

Studi Numerik 2D dan Uji Eksperimen tentang Karakteristik Aliran dan Unjuk Kerja *Helical Savonius Blade* dengan Variasi *Overlap Ratio* 0,1 ; 0,3 dan 0,5

Dwi Septyan Waluyo, dan Wawan Aries Widodo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri (FTI), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: wawanaries@me.its.ac.id

Abstrak— Pemanfaatan energi angin sebagai energi alternatif ramah lingkungan di Indonesia masih tergolong sedikit. Salah satu penyebab adalah karakteristik arah angin di Indonesia yang memiliki kecenderungan berubah-ubah dikarenakan letak geografis Indonesia. Maka dari itu guna meningkatkan pemanfaatan energi angin, diperlukanlah penelitian mengenai Vertical Axis Wind Turbin (VAWT). Salah satu jenis VAWT adalah Helical Savonius Blade. Penelitian mengenai Helical Savonius Blade dilakukan dengan metode pemodelan numerik 2D menggunakan software FLUENT dan uji eksperimen. Pemodelan numerik 2D dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik aliran yang melintasi turbin Savonius dengan variasi overlap ratio 0,1;0,3 dan 0,5 serta variasi posisi 90°, 45°, 0°. Unjuk kerja turbin dinyatakan dalam nilai coefficient of power (Cp). Nilai Cp didapatkan dengan menggunakan pemodelan numerik 2D dan uji eksperimen. Berdasarkan pemodelan numerik 2D, nilai Cp tertinggi secara umum dimiliki oleh overlap ratio 0,1 sebesar 0,284. Sedangkan berdasarkan uji eksperimen nilai Cp terbesar tetap dimiliki overlap ratio 0,436 (perhitungan teoritis) dan 0,091 (perhitungan riil).

Kata Kunci— vertical axis wind turbine, helical savonius blade, overlap ratio, coefficient of power, pemodelan numeric 2D

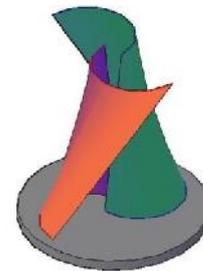
I. PENDAHULUAN

Karakteristik arah angin di Indonesia memiliki kecenderungan berubah-ubah dikarenakan letak geografis Indonesia yang terletak diantara jalur pertemuan angin. Selain itu perubahan intensitas matahari pada musim peralihan juga berpengaruh terhadap kecepatan angin. hal inilah yang mendorong dilakukannya penelitian mengenai turbin angin yang dapat menerima angin dari segala arah, *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). VAWT memiliki banyak jenis, salah satunya adalah turbin *Savonius*.

Turbin *Savonius* pada umumnya memiliki bentuk *blade* lurus setengah lingkaran yang dibelah. Namun pada penelitian ini bentuk turbin *Savonius* akan dilakukan modifikasi bentuk dasarnya dengan menggunakan *twist angle* (sudut puntir) sebesar 90°. Perubahan bentuk dasar dimaksudkan untuk meningkatkan performa turbin. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Gorban, dkk (2001)[1] berjudul "*Limit of the turbine efficiency for free fluid flow*".

Turbin *Savonius* juga akan dilakukan modifikasi dengan tidak menggunakan poros tengah, tetapi dengan menggunakan

pelat atas-bawah (*end plate*), sehingga terdapat celah antar sudu (*overlap distance*). Perbandingan antara *overlap distance* dengan diameter *blade* disebut dengan *overlap ratio*. Adanya *overlap ratio* juga berpengaruh terhadap performa turbin jika dibandingkan dengan turbin yang menggunakan poros tengah. Perbandingan ini telah dilakukan penelitian oleh Kamoji, dkk (2009) [2] dengan judul "*Performance test on helical savonius rotors*".



