

Pengaruh Variasi Panjang *Passive Moveable Flap* Terhadap Performansi Turbin Hidrokinetik Tipe Darrieus

Doni Sahertiyana dan Gunawan Nugroho

Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: gunawan@ep.its.ac.id

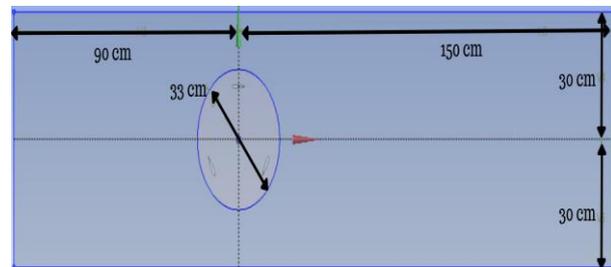
Abstrak—Turbin hidrokinetik merupakan pembangkit listrik tenaga air “zero-head”, di mana energi diekstraksi dari energi kinetik aliran air, mirip dengan turbin angin. Salah satu contoh dari turbin hidrokinetik adalah turbin hidrokinetik sumbu vertikal tipe darrieus. Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi turbin dengan menambahkan *passive moveable flap* dengan beberapa variasi panjang pada bilah turbin sumbu vertikal tipe darrieus. Digunakan *Computational Fluid Dynamics* untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada aliran fluida. Variasi posisi *flap* pada 50% dan 75% *cord*, dengan masing-masing panjang *flap* 100%, 75%, dan 50% pada sudut bukaan maksimum *flap* 90°. Kecepatan aliran yang digunakan pada penelitian ini adalah 0.29 m/s, 0.35 m/s, 0.375 m/s, dan 0.4 m/s. Dari hasil penelitian didapatkan variasi paling optimal dan memiliki C_p tertinggi adalah variasi panjang 100% dengan posisi *flap* berada pada 75% *cord* untuk TSR 2.97 yaitu 0.0572. Panjang *passive moveable flap* memberikan pengaruh terhadap luas bidang yang dapat ditabrak oleh aliran. Semakin panjang *passive moveable flap* maka semakin luas bidang yang bertabrakan dengan aliran dan menghasilkan gaya *drag* yang lebih besar. Hal tersebut memberikan dampak terhadap besarnya torsi dan koefisien daya yang dihasilkan oleh turbin.

Kata Kunci—Turbin Hidrokinetik Sumbu Vertikal Tipe Darrieus, *Passive Moveable Flap*, Koefisien Daya, TSR, Torsi.

I. PENDAHULUAN

TURBIN telah menjadi salah satu pemasok energi terbarukan [1]. Salah satu penerapan teknologi turbin dalam bidang energi terbarukan adalah turbin hidrokinetik. Turbin hidrokinetik merupakan turbin yang digunakan pada sungai kecil atau kanal terbuka. Jika didasarkan pada sumbu putarnya, suatu turbin hidrokinetik dapat dibagi menjadi tiga yaitu sumbu horizontal, sumbu vertikal, dan *crossflow* [2].

Turbin sumbu vertikal baru-baru ini menjadi lebih disukai oleh masyarakat moderen, karena rentang keluaran daya yang besar pada kecepatan rendah hingga kecepatan tinggi. Jika dibandingkan dengan turbin sumbu horizontal, turbin sumbu vertikal memiliki beberapa keunggulan yaitu dapat beroperasi dengan aliran dari segala arah (*drag* atau *lift*), dirancang untuk kecepatan fluida yang rendah, beroperasi pada RPM rendah atau sedang, memiliki getaran yang lebih rendah, serta tingkat kebisingan yang kecil dengan biaya produksi dan perawatan yang murah. Tetapi, turbin sumbu vertikal memiliki kelemahan yaitu dapat terjadi fenomena *dynamic stall* [3]. Fenomena ini merupakan fenomena yang muncul pada nilai *tip speed ratio* yang rendah ($TSR < 4$) yang berakibat pada peningkatan getaran, kebisingan, dan keluaran daya dari turbin sumbu vertikal. *Dynamic stall* sebagai dampak dari sudut serang jauh yang melebihi sudut serang kritis statisnya. *Dynamic stall* sendiri akan mempengaruhi perilaku *self-starting* dari sebuah turbin sumbu vertikal [4].



Gambar 1. Dimensi Turbin pada Simulasi.

