

## Studi Simulatif Pengaruh Sudut Kemiringan Sudu, *Tip Speed Ratio* dan Soliditas terhadap Faktor Daya Turbin Darrieus Dengan Profil Sudu NACA0021

Abdulkadir, Harianto, dandung Rudy Hartana  
Prodi Teknik Mesin, ITNY  
Korespondensi : abdulkdir@itny.ac.id

### ABSTRAK

Banyak variabel yang berpengaruh terhadap kinerja turbin Darrieus, di antaranya adalah bentuk profil sudu, kemiringan sudu dan lebar sudu. Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh soliditas, *tip speed ratio* dan sudut kemiringan sudu terhadap koefisien daya ( $C_p$ ) turbin Darrieus secara simulatif dengan CFD Fluent. Simulasi dilakukan pada model turbin air Darrieus dengan profil sudu NACA0021, diameter rotor 25 cm, panjang rotor 25 cm, jumlah sudu 3 buah, variasi lebar sudu 4 cm, 5 cm dan 6 cm, variasi sudut kemiringan sudu  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ , dan  $10^\circ$ , variasi putaran 60 rpm, 80 rpm, 100 rpm, 120 rpm, 150 rpm dan 200 rpm. Dari hasil simulasi diperoleh harga faktor daya maksimum sebesar 3,2609 % pada soliditas ( $\sigma$ ) 0,9, *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) sebesar 1,0467 dan sudut kemiringan sudu  $5^\circ$ .

Kata-kata kunci: turbin Darrieus, NACA0021, faktor daya, soliditas, tip speed ratio, sudut kemiringan.

### ABSTRACT

*Performance of Darrieus turbines are influenced by many factors, among them are blade profile, blade angle of inclination ( $\alpha$ ), tip speed ratio ( $\lambda$ ), and blade solidity ( $\sigma$ ). The objective of the research is to investigate the influences of  $\alpha$ ,  $\lambda$ , and  $\sigma$  to the power factor ( $C_p$ ) of a vertical Darrieus water turbine by mean of CFD FLUENT simulation. The simulation has been conducted in a 20 cm rotor diameter, 25 cm rotor length, 3 blades, NACA0021 blade profile vertical Darrieus water turbine. Blade length variations are 4 cm, 5 cm and 6 cm; blade angle of inclination variations are  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  and  $10^\circ$ ; and rotor speed variations are 60 rpm, 80 rpm, 100 rpm, 120 rpm, 150 rpm, and 200 rpm. It is concluded from the research that maximum  $C_p$  is 3.2609 % achieved at  $\sigma = 0.9$ ,  $\lambda = 1.0467$  and  $\alpha = 5^\circ$ .*

**Keywords :** Darrieus turbine, NACA0021, power factor, solidity, tip speed ratio, angle of inclination..

### 1. PENDAHULUAN

Turbin air Darrieus sumbu vertikal memiliki beberapa keunggulan bila dibandingkan dengan turbin lain, di antaranya adalah konstruksi sederhana, tidak tergantung arah aliran air dan mampu beroperasi pada harga tip speed ratio ( $\lambda$ ) yang rendah. Sedangkan kelemahannya antara lain adalah memiliki harga faktor daya ( $C_p$ ) yang rendah dan tidak dapat melakukan pengawalan sendiri.

Banyak faktor yang berpengaruh terhadap faktor daya, di antaranya adalah bentuk profil penampang sudu, soliditas dan *tip speed ratio*. Untuk mengkaji hal tersebut dapat dilakukan dengan suatu model fisik atau dengan model simulasi. Pemodelan dengan simulasi memiliki beberapa keuntungan bila dibandingkan dengan pemodelan secara fisik, antara lain biaya murah dan peralatan sederhana, yaitu hanya memerlukan komputer dan *software CFD Fluent*. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi pengaruh soliditas, *tip speed ratio* dan sudut kemiringan sudu terhadap faktor daya turbin air Darrieus sumbu vertikal dengan profil sudu NACA0021 dengan simulasi CFD Fluent. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui dimensi dan konstruksi turbin yang mampu menghasilkan faktor daya yang maksimum yang layak digunakan untuk kegunaan praktis.

