

ANALISIS COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD) dalam PERANCANGAN TURBIN ARUS LAUT SUMBU VERTIKAL (VERTICAL AXIS OCEAN CURRENT TURBINE, VAOCT)**ANALYSIS OF COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD) ON VERTICAL AXIS OCEAN CURRENT TURBINE (VAOCT) DESIGN****R. Bambang Adhitya Nugraha¹, Nico Prayogo², Muljowidodo Kartidjo² dan Sapto Nugroho²**¹Pusat Pengkajian dan Perencanaan Teknologi Kelautan dan Perikanan (P3TKP)-BalitbangKP²Center for Unmanned Studies (CENTRUM)-ITB¹badhityan@yahoo.com, ²prayogo_nico@yahoo.co.id, ssaptoadi@gmail.com*Diterima tanggal: 6 Juli 2013, diterima setelah perbaikan: 27 November 2013, disetujui tanggal: 2 Desember 2013***ABSTRAK**

Indonesia di masa mendatang akan menghadapi krisis energi konvensional dalam hal kaitannya dengan peningkatan kapasitas kebutuhan, pasokan yang terus menurun, harga tinggi dan permasalahan lingkungan yang ditimbulkan. Potensi energi laut Indonesia yang belum banyak dimanfaatkan dapat menjadi salah satu sumber energi alternatif yang bersih, dapat diandalkan dan terbarukan. Untuk dapat memanen energi yang dihasilkan dari arus laut tersebut, Pusat Pengkajian dan Perencanaan Teknologi Kelautan dan Perikanan (P3TKP)-BalitbangKP merancang dan mengembangkan *twin series vertical turbin tipe drag release* yang diharapkan dapat berputar pada putaran rendah. Studi lanjutan tentang bentuk *blade-nozzle-guide vane* serta kombinasi diantara ketiganya menjadi fokus utama agar dapat menghasilkan target output sebesar 10 kW.

Kata kunci: turbin seri kembar, Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL), *Computational Fluid Dynamic (CFD)*, gaya seret dan torsi

ABSTRACT

In the future, Indonesia will face a crisis of conventional energy with respect to increasing in demands; supply continues to fall, high price and environmental problems posed. Indonesia has huge potential in ocean energy, which can be used as one of the alternative energy source as it is clean, reliable and renewable. To be able to harvest the energy generated from ocean currents, Research and Development Center for Marine and Fisheries Technology (RDCMFT), Agency for Marine and Fisheries Research and Development (AMFRD) designed and developed a twin series vertical type twin drag release that is expected can rotate at low speed. Further study on shape of blade-nozzle guide vane and its vary combination become the main focus in order to produce a target output of 10 kW.

Keywords: *twin series turbine, Ocean Current Power Plant, Computational Fluid Dynamic (CFD), drag force and torque*

PENDAHULUAN

Salah satu dukungan Kementerian Kelautan dan Perikanan untuk program diversifikasi sumber energi terbarukan sebagai salah jawaban untuk permasalahan krisis energi nasional saat ini adalah meningkatkan eksplorasi sumber daya energi berbasis arus (*tidal current*), pasang surut (*tidal range*), gelombang (*wave*) dan perbedaan suhu air laut (*ocean thermal*) serta

pengembangan teknologi konversinya. Dari keempat energi laut tersebut, studi potensi dan pengembangan teknologi nasional konversi energi yang berasal dari arus pasang surut dan gelombang telah mengalami perkembangan cukup pesat meski sebagian besar masih dalam tahapan penelitian dan uji coba skala laboratorium atau lapangan terkondisi (Erwandi et al., 2011; Hantoro et al., 2011).

Energi yang berasal dari arus laut pada saat ini dianggap sangat menjanjikan karena sifatnya yang dapat diprediksi dan terjadi secara periodik. Teknologi ekstraksi energi arus laut memiliki prinsip kerja yang sama dengan teknologi energi angin yaitu dengan mengubah energi kinetik fluida (angin atau arus air) menjadi energi rotasi melalui bilah (*blade*) turbin untuk menghasilkan energi listrik. Daya yang dihasilkan oleh arus laut lebih besar dibandingkan dengan daya yang dihasilkan oleh turbin angin karena massa jenis air laut (1025 kg/m^3) lebih besar dari pada massa jenis udara (1.223 kg/m^3). Jika pergerakan air laut diekstraksi menjadi energi listrik pada suatu turbin, maka dibutuhkan kecepatan arus yang jauh lebih kecil dibandingkan kecepatan gerak aliran udara yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Dengan mempertimbangkan hal tersebut disimpulkan bahwa energi kinetik arus laut merupakan sumber energi terbarukan yang potensial di Indonesia.

