



Analisa CFD Penggunaan *Duct* pada Turbin Kombinasi Darrieus-Savonius

Erifive Pranatal¹, Maria Margareta Z.B²

Jurusan Teknik Perkapalan, FTMK - Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya^{1,2}

INFORMASI ARTIKEL

Jurnal IPTEK – Volume 22
Nomer 1, Mei 2018

ISSN:1411-7010
e-ISSN:2477-507X

Halaman:
63 – 70

DOI:
<https://dx.doi.org/10.31284/j.ipitek.2018.v22i1.239>

EMAIL

erifive@itats.ac.id

RIWAYAT ARTIKEL

Tanggal diterima :
18 April 2018

Tanggal diterbit :
31 Mei 2018

PENERBIT

LPPM- Institut Teknologi
Adhi Tama Surabaya

Jurnal IPTEK by LPPM-
ITATS is licensed under a
Creative Commons
Attribution-NonCommercial-
ShareAlike 4.0 International
License.

ABSTRACT

Renewable energy technology has been developed to reduce use of fossil energy. It has two advantages namely environmentally friendly and renewable. For example the use of marine current as a source of electricity by using a turbine. Several studies have been done to improve performance of turbine, for example the use of a duct. The duct aims to reduce torque ripple so that power does not have high fluctuations that result in excessive vibration in the turbine. Therefore the subject of this study is how the effect duct on Darrieus-Savonius combination turbine to reduce torque ripple factor (TRF) with the analysis of CFD. The simulation was performed on duct type 1, 2 and without duct with result of TRF is 3,939; 3,489 and 4,930. The conclusion that the use of duct on turbine can decrease torque ripple, where type 2 produces a smaller TRF namely, 3.489.

Keywords: CFD, Duct, Renewable Energy, Turbine.

ABSTRAK

Teknologi penggunaan energi terbarukan telah banyak dikembangkan untuk mengurangi penggunaan energi fosil. Keuntungan dari energi terbarukan ini adalah ramah lingkungan dan selalu tersedia. Contohnya penggunaan arus laut sebagai sumber tenaga listrik dengan menggunakan turbin. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan performa turbin, misalnya penggunaan *duct*. *Duct* digunakan untuk mengurangi riak torsi, sehingga daya yang dihasilkan tidak memiliki fluktuasi tinggi yang mengakibatkan getaran berlebih pada turbin. Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah bagaimana efek penggunaan *duct* pada turbin kombinasi Darrieus-Savonius untuk mengurangi faktor riak torsi (TRF) dengan analisa CFD. Simulasi dilakukan pada *duct* tipe 1, 2 dan tanpa *duct* dengan hasil masing-masing nilai TRF-nya 3,939; 3,489 dan 4,930. Kesimpulan bahwa penggunaan *duct* pada turbin dapat menurunkan riak torsi, dimana *duct* tipe 2 menghasilkan TRF yang lebih kecil yakni 3,489.

Kata Kunci: CFD, Duct, Energi Terbarukan, Turbin.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi terbarukan untuk pembangkit tenaga listrik semakin banyak digunakan untuk mengurangi penggunaan energi fosil. Karena penggunaan energi fosil seperti bahan bakar minyak dan batubara dapat mencemarkan lingkungan dan juga menimbulkan efek rumah kaca yang mengakibatkan pemanasan global. Selain itu energi fosil juga diperkirakan akan habis. Sedangkan energi terbarukan seperti energi dari angin, cahaya matahari, arus laut, gelombang laut dan panas bumi adalah energi yang selalu tersedia dan tidak pernah habis. Pemerintah Indonesia juga semakin giat mengembangkan energi terbarukan ini. Misalnya pembangunan pembangkit listrik tenaga bayu

(PLTB) pertama di Indonesia yang terletak di Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan, dengan 30 kincir angin yang masing-masing menggerakkan turbin berkapasitas 2,5 megawatt, atau 75 MW untuk 30 turbin. Pembangunan tersebut telah dimulai sejak April 2016 dengan investasi senilai USD150 juta. Pembangunan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terbesar di Indonesia yang terletak di Kupang dengan total investasi US\$ 11,2 juta. Pembangkit tenaga listrik ini mampu menghasilkan 5 MWp daya listrik dan mampu menyalurkan daya listrik 27% dari kapasitas normal walaupun dalam musim hujan. Pembangunan ini telah selesai dilakukan pada Juni 2016.