Jaini dkk. (2015) dengan penelitiannya pada turbin Darrieus sumbu horisontal, dengan diameter 500 mm, panjang 875 mm, jumlah sudu 6 dengan profil sudu NACA 0020 menunjukkan bahwa koefisien torsi ( $C_T$ ) maksimum 0,064 pada  $\lambda = 1,61$ , dan efisiensi maksimum 13,01 pada  $\lambda = 2,2$ .

Prediksi yang dilakukan oleh K. B. Gaywala, dkk. (2017) dengan metode iteratif terhadap turbin Darrieus diperoleh harga  $C_p$  maksimum 0,19 untuk NACA 0021 pada harga  $\lambda = 1,6$ . Penelitian yang dilakukan oleh Kaprawi S.dkk. (2015), pada sistem gabungan turbin Darrieus dan turbin Savonius, ternyata mampu meningkatkan koefisien daya hingga 18 % dan koefisien torsi 16 % .

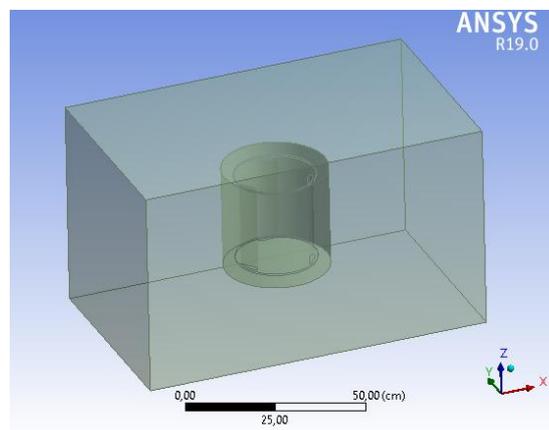
Penelitian yang dilakukan oleh Kaprawi S.dkk. (2015), pada sistem gabungan turbin Darrieus dan turbin Savonius, ternyata mampu meningkatkan koefisien daya hingga 18 % dan koefisien torsi 16 %

Abdulkadir, M, (2017), melaporkan hasil penelitaian kinerja turbin Darrieus dengan panjang sudu 25 cm, diameter rotor 20 cm, jumlah sudu 3, dengan profil sudu NACA 0021, bahwa diperoleh faktor daya maksimum 0,2579 % pada sudut kemiringan  $5^{\circ}$  dan soliditas 0,75.[1]

Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh soliditas, *tip speed ratio* dan sudut kemiringan sudu terhadap koefisien daya ( $C_p$ ) turbin Darrieus secara simulatif dengan CFD Fluent.

## 2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data dilakukan dengan mensimulasikan suatu model turbin air Darrieus sumbu vertikal dengan jumlah sudu 3 bilah, panjang sudu 25 cm, diameter rotor 20 cm yang berada di dalam saluran air dengan tinggi 60 cm dan lebar 60 cm, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Simulasi dilakukan dengan ANSYS FLUENT R19.00. Dimensi turbin dan kondisi pemodelan secara detail ditunjukkan pada Tabel 1. Prosedur simulasi dengan CFD FLUENT adalah meliputi langkah-langkah : penggambaran model, pembuatan mesh, menjalankan perhitungan, dan menganalisis data. Konstruksi model yang disimulasikan ditunjukkan pada Gambar 1, dan bentuk mesh untuk salah satu kondisi turbin ditunjukkan pada Gambar 2. Model tersebut memiliki sekitar 1,4 juta elemen tetrahedral.



Gambar 1. Model turbin Darrieus yang disimulasikan

Tabel 1. Detail turbin Darrieus yang disimulasikan.