Sejak tahun 2010, Pusat Pengkajian dan Perencanaan Teknologi Kelautan (P3TKP), Balitbang KP mencoba mengembangkan model dan *prototipe* Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) Putaran Rendah (*Low Velocity Blade Release Turbine*) tipe seret lepas (*drag release*). Hasil ujicoba skala laboratorium dan lapangan menunjukkan bahwa meski belum mencapai target *output* daya yang diharapkan (5 kW), turbin tipe tersebut memiliki nilai efisiensi daya turbin yang melebihi 50% serta memiliki torsi dan TSR yang besar yang memungkinkan bilah mulai berputar (*cut in speed*) pada kecepatan rendah (Nugroho, 2011).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan bentuk *blade*, *nozzle* dan *guide vane* yang tepat untuk menghasilkan besaran torsi, gaya seret dan daya yang diharapkan dengan melakukan simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) untuk setiap komponen turbin tersebut dan kombinasi antar komponen tersebut. Turbin yang dikembangkan merupakan *twin turbine* yang merupakan gabungan *series* dari dua *single turbine* tipe *drag release* dengan putaran yang berbeda satu dengan lainnya (*counter rotations*). Tipe *Twin turbine* tersebut sangat cocok untuk lingkungan laut yang memiliki arus/arus pasut yang tidak terlalu besar (Hiraki et al., 2012).

BAHAN DAN METODE

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap gaya angkat (*lift*) dan gaya gesek (*drag*) sebuah turbin adalah bentuk geometri bilah turbin yang merupakan komponen utama untuk menangkap arus laut untuk kemudian dikonversikan menjadi gerakan mekanik.

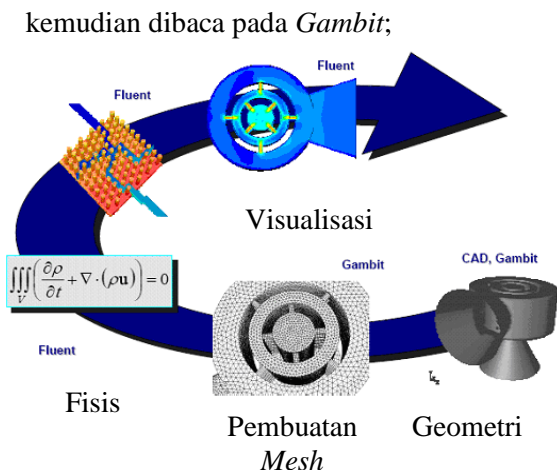
Turbin arus laut memiliki geometri yang kompleks dengan adanya profil potongan, panjang rusuk dan sudut *pitch* yang bervariasi. Sampai saat ini proses desain turbin arus laut masih mengandalkan teknik eksperimen dan metoda numerik untuk analisis. Faktor-faktor ini melatarbelakangi penggunaan CFD sebagai metoda desain dan analisis. CFD dimanfaatkan tidak hanya untuk mengidentifikasi karakteristik hidrodinamik arus laut yang melewati suatu turbin, namun juga untuk menentukan besaran gaya seret dan angkat (*drag and lift force*) serta torsi (*torque*) mekanik teoritik yang dihasilkan dari energi kinetik arus laut.

Parameter utama yang akan menentukan sistem turbin yang dirancang adalah gaya *drag* dan torsi poros turbin yang akan mewakili besar daya hidrolis yang dihasilkan. Pada simulasi CFD ini bagian-bagian utama turbine seperti *blade*, *nozzle* dan *guide vane* akan dianalisis dan dioptimasi secara terpisah untuk melihat performanya masing-masing dan hasil optimasinya akan dimanfaatkan untuk analisis kombinasi *bilah-nozzle-guide vane* turbin secara keseluruhan.

Bentuk bilah turbin dan *nozzle* akan dibuat dalam 3 bentuk geometri yang berbeda untuk kemudian masing-masing dipilih berdasarkan *output* daya yang paling tinggi. *Guide vane* berfungsi untuk mempercepat arus yang masuk ke dalam area bilah sehingga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi yang dihasilkan.

