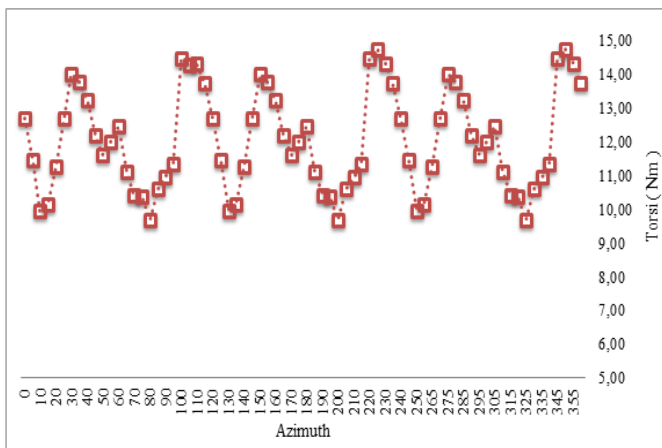
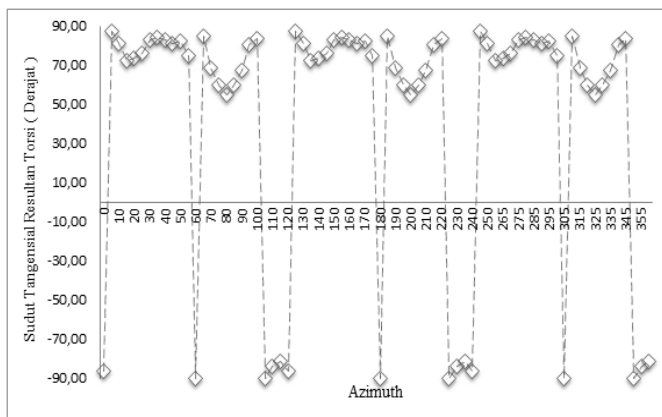


Nilai torsi yang tertinggi pada sumbu x terdapat pada azimuth 80, 200 dan 325 dengan besarnya torsi sebesar 5.57 Nm, sedangkan nilai torsi yang terendah terdapat ketika turbin berada di azimuth 115, 235 dan 360 dengan besarnya torsi sebesar -2.22 Nm. Pada dasarnya, pola perubahan nilai torsi yang dihasilkan oleh turbin pada sumbu y juga berulang secara periodik mulai dari azimuth 0 sampai 360, setiap satu periodik terdapat sudut azimuth yang menghasilkan nilai torsi yang tertinggi dan terendah. Nilai torsi yang tertinggi terjadi ketika turbin diputar atau berada pada posisi azimuth 100, 225 dan 350 dengan besarnya torsi yang dihasilkan oleh turbin 14.37 Nm, sedangkan nilai torsi yang terendah terjadi ketika turbin berada pada posisi azimuth 80, 200 dan 325 dengan nilai torsi yang dihasilkan turbin sebesar 7.92 Nm. Selanjutnya dicari nilai serta pola perubahan nilai torsi hasil resultan serta arah torsi yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 13 dibawah ini.

