

## ANALISA TURBIN DARRIEUS SUDU LURUS DENGAN HYDROFOIL NACA 0018 PADA VARIASI KECEPATAN ALIRAN MELALUI PEMODELAN CFD DAN PERHITUNGAN NUMERIK

\*Budi Cahyo Hutomo<sup>1</sup>, Sudargana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

\*e-mail: hutomo.budi5@gmail.com

### Abstrak

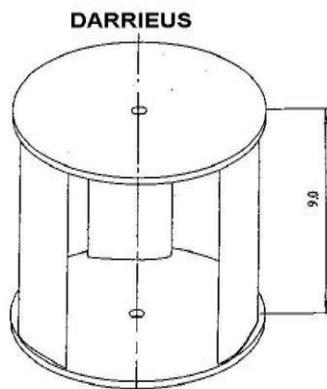
Bahan bakar fosil telah dieksplorasi secara besar-besaran untuk memenuhi kebutuhan energi di dunia. Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tidak bisa diperbaharui. Hal ini menyebabkan ketersediaan bahan bakar fosil sangat terbatas dan terus mengalami penurunan. Proses alam memerlukan waktu yang sangat lama untuk dapat kembali menyediakan energi fosil ini. Untuk mengatasinya diperlukan sumber energi alternatif terbarukan yang ramah lingkungan dan salah satunya adalah energi arus air. Saat ini telah dikembangkan turbin arus air Darrieus yang dapat mengambil energi dari arus air tanpa memakai bendungan. Pemodelan dilakukan dengan menentukan parameter konstruksi turbin Darrieus dengan hidrofoil NACA 0018. Pemodelan dengan komputer dibuat untuk perhitungan prestasi sudu turbin dalam konteks koefisien *lift* dan koefisien *drag*. Model ini dapat dipakai untuk meneliti efek dari variasi sudut serang dan bilangan Reynolds pada prestasi sudu turbin. Hasil perhitungan torsi dan daya dipakai untuk menentukan koefisien torsi. Koefisien torsi maksimum yang dicapai turbin Darrieus dengan nilai 0.47 didapat pada kecepatan aliran 5 m/s dengan daya yang dihasilkan 5 kw dan terendah pada 0.35 didapat pada kecepatan aliran 0.7 m/s dengan daya yang dihasilkan sebesar 10 watt. Daya tersebut dikonversi ke energi listrik setelah turbin tersambung ke generator. Hasil analisa dari penelitian dapat dipakai sebagai salah satu faktor pertimbangan dalam pemilihan hidrofoil sebagai sudu turbin sehingga turbin dapat beroperasi secara optimal.

**Kata kunci:** turbin Darrieus, hidrofoil, NACA 0018, *Lift Coefficient*, *Drag Coefficient*, sudut serang, bilangan Reynolds.

### PENDAHULUAN

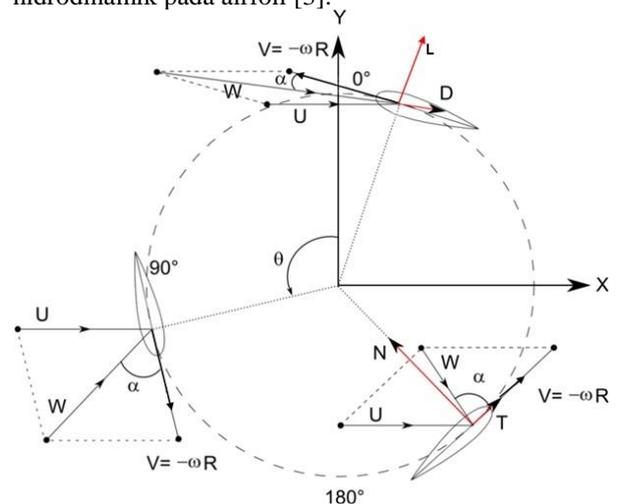
Energi aliran pasang surut atau *Tidal Stream Energy* merupakan salah satu energi terbarukan dan juga termasuk sebagai energi alternatif. Di tengah kekhawatiran akan habisnya ketersediaan minyak dan sumber energi fosil maka energi aliran pasang surut hadir menjadi salah satu solusi bagi ketersediaan energi di dunia. Karena persediaan air laut di dunia tidak pernah berhenti.

Turbin Darrieus merupakan salah satu jenis turbin yang dikembangkan oleh seorang aeronautical engineer asal Prancis yang bernama Georges Jean Marie Darrieus pada tahun 1931 [1].