Tabel 1.
Dimensi turbin yang digunakan pada simulasi

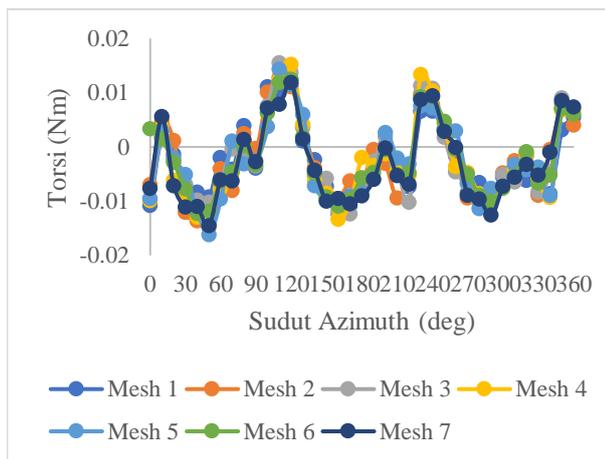
No	Bagian Turbin	Panjang (cm)
1	Chord Hydrofoil	5
2	Span Hydrofoil	25
3	Diameter Turbin (D)	25
4	Lebar Kanal	60
5	Center Turbin ke Inlet (Di)	90
6	Center Turbin ke Outlet (Do)	150

Pengembangan dan penelitian mengenai turbin Darrieus sebagai salah satu jenis turbin sumbu vertikal telah banyak dilakukan dengan mengubah atau memanipulasi aliran dengan menggunakan *flow control*. Salah satunya adalah penggunaan beberapa jenis *passive flow control* pada bilah yaitu 4 jenis GF atau Gurney Flap (termasuk 2 jenis GF satu sisi, GF dua sisi dan GF dimple) [5], *leading-edge airfoil-slat* (LEAS) [6], *non-circular gap* (NCG) [7], dan *flow-deflecting airfoil* (FDA)[8] dirancang dan dioperasikan dengan menggunakan CFD. Data yang dibandingkan berupa parameter koefisien daya, gaya tangensial, dan koefisien torsi. Dari dibandingkan SB-VAWT tanpa adanya *flow control* dan SB-VAWT dengan LEAS dan FDA mencapai peningkatan 8,79% koefisien torsi rata-rata pada TSR 2,62 dan 11,2% pada TSR 2,92. Standar sdeviasi dari beban fluktuasi rata-rata adalah 0,04774 (tanpa adanya *flow control* pada TSR 2,62), 0,05283 (LEAS pada TSR 2,62), 0,4876 (tanpa adanya *flow control* pada TSR 3,28), 0,04967 (NCG pada TSR 3,28), 0,04809 (tanpa adanya *flow control* pada TSR 2,92) dan 0,04332 (FDA pada TSR 2,92). FDA dapat secara signifikan dapat mengurangi fluktuasi beban [9].

Penggunaan *flow control* juga diaplikasikan dengan menggunakan beberapa parameter yaitu *split flap*, sudut defleksi flap, dan panjang flap. Perbandingan CP dan TSR dari turbin sumbu vertikal dengan *split flap* dengan parameter yang berbeda, diperoleh parameter desain optimum dari *split flap* dengan panjang optimal adalah 22%*c*, pengaturan optimal posisi 92%*c* dari *leading edge*, dan optimal sudut defleksi adalah 10°. Dibandingkan dengan indeks turbin, CPmax meningkat sebesar 5,8%, dan $\Delta\lambda$ meningkat sebesar 25,9%. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa dari

Tabel 2.
Parameter Mesh

Parameter	Detail	Value
Method	Geometri : Rotate domain, Triangles	Default
Inflation	Geometri : Interface, First Layer Thickness 1.5 mm	Transition ratio : 0.272
		Growth rate : 1.05 Maximum Layer : 5
Face Sizing Rotate Domain	Element Size	2.5 mm
Edge Sizing Rotate Domain	Number of Division	300
Edge Sizing Flap	Number of Division	225
Edge Sizing Hydrofoil	Number of Division	275
Edge Sizing Flap belakang	Number of Division	90
Skewness	Skewness maximum	0.76
Number of Elements & Nodes	Mesh 6	128938 & 98474



Gambar 2. Hasil GIT untuk Variasi Ukuran Mesh.

parameter desain *split flap*, sudut defleksi flap diberikan pengaruh terbesar pada kinerja turbin, sedangkan panjang flap memiliki pengaruh yang paling minim [10].

Telah banyak dilakukan penelitian dalam upaya untuk meningkatkan performansi dari turbin sumbu vertikal, tetapi turbin angin lebih mendominasi dibandingkan dengan turbin hidrokinetik. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh panjang *passive flap* terhadap performansi turbin hidrokinetik. Profil bilah NACA 0018 digunakan serta menerapkan *passive flap* pada *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine* tipe Darrieus. Metode numerik digunakan pada penelitian ini dengan bantuan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). *Computational Fluid Dynamics* digunakan untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada aliran fluida dan perubahan performansi yang terjadi akibat penambahan *passive flap*.

