



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Pengaruh Variasi Bentuk Sudu, Sudut Serang dan Kecepatan Arus Pada Turbin Arus Tipe Sumbu Vertikal Terhadap Daya yang Dihasilkan Oleh Turbin

Deni Oktavianto¹⁾, Untung Budiarto¹⁾, Kiryanto¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: deoktavianto@gmail.com budiartountung@gmail.com kiryantodst@yahoo.com

Abstrak

Sehubungan dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik serta menipisnya cadangan bahan bakar fosil, maka keadaan tersebut memaksa manusia mencari energi alternatif yang dapat diperbaharui untuk menggantikan bahan bakar fosil. Wilayah Indonesia yang sebagian besar perairan dapat dimanfaatkan, salah satunya berupa potensi energi arus laut. Turbin arus merupakan sumber energi alternatif berbasis pada konversi energi kinetik menjadi energi listrik. Prinsipnya arus air akan memutar sudu turbin kemudian dapat memutar generator dan menghasilkan energi listrik. Peneliti menganalisa pengaruh dari bentuk *geometri* sudu dan sudut serang dengan variasi aliran kecepatan arus. Variasi foil yang digunakan adalah NACA 0018, SELIG 1223, EPPLER 818 dengan variasi sudut serang 0° dan 5° serta kecepatan arus 2,4 m/s ; 2,7 m/s dan 3 m/s. Peneliti menggunakan *SolidWork 2013* untuk pemodelan turbin dan *Ansys CFX 15* untuk analisa gaya turbin. Berdasarkan analisa, performa paling optimum dimiliki oleh turbin SELIG 1223 sudut serang 0° dengan nilai gaya sebesar 1846,84 N (pada 3m/s). Nilai torsi sebesar 738,736 Nm (pada 3m/s). Nilai daya sebesar 5,532 kW (pada 3m/s). Nilai C_p sebesar 0,513 (pada 3m/s). Nilai efisiensi sebesar 51,224 % (pada 3m/s). Sehingga turbin dengan foil SELIG 1223 sudut serang 0° merupakan turbin paling optimum pada penelitian ini.

Kata Kunci : *Vertical axis turbine*, turbin arus, gaya, torsi, daya, *Ansys CFX*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Isu energi saat ini telah menjadi sorotan dunia, pasalnya seiring berjalannya waktu, energi menjadi modal utama pembangunan dan disamping itu menjadi kebutuhan yang mendasar bagi manusia. Energi Listrik merupakan energi yang mempunyai peranan penting bagi kehidupan manusia, karena hampir di segala bidang energi ini menjadi hal dasar yang wajib dimiliki. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan energi listrik serta menipisnya cadangan bahan bakar fosil, maka keadaan tersebut memaksa manusia untuk mencari energi alternatif yang dapat

diperbaharui (*renewable energy*) yang dapat menggantikan bahan bakar fosil[1]. Dalam situs Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 94 % dari total penyediaan energi nasional masih bergantung dari energi fosil. Sedangkan sampai tahun 2014, kontribusi energi baru terbarukan pada listrik nasional hanya mencapai 21 % atau sekitar 10.744,16 *megawatt* (MW) dari kapasitas terpasang kumulatif listrik nasional sebesar 51.981 *megawatt* (MW). Indonesia dengan total luas lautan hampir 8 juta berusaha untuk meningkatkan inventarisasi sumber daya non-hayati dimana salah satunya berupa potensi energi arus laut[2].

Turbin arus merupakan salah satu sumber energi alternatif berbasis pada konversi energi kinetik menjadi energi listrik (*hydrokinetic turbine*). Prinsipnya arus air akan memutar sudu-sudu pada turbin kemudian dapat memutar generator dan menghasilkan energi listrik. Keuntungan penggunaan energi laut adalah selain ramah lingkungan, energi ini juga mempunyai intensitas energi kinetik yang besar[3]. Dalam suatu rangkaian *hydrokinetic turbine* (turbin yang memanfaatkan energi kinetik air), hal yang mempengaruhi daya yang dihasilkan salah satunya adalah bentuk sudu-sudunya. Dimana sudu merupakan bagian turbin yang menerima energi kinetik dari air yang akan diteruskan ke poros turbin melalui *runner*. Pada penelitian ini, peneliti menganalisis turbin arus air bersumbu vertikal (*vertical-axis*) tipe *Darrieus Straight Blade* menggunakan 3 variasi bentuk sudu yaitu NACA 0018 (*naca0018-il*), EPPLER 818 (*e818-il*), SELIG S1223 dengan dimensi dan jumlah sudu tiap turbin sama.

1.2. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian yang digunakan agar sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang di harapkan adalah :

1. Jumlah tiap sudu sama yaitu 3 (tiga)
2. Variasi sudu menggunakan foil tipe NACA 0018, Selig 1223, Eppler 818
3. Sudut serang dalam menerima aliran air 0° dan 5°
4. Kecepatan air 2,4 m/s; 2,7 m/s ; 3 m/s
5. Peneliti menggunakan *software CFD* untuk menganalisa.