Gambar 1. Desain *helical savonius blade*

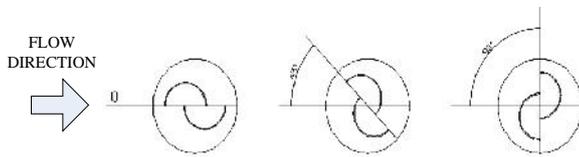
Aliran pada turbin dapat diketahui dengan melakukan pemodelan numerik 2D dengan menggunakan software FLUENT. Dengan menggunakan pemodelan numerik dapat diketahui bagaimana pengaruh *overlap ratio* terhadap karakteristik aliran. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Akwa, dkk (2011) [3] tentang "*Discussion on the verivication of the overlap ratio influence on performance coefficient of a Savonius wind rotor using computational fluid dynamics*".

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik aliran yang melewati celah antar sudu turbin serta mengetahui performa turbin baik melalui perhitungan teoritis maupun perhitungan riil, dinyatakan dengan nilai *coefficient of power* (Cp). Melalui perhitungan akan diketahui nilai Cp terbesar diantara *overlap ratio* 0,1 ; 0,3 dan 0,5.

II. URAIAN PENELITIAN

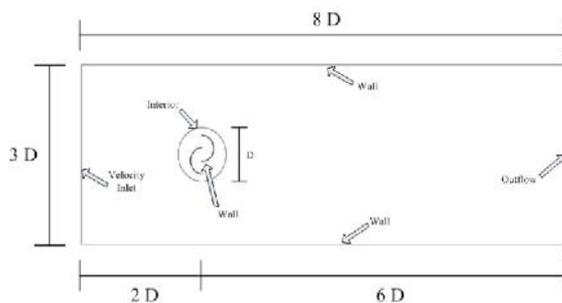
A. Metode Pemodelan Numerik

Pemodelan numerik 2D dilakukan dengan cara memvariasikan *overlap ratio* sebesar 0,1 ; 0,3 dan 0,5 serta posisi dengan variasi sudut 90°, 45°, dan 0°.



Gambar 2. Variasi sudut posisi turbin

Geometri pada GAMBIT menggunakan kondisi batas (*boundary conditions*) seperti berikut :



Gambar 3. Boundary conditions GAMBIT

Pada GAMBIT dilakukanlah proses *meshing* agar dapat disimulasikan dengan menggunakan FLUENT. Simulasi dilakukan pada FLUENT dengan model turbulensi (*viscous model*) *k- SST*, model penyelesaian (*solver model*) adalah *unsteady*, dan diskritisasi menggunakan *second order upwind*.

Pemodelan numerik 2D akan menunjukkan bagaimana karakteristik aliran fluida disekitar celah antar sudu turbin dengan visualisasi *pathlines*. Dalam menentukan nilai *coefficient of power* (C_p) digunakanlah metode perhitungan berdasarkan kecepatan di depan turbin dan kecepatan di belakang turbin. Secara perumusan C_p dapat ditulis :

$$P_T = \frac{1}{2} \rho A V_1^3 \tag{1}$$

$$P_R = \frac{1}{2} \rho A \frac{1}{2} v_1^3 \left\{ 1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 + \left(\frac{V_2}{V_1} \right) - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^3 \right\} \tag{2}$$

$$C_p = \frac{P_R}{P_T} \tag{3}$$

dimana :

- P_T : Power teoritis
- V_1 : Kecepatan di depan turbin / V_{in} (m/s)
- V_2 : Kecepatan di belakang turbin / V_{out} (m/s)
- P_R : Power sesungguhnya (watt)
- C_p : *coefficient of power*

Hasil yang didapatkan dari pemodelan numerik adalah grafik antara nilai C_p dengan nilai *tip speed ratio* (TSR). Nilai TSR didapatkan berdasarkan perbandingan antara kecepatan di ujung *blade* (U) dengan kecepatan di depan turbin (V_1). Secara perumusan TSR dapat ditulis :

$$TSR = \frac{U}{V_1} \tag{4}$$

dimana :

- TSR : *tip speed ratio*
- U : Kecepatan turbin

B. Metode Uji Eksperimen

Uji eksperimen dilakukan pada sebuah model turbin *helical savonius* di dalam lorong angin (*wind tunnel*). Kecepatan angin yang dijadikan sebagai referensi awal adalah nilai putaran kipas *wind tunnel* yang menyebabkan turbin berputar. Putaran awal kipas *wind tunnel* adalah 1050 rpm dan divariasikan dengan kenaikan 10 rpm hingga 1160 rpm (sebanyak 12 variasi kecepatan).

