

ANALISA EFEKTIFITAS WIND TURBINE SUMBU HORIZONTAL DENGAN VARIASI JUMLAH DAN JENIS AIRFOIL SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK TAMBAHAN PADA FISHERIES INSPECTION

Arga Gideon Sarwanto¹⁾, Untung Budiarto¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro,

Email: argagideonsatwanto@gmail.com, untungbudiarto@yahoo.com, ahmadfzakki@yahoo.com,

Abstrak

Dengan naiknya harga bahan bakar, maka akan berdampak pada industri perkapalan dikarenakan konsumsi bahan bakar fosil digunakan untuk menggerakkan kapal, penerangan pada kapal, bahkan untuk bongkar muat. Pemanfaatan energi angin bisa dilakukan dengan cara pemasangan wind turbine pada kapal. Penelitian ini menganalisa efektifitas energi yang dihasilkan dari turbin angin yang akan diinstalasi pada *deck Fisheries Inspection Vessel 594 GT* dengan variasi jumlah dan ketebalan sudu airfoil NACA. Turbin angin yang akan dianalisa merupakan tipe turbin angin sumbu horizontal yang dipasang pada bagian deck kapal. Peneliti ini akan menganalisa pengaruh dari variasi bentuk *geometri* dan jumlah sudu *wind turbine*. Variasi ketebalan foil yang digunakan adalah NACA 0015, NACA 0018, NACA 0025 dengan variasi jumlah sudu 2, 3 dan 4. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa turbin berupa gaya, torsi, daya, dan koefisien power turbin pada setiap variasi. Peneliti menggunakan *software Ansys CFX 14* untuk melakukan analisa gaya yang mempengaruhi gerak sudu turbin dan *software Qblade v.0.91b* untuk mencari koefisien power turbin angin. Berdasarkan hasil analisa, didapatkan bahwa nilai torsi tertinggi adalah pada turbin angin dengan jenis foil NACA 0018 dan jumlah sudu 2 sebesar 351,72 Nm, nilai daya 11051,1 Watt, nilai koefisien power 0,488. Dapat ditarik kesimpulan turbin angin dengan foil NACA 0018 dengan jumlah 2 sudu merupakan geometri turbin yang paling optimum digunakan pada pembangkit listrik tenaga angin ini.

Kata kunci : *Wind Turbine, foil, torsi, daya, koefisien power*

Abstract

With the rising price of fuel, it will have an impact on the shipping industry because consumption of fossil fuel used to move boats, lighting on the ship, even for unloading. Wind energy utilization can be done by installing wind turbine on the ship. This study analyzes the effectiveness of the energy generated from wind turbines to be installed on deck Fisheries Vessel Inspection GT 594 with a variation amount and thickness of the blade airfoil NACA. The wind turbine will be analyzed is the type of horizontal axis wind turbines are mounted on the deck of the ship. Researchers will analyze the effect of variations of the geometry and the number of blade wind turbine. Variations in the thickness of foil used is NACA 0015, NACA 0018, NACA 0025 with a variation of the number of blades 2, 3 and 4. The aim of this study was to determine the performance of a turbine in the form of force, torque, power, and power coefficient of the turbine at each variation. Researcher using software Ansys CFX 14 for analyzing motion forces that affect turbine blades and software Qblade v.0.91b to look for wind turbine power coefficient. Based on the analysis, it was found that the highest torque value is in wind turbines with a kind of foil NACA 0018 and the number of blade 2 at 351.72 Nm, the value of 11051.1 Watt, power coefficient 0,488. Wind turbines can be concluded with foil NACA 0018 with number 2 blade is the most optimum turbine geometry used in this wind power plant.

Keywords: *Wind Turbine, foil, torque, power, power coefficient*

1. PENDAHULUAN

Semakin menipisnya sumber energy yang tidak dapat terbarukan (*nonrenewable*), serta penggunaan bahan bakar yang ramah lingkungan, memerlukan suatu jalan alternatif guna mengganti sumber energi tersebut dengan sumber energi yang terbarukan (*renewable*). Dengan naiknya harga bahan bakar, maka akan berdampak pada industri perkapalan dikarena konsumsi bahan bakar fosil digunakan untuk menggerakkan kapal, penerangan pada kapal, bahkan untuk bongkar muat..

Dengan permasalahan tersebut banyak negara-negara mulai mencari dan memanfaatkan alternatif sumber energi lain yang ramah lingkungan dan bisa membantu mengurangi ketergantungan akan bahan bakar fosil. Pengembangan sumber energi alternatif angin sangat cocok digunakan dalam industri perkapalan mengingat di laut energi angin ini sangat besar jumlahnya. Pemanfaatan energi angin bisa dilakukan dengan cara pemasangan wind turbine pada kapal. Pada penelitian kali ini, peneliti akan menganalisa efektifitas energi yang dihasilkan dari turbin angin dengan variasi jumlah dan ketebalan sudu *airfoil NACA*.

Pada penelitian kali ini, peneliti akan menganalisa pengaruh dari bentuk *geometri* dan jumlah sudu yang dipasang pada bagian *deck* kapal Fisheries Investigation Vessel 594 GT . Variasi foil yang digunakan adalah NACA 0015, NACA 0018 dan NACA 0025 dengan variasi jumlah sudu tiga dan empat .

