

SIMULASI: PERBANDINGAN TURBIN ANGIN DAN TURBIN AIR MENGGUNAKAN APLIKASI QBLADE PADA AIRFOIL NACA 4412

Harmiansyah*¹, Adi Prastyo², Putri Arinjani³, Cinthya Ayu Oktaviani⁴, Sylvrina Margareth Sirait⁵, Habib M Taufiq⁶, Jovita Delphia Syifa⁷, Mahessa Zulfiqar Wira Prayudah⁸, Rustam Efendi⁹

^{1,3,4,5,6}Program Studi Teknik Biosistem, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malahayati, Bandar Lampung

^{7,8}Program Studi Teknik Sistem Energi, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan

⁹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara, Kendari

E-mail: *harmibm@gmail.com

Abstrak

Pemanfaatan energi terbarukan terjadi karena kurangnya sumber daya bahan bakar fosil, sehingga diperlukan tindakan untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan. Salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan adalah angin dan air. Pemanfaatan energi angin dan air sebagai sumber pembangkit listrik dapat berupa turbin. Kendala dalam pembuatan turbin angin dan air adalah lokasi pemasangan, karena melihat kecepatan dan arah angin serta air yang berbeda-beda. Kelebihan airfoil NACA 4412 adalah koefisien angkat yang tinggi, koefisien seret yang rendah dan moment pitching yang rendah. Perbandingan antara C_p terhadap TSR dan C_t terhadap TSR pada masing-masing turbin angin dan turbin air tidak berbeda. Perbandingan antara power (watt) terhadap TSR dan Torque (Nm) terhadap TSR yang dimiliki turbin angin jauh lebih besar daripada turbin air. NACA 4412 lebih baik digunakan sebagai turbin angin daripada turbin air.

Kata kunci: NACA, turbin, air, angin, energi, terbarukan.

Abstract

Utilization of renewable energy occurs due to a lack of fossil fuel resources, so action is needed to utilize renewable energy sources. One source of renewable energy that can be utilized is wind and water. Utilization of wind and water energy as a source of electricity generation can be in the form of turbines. The obstacle in making wind and water turbines is the installation location, due to the different speed and direction of wind and water. The advantages of NACA 4412 airfoil are high lift coefficient, low drag coefficient and low pitching moment. The comparison between C_p to TSR and C_t to TSR in each of the wind turbines and water turbines is not different. The comparison between power (watts) to TSR and Torque (Nm) to TSR that a wind turbine has is much bigger than a water turbine. NACA 4412 is better used as a wind turbine than a water turbine.

Keywords: NACA, turbine, water, wind, energy, renewable

1. PENDAHULUAN

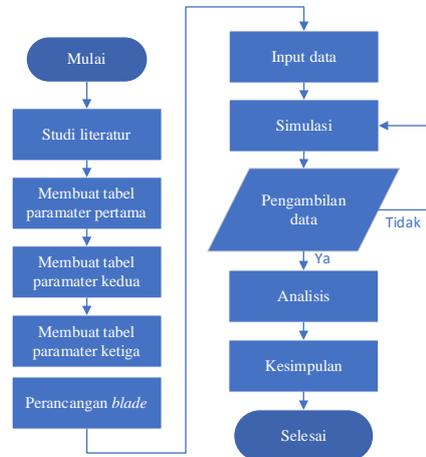
Ketersediaan energi bahan bakar yang semakin menipis akibat konsumsi yang meningkat, maka diperlukan suatu energi terbarukan [1]. Pemanfaatan energi terbarukan terjadi karena kurangnya sumber daya bahan bakar fosil, sehingga diperlukan tindakan untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan [2]. Salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan adalah angin dan air. Angin dan air merupakan energi yang mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai energi terbarukan, selain itu dapat digunakan sebagai pembangkit listrik. Pemanfaatan energi angin dan air sebagai sumber pembangkit listrik dapat berupa turbin [3].

Turbin angin adalah salah satu energi alternatif yang digunakan untuk mentransformasi energi angin ke dalam bentuk listrik [2]. Turbin air adalah alat yang merubah energi aliran menjadi energi mekanik poros yang dimanfaatkan menjadi energi listrik [4]. Pada turbin angin dan air terdapat bilah yang berfungsi sebagai komponen pertama yang langsung berinteraksi dengan angin dan air sebelum dikonversi menjadi energi mekanik. Sehingga, sebuah turbin angin dan air perlu dirancang agar dapat menghasilkan daya rancangan pada kecepatan angin dan air tertentu yang dapat menghasilkan energi listrik [3].

Kendala dalam pembuatan turbin angin dan air adalah lokasi pemasangan, karena melihat kecepatan dan arah angin serta air yang berbeda-beda. Pembuatan turbin di ladang dapat dengan mudah untuk memprediksi dan menghitung kecepatan serta arah angin dan air. Tetapi, pada daerah kota tidak dapat diprediksi kecepatan dan arah angin serta air karena dipengaruhi oleh jenis rintangan seperti gedung pencakar langit, apartemen, blok, dan lain-lain [2]. Oleh karena itu, perlu dilakukannya simulasi dahulu pada turbin angin dan air yang akan dibuat agar mengurangi resiko kegagalan.