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

Mengetahui pengaruh variasi sudu terhadap gaya, torsi dan *power* (daya) guna mendapatkan variasi sudu pada turbin yang paling optimal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi Terbarukan

Sebagian besar energi yang digunakan rakyat Indonesia saat ini berasal dari bahan bakar fosil yaitu minyak bumi, gas dan batu bara. Dengan adanya kebijakan pemerintah untuk melakukan penghematan energi, maka perlu dilakukan pencarian sumber energi yang ramah lingkungan dan terbarukan[3]

Adapun contoh dari energi terbarukan :

- a. Energi matahari (*solar energy*)
- b. Energi laut
- c. Energi panas
- d. Energi air
- e. Energi angin

2.2. Energi Arus Laut

Indonesia yang sebagian besar terdiri dari lautan, bahkan luas lautannya mencapai 8 juta km^2 menjadikan Indonesia sangat potensial energi arus lautnya. Menurut peneliti dari Laboratorium Hidrodinamika Indonesia BPP Teknologi, Erwandi (2005), wilayah Indonesia energi yang punya prospek bagus adalah energi arus. Hal ini disebabkan densitas air laut 830 kali lipat densitas udara sehingga ,dengan kapasitas yang sama turbin arus laut akan jauh lebih kecil dibandingkan dengan turbin angin[3].

2.3. Tinjauan Umum Turbin

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Turbin sederhana memiliki satu bagian yang bergerak, "*assembly Rotor Blade*". Fluida yang bergerak menjadikan baling-baling berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor. Contoh turbin awal adalah kincir angin dan roda air. Turbin dikelompokkan menjadi beberapa jenis yaitu Turbin Air, Turbin Uap Air, dan Turbin Gas. Maka turbin diberi nama sesuai dengan jenis fluida kerjanya[4]

2.4. Turbin Arus Laut

Turbin arus laut secara garis besar terbagi atas 2 bagian :

a. Vertical Axis Turbine

Vertikal aksis turbin dirancang tegak lurus dengan arah arus laut. Vertikal aksis turbin memiliki efisiensi yang besar , tetapi tidak stabil dan getaran yang dihasilkan tinggi.



Gbr 1 Vertical Axis Turbine

b. Horizontal Axis Turbine

Pada Horizontal Aksis turbin dimana bilah turbin dirancang berlawanan arah dengan arus laut, karena kecepatan arus dan arah arus maka bilah

turbin berputar. Konversi energi terjadi dari kecepatan dan arus laut menjadi putaran turbin yang digunakan untuk memutar turbin.



Gbr 2 Horizontal axis Turbine

2.5. Sudut Serang (*Angle Of Attack*)

Sudut serang adalah sudut yang dibentuk antara *chord* airfoil dengan *vector* kecepatan aliran *fluida freestream*. Bisa juga diartikan Sudut serang adalah sudut yang dibentuk oleh tali busur sebuah foil dan arah aliran fluida yang melewatinya yang diberi notasi (α).

2.6. Sudu

Sudu atau rotor berfungsi untuk menghasilkan putaran akibat gaya arus dan menggerakkan poros turbin dan poros generator yang kemudian akan menghasilkan energi listrik. Pada sudu turbin arus akan terjadi tegangan geser pada permukaannya ketika kontak dengan arus. Distribusi tegangan geser pada permukaannya ketika kontak dengan arus. 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 arus tersebut.

2.7. Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD), merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan dari *CFD* adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas.

Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

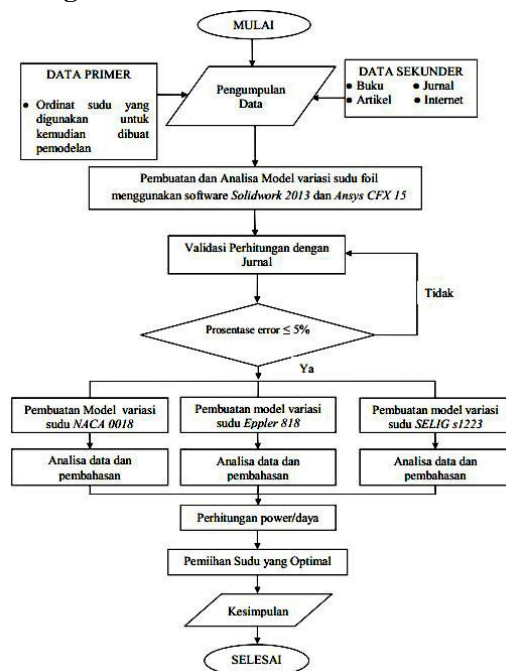
a. *Pre Processor*

b. *Solver Manager*

c. *Post Processor*

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir



Dalam diagram alir penelitian tersebut, terdapat langkah-langkah dalam melakukan penelitian ini. Pengumpulan data primer dan sekunder merupakan tahap awal, dimana data primer berupa ordinat foil yang digunakan dan data sekunder berupa data penunjang untuk penelitian ini. Kemudian pada tahapan pemodelan menggunakan software SolidWork 2013, pemodelan didasarkan pada ordinat foil yang sudah ditentukan. Pada tahapan analisa menggunakan software ANSYS CFX R.15, pada tahapan ini didapat data-data hasil yang diperlukan untuk selanjutnya dilakukan perhitungan dan analisa data untuk mendapatkan hasil sesuai tujuan dari penelitian ini.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Validasi Metode Penelitian