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapat dan menganalisa pengaruh variasi ketebalan sudu *airfoil naca* dan jumlah sudu terhadap torsi, koefisien power, dan power yang dihasilkan. Peneliti juga dapat menentukan turbin angin yang paling efektif untuk dipasang di kapal Fisheries Investigation Vessel 594 GT. Dalam hal ini juga peneliti menentukan kemungkinan ada atau tidaknya pengaruh momen inersia turbin angin terhadap stabilitas dan olah gerak kapal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sebagai hasil dari usaha pencarian energi alternatif (sebagai pengganti energi fosil) lalu munculah istilah energi terbarukan. Hampir semua energi terbarukan, termasuk energi pasang surut, arus dan gelombang air laut bahkan energi fosil

berasal dari energi matahari. Bentuk energi yang terdapat pada angin yang dapat diekstraksi oleh turbin angin adalah energi kinetiknya. Angin adalah massa udara yang bergerak. Besarnya energi yang terkandung pada angin bergantung pada besarnya kecepatan angin dan massa jenis angin atau udara yang bergerrak tersebut. Jika diformulasikan, besar energi kinetik yang terkandung pada angin atau udara bergerak yang bermassa m dan berkecepatan v adalah:

$$E = 1/2 mv^2$$

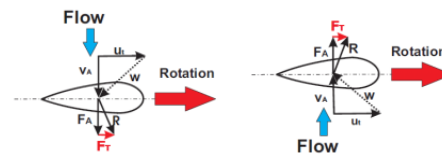
Dimana:

E = Energi Kinetik (joule)

m = massa udara (kg)

v = kecepatan angin (m/s)

Turbin angin merupakan salah satu alat yang mekanisme gerakannya memanfaatkan energi angin. Turbin angin adalah alat yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi gerak berupa putaran rotor dan poros generator untuk menghasilkan energi listrik. Energi gerak yang berasal dari angin akan diteruskan menjadi gaya gerak dan torsi pada poros generator yang kemudian menghasilkan energi listrik. Berdasarkan arah sumbu gerakannya, turbin angin terbagi menjadi 2, yaitu: turbin angin sumbu horizontal dan vertikal.

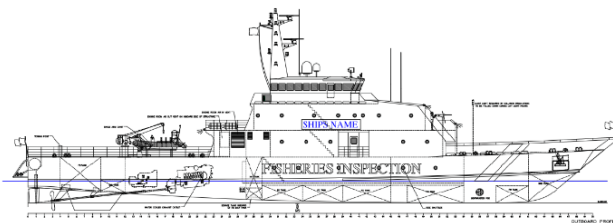


Gambar 2. Axial dan Tangential force pada wind turbine [9]

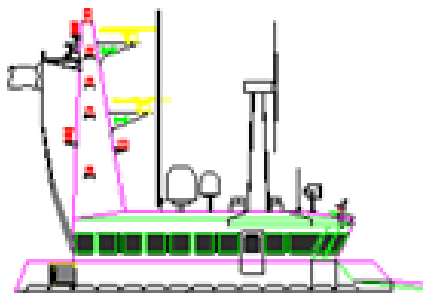
Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan diarahkan menuju dari arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi angin. Rotor turbin angin kecil diarahkan menuju dari arah datangnya angin menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah rotor turbin mengarah pada angin. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin angin sumbu horizontal mengalami gaya lift dan gaya drag, namun gaya lift jauh lebih besar dari gaya drag sehingga rotor turbin ini lebih dikenal dengan rotor turbin tipe lift.

MSS60FIV PARTICULARS	
LENGTH OVERALL	60,00 m
LENGTH WATERLINE	53,39 m
BEAM MOULDED	8,20 m
BEAM WATERLINE	7,49 m
DEPTH MOULDED	4,37 m
DRAFT MOULDED	2,17 m
DRAFT EXTREME	2,96 m
MAIN ENGINES	2 x 2560 KW
FUEL CAPACITY	138000 L
FRESH WATER CAPACITY	30000 L
CREW	24 PERSONS
VIP	1 PERSONS
DETAINEES	12 PERSONS
MAXIMUM SPEED	24 KNOTS

60 METRE FISHERIES INSPECTION VESSEL



Gambar 3. Fisheries Inspection Vessel 594 GT sebelum dipasang wind turbine



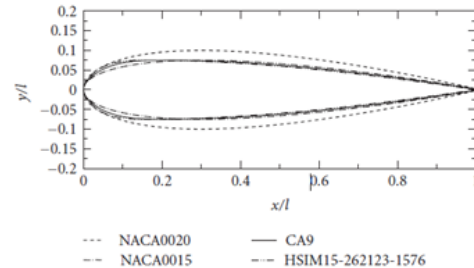
Gambar 4. Fisheries Inspection Vessel 594 GT setelah dipasang wind turbine

Pada sudu turbin angin akan terjadi tegangan geser pada permukaannya ketika kontak dengan udara. Distribusi tegangan geser pada permukaannya ketika kontak dengan udara. Distribusi tegangan pada permukaan sudu ini dipresentasi dengan adanya gaya tekan (drag) yang arahnya sejajar dengan arah aliran fluida dan gaya angkat (lift) yang arahnya tegak lurus dari arah aliran fluida. Kedua gaya ini menyebabkan sudu dapat berputar. Kedua gaya ini dipengaruhi oleh bentuk sudu, luas permukaan bidang sentuh dan kecepatan angin tersebut.

Airfoil adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk

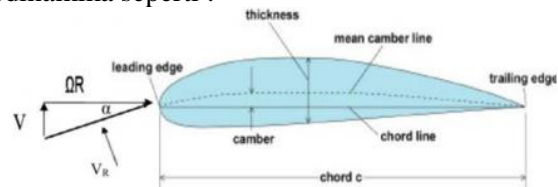
memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu body airfoil.

