

ANALISIS PERFORMANCE TURBINE PROPELLER DENGAN MENGGUNAKAN METODE CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC)

Aditya Putra Widodo¹ dan Subekti¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta
Jl. Meruya Selatan No. 1, Kembangan, Jakarta Barat 11650, Indonesia

E-mail: adityaputrawidodo@yahoo.co.id

Abstrak-- Pembangkit listrik tenaga angin yang berkembang saat ini masih memiliki daya yang relatif kecil, hal tersebut dikarenakan turbin yang ada masih memiliki efisiensi yang rendah. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini sudu turbin propeller yang semula dengan sudu flat akan dikembangkan dengan menambahkan variasi jumlah blade dan penambahan winglet pada ujung blade. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasi secara CFD untuk mengetahui hubungan kecepatan aliran angin, winglet pada blade dan pengaruh jumlah blade terhadap performance turbine serta Membandingkan hasil simulasi dengan hasil uji coba pada wind tunnel. Proses analisis menggunakan metode CFD menggunakan ANSYS CFX 15.0. Dalam hal ini peneliti membuat turbin dengan 3 buah variasi, yaitu: variasi 3 blade, variasi 4 blade dan variasi 5 blade. Pemberian variasi jumlah blade mempengaruhi performance turbine tersebut. Dari ketiga variasi tersebut penelitian ini mendapatkan daya terbesar yaitu 4,0794watt pada variasi 5 blade yang di buktikan dengan kenaikan tren grafik pada jumlah daya vs jumlah blade dari variasi 1, variasi 2 dan variasi 3 dengan rpm yang sama yaitu 636 rpm. Dari hasil desain terbaik kemudian di buat prototype selanjutnya di lakukan uji coba pada wind tunnel di laboratorium Teknik Mesin UMB. Hasil uji coba selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil simulasi berdasarkan parameter kecepatan dan rpm yang sama. Penelitian yang telah dilakukan mendapatkan hasil simulasi lebih besar dibandingkan dengan daya hasil uji coba, namun hasil simulasi dan ujicoba memiliki trend yang sama yaitu semakin tinggi kecepatan angin maka semakin besar pula daya yang dihasilkan oleh turbin. Hasil simulasi menghasilkan daya terbesar 4,001watt dengan kecepatan angin 5,0m/s dan kecepatan putar 627 rpm sedangkan uji coba 1,224watt dengan kecepatan angin 5,0 m/s dan kecepatan putar 627 rpm.

Kata kunci: ANSYS, CFD, performance turbine, turbine propeller, winglet

Abstract-- Wind power plants that are developing at this time still have relatively little power, this is because the existing turbines still have low efficiency. Therefore, in this final project a propeller turbine blade which was originally with a flat blade will be developed by adding variations in the number of blades and adding winglets to the blade tip. This study aims to simulate the CFD to determine the relationship of wind flow velocity, winglet on the blade and the effect of the number of blades on the performance of the turbine and compare the results of the simulation with the results of trials on the wind tunnel. The analysis process uses the CFD method using ANSYS CFX 15.0. In this case the researchers made a turbine with 3 variations, namely: 3 blade variation, 4 blade variation and 5 blade variation. Giving variations in the number of blades affect the performance of the turbine. From these three variations, this study obtained the greatest power of 4.0794watt on a variation of 5 blades as evidenced by an increase in graph trends in the amount of power vs. the number of blades from variation 1, variation 2 and variation 3 with the same rpm is 636 rpm. From the results of the best design then made a prototype then carried out trials on the wind tunnel in the UMB Mechanical Engineering laboratory. Subsequent trial results will be compared with simulation results based on the same speed and rpm parameters. The research that has been carried out gets greater simulation results compared to the power of the trial results, but the results of the simulation and trials have the same trend that the higher the wind speed, the greater the power generated by the turbine. The simulation results produce the greatest power of 4.001 watt with wind speed of 5.0 m/s and a rotating speed of 627 rpm while experiment have power about 1,224watt with a wind speed of 5.0m / s and a rotating speed of 627 rpm.

Keywords: Rotor Clearance, Exhaust Gas Temperature Margin, CFM56-3C1

1. PENDAHULUAN

Angin merupakan sumber daya yang tidak ada habisnya. Di Indonesia terdapat beberapa daerah yang memiliki potensi energi angin untuk produksi listrik. Energi angin dapat dimanfaatkan untuk produksi listrik dan mendukung program pengurangan emisi karena tidak menghasilkan emisi CO₂ selama proses produksi energi listrik oleh turbin angin.

