

# KAJIAN NUMERIK PENGARUH VARIASI SUDUT *STAGGER* DAN DIAMETER SILINDER SIRKULAR DI SISI *ADVANCING BLADE* TERHADAP KINERJA TURBIN AIR SAVONIUS BERSUDU KOMBINASI MYRING N=1 DAN N=2

Firdaus Styo Fathoni<sup>1</sup>, Priyo Agus Setiawan<sup>2</sup>, Daisy Dwijati K.R.A<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 60111

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 60111

<sup>3</sup> Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 60111

E-mail: [firdausstyo@student.ppens.ac.id](mailto:firdausstyo@student.ppens.ac.id)<sup>1\*</sup>

---

**Abstract** – Indonesia has a great potential to use water currents as an energy source that can be converted into electricity. Savonius water turbines can be used as its solution to make it. Its performance can be improved by modifying its combined blades with myring  $n=1$  and  $n=2$  and also by adding a circular cylinder on it. The Computational Fluid Dynamics (CFD) method with Ansys 17.2-Fluent and Tecplot software are chosen and used for its flow characteristics study produced by the turbine. Gambit software is also used to create geometry and domain models. The boundary condition of the model include the inlet as the input properties area with an initial velocity of 0.22 m/s as analysis limitation of control surface on the test model. The modification include the use of combined blade with myring  $n=1$  and  $n=2$ . One circular cylinder is added in front of the advancing blade so that the flow velocity will be higher and its efficiency can be increased. Circular cylindrical diameters are various i.e.  $ds/D=0.2$ ; 0.3 and 0.4 with  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  and  $60^\circ$  stagger elevation angles. The results obtained from this research are the values of torque coefficient ( $C_m$ ), power coefficient ( $C_p$ ), pressure distribution and fluid flow characteristics. Turbine performance has the highest increase (35.86%) on  $ds/D=0.4$  with  $60^\circ$  stagger elevation angle variation. The greatest decrease (30.11%) occurred on  $ds/D=0.4$   $0^\circ$  stagger elevation angle variation without using circular cylinder.

**Keywords:** Circular Cylinder, Computational Fluid Dynamics (CFD), Flow Characteristics, Myring, Savonius Turbine Water .

---

## Nomenclature

N	= Jumlah Putaran
n	= Kecepatan putaran
$\theta$	= Derajat waktu langkah putaran
$\omega$	= Kecepatan sudut
U	= Kecepatan aliran fluida
As	= Luas permukaan turbin
D	= Diameter turbin
H	= Tinggi turbin
$\rho$	= Massa jenis
P	= Daya turbin
$C_p$	= Koefisien Performa
$C_t$	= Koefisien Torsi
TSR	= Tip Speed Ratio

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di dunia semakin meningkat seiring dengan perkembangan zaman yang semakin pesat. Hal ini dikarenakan juga untuk mencukupi

kehidupan manusia sehari-hari dan keperluan dunia industri. Penggunaan energi fosil yang berlebih bisa menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan seperti pemanasan global, energi fosil termasuk energi yang tidak dapat diperbarui dan dapat habis sehingga sumber sumber energi baru untuk pengganti diperlukan.

Indonesia memiliki potensi besar untuk penggunaan arus air karena termasuk negara maritim dan memiliki sekitar 17.500 pulau. Dengan panjang garis pantai lebih dari 81.290 km, Indonesia memiliki potensi energi arus laut sekitar 41 gigawatt yang dapat menghasilkan daya listrik hingga 240.000 megawatt (ESDM, 2014). Pengembangan arus air dirasa tepat karena dapat mengatasi ketergantungan terhadap energi fosil. Selain ramah lingkungan energi arus air merupakan sumber daya yang sangat melimpah dan dapat diperoleh terus-menerus sepanjang tahun dengan cuma-cuma. Turbin air menjadi salah satu solusi untuk

pemanfaatan energi arus air (mengubah energi potensial menjadi energi mekanik). Energi mekanik ini diubah menjadi energi listrik menggunakan generator. Beberapa keuntungan dari penggunaan turbin air adalah tidak bising, menggunakan alat konversi yang kecil, dan memiliki densitas yang besar dimana densitas ini nantinya akan berpengaruh pada gaya dorong yang dihasilkan arus dan nilai daya dapat meningkat seiring gaya dorongnya.