Ketebalan dari *airfoil* sangat penting karena menentukan *aerodinamics* yang terjadi disekitar turbin. Pengaruh dari ketebalan aerofoil pada performa aerodinamics tidak dapat dipisahkan.



Gambar 5. Perbandingan geometri Foil pada Profile Blade [2]

Turbin angin menggunakan prinsip prinsip aerodinamika seperti :



Gambar 5. Prinsip sudu [5]

Keterangan :

α = sudut kontak = sudut antara garis tengah – cord line dan arah dari angin, VR

VR = kecepatan angin yang terdeteksi oleh sudu vektor jumlah dari V (aliran angin) dan QR (kecepatanujung– ujung sudu).

Penelitian ini menggunakan Komputasi dinamika Fluida biasanya disingkat sebagai CFD (Computational Dynamics Fluid), merupakan suatu teknologi komputasi yang memungkinkan anda untuk mempelajari dinamika dari benda-benda atau zat-zat yang mengalir. Secara definisi, CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika (model matematika).

Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

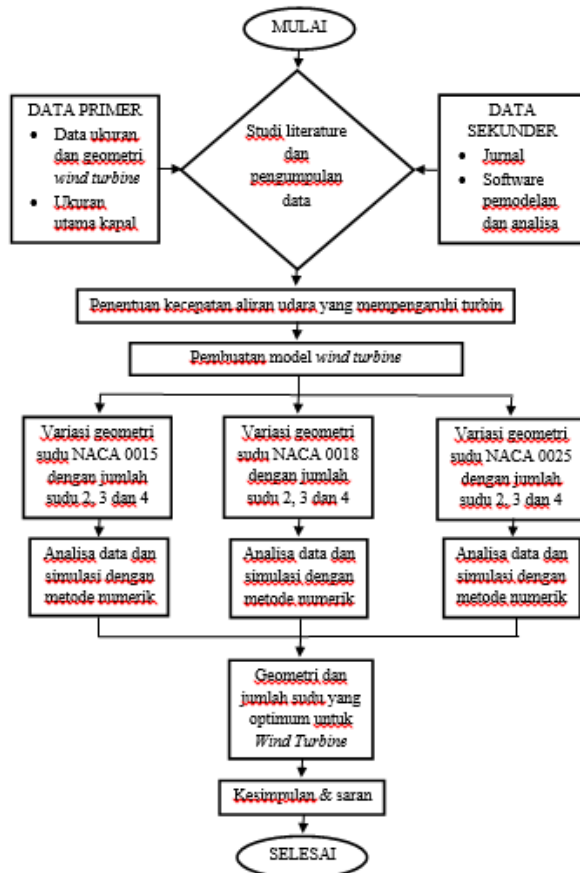
- a. Pre Processor
- b. Solver Manager
- c. Post Processor

Stabilitas/keseimbangan kapal adalah sifat / kecenderungan sebuah kapal untuk kembali ke kedudukan semula atau menegak kembali setelah

mengalami senget akibat gaya/ pengaruh dari luar (angin, ombak, gelombang, badai dan arus) dan dalam (tata letak muatan, bentuk, ukuran dan kebocoran kapal).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Data kapal Fisheries Investigatin Vessel 594 diperoleh dari galangan kapal Daya Radar Utama (DRU). Tahap awal yang dilakukan adalah menentukan geometri dari *wind turbine* yang akan dimodelkan. Dari geometri dari *wind turbine* dimodelkan dengan software SOLIDWORK dan digunakan software CFD ANSYS FLUENT 2014 dan Qblade untuk menganalisa hasil daya, torsi dan koefisien power. Tahapannya digambarkan dalam *flowchart* berikut:



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

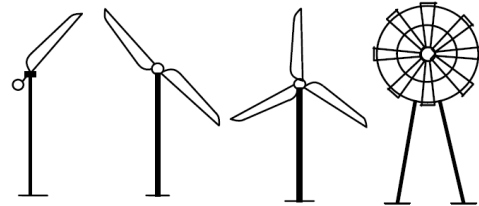
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Validasi Tip Speed Ratio dan Power Coefficient

Perhitungan Validasi menggunakan software pemodelan dan analisa CFD ANSYS FLUENT®

2014 dengan acuan horizontal axis wind turbine. Sudu turbin menggunakan jenis AH 93-W-145. Berikut spesifikasi detailnya :

- Nominal power output* : 1.1kW @ 10m/s
- Power control method* : Control starting at 10m/s
- Number of blades* : 3
- Diameter* : 3.3 m
- Aerodynamic profile* : AH 93-W- 145
- Installation height* : 9 -13 m
- Rotational speed* : 300 rpm



Single bladed, two bladed, three bladed and multi bladed turbines

Gambar 6. Jenis turbin dari jumlah sudu [1]

Perhitungan *Tip Speed Ratio*. Tip speed ratio merupakan perbandingan antara tip speed blade dengan kecepatan angin inlet.

$$TSR = \frac{Tip\ speed}{Wind\ speed} = \frac{\omega \times R}{U_{\infty}}$$

Dimana :

ω = Rotor Rotational Speed (rad/s)

R = Rotor Radius (m)

U_{∞} = Wind Speed (m/s)

Perhitungan *Power Coefficient*. Power Coefficient merupakan perbandingan antara power yang dihasilkan oleh wind rotor dengan power yang dihasilkan oleh angin oleh karena energi kinetiknya.

$$C_p = \frac{Q\omega}{0,5\rho AU^3_{\infty}}$$

Dimana :

Q = Torque (Nm)

ω = Rotor Rotational Speed (rad/s)

