta_{Transmisi}$: Efisiensi Transmisi
 $\eta_{Generator}$: Efisiensi Generator
 $\eta_{Controller}$: Efisiensi Controller

1. Daya angin yang dibutuhkan diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$W_a = \frac{W_e}{K} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:
 W_a : Daya angin yang dibutuhkan (W)
 W_e : Daya listrik yang dihasilkan (W)
 K : Efisiensi Sistem

4. Menentukan nilai kecepatan angin maksimum V_{max} (m/s). Penentuan ini akan berguna untuk sistem kontroler kincir angin, dimana ketika kecepatan angin maksimal kontroler akan memutuskan suplai listrik dari generator.
5. Menentukan luas sapuan bilah dapat ditemukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A = \frac{2W_a}{\rho v_{max}^3} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:
 W_a : Daya angin yang dibutuhkan (W)
 A : Luas sapuan (m²)
 ρ : Densitas udara (1.225 kg/m³)

6. Jari-jari bilah ditentukan menggunakan persamaan:

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:
 R : Jari-jari bilah (m)
 A : Luas sapuan (m²)

Menentukan nilai TSR, pada tahap ini penentuan nilai TSR hanyalah estimasi yang menurut literatur bahwa nilai TSR turbin angin dengan 3 bilah adalah 5-7, namun pada akhir simulasi di *Q-blade* nanti nilai TSR dapat berubah.

7. Menentukan elemen bilah

Dalam mendisain sudu maka harus ditentukan banyaknya elemen yang berguna untuk memberi keakuratan perancangan dan memberikan kemudahan pada saat proses pembuatan, pada umumnya banyaknya elemen untuk sudu dengan *airfoil* adalah 10 sampai 20 elemen. Nilai elemen didapat dari hasil bagi antara jari-jari (R) sudu dengan banyaknya elemen (n)^[6].

8. Menentukan jari-jari parsial

$$r = 0.25 + \left[\left(\frac{R - 0.25}{n} \right) \times \text{elemen} \right] \dots\dots(2.9)$$

Dimana:
 r : Jari-jari parsial (m)
 n : Banyak elemen
 R : Jari-jari bilah (m)

2.3 Gaya Angkat dan Gaya Hambat

Ketika sebuah benda apapun bergerak melalui sebuah fluida, suatu interaksi antara benda dengan fluida terjadi. Gaya resultan dengan arah yang sama (sejajar) kecepatan hulu disebut sebagai gaya hambat (*drag*), D , dan gaya resultan yang tegak lurus terhadap arah kecepatan hulu disebut sebagai gaya angkat (*lift*), L . Untuk turbin angin bertipe horizontal membutuhkan gaya angkat (*lift*) yang besar dan sebisa mungkin membuat gaya hambat (*drag*) kecil. Sedangkan untuk turbin angin bertipe vertikal dilakukan hal sebaliknya^[7].

Hambatan atau *drag* bisa terjadi karena geseran *viskos* yakni hambatan gesekan kulit pada *airfoil* atau bilah sudu akibat tekanan (aliran normal terhadap permukaan rata), akibat efek gravitasi, atau akibat efek kompresibilitas. Jika kecepatan angin mengenai *airfoil* dengan luas bidang bagian bawah A mengakibatkan adanya perbedaan tekanan dan hambatan *viskos* pada ujung bagian belakang, maka perbandingan gaya hambatan terhadap terhadap energi kinetik angin disebut sebagai koefisien hambatan^[7].

Koefisien gaya hambat adalah:

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dan koefisien gaya angkat adalah:

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :
 C_D = koefisien gaya hambat (*drag*)
 C_L = koefisien gaya angkat (*lift*)
 ρ = densitas fluida (kg/m³)
 A = luasan acuan (m²)
 c = panjang *chord* (m)
 V = kecepatan fluida relatif terhadap obyek (m/s)

2.4 Tip Speed Ratio (TSR)

Tip speed ratio adalah perbandingan antara kecepatan ujung *blade* dengan kecepatan angin yang melaluinya. Bila

TSR>1 artinya lebih banyak bagian *blade* yang mengalami gaya angkat.