Pembuatan turbin angin dan air perlu memperhatikan aerodinamika dan blade yang akan berhubungan langsung dengan efisiensi generator turbin. Blade turbin angin dan air menggunakan airfoil-airfoil untuk meningkatkan daya mekanik [5]. Jenis-jenis airfoil bervariasi, salah satu jenis airfoil yang paling banyak digunakan adalah NACA 4412. Kelebihan airfoil NACA 4412 adalah koefisien angkat yang tinggi, koefisien seret yang rendah dan moment pitching yang rendah [6]. Simulasi airfoil NACA 4412 dapat menggunakan *software* berupa q-blade yang nantinya mengetahui bagaimana perbandingan antara turbin angin dan air [7]. Berdasarkan penjelasan di atas terdapat tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan antara C_p dan C_t terhadap TSR pada turbin angin serta air, mengetahui perbandingan antara power dan torsi terhadap TSR pada turbin angin serta air, dan menganalisis dari perbandingan turbin angin serta air yang baik untuk NACA 4412 [8].

2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Langkah – langkah yang dilakukan kali ini yaitu pertama, melakukan studi literatur untuk pembuatan pendahuluan dan tinjauan pustaka. Kedua, membuat Tabel parameter pertama pada excel yang berisi kapasitas energi (W), efisiensi bilah, generator, controller, transmisi, sistem, energi angin, Vmax (m/s), luas permukaan (m²), jari – jari, dan jari – jari yang digunakan. Ketiga, membuat Tabel parameter kedua yang berisi TSR, Airfoil, jumlah bilah dan lebar chord. Keempat, membuat Tabel parameter ketiga yang berisi elemen, jari – jari, TSR parsial, Cl parsial, Alpha, sudut flow, sudut twist, twist 75%, twist linear, dan lebar chord. Kelima, menginput parameter ke software q-blade. Keenam, mensimulasi rancangan blade. Ketujuh, pengambilan data dari software q-blade. Kedelapan, menganalisis data yang diambil dari software q-blade dan yang terakhir mengambil kesimpulan.

2.2 Jenis Fluida

Pada penelitian ini akan membandingkan turbin angin dengan turbin air maka jenis fluida untuk menguji performa pada turbin akan berbeda. Maka jenis fluida yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 1. Fluida

Fluida	Densitas (Kg/m ³)	Viskositas
Angin	1.225	0.000017800
Air	0.978	0.000000896

2.3 Parameter dan Persamaan pada Turbin

2.3.1 Tip Speed Ratio (TSR)

Tip speed ratio (λ) merupakan Perbandingan antara kecepatan putar pada ujung blade turbin terhadap kecepatan fluida angin/ arus laut [9]. Maka dapat dirumuskan pada persamaan 1 sebagai berikut [9]:

$$\lambda = \frac{V_{tip}}{V_{fluid}} = \frac{R\omega}{V_{fluid}} \quad (1)$$

2.3.2 Jari-Jari Parsial (r)

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung jari-jari parsial adalah sebagai berikut [9]:

$$r = \text{Hub Radius} + \left[\left(\frac{R - \text{hub radius}}{n} \right) \times \text{elemen} \right] \quad (2)$$

Keterangan:

r : jari-jari parsial (m)
 Hub radius : jarak jari-jari pertama
 R : panjang bilah (m)
 elemen : banyak data perancangan bilah
 n : jumlah elemen pada bilah

2.3.3 Tip Speed Rasio Parsial (TSR Parsial)

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung TSR parsial adalah sebagai berikut [9]:

$$\lambda_r = \frac{r}{R} \times \lambda_R \quad (3)$$

Keterangan:

r : jari-jari parsial (m)
 R : panjang bilah (m)
 λ_R : TSR yang ditentukan untuk perhitungan yaitu, 7

2.3.4 Cl Parsial

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung TSR parsial adalah sebagai berikut [9]:

$$C_l = \frac{16\pi \times R \times \frac{R}{r}}{9\lambda^2 \times B \times C_r} \quad (4)$$

Keterangan:

Cl : Koefisien Lift
 Cr : Lebar Chord
 R : Panjang Bilah
 r : Jari-Jari Parsial
 B : Jumlah Blade yang digunakan

2.3.5 Sudut Flow

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung sudut flow adalah sebagai berikut [9]:

$$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_r} \quad (5)$$

2.3.6 Sudut Twist

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung sudut twist adalah sebagai berikut [9]:

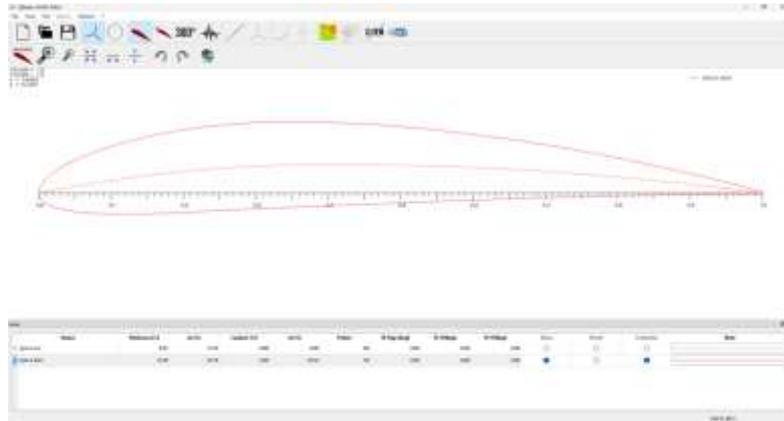
$$\beta = \phi - \alpha \quad (6)$$

Keterangan:

- B : Sudut Twist
- A : Sudut serang/alpha dari hasil desain yaitu, 8

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan bentuk dari desain airfoil NACA 4412:



Gambar 1 Airfoil desain NACA 4412

NACA 4412 memiliki ketebalan (*thickness*) 12% pada chord 29.10%. Dalam menentukan konfigurasi dibutuhkan parameter. Parameter tersebut ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Tabel parameter pertama

