

KAJIAN NUMERIK PENGARUH PROFIL SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN *HYDROKINETIC DARRIEUS* SEBAGAI WAVE AND CURRENT ENERGY CONVERTER

Muchammad Fajar Muttafaq^{1*}, Burniadi Moballa², Gerorge Endri Kusuma³

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: fajarmuttafaq02@student.ppns.ac.id^{1*}; bmoballa@ppns.ac.id^{2*}; kusuma.george@ppns.ac.id^{3*};

Abstract – New and Renewable Energy (EBT) resources in Indonesia are still not fully utilized, especially from the the maritime sector. Currently, the EBT mix has only reached 11.2 percent, still below the 2025 energy mix target of 23 percent and the potential for EBT which reaches more than 400 Gigawatts (GW) has only been utilized at 10 GW or 2.5 percent of the total reserves. (EBTKE Public Relations, 2021). The form of wave and current energy is one of the new renewable energies from the sea which has the potential to be used as electrical energy with very large energy reserves. In this Final Project research, a 2D modeling simulation based on CFD (Computational Fluid Dynamics) was carried out on the Darrieus hydrokinetic turbine as an ocean wave energy converter device. Simulations were carried out to analyze the effect of the blade profile on the Torque Coefficient (Ct) and Power Coefficient (Cp) values. In this study, wave data from one of the South Java Waters was used. The highest Coefficient of Torque (Ct) and Coefficient of Power (Cp) values were obtained for the NACA 0021 symmetrical blade profile with a variation of TSR = 0.25 and $\omega = 0.5$, namely Ct = 0.335 and Cp = 0.167 while for the asymmetrical blade profile NACA 63-415 with a variation of TSR = 0.25 and $\omega = 5$ for Ct = 0.263 and Cp = 0.132

Keyword : Computational Fluid Dynamics (CFD), Darrieus Hydrokinetic Turbine, New Renewable Energy, WEC

Nomenclature

λ	: Tip speed ratio
n	: Putaran turbin (RPM)
v	: Kecepatan gelombang (m/s)
Ct	: Coefficient of torque
Cp	: Coefficient of power
ρ	: Massa jenis air (kg/m ³)
D	: Diameter turbin (m)
H	: Tinggi turbin (m)
Nb	: Jumlah blade turbin
KC	: Keulegan Carpenter Number
Cl	: Coefficient lift
Cd	: Coefficient drag
ω	: Kecepatan sudut turbin (rad/s)
σ	: Solidity turbin

1. PENDAHULUAN

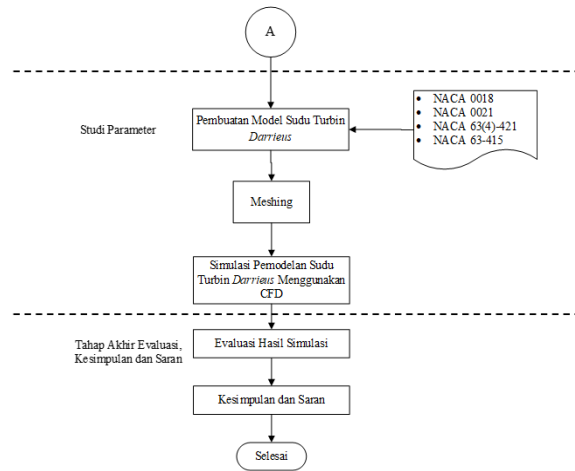
Perkembangan sumber daya EBT (Energi Baru Terbarukan) di negara Indonesia ternyata masih belum dimanfaatkan sepenuhnya terutama dari sektor kelautan. Saat ini, bauran EBT baru mencapai 11,2 persen, masih berada di bawah target bauran energi tahun 2025 sebesar 23 persen dan potensi EBT yang mencapai lebih dari 400 Gigawatt (GW) pun baru dimanfaatkan sebesar 10 GW atau 2,5 persen dari total cadangan[1].