Profil sudu :	NACA0021
Jenis fluida :	air
Jumlah sudu (z) :	3
Panjang sudu (L) :	25 cm
Diameter rotor (D) :	20 cm
Variasi lebar sudu (c) :	4 cm, 5 cm, dan 6 cm
Variasi sudut kemiringan sudu ( $\alpha$ ) :	$0^{\circ}$ , $5^{\circ}$ , dan $10^{\circ}$
Variasi putaran (n) :	40 rpm, 60 rpm, 80 rpm, 100 rpm, 150 rpm dan 200 rpm
Dimensi saluran air :	panjang 100 cm, lebar 60 cm, dan tinggi 60 cm
Kecepatan alir (v) :	1,5 m/s

Di dalam analisis data hasil simulasi digunakan parameter-parameter nondimensional yang meliputi faktor daya ( $C_p$ ), soliditas ( $\sigma$ ) dan tip speed ratio ( $\lambda$ ).

Faktor daya ( $C_p$ ) didefinisikan sebagai :

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_w} \times 100\% \quad (1)$$

dengan  $P_{out}$  adalah daya output turbin,

$$P_{out} = M \cdot \omega \quad (2)$$

dengan  $M$  = momen (N.m) dan  $\omega$  kecepatan sudut rotor (rad/s).

$P_w$  adalah daya yang tersedia pada aliran air,

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (3)$$

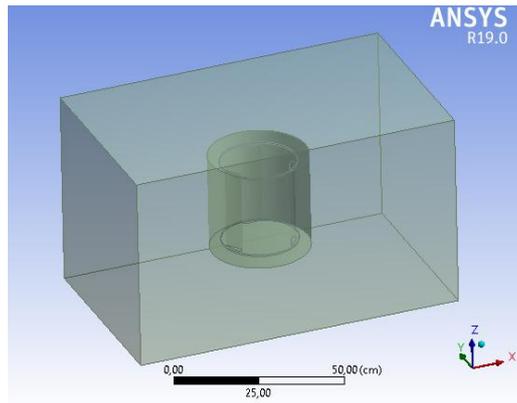
dengan  $\rho$  densitas air ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ) dan  $v$  kecepatan alir ( $1,5 \text{ m/s}$ ), dan  $A$  luas penampang rotor ( $0,05 \text{ m}^2$ )

Soliditas ( $\sigma$ ) didefinisikan sebagai :

$$\sigma = z \cdot c/D \quad (4)$$

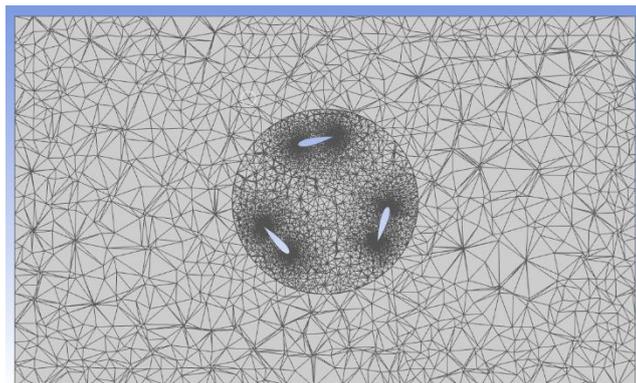
*Tip speed ratio* ( $\lambda$ ) didefinisikan sebagai :

$$\lambda = u/v \quad (5)$$



Gambar 1. Model turbin Darrieus yang disimulasikan

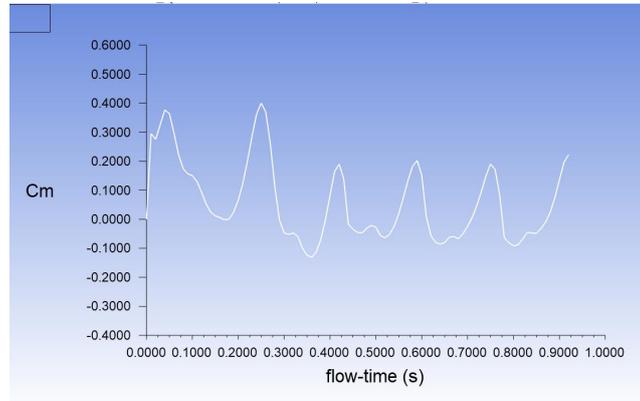
Prosedur simulasi dengan CFD FLUENT adalah meliputi langkah-langkah : penggambaran model, pembuatan mesh, menjalankan perhitungan, dan menganalisis data. Konstruksi model yang disimulasikan ditunjukkan pada Gambar 1, dan bentuk mesh untuk salah satu kondisi turbin ditunjukkan pada Gambar 2. Model tersebut memiliki sekitar 1,4 juta elemen tetrahedral.