Energy Capacity (Watt)	Efficiency				Wind Energy	Vmax (m/s)	A (m ²)	R (m)	Jari-jari yang digunakan
	Blade	Generator	Controller	Transmission System					
500.00	0.30	0.80	0.80	0.80	0.15	3255.21	12.00	3,07	0.99
	0.40				0.20			2441.41	

Parameter awal yang diasumsikan adalah kapasitas energi sebesar 500 watt, karena daya yang pada umumnya dapat disimpan berkisar 500-1000 watt. Selanjutnya ada efisiensi pada bilah turbin diasumsikan sebesar 30% dan 40%, generator sebesar 80%, kontroler 80% dan transmisi 80% sehingga menghasilkan efisiensi pada sistem sebesar 0.15 hingga 0.20. Kecepatan angin diasumsikan sebesar 12 m/s dan didapatkan besar energi dari angin tersebut sebesar 2441,41 hingga 3255,21 Joule. Panjang jari-jari turbin atau panjang dari bilah turbin tersebut sebesar 1 meter, dan luas jangkauan putar pada turbin mencapai 2,30 hingga 3,07 m². Selanjutnya ada parameter kedua dari perancangan blade yang ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Tabel parameter kedua

TSR λ_R	Air Foil	Jumlah Blade	Lebar Chord (m) Cr
7.00	NACA 4412	3	0.15

Tip Speed Ratio (TSR) yang digunakan untuk perhitungan parameter-parameter selanjutnya yaitu 7 dengan desain airfoil NACA 4412 yang nantinya akan di input pada software Q-blade. Jumlah bilah turbin yang digunakan sebanyak 3 buah, karena umum digunakan dan memiliki kesetimbangan serta gaya tangkap angin yang efektif dengan *lebar*

chord (Cr) yang digunakan sebesar 0.15 meter. Tabel parameter ketiga atau yang terakhir dihitung menggunakan persamaan 1 sampai persamaan 5 pada metodologi. Tabel parameter ketiga ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Tabel parameter ketiga

Elemen	r (m)	TSR Parsial λ_r	Cl Parsial	Alpha (Q-Blade)	Sudut Flow ϕ	Susut Twist β	Twist 75%	Twist Linear	Lebar Chord (m)
0	0.220	1.5400	1.1507	6.2470	21.9985	15.7515		10.9827	0.15
1	0.298	2.0860	0.8495	3.4040	17.0749	13.6709		10.6086	0.15
2	0.376	2.6320	0.6733	1.7350	13.8692	12.1342		10.2344	0.15
3	0.454	3.1780	0.5576	0.8160	11.6446	10.8286		9.8603	0.15
4	0.532	3.7240	0.4759	0.0100	10.0206	10.0106		9.4862	0.15
5	0.610	4.2700	0.4150	-0.5490	8.7871	9.3361		9.1120	0.15
6	0.688	4.8160	0.3680	-0.9870	7.8202	8.8072		8.7379	0.15
7	0.766	5.3620	0.3305	-1.3210	7.0428	8.3638	8.3638	8.3637	0.15
8	0.844	5.9080	0.3000	-1.5850	6.4046	7.9896	7.9896	7.9896	0.15
9	0.922	6.4540	0.2746	-1.8200	5.8717	7.6917		7.6154	0.15
10	1.000	7.0000	0.2532	-2.0050	5.4201	7.4251		7.2413	0.15

Blade dibagi menjadi 11 elemen dengan radius hub atau panjang awal sebesar 0.220 m. Sehingga didapatkan jari-jari parsial r (m) pada setiap elemen menggunakan persamaan 2 sebagai berikut:

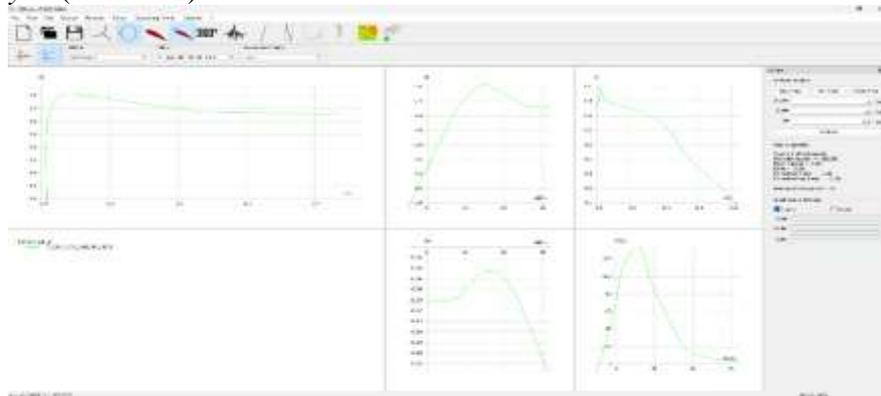
- Pada elemen 1:
 $r = 0.22 \text{ m} + [(\frac{1.0 \text{ m} - 0.22 \text{ m}}{10}) \times 1]$
 $r = 0.298 \text{ m}$
- Pada elemen 2:
 $r = 0.22 \text{ m} + [(\frac{1.0 \text{ m} - 0.22 \text{ m}}{10}) \times 2]$
 $r = 0.376 \text{ m}$
- Pada elemen 3:
 $r = 0.22 \text{ m} + [(\frac{1.0 \text{ m} - 0.22 \text{ m}}{10}) \times 3]$
 $r = 0.454 \text{ m}$
- Pada elemen 4:
 $r = 0.22 \text{ m} + [(\frac{1.0 \text{ m} - 0.22 \text{ m}}{10}) \times 4]$
 $r = 0.532 \text{ m}$
- Pada elemen 5:
 $r = 0.22 \text{ m} + [(\frac{1.0 \text{ m} - 0.22 \text{ m}}{10}) \times 5]$
 $r = 0.610 \text{ m}$
- Pada elemen 6:
 $r = 0.22 \text{ m} + [(\frac{1.0 \text{ m} - 0.22 \text{ m}}{10}) \times 6]$
 $r = 0.688 \text{ m}$
- Pada elemen 7:
 $r = 0.22 \text{ m} + [(\frac{1.0 \text{ m} - 0.22 \text{ m}}{10}) \times 7]$
 $r = 0.766 \text{ m}$
- Pada elemen 8:
 $r = 0.22 \text{ m} + [(\frac{1.0 \text{ m} - 0.22 \text{ m}}{10}) \times 8]$
 $r = 0.844 \text{ m}$
- Pada elemen 9:
 $r = 0.22 \text{ m} + [(\frac{1.0 \text{ m} - 0.22 \text{ m}}{10}) \times 9]$
 $r = 0.922 \text{ m}$
- Pada elemen 10:
 $r = 0.22 \text{ m} + [(\frac{1.0 \text{ m} - 0.22 \text{ m}}{10}) \times 10]$
 $r = 1.000 \text{ m}$