Tahap-tahap analisis CFD yang dilakukan adalah sebagai berikut:

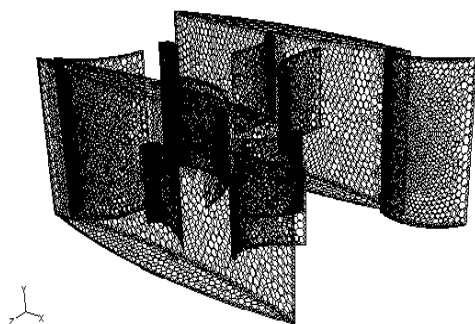
1. Pembuatan geometri ketiga komponen turbin tersebut menggunakan *software* CAD (*computer aided design*) atau *Gambit*. Proses awal dari pekerjaan ini adalah pembuatan geometri dengan mempergunakan perangkat lunak *Gambit* yang terintegrasi dengan *Fluent* (*software* CAD *Solidworks* 2011). Hasil modeling 3D pada *Solidworks* kemudian di-*export* ke dalam bentuk ACIS (*.sat) untuk



Gambar 1. Aliran proses dalam analisis *Computational Fluid Dynamics*

Figure 1. Flowchart process for CFD analysis

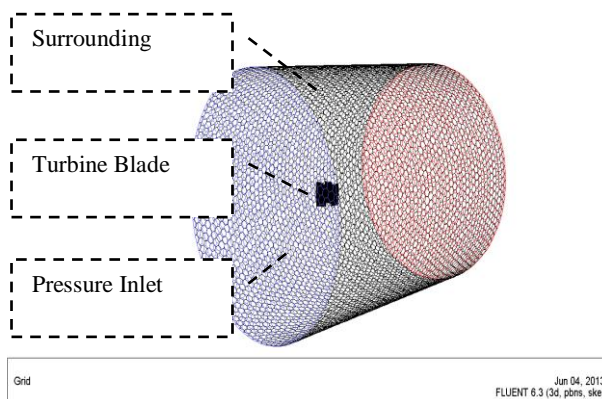
2. Pembuatan *mesh* pada geometri yang telah dibuat, yaitu dengan membaginya menjadi elemen volume hingga. Hal ini dilakukan pada *software Gambit*;



Gambar 2. Proses *meshing* pada Gambit
Figure 2. Meshing process on Gambit

3. Analisis fisis, matematik dan tampilan pada *Fluent*;
4. Penerapan kondisi batas untuk kemudian dimanfaatkan lebih lanjut pada *Fluent*. Proses ini meliputi penentuan lokasi dan jenis batasan (*boundaries*) serta penentuan informasi parameter dari batasan tersebut. Pada *Gambit*, pendefinisian kondisi batas hanya terbatas pada lokasi dan jenis kondisi batas. Pemberian nilai parameter dilakukan lebih lanjut pada *Fluent*.

Kondisi perairan diasumsikan memiliki kecepatan rata-rata sebesar 1.2 m/s dan bilah turbin akan mulai bergerak (*cut in speed*) pada kecepatan minimum 0.88 m/s.



Gambar 3. Grid *polyhedral* dan kondisi batas untuk simulasi CFD *airfoil blade turbine*
Figure 3. Polyhedral grid and boundary for CFD simulation of airfoil blade turbine

Turbin arus laut disimulasikan pada CFD seakan-akan berada pada terowongan air dengan memberikan kecepatan masuk pada air dan turbin pada kondisi diam. Parameter analisis yang akan diperbandingkan adalah parameter torsi dan gaya hambat air/*drag force*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

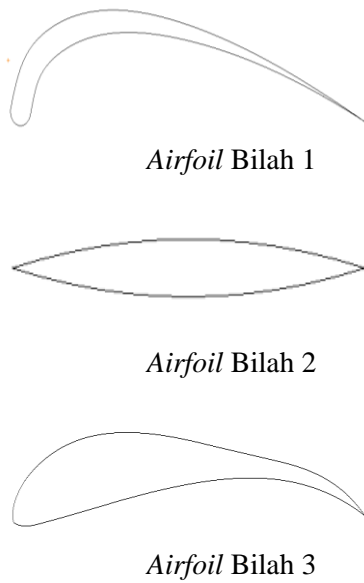
Sebelum melakukan simulasi konstruksi kembar, terlebih dahulu ditampilkan hasil CFD pada *single turbin* untuk melihat pola aliran arus jika memasuki inlet turbin serta seberapa besar torsi, gaya drag dan *power* yang dihasilkan.