II. METODE PENELITIAN

A. Studi Literatur

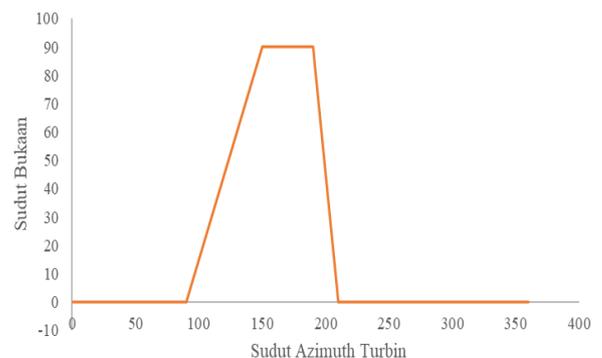
Dalam penelitian mengenai turbin hidrokinetik, diperlukan dasar teori yang menunjang berupa turbin hidrokinetik, *dynamic stall*, *self-starting*, karakteristik aliran, dan aliran eksternal. Kemudian dalam melakukan simulasi numerik diperlukan teori dasar mengenai *computational fluid dynamics*. Tahapan yang diperlukan dalam melakukan

Tabel 3.
Parameter setup simulasi

Tab	Parameter	Kondisi
General	Time	Transient
Model	Viscous	k- ω SST
Material	Fluid	Water Liquid
Boundary	Velocity Inlet	0.29 m/s
Dynamic Mesh	Smoothing	Spring Constant Factor = 0.1
		Convergence Tolerance = 10^{-4}
		Number of Iterations = 100
		Elements = All
		Minimum Length Scale = 0.0005 m
Remeshing	Maximum Length Scale = 0.001 m	
	Maximum Cell Skewness = 0.85	
References Values	Area	0.0625 m ²
	Length	0.05 m
	Depth	0.25 m
	Velocity	0.29 m/s
	Density	998.2 kg/m ³
Convergence	Viscosity	0,0001

Tabel 4.
Validasi hasil rpm simulasi dengan eksperimental

No	Hasil	Konfigurasi	Vin (m/s)	RPM	TSR	Selisih
1	Eksperimen	Clean	0.29	55.015	2.483	4.37%
2	Simulasi			57.421	2.589	



Gambar 3. Mekanisme UDF.

simulasi numerik juga dijelaskan. *Computational fluid dynamics* sendiri digunakan karena dapat memvisualisasi aliran yang tidak dapat dilihat pada eksperimental.

B. Identifikasi Masalah

Pada penelitian digunakan NACA 0018 sebagai profil bilah dari turbin. Pada simulasi ini dibahas mengenai pengaruh panjang *flap* dengan konfigurasi *inner* terhadap performansi dari turbin. Luaran dari penelitian ini antara lain adalah torsi, kontur kecepatan, dan kontur tekanan yang akan dihasilkan oleh turbin setelah ditambahkan *flow control* yaitu *flap* dengan panjang yang berbeda. Panjang flap dengan konfigurasi *in* divariasikan dengan variasi posisi *flap* pada 50% dan 75% *cord*, dengan masing-masing panjang *flap* 100%, 75%, dan 50% pada sudut bukaan maksimum *flap* 90°.

C. Preprocessing

Pada tahap ini dilakukan import dan penentuan geometri pada CFD, hal ini bertujuan agar tidak terjadi error pada saat melakukan *meshing*. Tahap berikutnya adalah proses *meshing*, proses ini merupakan tahapan paling penting dalam

Tabel 5.
Validasi hasil torsi simulasi dengan eksperimental

No	Hasil	Konfigurasi	Vin (m/s)	Torsi (Nm)	Selisih
1	Eksperimen	Flap 75C 100%	0.29	0.006	3.16%
2	Simulasi			0.00619	

Tabel 6.
Hasil simulasi untuk posisi flap 50% cord

Posisi Flap	Panjang (%)	Vin (m/s)	TSR	Torsi (Nm)	Cp
100	100	0.29	2.589	0.0056	0.0443
		0.35	2.817	0.0074	0.0436
		0.375	2.882	0.0099	0.0522
		0.4	2.97	0.0102	0.0486
		0.29	2.589	0.0040	0.0323
		0.35	2.817	0.0068	0.0404
50	75	0.375	2.882	0.0095	0.0503
		0.4	2.97	0.0097	0.0463
		0.29	2.589	0.0029	0.0236
		0.35	2.817	0.0061	0.0363
		0.375	2.882	0.0072	0.0383
		0.4	2.97	0.0084	0.0403