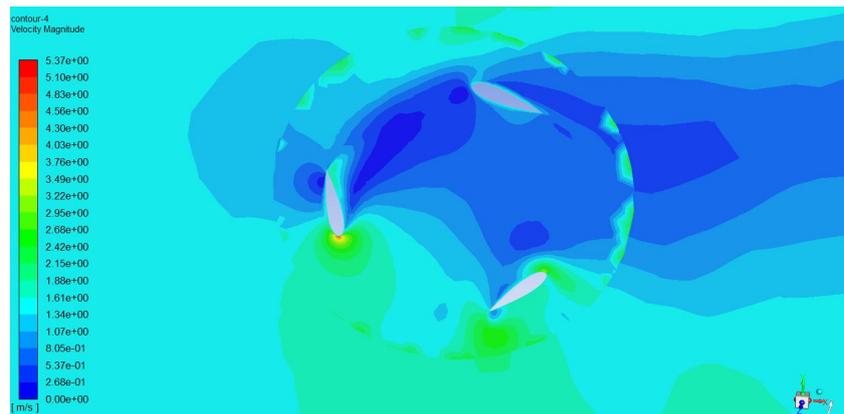
Gambar 2. Bentuk mesh untuk lebar sudu 6 cm dan sudut kemiringan sudu  $5^\circ$

### 3. HASIL DAN ANALISIS

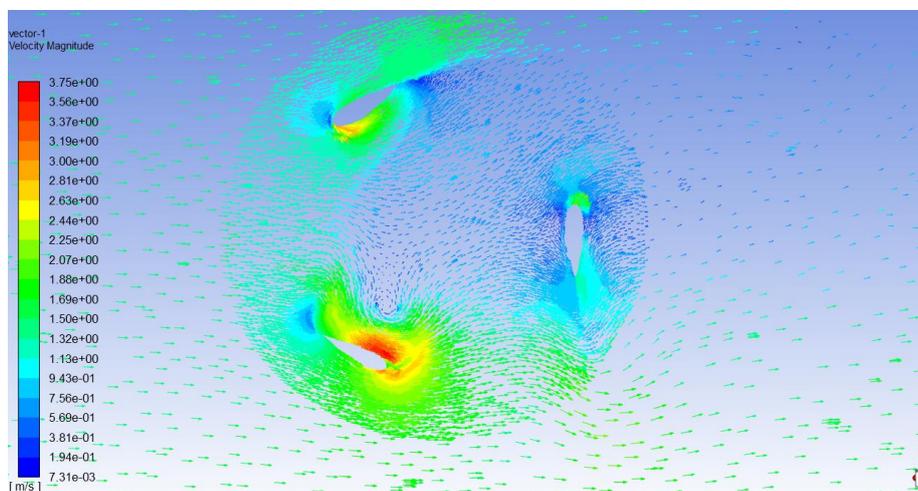
Dari simulasi dapat diperoleh koefisien momen ( $C_m$ ) dan pola aliran untuk berbagai variasi kondisi turbin dan berbagai sudut putar rotor. Salah satu tampilan koefisien momen ditunjukkan pada Gambar 3, sedangkan pola aliran ditunjukkan pada Gambar-gambar 4, 5 dan 6.