Energi terbarukan lainnya yang juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik adalah arus laut. Arus laut merupakan energi yang selalu tersedia dan tidak akan pernah habis. Potensi energi terbarukan dari arus laut dan gelombang air laut memiliki potensi sebesar 61 GW sedangkan yang telah terpasang 0,01 MW [1]. Data ini menunjukkan bahwa penggunaan energi terbarukan dari arus dan gelombang laut sangat rendah dibandingkan dengan energi terbarukan lainnya. Untuk mengubah arus laut tersebut menjadi energi listrik maka harus menggunakan turbin, dimana turbin mengubah energi kinetik dari arus laut menjadi energi listrik dengan bantuan generator. Modifikasi turbin banyak dilakukan untuk mendapatkan turbin yang memiliki performa yang baik. Salah satunya adalah dengan mengkombinasikan dua model turbin vertikal Darrieus dan Savonius [2]. Hasil dari penelitian ini diperoleh turbin kombinasi yang memiliki koefisien daya yang lebih tinggi dibanding dengan turbin Savonius sehingga cocok digunakan untuk arus laut kecepatan rendah. M.H. Mohamed [3] meneliti optimasi penggunaan 25 bentuk *airfoil* dan efek besar sudut *rotor* antara sudut -10° dan 10° pada turbin Darrieus untuk digunakan pada turbin angin kecepatan rendah. Penelitian ini akan mempelajari pengaruh penambahan *duct* pada turbin kombinasi Darrieus-Savonius. Penambahan *duct* tersebut akan membuat aliran air menjadi lebih terarah ke turbin tersebut, sehingga mengurangi fluktuasi daya yang mengakibatkan getaran berlebih pada turbin. Indikator ini dapat dilihat dari nilai faktor riak torsi yang dihasilkan turbin. Nilai faktor riak turbin yang kecil akan mengurangi fluktuasi daya dan getaran pada turbin. Untuk mengetahui hal tersebut dilakukan analisa CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dengan bantuan *software*. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan TRF pada *duct* tipe 1, tipe 2 dan tanpa *duct*, dimana nilai terkecil dari TRF menjadi indikator desain *duct* yang optimum.

TINJAUAN PUSTAKA

Turbine Sumbu Vertikal

Turbin sumbu vertikal adalah turbin yang sumbu putarnya terhadap arah vertikal. Turbin darrieus dan turbin savonius termasuk turbin sumbu vertikal. Turbin Darrieus memiliki koefisien daya yang tinggi dibandingkan dengan turbin sumbu vertikal lainnya. Sedangkan turbin Savonius turbin yang cocok digunakan untuk arus kecepatan rendah. Performa turbin dapat dinilai dengan menghitung berapa energi kinetik dari arus air/luar yang dikonversikan menjadi aliran listrik. Performa dari turbin dapat diukur dengan dua parameter berikut ini: koefisien daya (C_p) dan koefisien torsi (C_m) dari turbin.

$$C_m = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho A_s D U^2} \quad \dots (1) \quad C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho A_s U^3} \quad \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

- | | |
|---------------------------------|------------------------|
| C_m –koefisien torsi | D–diameter turbin (m) |
| T – torsi (Nm) | U–kecepatan arus (m/s) |
| A – luas <i>swept</i> (m^2) | P- daya (Watt) |

Nilai torsi (T) dan daya (P) atau pembilang pada persamaan di atas adalah besaran yang diperoleh oleh turbin tersebut saat dioperasikan sedangkan penyebut-nya adalah total torsi atau daya yang dapat dikonversi oleh turbin.

Perhitungan C_m dan C_p dilakukan pada range *tip speed ratio* (λ) turbin. Tip speed ratio adalah perbandingan kecepatan sudut di ujung *rotor* dengan kecepatan arus sehingga λ dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega D}{2U} \quad \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:
 λ – tip speed ratio
 ω – kecepatan sudut (rad/s)
 D – diameter turbin (m)

Torque Ripple (riak torsi)