Dalam pengujian eksperimen dilakukanlah pengukuran kecepatan angin di depan turbin dan di belakang turbin dengan menggunakan *anemometer*, putaran turbin dengan menggunakan *tachometer* , serta pengukuran daya turbin dengan menggunakan generator yang dihubungkan *avometer* untuk tegangan listrik (voltase) dan arus listrik.

Uji eksperimen akan menghasilkan dua data mengenai nilai *coefficient of power* secara perhitungan teoritis dan perhitungan riil. Perhitungan teoritis hanya menggunakan data kecepatan di depan dan di belakang turbin sebagai acuan. Sedangkan perhitungan riil, melibatkan data voltase dan arus yang dibangkitkan oleh generator, sehingga lebih banyak aspek yang berpengaruh. Secara perumusan nilai daya riil dapat ditulis :

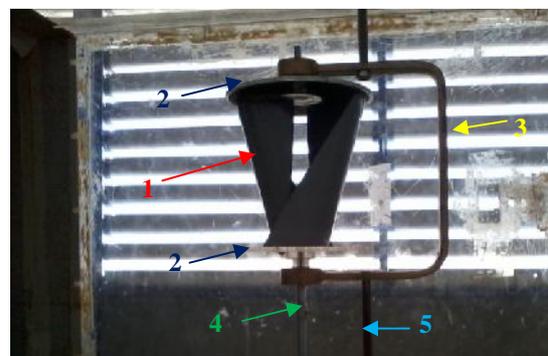
$$P_R = V \cdot I \tag{5}$$

dimana :

- V : Voltase (V)
- I : Arus (mA)

C. Skema Alat Uji

Pengujian dilakukan dengan menggunakan model turbin angin jenis *helical savonius blade* dengan *twist angle* sebesar 90°. Adapun skema model turbin adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Model *helical savonius blade*

Keterangan gambar :

1. *Blade*
2. Pelat
3. *Clamp C*
4. Poros
5. Baut pengikat

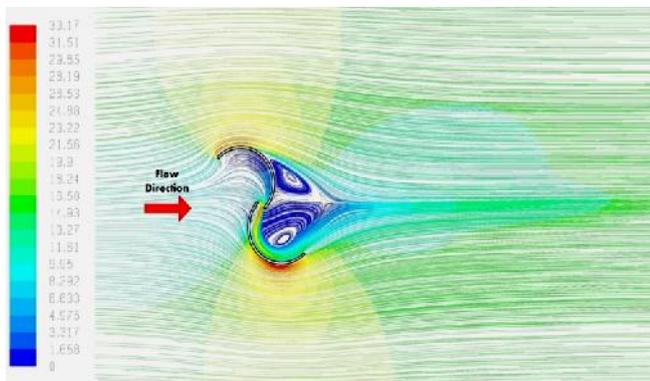
III. DATA & PEMBAHASAN

A. Visualisasi FLUENT dan Grafik

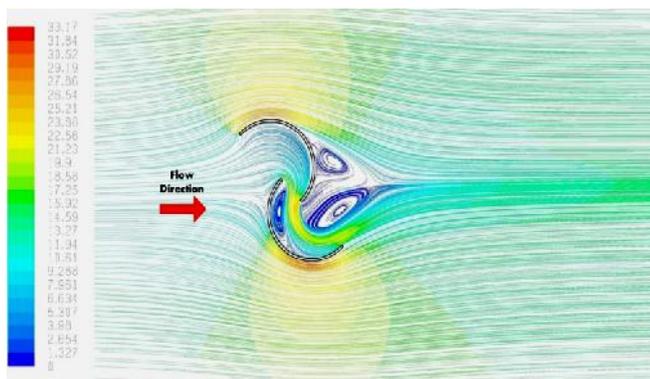
Berdasarkan pemodelan numerik 2D dan uji eksperimen, didapatkanlah data mengenai nilai V_{in} , V_{out} , C_p dan TSR. Melalui data tersebut dapat diplot menjadi grafik serta visualisasi karakteristik aliran sehingga dapat dilakukan analisa pada ketiga jenis model turbin.