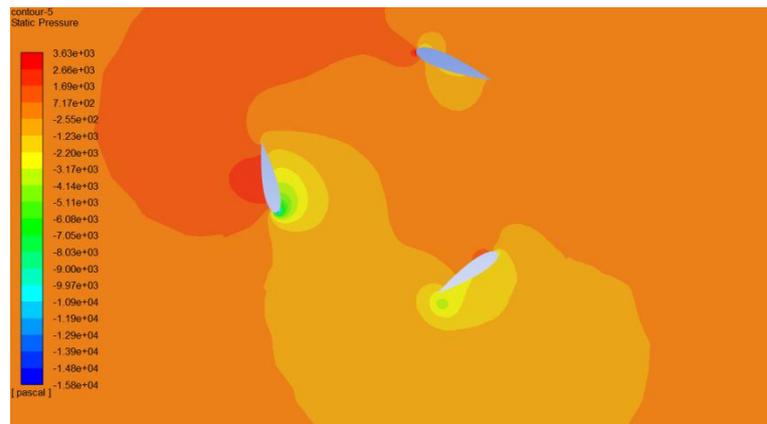
Gambar 3. Grafik hubungan antara koefisien momen dengan waktu alir untuk panjang chord 5 cm, sudut kemiringan sudu  $10^\circ$ , dan kecepatan putar 120 rpm



Gambar 4. Distribusi kecepatan alir untuk lebar sudu 6 cm, sudut kemiringan  $5^\circ$  dan waktu alir 0,384 s

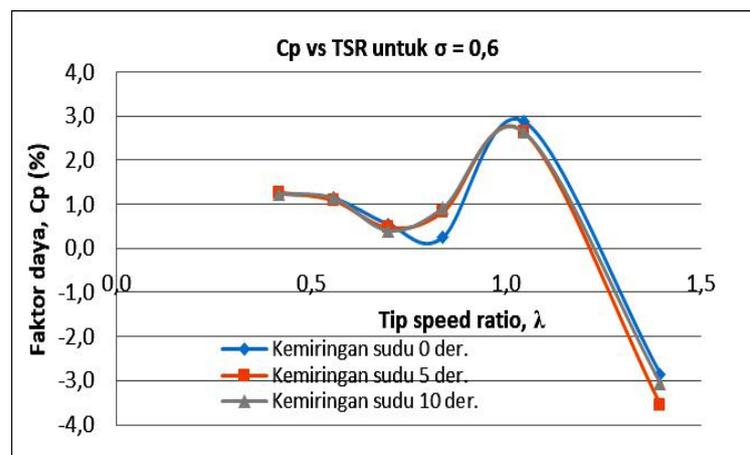


Gambar 5. Vektor kecepatan alir untuk lebar sudu 6 cm, sudut kemiringan  $5^\circ$  dan waktu alir 0,384 s

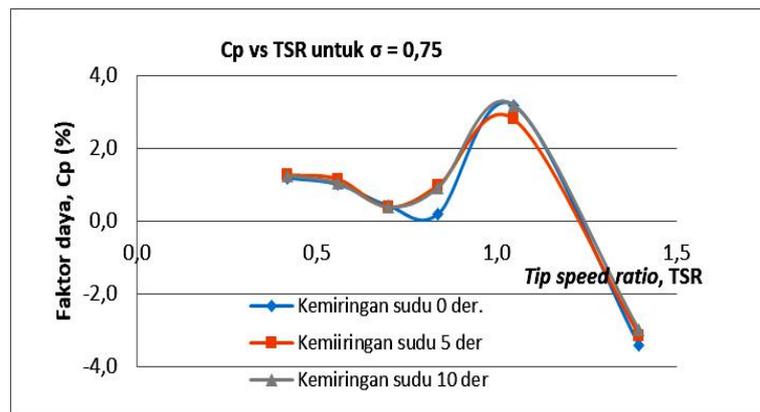


Gambar 6. Distribusi tekanan untuk lebar sudu 6 cm, sudut kemiringan  $5^0$  dan waktu alir 0,384 s

Dari data koefisien momen kemudian dilakukan perhitungan berdasarkan Persamaan-persamaan (1), (2), dan (3) untuk mendapatkan hubungan antara koefisien daya dengan parameter-parameter non dimensional. Hasil-hasil tersebut ditunjukkan pada Gambar-gambar 7, 8, 9, dan 10.