Pada dasarnya potensi energi dari laut yang bisa dimanfaatkan menjadi energi hidrokinetik dibagi menjadi 3 yaitu bersumber dari energi arus laut, gelombang laut dan pasang surut atau energi tidal. Melihat dari beberapa potensi energi laut yang ada salah satu potensi yang bisa dimanfaatkan adalah energi gelombang laut. Hal ini disebabkan karena sumber energi gelombang ini bebas dari pencemaran lingkungan dan terus menerus seperti ombak yang tidak pernah berhenti. Apalagi energi gelombang cocok untuk negara Indonesia yang memiliki garis pantai yang luas dan gelombang tinggi yang mendekati pantai. Pemanfaatan energi hidrokinetik dari gelombang laut juga merupakan salah satu upaya diversifikasi energi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang tentu akan habis di masa akan datang

Konversi energi hidrokinetik dapat dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan turbin dan tanpa menggunakan turbin[2]. Saat ini metode serta jenis turbin banyak beredar dan proses pengembangan dari alat itu pun sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi. Salah satu jenis turbin hidrokinetik yang dapat digunakan untuk mengkonversi energi gelombang laut yaitu jenis VAT (*Vertical Axis Turbine*). Salah satu kelebihan VAT (*Vertical Axis Turbine*) adalah

omnidirectional, yang artinya turbin jenis ini mampu menerima aliran fluida dari segala arah.

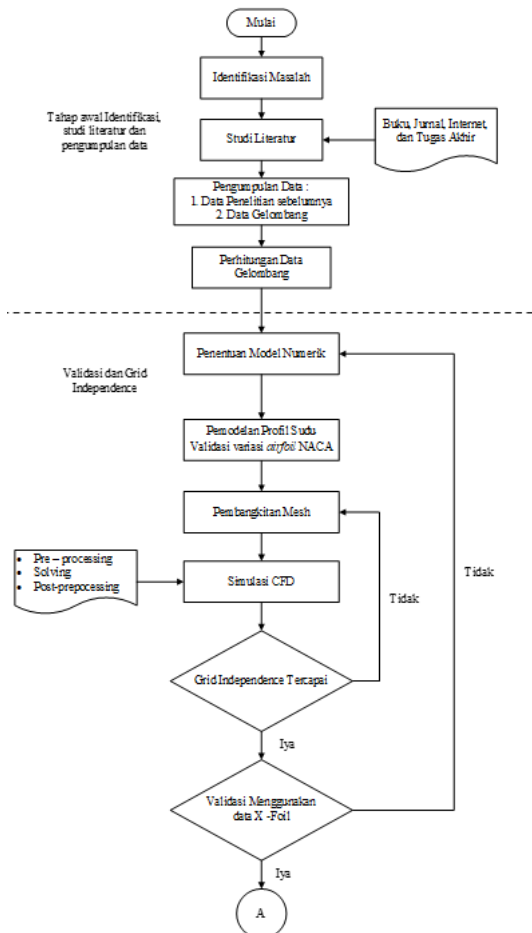
Berdasar pada uraian diatas, pada penelitian Tugas Akhir kali ini akan dilakukan desain model turbin hidrokinetik *Darrieus* dan simulasi pemodelan berbasis CFD (Computational Fluid Dynamic) sebagai perangkat konverter energi gelombang laut, dengan modifikasi pengaruh profil sudu simetris dan asimetris terhadap kinerja turbin hidrokinetik *Darrieus*. Pengujian simulasi dengan bantuan software berbasis CFD diharapkan dapat menganalisa dan mencari nilai efisiensi kinerja, *Coefficient of Torque* (Ct) dan *Coefficient of Power* (Cp) pada turbin hidrokinetik *Darrieus* dalam menyerap energi gelombang laut



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

2. METODOLOGI.

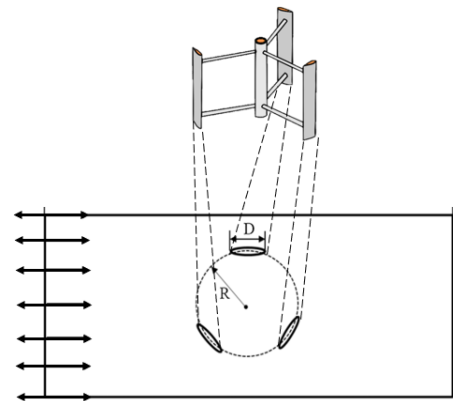
Tahapan pelaksanaan penelitian pada tugas akhir ini dapat disusun menjadi diagram alir agar mudah dipahami dan diikuti prosesnya. berikut adalah diagram alir penelitian:



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.1 Konsep Simulasi Numerik

Pada penelitian ini dilakukan simulasi numerik menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada turbin hidrokinetik *Darrieus* dengan mensimulasikan arah aliran gelombang air secara bolak - balik



Gambar 3 Konsep proyeksi turbin *Darrieus* secara 2D

Pada Gambar 3 menunjukkan proyeksi objek 3d turbin *Darrieus* tipe – H yang diproyeksikan pada simulasi domain dan boundary condition secara 2D tampak atas. Simulasi turbin *Darrieus* terdiri dari 3 blade dengan memvariasikan tipe profil sudu yaitu simetris (NACA 0018 dan NACA 0021) dan asimetris (NACA 63(4)-421 dan NACA 63-415)

2.2 Perhitungan Data Gelombang *Shallow Water dan turb*

Pada penelitian ini memakai data gelombang sekunder dari salah satu pantai perairan laut Jawa selatan yang diperoleh dari data penelitian[3]. Selanjutnya data gelombang tersebut diolah dengan formula untuk mencari karakteristik gelombang pada perairan shallow water. Berikut ini persamaan parameter data *Shallow Water* yang dipilih pada pantai Tanjung Bili Malang yang digunakan untuk setting

simulasi numerik CFD turbin hidrokinetik Darrieus[4].

$$d = 4 \text{ m}$$

$$H_{\text{shallow}} = 0,976 \text{ m} = 1 \text{ m}$$

$$U_m = \sqrt{\frac{g}{d}} \times \frac{H}{2}$$

$$Re = \frac{U_m \times D}{\nu_k}$$

$$\mu = \frac{1}{Re}$$

$$KC = \frac{U_m \times T}{D_{\text{turbin}}}$$

2.3 Persamaan Coefficient Power dan Coefficient Torque

Berikut ini adalah persamaan untuk mencari nilai dari Cp dan Ct turbin hidrokinetik Darrieus [5].

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho \cdot A_s \cdot v^2} \quad (1)$$

$$C_t = \frac{4T}{\rho v^2 D H} \quad (2)$$

2.4 Computational Fluid Dynamic

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan suatu simulasi komputer yang digunakan untuk mengetahui peta rejim aliran fluida. Persamaan Navier-Stokes untuk momentum, massa, dan perpindahan panas pada banyak titik dari bidang aliran tiga dimensi digunakan untuk melakukan perhitungan CFD[6]. Opsi untuk menetapkan kondisi batas, meshing domain aliran, dan pemilihan model turbulensi, dilakukan dengan suatu kode tertentu Jumlah mesh dalam model numerik dan ruang penyimpanan komputer, akan memengaruhi koputasi dan waktu running, kecepatan pemrosesan, dan efisiensi kode CFD. Meshing yang lebih kecil atau halus akan meningkatkan akurasi dari simulasi CFD, tetapi daya atau kecepatan komputasi dari CFD akan berkurang pada komputer tertentu. Oleh karena itu, ketrampilan pemodelan, kode CFD, dan computer yang digunakan akan menentukan hasil simulasi. Pada dasarnya tahapan proses CFD adalah preprocessing, processing, postprocessing. Pada tahap preprocessing menggunakan software SALOME, pada tahap processing menggunakan software OpenFOAM, sedangkan untuk tahap postprocessing menggunakan software ParaView.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perhitungan Data Gelombang Shallow Water

Berikut ini hasil perhitungan data gelombang shallow water.