Turbin *Savonius* pertama kali diperkenalkan ke dunia pada tahun 1922 oleh Sigurd J. Savonius yang berasal dari Finlandia. Turbin air (*Savonius*) menjadi salah satu solusi pemanfaatan energi arus air yang tepat di Indonesia karena turbin ini memiliki kelebihan tidak membutuhkan torsi awal yang tinggi dan dapat bekerja pada kecepatan aliran fluida rendah. Turbin tersebut memiliki sumbu vertikal yang terdiri dari dua sumbu yang berbentuk setengah silinder yang dirangkai sehingga berbentuk seperti huruf "S". Satu sisi berbentuk cembung dan sisi yang lain berbentuk cekung yang nantinya akan menciptakan gaya hambat yang ditimbulkan oleh air. *Advancing blade* dan *returning blade* merupakan sebutan untuk kedua sumbu pada turbin *savonius*. Kedua sudu ini mempunyai fungsi masing-masing yaitu bertujuan untuk menciptakan torsi positif dan torsi negatif, serta adanya gaya hambat yang berbeda-beda pada setiap sudu turbin. Perbedaan gaya hambat ini dari *advancing blade* dan *returning blade* akan menghasilkan torsi, yang apabila dikalikan dengan kecepatan angular dari turbin air maka akan menghasilkan daya yang diciptakan oleh turbin air. Daya yang dihasilkan akan semakin besar apabila selisih gaya hambat pada kedua sudu tersebut semakin membesar. Pengurangan gaya hambat pada sudu *returning blade* merupakan pilihan lain yang dapat dilakukan.

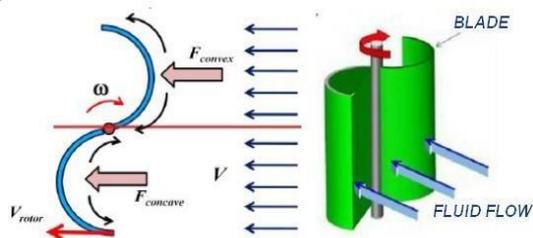
Penelitian ini juga menggunakan sudu kombinasi dengan *myring*  $n=1$  dan  $n=2$ . Kontur kecepatan aliran, kontur tekanan, dan distribusi tekanan pada model turbin air *savonius* tersebut nantinya akan dianalisa menggunakan metode *computational fluid dynamics* dengan software *ANSYS 17.2-Fluent* dan *Tecplot* serta software *Gambit* untuk geometri. Pemberian kondisi batas model ini dibagi menjadi sembilan kondisi batas yaitu sudu atas depan *savonius*, sudu atas belakang *savonius*, sudu bawah depan *savonius*, sudu bawah belakang *savonius*, inlet sebagai daerah input properties kecepatan awal, outlet sebagai batas analisa control surface pada model uji, serta pemberian batas atas dan batas bawah sebagai wall.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Turbin *Savonius* Sumbu Vertikal

Turbin *Savonius* sumbu vertikal pertama kali diciptakan oleh Sigurd Johannes Savonius pada tahun 1922. Turbin ini memiliki sumbu vertikal dengan bentuk sudu berbentuk setengah silinder dan

menyerupai huruf "S". Turbin ini juga disebut sebagai turbin *drag* karena cara menggerakannya memanfaatkan gaya *drag* pada sudu-sudunya. Terdapat dua sisi pada turbin ini, yaitu sisi yang berbentuk cembung disebut *returning blade* dan sisi cekung yang disebut *advancing blade*. Sisi *returning blade* membelakangi arah aliran fluida yang datang, sedangkan sisi *advancing blade* tegak lurus terhadap arah datangnya aliran fluida sehingga berfungsi sebagai penangkap aliran. Gaya *drag* pada turbin *Savonius* ini nantinya dapat menghasilkan daya dengan cara mengubah energi kinetik dari air menjadi energi mekanis pada generator yang kemudian menjadi energi listrik. Kelebihan dari turbin *Savonius* adalah tidak memerlukan torsi awal untuk memutarinya. Rotor ini dapat dimanfaatkan pada aliran sungai-sungai dengan kecepatan aliran yang rendah dan potensi ketinggian yang rendah tanpa harus memakan banyak ruang dan rotor ini mampu mendapat koefisien daya yang cukup tinggi pada aliran air dengan kondisi tersebut. Skema dari Turbin *Savonius* dan rotornya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Skema Turbin *Savonius* Dua Sudu dengan Gaya *Drag*