Apabila TSR<1 artinya lebih banyak bagian *blade* yang mengalami gaya hambat. Sebisa mungkin kita mendesain *blade* dengan TSR>1 guna mendapat gaya angkat lebih banyak.^[7]

TSR dapat ditulis dalam persamaan;

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{v_w} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan :

λ = Tip speed ratio

ω = kecepatan sudut turbin (rad/s)

R = jari-jari turbin (m)

v = kecepatan angin (m/s)

Dibawah ini diperlihatkan hubungan antara TSR dengan jumlah bilah atau sudu :

Tabel 1. Hubungan TSR dan B [7]

λ	1	2	3	4	5-8	8-15
B	6-20	4-12	3-6	2-4	2-3	1-2

2.5 Software Qblade

Qblade adalah perangkat lunak perhitungan turbin angin *open source*. Integrasi fungsi XFOIL/XFLR5 memungkinkan pengguna untuk dengan cepat mendesain *airfoil* custom dan menghitung polar kinerja *airfoil* dan langsung mengintegrasikannya ke dalam desain dan simulasi rotor turbin angin. Perangkat lunak ini memadai karena ia menyediakan desain dan kemampuan simulasi untuk desain rotor HAWT dan VAWT. Menunjukkan semua hubungan mendasar konsep desain, kinerja turbin dengan cara yang mudah dan intuitif.^[8]

Qblade juga mencakup fungsi pemrosesan pasca luas untuk simulasi rotor dan turbin, dan memberikan wawasan mendalam ke semua variabel *blade* dan rotor yang relevan. Dalam sub-modul desain dan optimisasi *blade*, pengguna dapat membuat rotor *blade*. *Blade* terdiri dari sejumlah bagian yang berubah-ubah. Setiap Bagian didefinisikan oleh posisi, *chord*, *twist*, *airfoil* dan 360° polar terkait. *Blade* baru hanya dapat dibuat ketika ada setidaknya satu objek 360° polar hadir dalam database runtime dan hanya bisa disimpan ketika *airfoil* dan kutub dipilih di setiap elemen. Jumlah bilah rotor harus ditentukan untuk setiap bilah rotor. Jari-jari hub harus ditentukan, yaitu posisi di mana pangkal bilah terhubung ke hub turbin. Radial posisi sudu dapat didefinisikan dalam koordinat sudu tempat kedudukan

adalah jarak dari rotor *blade*, atau dalam koordinat absolut tempat posisi adalah jarak total dari pusat hub turbin. Bilah nada opsi menambahkan diimbangi dengan putaran rotor *blades* di setiap bagian *blade*. Ketika desain pisau selesai pengguna dapat mengeksplor geometri *blade* baik sebagai *cloud of points* atau dalam format file .stl.^[8]

2.6 Optimizing Blade Turbin

Saat *blade* diedit atau dibuat dan setiap bagian didefinisikan sepenuhnya, pengguna dapat mengoptimalkan geometri *blade* dalam dialog optimisasi *blade*.^[8] Pengguna harus memilih TSR λ_0 untuk dioptimalkan, dan bagian (posisi) yang akan dioptimalkan. Dari rasio TSR, aliran masuk yang diasumsikan sudut dihitung untuk setiap bagian:

$$\alpha_{loc} = \tan^{-1}\left(\frac{1}{\lambda_{0,loc}} \frac{2}{3}\right) \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

α_{loc} = Optimasi pada lokasi twist

$\lambda_{0,loc}$ = Input optimasi pada TSR

Optimalkan untuk *lift / drag* untuk mengatur sudut putaran, pada $\lambda_{0,loc}$ yang ditentukan, temukan section *blade* bagian beroperasi, ke AoA yang menghasilkan rasio aerodinamik tertinggi. Pilihan untuk mengurangi atau menambah sudut ini ada untuk kasus dimana AoA menghasilkan rasio aerodinamik tertinggi dekat dengan stall point. Jika pengguna mengoptimalkan untuk titil stall, putarannya adalah diatur sedemikian rupa sehingga semua section, pada saat yang sama, mengalami stall di nilai λ_0 yang dipilih. Opsi ketiga memungkinkan untuk mengatur *twist linier*. Distribusi *chord* dapat dioptimalkan sesuai dengan persamaan Betz. [9]

$$c(r) = \frac{16}{9} \frac{\pi R}{BC_L \lambda_0} \frac{1}{\sqrt{(\lambda_0 \frac{r}{R})^2 + \frac{4}{9}}} \dots\dots(2.14)$$

Atau persamaan Schmitz

$$c(r) = \frac{16\pi r}{BC_L} \sin^2\left(\frac{1}{3} \tan^{-1}\left(\frac{R}{\lambda_0 r}\right)\right) \dots\dots(2.15)$$

Dimana :