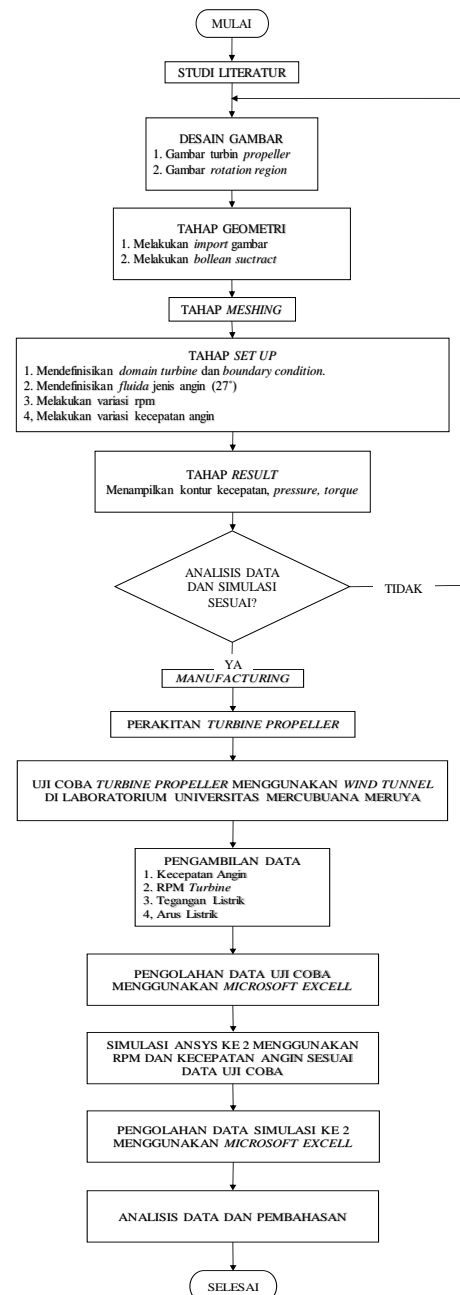
Turbin angin yang banyak digunakan saat ini adalah poros horizontal (TAPH). Jenis turbin angin poros horizontal yang memiliki unjuk kerja yang lebih baik adalah rotor sudut tipe *propeller*. Jenis rotor *propeller* dengan sudu multi *blade* bekerja optimum pada kecepatan angin yang relatif rendah. Kelebihan dari turbin angin poros horizontal (TAPH) adalah memiliki efisiensi yang lebih tinggi, karena sudu selalu bergerak tegak lurus terhadap angin dan menerima daya sepanjang putaran. Pembangkit listrik tenaga angin yang berkembang saat ini masih memiliki daya yang relatif kecil, hal tersebut dikarenakan turbin yang ada masih memiliki efisiensi yang rendah. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini sudu turbin *propeller* yang semula dengan sudu flat akan dikembangkan dengan menambahkan variasi jumlah *blade* dan penambahan *winglet* pada ujung *blade*. Dengan adanya variasi tersebut diharapkan gaya dorong yang didapatkan tinggi sehingga dapat meningkatkan kinerja. Untuk memilih turbin performansi terbaik dari variasi desain ialah dengan menggunakan metode *CFD* salah satunya menggunakan aplikasi Ansys. Penggunaan *CFD* telah banyak dilakukan karena mampu menekan biaya dan waktu dalam menganalisa suatu sistem fluida jika dibandingkan dengan metode eksperimental.

Penggunaan *CFD* juga mampu memberikan prediksi performansi suatu sistem fluida dan gambaran pola aliran fluida yang melewati sistem tersebut yang tidak dapat dideteksi dengan metode eksperimental (Lutfie, 2016). Atas dasar diatas, kami mengajukan penelitian dengan judul Analisis *Performance Turbine Propeller* Dengan Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)*.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi pelaksanaan merupakan cara atau prosedur yang berisi tahapan – tahapan yang jelas dan runtut yang disusun secara sistematis dalam proses penelitian. Tiap tahapan maupun bagian yang menentukan tahapan selanjutnya harus dilalui dengan teliti. Pada metodologi pelaksanaan ini akan di bahas mengenai runtutan penelitian dan alat yang di gunakan di dalam pengambilan data.

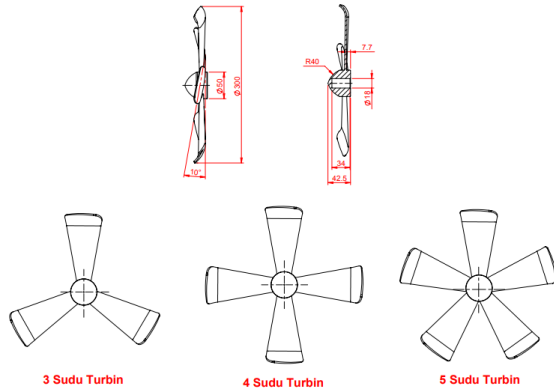
Diagram alur menjelaskan mengenai garis besar metodologi pelaksanaan penelitian. Runtutan penelitian di mulai dari; mengkaji literatur pada penelitian sebelumnya, pembuatan desain gambar turbin *propeller* dan *boundary condition*. Prosedur simulasi di mulai dari; tahap *geometry*, *meshing*, *set up*, *solution*, hingga *result*. Prosedur analisis data dengan membandingkan dengan data penelitian uji coba *turbine propeller* dengan menggunakan *wind tunnel* dan menarik kesimpulan. Runtutan penelitian secara lebih jelas bisa dilihat pada Gambar 1:



Gambar 1. Diagram alir metodologi pelaksanaan

2.1 Turbin Propeller

Di dalam penelitian ini turbin yang di gunakan adalah *turbin propeller*. Pada desain ini, turbin *blade* dibedakan kedalam jumlah *blade* yang berbeda, yaitu: 3 *propeller blade* (variasi 1), 4 *propeller blade* (variasi 2), 5 *propeller blade* (variasi 3). Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2:



Gambar 2. Turbine propeller

2.2 Perakitan Turbin Propeller

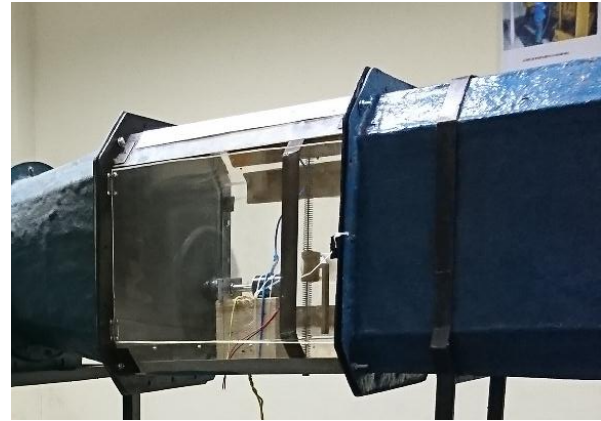
Perakitan turbin *propeller* adalah proses merakit *part – part* turbin *propeller* yang sudah dibuat di PT. Sunda Teknik berikut *generator* agar bisa di uji pada *wind tunnel*. Hasil perakitan turbin dapat dilihat pada Gambar 3:



Gambar 3. Hasil perakitan turbin *propeller*

2.3 Uji Coba

Uji coba pada *wind tunnel* dilakukan dengan 5 variasi RPM pada *fan blower* yaitu 800 rpm, 950 rpm, 1100 rpm, 1250 sampai 1400 rpm. RPM ini diatur menggunakan inverter yang telah dipasang.



Gambar 4. *Wind tunnel* universitas mercu buana

2.4 Pengambilan Data

Data yang akan diambil dari proses uji coba ini adalah kecepatan angin, RPM turbin, tegangan listrik dan arus listrik. Data kecepatan angin diambil menggunakan alat *anemometer*, data RPM turbin diambil menggunakan alat tachometer, data tegangan dan arus listrik diambil menggunakan alat *multimeter*.



Gambar 5. Contoh proses pengambilan data

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Dasar Pemilihan Jenis Kincir Angin

Kincir angin merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang ramah lingkungan yang dapat dipakai untuk memasok kebutuhan energi listrik masyarakat. Pada umumnya, perancangan dan pembuatan kincir angin tipe HAWT lebih banyak dibanding kincir tipe VAWT. Kincir angin HAWT dipilih karena, berdasarkan studi yang ada. Angin laminar

ditunjukkan dengan bentuk pepohonan yang condong pada satu arah. Kincir angin HAWT sangat cocok diaplikasikan pada daerah yang karakteristik anginya adalah laminar bukan turbulen.

3.2 Potensi Kecepatan Angin

Untuk mempermudah dalam proses perancangan maka dipilih wind tunnel teknik mesin UMB untuk sarana penelitian. Dari hasil uji coba, kecepatan angin wind tunnel adalah sebesar 1 – 5 m/s Untuk mempermudah dalam perhitungannya maka, diasumsikan kecepatan angin sebesar = 5 m/s, karena diambil kecepatan paling tinggi.