suatu CFD. *Meshing* bertujuan untuk mendiskritisasi domain fluida yang bersifat kontinu. Hal yang harus diperhatikan pada saat *meshing* adalah jenis *mesh* yang digunakan, ukuran elemen, banyak elemen, dan mesh matriks untuk evaluasi hasil *meshing*. Pada tahap ini juga diperlukan *grid independent test* (GIT). Penentuan geometri meliputi dimensi *span*, *chord*, *arm*, *shaft* yang sesuai dengan kondisi pada eksperimental. Dimensi turbin yang digunakan pada simulasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Gambar 1 merupakan ukuran penentuan geometri yang digunakan pada simulasi untuk mendapatkan hasil simulasi yang memiliki selisih tidak terlalu jauh dari hasil eksperimen.

Selanjutnya dilakukan *grid independent test* yang bertujuan mendapatkan *meshing* terbaik yang akan digunakan pada simulasi. Terdapat 7 *mesh* berbeda yang digunakan sebagai berikut.

Hasil GIT untuk variasi ukuran mesh dapat ditampilkan pada Gambar 2. Dari grafik GIT setiap ukuran *mesh* hampir memiliki hasil yang sama dan didapatkan variasi terbaik adalah variasi 6. Karena, *mesh* 6 tidak terjadi *error negative cell volume* ataupun *maximum defeaturing tolerance reached*. Tabel 2 merupakan parameter yang digunakan dalam *mesh* tersebut.

D. Processing

Simulasi akan dianggap berhasil ketika simulasi konvergen dengan nilai konvergen yang telah diatur. Untuk simulasi transien, penting untuk memulai pengambilan data setelah solusi mencapai keadaan stabil secara statistik. Dalam kasus turbin, biasanya konvergensi simulasi goyah ketika turbin berputar dan untuk menyatakannya jumlah minimum putaran turbin perlu dilanjutkan sebelum mencapai keadaan stabil secara statistik (Rezaeiha dkk., 2018). Untuk mencapai konvergensi, parameter *flow filed* dapat diatur ketika residu dari kontinuiti berkurang hingga 10^{-3} hingga 10^{-5} [11].

Akan diambil data yang berasal dari simulasi seperti gaya pada sumbu x dan y, serta juga bentuk kecepatan dan tekanan. Data gaya yang dihasilkan pada sumbu x dan y akan diolah menjadi gaya tangensial pada setiap lengan. Kemudian, nilai tersebut akan dikalikan dengan jari-jari turbin untuk menghasilkan torsi pada setiap lengan. Kemudian, akan dijumlahkan untuk mendapatkan total nilai torsi yang dihasilkan oleh turbin. Untuk menghasilkan data yang

diinginkan, parameter yang digunakan pada tahap ini seperti pada Tabel 3.

Untuk pengambilan data digunakan *dynamic mesh* dan *user defined function* (UDF) untuk melakukan pergerakan pada bagian *flap*. Pergerakan *flap* didefinisikan berdasarkan hasil eksperimen, dimana *flap* untuk lengan 1 memiliki 5 zona pergerakan dan *flap* untuk lengan 2 dan 3 memiliki 6 zona pergerakan.

Pada Gambar 3 *flap* mulai terbuka pada sudut azimuth 90° dan terbuka maksimal pada sudut azimuth 150°. Pada sudut azimuth 150° hingga 190°, *flap* tetap terbuka maksimal dan akan mulai menutup pada sudut azimuth 190° serta akan menutup sempurna pada sudut azimuth 210°.