Perhitungan Validasi menggunakan *software SolidWork 2013* untuk pemodelan dan *Ansys CFX 15* untuk Analisa dengan acuan *Vertical Axis Wind Turbine Straight Blade Darrieus* berpenampang airfoil NACA 0020 dengan 3 sudu. Berikut spesifikasinya :

Tabel 1 Spesifikasi Turbin Untuk Acuan Validasi

Vertical Axis Turbine Dimension	
Geometri Foil	Naca0020
Panjang <i>chord</i>	300 (mm)
Panjang <i>Blade</i>	700 (mm)

Jumlah <i>Blade</i>	3 (tiga)
∅ <i>Turbine</i>	500 (mm)
<i>Wind Speed</i>	6 m/s
Sudut serang	15°

Perhitungan nilai torsi didapatkan dari hasil kali gaya tangensial dengan jari-jari pada setiap sudu. Dinyatakan dalam persamaan :

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

Dimana

$$Q = \text{Torsi (Nm)}$$

$$F\phi = \text{Gaya Tangensial (N)}$$

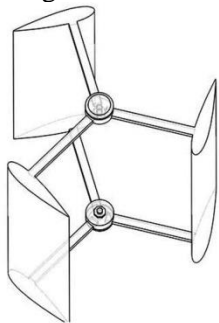
$$R = \text{Jari-jari (m)}$$

Tabel 2 Perbandingan Hasil Validasi Dengan Acuan

	Daya Turbin (watt)	Prosentase Error (%)
Acuan	6,097	-
CFD	5,89	3,4

4.2. Perancangan Turbin Arus *Vertical Axis*

Turbine divariasikan dengan tiga jenis foil, yaitu NACA 0018; SELIG 1223 dan EPPLER 818. turbin didesain memiliki jumlah *blade* yang sama yaitu, 3 buah *blade* dengan masing-masing memiliki sudut serang 0° dan 5°



Gbr 3 Pemodelan Turbin *Vertical Axis* tipe *darrieus straight blade (H-turbine)*

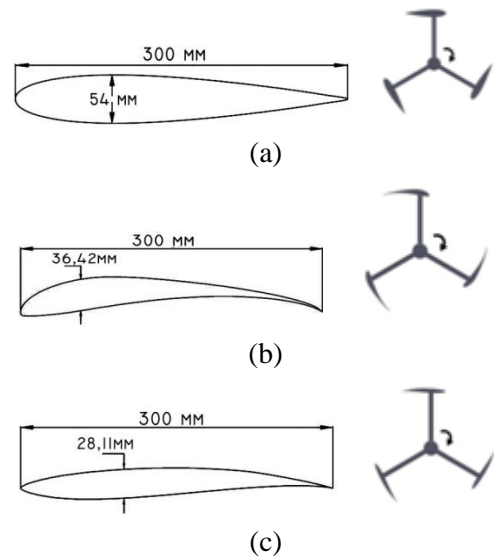
Berikut dimensi desain turbin :

Tabel 3 *Vertical Axis Turbine Dimension*

<i>Vertical Axis Turbine Dimension</i>	
Geometri Foil	NACA 0018;SELIG 1223 EPPLER 818
Panjang <i>chord</i>	300 (mm)
Panjang <i>Blade</i>	1000 (mm)
Jumlah <i>Blade</i>	3 (tiga)
Diameter <i>Turbine</i>	800 (mm)
Diameter hub	100 (mm)
Sudut serang	0° & 5°

Dimensi foil NACA 0018 memiliki panjang *chord* 300 mm dan *max thickness* 54 mm, SELIG 1223 memiliki panjang *chord* 300 mm dan *max thickness* 36,42 mm, sedangkan Eppler 818

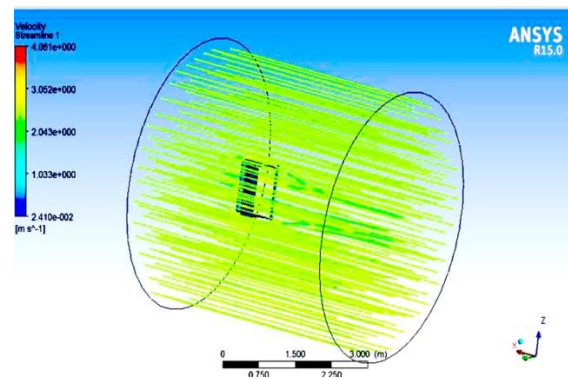
memiliki panjang *chord* 300 mm dan *max thickness* 28,11 mm. Bentuk geometri bisa dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 4 (a) NACA 0018, (b) Selig 1223, (c) Eppler 818

4.3. Perhitungan Nilai Gaya dan Torsi

Peneliti menggunakan *software Ansys CFX 15* untuk mendapatkan nilai *force* pada sudu dengan variasi kecepatan 2,4 m/s, 2,7m/s, dan 3 m/s.