Pemodelan Numerik 2D ($\alpha = 45^\circ$)

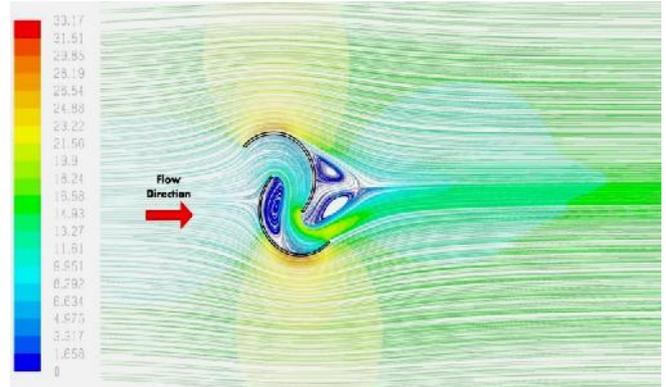
Berdasarkan hasil simulasi pada FLUENT didapatkanlah visualisasi sebagai berikut :



Gambar 5. Pathlines pada overlap ratio 0,1 ($\alpha = 90^\circ$)



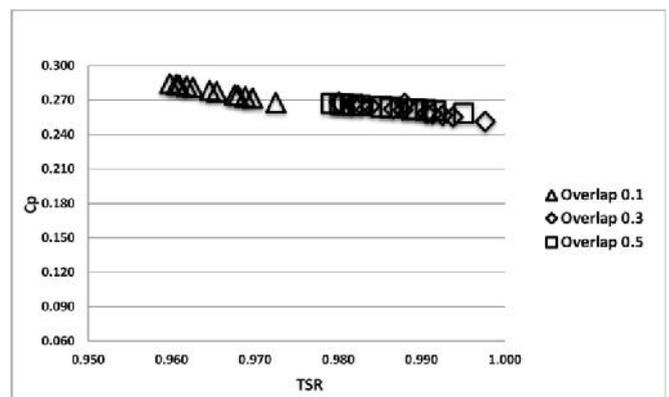
Gambar 6. Pathlines pada overlap ratio 0,3 ($\alpha = 90^\circ$)



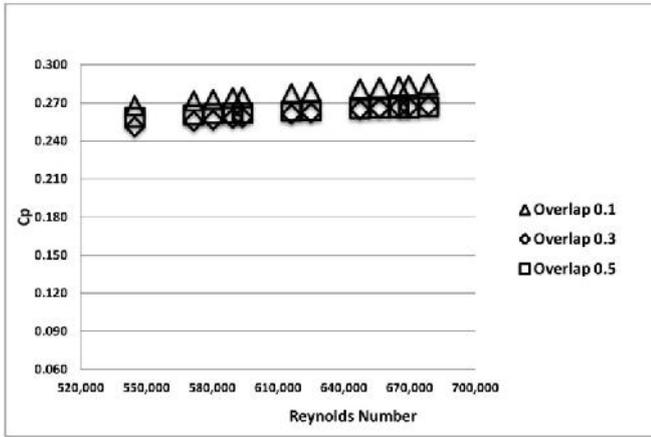
Gambar 7. Pathlines pada overlap ratio 0,5 ($\alpha = 90^\circ$)

Visualisasi *pathlines* menunjukkan bahwa aliran fluida yang melewati celah antar sudu terkecil (*overlap ratio* 0,1) memiliki kecepatan yang paling tinggi dibandingkan *overlap ratio* lainnya. Hal ini disebabkan adanya perubahan luas penampang yang cukup signifikan antara luas penampang di bagian *free stream* dan celah antar sudu. Semakin tinggi kecepatan fluida yang melewati celah antar sudu mengakibatkan kemungkinan terjadinya aliran sekunder pada sisi bawah *advancing blade* semakin besar, namun sebaliknya kemungkinan terjadinya aliran sekunder pada sisi dalam *returning blade* semakin kecil. Semakin besar celah antar sudu maka kemungkinan aliran fluida untuk melewati keseluruhan sisi dalam *returning blade* akan semakin kecil.