Pada persamaan 3 maka didapatkan nilai TSR parsial (λ_r) pada tiap-tiap elemen sebagai berikut:

- Pada elemen 0:
 $\lambda_r = \frac{0.220}{1} \times 7$
 $\lambda_r = 1.540$
- Pada elemen 1:
 $\lambda_r = \frac{0.298}{1} \times 7$
 $\lambda_r = 2.086$
- Pada elemen 2:
 $\lambda_r = \frac{0.376}{1} \times 7$
 $\lambda_r = 2.632$

- Pada elemen 3: $\lambda_r = \frac{0.454}{1} \times 7$
 $\lambda_r = 3.178$
- Pada elemen 4: $\lambda_r = \frac{0.532}{1} \times 7$
 $\lambda_r = 3.724$
- Pada elemen 5: $\lambda_r = \frac{0.610}{1} \times 7$
- Pada elemen 6: $\lambda_r = \frac{0.688}{1} \times 7$
 $\lambda_r = 4.816$
- Pada elemen 7: $\lambda_r = \frac{0.766}{1} \times 7$
 $\lambda_r = 5.362$
- Pada elemen 8: $\lambda_r = \frac{0.844}{1} \times 7$
- Pada elemen 9: $\lambda_r = \frac{0.922}{1} \times 7$
 $\lambda_r = 6.454$
- Pada elemen 10: $\lambda_r = \frac{1}{1} \times 7$
 $\lambda_r = 7$

Persamaan 4 digunakan untuk mengetahui nilai dari CI parsial pada tiap-tiap elemen. Nilai Alpha atau *Attack of Angle* pada Tabel parameter ketiga didapatkan dari simulasi X-FOIL *direct analysis* (Gambar 2).



Gambar 2 X-FOIL *direct analysis*

Pada grafik Cl vs Alpha maka didapatkan nilai parameter alpha. Selanjutnya ada parameter sudut flow (ϕ) yang menggunakan persamaan 5 dengan perhitungan sebagai berikut:

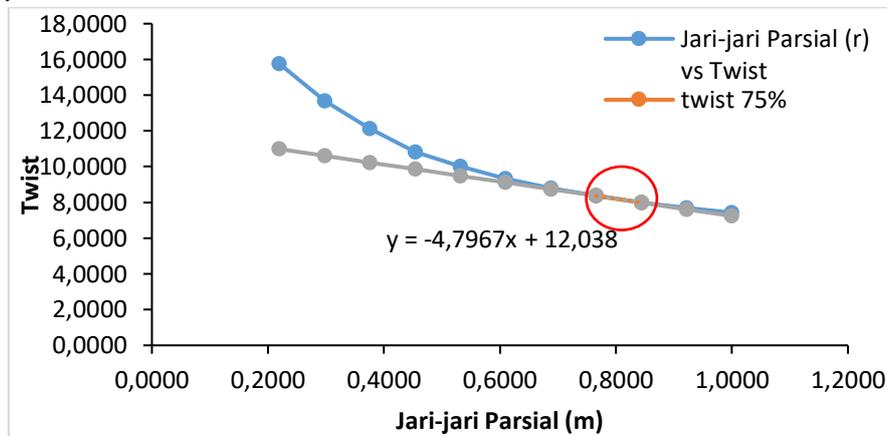
- Pada elemen 0: $\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{1.54}$
 $\phi = 21.99$
- Pada elemen 1: $\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{2.086}$
 $\phi = 17.074$
- Pada elemen 2: $\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{2.632}$
 $\phi = 13.869$
- Pada elemen 3: $\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{3.178}$
- Pada elemen 4: $\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{3.724}$
 $\phi = 10.020$
- Pada elemen 5: $\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{4.270}$
 $\phi = 8.787$
- Pada elemen 6: $\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{4.816}$
 $\phi = 7.820$
- Pada elemen 7: $\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{5.362}$
 $\phi = 7.042$
- Pada elemen 8: $\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{5.908}$
 $\phi = 6.404$
- Pada elemen 9: $\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{6.454}$
 $\phi = 5.871$
- Pada elemen 10: $\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{7}$
 $\phi = 5.420$