3.3 Penentuan Daya Angin

Dalam perancangan diharapkan nantinya kincir dapat menghasilkan daya output kincir sekitar 3.154 watt pada kecepatan angin 5 m/s. Daya tersebut memang tergolong kecil, karena penelitian ini mengacu pada generator yang digunakan yaitu kapasitas output daya nya hanya relatif kecil. Dengan memperhitungkan nilai efisiensi generator yang yang dipakai tidak dapat mencapai 100%, maka diasumsikan nilai efisiensi generator sebesar 80% maka:

$$P_{poros} = P_{output} \times 120\% \quad (1)$$

$$P_{poros} = 3,154 \times 120\%$$

$$P_{poros} = 3,785 \text{ watt}$$

Berdasarkan teori Betz, tidak semua daya mekanik kincir angin dapat terkonversi menjadi energi listrik, dengan mempertimbangkan efisiensi kincir yang tidak mungkin melebihi 60% (Betz Limits). Daya mekanik yang dapat terkonversi menjadi energi listrik adalah:
Asumsi : η turbin = 60%

$$P = P_{poros} \times 140\% \quad (2)$$

$$P = 3,785 \times 140\%$$

$$P = 5,29875 \text{ watt}$$

Temperatur pada wind tunnel adalah 27°C, maka $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$
Dengan menggunakan Persamaan 5 yaitu persamaan daya angin, maka luas area rotor adalah:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (3)$$

$$5,29875 = \frac{1}{2} 1,2 \cdot A \cdot 5^3$$

$$A = \frac{5,29875}{\frac{1}{2} 1,2 \cdot 5^3}$$

$$A = 0,07053 \text{ m}^2$$

3.4 Penentuan Diameter Rotor

Berdasarkan perhitungan daya mekanik didapat nilai luasan area rotor (*sweap area*) sebesar 0.07053 m², maka diameter rotor dapat dihitung dengan Persamaan 4:

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (4)$$

$$d = \sqrt{\frac{A}{(\pi/4)}}$$

$$d = \sqrt{\frac{0,07053}{(\pi/4)}}$$

$$d = \sqrt{0,0898016}$$

$$d = 0,299 \text{ m}$$

$$d = 0,3 \text{ m}$$

Dari perhitungan di atas *diameter rotor* yang digunakan adalah 0,3 m. setelah mengetahui *diameter rotor* yang digunakan selanjutnya melakukan proses desain turbin dengan 3 variasi jumlah *blade*, yaitu 3 *blade*, 4 *blade* dan 5 *blade*.

3.5 Tip Speed Ratio

TSR pada kincir angin merupakan rasio antara kecepatan tangensial ujung *blade* dan kecepatan aktual angin. Karena ada parameter yang belum diketahui yaitu nilai putaran kincir (*n*), maka untuk menentukan nilai *TSR* dapat ditentukan terlebih dahulu tanpa proses perhitungan (*optional*). Mengacu pada teori yang ada, maka penelitian ini menggunakan nilai *TSR* : 2, sebab turbine *propeller* ini menggunakan *blade* dengan bentuk hampir mirip dengan *blade* pada *american wind turbine*. Dengan ini maka nilai putaran (*n*) dapat dihitung menggunakan Persamaan 5:

$$\lambda = \frac{\pi d n}{60 v} \quad (5)$$

$$2 = \frac{3,14 \cdot 0,3 \cdot n}{60 \cdot 5}$$

$$n = \frac{60 \cdot 5 \cdot 2}{3,14 \cdot 0,3}$$

$$n = 636 \text{ rpm}$$

Kemudian nilai putaran (n) digunakan untuk parameter simulasi penentuan desain terbaik dari 3 variasi desain, yaitu : variasi 1 (3 blade), variasi 2 (4 blade) dan variasi 3 (5 blade).

3.6 Analisis Desain Dengan Perbedaan Jumlah Blade

Turbin *propeller* ini dikenal sebagai *fixed blade axial flow turbine* karena sudut sudu rotornya tidak dapat diubah. Efisiensi operasi turbin pada beban sebagian (*part-flow*) untuk turbin jenis ini sangat rendah. Oleh karena itu, perbedaan jumlah *blade* sangat menentukan *performance* turbin *propeller* ini. Simulasi yang pertama dilakukan untuk menentukan atau memilih desain terbaik dari 3 variasi turbin yaitu 3 *blade*, 4 *blade* dan 5 *blade*. Boundary condition untuk simulasi ini di tunjukan pada Tabel 1 :

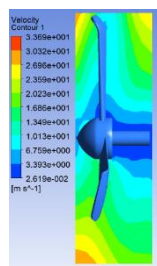
Table 1. Boundary condition simulasi perbandingan 3 variasi desain

Kasus	Kecepatan Inlet	Tekanan Outlet	Kecepatan Putar
3 blade	5 m/s	0 Pa	636 rpm
4 blade	5 m/s	0 Pa	636 rpm
5 blade	5 m/s	0 Pa	636 rpm

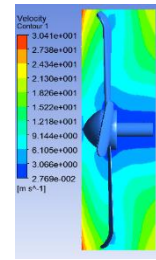
Tekanan pada *outlet* menggunakan 0 Pa dikarenakan referensi tekanan pada domain menggunakan 1 atm (101325 Pa)

3.7 Contour Kecepatan Turbine

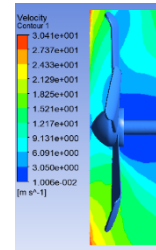
Setelah proses setup dan solution, hasil perhitungan pada tahap solution dapat dilihat pada tahap result. Perbandingan *contour* kecepatan pada turbin 3 *blade* (variasi 1), 4 *blade* (variasi 2) dan 5 *blade* (variasi 3) di tunjukan pada gambar 6 sampai 8.