Daya sesaat yang dihasilkan oleh turbin sama dengan perkalian torsi sesaat dengan kecepatan sudut. Nilai ini tidak konstan karena torsi yang dihasilkan juga tidak konstan. Oleh karena itu salah satu kuantitas yang digunakan untuk menggambarkan performa turbin adalah riak torsi. Riak torsi adalah nilai dari torsi yang selalu berubah persatuan waktu. Nilai dari riak torsi (*torque ripple factor*) dapat didefinisikan sebagai perbedaan antara torsi puncak T_{max} dan torsi minimum T_{min} dengan torsi rata-rata T_{avg} , dapat dilihat pada rumus berikut ini [4]:

$$TRF = \frac{T_{max}-T_{min}}{\tau} \dots\dots\dots (4)$$

Apabila torsi yang dihasilkan stabil/*steady* maka nilai dari TRF adalah satu. Efek dari perbedaan torsi riak yang tinggi menyebabkan getaran pada turbin saat beroperasi. Hal ini akan menyebabkan kelelahan pada komponen turbin. Pengurangan riak torsi dapat meningkatkan koefisien daya. Oleh karena itu penggunaan *duct* pada turbin diasumsikan akan mengurangi riak torsi.

Model Computational Fluids Dynamics (CFD)

Studi eksperimen telah mengungkapkan bahwa aliran yang melalui turbin sangat kompleks. Oleh karena itu pemilihan model matematika harus tepat untuk memprediksi performa turbin. Hal ini akan didiskusikan pada bagian ini.

Persamaan dasar yang mengatur aliran turbulen incompressible adalah persamaan kontinuitas dan momentum berikut ini:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\overline{u'_i u'_j}) + \chi \dots\dots\dots (6)$$

Persamaan di atas dikenal sebagai persamaan momentum Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS). $-\overline{u'_i u'_j}$ adalah istilah tegangan Reynolds/Reynolds *stress* yang harus dimodelkan dengan menggunakan model turbulensi yang sesuai untuk memecahkan "*closure problem*". Hal ini diketahui bahwa kinerja model turbulen k- ω lebih baik dari pada model k- ϵ didekat dinding/*wall*. Bagaimanapun, ada satu masalah dengan model k- ω , model ini sangat sensitif untuk nilai ω pada batasan irrotasional dari aliran geser/shear flows. Hal ini mendorong Menter (peneliti) untuk merumuskan sebuah model hdybrid yang menggabungkan kelebihan dari model k- ω dekat wall dan k- ϵ jauh dari wall. Model ini disebut dengan model SST (*Shear Stress Transport*), dengan kinerja yang baik pada *boundary layer* dan juga efektif dalam memprediksi pemisah (*separation*) oleh karena itu model ini dipilih sebagai model turbulen yang sesuai. Dalam penelitian ini k- ω SST digunakan. Persamaan model ini dapat dilihat di bawah ini:

$$\frac{\partial(u_i)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\Gamma_k}{\rho} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P + Y_k \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{\partial(\omega u_i)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\Gamma_k}{\rho} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_k + D_\omega \dots\dots\dots (8)$$

Persamaan ini diselesaikan menggunakan CFD solver komersial, dimana persamaan Navier-Stokes menggunakan teknik *finite volume*. Detail dari model numerik dan strategi solver yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut:

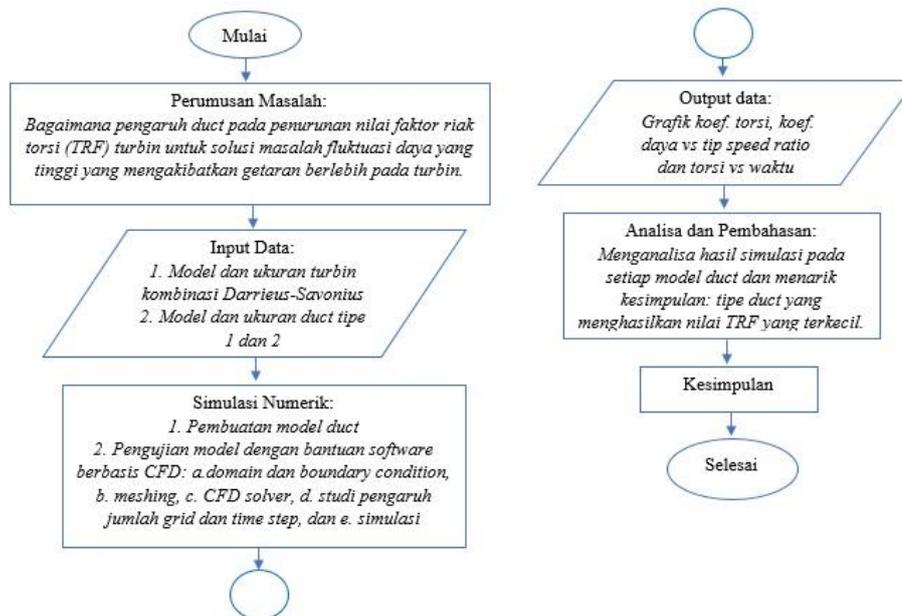
Tabel 1. Model numerik dan *detail solver*