Selanjutnya pada persamaan 6 kita dapat menentukan sudut twist (β) dengan perhitungan sebagai berikut:

- Pada elemen 0: $\beta = 21.99 - 6.24$
 $\beta = 15.75$
- Pada elemen 1: $\beta = 17.074 - 3.404$
 $\beta = 13.670$
- Pada elemen 2: $\beta = 13.869 - 1.735$
 $\beta = 12.134$

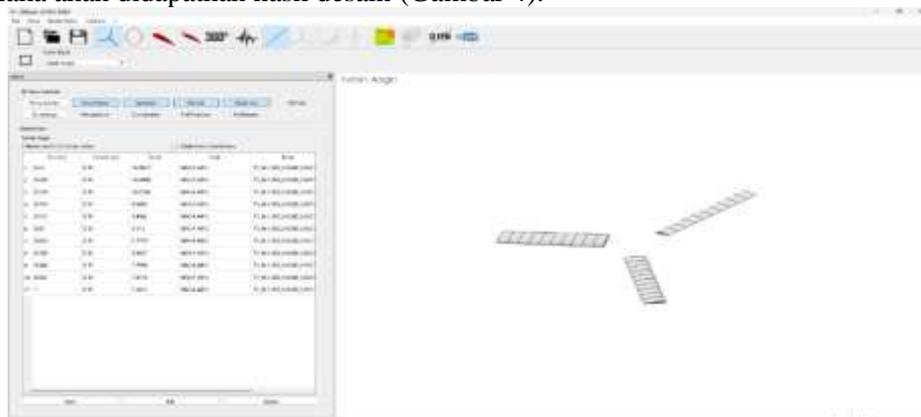
- Pada elemen 3:
 $\beta = 11.644 - 0.816$
 $\beta = 10.828$
- Pada elemen 4:
 $\beta = 10.0206 - 0.0100$
 $\beta = 10.0106$
- Pada elemen 5:
 $\beta = 8.787 - -0.549$
 $\beta = 9.336$
- Pada elemen 6:
 $\beta = 7.820 - -0.987$
 $\beta = 8.807$
- Pada elemen 7:
 $\beta = 7.042 - -1.321$
 $\beta = 8,3638$
- Pada elemen 8:
 $\beta = 6.404 - -1.585$
 $\beta = 7.989$
- Pada elemen 9:
 $\beta = 5.871 - -1.820$
 $\beta = 7.691$
- Pada elemen 10:
 $\beta = 5.420 - -2.005$
 $\beta = 7.425$

Twist 75% merupakan titik elemen ke-7 dan ke-8 yang merupakan posisi jari-jari yang optimal dan ideal untuk dibuat persamaan garis linear. Pembuatan garis linear untuk mempermudah proses pembuatan bilah. Persamaan linear yang didapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik r terhadap twist pada airfoil NACA 4412

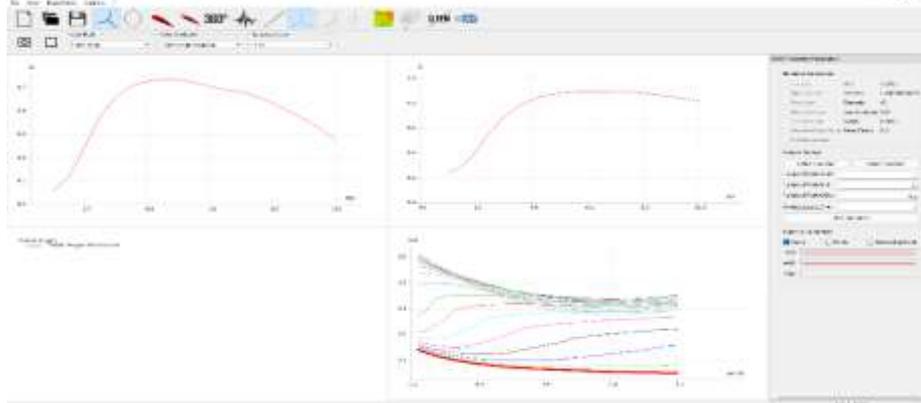
Dengan memasukkan parameter twist 75% dan kemudian dilakukan linearisasi pada kurva terhadap twist 75%, dan didapatkan persamaan linear $y = -4,7967x + 12,038$. Kemudian persamaan tersebut digunakan untuk mencari twist linear pada tiap-tiap elemen untuk dimasukkan pada Tabel parameter ketiga. Setelah mengetahui parameter dari tiap-tiap elemen kita dapat menginputkan data parameter ke dalam *software* Q-Blade untuk mulai mendesain blade. Maka akan didapatkan hasil desain (Gambar 4).



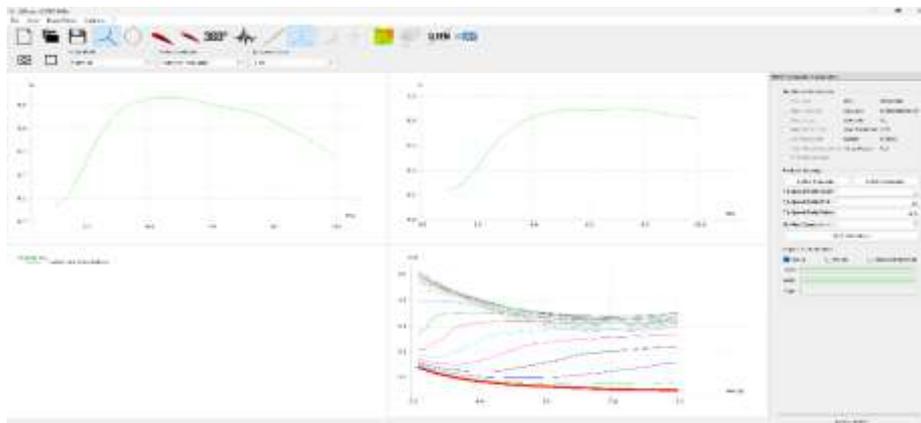
Gambar 4 Desain airfoil NACA 4412 pada Q-Blade