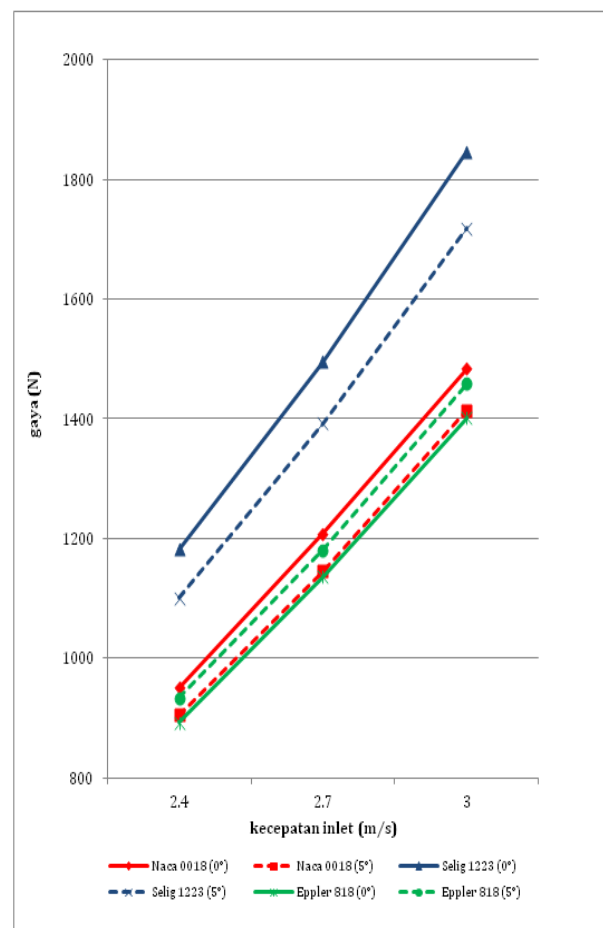


Gambar 5 Simulasi post CFD dengan *Ansys CFX 15* untuk mendapat nilai *force*

Tabel 4 Nilai gaya pada analisa dengan *Ansys CFX 15*

No	Blade Profile	Angle Of Attack	Inlet Velocity (m/s)	Force Ansys (N)
1	NACA 0018	0°	2.4	950.29
			2.7	1208.24
			3	1483.79
2	NACA 0018	5°	2.4	905.323
			2.7	1145.34
			3	1413.51
3	SELIG 1223	0°	2.4	1181.74
			2.7	1495.81
			3	1846.84
4	SELIG 1223	5°	2.4	1100.1
			2.7	1392.03
			3	1718.95
5	EPPLER 818	0°	2.4	891.904
			2.7	1136.21
			3	1401.86
6	EPPLER 818	5°	2.4	933.028
			2.7	1181.15
			3	1458.12

Hasil dari Analisa Geometri turbin arus *Vertical-axis* dengan menggunakan Software *Ansys CFX 15* dapat dilihat seperti pada table 4 diatas. Dimana dari hasil analisa dengan *software Ansys CFX 15*, Nilai gaya terbesar tiap kecepatan inlet dimiliki oleh turbin dengan sudu/foil tipe SELIG 1223 dengan sudut serang 0° sebesar 1181,74 N (pada 2,4 m/s), 1495,81 N (pada 2,7 m/s), dan 1846,84 N (pada 3m/s).



Gambar 6 Hubungan gaya dengan kecepatan inlet pada variasi foil, dan sudut serang

Berdasarkan grafik pada gambar 6 gaya tertinggi di tiap kecepatan inlet dimiliki turbin *vertical axis* dengan geometri SELIG 1223 dengan sudut serang 0° sebesar 1181,74 N (pada 2,4 m/s), 1495,81 N (pada 2,7 m/s), dan 1846,84 N (pada 3m/s).

Perhitungan Torsi Turbin

Dinyatakan dalam persamaan:

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

Dimana

$$Q = \text{Torsi (Nm)}$$

$$F\phi = \text{Gaya Tangensial (N)}$$

$$R = \text{Jari-jari (m)}$$

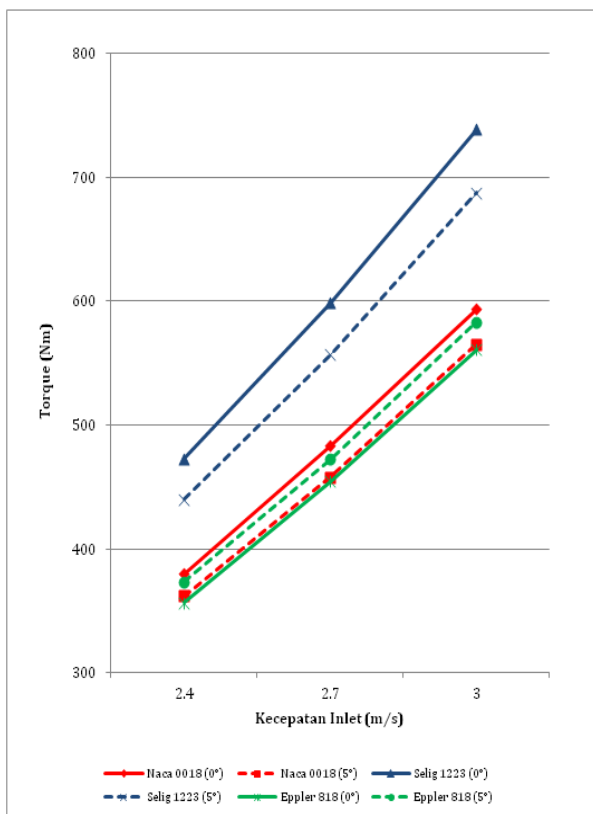
NACA 0018 dengan sudut serang 0° pada kecepatan arus 2,4 m/s memiliki nilai gaya 950,29 N.