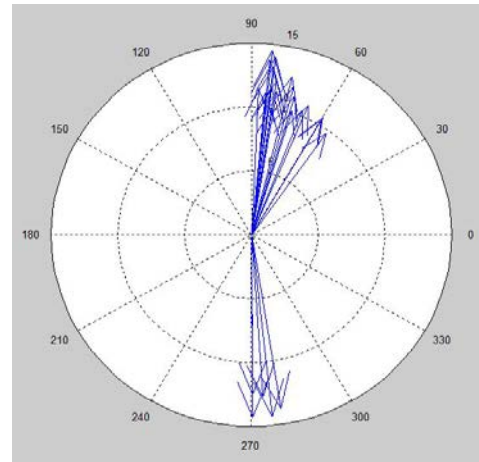


Gambar 13. Pola perubahan nilai torsi hasil resultan sumbu x dan y



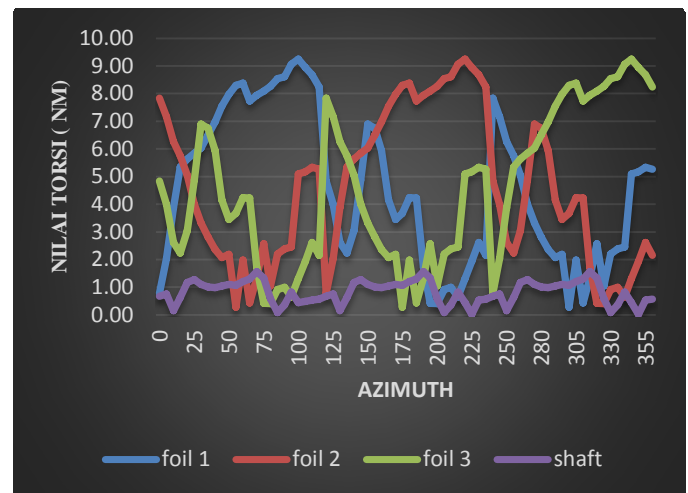
Gambar 14. Sudut tangensial antara torsi x dan y

Pada gambar 14 tersebut, terlihat bahwa nilai sudut tangensial atau θ hasil resultan τ_x dan τ_y yang tertinggi adalah 87.33° dengan nilai torsi sebesar 11.43 Nm, sedangkan nilai θ yang terendah -89.56° dengan nilai torsi sebesar 12.46 Nm. Berdasarkan hal tersebut, nilai θ hasil resultan torsi pada sumbu x dan y berkisar antara -89.56° sampai 87.33° . Arah dan besarnya resultan gaya yang dihasilkan oleh turbin dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Besar dan arah resultan torsi pada turbin

E. Pola perubahan nilai torsi masing-masing foil dan shaft



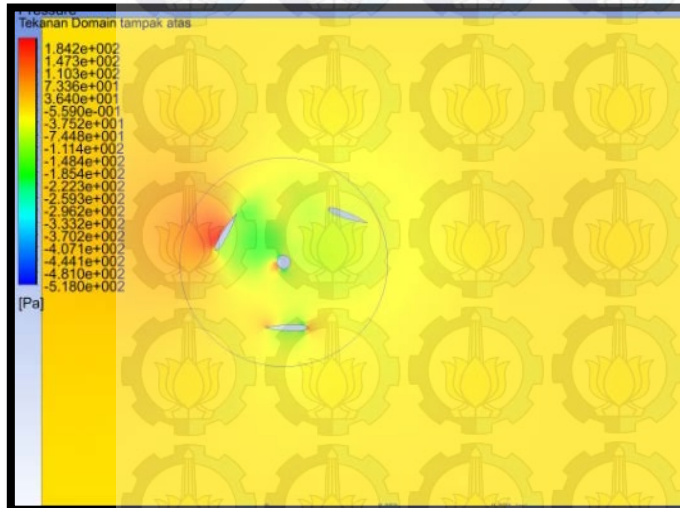
Gambar 16. Pola perubahan nilai torsi masing masing foil dan shaft

Berdasarkan pola perubahan nilai torsi yang dihasilkan oleh setiap foil pada gambar 16 diatas terlihat bahwa nilai torsi dengan pola yang bagus diperoleh ketika foil berada pada azimuth 0 sampai 115, hal ini dikarenakan pada azimuth tersebut foil terkena aliran fluida secara langsung dan tidak terkena gangguan dari foil yang lain, nilai torsi yang dihasilkan oleh foil 1 mulai dari azimuth 0 sampai 100 mengalami kenaikan mulai dari 1.69 Nm sampai 9.41 Nm, setelah itu nilai torsi yang dihasilkan oleh foil 1 mengalami penurunan sampai 4.38 Nm (azimuth 135), setelah itu nilai torsi mengalami kenaikan lagi sampai azimuth 150 dengan nilai torsi sebesar 6.89 Nm.