Gambar 6. Contour kecepatan turbine propeller variasi 1



Gambar 7. Contour kecepatan turbine propeller variasi 2

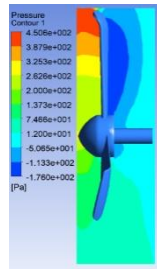


Gambar 8. Contour kecepatan turbine propeller variasi 3

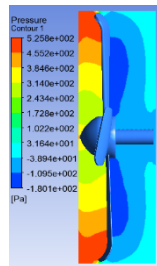
Gambar di atas yaitu gambar 6, gambar 7 dan gambar 8 adalah *contour* kecepatan *fluida* yang melewati *blade*. Warna biru menunjukkan kecepatan angin rendah dan warna kuning kemerahan menunjukkan kecepatan angin tinggi. *Contour* kecepatan antara variasi 1, variasi 2 dan variasi 3 hampir terlihat sama, akan tetapi jika diperhatikan angka kecepatan yang ada pada gambar akan terlihat perbedaannya. Pada gambar 8 yaitu turbin variasi 3 (5 blade) terlihat angka kecepatan lebih rendah dibandingkan dengan turbin variasi 1 dan variasi 2. Karena kecepatan angin yang melewati *blade* rendah maka tekanan yang melewati *blade* akan naik sehingga timbul gaya angkat. Ini sesuai dengan persamaan *bernouli* bahwa kecepatan berbanding terbalik dengan tekanan. Kemudian gaya angkat ini lah yang akan dimanfaatkan oleh turbin untuk memutar *blade* yang nantinya akan di ubah oleh generator menjadi energi listrik.

3.8 Contour Tekanan Turbin

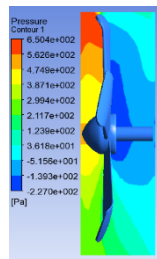
Setelah proses *setup* dan *solution*, hasil perhitungan pada tahap solution dapat dilihat pada tahap *result*. Perbandingan *contour* tekanan pada turbin 3 *blade* (variasi 1), 4 *blade* (variasi 2) dan 5 *blade* (variasi 3) di tunjukan pada gambar 9 sampai 11:



Gambar 9. Contour tekanan pada turbin variasi 1



Gambar 10. Contour tekanan pada turbin variasi 2



Gambar 11. Contour tekanan pada turbin variasi 3

Gambar di atas yaitu gambar 9, gambar 10 dan gambar 11 adalah *contour* tekanan *fluida* yang melewati *blade*. Warna biru menunjukkan tekanan angin rendah dan warna kuning kemerahan menunjukkan tekanan angin tinggi seperti halnya *contour* pada kecepatan angin. *Contour* tekanan antara variasi 1, variasi 2 dan variasi 3 hampir terlihat sama yaitu dibagian depan *blade* nilai tekanan lebih tinggi dibandingkan nilai tekanan dibelakang *blade*, akan tetapi jika diperhatikan angka kecepatan yang ada pada gambar akan terlihat perbedaannya. Pada gambar 11 yaitu turbin variasi 3 (5 *blade*) terlihat nilai tekanan lebih tinggi dibandingkan dengan turbin variasi 1 (3 *blade*) dan variasi 2 (4 *blade*). Tekanan yang lebih tinggi pada bagian depan *blade* itulah yang akan membuat turbin berputar. Putaran turbin akan searah dengan jarum jam akibat tekanan yang ditimbulkan oleh angin.

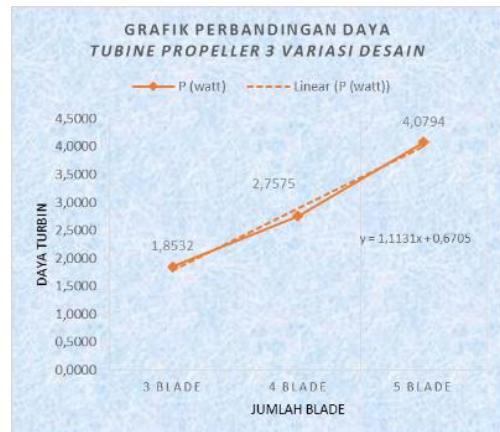
3.9 Perbandingandaya Turbin Dari 3 Variasi Desain