Perhitungan nilai torsinya yaitu :

$$\begin{aligned} Q &= F\phi \times R \\ &= 950,29 \times 0,4 \\ &= 380,116 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Tabel 5 Nilai Perhitungan Torsi (*Torque*)

No	Blade Profile	Angle Of Attack	Inlet Velocity (m/s)	Torque (Nm)
1	NACA 0018	0°	2.4	380.116
			2.7	483.296
			3	593.516
2	NACA 0018	5°	2.4	362.1292
			2.7	458.136
			3	565.404
3	SELIG 1223	0°	2.4	472.696
			2.7	598.324
			3	738.736
4	SELIG 1223	5°	2.4	440.04
			2.7	556.812
			3	687.58
5	EPPLER 818	0°	2.4	356.7616
			2.7	454.484
			3	560.744
6	EPPLER 818	5°	2.4	373.2112
			2.7	472.46
			3	583.248



Gambar 7 Hubungan Torsi dengan kecepatan inlet pada variasi foil, dan sudut serang.

Berdasarkan grafik pada gambar 7 Torsi tertinggi di tiap kecepatan inlet dimiliki turbin *vertical axis* dengan geometri SELIG 1223 dengan sudut serang 0° sebesar 472,496 Nm (pada 2,4 m/s), 598,324 Nm (pada 2,7 m/s), dan 738,736 Nm (pada 3m/s).

4.4. Perhitungan Daya, C_p dan Efisiensi

Besarnya daya yang dihasilkan oleh Turbin arus *vertical axis* merupakan energi poros yang diperoleh turbin dari energi aliran arus air.

Daya turbin dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$P_t = Q \times \omega$$

Dimana :

$$P_t = \text{Daya turbin (watt)}$$

$$Q = \text{Torsi turbin (Nm)}$$

$$\omega = \text{Kecepatan sudut (Rad/s)}$$

Untuk menghitung daya turbin, kita harus terlebih dahulu mengetahui kecepatan sudut turbin. Kecepatan sudut turbin diperoleh berdasarkan nilai *Tip Speed Ratio (TSR)*. TSR merupakan perbandingan antara kecepatan putar turbin terhadap kecepatan arus. TSR dilambangkan dengan λ

$$\lambda = \frac{\omega \times R}{V}$$

Dimana :

$$\lambda = \text{tip speed ratio}$$

$$\omega = \text{kecepatan rotational turbine (rpm)}$$

$$R = \text{Jari - jari (m)}$$

$$V = \text{kecepatan aliran (m/s)}$$

Perhitungan *tip speed ratio* pada kecepatan rpm rata-rata 57,2956 dan kecepatan aliran rata-rata 2,4 m/s :

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\omega \times R}{V} \\ &= 57,2956 \cdot 0,4 / 2,4 \\ &= 9,5492 \times 0,1047 = 0,999 \end{aligned}$$

Sehingga kecepatan sudut turbin dapat diperoleh melalui persamaan :

$$n = v \times (\lambda / R)$$

Dimana :

$$\lambda = \text{tip speed ratio}$$

$$v = \text{kecepatan aliran udara (m/s)}$$

$$R = \text{Jari-jari (m)}$$

Perhitungan kecepatan sudut turbin pada turbin *Vertical Axis* pada kecepatan aliran 2,4 m/s :

$$\begin{aligned} n &= v \times (\lambda / R) \\ &= 2,4 \times (0,999 / 0,4) \\ &= 5,994 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

Tabel 6 Hasil Perhitungan kecepatan sudut turbin

No	Inlet Velocity (m/s)	Jari-jari (m)	Tip Speed Ratio	Kecepatan Sudut (rad/s)
1	2.4	0.4	0.999	5.994
2	2.7	0.4	0.999	6.743
3	3	0.4	0.999	7.492

Mengacu tabel 6, nilai kecepatan sudut tertinggi terjadi pada kecepatan 3 m/s sebesar 7,4924 rad/s.

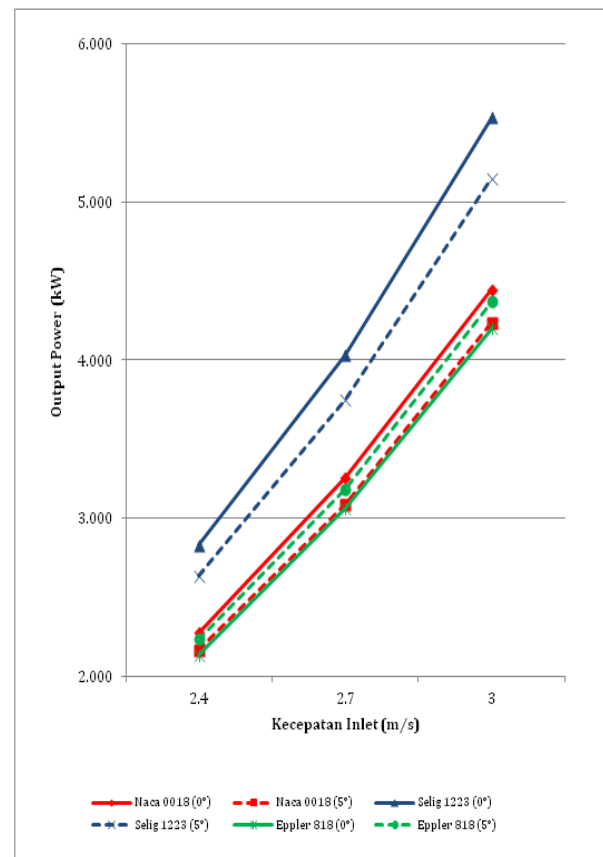
Berikut merupakan perhitungan daya *vertical axis turbin* NACA 0018 pada kecepatan aliran 2,4 m/s dengan sudut serang 0°:

$$\begin{aligned}
 P_t &= Q \times \omega \\
 &= 380,116 \times 5,994 \\
 &= 2,277 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Tabel 7 Hasil Perhitungan *Output Power*