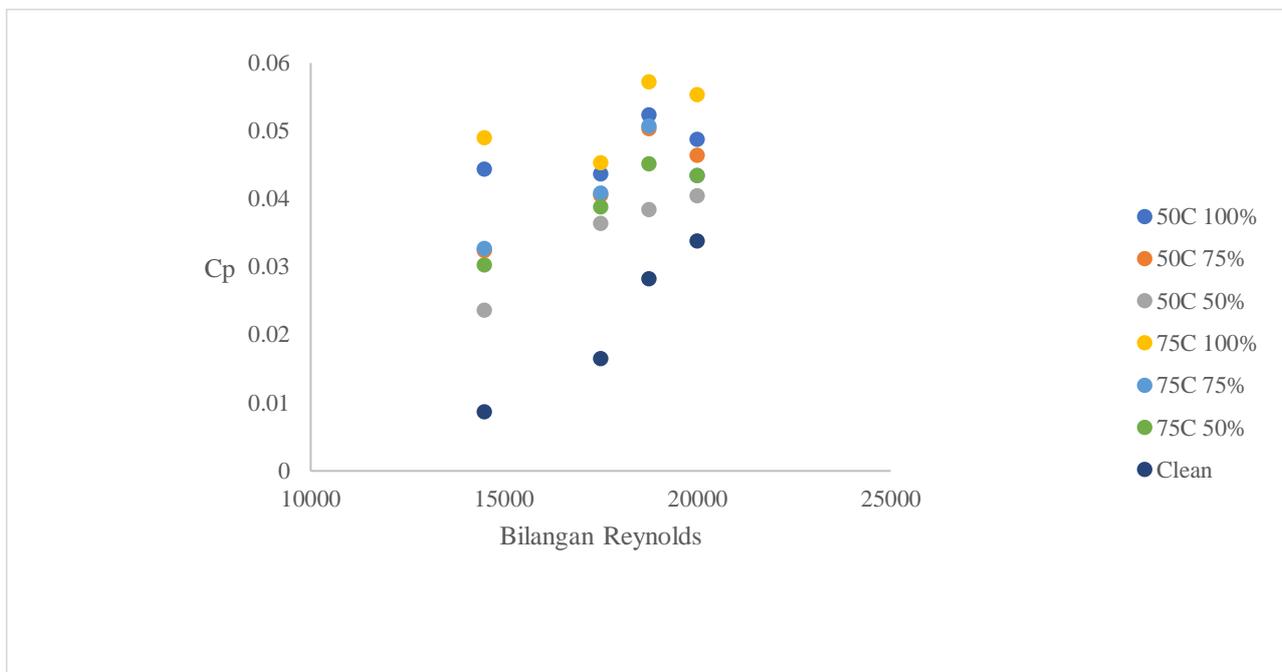
E. Postprocessing

Tahap terakhir dalam CFD adalah *postprocessing*, tahap ini dilakukan untuk mengetahui hasil dari simulasi yang telah dilakukan melalui grafik, kontur kecepatan dan tekanan. Pada tahap ini juga dilakukan pengolahan data untuk memperoleh nilai torsi dari nilai gaya yang sudah didapatkan. Pada tahap ini dapat dipilih mengenai visualisasi dari hasil simulasi yang telah dilakukan. Setelah itu, untuk melakukan ekspor video dari simulasi, tekan ikon film dan pilih animasi time step dan beri tanda centang pada opsi menyimpan movie. Kemudian, atur direktori penyimpanan sesuai keinginan. Terakhir, buka video dan saat selesai, video secara otomatis akan disimpan ke dalam direktori yang telah diatur tadi.

F. Validasi Hasil Simulasi

Setelah data dikumpulkan melalui simulasi, langkah berikutnya adalah melakukan validasi dengan data eksperimental. Validasi dilakukan untuk memastikan bahwa data simulasi yang diperoleh tidak berbeda jauh dibandingkan dengan hasil eksperimental. Dengan melakukan validasi, dapat diukur sejauh mana hasil simulasi dapat diandalkan dan apakah perlu dilakukan perbaikan atau penyesuaian pada simulasi. Validasi dilakukan dengan menggunakan parameter RPM dan Torsi yang dihasilkan oleh turbin untuk posisi *flap* pada 75% *cord* dengan panjang 100% pada kecepatan *inlet* 0.29 m/s.

Hasil data yang dibandingkan pada Tabel 4 adalah nilai RPM dan TSR dari hasil simulasi dan eksperimental yang dihasilkan oleh turbin. Validasi dilakukan pada variasi *clean*



Gambar 4. Grafik Cp terhadap Bilangan Reynolds Setiap Variasi Pada Semua Kecepatan.

untuk kecepatan *inlet* 0.29 m/s. Dari hasil simulasi didapatkan nilai RPM sebesar 57.421 dan hasil eksperimen sebesar 55.015 dengan selisih antara hasil simulasi dan hasil eksperimen adalah 4.37%. Nilai selisih tersebut kurang dari nilai toleransi yaitu 10%. Sehingga, data hasil simulasi telah tervalidasi.

Hasil data yang dibandingkan pada Tabel 5 adalah nilai torsi dan Cp dari hasil simulasi dan eksperimental yang dihasilkan oleh turbin. Validasi dilakukan pada variasi *flap* dengan posisi 75% *cord* dengan panjang 100% untuk kecepatan *inlet* 0.29 m/s. Dari hasil simulasi didapatkan nilai torsi sebesar 0.00619 Nm dan hasil eksperimen sebesar 0.006 Nm dengan selisih antara hasil simulasi dan hasil eksperimen adalah 3.16%. Nilai selisih tersebut kurang dari nilai toleransi yaitu 10%. Sehingga, data hasil simulasi telah tervalidasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi

Di bawah ini merupakan hasil dari pengambilan data untuk setiap variasi yang telah dilakukan. Simulasi dilakukan untuk konfigurasi *flap in* dengan bukaan maksimal 90°. Variasi geometri yang digunakan adalah untuk posisi 75% dari panjang *cord* secara berurutan adalah 3.75 cm (100%), 2.8125 cm (75%), dan 1.875 cm (50%). Panjang dari *flap* untuk posisi 50% dari panjang *cord* secara berurutan adalah 2.5 cm (100%), 1.875 cm (75%), dan 1.25 cm (50%).