$$U_m = \sqrt{\frac{9,81}{4}} \times \frac{1}{2}$$

$$= 0,764072 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{0,764072 \times 0,5}{1,2 \times 10^{-6}} = 318363,3739$$

$$\mu = \frac{1}{318363,3739}$$

$$= 3,1411 \times 10^{-6}$$

Pada simulasi yang akan dilakukan ini menggunakan kondisi *prescribed rotation* yang dimana putaran turbin ditentukan dan kecepatan aliran gelombang yang mengalir bolak balik tetap. Berikut nilai-nilai yang dijadikan acuan untuk menghitung parameter gelombang yang digunakan pada simulasi.

$$D_{\text{turbin}} = 1 \text{ m}$$

$$KC = \frac{U_m \times T}{D_{\text{turbin}}}$$

$$= \frac{0,764 \times 10,229}{1}$$

$$= 7,81 \text{ m}$$

Jadi pada penelitian ini digunakan KC 7 dengan mempertimbangkan ukuran diameter turbin 1 m agar dapat digunakan pada kedalaman perairan shallow water 4 meter.

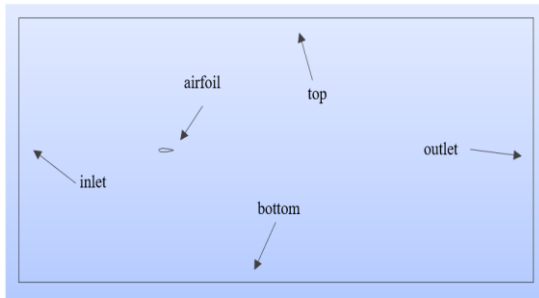
3.2 Validasi dan Grid Independence

Proses Validasi dan Grid Independence bertujuan untuk memperoleh hasil simulasi yang akurat dan mesh terbaik yang akan dijadikan sebagai acuan dalam simulasi CFD (Computational Fluid Dynamic) penelitian ini. Proses dilakukan dengan cara membandingkan hasil simulasi nilai *coefficient drag* dan *Coefficient lift* dengan data generate dari X-Foil. Tipe airfoil yang digunakan untuk proses simulasi validasi dan *grid independence* dipilih dari salah satu model variasi airfoil yang digunakan pada simulasi penelitian ini yaitu airfoil tipe simetris NACA 0021. Berikut ini data validasi generate X-Foil

Tabel 1 Data validasi generate X-Foil

XFOIL Version 6.99						
Calculated polar for: NACA 0021						
1 1 Reynolds number fixed			Mach number fixed			
xtrf = 1.000 (top) 1.000 (bottom)						
Mach = 0.000 Re = 0.318 e 6 Ncrit = 9.000						
alpha	CL	CD	CDp	CM	Top_Xtr	Bot_Xtr
0,000	0,0000	0,01095	0,004	0	0,619	0,619

Dari hasil generate diatas nilai yang digunakan sebagai data validasi adalah nilai Cd yaitu 0,01095 dengan input nilai Reynold number yang sudah dihitung sebelumnya pada pantai Tanjung Bili yaitu sebesar 318363,3739 dan sudut alpha 0 derajat. Pada nilai Cl di Tabel 1. bernilai 0 karena pada simulasi ini memakai sudut serang 0 derajat.



Gambar 4 Domain *gruping* pemodelan pada SALOME

Bentuk geometry airfoil yang digunakan untuk proses validasi dikerjakan menggunakan software *SALOME* dengan dimensi titik koordinat mengacu pada data *generate* yang telah didapatkan pada software X-Foil. Pada ukuran domain yang digunakan dalam simulasi ini memiliki panjang 35 m dan lebar 15 m, sedangkan blade airfoil berada di tengah - tengah pada 10 m panjang domain dikur dari inlet ke titik berat bentuk blade airfoil. Domain pada simulasi ini telah di-*gruping* sesuai simulasi. Adapaun *gruping* yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 4 di atas.