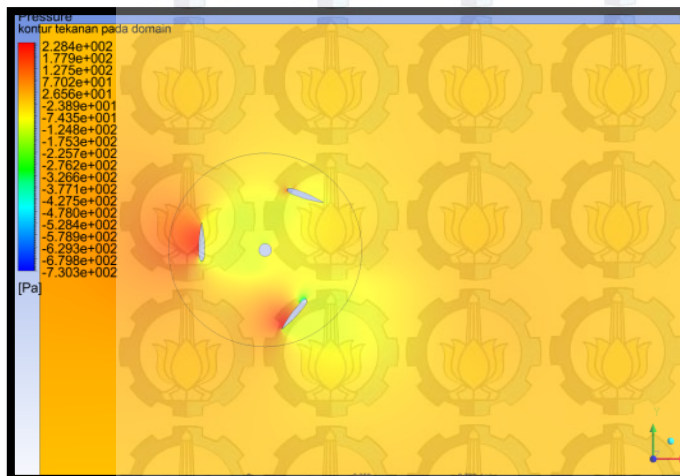
F. Kontur tekanan yang terjadi pada turbin

Tekanan yang diterima oleh turbin pada azimuth 80 merupakan nilai tekanan dengan distribusi yang paling kecil, pada azimuth 80 tersebut ketika turbin dialiri oleh aliran fluida hanya foil 1 yang mendapat tekanan terbesar, sedangkan foil 2, 3 dan shaft turbin memperoleh tekanan yang cukup merata, nilai tekanan yang mengenai foil 1 sebesar 184.2 Pa. Sedangkan, kontur distribusi tekanan pada azimuth 100 merupakan distribusi tekanan yang mengakibatkan nilai gaya dan torsi yang dihasilkan oleh turbin merupakan nilai yang

paling tinggi pada satu putaran penuh, pada azimuth 100 tersebut hampir ketiga foil pada turbin mendapatkan tekanan yang cukup besar yaitu sebesar 228.4 Pa. Fenomena ini lah yang mengakibatkan nilai gaya dan torsi yang dihasilkan oleh turbin pada azimuth 80 ini merupakan nilai yang paling kecil sedangkan nilai gaya dan torsi pada azimuth 100 merupakan nilai yang tertinggi diantara azimuth yang lain. Untuk kontur tekanan azimuth 80 dan 100 dapat dilihat pada gambar 17 dibawah ini.



(a)



(b)

Gambar 12. (a) Kontur distribusi tekanan pada turbin di azimuth 80
(b) Kontur distribusi tekanan pada azimuth 100

G. Diskusi

Pola aliran berupa *streamline*, kontur tekanan serta *velocity vector* merupakan fenomena yang tidak dapat dilihat ketika kita melakukan eksperimen atau pengujian turbin, fenomena tersebut dapat dilihat atau diperoleh melalui simulasi CFD. Pola aliran berupa *streamline*, kontur tekanan dan *velocity vector* dapat digunakan sebagai data penunjang untuk mengetahui pengaruh aliran yang terjadi pada mekanisme *flapping wing*. Pada mekanisme *flapping wing* turbin vertikal aksis jenis Darrieus *straight-bladed* diperoleh nilai torsi hasil resultan yang terendah adalah pada azimuth 80 dengan nilai

torsi sebesar 9.68 Nm. Pada azimuth 80, terlihat bahwa distribusi tekanan yang diterima oleh turbin sangat tidak merata, hanya foil 1 yang menerima tekanan tertinggi yaitu 184.2 Pa sedangkan foil 2 dan 3 hanya menerima tekanan yang cukup kecil.