No	Tipe Solusi	<i>Sliding Mesh</i>
1	<i>Transient</i>	<i>2nd order implicit</i>

2	<i>Turbulence</i>	<i>k-ω based SST</i>
3	<i>Pressure</i>	<i>2nd order</i>
4	<i>Momentum</i>	<i>2nd order</i>
5	ω	<i>2nd order</i>
6	<i>k</i>	<i>2nd order</i>
7	<i>P-V Coupling</i>	<i>Pressure based non segregated</i>

METODE

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

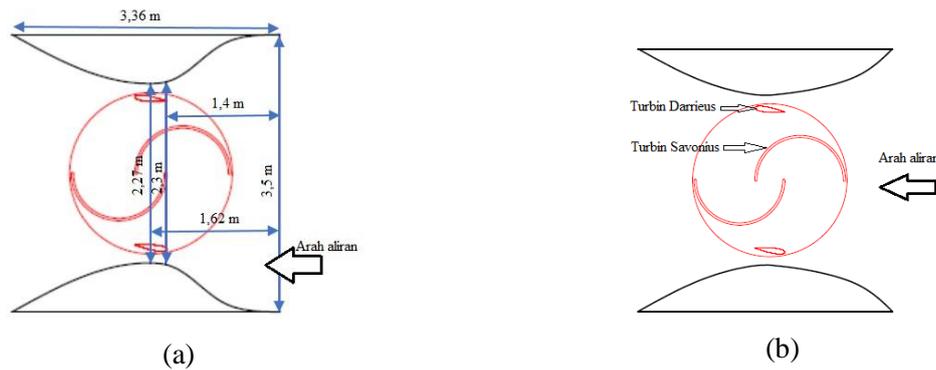
Desain – Dimensi Turbin dan Duct

Simulasi CFD dilakukan pada kondisi turbin tanpa menggunakan *duct* dan dengan menggunakan *duct*. Penelitian ini menggunakan model dua dimensi (2D) dengan skala penuh. Ukuran dari turbin dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. Ukuran dan model turbin kombinasi Darrieus-Savonius

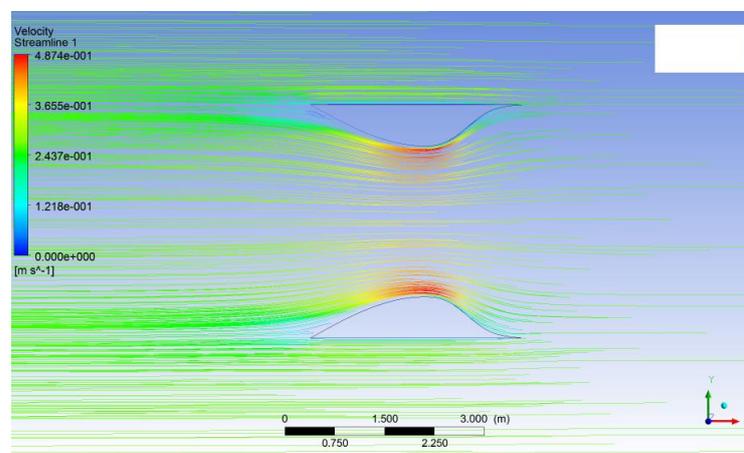
No	Item	Nilai
1	<i>Rotor Diameter (D) [m]</i>	2
2	<i>Rotor height (H) [m]</i>	1
3	<i>Type blade section</i>	NACA 0018
4	<i>Blade chord (c) [m]</i>	0,4
5	<i>Number of blade</i>	2
6	<i>Pitch angle of blade</i>	-8°
7	<i>Puddle Savonius Diameter [m]</i>	0,4
8	<i>Number of puddle</i>	2