Tabel 2 Data validasi *generate* X-Foil

Hasil	Number of Cells	Time	CD	Error (%)
X - Foil	-	-	0,01095	-
$\Delta x/L = 0,75$	69696	10 - 50	0,013387149	22,257
$\Delta x/L = 0,6$	103974	10 - 50	0,011492394	4,953
$\Delta x/L = 0,5$	147404	10 - 50	0,010595906	3,234
$\Delta x/L = 0,4$	222424	10 - 50	0,011174189	2,047

Kriteria dari ukuran meshing yang bagus memiliki nilai presentase error validasi dibawah 5% . Dari data tabel 4.8 dapat diketahui bahwa simulasi dengan menggunakan *meshing maximal cell size* 0.4 memiliki nilai *coefficient drag force* yang paling mendekati dengan data validasi dan memiliki nilai eror paling rendah dibandingkan dengan variasi meshing lainnya. Sehingga dalam penelitian ini akan dipilih ukuran meshing dengan *maximal cell size* 0.4 untuk proses pada simulasi parameter selanjutnya.

3.3 Pemodelan Geometri Turbin dan Domain

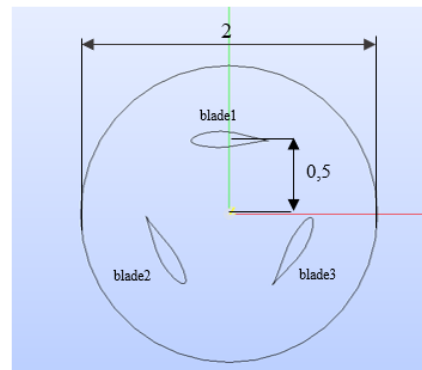
Dimensi turbin yang akan digunakan simulasi pada perairan gelombang shallow water memakai ukuran diameter rotor turbin sebesar 1 m, tinggi (h) 2 m, jumlah blade turbin 3, sudut serang 0° dan solidity 0,3. Sehingga dari data tersebut dapat dicari nilai chord length dari blade turbin menggunakan formula sebagai berikut.

$$C = \frac{\pi x d x \sigma}{Nb}$$

$$= \frac{\pi x 1 x 0,3}{3}$$

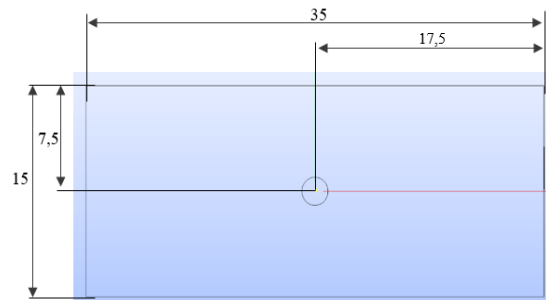
$$= 0,31 \text{ m}$$

Pada bagian inner terdapat geometri rotor turbin dan silinder yang dimana pada turbin telah di lakukan *gruping* sesuai nomor blade (blade_1, blade_2, blade_3) sedangkan pada silinder menjadi *inner_ami_surface*.



Gambar 5 Dimensi bagian *inner* turbin NACA 63(4) – 421

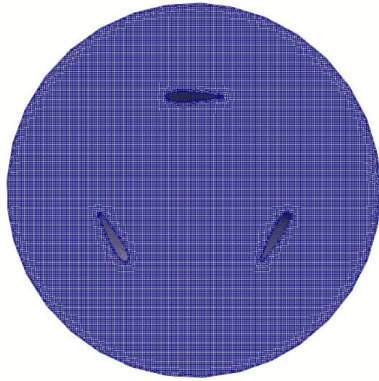
Pada bagian outer terdapat silinder dan boundary condition (kondisi batas) yang dimana dapat dilihat pada Gambar 4.2 sisi kiri domain diberi nama (inlet) yaitu arah masuk fluida. Daerah sisi kanan domain diberi nama (outlet) yaitu arah keluar fluida. Pada ada bagian atas diberi nama (top), bagian bawah diberi nama (bottom) dan pada silinder diberi nama menjadi *outer_ami_surface*