3.1. Perbandingan Airfoil Bilah Turbin

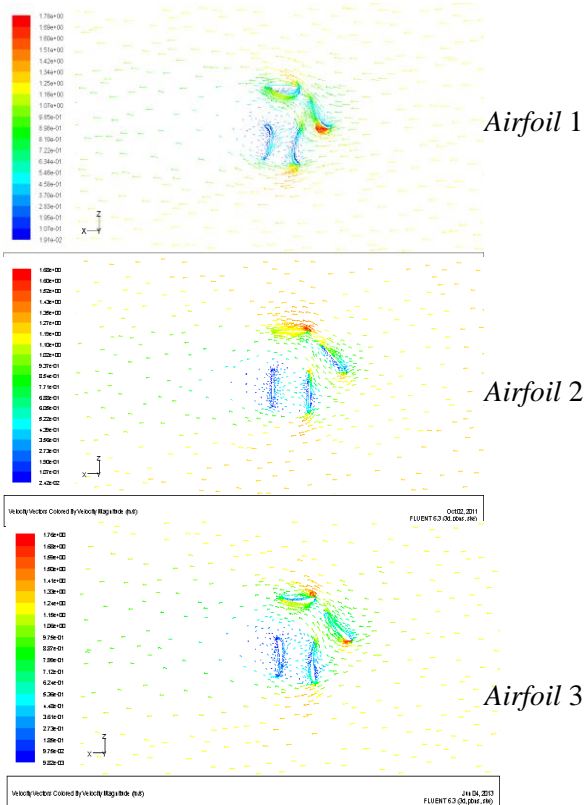
Untuk jenis bilah yang akan diaplikasikan pada turbin arus laut, proses analisis dilakukan pada tiga jenis penampang airfoil seperti terlihat pada Gambar 5.

Hasil analisis CFD dapat dilihat bahwa daya terbesar dihasilkan oleh *airfoil* tipe 2, di mana konfigurasi ini dapat menghasilkan daya sebesar 3126,6 Watt. Pada konfigurasi 1 dan 3 daya yang dihasilkan sebesar 2504 watt dan 2724 watt (Tabel 1).

Gaya seret sistem terendah juga diperoleh dari konfigurasi *airfoil* 2 dengan besar 4849 N atau sekitar 485 kgf. Dari ketiga konfigurasi dasar yang dilakukan analisis belum ada yang dapat memenuhi target daya per unit turbin sebesar 5 kW pada kecepatan arus 1,2 m/s.



Gambar 4. Tipe airfoil blade turbine
Figure 4. Types of airfoil bladeturbine



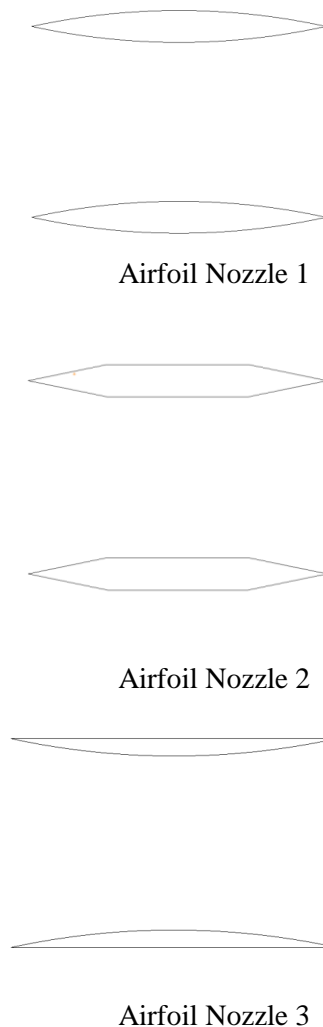
Gambar 5. Kontur hidrodinamika arus laut pada airfoil tipe 3
Figure 5. Hydrodynamic contour of ocean current on the three types of airfoil

Tabel 1. Perbandingan hasil simulasi pada ketiga bilah
Table 1. Comparison of simulation result on 3 types of blades

Airfoil	Drag Force (N)	Torque (Nm)	Power (Watt)
Type 1	5738.9	2845.5	2504.04
Type 2	4849.36	3552.98	3126.6
Type 3	5394,12	3096,25	2724.7