ρ = Air Density (kg/m³)

A = Cross sectional area of the rotor (m²)

U_{∞} = Wind Speed (m/s)

Perhitungan nilai torsi didapatkan dari hasil kali gaya tangensial dengan jari-jari turbin. Dinyatakan dalam persamaan [4] :

$$Q = F\phi \times R$$

Dimana

Q = Torsi (Nm)

$F\phi$ = Gaya Tangensial (N)

R = Jari-jari (m)

Tabel 1. Daya dan persentase error turbin angin

	Daya Turbin Angin (Watt)	Persentase Error (%)
ACUAN	2350	-
CFD	2324,519	1,08
QBLADE	2242,104	4,4

4.2. Penentuan Nilai Parameter Tetap dan Peubah

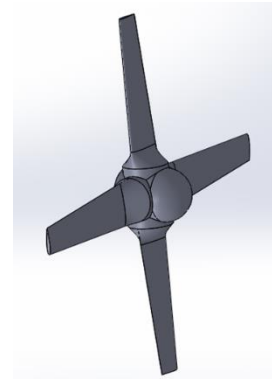
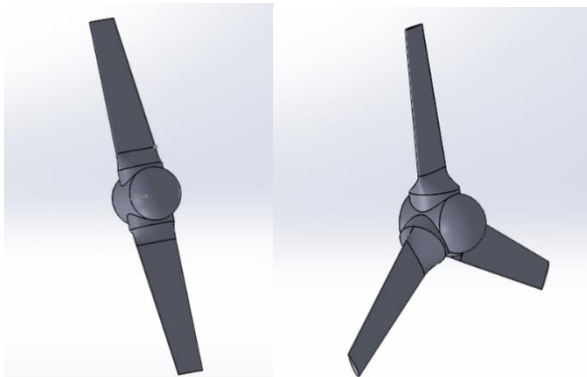
Perhitungan menggunakan software pemodelan dan analisa CFD ANSYS FLUENT® 2014 dengan memvariasikan jumlah dan bentuk geometri sudu pada *Horizontal Axis Wind Turbine*. Sudu turbin menggunakan jenis NACA series, dalam hal ini adalah NACA 0015. Berikut spesifikasi detail dari turbin acuannya :

- Root chord length* : 2000 mm
- Tip chord length* : 650 mm
- Length of blade* : 2500 mm
- Hub diameter* : 337,5 mm
- Hub length* : 250 mm
- Hub to blade* : 250 mm
- RPM : 300 Rad / menit

Tabel 2. Parameter tetap dan peubah

No	Parameter Tetap	
1	<i>Diameter (mm)</i>	: 5000
2	<i>hub diameter (mm)</i>	: 200
3	<i>hub-to-tip ratio</i>	: 0,5
4	<i>Blade span (mm)</i>	: 4000

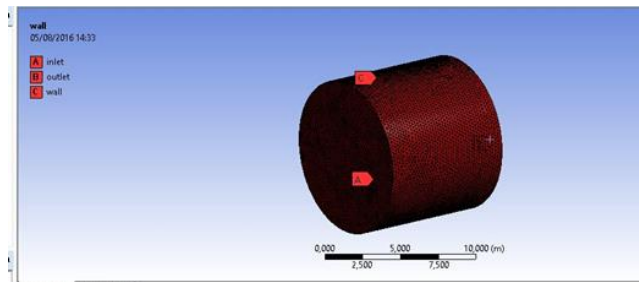
No	Parameter Peubah	
1	<i>Aerofoil</i>	: NACA 0015
		: NACA 0018
		: NACA 0025
2	<i>Blade Number</i>	: 2
		: 3
		: 4



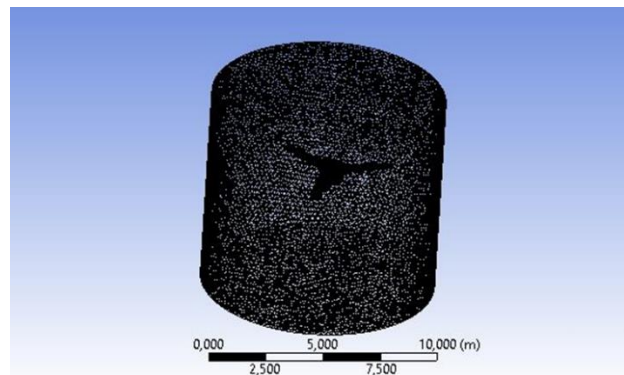
4.3. Perhitungan Torsi, Daya dan Koefisien Power Berdasarkan Variasi Jenis dan Jumlah Sudu