Berdasarkan penelitian terdahulu, jumlah blade 3 lebih optimal dibandingkan dengan blade berjumlah 2 dan 4 [10]. Setelah didapatkan desain turbin di atas, kemudian melakukan

simulasi Rotor BEM pada fluida berbeda untuk turbin angin dan turbin arus laut agar dapat melihat perbedaan parameter performansi dari hasil simulasi yang dilakukan (Gambar 5 dan 6).

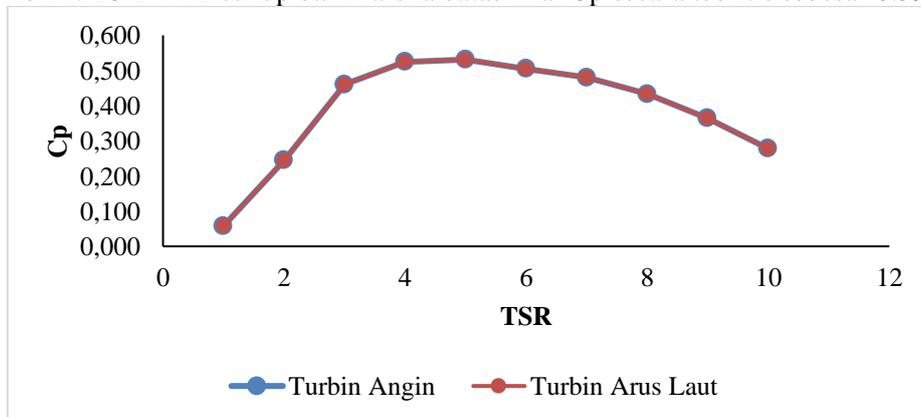


Gambar 5 Simulasi rotor BEM pada turbin angin

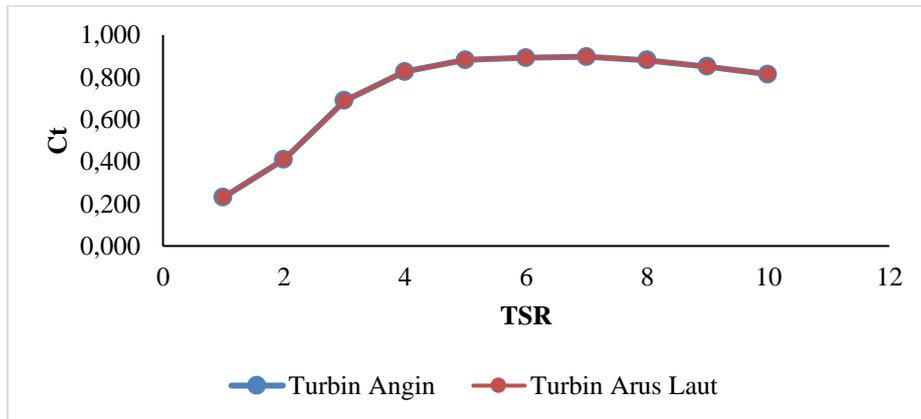


Gambar 6 Simulasi rotor BEM pada turbin air

Dari hasil simulasi rotor BEM kita dapat mengetahui parameter-parameter seperti C_p , C_t , T , dan P dari turbin angin dan turbin arus laut. Tip Speed Ratio (TSR) dipengaruhi oleh kecepatan angin (m/s), semakin besar TSR membutuhkan kecepatan angin yang lebih tinggi, begitu pun sebaliknya semakin kecil TSR makin kecepatan angin yang dibutuhkan relatif lebih rendah. Berdasarkan hasil simulasi blade menggunakan *software* Q-Blade dengan desain airfoil NACA 4412 menunjukkan nilai C_p tertinggi sebesar 0.531 pada nilai TSR 5 (Gambar 7). Jadi, desain airfoil NACA 4412 cukup baik karena batas nilai C_p secara teoritis sebesar 0.59.