Gambar 1. Turbin Darrieus sudu lurus [2]

Resultan gaya hidrodinamik didapatkan dari komponen lift (FL) – drag (FD), gaya lift dan drag sangat berguna saat menyinggung karakteristik hidrodinamik pada airfoil [3].

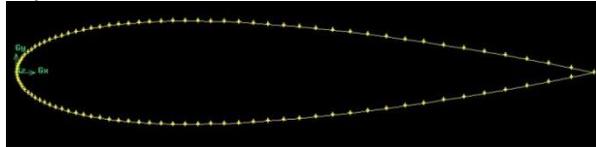


Gambar 2. Gaya dan kecepatan yang bekerja pada turbin Darrieus [3]

### METODOLOGI PENELITIAN

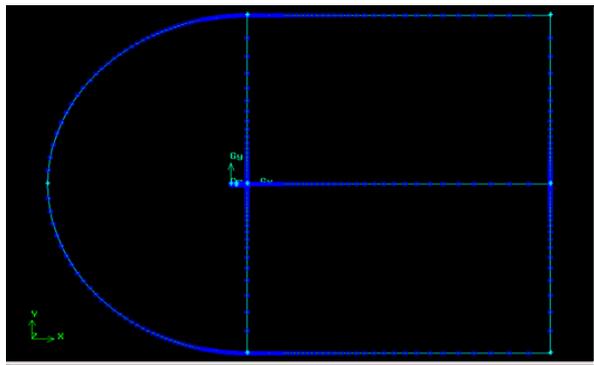
Kerangka hidrofoil didefinisikan dengan titik-titik koordinat, lebih banyak titik koordinat yang dipakai akan meningkatkan akurasi dari model. Dengan titik koordinat yang telah diketahui, titik-titik

tersebut harus dimasukkan ke dalam format teks. Kerangka yang akan dibentuk pada hydrofoil NACA 0018 adalah sebanyak 100 titik (*vertices*) dan mempunyai 2 batas kerangka (*upper and lower surfaces*).

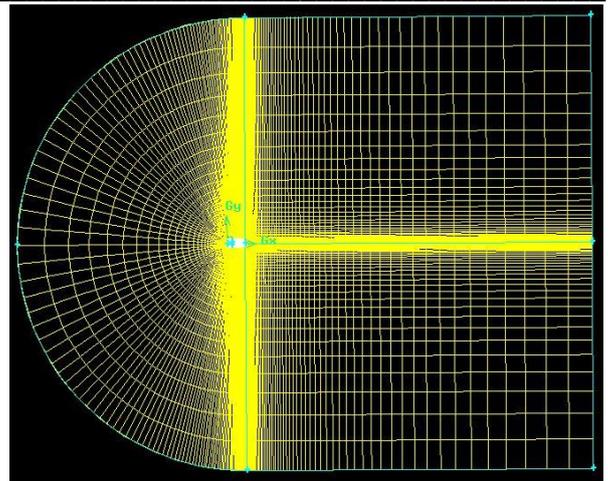


Gambar 3. Hydrofoil NACA 0018

Geometri dari batas *mesh* harus dibuat dari *vertex* dan disatukan pada batas tepi.