Pemilihan ukuran dari *duct* dilakukan dengan mempertimbangkan geometri dari turbin. Ada dua tipe saluran dalam *duct* yang akan disimulasikan dalam penelitian ini. Model turbin dan *duct* dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2.(a) Sketsa *duct* dengan ukurannya – tipe 1, (b) Sketsa *duct* – tipe 2

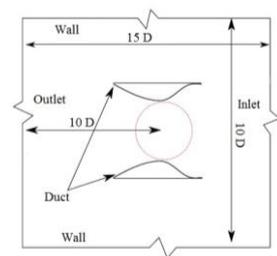
Untuk mempertimbangkan posisi turbin pada saluran *duct* maka dilakukan analisa kecepatan *streamline* pada *duct* tanpa turbin. Posisi turbin akan ditempatkan pada aliran dengan kecepatan lebih besar dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3. Kecepatan *streamline* di dalam saluran *duct* tanpa turbin.

Computational Domain dan Boundary condition

Performa turbin akan diukur dengan menggunakan parameter C_p dan C_m pada tiap-tiap TSP dan juga faktor riak torsi. Dimana kecepatan arus laut konstan yaitu 0,269 m/s yang merupakan kecepatan rata-rata arus laut yang diukur pada bagian barat pulau Giliyang, Madura. Sebagai dasar pertimbangan bahwa pulau tersebut belum terlayani oleh perusahaan listrik negara. Simulasi CFD dalam penelitian ini menggunakan model dua dimensi (2D) dengan skala penuh. Untuk mewaliki kondisi laut terbuka maka ukuran domain yang dipertimbangkan harus berukuran besar, dimana panjang domain 15 D dan lebar 10 D, D adalah diameter turbin. Ukuran domain dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 4. Ukuran dari *Computational domain* simulasi CFD dari turbin

Adapun definisi dari *boundary condition* yang digunakan dalam simulasi ini ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 3. *Boundary condition*

No	Boundary condition	Definisi
1	Inlet	Kecepatan aliran yang masuk ke dalam domain
2	Outlet	Static pressure = 0 Pa
3	Walls	Symmetry
4	Turbin	No slip condition Walls motion: Moving wall Motion: Rotational

Meshing

Grid atau *mesh* menunjukkan sel atau elemen pada aliran yang dipecahkan. *Grid* adalah representasi diskrit dari masalah geometri. *Grid* memiliki sel yang dikelompokkan ke dalam zona batas yang akan diaplikasikan misalnya rotating domain/zona atau fixed domain/zona. *Grid* memiliki dampak yang sangat signifikan pada tingkat konvergensi, akurasi solusi atau hasil perhitungan simulasi dan juga biaya waktu CPU yang dibutuhkan (*CPU time required*).

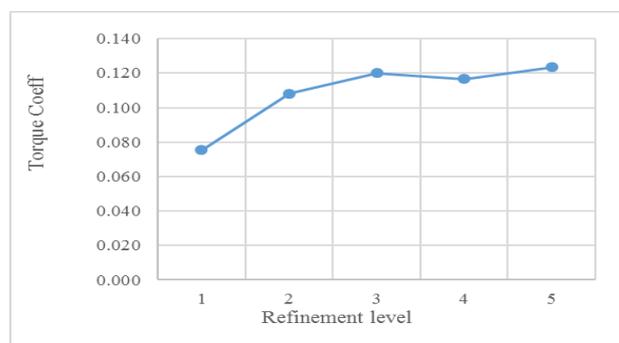
Tipe *grid* yang dipilih adalah *meshing triangles* dengan pertimbangan tipe ini cocok untuk fluida cair. *Grid* disekitar turbin harus diperhatikan, dimana jenis *grid* yang dipilih adalah *inflation layer*. Hal ini dilakukan untuk menangkap fenomena fisik pada lapisan batas antara fluida dan benda (turbin). Parameter yang digunakan untuk mengukur fenomena ini adalah *Y-plus*. Nilai ini berpengaruh pada akurasi hasil perhitungan. Untuk analisa CFD turbin nilai *y-plus* tidak kurang dari 5. Pada simulasi ini tinggi *first layer* adalah 9×10^{-5} dengan *y-plus* sebesar 4,39. Selain itu kualitas *grid* harus diperhatikan. Variabel yang digunakan adalah *aspect ratio* dan *skewness*. Masing-masing nilai tidak boleh kurang dari 10 dan 0,98. Pada penelitian ini *aspect ratio* dan *skewness* yang diperoleh adalah 9,03 dan 0,775.