No	Blade Profile	Angle Of Attack	Inlet Velocity (m/s)	Output Power (kW)
1	NACA 0018	0°	2.4	2.277
			2.7	3.257
			3	4.445
2	NACA 0018	5°	2.4	2.170
			2.7	3.088
			3	4.234
3	SELIG 1223	0°	2.4	2.832
			2.7	4.033
			3	5.532
4	SELIG 1223	5°	2.4	2.636
			2.7	3.753
			3	5.149
5	EPPLER 818	0°	2.4	2.137
			2.7	3.063
			3	4.199
6	EPPLER 818	5°	2.4	2.236
			2.7	3.184
			3	4.368

Hasil perhitungan nilai daya (*Output Power*) turbin yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 7 diatas. Dimana Nilai *Output Power* terbesar tiap kecepatan inlet dimiliki oleh SELIG 1223 dengan sudut serang 0° sebesar 2,831 kW (pada 2,4 m/s), 4,032 kW (pada 2,7 m/s), dan 5,532 kW (pada 3m/s).



Gambar 8 Hubungan *Output Power* dengan kecepatan inlet pada variasi foil, dan sudut serang.

Berdasarkan grafik pada gambar 8 daya tertinggi di tiap kecepatan inlet dimiliki turbin *vertical axis* dengan geometri SELIG 1223 dengan sudut serang 0° sebesar 2,831 kW (pada 2,4 m/s), 4,032 kW (pada 2,7 m/s), dan 5,532 kW (pada 3m/s)

Perhitungan Cp dan Efisiensi Turbin

Koefisien Power / *Power Coefficient* merupakan perbandingan antara power yang dihasilkan oleh turbin dengan power yang dihasilkan oleh air oleh karena energi kinetiknya

$$C_p = \frac{Q \times \omega}{0,5 \times \rho \times V^3 \times A}$$

Efisiensi turbin didapat dari besarnya daya yang keluar (Pt) berbanding dengan daya yang masuk (Ph). Daya masuk (Ph) dirumuskan pada persamaan berikut :

$$P_h = \frac{1}{2} \rho (A v) v^2$$

Dimana :

ρ = Densitas air

A = Luas daerah yang tersapu turbin (A = 0,8 m²)

R = Jari-jari (m)

v = Kecepatan aliran air (m/s)

Contoh perhitungan daya masuk (Ph) pada

kecepatan aliran arus air 2,4 m/s :

$$Ph = \frac{1}{2} \rho (A v) v^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1000 (0,8 \times 2,4) 2,4^2$$

$$= 5,5296 \text{ kW}$$

Tabel 8 Perhitungan Daya Air (Ph)

No	Inlet Velocity (m/s)	luas sapuan turbin(m ²)	Daya masuk (kW)
1	2,4	0,8	5,529
2	2,7	0,8	7,873
3	3	0,8	10,8

Efisiensi turbin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$(\eta_t) = \frac{P_t}{P_h} \times 100\%$$

Dimana :

$$P_t = \text{Daya Turbin (kW)}$$

$$P_h = \text{Daya Air (kW)}$$

Perhitungan efisiensi turbin Arus *vertical Axis* NACA 0018 pada kecepatan aliran 2,4 m/s dengan sudut serang 0° :

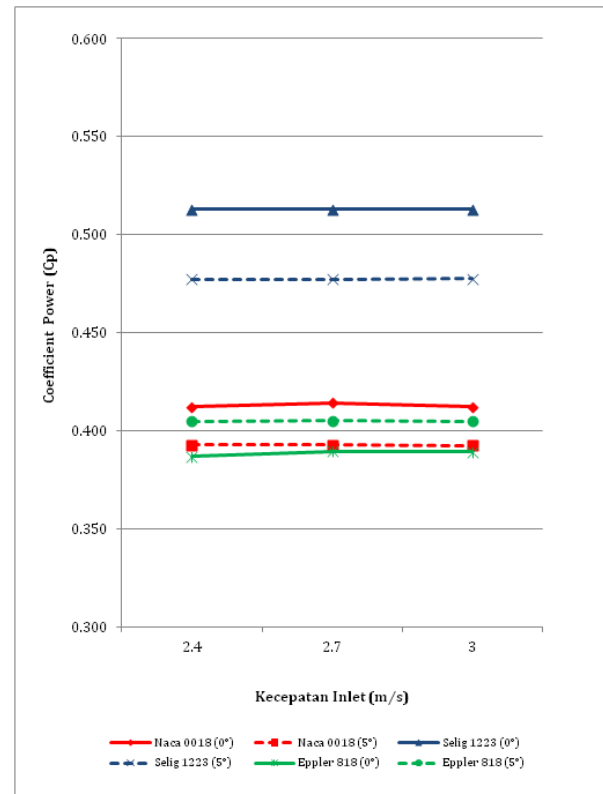
$$(\eta_t) = \frac{P_t}{P_h} \times 100\%$$