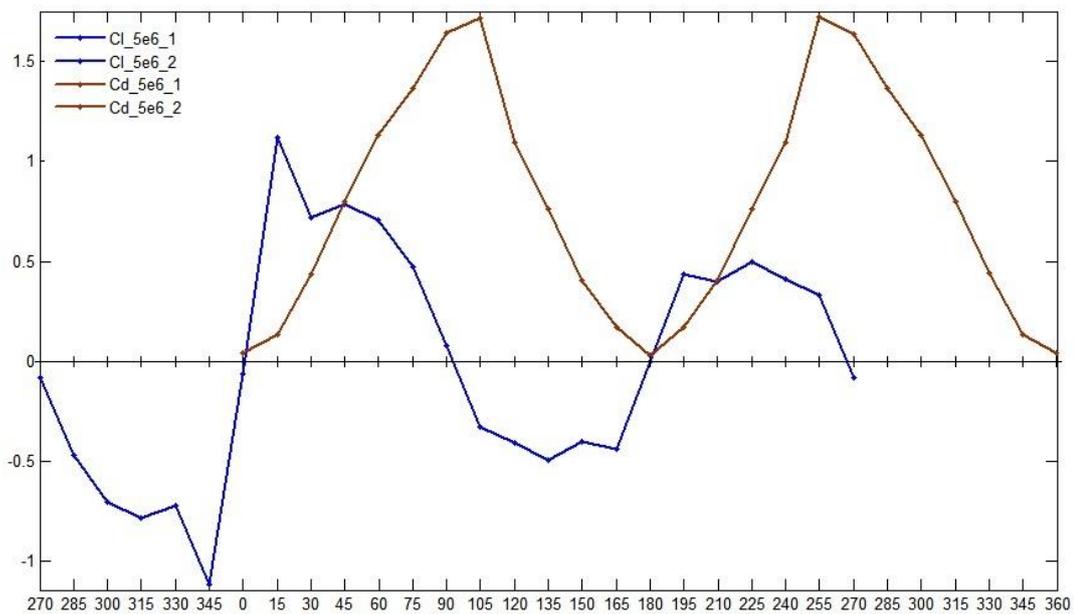


Gambar 4. Semua *edges* yang sudah di-*mesh*



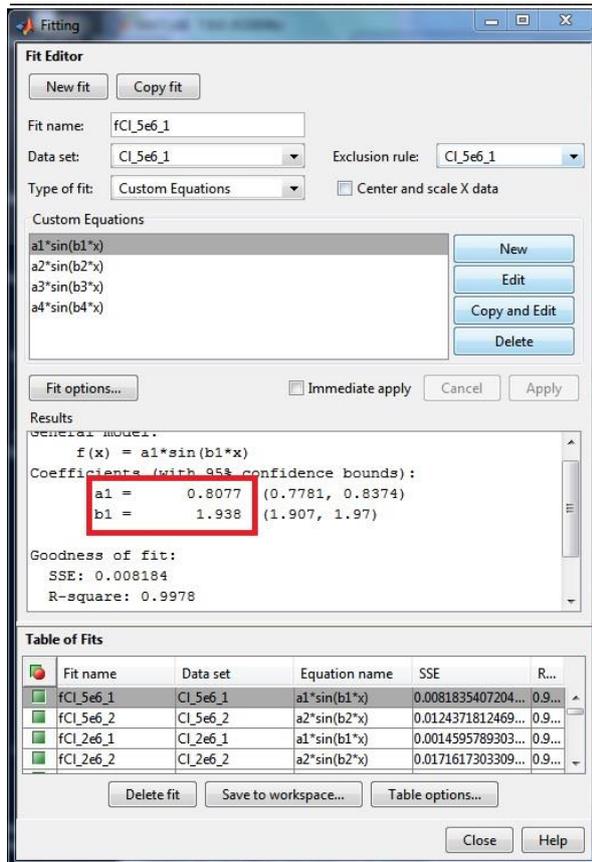
Gambar 5. Hasil generasi *mesh*

Nilai CL dan CD yang didapatkan dari simulasi fluent dibuat file dengan ekstensi *.dat*, ekstensi ini nantinya dapat dibaca oleh MATLAB.



Gambar 6. Plot koefisien lift and drag terhadap sudut serang pada kecepatan 5 m/s

Sedangkan untuk nilai koefisien a dan b dari persamaan garisnya yang nantinya akan dipakai dalam perhitungan akhir bisa didapat melalui jendela fitting pada *curve fitting tool* dengan mengklik salah satu nama "fit" yang diinginkan.



Gambar 7. Nilai koefisien a dan b

### PERHITUNGAN DAN ANALISA

Kecepatan sudut diambil dari nilai tip speed ratio teoritis yaitu 4, sehingga pada setiap kecepatan aliran nilai kecepatan sudutnya dapat dicari:

$$TSR = \frac{\omega R}{v}$$

Dengan memasukkan parameter kecepatan sebesar 5 m/s dan jari-jari turbin sebesar 0.3 m maka:

$$4 = \frac{\omega \cdot 0.3}{5} \rightarrow \omega = 66.7 \text{ rad/s}$$

[4]

Perhitungan torsi total pada kecepatan 5 m/s dapat dijabarkan sebagai berikut:

Persamaan garis koefisien lift dan drag:

$$f_1(\alpha) = 0.8077 \sin 2\alpha$$

$$f_2(\alpha) = 0.478 \sin 2\alpha$$

$$f_3(\alpha) = 1.331 \sin \alpha$$

$$f_4(\alpha) = 1.331 \sin \alpha$$

Properti fluida:

$$\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 5 \text{ m/s}$$

$$w = v + (-\omega R)$$

Spesifikasi turbin:

$$A = 0.045 \text{ m}^2$$

$$R = 0.3 \text{ m}$$

Nilai konstanta k

$$k = \frac{1}{2} 998.2 \times 15^2 \times 0.045 \times 0.3 = 1516$$

Perhitungannya menjadi:

$$TL_{11} = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} 0.8077 \sin 2\alpha \cdot 1516 \sin \alpha \, d\alpha = 1632.6$$

$$TL_{12} = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} 0.478 \sin 2\alpha \cdot 1516 \sin \alpha \, d\alpha = -966.2$$

$$TL_{21} = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} 0.8077 \sin 2\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right) \cdot 1516 \sin\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right) \, d\alpha = -204.1$$

$$TL_{22} = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} 0.478 \sin 2\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right) \cdot 1516 \sin\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right) \, d\alpha = 120.8$$

$$TL_{31} = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} 0.8077 \sin 2\left(\alpha + \frac{4\pi}{3}\right) \cdot 1516 \sin\left(\alpha + \frac{4\pi}{3}\right) \, d\alpha = -204.1$$

$$TL_{32} = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} 0.478 \sin 2\left(\alpha + \frac{4\pi}{3}\right) \cdot 1516 \sin\left(\alpha + \frac{4\pi}{3}\right) \, d\alpha = 120.8$$

$$TL = TL_{11} + TL_{12} + TL_{21} + TL_{22} + TL_{31} + TL_{32} \\ = 1632.6 - 966.2 - 204.1 + 120.8 - 204.1 + 120.8 \\ = 500$$

$$TD_{11} = \int_0^{\pi} 1.331 \sin \alpha \cdot 1516 \cos \alpha \, d\alpha = 0$$

$$TD_{12} = \int_0^{\pi} 1.331 \sin \alpha \cdot 1516 \cos \alpha \, d\alpha = 0$$

$$TD_{21} = \int_0^{\pi} 1.331 \sin\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right) \cdot 1516 \cos\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right) \, d\alpha = 0$$

$$TD_{22} = \int_0^{\pi} 1.331 \sin\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right) \cdot 1516 \cos\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right) \, d\alpha = 0$$

$$TD_{31} = \int_0^{\pi} 1.331 \sin\left(\alpha + \frac{4\pi}{3}\right) \cdot 1516 \cos\left(\alpha + \frac{4\pi}{3}\right) \, d\alpha = 0$$

$$TD_{32} = \int_0^{\pi} 1.331 \sin\left(\alpha + \frac{4\pi}{3}\right) \cdot 1516 \cos\left(\alpha + \frac{4\pi}{3}\right) \, d\alpha = 0$$

$$TD = TD_{11} + TD_{12} + TD_{21} + TD_{22} + TD_{31} + TD_{32}$$

$$= 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0$$

$$Torsi = TL + TD = \frac{500+0}{2\pi} = 79.6 \text{ N.m}$$

**Tabel 1.** Hasil perhitungan torsi untuk setiap kecepatan aliran

Kecepatan	TORSI
5 m/s	79.6 N.m
2 m/s	10 N.m
0.7 m/s	1.2 N.m
0.36 m/s	0.3 N.m

Untuk mencari daya hidrolis yang dihasilkan fluida saat memutar sudu turbin digunakan persamaan:

$$P_h = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Kecepatan aliran (v) = 5 m/s  
 Luas daerah aliran (A) = D x t = 0.6 x 0.3 = 0.18 m<sup>2</sup>  
 Massa jenis fluida (ρ) = 998.2 kg/m<sup>3</sup>

$$P_h = \frac{1}{2} 998.2 \times 0.18 \times 5^3 = 11229.75 \text{ watt}$$

Untuk mencari daya pada turbin yaitu daya yang dihasilkan dari putaran sudut dapat dipergunakan persamaan:

$$P_t = T \cdot \omega$$

$$P_t = 79.6 \times 66.7$$

$$P_t = 5309.32 \text{ watt}$$

**Tabel 2.** Hubungan daya hidrolis dan daya turbin untuk setiap kecepatan aliran

Kecepatan aliran (v)	Power Hidrolis (P <sub>h</sub> )	Power Turbin (P <sub>t</sub> )
5 m/s	11229.75 watt	5309.32 watt
2 m/s	718.7 watt	267 watt
0.7 m/s	30.8 watt	11.16 watt
0.36 m/s	4.2 watt	1.44 watt

Koefisien torsi turbin didapat dengan membandingkan daya yang keluar turbin atau daya yang dihasilkan oleh putaran turbin (P<sub>t</sub>) dengan daya yang masuk turbin atau daya hidrolis yaitu daya yang dihasilkan dari kepadatan fluida,

Power turbin (P<sub>T</sub>) = 5309.32 watt  
 Power hidrolis (P<sub>H</sub>) = 11229.75 watt

$$C_T = \frac{P_t}{P_h}$$

$$C_T = \frac{5309.32}{11229.75} = 0.473$$

**Tabel 3.** Hasil perhitungan koefisien torsi turbin untuk setiap kecepatan aliran

Kecepatan aliran (v)	Koefisien Torsi
5 m/s	0.473
2 m/s	0.372
0.7 m/s	0.362
0.36 m/s	0.343

Dikarenakan banyaknya proses dalam urutan perhitungan untuk mengurangi tingkat kesalahan dalam perhitungan dan mempermudah dalam tahap pemodelan dan analisa turbin Darrieus NACA 0018 maka telah dibuat GUI berbasis MATLAB.