Bagian cekung sudu turbin ini menangkap dan mengkonversikan energi kinetik yang dihasilkan oleh aliran fluida yang berupa angin atau air. Selanjutnya energi yang ditangkap dan dikonversi menjadi energi mekanik untuk menggerakkan turbin *Savonius* dengan arah gerakan rotasi. Bentuk dari sudu turbin *Savonius* memiliki gaya *drag* yang sedikit saat bergerak akibat aliran fluida atau  $F_{convex}$  dibandingkan dengan sudu yang bergerak oleh aliran fluida atau  $F_{concave}$ . Prinsip kerja turbin *Savonius* sumbu vertikal yaitu, ketika turbin berputar sepertiga dari revolusinya, bagian sudu yang terbuka menerima aliran fluida yang berada di belakangnya, kemudian sudu selanjutnya akan berputar dan menerima aliran fluida. Proses ini akan terus berulang-ulang selama ada aliran fluida.

### 2.2 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds adalah salah satu bilangan yang tidak berdimensi yang digunakan untuk mengidentifikasi 3 jenis aliran yang berbeda, dimana aliran tersebut adalah laminar, transisi, dan turbulen. Bilangan Reynolds dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$Re = (\rho \cdot U \cdot D) / \mu \quad (1)$$

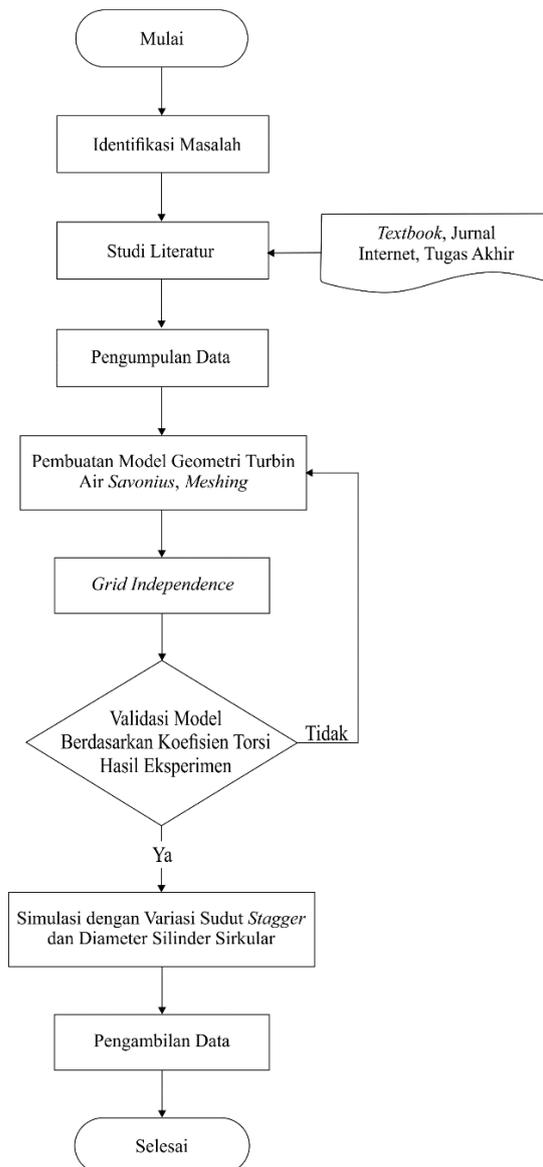
### 2.3 Kinerja Turbin

Turbin *Savonius* berputar 360 derajat mulai dari posisi pertama dan kembali pada posisi yang relatif sama terhadap sumbu tengah untuk mencapai satu rotasi. Time step size (TSS) mewakili kenaikan sudut untuk setiap rotasi langkah dan number of time step (NTS) mewakili total putaran turbin. Persamaan dari time step size (TSS) dan number of time step (NTS) dapat ditentukan sebagai berikut:

$$NTS = n \frac{360}{\theta} \quad (2)$$

$$TSS = \frac{n}{0,1591 \times \omega \times NTS} \quad (3)$$

### 2.4 Diagram Alir

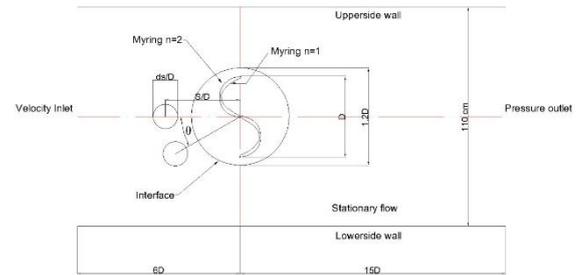


Gambar 2.2 Diagram Alir

### 2.5 Pembuatan Model dan Domain Pemodelan Dua Dimensi (2D)

Dalam tahap ini pembuatan dan penggambaran desain dilakukan sesuai dengan konfigurasi turbin air savonius konvensional (tanpa penghalang) saat

pengujian berupa dua dimensi dan pemberian kondisi batas (*Boundary Condition*).



Gambar 2.3 Skema Konfigurasi Pada Simulasi Turbin Air Savonius

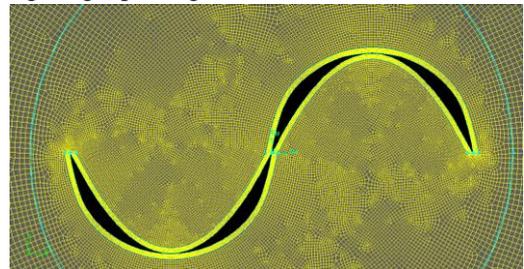
Pembuatan domain pemodelan turbin air *Savonius* menggunakan software *Gambit 2.4.6* ditujukan untuk memudahkan proses meshing dan mengatur kondisi batas (*boundary condition*) yang disesuaikan dengan kondisi pengujian eksperimen.



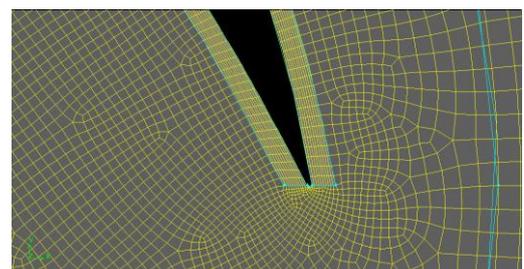
Gambar 2.4 Domain Pemodelan

### 2.6 Meshing

Setiap model geometri yang sudah dibuat akan dibagi menjadi elemen-elemen kecil. Bentuk, jumlah, dan ukuran elemen yang diperlukan ditentukan sesuai dengan kebutuhan sehingga didapatkan hasil yang akurat dan baik. Tipe Quad Map digunakan untuk daerah luar sudu dan tipe Quad Pave digunakan untuk daerah sekitar sudu pada pembuatan mesh. Kualitas mesh merupakan hal yang sangat penting dalam simulasi CFD.



Gambar 2.5 Mesh pada Bidang Sekitar Sudu

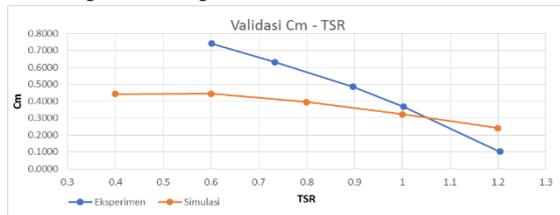


Gambar 2.6 Detail Mesh di Sekitar Sudu

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Validasi Model

Validasi antara hasil simulasi dengan eksperimen dilakukan untuk mengetahui apakah hasil simulasi sudah mendekati atau sesuai dengan eksperimen. Validasi model dilakukan pada kondisi turbin tanpa menggunakan silinder sirkular. Pola kurva koefisien torsi ( $C_m$ ) dan tip speed ratio (TSR) yang dihasilkan simulasi dan eksperimen dijadikan dasar acuan untuk proses validasi. Model dapat dikatakan valid atau bisa diterima jika hasil simulasi pola kurva  $C_m$ -TSR sudah mendekati atau memiliki kemiripan dengan eksperimen. Hal ini dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi 5 variasi TSR terhadap hasil eksperimen.