Secara visualisasi *pathlines* juga terlihat bahwa untuk *overlap ratio* 0,1 (terkecil) memiliki *wake region* yang lebih besar dibandingkan *overlap ratio* lainnya. Semakin besar *wake region* semakin besar pula daerah di belakang turbin yang tidak terlewati sepenuhnya oleh aliran fluida, sehingga kecepatan aliran dan tekanan di belakang turbin juga semakin kecil. Kecepatan di belakang turbin yang semakin kecil akan berpengaruh pada perbandingan nilai kecepatan di depan-belakang turbin dalam menentukan nilai *coefficient of power* (C_p).



Gambar 8. Grafik C_p vs TSR ($\alpha = 90^\circ$)

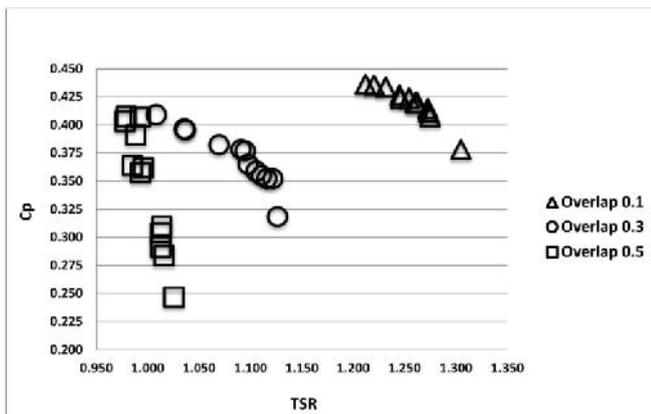


Gambar 9. Grafik Cp vs Reynolds Number ($\alpha = 90^\circ$)

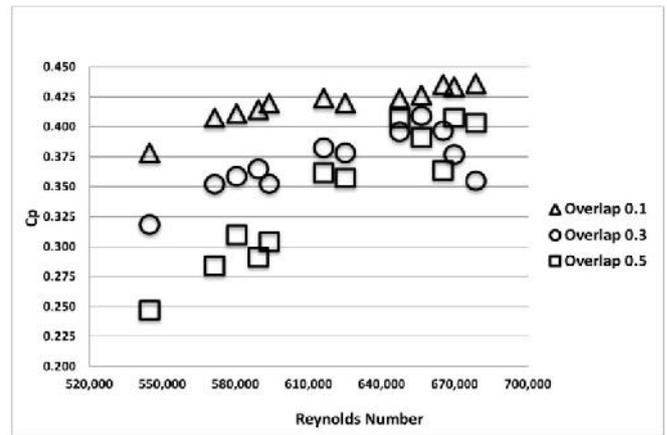
Melalui simulasi FLUENT didapatkan data mengenai perbandingan kecepatan di depan dan di belakang turbin untuk mendapatkan nilai Cp. Grafik hasil pengolahan data untuk simulasi FLUENT pada posisi $\alpha = 90^\circ$ menunjukkan bahwa *overlap ratio* 0,1 memiliki trend grafik paling tinggi dibandingkan *overlap ratio* 0,3 dan 0,5 dalam perbandingan Cp vs TSR maupun Cp vs Kecepatan. Hal ini dikarenakan perbandingan antara kecepatan di depan dan di belakang turbin pada *overlap ratio* 0,1 lebih besar dibandingkan *overlap ratio* 0,3 dan 0,5. Terdapat kesesuaian antara hasil visualisasi dengan hasil yang ditunjukkan pada grafik yaitu pada *overlap ratio* 0,1 yang memiliki daerah *wake* lebih besar dibandingkan *overlap ratio* lainnya, berpengaruh terhadap besarnya nilai Cp. Grafik juga menunjukkan bahwa semakin besar Reynolds Number maka akan semakin besar pula nilai Cp yang dihasilkan.