3.2. Perbandingan Airfoil Nozzle

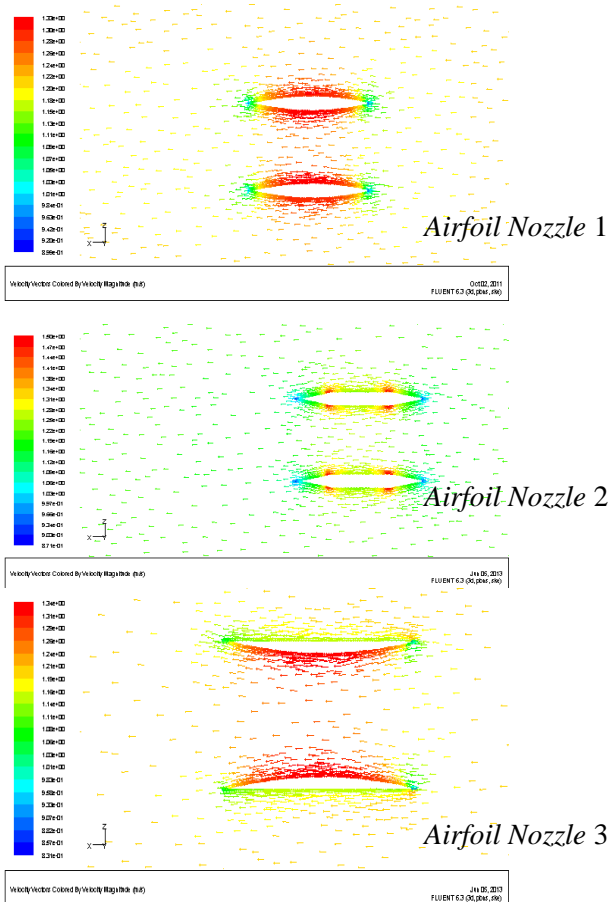
Tiga jenis penampang airfoil nozzle seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Tipe airfoil nozzle turbine
Figure 6. Types of airfoil nozzle turbine

Pada analisis ini parameter yang dibandingkan adalah kenaikan kecepatan air yang diberikan oleh *nozzle* dan besaran gaya hambat air yang diberikan oleh *nozzle*. Dari hasil perbandingan ketiga buah konfigurasi *nozzle* diperoleh kesimpulan bahwa, perkalian kecepatan fluida terbesar didapat dari penerapan konfigurasi 2 dimana diperoleh kecepatan 1,251 kali lebih besar dibanding dengan kecepatan masuk fluida sekitar. Namun hal ini dikompensasi dengan besar gaya *drag* yang dihasilkan yang juga lebih besar, sebesar 611,38 N (Tabel 2).

Nozzle tipe 3 yang merupakan setengah potongan *nozzle* tipe 1 menunjukkan bahwa kenaikan kecepatan tidak terpengaruh oleh penghilangan airfoil bagian luar, namun mampu mereduksi gaya hambat air secara signifikan. Terjadi pengurangan gaya *drag* sebesar 100 N.



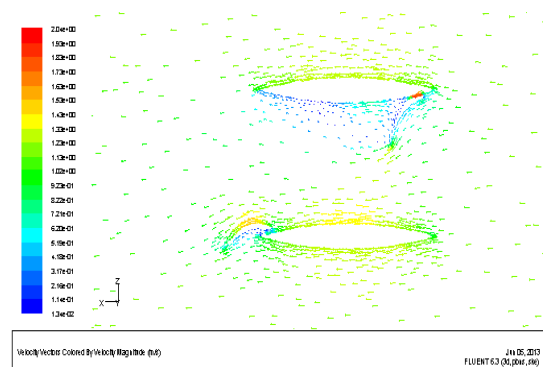
Gambar 7. Kontur hidrodinamika arus laut pada *airfoil* tipe 3
 Figure 7. Hydrodynamic contour of ocean current on the three types of airfoil

Tabel 2. Perbandingan hasil simulasi pada ketiga *airfoil nozzle*
 Table 2. Comparison of simulation on types of airfoil nozzle

Airfoil	Drag Force (N)	Torque (Nm)	Power (Watt)
Type 1	460.6	1.104	460.6
Type 2	611.38	1.251	611.38
Type 3	362.18	1.114	362.18

3.3. Penambahan *Guide vane*

Pada analisis ini diperlihatkan pengaruh penambahan sudu pengarah pada bagian depan dan belakang *nozzle* turbin arus laut. *Guide vane* sangat efektif untuk mengarahkan arus laut agar lebih banyak melewati bilah turbin sehingga energi yang dihasilkan menjadi lebih besar (Hiraki et.al., 2013). Parameter utama yang diamati adalah perubahan karakteristiknya adalah pada parameter kecepatan fluida masuk dan gaya hambat fluida pada sistem. Tipe *guide vane* yang digunakan adalah tipe *drag release* yang dapat menyesuaikan dengan karakteristik aliran pasang surut yang bekerja maju mundur.