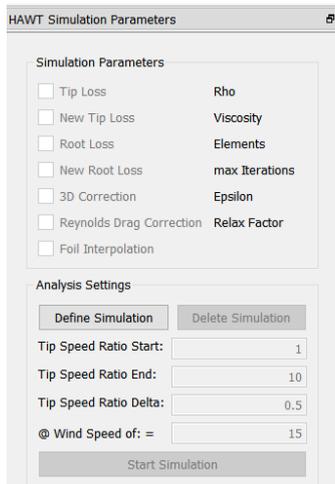
C(r) = Chord Optimasi

B = Banyak bilah

CL = Koefisien lift *airfoil*

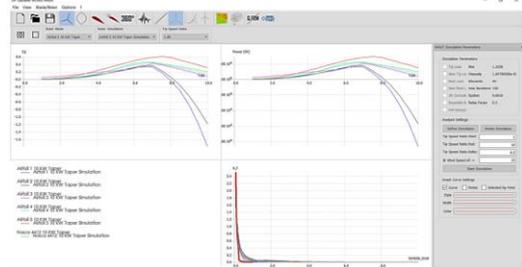
R = Jari – jari bilah (m)

λ_0 = TSR



Gambar 6. Setup Parameter

Tahap keenam adalah running untuk mendapatkan nilai koefisien *power*, *power* dan TSR. Disajikan beberapa grafik hasil dari permodelan bilah yang sebelumnya sudah kita buat sebelumnya, inputan pada tahap ini adalah range TSR dan maksimum kecepatan angin.



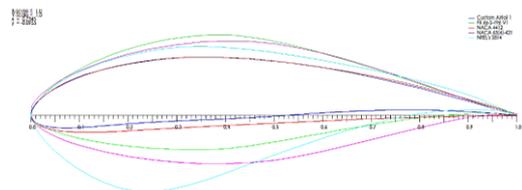
Gambar 7. Grafik Nilai Permodelan Turbin Angin

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Simulasi *Airfoil*

Berikut ini ditampilkan data hasil pengujian menggunakan *software Qblade*, dimana didapat data berupa model geometri *airfoil*, nilai CL/CD - α (*Alpha*), nilai CL - α (*Alpha*) dan nilai CD - α (*Alpha*) pada *airfoil* yang disimulasikan.

4.1.1 Geometri *Airfoil*



Gambar 8. Geometri *Airfoil* Simulasi

Pada gambar 8 memperlihatkan masing - masing geometri *airfoil* yang digunakan untuk simulasi yang dipakai adalah Custom *Airfoil*, NACA 4412, NACA 65(4)-421, FX 66-S-196 V1, dan NREL's S814. Pada Tabel 4.1 diperlihatkan geometri *airfoil* yang terdiri dari titik koordinat yang terhubung menjadi *airfoil*. Koordinat tersebut didapatkan dari export geometri yang dilakukan pada *software Qblade* lalu mendapatkan titik - titik koordinat tersebut.

Tabel 2. Koordinat Custom *Airfoil*

X	Y	Z	0.00000	0.00000	0
1	0	0	0.00362	-0.00851	0
0.89548	0.02476	0	0.01283	-0.01462	0
0.80438	0.04470	0	0.02653	-0.01868	0
0.72517	0.06042	0	0.04364	-0.02104	0
0.65631	0.07247	0	0.06306	-0.02205	0
0.59626	0.08145	0	0.08370	-0.02204	0
0.54348	0.08792	0	0.10447	-0.02137	0
0.49645	0.09246	0	0.12440	-0.02036	0
0.45369	0.09561	0	0.14349	-0.01917	0
0.41445	0.09763	0	0.16226	-0.01784	0
0.37830	0.09859	0	0.18122	-0.01645	0
0.34484	0.09860	0	0.20089	-0.01504	0
0.31367	0.09775	0	0.22179	-0.01369	0
0.28437	0.09614	0	0.24445	-0.01243	0
0.25653	0.09384	0	0.26936	-0.01134	0
0.22976	0.09096	0	0.29685	-0.01038	0
0.20389	0.08754	0	0.32704	-0.00944	0
0.17900	0.08357	0	0.36005	-0.00841	0
0.15520	0.07906	0	0.39600	-0.00717	0
0.13256	0.07401	0	0.43500	-0.00560	0
0.11118	0.06840	0	0.47718	-0.00360	0
0.09115	0.06224	0	0.52266	-0.00105	0
0.07257	0.05552	0	0.57183	0.00196	0
0.05556	0.04828	0	0.62565	0.00493	0
0.04037	0.04062	0	0.68513	0.00731	0
0.02723	0.03266	0	0.75129	0.00855	0
0.01638	0.02450	0	0.82515	0.00811	0
0.00806	0.01626	0	0.90771	0.00544	0
0.00252	0.00806	0	1	0	0

4.1.2 Nilai Karakteristik *Airfoil*

Berikut ini ditampilkan data hasil pengujian menggunakan *software Qblade*, dimana didapat data berupa nilai CL/CD - α (*Alpha*), Nilai CL - α (*Alpha*), dan Nilai CD - α (*Alpha*) yang disajikan dalam data grafik.