Pada Tabel 6 merupakan hasil pengolahan data posisi *flap* pada 50% *cord* dengan nilai Cp tertinggi adalah untuk variasi panjang 100% pada kecepatan *inlet* 0.375 m/s dengan nilai 0.0522. Untuk Cp terendah terjadi pada variasi panjang 50% pada kecepatan *inlet* 0.29 m/s yaitu dengan nilai 0.0236. Hasil yang didapatkan menunjukkan turbin dapat berputar disetiap variasi kecepatan.

Pada 7 merupakan hasil pengolahan data posisi *flap* pada 75% *cord* dengan nilai Cp tertinggi adalah untuk variasi panjang 100% pada kecepatan *inlet* 0.375 m/s dengan nilai 0.0572. Untuk Cp terendah terjadi pada variasi panjang 50%

pada kecepatan *inlet* 0.29 m/s yaitu dengan nilai 0.0302. Hasil yang didapatkan menunjukkan turbin dapat berputar disetiap variasi kecepatan.

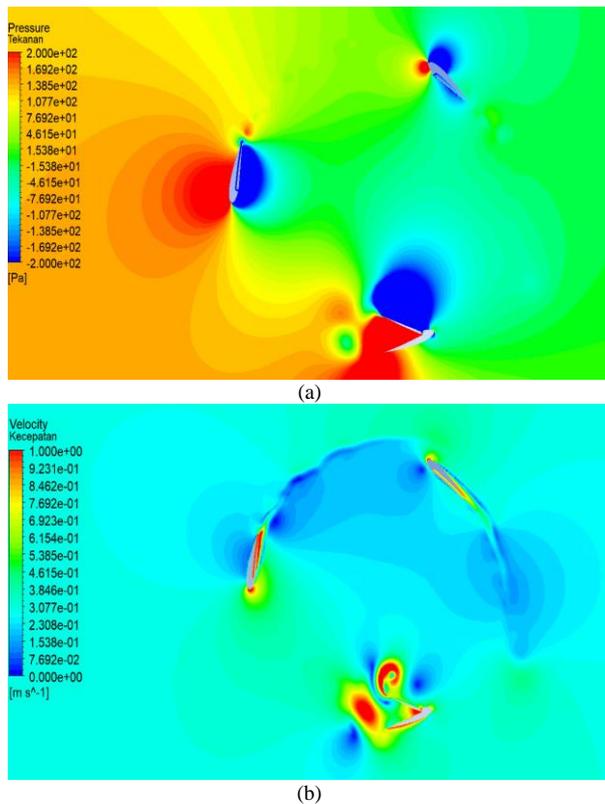
B. Pembahasan

Dengan menganalisis data yang ada untuk mengetahui fenomena dan kombinasi variasi terbaik untuk mendapatkan performansi terbaik dari turbin tipe Darrieus. Data berupa nilai Cp untuk masing-masing variasi pada setiap nilai Bilangan Reynolds yaitu 14500, 17500, 18750, dan 20000.

Pada Gambar 4 menunjukkan grafik Cp terhadap Bilangan Reynolds untuk semua variasi posisi dan panjang *flap* untuk semua nilai bilangan Reynolds. Dari grafik menunjukkan bahwa Cp terbesar dihasilkan pada bilangan Reynolds 14500 adalah variasi *flap* pada posisi 75% *cord* dengan panjang 100% yaitu 0.0489 dan terendah variasi *flap* pada posisi 50% *cord* dengan panjang 50% yaitu 0.0236. Untuk turbin tanpa adanya rekayasa geometri atau penambahan *passive moveable flap* didapatkan nilai Cp sebesar 0.0086. Cp terbesar dihasilkan pada bilangan Reynolds 17500 adalah variasi *flap* pada posisi 75% *cord* dengan panjang 100% yaitu 0.0452 dan terendah variasi *flap* pada posisi 50% *cord* dengan panjang 50% yaitu 0.0363. Untuk turbin tanpa adanya rekayasa geometri atau penambahan *passive moveable flap* didapatkan nilai Cp sebesar 0.0164.