Pada tahap result terdapat menu *calculator*, berdasarkan *boundary condition* dan memanfaatkan menu *calculator* tersebut didapatkan nilai torsi untuk berbagai variasi desain turbin. Hasil nilai Torsi *Turbine Propeller* untuk ketiga variasi jumlah *blade* selanjutnya digunakan untuk menghitung daya turbin menggunakan Persamaan 6 kemudian akan dibandingkan. Hasil variasi selengkapnya dapat ditunjukkan oleh Tabel 2 :

Table 2. Perbandingan hasil simulasi dari 3 variasi desain

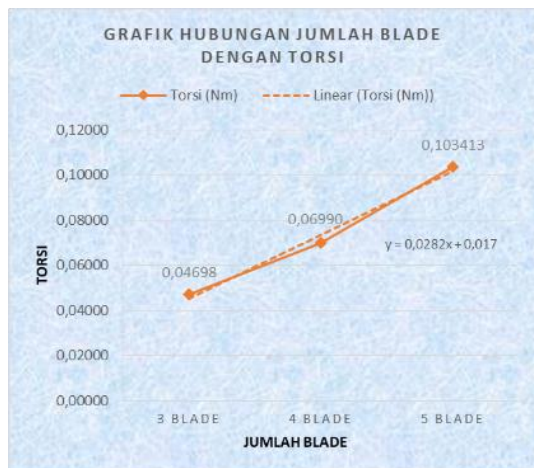
Kasus	n (rpm)	ω (rad/s)	Torsi (Nm)	P (watt)
3 blade	636	66,568	0,04698	1,8532
4 blade	636	66,568	0,0699	2,7575
5 blade	636	66,568	0,103413	4,0794

Dari tabel 2 menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah *blade* yang divariasikan maka menghasilkan nilai torsi yang lebih besar. Dari Tabel 2 tampak bahwa perbedaan nilai torsi yang dihasilkan oleh variasi 1, variasi 2 dan variasi 3 tidak terlampaui jauh, hanya berkisar antara 0,02 – 0,04.



Gambar 12. Grafik perbandingan daya *turbine propeller* dari 3 variasi desain

Pada Gambar 12 menunjukkan grafik perbandingan daya Turbin *propeller* ketiga variasi desain. Berdasarkan pada gambar 12 daya tertinggi terlihat pada variasi ke 3 yaitu 5 *blade* lalu diikuti variasi 2 dan variasi 1. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah *blade* turbin *propeller* yang divariasikan, maka semakin besar torsi yang dihasilkan pada turbin tersebut dengan rpm dan kecepatan angin yang sama.



Gambar 13. Grafik hubungan jumlah *blade* dengan torsi

Pada Gambar 13 menunjukkan grafik hubungan jumlah *blade* dengan torsi. Berdasarkan pada gambar 13 torsi tertinggi terlihat pada variasi ke 3 yaitu 5 *blade* lalu diikuti variasi 2 dan variasi 1. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah *blade* pada turbin *propeller* yang divariasikan, maka semakin besar torsi yang dihasilkan pada turbin tersebut dengan rpm dan kecepatan angin yang sama.

3.10 Uji Coba Turbine Propeller

Uji coba ini bertujuan untuk mengetahui apakah turbin *propeller* dapat beroperasi pada kecepatan angin yang diharapkan saat perancangan yaitu 5 m/s. Tempat dilakukannya uji coba adalah di laboratorium teknik mesin UMB dengan menggunakan *wind tunnel* tanggal 14 juli 2019. Dari hasil uji coba yang dilakukan, *turbine propeller* yang dibuat dapat berputar pada kecepatan angin antara 3,5-5,0 m/s hal ini bisa dikatakan sesuai dengan perancangan yang dilakukan. Karena angin pada *wind tunnel* dan kapasitas generator yang rendah maka konsekuensinya daya yang dihasilkan juga rendah.

3.11 Data Hasil Uji Coba

Data yang diperoleh dari hasil uji coba di olah dengan menggunakan *software Microsoft excell*. Untuk mempermudah dalam membaca data hasil uji coba maka dibuatlah table dengan isi : kecepatan angin, tegangan, arus listrik dan daya listrik. Daya listrik dihitung menggunakan Persamaan 7. Lebih jelasnya lihat pada Tabel 3 dibawah ini:

Table 3. Data hasil uji coba *turbine propeller* pada *wind tunnel*

Kecepatan Angin	Tegangan	Arus Listrik	Daya Listrik
3,5 m/s	1,8 volt	0,1 ampere	0,18 watt
3,9 m/s	2 volt	0,15 ampere	0,3 watt
4,3 m/s	2,6 volt	0,25 ampere	0,65 watt
4,6 m/s	3,2 volt	0,3 ampere	0,96 watt
5 m/s	3,6 volt	0,34 ampere	1,224 watt

Berdasarkan tabel 3 menunjukkan bahwa semakin besar nilai kecepatan angin maka semakin besar pula nilai tegangan, arus listrik dan daya yang dihasilkan oleh turbin.