Tabel 3. Nilai CL/CD – α (Alpha)

Airfoil	Nilai Maksimum CL/CD	Alpha
Custom airfoil	146,574	4,5
FX 66-S-196 V1	137,721	8,5
NACA 4412	133,639	6
NACA 65(4)-421	116,636	6,5
NREL's S814	107,039	7

Tabel 4. Nilai CL - α (Alpha)

Airfoil	Maksimum CL	Alpha
Custom Airfoil	1,34602	13,5
FX 66-S-196 V1	1,43726	9
NACA 4412	1,62756	15
NACA 65(4)-421	0,991053	6,5
NREL's S814	1,50691	16,5

Tabel 5. Nilai CD - α (Alpha)

Airfoil	Maksimum CD	Alpha
Custom Airfoil	0,141028	20
FX 66-S-196 V1	0,122816	20
NACA 4412	0,121745	20
NACA 65(4)-421	0,101277	20
NREL's S814	0,131157	20

4.2 Permodelan Bilah

Optimasi twist pada permodelan bilah dilakukan dengan melihat pada tabel 4.2 menggunakan nilai optimal CL/CD – α (Alpha) dan memasukkan nilai α (Alpha) pada kolom sebelahnya. Untuk optimasi pada chord dilakukan dengan menggunakan persamaan betz.

Pos (m)	Chord (m)	Twist	Foil	Polar
1	0	0,15	0	Circular Foil CD = 1.2 360
2	0,473	0,15	0	Circular Foil CD = 1.2 360
3	0,695	0,136364	0	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
4	0,918	0,123967	0	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
5	1,141	0,112697	0	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
6	1,363	0,102452	0	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
7	1,586	0,0931382	0	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
8	1,808	0,0846711	0	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
9	2,031	0,0769737	0	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
10	2,254	0,0699761	0	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
11	2,476	0,0636146	0	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36

Gambar 9. Hasil Sebelum Optimasi

Pos (m)	Chord (m)	Twist	Foil	Polar
1	0	0,15	0	Circular Foil CD = 1.2 360
2	0,473	0,136494	-23,7475	Circular Foil CD = 1.2 360
3	0,635	0,113689	-27,1507	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
4	0,918	0,0876343	-30,9682	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
5	1,141	0,0741013	-32,9278	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
6	1,363	0,0641801	-34,3564	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
7	1,586	0,056548	-35,4515	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
8	1,808	0,0505493	-36,3101	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
9	2,031	0,0456739	-37,0066	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
10	2,254	0,0416517	-37,5806	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36
11	2,476	0,0382915	-38,0597	Custom Airfoil 1 Custom Airfoil 36

Gambar 10. Sesudah Optimasi

4.3 Data Hasil Simulasi Bilah

Berikut ini ditampilkan data hasil pengujian menggunakan software Qblade, dimana didapat data berupa nilai - nilai kecepatan sudut (Rad/s), kecepatan putar (rpm), torsi (N), Thrust (Nm), dan daya (watt) pada HAWT pada variasi airfoil yang disimulasikan.

1. Nilai Kecepatan Putar (Rpm)

Diketahui :

$$\omega = 39,731$$

Maka n adalah :

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} \quad n = \frac{\omega \cdot 60}{2\pi}$$

$$n = \frac{39,731 \cdot 60}{2\pi} \quad n = 379,593$$

Tabel 6. Nilai Kecepatan RPM

Airfoil	Rotational Speed (RPM)	Kecepatan Sudut (Rad/s)	Wind speed (m/s)
Custom Airfoil	379,593	39,731	15
FX 66-S-196 V1	369,478	38,672	15
Naca 4412	344,336	36,041	15
NACA 65(4)-421	315,815	33,055	15
NREL's S814	359,692	37,648	15

Tabel 7. Nilai Torsi (Nm)

Airfoil	Torsi (Nm)	TSR
Custom Airfoil	728,118	7
FX 66-S-196 V1	203,173	7
NACA 4412	572,344	7
NACA 65(4)-421	380,188	7
NREL's S814	494,551	7

Tabel 8. Nilai Thrust (N)