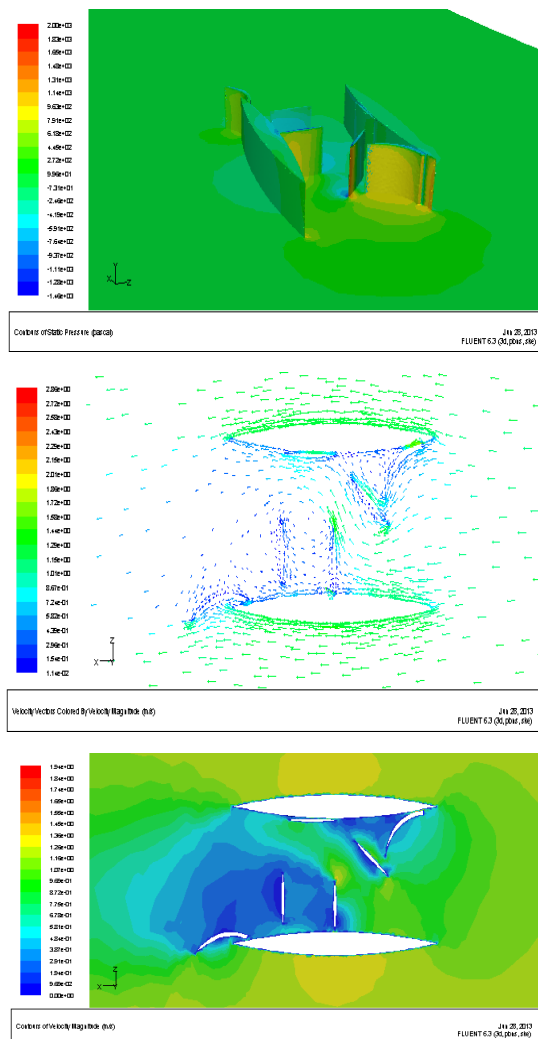
Gambar 8. Kontur hidrodinamika arus laut untuk penambahan *guide vane*
 Figure 8. Hydrodynamic contour of ocean current due to additional guide vane on nozzle

Dari hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa penambahan sudu pengarah dapat meningkatkan perkalian kecepatan fluida sebesar 1,69. Namun gaya hambat air juga ikut meningkat secara signifikan menjadi 10 kali lebih besar dibandingkan konfigurasi *nozzle* tanpa *guide vane*. Namun konfigurasi ini memiliki keuntungan lain berupa lebih terarahnya aliran fluida masuk ke daerah blade yang aktif menyumbang torsi positif,

dan mengurangi sumbangan torsi negatif dari blade di kondisi *release*.

3.4. Kombinasi Blade-Nozzle-Guide Vane

Berdasarkan pada hasil analisis komponen individual turbin arus laut, kemudian akan dilakukan analisis lebih lanjut mengenai efek kombinasi antar komponen yang secara terpisah telah memiliki nilai-nilai torsi, gaya gesek dan daya yang terbaik untuk menjadi sebuah konfigurasi utuh turbin. Analisis yang dilakukan berupa kombinasi *airfoil blade type 2, nozzle type 1 dan guide vane*.



Gambar 9. Kontur hidrodinamika arus laut untuk kombinasi bilah 2, nozzle 1 dan guide vane
 Figure 9. Hydrodynamic contour of ocean current on the combination of Blade 2, nozzle 1 and guide vane

Tabel 3. Nilai torsi, gaya seret dan daya yang dihasilkan dari kombinasi bilah 2, nozzle 1 dan guide vane

Table 3. Torque, drag force and power generated from the combination of blade 2, nozzle 1 and guide vane

Airfoil Type	Drag Force (N)	Torque (Nm)	Power (Watt)
Bilah 2	7037.02	3065.8	4559.46

Tabel 3 memperlihatkan perbandingan gabungan *blade, nozzle dan guide vane*. Konstruksi turbin menggunakan *airfoil blade 2* memberikan hasil yang paling mendekati target keluaran yang diinginkan untuk *single turbine* yaitu sebesar 5kW, daya maksimum yang diperoleh adalah 4559.46 watt. Hasil ini didapat pada sudut putaran turbin 0 derajat.

Untuk meningkatkan daya yang dihasilkan maka dilakukan modifikasi sudut *guide vane* pada beberapa sudut yang berbeda dan dilihat besaran torsi daya yang dihasilkan (Tabel 4).

Tabel 4. Nilai torsi dan daya yang dihasilkan dari kombinasi bilah 2, nozzle 1 dan guide vane dengan sudut yang berbeda.