Selanjutnya, nilai torsi pada azimuth 100 merupakan nilai torsi yang tertinggi yang dihasilkan oleh turbin pada satu putaran penuh, nilai torsi hasil resultan sumbu x dan y pada azimuth 100 sebesar 14.46 Nm. Pada azimuth 100, distribusi tekanan yang diterima oleh turbin lebih merata jika dibandingkan azimuth 80, pada azimuth 100 ketiga foil pada turbin menerima tekanan sebesar 228.4 Pa. Dengan adanya fenomena distribusi tekanan yang hanya dapat dilihat melalui CFD, dapat dikatakan bahwa nilai torsi yang dihasilkan oleh turbin sangat dipengaruhi distribusi tekanan yang diterima oleh turbin.

Berdasarkan pola perubahan nilai gaya dan torsi yang dihasilkan turbin pada sumbu x dan y diperoleh nilai resultan antara keduanya, kemudian setelah diperoleh nilai gaya dan torsi hasil resultan sumbu x dan y maka kita dapat mengetahui sudut tangensial yang dihasilkan oleh resultan tersebut, sehingga dengan adanya sudut tangensial tersebut kita dapat mengetahui nilai dan arah gaya serta torsi yang dihasilkan oleh turbin tersebut ketika dilakukan simulasi menggunakan CFD. Pada simulasi mekanisme *passive pitch* dengan mekanisme *flapping wing* menggunakan CFD ini diperoleh data berupa arah yang dihasilkan oleh resultan gaya dan torsi turbin berada pada kuadran I dan IV.

Gaya dan torsi yang terbesar yang dihasilkan oleh turbin ketika turbin berada di azimuth 100, nilai gaya yang terbesar adalah 37.36 N dengan sudut tangensial Antara gaya pada sumbu x dan y sebesar -6.33 (berlawanan arah jarum jam dan berada di kuadran IV), sedangkan nilai torsi yang dihasilkan oleh turbin yang terbesar adalah 14.46 Nm dengan sudut tangensial Antara torsi x dan y sebesar 83.67 (searah jarum jam dan berada di kuadran I), berdasarkan hasil tersebut dapat direkomendasikan atau disarankan untuk menempatkan alat ukur torsi (*torque wrench*) pada kuadran I ketika melakukan pengambilan data torsi yang dihasilkan oleh turbin ketika eksperimen dilakukan supaya nilai error yang diperoleh antara simulasi dan eksperimen dapat berkurang atau menjadi lebih kecil. Selain itu, sebuah turbin yang terdiri dari 3 foil dan 1 shaft akan menghasilkan pola perubahan nilai gaya dan torsi yang terbaik pada kisaran azimuth 0 sampai 115 untuk foil 1, 120 sampai 235 untuk foil 2 dan 240 sampai 360 untuk foil 3. Hal ini dikarenakan ketika foil 1 berada pada azimuth tersebut, foil 1 mendapatkan aliran dan tekanan langsung dari aliran air yang mengalir sedangkan setelah azimuth 115 foil 1 sudah terganggu oleh foil 2 dan 3 yang mengakibatkan pola perubahan nilai gaya dan torsi yang dihasilkan oleh foil 1 semakin teredam atau rendah.

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh pada simulasi mekanisme *passive pitch* menggunakan *flapping wing* pada turbin vertikal aksis arus sungai tipe Darrieus *straight-bladed* berbasis CFD, nilai torsi yang semakin besar yang dihasilkan oleh turbin Darrieus *straight-bladed* menggunakan mekanisme *flapping wing* yang paling optimal adalah dengan sudut pitch sebesar 20°. Berdasarkan hasil ini, dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa performansi turbin Darrieus jenis *straight-*