Airfoil	Thrust (N)	TSR
Custom Airfoil	2816,26	7
FX 66-S-196 V1	2228,27	7
NACA 4412	2784,64	7
NACA 65(4)-421	2801,59	7
NREL's S814	2816,58	7

2. Nilai Daya (Watt)

Diketahui : $\tau = 730,507 \text{ Nm}$

$$\omega = 39,731 \text{ Rad/s}$$

Maka,

$$P = \tau \cdot \omega$$

$$P = 730,507 \text{ Nm} \times 39,731 \frac{\text{Rad}}{\text{s}}$$

$$P = 29023,6 \text{ watt}$$

Tabel 9. Nilai Daya

Airfoil	Nilai Daya (watt)	TSR
Custom Airfoil	28045,6	7
FX 66-S-196 V1	7825,83	7
NACA 4412	22045,5	7
NACA 65(4)-421	14644,1	7
NREL's S814	19049,1	7

Tabel 10. Nilai Koefisien Power

Airfoil	Nilai Cp	TSR
Custom Airfoil	0,581144	7
FX 66-S-196 V1	0,162162	7
NACA 4412	0,456813	7
NACA 65(4)-421	0,303445	7
NREL's S814	0,394724	7

5. KESIMPULAN

1. Dalam simulasi *airfoil* didapatkan nilai CL/CD tertinggi dari variasi *airfoil* tersebut adalah pada Custom *Airfoil* yang memiliki nilai maksimum 146,574 dengan α (*Alpha*) sebesar 4.5° . Nilai CL tertinggi dari variasi *airfoil* tersebut adalah pada NACA 4412 yang memiliki nilai maksimum 1,62756 dengan α (*Alpha*) sebesar 15° . Nilai CD tertinggi dari variasi *airfoil* tersebut adalah pada Custom *Airfoil* yang memiliki nilai maksimum 0,141028 dengan α (*Alpha*) sebesar 20° . Pada permodelan bilah optimasi bilah sangat berpengaruh, optimasi tersebut menggunakan input sudut α (*Alpha*) pada masing – masing nilai maksimum CL/CD dengan memanfaatkan optimasi tersebut permodelan bilah mendapatkan *chord*

2. dan twist yang sesuai agar mendapatkan nilai Cp yang maksimal.
2. Pada simulasi permodelan didapatkan nilai kecepatan putar (rpm) dari variasi *airfoil* tersebut adalah 525,457 rpm pada kecepatan angin sebesar 15 m/s. Nilai torsi (Nm) – TSR tertinggi dari variasi *airfoil* tersebut adalah pada Custom *Airfoil* yang memiliki nilai maksimum 728,118 Nm pada TSR 7. Nilai Thrust (N) – TSR tertinggi dari variasi *airfoil* tersebut adalah pada Custom *Airfoil* yang memiliki nilai maksimum 728,118 Nm pada TSR 7 dan nilai daya (watt) – TSR tertinggi dari variasi *airfoil* tersebut adalah pada Custom *Airfoil* yang memiliki nilai maksimum 28045,6 watt pada TSR 7.
3. Nilai Cp tertinggi dari variasi *airfoil* tersebut adalah pada Custom *Airfoil* yang memiliki nilai maksimum 0,581 pada TSR 7. Hal ini dikarenakan karakteristik *airfoil* dan proses optimasi pada *chord* dan twist.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, 2019. Statistic Ketenagalistrikan 2019, Sekretariat Jenderal Ketenagalistrikan.
- [2] M. L. Dewi, 2010. "Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Untuk Optimasi Kinerja Turbin,"Universitas Sebelas Maret
- [3] Rahmat Taufiqurrahman, 2016. "Studi Numerik Turbin Angin Darrieus Dengan Variasi Jumlah Sudu dan Kecepatan Angin", Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- [4] Sugiyanto. 2013. "Potensi Pembangkit Listrik Hybrid menggunakan Vertical Axis Wind Turbine Tipe Savonius dan Panel Sel Surya". Jurnal Teknologi Vol. 6, No. 2. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- [5] Heffley, D. (2007). Aerodynamic Characteristics of a NACA 4412 *Airfoil*. Baylor university.
- [6] Lentera Angin Nusantara. (2014). Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin.
- [7] M. Naufal Afif, 2017. Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal Dengan Swept Area 1m², Universitas Muhammadiyah Malang.
- [8] David, Marten dan Juliane, Wendler, 2013. *QBlade* Guidelines, TU Berlin.
- [9] Gasch, R dan Twele, J. 2007. Windkraftanlagen Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb, Teubner, Wiesbaden.