Gambar 3.1 Grafik Validasi Hasil Simulasi dengan Eksperimen

#### 3.2 Perhitungan NTS (Number of Time Step) dan TSS (Time Step Size)

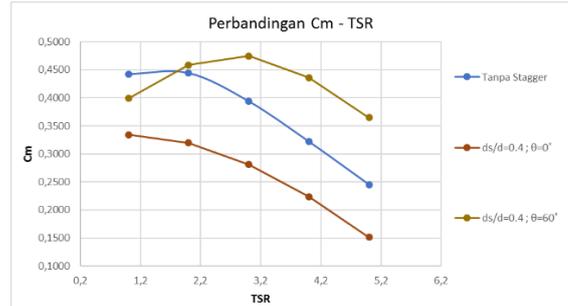
Perhitungan NTS dan TSS dilakukan setelah mengetahui nilai  $\omega$ , RPM dan TSR dari hasil eksperimen. Nilai NTS dan TSS digunakan untuk data input pada *Ansys Fluent* (software simulasi) agar nilai TSR hasil simulasi nantinya mendekati dengan eksperimen. Pada kecepatan aliran  $U=0,22$  m/s diambil nilai NTS dan TSS.

Tabel 3.1 Hasil Perhitungan NTS dan TSS

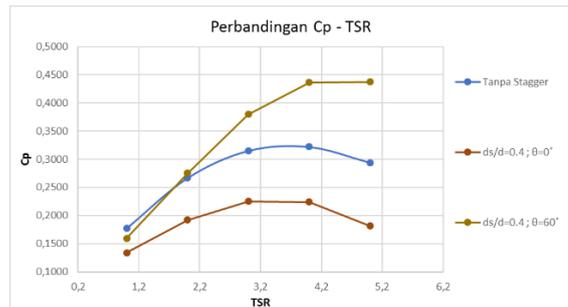
TSR	U (m/s)	D (m)	W (rad/s)	n (rpm)	NTS (s)	TSS (s)
0,4	0,22	0,4	0,44	420,169	1,512,608	0,039668
0,6	0,22	0,4	0,66	6,302,536	2,268,913	0,026445
0,8	0,22	0,4	0,88	8,403,881	3,025,397	0,019834
1	0,22	0,4	1,1	1,050,423	3,781,523	0,015867
1,2	0,22	0,4	1,32	1,260,507	4,537,825	0,013223

#### 3.3 Perbandingan Kinerja Turbin Air Savonius

Pada penelitian ini akan di lakukan pembahasan tentang pengaruh penambahan *stagger* silinder sirkular terhadap kinerja turbin air savonius bersudu kombinasi menggunakan metode simulasi numerik CFD. Setelah simulasi dilakukan pada semua variasi maka akan dilakukan perbandingan hasil koefisien torsi ( $C_m$ ) dan koefisien daya ( $C_p$ ). Kinerja turbin mengalami peningkatan tertinggi (35,86%) pada variasi  $ds/D=0,4$  dengan sudut elevasi *stagger*  $60^\circ$ . Penurunan terbesar (30,11%) terjadi pada variasi  $ds/D=0,4$  dengan sudut elevasi *stagger*  $0^\circ$  tanpa menggunakan silinder sirkular.



Gambar 3.2 Grafik Perbandingan Koefisien Torsi



Gambar 3.3 Grafik Perbandingan Koefisien Daya

Setelah semua data hasil simulasi telah diolah maka akan didapatkan hasil berupa tabel perbandingan koefisien daya seperti berikut:

Tabel 3.2 Perbandingan Koefisien Daya Turbin

Perbandingan Koefisien Daya ( $C_p$ )					
Variasi	TSR	Nilai $C_p$	Presentase (%)	Keterangan	
Tanpa Stagger	1	0,3221	-	-	
$ds/D=0,2$	$\theta=0^\circ$	1	0,2754	-14,4986	Turun
	$\theta=30^\circ$	1	0,3345	3,8497	Relatif Sama
	$\theta=60^\circ$	1	0,3711	15,2127	Naik
$ds/D=0,3$	$\theta=0^\circ$	1	0,2546	-20,9562	Turun
	$\theta=30^\circ$	1	0,3336	3,5703	Relatif Sama
	$\theta=60^\circ$	1	0,3971	23,2847	Naik
$ds/D=0,4$	$\theta=0^\circ$	0,8	0,2251	-30,1149	Turun
	$\theta=30^\circ$	1	0,3400	5,5573	Naik
	$\theta=60^\circ$	1,2	0,4376	35,8584	Naik