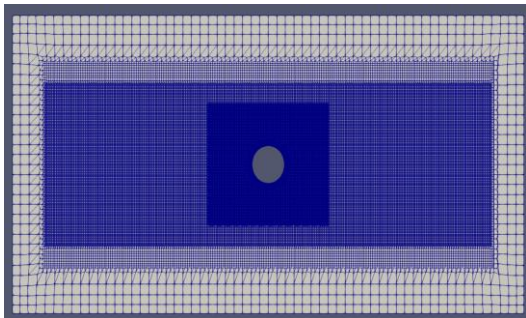
Gambar 6 Dimensi bagian *outer* turbin

3.4 Pembangunan Mesh

Pembangunan mesh yang digunakan pada studi parameter ini memiliki dua ukuran yaitu pada rotor turbin (*inner*) mempunyai ukuran mesh $\Delta s = 0,01$ dan pada domain turbin (*outer*) mempunyai ukuran mesh $\Delta s = 0,4$ dengan level ukuran mesh yang sama dengan validasi, sehingga terbentuk ukuran mesh $3,75 \times 10^{-2}$. Meshing dilakukan dengan menggunakan algoritma NETGEN 1D-2D dengan pada software SALOME. Berikut hasil mesh yang digunakan pada varisasi profil sudu turbin berikut.

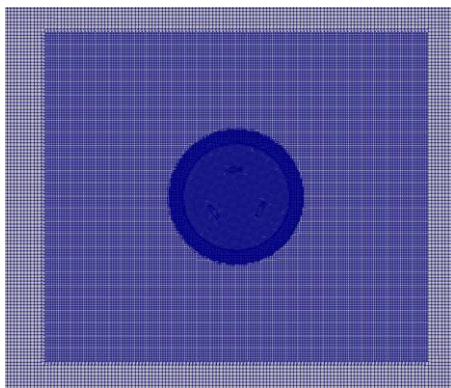


Gambar 7 Hasil Mesh di rotor turbin (inner) variasi NACA 63(4)-421



Gambar 8 Hasil Mesh di domain turbin (outer)

Pembangunan mesh dilakukan dengan metode *mergeMeshes*, yaitu dengan menggabungkan mesh boundary condition dengan mesh rotor turbin (inner). Pembatas antara inner dan outer terdapat bentuk silinder yang disebut AMI (Arbitrary Mesh Interface) surface. AMI surface berfungsi untuk untuk mengaktifkan simulasi di seluruh domain mesh yang terputus, berdekatan. Ini sangat berguna untuk memutar geometri. Kasus-kasus tersebut membutuhkan mata jaring terpisah untuk memutar dan/atau daerah statis geometri, yang digabungkan pada batas patch melalui *cyclicAMI* kondisi batas. Berikut gambar hasil *mergeMeshes* pada Paraview



Gambar 9 Hasil *mergeMeshes* mesh pada turbin variasi profil sudu NACA 63(4)-412

3.5 Hasil Simulasi Prescribed Rotation

Tip speed Ratio yang digunakan pada turbin sebesar 0,25 sehingga didapatkan nilai dari kecepatan sudut putaran turbin sebagai berikut

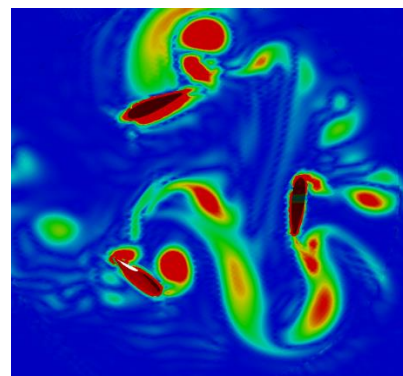
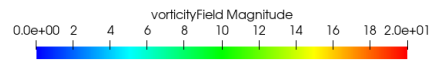
$$R \text{ turbin} = 0,5 \text{ m}$$

$$U_{\text{ref}} = 1$$

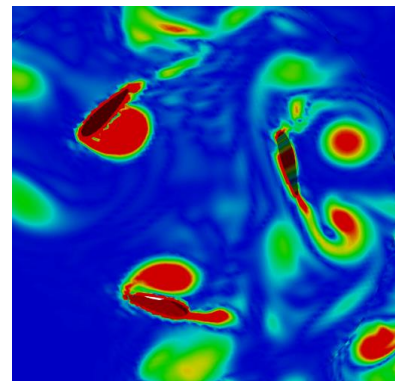
$$U_{\text{tsr}} = \text{tsr} \times U_{\text{ref}} = 0,25 \times 1 = 0,25$$