**Gambar 8.** Antarmuka dari GUI berbasis MATLAB

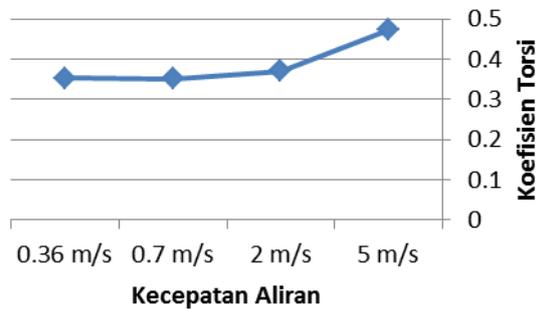
Dengan memasukkan parameter yang telah diketahui ke dalam GUI maka dengan cepat dan mudah didapatkan hasil perhitungan. Lebih jauh lagi GUI dapat digunakan dalam proses pemodelan dengan memasukkan parameter konstruksi turbin sehingga bisa didapatkan nilai torsi dan daya turbin hasil pemodelan.

**Tabel 4.** Hasil perhitungan koefisien torsi untuk setiap kecepatan melalui GUI

Kecepatan Aliran	Torsi (Nm)	P <sub>t</sub> (watt)	C <sub>T</sub>
5 m/s	79.5505	5303.37	0.47226
2 m/s	9.98326	266.22	0.370417
0.7 m/s	1.15863	10.8139	0.350937
0.36 m/s	0.307573	1.47635	0.352226

Dari tabel di atas bisa ditarik kesimpulan bahwa koefisien torsi turbin paling tinggi dicapai pada kecepatan 5 m/s sebesar 0.47 dan paling rendah pada kecepatan 0.7 m/s pada 0.35. Dari tabel di atas bisa dilihat bahwa nilai koefisien torsi antara kecepatan aliran 0.7 m/s dan 0.36 m/s hampir sama yaitu sekitar 0.35, namun selain memperhatikan nilai koefisiennya nilai daya yang dihasilkan juga penting, bisa dilihat meskipun nilai koefisien torsinya hampir sama namun

dari segi daya yang dihasilkan sangat berbeda yaitu antara 10 watt dan 1.5 watt saja.



**Gambar 9.** Grafik perbandingan kecepatan aliran dan torsi

### KESIMPULAN

Nilai koefisien lift puncak terbesar yaitu 1.1 didapat pada kecepatan aliran 5 m/s dan terendah yaitu 1.0 didapat pada kecepatan aliran 2 m/s, sedangkan nilai koefisien drag puncak terbesar yaitu 1.7 didapat pada kecepatan aliran 5 m/s dan terendah yaitu 1.6 didapat pada kecepatan aliran 0.36 m/s.

Torsi dan daya turbin paling tinggi sebesar 79.6 Nm dan 5 kw didapat pada kecepatan aliran 5 m/s dan paling rendah sebesar 0.3 Nm dan 1.5 w didapat pada kecepatan aliran 0.36 m/s.

Koefisien torsi turbin paling besar dengan nilai 0.47 didapat pada kecepatan aliran 5 m/s dan paling kecil dengan nilai 0.35 didapat pada kecepatan aliran 0.7 m/s.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Darrieus wind turbine. *Wikipedia, the free encyclopedia*. [Online] [Dikutip: 20 April 2012.] [http://en.wikipedia.org/wiki/Darrieus\\_wind\\_turbine](http://en.wikipedia.org/wiki/Darrieus_wind_turbine).
2. *Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review*. Khan, M.J., et al., et al. 2009.
3. Vertical axis wind turbine. *Wikipedia, the free encyclopedia*. [Online] [Dikutip: 20 April 2012.] [http://en.wikipedia.org/wiki/Vertical\\_axis\\_wind\\_turbine](http://en.wikipedia.org/wiki/Vertical_axis_wind_turbine).
4. *Optimal Rotor Tip Speed Ratio*. Ragheb, M. 2011.