Gambar 8. Geometri Turbin



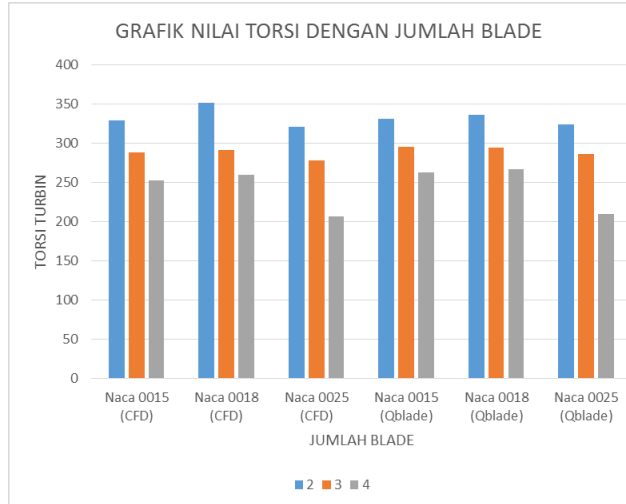
Gambar 9. Pemberian penamaan domain



Gambar 10. Proses Meshing

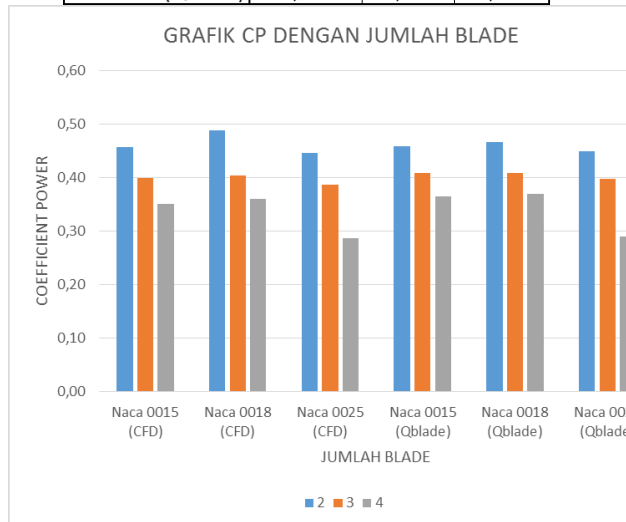
Tabel 3. Nilai Torsi Turbin (Nm)

Foil	2	3	4
Naca 0015 (CFD)	328,87	288,31	252,52
Naca 0018 (CFD)	351,72	291,29	259,50
Naca 0025 (CFD)	321,20	278,40	206,58
Naca 0015 (Qblade)	330,80	295,19	262,81
Naca 0018 (Qblade)	335,76	294,40	266,57
Naca 0025 (Qblade)	324,35	286,41	209,60



Gambar 13. Grafik Nilai Torsi Turbin
Tabel 4. Nilai CP Turbin

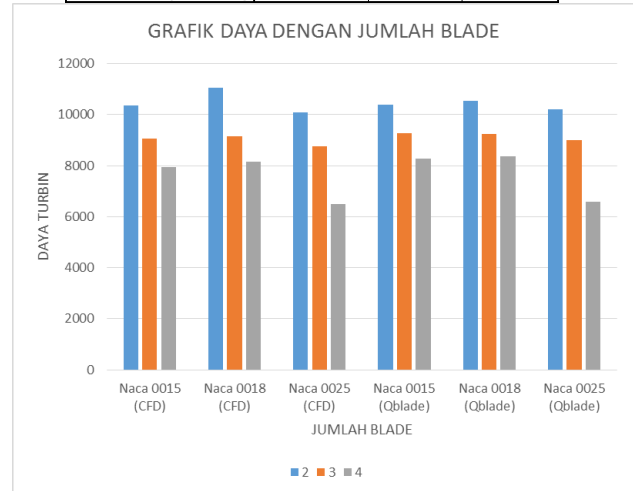
Foil	2	3	4
Naca 0015 (CFD)	0,457	0,400	0,350
Naca 0018 (CFD)	0,488	0,404	0,360
Naca 0025 (CFD)	0,446	0,386	0,287
Naca 0015 (Qblade)	0,459	0,410	0,365
Naca 0018 (Qblade)	0,466	0,408	0,370
Naca 0025 (Qblade)	0,450	0,397	0,291



Gambar 14. Grafik Nilai CP Turbin

Tabel 5. Nilai Daya Turbin

Foil	2	3	4
Naca 0015 (CFD)	10350,450	9058,590	7934,060
Naca 0018 (CFD)	11051,100	9152,210	8153,370
Naca 0025 (CFD)	10092,100	8747,370	6490,850
Naca 0015 (Qblade)	10393,790	9274,960	8257,640
Naca 0018 (Qblade)	10549,590	9250,000	8375,710
Naca 0025 (Qblade)	10191,030	8998,860	6585,540