bladed dapat ditingkatkan dengan menggunakan mekanisme *flapping wing* sebagai mekanisme *passive pitch*. Selain itu, distribusi tekanan yang diterima oleh turbin juga mempengaruhi performansi turbin tersebut.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil pengujian, analisa, dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa profil aliran berupa *streamline*, *velocity vector* serta kontur tekanan pada turbin vertikal aksis jenis Darrieus *straight-bladed* yang memanfaatkan mekanisme *flapping wing* sebagai mekanisme *passive pitch* merupakan fenomena yang tidak diperoleh ketika eksperimen dilakukan, pengaruh fenomena tersebut terhadap performansi turbin hanya dapat diketahui dan dianalisis menggunakan *software* CFD. Nilai gaya serta torsi yang dihasilkan oleh turbin pada sumbu x yang tertinggi adalah 37.11 N dan 5.57 Nm, sedangkan nilai gaya dan torsi tertinggi yang dihasilkan oleh turbin pada sumbu y adalah 5.47 N dan 14.37 Nm. Nilai gaya dan torsi yang tertinggi hasil resultan sumbu x dan y adalah 37.37 N dengan sudut tangensial sebesar -6.33° (kuadran IV) dan 14.46 Nm dengan sudut tangensial sebesar 83.67° (kuadran I). Performansi turbin jenis Darrieus *straight-bladed* dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan mekanisme *flapping wing* sebagai mekanisme *passive pitch*, sudut *pitch* yang terbaik pada mekanisme *flapping wing* ini adalah 20° .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saqib, H. M., and Karman, A. S. 2012. "Design and analysis of a straight bladed vertical axis wind turbine blade using analytical and numerical techniques: Elsevier.
- [2] Syed, S.K., Liang, Z., Qi-hu, S., and Xue-Wei, Z. 2013. "Difference between Fixed and Variable Pitch Vertical Axis Tidal Turbine-Using CFD Analysis in CFX". China : Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 5(1): 319-325, 2013 ISSN: 2040-7459; e-ISSN: 2040-7467 © Maxwell Scientific Organization.
- [3] Islam, M., Ting, David S.-K. & Fartaj, A., 2008. "Aerodynamic Models for Darrieus-Type Straight-Bladed Vertical Axis Wind Turbines", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(4), 2008. (Doi:10.1016/j.rser.2006.10.023).
- [4] Coiro, D.P., De Marco, A., Nicolosi, F., Melone, S. & Montella, F., 2005. "Dynamic Behaviour of the Patented Kobold Tidal Current Turbine: Numerical and Experimental Aspects", Acta Polytechnica, 45(3).
- [5] Calcagno, G., 2006. "An Experimental Investigation and a Theoretical and Computational Methodology to Study an Innovative Technology for Marine Current Exploitation: the Kobold Turbine", Bollettino della Comunità Scientifica in Australasia.
- [6] Hantoro, R., Utama, I.K.A.P. & Erwandi, 2011. "An Experimental Investigation of Passive Variable-Pitch Vertical Axis Ocean Current Turbin", Indonesia.
- [7] Khan, M. J., Bhuyan, G., Iqbal, M. T., and Quaicoe, J. E. 2010. "Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review," *Applied Energy* Vol. 86, No. 10, pp. 1823-1835.
- [8] El-Sayed, A.F and Abdel Azim. 1995. "Dynamics of Vertical Axis Wind Turbines (Darrieus Type)". Zagazig University.
- [9] Decoste, Josh, 2004. "Self-Starting Darrieus Wind Turbine". Department of Mechanical Engineering, Dalhousie University.
- [10] Joseba Goyena Iriso, Alfredo Ursua. 2011. "Analysis and Design of Vertical Axis Wind Turbine" publica Universitas Navarrens.
- [11] M. Farrashkhalvat dan J.P. Miles, 2003. "Basic Structured Grid Generation with an introduction to unstructured grid generation", United Kingdom: Butterworth-Heinemann.
- [12] Widyatno, 2012. "Analisa Aliran pada *Ducted Propeller* dengan Pendekatan CFD (*Computational Fluid Dynamics*)," Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.