$$= \frac{2,277}{5,5296} \times 100\%$$

$$= 41,1831 \%$$

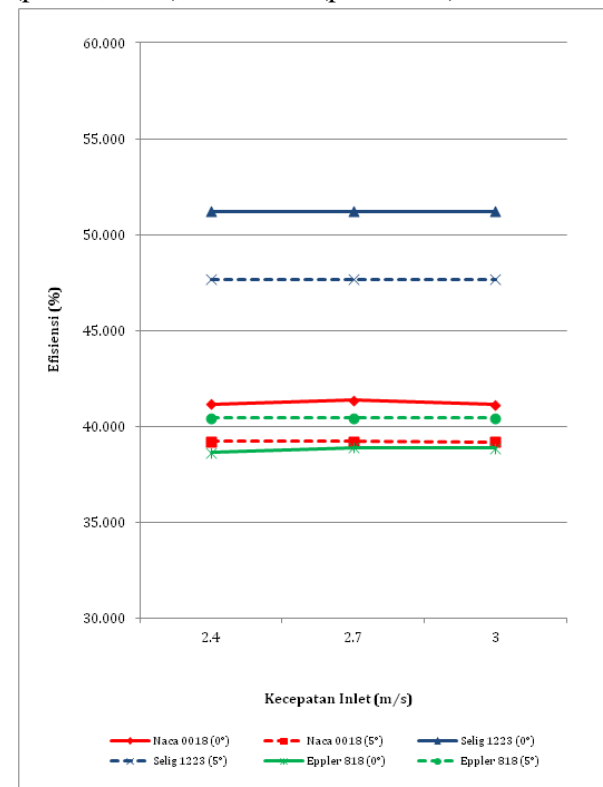
Tabel 9 Hasil Perhitungan *Power Coefficient* dan Efisiensi

No	Blade Profile	Angle Of Attac	Inlet Velocity (m/s ²)	Ph (Daya Turbin)	Pt (Daya Air)	Cp	Efisiensi (%)
1	NACA 0018	0°	2.4	2.277	5.530	0.412	41.183
			2.7	3.257	7.873	0.414	41.372
			3	4.445	10.800	0.412	41.154
2	NACA 0018	5°	2.4	2.170	5.530	0.393	39.234
			2.7	3.088	7.873	0.393	39.219
			3	4.234	10.800	0.393	39.205
3	SELIG 1223	0°	2.4	2.832	5.530	0.513	51.214
			2.7	4.033	7.873	0.513	51.219
			3	5.532	10.800	0.513	51.224
4	SELIG 1223	5°	2.4	2.636	5.530	0.477	47.675
			2.7	3.753	7.873	0.477	47.666
			3	5.149	10.800	0.477	47.677
5	EPPLER 818	0°	2.4	2.137	5.530	0.387	38.653
			2.7	3.063	7.873	0.390	38.906
			3	4.199	10.800	0.389	38.882
6	EPPLER 818	5°	2.4	2.236	5.530	0.405	40.435
			2.7	3.184	7.873	0.405	40.445
			3	4.368	10.800	0.405	40.442



Gambar 9 Grafik Coefficient Power (Cp)

Berdasarkan Gambar 9 Nilai Cp terbesar tiap kecepatan inlet dimiliki oleh SELIG 1223 dengan sudut serang 0° sebesar 0.513 (pada 2,4 m/s), 0.513 (pada 2,7 m/s), dan 0.513 (pada 3m/s).



Gambar 10 Nilai Efisiensi turbin (dalam %)

Berdasarkan gambar 10 Nilai efisiensi terbesar tiap kecepatan inlet dimiliki oleh SELIG 1223 dengan sudut serang 0° sebesar 51,214 % (pada 2,4 m/s),

51,219 % (pada 2,7 m/s), dan 51,224 % (pada 3m/s).

4.5. Pemilihan Geometri Turbin yang Optimal

Dari penyajian tabel di atas pada tabel dan grafik menunjukkan performa turbin arus *Vertical Axis* sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisa *Ansys CFX 15* Nilai *force* terbesar tiap kecepatan inlet dimiliki oleh turbin arus sumbu vertical dengan foil SELIG 1223 dan sudut serang 0° sebesar 1181,74 (pada 2,4 m/s), 1495,81 (pada 2,7 m/s), dan 1846,84 N (pada 3m/s).

2. Berdasarkan hasil perhitungan Nilai *Torque* terbesar tiap kecepatan inlet dimiliki oleh turbin arus sumbu vertical dengan foil SELIG 1223 dengan sudut serang 0° sebesar 472,496 Nm (pada 2,4 m/s), 598,324 Nm (pada 2,7 m/s), dan 738,736 Nm (pada 3m/s).