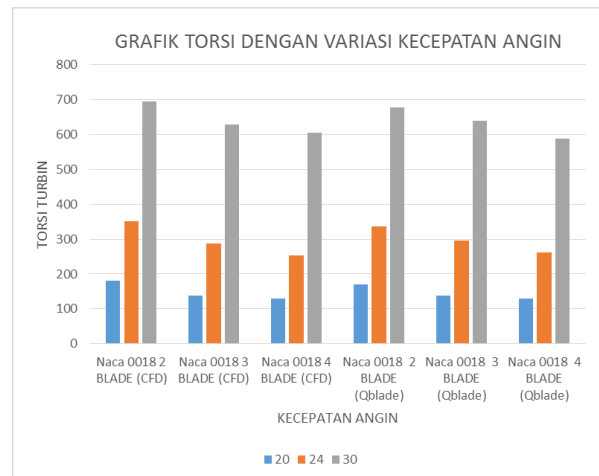


Gambar 15. Grafik Nilai Daya Turbin

4.4. Perhitungan Torsi, Daya dan Koefisien Power Berdasarkan Variasi Kecepatan Angin dan Jumlah Blade

Tabel 6. Nilai Torsi Turbin

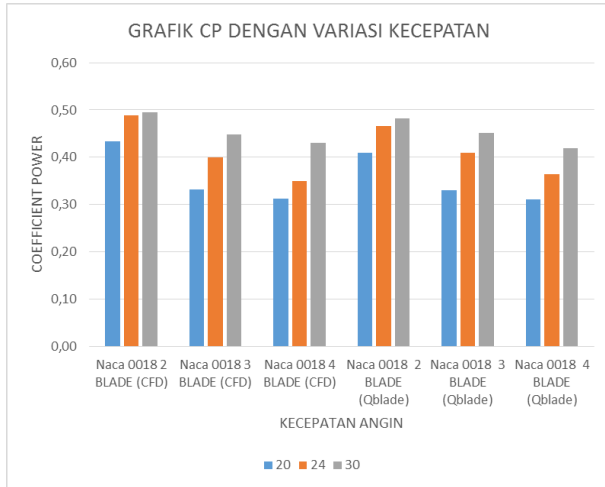
Foil	20	24	30
Naca 0018 2 BLADE (CFD)	181,05	351,72	696,12
Naca 0018 3 BLADE (CFD)	138,01	288,31	629,85
Naca 0018 4 BLADE (CFD)	130,09	252,52	605,16
Naca 0018 2 BLADE (Qblade)	170,76	335,76	677,14
Naca 0018 3 BLADE (Qblade)	137,58	295,19	639,79
Naca 0018 4 BLADE (Qblade)	129,48	262,81	588,84



Gambar 16. Grafik Nilai Torsi Turbin

Tabel 7. Nilai CP Turbin

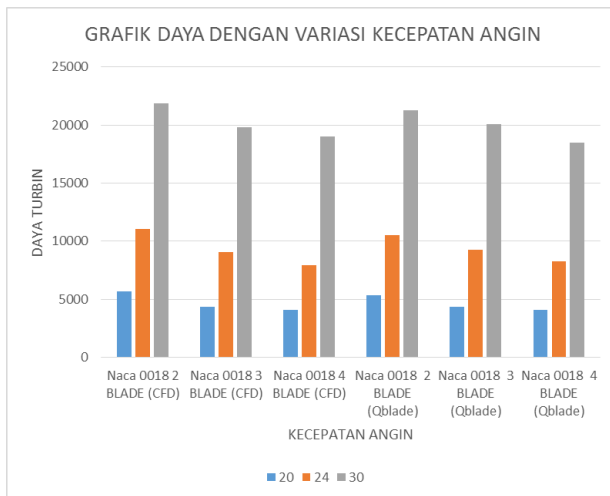
Foil	2	3	4
Naca 0018 2 BLADE (CFD)	0,434	0,488	0,495
Naca 0018 3 BLADE (CFD)	0,331	0,400	0,448
Naca 0018 4 BLADE (CFD)	0,312	0,350	0,431
Naca 0018 2 BLADE (Qblade)	0,410	0,466	0,482
Naca 0018 3 BLADE (Qblade)	0,330	0,410	0,451
Naca 0018 4 BLADE (Qblade)	0,311	0,365	0,419



Gambar 17. Grafik Nilai CP Turbin

Tabel 8. Nilai Daya Turbin

Foil	20	24	30
Naca 0018 2 BLADE (CFD)	5688,60	11051,10	21872,00
Naca 0018 3 BLADE (CFD)	4336,40	9058,59	19790,00
Naca 0018 4 BLADE (CFD)	4087,50	7934,06	19014,00
Naca 0018 2 BLADE (Qblade)	5365,42	10549,59	21275,81
Naca 0018 3 BLADE (Qblade)	4322,87	9274,96	20102,24
Naca 0018 4 BLADE (Qblade)	4068,32	8257,64	18501,42

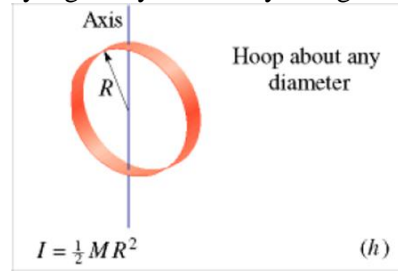


Gambar 18. Grafik Nilai Daya Turbin

4.5 Pengaruh Instalasi Turbin Pada Kapal

Inersia atau kelembaman adalah kecenderungan semua benda fisik untuk menolak perubahan terhadap keadaan geraknya. Prinsip inersia adalah salah satu dasar dari fisika klasik yang digunakan untuk memerikan gerakan benda dan pengaruh gaya yang dikenakan terhadap benda itu.

Dalam pemakaian umum orang juga dapat menggunakan istilah "inersia" untuk mengacu kepada "jumlah tahanan terhadap perubahan kecepatan" (yang dikuantifikasi sebagai massa), atau kadang-kadang juga terhadap momentumnya, tergantung terhadap konteks. Dalam kata-kata yang lebih sederhana, suatu benda akan terus bergerak pada kecepatannya saat ini tanpa berubah arah, hingga ada gaya yang menyebabkannya mengubah kecepatan atau arahnya. Ini juga termasuk benda yang tidak bergerak (kecepatan = nol), yang akan tetap dalam keadaan diam sampai ada gaya yang menyebabkannya bergerak.



Gambar 19. Hoop about any diameter [10]