3.12 Hasil Simulasi Desain 5 Blade Dengan 5 Variasi Rpm & Kecepatan Angin

Simulasi desain 5 *blade* dengan variasi rpm dan variasi angin dilakukan untuk membandingkan daya hasil simulasi dan daya hasil uji coba turbin *propeller* menggunakan *wind tunnel* di laboratorium Teknik Mesin Universitas Mercu Buana. Lebih jelasnya lihat Tabel 4:

Table 4. *Boundary condition* simulasi turbin 5 *blade* dengan variasi rpm dan kecepatan angin.

Kasus	Kecepatan Inlet	Tekanan Outlet	Kecepatan Putar
5 <i>blade</i>	3,5 m/s	0 Pa	236 rpm
	3,9 m/s	0 Pa	367 rpm
	4,3 m/s	0 Pa	479 rpm
	4,6 m/s	0 Pa	527 rpm
	5,0 m/s	0 Pa	627 rpm

Berdasarkan *boundary condition* pada Tabel 4 dan memanfaatkan menu *calculator* seperti halnya pada simulasi perbandingan 3 variasi desain maka didapatkan nilai daya yang dihitung menggunakan Persamaan 6 untuk berbagai variasi rpm dan kecepatan. Data yang telah diperoleh dari hasil simulasi diolah menggunakan *Microsoft Excell* kedalam bentuk Tabel 5:

Table 5. Daya hasil simulasi turbin variasi 3 (5 *blade*)

Kasus	Kecepatan Angin	Kecepatan Putar	Kecepatan Sudut (ω)	Torsi	Daya Turbin
5 <i>blade</i>	3,5 m/s	236 rpm	25 Rad/S	0,04522 N/m	0,662 watt
	3,9 m/s	367 rpm	38 Rad/S	0,05895 N/m	1,342 watt
	4,3 m/s	479 rpm	50 Rad/S	0,07421 N/m	2,205 watt
	4,6 m/s	527 rpm	55 Rad/S	0,08534 N/m	2,789 watt
	5,0 m/s	627 rpm	66 Rad/S	0,10289 N/m	4,001 watt

Tabel 5 menunjukkan bahwa semakin besar nilai kecepatan angin maka semakin besar pula daya

yang dihasilkan oleh turbin seperti halnya hasil daripada uji coba.

3.14 Perbandingan Antara Hasil Uji Coba Dengan Hasil Simulasi CFD

Berdasarkan data besarnya daya yang di hasilkan dari hasil uji coba dan simulasi, maka dapat kita banding kedua hasil tersebut yang diolah dalam sebuah tabel, yaitu di tampilkan pada Tabel 6:

Table 6. Perbandingan daya hasil ujicoba dan simulasi

Kasus	Kecepatan Angin	Daya Teoritis	Daya Turbin Hasil Simulasi	% Eff Simulasi	Daya Listrik Hasil Uji Coba	% Eff Uji coba
5 blade	3,5 m/s	1,814 watt	0,662 watt	36,49%	0,180 watt	9,92%
	3,9 m/s	2,510 watt	1,342 watt	53,46%	0,300 watt	11,95%
	4,3 m/s	3,365 watt	2,205 watt	65,54%	0,650 watt	19,32%
	4,6 m/s	4,119 watt	2,789 watt	67,71%	0,960 watt	23,31%
	5,0 m/s	5,290 watt	4,001 watt	75,64%	1,224 watt	23,14%



Gambar 14. Grafik perbandingan daya yang dihasilkan turbin variasi 5 blade antara uji coba dan simulasi.

Berdasarkan gambar 14 pada kecepatan angin yang sama, daya keluaran hasil simulasi lebih besar daripada daya keluaran dari hasil uji coba. Hal ini dikarenakan efek kerugian mekanis dan kerugian listrik tidak diperhitungkan dalam CFD. Kehilangan mekanis seperti gesekan pada bantalan sangat mempengaruhi kecepatan rotasi poros sehingga generator tidak bekerja optimum, karena generator akan bekerja optimum ketika mencapai 3000 rpm sedangkan uji coba hanya mencapai 627 rpm dengan kecepatan angin 5m/s.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Dari rangkaian penelitian yang telah dilakukan bisa ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya yang dihasilkan pada turbin propeller dengan jumlah 5 blade lebih baik bila dibandingkan dengan turbine 3 blade dan 4 blade pada kecepatan angin yang sama yaitu 5m/s dan rpm yang sama yaitu 636 rpm.