Dari grafik menunjukkan bahwa Cp terbesar dihasilkan pada bilangan Reynolds 18750 adalah variasi *flap* pada posisi 75% *cord* dengan panjang 100% yaitu 0.0572 dan terendah variasi *flap* pada posisi 50% *cord* dengan panjang 50% yaitu 0.0383. Untuk turbin tanpa adanya rekayasa geometri atau penambahan *passive moveable flap* didapatkan nilai Cp sebesar 0.0281. Cp terbesar dihasilkan pada bilangan Reynolds 20000 adalah variasi *flap* pada posisi 75% *cord* dengan panjang 100% yaitu 0.0552 dan terendah variasi *flap* pada posisi 50% *cord* dengan panjang 50% yaitu 0.0403. Untuk turbin tanpa adanya rekayasa geometri atau penambahan *passive moveable flap* didapatkan nilai Cp sebesar 0.0337.

Dari Gambar 4 panjang *flap* 100% memiliki pengaruh terbesar dalam meningkatkan Cp. Nilai Cp tertinggi dihasilkan dari variasi posisi *flap* pada 75% *cord* dengan



Gambar 5. Kontur Tekanan dan Kecepatan pada Posisi *Flap* 75% *cord* dengan Panjang 100% pada Kecepatan 0.29 m/s.

panjang 100% pada bilangan Reynolds 18750 yaitu 0.0572. Dan nilai C_p terendah dihasilkan dari variasi posisi *flap* pada 50% *cord* dengan panjang 50% pada bilangan Reynolds 14500 yaitu 0.0236. Posisi *flap* 75% *cord* memberikan performa yang lebih baik dari posisi *flap* 50% *cord*. Semakin panjang *flap* maka luasan bidang yang ditabrak oleh aliran air akan lebih besar. Hal ini menyebabkan gaya *drag* yang terjadi pada bilah akan lebih besar dan menghasilkan resultan gaya yang besar juga.

Dari Gambar 5 (a) menunjukkan kontur tekanan untuk variasi panjang *flap* 100% dengan posisi *flap* pada 75% *cord* pada saat turbin berputar dengan posisi sudut azimuth 80° . Lengan 1 turbin terlihat belum mengalami proses pembukaan *flap* dan sedang tertutup secara penuh. Tekanan yang terjadi pada bagian *leading edge* cukup besar. Kecepatan pada lengan 1 ditunjukkan pada Gambar 5 (b), kecepatan yang terjadi pada bagian *trailing edge* dan *leading edge* hampir sama. Hal ini menyebabkan tekanan yang terjadi pada bagian *leading edge* lebih rendah dari pada tekanan yang terjadi pada *trailing edge*. Sehingga, lengan 1 akan bergerak ke bagian *leading edge* dengan nilai torsi yang dihasilkan oleh lengan 1 adalah -0.00057 Nm. Lengan 1 menghasilkan C_l dan C_d sebesar 0.000275 dan 0.000772.

Pada Gambar 5 (a) untuk Lengan 2, *flap* sedang dalam proses menutup dan sedang terbuka sekitar 40° . Terjadi perbedaan tekanan antara kedua sisi lengan yang mengakibatkan lengan akan bergerak sesuai dengan arah putaran turbin. Perbedaan tekanan ini juga berdampak terhadap gaya *lift* yang dapat memudahkan lengan 2 bergerak sesuai dengan arah putaran turbin. Pada Gambar 5 (b), lengan 2 memiliki kecepatan yang cukup tinggi di sekitar *trailing edge* yang menyebabkan gaya *drag* lebih tinggi dari pada gaya *lift*. Nilai koefisien *drag* dibanding dengan koefisien *lift* adalah 0.38 yang berarti kurang dari 1 atau gaya *drag* yang dihasilkan lebih tinggi dari pada gaya *lift*.

Lengan 3 pada Gambar 5 (a) menunjukkan *flap* sedang tertutup sempurna dan mengalami perbedaan tekanan pada sisi luar dan sisi dalam turbin yang mengakibatkan Lengan 3 akan bergerak sesuai dengan arah putaran dari turbin. Kecepatan pada lengan 3 ditunjukkan pada Gambar 5 (b), dimana aliran yang berinteraksi dengan lengan 3 telah terpengaruh oleh lengan 1. Sehingga, energi yang dibawa oleh aliran yang berinteraksi dengan lengan 3 telah diekstraksi oleh lengan 1 yang mengakibatkan torsi yang terjadi pada lengan 3 tidak maksimal yaitu sebesar 0.000603. Untuk nilai C_l dan C_d pada lengan 3 adalah 0.000164 dan 0.000855.