Rumusan :

$$I_{CM} = \frac{1}{2} M R_1^2 - \frac{1}{2} M R_2^2$$

M = Massa objek yang berotasi

R^2 = Jari-jari Blade

R_2^2 = Jari-jari Hub

$$V_{blade} = (2 \times L_{ALAS} + L_{SELIMUT}) \times \text{Tebal}$$

$$= (2 \times 0,0438 + 1,3388 \times 2,500) \times 0,001$$

$$= 0,003435 \text{ m}^3$$

$$V_{hub} = (\frac{1}{2} \pi R^2 \times T) \times \text{Tebal}$$

$$= (\frac{1}{2} \times 3,14 + 0,1^2 \times 0,2) \times 0,001$$

$$= 0,0016 \text{ m}^3$$

Diketahui :

$$M_1 = (\text{Volume blade} \times \rho_{aluminium}) \times 3$$

$$= (0,003438 \text{ m}^3 \times 2700 \text{ kg/m}^3) \times 3$$

$$= (9,27342 \text{ kg}) \times 3$$

$$= 27,82026 \text{ kg}$$

$$M_2 = (\text{Volume hub} \times \rho_{aluminium})$$

$$= (0,0016 \text{ m}^3 \times 2700 \text{ kg/m}^3)$$

$$= (4,2444 \text{ kg})$$

$$= 4,2444 \text{ kg}$$

$$R^2 = \text{Jari-jari}$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{Jari-jari turbin} \\
 &= (2,5)^2 \text{ m} \\
 &= 6,25 \text{ m} \\
 R_2^2 &= \text{Jari-jari Hub} \\
 &= \text{Jari-jari Hub} \\
 &= (0,1)^2 \text{ m} \\
 &= 0,01 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jawab :

$$\begin{aligned}
 I_{CM} &= \frac{1}{2} M_1 R^2 - \frac{1}{2} M_2 R_2^2 \\
 &= \frac{1}{2} 27,82026 \text{ kg} \times (6,25)^2 - \frac{1}{2} 4,2444 \text{ kg} \times 0,01 \\
 &= 86,93831 \text{ kgm} - 0,0212 \text{ kgm} \\
 &= 86,917 \text{ kgm} = 0,086 \text{ ton.m}
 \end{aligned}$$

Diketahui :

$$MTC = 13,097 \text{ ton.m}$$

$$I_{CM} = 0,24 \text{ ton.m}$$

MTC (moment to change trim one centimeter) merupakan momen yang diperlukan untuk mengadakan trim sebesar 1 cm. *RM* (righting moment) at 1 degree merupakan besarnya momen yang mempengaruhi heeling kapal sebesar 1 derajat. Menggunakan *software Maxsurf Modeler Advance version 21.0.3.74* didapatkan *MTC* sebesar 13,097 ton.m dan *RM at 1 deg* sebesar 32,325 tom.m.

Measurement	Value	Units
1 Displacement	316,0	t
2 Volume (displaced)	308,341	m³
3 Draft Amidships	1,215	m
4 Immersed depth	1,215	m
5 WL Length	53,390	m
6 Beam max extents on	7,898	m
7 Wetted Area	405,773	m²
8 Max sect. area	7,515	m²
9 Waterpl. Area	354,807	m²
10 Prismatic coeff. (Cp)	0,768	
11 Block coeff. (Cb)	0,602	
12 Max Sect. area coeff.	0,783	
13 Waterpl. area coeff. (C)	0,841	
14 LCB length	-8,101	from ze
15 LCF length	-6,274	from ze
16 LCB %	-15,173	from ze
17 LCF %	-11,751	from ze
18 KB	0,736	m
19 KG fluid	0,000	m
20 BMT	5,124	m
21 BML	220,504	m
22 G.Mt corrected	5,860	m
23 GML	221,240	m
24 K.Mt	5,860	m
25 KML	221,240	m
26 Immersion (TPC)	3,637	tonne/c
27 MTC	13,097	tonne.m
28 RM at 1deg = G.Mt.Dis	32,325	tonne.m

Gambar 20. *MTC* dan *RM at 1 deg* Pada Maxsurf

Diketahui :

$$MTC = 13,097 \text{ ton.m}$$

$$I_{CM} = 0,086 \text{ ton.m}$$

$$\text{Rumusan : } \Delta_{TRIM} = \frac{I_{CM}}{MTC} \times 1 \text{ cm}$$

$$\text{Jawab : } \Delta_{TRIM} = \frac{0,86}{13,097} \times 1 \text{ cm}$$

$$\Delta_{TRIM} = 0,006638 \text{ cm} = 0,06638 \text{ mm}$$

Diketahui :

$$RM \text{ at } 1 \text{ deg} = 32,325 \text{ ton.m}$$

$$I_{CM} = 0,086 \text{ ton.m}$$

$$\text{Rumusan : } \Delta_{deg} = \frac{I_{CM}}{RM \text{ at } 1 \text{ deg}} \times 1 \text{ deg}$$

$$\text{Jawab : } \Delta_{deg} = \frac{0,086}{32,325} \times 1 \text{ deg}$$

$$\Delta_{deg} = 0,0026895 \text{ deg}$$

Tabel 9. Nilai Trim dan Heeling Kapal

BLADE	TRIM (mm)	HEELING (derajat)
Naca 0015 dengan 2 Sudu	0,004	0,002
Naca 0015 dengan 3 Sudu	0,007	0,003
Naca 0015 dengan 4 Sudu	0,009	0,004
Naca 0018 dengan 2 Sudu	0,004	0,002
Naca 0018 dengan 3 Sudu	0,007	0,003
Naca 0018 dengan 4 Sudu	0,009	0,004
Naca 0025 dengan 2 Sudu	0,005	0,002
Naca 0025 dengan 3 Sudu	0,007	0,003
Naca 0025 dengan 4 Sudu	0,009	0,004

4.5 Pemanfaatan Daya Listrik Yang Dihasilkan *Wind Turbine*

Dalam penghitungan daya *wind turbine horizontal axis* ini didapatkan jumlah daya yang dihasilkan dan dapat digunakan sebagai sumber energi listrik tambahan pada kapal fisheries inspection vessel 594 GT. Hasil dari penggunaan *wind turbine horizontal axis* ini belum seluruhnya bisa menjadi bahan bakar / sumber energi listrik utama. Jumlah daya yang dihasilkan oleh *wind turbine horizontal axis* dengan kecepatan kapal 24 knot ketebalan sudu *airfoil* yang paling optimal NACA 0018 dengan jumlah blade 2. NACA 0018 menghasilkan daya sebesar 11051,100 watt , torsi 351,72 N.m , coefficient power 0,488. Dari spesifikasi kapal yang ada maka daya dari *wind*

turbine dapat digunakan untuk keperluan listrik first deck pada kapal.