$$\omega = \frac{U_{\text{tsr}}}{R} = \frac{0,25}{0,5} = 0,5 \text{ rad / s}$$

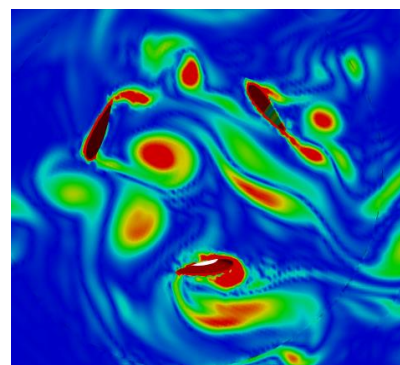
Pada kondisi prescribed rotation turbin diberikan gaya putaran yaitu kecepatan sudut (ω) pada tiap variasi profil sudu yang di simulasikan yang didapat dari nilai *Tip Speed Ratio*



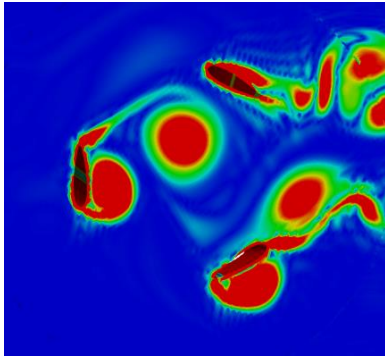
(a) t = 10 s



(b) t = 20 s



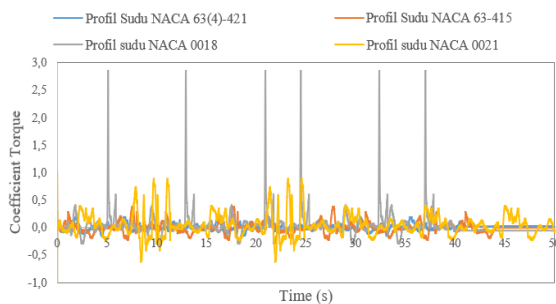
(c) t = 30 s



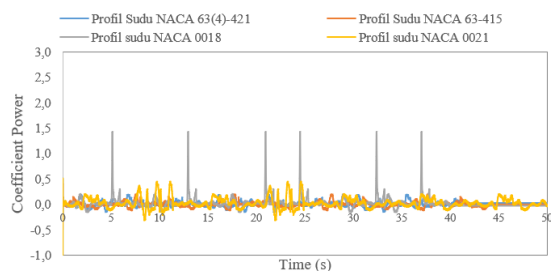
(d) $t = 40$ s

Gambar 4.10 Vorticity disekitar rotor turbin NACA 0021

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar diatas dapat di lihat fenomena terjadinya *Vortex* pada detik 10 - 40. Dapat diambil contoh dalam waktu 30 detik disitu terlihat dengan jelas *vortex* yang muncul pada area sekeliling tengah rotor turbin berputar berlawanan arah jarum jam. Aliran air yang bertabrakan menyebabkan arah aliran menjadi tidak seragam sehingga membuat vortex pada aliran. Vortex ini menyebabkan aliran berfluktuasi dan mereduksi energi sehingga kinerja putaran turbin tidak optimal yang akan mempengaruhi nilai Ct dan Cp turbin.



Gambar 4.11 Grafik *Coefficient Torque*



Gambar 4.12 Grafik *Coefficient Power*

Grafik nilai RMS Ct dan Cp hasil simulasi dari turbin hidrokinetik *Darrieus* dapat dilihat pada gambar 4.11 dan gambar 4.12 Pada grafik terlihat bahwa pada variasi profil sudu simetris cenderung memiliki nilai amplitudo atau puncak gelombang yang besar sehingga nilai *Coefficient Torque* dan *Coefficient Power* lebih besar daripada profil

sudu asimetris yang cenderung memiliki nilai amplitudo atau puncak gelombang yang rendah. Nilai RMS Ct dan Cp turbin dapat diambil pada iterasi grafik yang memiliki amplitudo stabil tidak naik turun. Kestabilan nilai Ct dan Cp dari grafik hasil simulasi yang dipengaruhi nilai *viscous* dan *pressure* yang terjadi pada saat simulasi aliran gelombang pada turbin.