Model CFD dan Detail Solver

Tingkat konvergensi diartikan bahwa perhitungan komputasi telah selesai dilakukan. Tingkat konvergensi dipengaruhi oleh kualitas *meshing*, ukuran *time step*, dan jumlah iterasi. Nilai konvergensi pada penelitian ini 10^{-4} . Model turbulen *k- ω based SST* dipilih untuk menyelesaikan simulasi ini karena mampu menangkap *boundary layer* disekitar turbin.

Studi pengaruh jumlah grid dan time step

Studi *grid* yang dimaksud adalah pengaruh jumlah *grid* model pada hasil simulasi yakni koefisien torsi. Peningkatan jumlah *grid* tidak lagi mempengaruhi nilai koefisien torsi (C_m). Dimana perubahan C_b tidak lebih dari 3%. Gambar di bawah ini memperlihatkan hasil dari studi *grid independence*. Jumlah *grid* pada level *refinement* 3 apabila ditingkatkan tidak lagi menimbulkan peningkatan nilai C_b secara signifikan, dimana perubahannya hanya 2,862%. Jumlah *grid* pada level 3 adalah 53.6916.

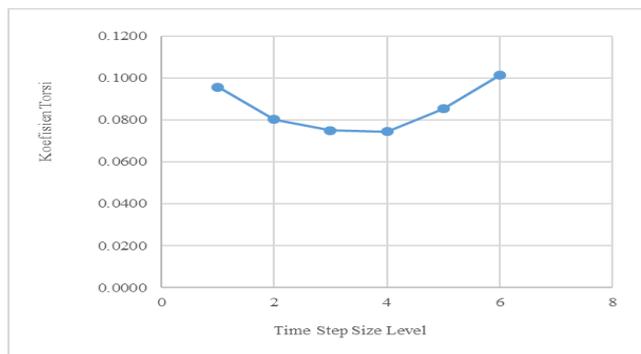


Gambar 5. Studi *grid independence*

Demikian juga dilakukan terhadap *time step* pada saat simulasi *transient*. Dimana perubahan *time step* tidak lagi mempengaruhi nilai koefisien torsi sebesar 5%. Untuk mengestimasi besaran *time step* digunakan *courant number*. Nilai ini berkisar antara 2 – 10. Apabila nilainya lebih kecil maka ukuran dari *time step* akan semakin kecil.

$$CN = \frac{\text{Kecepatan Fluida} \times \text{Time Step}}{\text{Ukuran mesh terkecil}} \dots\dots\dots (9)$$

Gambar 6 menunjukkan bahwa pada level tiga dimana ukuran time step 0,07 detik apabila dirubah menjadi 0,06 perubahan koefisien torsi hanya sebesar 0,652.



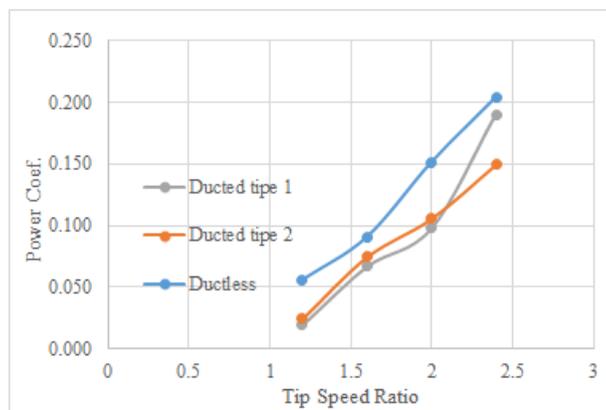
Gambar 6. Studi *time step independence*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Koefisien torsi dan koefisien daya yang dihasilkan oleh turbin *duct* tipe 1, 2 dan tanpa *duct* dapat dilihat pada gambar 7 dan 8 di bawah ini:

s

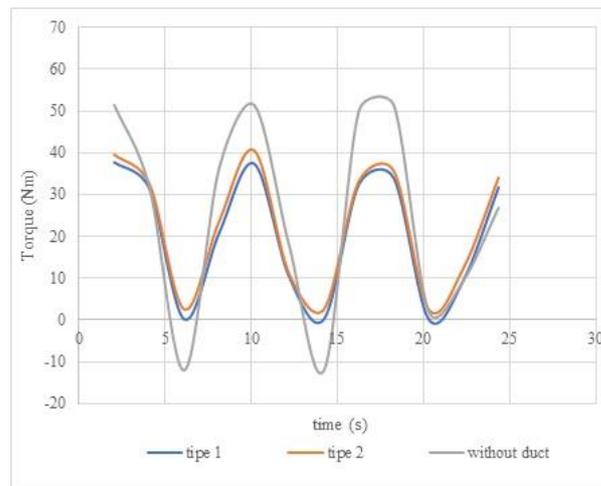
Gambar 7. Koefisien torsi turbin *versus tip speed ratio*



Gambar 8. Koefisien daya turbin *versus tipe speed ratio*.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, menunjukkan bahwa turbin tanpa *duct* menghasilkan koefisien torsi dan koefisien daya yang lebih tinggi dibanding yang lain. Hasil ini untuk *tip speed ratio* sampai 2,4. Tetapi tren dari kurva turbin dengan *duct* tipe 1 menunjukkan kenaikan yang signifikan dibandingkan dengan kurva dari turbin tanpa *duct*. Apabila TSR diperbesar nilainya, maka koefisien torsi dan koefisien daya dari turbin dengan *duct* tipe 1 akan melebihi dari turbin tanpa *duct*. Hal ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan *duct* pada turbin akan lebih efektif atau menghasilkan koefisien torsi dan daya yang lebih baik bila nilai *tip speed ratio* lebih dari 2,5. Ini berarti penggunaan *duct* tipe 1 akan efisien pada kecepatan sudut turbin yang besar.

Riak torsi merupakan parameter yang menentukan apakah turbin menunjukkan performa yang baik seperti yang telah dibahas pada pembahasan sebelumnya. Gambar 9 menunjukkan riak torsi yang dihasilkan oleh turbin turbin *duct* tipe 1, 2 dan tanpa *duct*.



Gambar 9. Riak torsi yang dihasilkan oleh masing-masing turbin versus waktu pada TSP 1,6 dan U 0,269 m/s

Sendangkan untuk nilai dari faktor riak torsi (TRF) seperti pada rumus (4) masing-masing turbin dengan *duct* tipe 1, tipe 2 dan tanpa *duct* adalah sebagai berikut: 3,939; 3,489 dan 4,930. Turbin dengan *duct* tipe 2 menghasilkan TRF yang lebih rendah. Artinya fluktuasi torsi lebih rendah dibandingkan tipe 1. Sehingga dapat disimpulkan penambahan *duct* pada turbin dapat meningkatkan kinerja turbin yaitu menurunkan nilai dari riak torsi sehingga torsi dan daya yang dihasilkan lebih stabil.

KESIMPULAN

Penggunaan *duct* pada turbin kombinasi Darrieus-Savonius dapat meningkatkan performa turbin tersebut, dengan TRF 3,489 untuk *duct* tipe 2. Sedangkan untuk turbin tanpa *duct* TRF-nya 4,930. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan *duct* pada turbin efektif untuk meningkatkan performa turbin.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kajur Teknik Perkapalan ITATS, Rektor ITATS dan juga Ketua Yayasan Pendidikan Teknik Surabaya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Litbang ESDM, "Buku Tahunan Penelitian Dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral 2014". [Online], Available: <http://webpac.lib.itb.ac.id/index.php/bibliografi/detail/117977>
- [2] Erifive Pranatal, Zuhdi Aguk MF. "Numerical Study Darrieus-Savonius as a Low Speed Marine Current Energy Converter". *The 2nd ISST 2016*, ITS-Surabaya, 2 Agustus 2016.
- [3] M H Mohamed, A M Ali, A A Hafis. "CFD analysis for H-rotor Darrieus turbine as a low speed wind energy converter", *Engineering Science and technology, an international journal.*, vol 18 issue 1, p. 1-13, March 2015.
- [4] A R Malipeddi, D Chatterjee. "Influence of *Duct* Geometry on The Performance of Darrieus Hydroturbine". *Journal of Renewable Energi.* no 43, p. 292-300, July. 2012.