2. Daya hasil simulasi lebih besar dibandingkan dengan daya hasil uji coba, hal ini dikarenakan generator tidak bekerja secara optimum sebab generator akan bekerja optimum pada 3000 rpm sedangkan uji coba hanya mendapatkan 627 rpm, namun hasil simulasi dan uji coba memiliki tren yang sama yaitu semakin tinggi kecepatan angin maka semakin besar pula daya yang dihasilkan oleh turbin. Berikut adalah daya yang dihasilkan oleh turbin:

- a. Daya maksimum yang dihasilkan oleh turbin propeller dengan jumlah 5 blade pada simulasi adalah:
 - ✓ 0,662watt dengan kecepatan angin 3,5 m/s dan kecepatan putar 236 rpm.
 - ✓ 1,342watt dengan kecepatan angin 3,9 m/s dan kecepatan putar 367 rpm.
 - ✓ 2,205watt dengan kecepatan angin 4,3 m/s dan kecepatan putar 479 rpm.
 - ✓ 2,789watt dengan kecepatan angin 4,6 m/s dan kecepatan putar 527 rpm.
 - ✓ 4,001watt dengan kecepatan angin 5,0 m/s dan kecepatan putar 627 rpm.
- b. Daya maksimum yang dihasilkan oleh turbin propeller dengan jumlah 5 blade pada uji coba adalah:
 - ✓ 0,180watt dengan kecepatan angin 3,5 m/s dan kecepatan putar 236 rpm.
 - ✓ 0,300watt dengan kecepatan angin 3,9 m/s dan kecepatan putar 367 rpm.
 - ✓ 0,650watt dengan kecepatan angin 4,3 m/s dan kecepatan putar 479 rpm.
 - ✓ 0,960watt dengan kecepatan angin 4,6 m/s dan kecepatan putar 527 rpm.
 - ✓ 1,224watt dengan kecepatan angin 5,0 m/s dan kecepatan putar 627 rpm.

4.2 Saran

Dalam penelitian ini turbine propeller yang digunakan adalah turbin angin poros horizontal dengan ujung blade ditambah winglet, untuk itu perlu dilakukan beberapa modifikasi atau variasi dari radius winglet sehingga mendapatkan performance yang lebih baik dan untuk pemilihan generator sebaiknya dipilih generator yang mampu mengeluarkan arus dan tegangan yang besar pada kecepatan angin yang rendah

sehingga mampu meningkatkan performansi dari *turbine propeller* tersebut. Selain itu perlu penelitian lebih lanjut untuk mengetahui apakah besar atau luasan *blade turbine propeller* dapat mempengaruhi unjuk kerja yang dihasilkan oleh turbin angin poros horizontal ini. Penelitian selanjutnya bisa juga memodifikasi sudut kemiringan *blade* untuk mendapatkan %eff tertinggi dari *turbine propeller* tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cengel, Y. A., &Cimbala, J. M. (2006). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Application*. New York: McGraw-Hill.
- [2] Chaudhari, Ashvinkumar. (2012). *CFD Modelling on Wind Flows*.Lappeenranta University of Technology. Finland.
- [3] Cao, Han. (2011). *Aerodynamics Analysis of Small Horizontal Axis Wind Turbine Blades by Using 2D and 3D CFD Modelling*. University of Central Lancashire. England.
- [4] Darmawan, D. B., Chrismianto, D., & Iqbal M. (2016). Analisa Kemiringan Sudut *Propeller* Tipe B-Series Pada Kapal Selam Tipe Menengah Untuk Mengoptimalkan Kinerja Kapal Selam Dengan Metode *CFD*. Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 4, No. 2 April 2016, 352-361.
- [5] Febrianto, A., Santoso, A. (2016). Analisa Perbandingan Torsi dan RPM Turbin Tipe Darrieus Terhadap Efisiensi Turbin. Jurnal Teknik ITS Vol. 5 No. 2, 517-521.
- [6] Lanzafame, R., Mauro, S., & Messina, M. (2013). *Wind turbine CFD modeling using a correlation-based transitional model*. Renewable Energy, 52, 31-39.
- [7] Li, Y., Paik, K. J., Xing, T., &Carrica, P. M. (2012). *Dynamic overset CFD simulations of wind turbine aerodynamics*. Renewable Energy, 37(1),285-298.
- [8] Nielsen, F., G., Hanson, T., &Skaarre, B. (2006). *Integrated Dynamic Analysis of Floating Offshore Wind Turbines*. Paper No. OMAE2006-92291, 671-679
- [9] Salam, H. A. H., Mulyatno, I. P., & Iqbal, M. (2017). Analisa Kelelahan *Propeller* Kapallkan PVC Dengan Metode Elemen Hingga. Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 5, No. 1 Januari 2017, 243 – 251.
- [10] Wang, Y. F., & Zhan, M. S. (2013). *3-Dimensional CFD simulation and analysis on performance of a micro-wind turbine resembling lotus in shape*. Energy and Buildings, 65, 66-74.