IV. KESIMPULAN

Panjang *passive moveable flap* dapat memberikan pengaruh terhadap performansi turbin hidrokinetik tipe Darrieus. Semakin panjang *passive moveable flap*, tekanan yang terjadi pada bagian *trailing edge* bilah lebih tinggi dari pada bagian *leading edge* bilah. Hal ini berdampak terhadap gaya resultan yang bekerja pada bilah yang memungkinkan turbin untuk berputar sesuai dengan arah putaran sebenarnya. Pada saat *passive moveable flap* terbuka maksimal dan membelakangi laju aliran, semakin panjang *passive moveable flap* berdampak terhadap semakin besarnya luasan area yang ditabrak oleh aliran. Jika luasan yang berinteraksi dengan aliran semakin besar akan menghasilkan tekanan yang semakin tinggi pula. Sehingga, gaya *drag* dari bilah akan meningkat dan performansi turbin juga akan mengalami peningkatan. Variasi panjang *passive moveable flap* memberikan pengaruh yang berbeda pada tiap variasinya. Dari hasil penelitian didapatkan variasi paling optimal dan memiliki C_p tertinggi adalah variasi panjang 100% dengan posisi *flap* berada pada 75% *cord* yaitu 0.0572. Semakin panjang *passive moveable flap* maka area yang berinteraksi dengan aliran akan semakin luas. Semakin luas area yang berinteraksi pada bilah akan menambah resultan gaya yang dihasilkan dan mengarah pada bagian *leading edge* dari bilah. Hal tersebut sesuai dengan persamaan gaya yaitu tekanan dikalikan dengan luas area. Sehingga, panjang *passive moveable flap* 100% akan memiliki pengaruh yang lebih baik dari pada panjang *passive moveable flap* 75% dan 50% disemua posisi *passive moveable flap* dan posisi *flap* terbaik adalah pada 75% *cord*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Florin Frunzulica, Alexandru Dumitrache, and Bogdan Suatean, "Numerical Investigations of Passive Flow Control Elements for Vertical Axis Wind Turbine," in *AIP Conference Proceedings*, 2014, pp. 331–340. doi: 10.1063/1.4904596.
- [2] M. Kadir, R. Ahmadian, B. Bockelmann-Evans, W. Rauen, and R. Falconer, "A review of the potential water quality impacts of tidal renewable energy systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 1, pp. 329–341, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.rser.2011.07.160.
- [3] P. Ghiasi, G. Najafi, B. Ghobadian, A. Jafari, and M. Mazlan, "Analytical study of the impact of solidity, chord length, number of blades, aspect ratio and airfoil type on H-Rotor Darrieus Wind Turbine Performance at low Reynolds number," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 5, Mar. 2022, doi: 10.3390/su14052623.
- [4] B. Mantravadi, D. Unnikrishnan, K. Sriram, A. Mohammad, L. Vaitla, and R. K. Velamati, "Effect of solidity and airfoil on the performance of vertical axis wind turbine under fluctuating wind conditions," *Int J Green Energy*, vol. 16, no. 14, pp. 1329–1342, Nov. 2019, doi: 10.1080/15435075.2019.1671408.

- [5] Y. H. Xie, W. Jiang, K. Lu, and D. Zhang, "Numerical investigation into energy extraction of flapping airfoil with gurney flaps," *Energy*, vol. 109, pp. 694–702, 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.05.039.
- [6] T. Yavuz, E. Koc, B. Kilkis, T. Erol, C. Balas, and T. Aydemir, "Performance analysis of the airfoil-slat arrangements for hydro and wind turbine applications," *Renew Energy*, vol. 74, pp. 414–421, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.renene.2014.08.049.
- [7] N. Liggett and M. J. Smith, "The physics of modeling unsteady flaps with gaps," *J Fluids Struct*, vol. 38, no. April, pp. 255–272, Apr. 2013, doi: 10.1016/j.jfluidstructs.2012.12.010.
- [8] Y. Qian, Y. Zhang, Y. Sun, and T. Wang, "Numerical investigations of the flow control effect on a thick wind turbine airfoil using deformable trailing edge flaps," *Energy*, vol. 265, no. April, pp. 1–24, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.energy.2022.126327.
- [9] H. Zhu, W. Hao, C. Li, Q. Ding, and B. Wu, "A critical study on passive flow control techniques for straight-bladed vertical axis wind turbine," *Energy*, vol. 165, no. Desember, pp. 12–25, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.09.072.
- [10] L. Zhang *et al.*, "Influences of trailing edge split flap on the aerodynamic performance of vertical axis wind turbine," *Energy Sci Eng*, vol. 9, no. 1, pp. 101–115, Jan. 2021, doi: 10.1002/ese3.818.
- [11] W. Hao, M. Bashir, C. Li, and C. Sun, "Flow control for high-solidity vertical axis wind turbine based on adaptive flap," *Energy Convers Manag*, vol. 249, no. October, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2021.114845.