Table 4. Torque and power generated from the combination of blade 2, nozzle guide vane 1 and with different angle

Airfoil Type	Drag Force (N)	Torque (Nm)	Power (Watt)
Airfoil 2	0 deg	3065.80	4559.458
	+ 7.5 deg	2982.07	4434.935
	+ 15 deg	311.86	4636.881

Tabel di atas memperlihatkan konfigurasi optimum gabungan *blade, nozzle dan guide vane* adalah pada konfigurasi *airfoil 2* dengan sudut *guide vane* ditingkatkan sekitar 15 derajat. Kondisi ini menghasilkan daya keluaran sebesar 4636,881 watt. Analisis berikutnya dilakukan untuk mengoptimasi konfigurasi *blade airfoil 2* pada kondisi *twin turbine*.

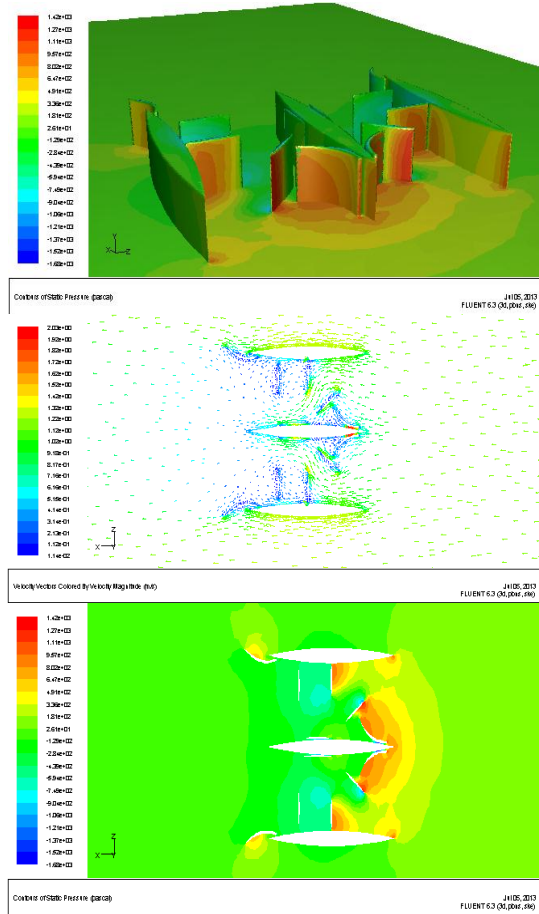
3.5. Konfigurasi Twin Turbine

Pada analisis berikutnya akan dilakukan simulasi numerik fluida pada kondisi *twin turbine*, yang dilakukan pada dua kecepatan aliran masuk yaitu 1,2 m/s dan 2 m/s. Kedua sistem bilah turbin tersebut akan berputar dengan arah yang berbeda satu dengan yang lainnya yang berguna untuk meningkatkan output daya yang dihasilkan Hiraki et al. (2012) melakukan model *double stage twin-*

turbine dengan arah rotasi kedua turbin tersebut berlawanan arah. Putaran kedua rotor tersebut akan mempercepat putaran generator sehingga menghasilkan daya listrik yang lebih besar.

Hasil simulasi *twin-turbine* tersebut kemudian diperbandingkan untuk melihat kondisi operasi optimum bagi turbin arus laut dalam mencapai *rated power* output sebesar 2 x 5 kW.

a. Kecepatan arus 1.2 m/s



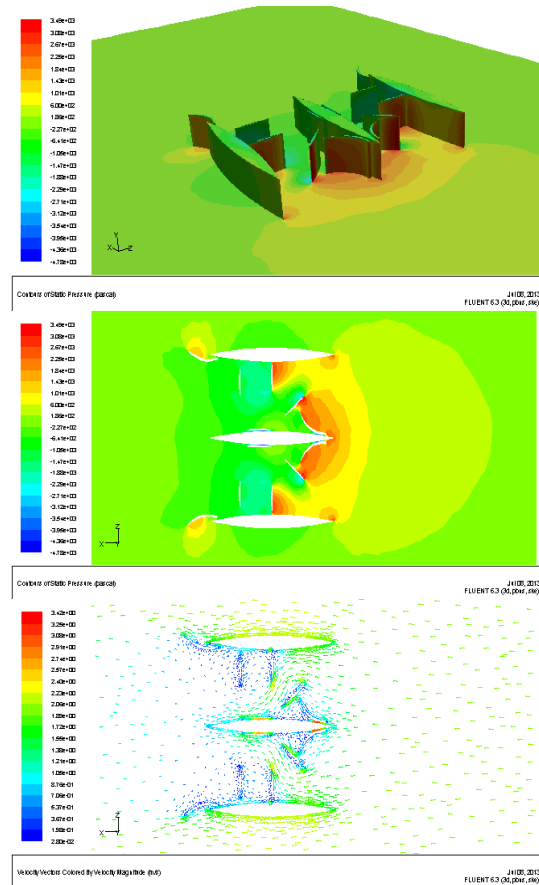
Gambar 10. Kontur hidrodinamika arus laut untuk kombinasi bilah 2, nozzle 1 dan guide vane pada kecepatan 1.2 m/s