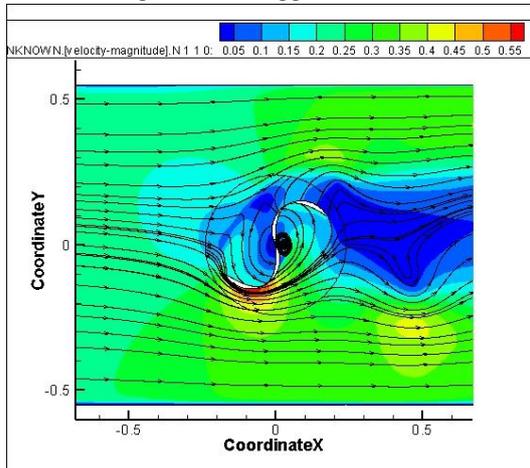
#### 3.4 Karakteristik Aliran pada Turbin Air Savonius dengan Penambahan Silinder Sirkular

Karakteristik aliran yang melalui turbin air *savonius* berupa kontur kecepatan aliran, kontur tekanan dan distribusi tekanan merupakan fenomena yang sulit diamati dalam eksperimen. Maka dari itu penelitian yang berbasis simulasi dengan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*) perlu dilakukan sehingga dapat mengamati terjadinya kontur kecepatan aliran dan kontur tekanan serta distribusi tekanan dalam sebuah eksperimen. Karakteristik aliran yang diperoleh dari visualisasi hasil simulasi juga dapat digunakan untuk menganalisa beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja turbin air *savonius*.

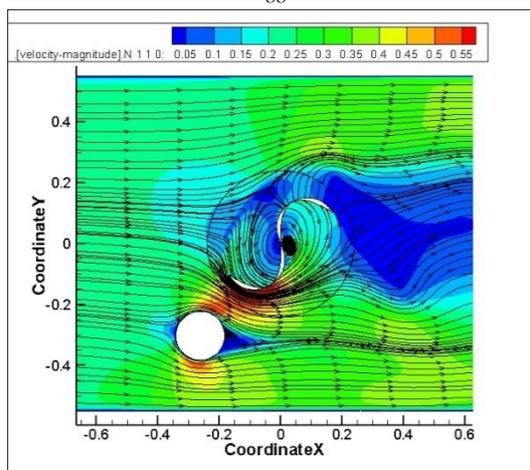
Pola kecepatan aliran yang melalui turbin akan berpengaruh terhadap kinerja turbin. Pola kecepatan aliran digunakan untuk mengetahui *wake* yang tersusun dari interaksi vortex saat terkena sudu turbin. Nilai koefisien torsi tertinggi didapatkan ketika posisi sudut putar turbin  $30^\circ$ , sehingga pola

kecepatan aliran, kontur tekanan, dan distribusi tekanan saat sudut tersebut dengan kecepatan arus air 0,22 m/s diambil.

Gambar 3.4 menunjukkan kontur kecepatan aliran pada turbin *savonius* tanpa penambahan silinder sirkular, sedangkan gambar 3.5 dan 3.6 menunjukkan kontur kecepatan aliran pada variasi  $ds/D=0,4$  dengan sudut stagger  $60^\circ$  dan  $0^\circ$ .

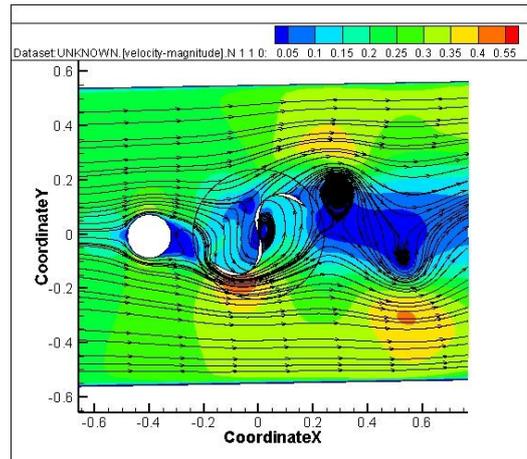


Gambar 3.4 Kontur Kecepatan Aliran pada Turbin Tanpa Stagger



Gambar 3.5 Kontur Kecepatan Aliran pada Variasi  $ds/D=0,4$  ; Stagger  $60^\circ$