4. KESIMPULAN

Tabel 3 Hasil nilai *Root Mean Square* Ct dan Cp

Variasi profil sudu	RMS	
	CT	CP
NACA 0018	0,312	0,156
NACA 0021	0,335	0,167
NACA 63415	0,263	0,132
NACA 63(4)-421	0,219	0,110

Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Nilai RMS Ct dan Cp terbesar pada profil sudu simetris terdapat pada profil sudu menggunakan tipe NACA 0021 dengan variasi TSR 0,25 menghasilkan kecepatan sudut 0,5 rad/s didapatkan nilai RMS Ct = 0,335 dan Cp = 0,167 dapat disimpulkan bahwa Ct dan Cp dari profil sudu simetris tipe NACA 0021 lebih baik daripada tipe NACA 0018 pada turbin hidrokinetik *Darrieus*.
2. Nilai RMS Ct dan Cp terbesar pada profil sudu asimetris terdapat pada profil sudu menggunakan tipe NACA 63415 dengan variasi TSR 0,25 menghasilkan kecepatan sudut 0,5 rad/s didapatkan nilai RMS Ct = 0,263 dan Cp = 0,132 dapat disimpulkan bahwa Ct dan Cp dari profil sudu asimetris tipe NACA 63-415 lebih baik daripada tipe NACA 63(4)-421 pada turbin hidrokinetik *Darrieus*.
3. Perbandingan profil sudu simetris dan asimetris pada kinerja turbin *Hydrokinetic Darrieus* dalam menghasilkan nilai koefisien torsi dan koefisien power yang besar lebih baik menggunakan bentuk profil sudu simetris (NACA 0018 dan NACA 0021) daripada profil sudu asimetris (NACA 63-415 dan NACA 63(4)-421)

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyusunan jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan

- penelitian ini dengan aman, selamat, lancar, dan barokah.
2. Orang tua yang telah membesarkan penulis, membiayai sekolah penulis, selalu memberikan banyak nasehat, semangat, doa, kasih sayang, dan meteri yang tidak dapat penulis ucapkan satu persatu.
 3. Bapak Burniadi Moballa, S.T., M. Sc., Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan banyak ilmu baru yang penulis peroleh dari penyelesaian Tugas Akhir.
 4. Bapak George Endri Kusuma, ST., M.Sc.Eng. sebagai Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan banyak ilmu baru yang penulis peroleh dari penyelesaian Tugas Akhir.
 5. Teman – teman seperjuangan mahasiswa Teknik Permesinan Kapal Angkatan 2019 terutama untuk tim *turbin* yang menjadi keluarga dan saling mendukung selama kuliah dan pengerjaan Tugas Akhir.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Humas EBTKE. (2021, August 10). *KementerianESDM Dorong Pengembangan EBT Skala Besar untuk Turunkan Emisi GRK*.<https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/08/12/2931/kementerian.esdm.dorong.pengembangan.ebt.skala.besar.untuk.turunkan.emisi.grk>
- [2] Khan, M. J., Bhuyan, G., Iqbal, M. T., & Quaicoe, J. E. (2009). Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review. *Applied Energy*, 86(10), 1823–1835. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.02.017>
- [3] Andhika, D. R. (2021). *STUDI POTENSI ENERGI GELOMBANG LAUT DI PANTAI SELATAN JAWA TIMUR*. INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER.
- [4] Triadmodjo, B. (1999). *Triadmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Beta Offset. Yogyakarta.*
- [5] Eric Hau. (2005). *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics. Spectrum.*
- [6] H. K. Versteeg and W. Malalasekera, *Anintroduction to computational fluid dynamics: the finite volume method*, 2nd ed. Harlow, England ; New York: Pearson Education Ltd, 2007.