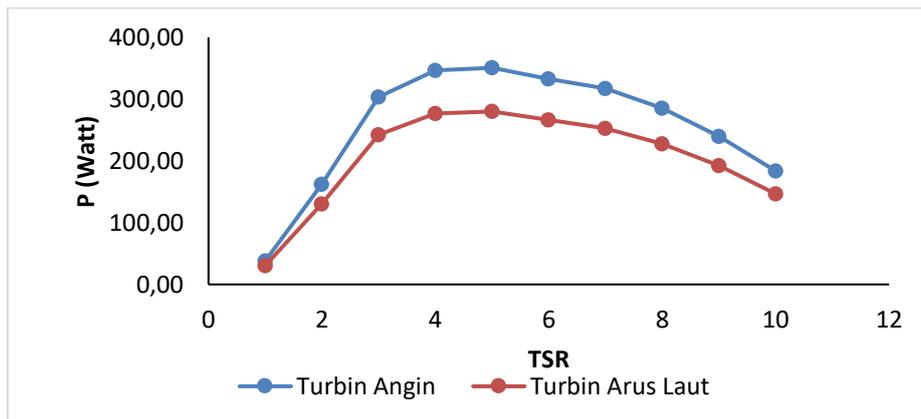


Gambar 7 Grafik C_p terhadap TSR

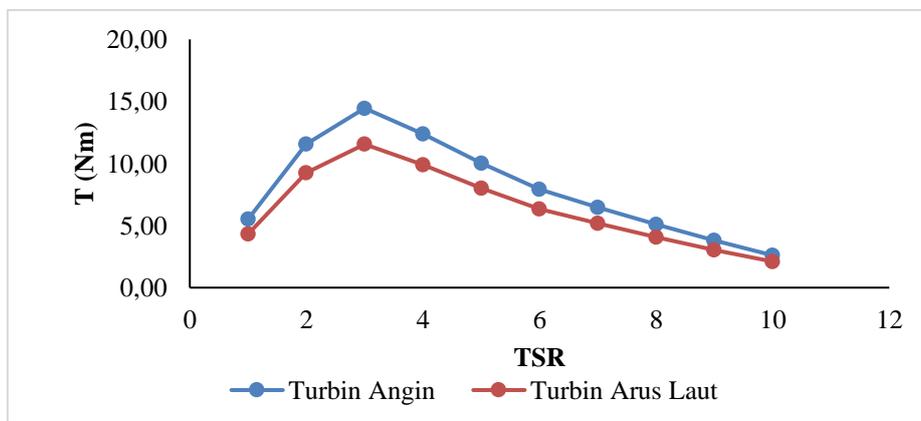


Gambar 8 Grafik Ct terhadap TSR

Tidak terdapat perbedaan dari hasil simulasi antara turbin angin dengan turbin arus laut pada perbandingan nilai TSR dengan Cp (Gambar 7), maupun perbandingan TSR dengan Ct (Gambar 8). Hal tersebut terjadi karena meski ada perbedaan dari densitas fluida dan viskositas fluida simulasi, namun TSR dan kecepatan fluida yang digunakan sama.



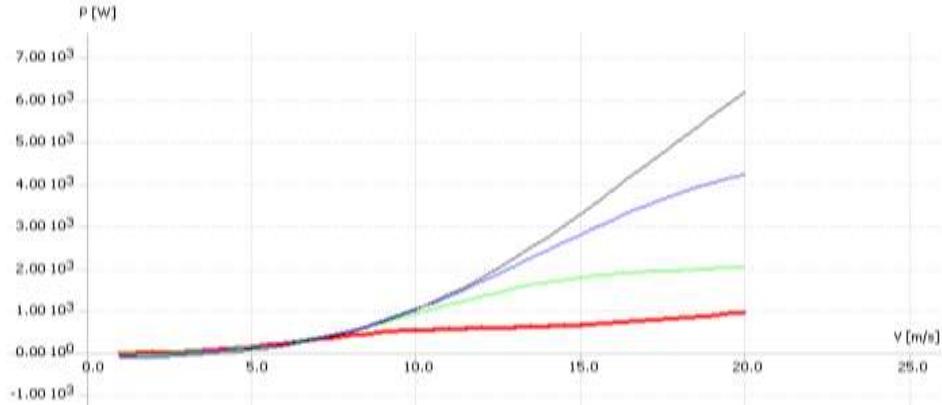
Gambar 9 Grafik Power terhadap TSR



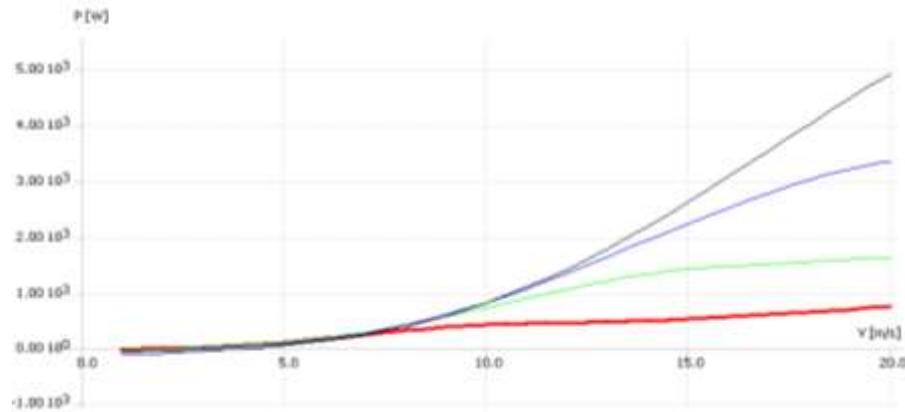
Gambar 10 Grafik Torsi terhadap TSR

Hasil perbandingan torsi (Nm) dan Power (Watt) dari turbin angin dan turbin arus laut, dapat dilihat dari grafik di atas bahwa turbin angin menghasilkan torsi maupun daya yang lebih

besar dari turbin arus laut. Torsi maksimum pada turbin angin sebesar 14.45 Nm sedangkan turbin arus laut sebesar 11.55 Nm (Gambar 10). Untuk daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 350.7 watt, sedangkan turbin arus laut sebesar 280 watt (Gambar 9).



Gambar 11 Grafik Power (watt) terhadap V (m/s) pada turbin angin



Gambar 12 Grafik Power (watt) terhadap V (m/s) pada turbin air

Hubungan power (watt) terhadap kecepatan angin V (m/s) yang bervariasi menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin maka daya yang dikeluarkan relatif meningkat baik pada turbin angin maupun turbin arus laut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11 dan 12. Tabel 5 merupakan perbandingan C_p , C_t , T (Nm), dan P (Watt) antara turbin angin dengan turbin air pada *tip speed ratio* atau TSR 1 hingga 10.