Figure 10. Hydrodynamic contour of ocean current on the combination of blade 2, nozzle 1 and guide vane at speed 1.2 m/s

- Total drag force = 14361.374 N
- Turbine blade's torque at 1.2 m/s = 2 x 3498.58 N Nm
- Hydraulic power = 2 x (1.69 x 3498.58 Nm x 0.88 rad/s) = 2 x 5203.5 watt

- Output power = hydraulic power x system efficiency = 2 x 5203.5 x 50% = 2 x 2,601.75 watt.

b. Kecepatan arus 2 m/s



Gambar 11. Kontur hidrodinamika arus laut untuk kombinasi bilah 2, nozzle 1 dan guide vane pada kecepatan 2 m/s

Figure 11. Hydrodynamic contour of ocean current on the combination of blade 2, nozzle 1 and guide vane at speed 2 m/s

- Total drag force = 39209.15 N
- Turbine blade's torque at 1.2 m/s = 2 x 3498.58 N Nm
- Hydraulic power = 2 x (1.69 x 10154.369Nm x 0.88 rad/s) = 2 x 15,101.56 watt
- Output power = hydraulic power x system efficiency = 2 x 15,101.56 x 50% = 2 x 7,550.7 watt.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam penelitian VAOCT ini telah dilakukan analisis simulasi numerik dengan CFD pada beberapa tipe *airfoil*, *nozzle* dan *guide vane* untuk mendapatkan target output daya yang optimal.

Hasil keluaran daya maksimum diperoleh melalui konfigurasi *airfoil blade 2*, *airfoil nozzle 1* dan *guide vane 1*. Penggunaan *nozzle* tipe 1 untuk konfigurasi saluran masuk turbin memberikan penambahan daya keluaran sebesar 10% sedangkan penggunaan sudu pengarah memberikan tambahan daya sebesar 53%. Selain itu telah dilakukan pula konfigurasi dua tingkat untuk konstruksi bilah yang bertujuan untuk mengurangi fluktuasi daya output (agar luaran daya stabil). Prediksi daya keluaran turbin: Dengan menggunakan asumsi efisiensi mekanik 70%, dan efisiensi elektrik 70%, diperoleh prediksi daya keluaran turbin sebesar 2 x 2,601.75 watt pada kecepatan masuk fluida 1,2 m/s dan 2 x 7,550.7 watt pada kecepatan masuk fluida 2 m/s.

DAFTAR PUSTAKA

- Erwandi, Afian, K., Sasoko, P., Rina, Wijanarko, B., Marta, E., & Rahuna, D. (2011). *Vertical axis marine current turbine development in Indonesian Hydrodynamic Laboratory-Surabaya for tidal power plant*. Paper presented at International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials (ICE SEAM 2011). Retrieved from http://icseam.com/downloads/doc_download/11-15-23vertical-axis-marine-current-turbine-development-in-indonesian-hydrodynamic-laboratory-.html
- Hantoro, R., Utama, I.K.A.P., Sulisetyono, A., & Erwandi. (2011). Lateral force fluctuation on the shaft of vertical-axis ocean current turbine. *Australian Journal of Basic and Applied Science*, 5(7): 121-128. Retrieved from <http://ajbasweb.com/old/ajbas/2011/July-2011/121-128.pdf>
- Hiraki, K., Nishida, K., Wakita, R., Takao, M., & Watanabe, T. (2013). *Guide vanes for darrieus water turbine in tidal current*. Paper presented at International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'13), Spain. Retrieved from <http://www.icrepq.com/icrepq'13/567-hiraki.pdf>.
- Hiraki, K., Wakita, R. & Kanemoto, T. (2012). Demonstrative power generation by twin-runner darrieus turbine in Kanmon Strait. *Proceedings of the Twenty-Second (2012) International Offshore and Polar Engineering Conference Rhodes, Greece*. Retrieved from <http://e-book.lib.sjtu.edu.cn/isope2012/data/papers/vol1/2012-SN-01Hiraki.pdf>.
- Hiraki, K., Wakita, R., Takao, M. & Yagami, R.. (2012). *Characteristics of twin-runner darrieus water-turbine for tidal current power generation*. Paper presented at International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12).
- Nugroho, D. (2011). Bilah lengkung seret lepas untuk peningkatan efisiensi pada turbin arus laut sumbu vertikal.