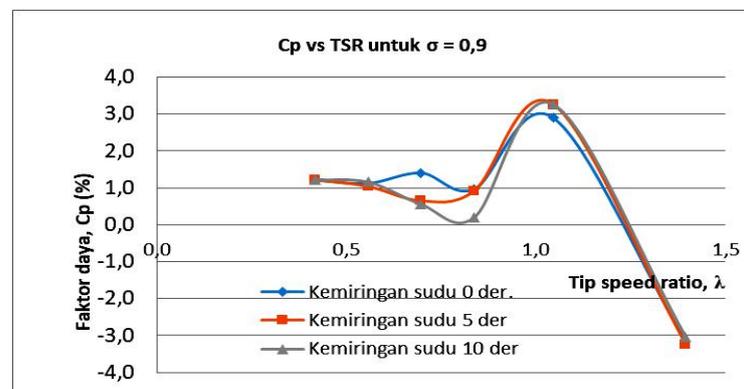


Gambar 7. Hubungan antar faktor daya ( $C_p$ ) dengan *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) pada berbagai sudut kemiringan sudu untuk harga soliditas ( $\sigma$ ) 0,6

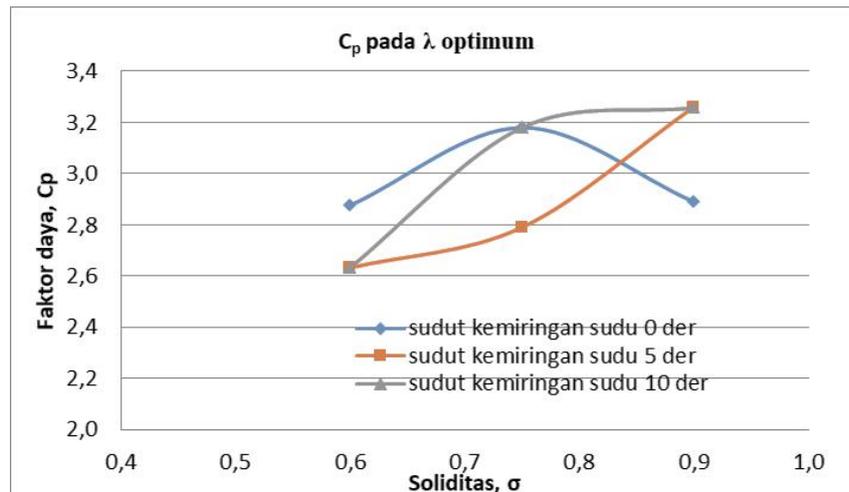


Gambar 8. Hubungan antar faktor daya ( $C_p$ ) dengan *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) pada berbagai sudut kemiringan sudu untuk harga soliditas ( $\sigma$ ) 0,75

Dari simulasi turbin Darrieus dengan CFD FLUENT dapat dihasilkan beberapa aspek, yaitu simulasi gerakan, pola aliran dan kinerja turbin. Dalam penelitian ini terutama difokuskan untuk memperoleh karakteristik kinerja turbin, sedangkan hal lain digunakan sebagai pendukung dan tambahan kajian. Dari vektor kecepatan, yang ditunjukkan pada Gambar 6, menunjukkan bahwa ada kesinambungan (kontinuitas) aliran di daerah *interface*. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran mesh yang digunakan sudah mencukupi untuk memperoleh perhitungan teliti. Gambar 5 menunjukkan distribusi kecepatan pada penampang rotor ketika turbin menghasilkan torsi maksimum, yaitu untuk lebar sudu 6 cm, sudut kemiringan  $5^\circ$ , putaran 150 rpm dan waktu alir 0,384 detik. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada kondisi ini terjadi distribusi kecepatan yang sangat tidak merata, dan untuk masing-masing sudu juga memiliki distribusi kecepatan yang berbeda-beda. Perbedaan kecepatan ini yang mengakibatkan perbedaan tekanan pada masing-masing sudu, seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Perbedaan tekanan terbesar terjadi pada sudu paling depan, yang dapat menghasilkan momen terhadap sumbu rotor.



Gambar 9. Hubungan antar faktor daya ( $C_p$ ) dengan *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) pada berbagai sudut kemiringan sudu untuk harga soliditas ( $\sigma$ ) 0,9



Gambar 10. Hubungan antar faktor daya ( $C_p$ ) dengan soliditas dan sudut kemiringan pada  $\lambda$  optimum

Dari Gambar 3 terlihat bahwa harga koefisien momen berubah secara periodis, yang disebabkan karena aliran transien. Resultan momen yang dihasilkan adalah nilai rata-rata untuk setiap periode.