3. Berdasarkan hasil perhitungan Nilai *Output* daya terbesar tiap kecepatan inlet dimiliki oleh turbin arus sumbu vertical dengan foil SELIG 1223 dengan sudut serang 0° sebesar 2,831 kW (pada 2,4 m/s), 4,032 kW (pada 2,7 m/s), dan 5,532 kW (pada 3m/s)

4. Berdasarkan hasil perhitungan Nilai *Power Coefficient* dan Efisiensi(%) terbesar tiap kecepatan inlet dimiliki oleh turbin arus sumbu vertical dengan foil SELIG 1223 dengan sudut serang 0° sebesar 0.513 (pada 2,4 m/s), 0.513 (pada 2,7 m/s), dan 0.513 (pada 3m/s). Dan Efisiensi sebesar 51,214 % (pada 2,4 m/s), 51,219 % (pada 2,7 m/s), dan 51,224 % (pada 3m/s).

5. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan pada setiap variasi Turbin Arus Tipe sumbu Vertikal dengan geometri sudu NACA 0018, SELIG 1223, dan EPPLER 818 dan sudut serang 0° ; 5° serta kecepatan arus 2,4 m/s ; 2,7 m/s & 3 m/s, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Dari hasil analisa pada variasi sudu turbin terdapat pengaruh pada nilai gaya, torsi, daya serta Cp dan Efisiensi dimana, nilai gaya terbesar diperoleh pada foil SELIG 1223 dengan sudut serang 0° sebesar 1846,84 N (pada 3m/s), kemudian nilai torsi terbesar diperoleh pada foil SELIG 1223 dengan sudut serang 0° sebesar

738,736 Nm (pada 3m/s), kemudian nilai *Output* daya terbesar diperoleh pada foil SELIG 1223 dengan sudut serang 0° sebesar 5,532 kW (pada 3m/s), lalu nilai *Power Coefficient* (Cp) dan Efisiensi (%) terbesar diperoleh pada foil SELIG 1223 dengan sudut serang 0° sebesar 0,513 (pada 3m/s). Dan Efisiensi sebesar 51,224 (pada 3 m/s). Dari analisa nilai dan perhitungan diatas maka, Turbin arus sumbu *vertical* dengan foil tipe SELIG 1223 yang memiliki sudut serang 0° merupakan geometri turbin yang paling optimum untuk digunakan pada pembangkit listrik tenaga arus pada penelitian ini.

5.2. Saran

Sebaiknya dilakukan pengujian secara eksperimen untuk membandingkan hasil simulasi dengan CFD

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sudargana, R, 2012, “*Analisa Perancangan Turbin Darrieus Pada Hydrofoil NACA 0015 Dari Karakteristik dan Pada Variasi Sudut Serang menggunakan Regresi Linier Pada Matlab*”, Semarang : Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- [2] Rahmi, Halida dkk. 2015. “*Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Menggunakan Sistem Turbin Savonius Termodifikasi*”, Purwokerto : Jurusan Fisika Universitas Jenderal Soedirman
- [3] Trimulyono, Andi dan Berlian Arswendo, 2012. “*Perancangan Turbin Arus Laut Untuk Daerah Pesisir Pantai Tipe Kobold Dengan Bilah HLIFT dan NACA 0018 Yang dimodifikasi Dengan Computational Fluid Dynamic (CFD)*”. Semarang : Program Studi S1 Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
- [4] Prapti, Cokorda M.Eng dkk. 2012. “*Analisa Turbin Pelton Berskala Mikro Pada Pembuatan Instalasi Uji Laboratorium*”, Jakarta : Jurusan Teknik Mesin Universitas Gunadarma.
- [5] Susanto, Andi. 2013. “*Perancangan dan Pengujian Turbin Kaplan Pada Ketinggian (H) 4 M Sudut Sudu Pengarah 30° dengan Variabel Perubahan Debit (Q) dan Sudut sudu Jalan*”, Surakarta : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
- [6] A.S, Slamet dan Ketut Swastika. 2012. “*Kajian*

Eksperimental Pengaruh Posisi Perletakan Hydrofoil Pendukung Terhadap Hambatan Kapal”, Surabaya : Jurusan Teknik Perkapalan, FTK-Institut Teknologi Sepuluh November

[7] Irsyad, Muhammad.2010. “*Kinerja Turbin Air Tipe Darrieus Dengan Sudu Hydrofoil Standar NACA 6512*”, Lampung : Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung

[8] Chandrala, Monir dkk.2013. “*CFD Analysis Of Horizontal Axis Wind Turbine Blade For Optimum Value Of Power*” India : Department of Mechanical Engineering, Oriental Institute of Science & Technology, Bhopal (MP)

[9] H.H, Eva dkk.2014. “*Analisis Hidrodinamika Hidrofoil Dengan Menggunakan Perangkat Lunak CFD (Computational Fluid Dynamic)*”, Semarang : Program Studi Pascasarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

[10] S.A, Oller dkk. 2015. “*The Usability of the Selig S1223 Profile Airfoil as high Lift Hydrofoil for Hydrokinetic Application*”, Argentina : Faculty Of Engineering University Of Salta

[11] Supriyo. 2015. “*Perancangan Turbin Straight Blade Darrieus Dengan Tiga Sudu*”, Semarang :Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Semarang

[12] <https://id.wikipedia.org/wiki/Turbin>.

[13] Website Kementrian Energi dan Sumber DayaMineral <http://www.esdm.go.id/berita/323-energi-baru-dan-terbarukan/4442-wilayah-perairan-indonesia-simpan-potensi-energi-listrik-dari-arus-laut.html>