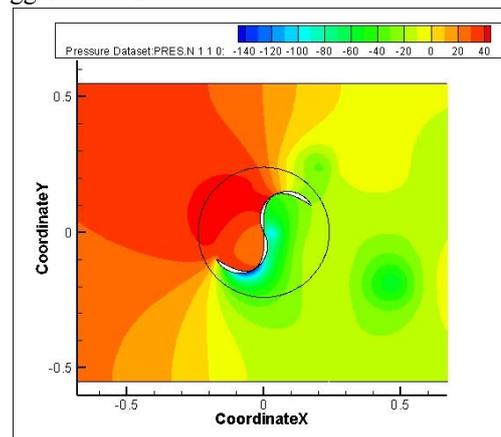
Pada variasi  $ds/D=0,4$  dengan sudut stagger  $60^\circ$  (gambar 3.5) terbentuknya peningkatan kecepatan aliran (*attached flow*) dapat dilihat di sisi belakang *advancing blade* yang dominan. Tekanan pada daerah tersebut akan menurun dikarenakan terbentuknya *attached flow* sehingga terjadi perbedaan tekanan di sisi depan dan belakang *advancing blade* yang meningkat. Perbedaan tekanan di sisi *advancing blade* jauh lebih dominan dibandingkan di sisi *returning blade*, hal ini disebabkan penempatan silinder sirkular di sisi samping *advancing blade*. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat kontur tekanan dan distribusi tekanan pada gambar 3.8 dan 3.11. Tekanan di sisi belakang *advancing blade* menjadi yang paling dominan sehingga kinerja turbin mengalami peningkatan.



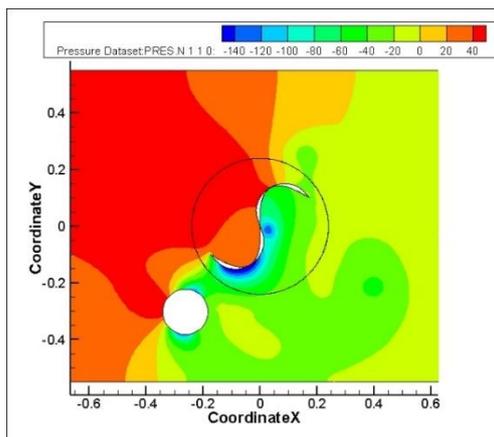
Gambar 3.6 Kontur Kecepatan Aliran pada Variasi  $ds/D=0,4$  ; Stagger  $0^\circ$

Pada variasi  $ds/D=0,4$  dengan sudut stagger  $0^\circ$  (gambar 3.6) kecepatan aliran mendekati berhenti (*stagnation flow*) yang signifikan terbentuk di area *returning blade* dan terdapat *blockage effect* disebabkan penempatan silinder sirkular berdiameter besar di sisi depan turbin yang searah dengan datangnya aliran. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat kontur tekanan dan distribusi tekanan pada gambar 3.9 dan 3.12. Tekanan di depan *returning blade* menjadi lebih besar dibandingkan dengan tekanan di depan *advancing blade* sehingga kinerja turbin mengalami penurunan.

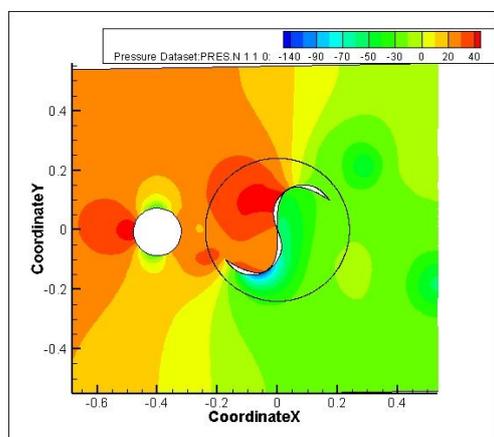
Gambar 3.7 menunjukkan kontur tekanan pada turbin *savonius* tanpa penambahan silinder sirkular, sedangkan gambar 3.8 dan 3.9 menunjukkan kontur tekanan aliran pada variasi  $ds/D=0,4$  dengan sudut stagger  $60^\circ$  dan  $0^\circ$ .