Tabel 5 Perbandingan C_p , C_t , T (Nm), dan P (Watt) antara turbin angin dengan turbin air pada TSR

TSR	Turbin Angin				Turbin Arus Laut			
	C_p	C_t	T (Nm)	P (W)	C_p	C_t	T (Nm)	P
1	0.0580	0.2310	5.5000	38.0000	0.0580	0.2310	4.3400	30.3500
2	0.2450	0.4100	11.5500	161.8000	0.2450	0.4100	9.2300	130.0000
3	0.4600	0.6880	14.4500	303.5000	0.4600	0.6880	11.5500	242.3000
4	0.5250	0.8260	12.4000	346.8000	0.5250	0.8260	9.8900	277.0000
5	0.5310	0.8810	10.0200	350.7000	0.5310	0.8810	8.0000	280.0000
6	0.5050	0.8910	7.9300	333.1400	0.5050	0.8910	6.3350	266.0000
7	0.4800	0.8970	6.4700	317.0000	0.4800	0.8970	5.1650	253.0000
8	0.4330	0.8800	5.1000	285.6000	0.4330	0.8800	4.0700	228.0000

9	0.3640	0.8500	3.8000	240.0000	0.3640	0.8500	3.0500	192.0000
10	0.2780	0.8130	2.6000	183.5000	0.2780	0.8130	2.1000	146.5000

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan mengenai perbandingan airfoil NACA 4412 menggunakan *software* Q-blade pada turbin angin dan air dengan beberapa parameter yang di input. Kesimpulan yang didapatkan adalah sebagai berikut:

1. Perbandingan antara C_p terhadap TSR dan C_t terhadap TSR pada masing-masing turbin angin dan turbin air tidak berbeda. Hal tersebut terjadi karena terdapat perbedaan densitas fluida dan viskositas fluida pada simulasi, tetapi TSR dan kecepatan fluida yang digunakan sama.
2. Perbandingan antara power (watt) terhadap TSR dan torsi (Nm) terhadap TSR yang dimiliki turbin angin jauh lebih besar daripada turbin air. Power pada turbin angin mencapai 350.70 watt sedangkan turbin air hanya mencapai 280 watt dan torsi yang dimiliki turbin angin mencapai 14.45 Nm sedangkan turbin air hanya mencapai 11.55 Nm.
3. NACA 4412 lebih baik digunakan sebagai turbin angin daripada turbin air

5. SARAN

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan simulasi dengan mempertimbangkan jenis blade yang lebih bervariasi, karena jenis blade yang optimal dengan potensi lingkungan akan mampu meningkatkan daya yang dihasilkan pembangkit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. A. Silalahi and J. P. Saragih, "Kebijakan pendukung batubara sebagai komponen diversifikasi energi tahun 2025," *Jurnal Ekonomi Kebijakan Publik*, vol. 1, no. 1, pp. 25-46, 2010.
- [2] S. P. Sidabutar, K. Kardiman, and R. A. Setyaningrum, "Perancangan bilah *inverse taper* berbahan *styrofoam* dengan *airfoil naca 4412*," *ROTOR: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 14, no. 2, pp. 70-74, 2022, doi: <https://doi.org/10.19184/rotor.v14i2.26812>.
- [3] A. Nuraini, C. S. Abadi, and F. Fachruddin, "Analisis perbandingan bilah turbin angin jenis *taper* dengan *taperless* pada turbin angin skala mikro di PT. Lentera Bumi Nusantara," in *Seminar Nasional Teknik Mesin*, 2019, vol. 9, no. 1, pp. 138-146.
- [4] A. Sidiq and A. Gazali, "Perancangan turbin air tipe aliran silang dengan variasi 3 kecepatan pompa," *Al Jazari: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 67-70, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.31602/al-jazari.v4i2.2646>.
- [5] D. T. Prasetyo, "Analisis numerik performansi aerodinamika pada *leading edge tubercles* airfoil turbin angin bionik berbasis *long-eared owl* " Sarjana Skripsi, Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2019. [Online]. Available: https://repository.its.ac.id/55296/1/02311645000029_Undergraduate_Theses.pdf
- [6] J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. John Wiley & Sons, 2010.
- [7] M. A. Alfaridzi, "Analisis performa bilah *taperless* dengan airfoil naca 4412 pada *horizontal axis wind turbine* TSD 500 di PT Lentera Bumi Nusantara," *Jurnal Teknik Mesin dan Pembelajaran*, vol. 3, no. 2, pp. 64-73, 2020, doi: <http://dx.doi.org/10.17977/um054v3i2p64-73>.

-
- [8] I. R. W. Fauzi, "Unjuk kerja turbin angin dengan profil sudu naca 4412 dengan metode simulasi," in *Prosiding Seminar Nasional Sains Teknologi dan Inovasi Indonesia (SENASTINDO)*, 2019, vol. 1, pp. 19-26.
- [9] Madi, "Modul Praktikum TSE-03 Perancangan Blade Turbin," Program Studi Teknik Sistem Energi, ITERA, Lampung, 2020.
- [10] A. Effendi, M. Novriyanti, A. Y. Dewi, and A. M. N. Putra, "Analisa pengaruh jumlah blade terhadap putaran turbin pada pemanfaatan energi angin di pantai ujung batu muaro penjalinan," *Jurnal Teknik Elektro Institut Teknologi Padang*, vol. 8, no. 2, pp. 134-138, 2019, doi: <https://doi.org/10.21063/JTE.2019.3133823>.