Dari karakteristik kinerja turbin, seperti diperlihatkan pada Gambar-gambar 7, 8, dan 9 menunjukkan bahwa harga  $C_p$  dipengaruhi oleh  $\sigma$ ,  $\lambda$  dan sudut kemiringan sudu ( $\alpha$ ). Namun variabel yang paling dominan berpengaruh adalah  $\lambda$ . Untuk semua harga  $\sigma$  dan  $\alpha$ , diperoleh harga  $C_p$  maksimum pada  $\lambda$  optimal ( $\lambda_{op}$ ) sebesar 1,0467. Nilai ini ternyata berbeda dengan penelitian oleh K. B. Gaywala, dkk. (2017) dengan menggunakan profil sudu yang sama, dengan harga  $\lambda_{op} = 1,6$ .

Gambar 10 menunjukkan hubungan antara  $C_p$  dengan  $\sigma$  untuk berbagai sudut kemiringan sudu pada nilai  $\lambda_{op}$ . Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa harga  $C_p$  maksimum sebesar 3,2609 % dicapai pada soliditas 0,9 dan sudut kemiringan sudu 5°. Hasil ini ternyata juga berbeda dengan hasil penelitian Abdulkadir (2017) yang hanya mampu menghasilkan  $C_p$  maksimum 0,2579 % pada sudut kemiringan 5° dan soliditas 0,75. Selain itu, dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa untuk sudut kemiringan sudu ( $\alpha$ ) 5°, pada interval  $\sigma$  antara 0,6 sampai 0,9 masih ada kecenderungan untuk meningkat, dengan meningkatnya nilai  $\sigma$ . Hal ini menunjukkan bahwa masih memungkinkan untuk meningkatkan nilai  $C_p$  dengan memperbesar  $\sigma$  untuk sudut kemiringan sudu 5°.

### 3. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dengan CFD Fluent pada model turbin Darrieus dengan ukuran diameter 20 cm, tinggi 25 cm, profil penampang sudu NACA0021, jumlah sudu 3 buah, variasi lebar sudu 4 cm, 5 cm dan 6 cm, variasi sudut kemiringan sudu 0°, 5°, dan 10°, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

- Faktor daya ( $C_p$ ) optimum dicapai pada nilai *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) sebesar 1,0467 atau putaran 150 rpm.
- Faktor daya maksimum sebesar 3,2609 %, dicapai pada  $\lambda_{op} = 1,0467$ ,  $\sigma_{op} = 0,9$  dan  $\alpha_{op} = 5^\circ$ .
- Untuk sudut kemiringan sudu ( $\alpha$ ) 5° masih memungkinkan untuk meningkatkan harga  $C_p$  dengan memperbesar  $\sigma$ .

Hendaknya dilakukan penelitian lebih lanjut lagi untuk mendapatkan harga  $C_p$  yang lebih

### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada ITNY yang telah mendanai biaya penelitian ini..

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkadir, M, (2017), Pengaruh Sudut Serang Dan Lebar Sudu Terhadap Kinerja Turbin Darrieus Dengan Profil Sudu NACA 0021, Laporan Penelitian, Tidak dipublikasikan.
- Jaini dkk., (2015), *Darrieus Water Turbine Performance Configuration of Blade*, Journal of Mechanical Science and Engineering Vol.2 No.1
- Kaprawi S.dkk., (2015), *Performance of Combined Water Turbine Darrieus-Savonius with Two Stage Savonius*

- Buckets and Single Deflector*, INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH, Vol.5, No.1, 2015
- [4] K. B. Gaywala, dkk. (2017) *Performance Prediction of a Straight-Bladed Darrieus Water Turbine using Multiple Stream Tube Model*, SSRG International Journal of Mechanical Engineering (SSRG-IJME) – volume 4 Issue 6 June 2017, ISSN: 2348 – 8360 [www.internationaljournalsrg.org](http://www.internationaljournalsrg.org) Page 41