Gambar 3.7 Kontur Tekanan pada Turbin Tanpa Stagger

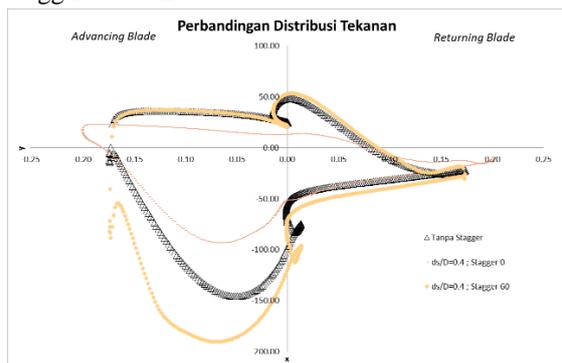


Gambar 3.8 Kontur Tekanan pada Variasi  $ds/D=0,4$  ; Stagger  $60^\circ$



Gambar 3.9 Kontur Tekanan pada Variasi  $ds/D=0,4$  ; Stagger  $0^\circ$

Gambar 3.10 menunjukkan distribusi tekanan sepanjang pada turbin *savonius* tanpa penambahan silinder sirkular serta variasi  $ds/D=0,4$  dengan sudut stagger  $60^\circ$  dan  $0^\circ$ .



Gambar 3.10 Perbandingan Distribusi Tekanan

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dari penelitian yang telah dilakukan, dapat di tarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh penambahan silinder sirkular pada sisi *advancing blade* menyebabkan kenaikan dan penurunan pada kinerja turbin, hal ini didasarkan pada nilai koefisien torsi dan koefisien daya yang dihasilkan tiap variasi. Peningkatan kinerja tertinggi (35,86%) terjadi

pada variasi diameter  $ds/D=0,4$  dengan sudut elevasi *stagger*  $60^\circ$  pada TSR 1,2. Sedangkan penurunan terbesar (30,11%) terjadi pada variasi diameter  $ds/D=0,4$  dengan sudut elevasi *stagger*  $0^\circ$  pada TSR 0,8.

2. Pada variasi turbin yang mengalami peningkatan kinerja, peningkatan kecepatan aliran (*attach flow*) yang cukup dominan terjadi di depan *advancing blade* sehingga tekanan di sisi tersebut meningkat. Sedangkan pada variasi turbin yang mengalami penurunan kinerja, kecepatan aliran mendekati berhenti (*stagnation flow*) yang cukup dominan terjadi pada sisi depan *returning blade* sehingga tekanan pada sisi tersebut meningkat. Sedangkan distribusi tekanan yang terjadi sepanjang blade berbanding lurus dengan kinerja turbin.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian dan penyusunan jurnal ini tidak lepas dari kerjasama, bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak. Penulis menyadari bahwa jurnal ini masih jauh dari kata sempurna. Harapan penulis dapat mendapatkan kritik ataupun saran yang dapat membangun agar penelitian yang telah dilakukan menjadi lebih baik lagi. Semoga jurnal ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

#### 6. PUSTAKA

- [1] Ariwiyono, N., Setiawan, P. A., Husodo, A. W., Sudiyono, Subekti, A., Juniani, A. I., So'im, S., Lukitadi, P. P. S., Indarti, R., & Hamzah, F. (2019). *A numerical study of the turbulence model influence on a Savonius wind turbine performance by means of moving mesh. Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 42(3), 91–93. <https://doi.org/10.26480/jmerd.03.2019.91.93>
- [2] Setiawan, P. A., Yuwono, T., & Widodo, W. A. (2018). *Numerical simulation on improvement of a Savonius vertical axis water turbine performance to advancing blade side with a circular cylinder diameter variations. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 200(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/200/1/012029>
- [3] Wenehenubun, F., Saputra, A., & Sutanto, H. (2015). *An experimental study on the performance of Savonius wind turbines related with the number of blades. Energy Procedia*, 68, 297-304. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.259>
- [4] Daniel, Fernando. 2017. "Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Sirkular Sebagai Pengganggu Aliran Di Depan Sisi *Returning Blade* Terhadap Performa Turbin Angin Tipe *Savonius*."