Tabel 10. Instalasi digunakan di *first deck*.

1	Lighting 1 Deck Gym / Port Aft. Senior Officer Cabin & Toilet
2	Lighting 1 Deck Port Mid & Fwd Senior Officer Cabin & Toilet
3	Lighting 1 Deck Stbd VIP Cabin / Working Room & Toilet
4	Lighting 1 Deck Stbd Senior Officer Aft Fwd Cabin & Toilet
5	Lighting 1 Deck Corridor / Meeting & Investigation Room
6	GPO 1 Deck Gym / Corridor
7	1 Deck GPO Port Senior Officer Cabins / Pantry / Senior Officer Dinning hall
8	GPO 1 Deck Vip Cabin & Working Room Stbd Senior Officer Cabins / Meeting Invesgation Room
9	Microwave
10	Mini Boiler Unit
11	GPO Pantry
12	Toaster
13	Rice Cooker
14	Dining hall Fridge

Tabel 11. Kebutuhan kW pada *first deck*.

No	Voltage	No of	Each kW	Installed kW
1	220	8	differ	0,23
2	220	14	differ	0,38
3	220	9	differ	0,24
4	220	10	differ	0,20
5	220	8	0,04	0,29
6	220	4	0,30	1,20
7	220	5	0,30	1,50
8	220	5	0,30	1,50
9	220	1	1,60	1,60
10	220	1	1,10	1,10
11	220	2	0,30	0,60
12	220	1	1,50	1,50
13	220	1	1,40	1,40
14	220	1	0,30	0,30
				12.04

Tabel 12. Penggunaan pada *first deck*.

No	At Harbour		Normal At Sea	
	Diversity Factor	Diversified kW	Diversity Factor	Diversified kW
1	0,8	0,18	0,80	0,18
2	0,9	0,35	0,90	0,35
3	0,9	0,22	0,80	0,19
4	0,9	0,18	0,90	0,18
5	0,9	0,26	0,90	0,26
6	0,6	0,72	0,60	0,72
7	0,6	0,90	0,30	0,45
8	0,6	0,90	0,60	0,90
9	0,4	0,64	0,40	0,64
10	0,4	0,44	0,40	0,44
11	0,4	0,24	0,40	0,24
12	0,3	0,45	0,30	0,45
13	0,3	0,42	0,30	0,42
14	0,4	0,12	0,10	0,03
		6,01		5,45

Dengan total daya yang digunakan pada first deck 12,04 kw sehingga dapat memenuhi kebutuhan kapal pada bagian first deck.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan pada setiap variasi pada wind turbine dengan profil sudu NACA 0015, NACA 0018 dan NACA 0025 dan jumlah sudu 2, 3 dan 4, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai yang paling tertinggi adalah NACA 0018 dengan torsi 351,72 N.m, daya 11,05 kW, dan coefficient power 0,488.
2. Turbin angin yang paling efektif untuk dipasang di FIV 594 GT adalah NACA 0018.
3. Instalasi turbin angin tidak memberikan pengaruh terhadap stabilitas dan olah gerak kapal

5.2. Saran

Dari hasil pengerjaan tugas akhir saran yang dapat penulis berikan adalah sebagai berikut :

1. Sebaiknya dilakukan penelitian pada jenis foil yang digunakan pada sudu selain foil NACA.
2. Sebaiknya dilakukan pengujian model secara eksperimen untuk membandingkan hasil simulasi dengan CFD.

Daftar Pustaka

- [1] Mathew, sathyajith. 2006. Wind Energy Fundamentals , Resource Analysis and Economics. India. Faculty of Engineering, KCAET.
- [2] Setoguchi, Takao. 2001. Design Guidelines for H-Darrieus Wind Turbines: Optimization of the Annual Energy Yield. Italy. University of Florence.
- [3] Rahadyawan, Arseto, 2009. *Pembangkit Listrik Energi Ombak Tipe Oscillating Water Column*". Surabaya : Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
- [4] Sudargana*, R, 2007, Guruh Kis Yuniarso, *Analisa Perancangan Turbin Darrieus Pada Hydrofoil Naca 0015 Dari Karakteristik Cl Dan Cd Pada Variasi Sudut Serang Menggunakan Regresi Linier Pada Matlab*. Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Semarang.
- [5] Nanda, Markus. 2007. Kincir Angin Sumbu Horizontal Bersusu Banyak. Sanata Dharma University.
- [6] Nanda, Markus. 2007. Kincir Angin Sumbu Horizontal Bersusu Banyak. Sanata Dharma University.
- [7] Li, Qing'an. 2015. Effect of Number of Blades on Aerodynamic Force on a Straight Bladed Vertical Axis Wind Turbine. Japan. Mie University.
- [8] Mohamed, M.H. 2014. CFD Analysis for H-rotor Darrieus Turbine as a Low Speed Wind Energy Converter. Egypt. Helwan University.
- [9] Hassan, Mohammed. 2011. *Design Optimization of Savonius and Wells Turbines*. Magdeburg : Systemtechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- [10] Halliday, David & Resnick, Robert, 2013. Rotation of a Rigid Object About a Fixed Axis. United States of America. University of Pittsburgh.