B. Eksperimen Perhitungan Teoritis

Berdasarkan hasil perhitungan teoritis yang menggunakan parameter nilai kecepatan di depan dan di belakang turbin berdasarkan eksperimen didapatkanlah hasil grafik antara lain :



Gambar 10. Grafik Cp vs TSR (perhitungan teoritis)

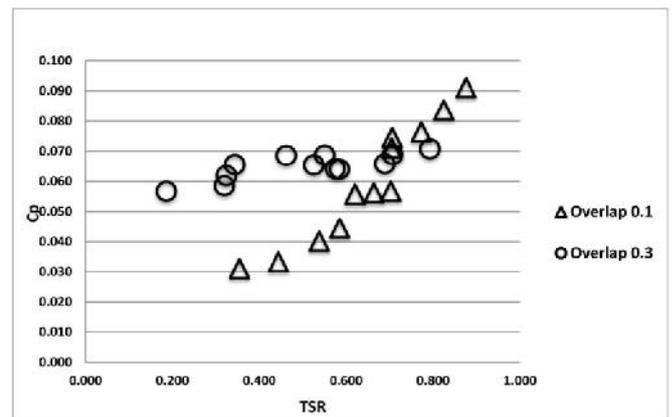


Gambar 11. Grafik Cp vs Reynolds Number (perhitungan teoritis)

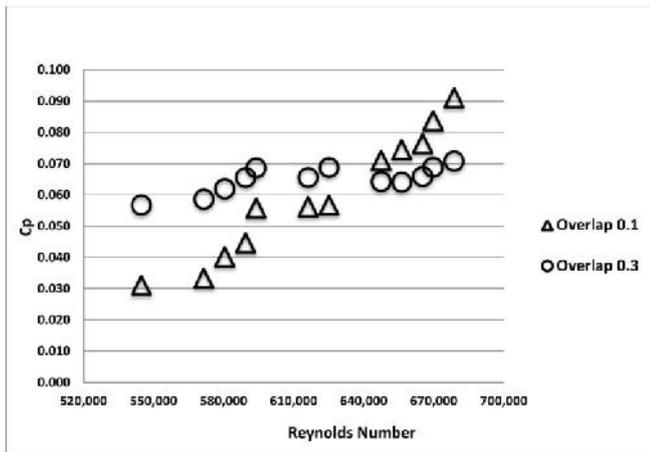
Hasil eksperimen menunjukkan bahwa secara umum trend grafik yang dihasilkan melalui pengolahan data adalah berurutan, dimana *overlap ratio* 0,1 memiliki nilai Cp paling tinggi, kemudian diikuti 0,3 dan 0,5. Hal ini dipengaruhi oleh faktor luas sapuan energi angin (*swept area*) yang dipengaruhi oleh besarnya nilai diameter turbin. Nilai diameter dipengaruhi oleh besarnya celah antar sudu (*overlap distance*). *Swept area* akan mempengaruhi besarnya nilai daya teoritis. Selain itu, semakin besarnya celah antar sudu, memungkinkan semakin banyak aliran fluida melewati celah tersebut sehingga kecepatan di daerah belakang turbin semakin besar, atau dengan kata lain daerah *wake* semakin kecil. Grafik juga menunjukkan bahwa semakin besar Reynolds Number maka akan semakin besar pula nilai Cp yang dihasilkan.

C. Eksperimen Perhitungan Riil

Berdasarkan hasil perhitungan riil yang menggunakan parameter nilai voltase dan arus listrik berdasarkan eksperimen didapatkanlah hasil grafik antara lain:



Gambar 12. Grafik Cp vs TSR (perhitungan riil)



Gambar 13. Grafik C_p vs Reynolds Number (perhitungan riil)

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa hanya ada dua turbin saja yang dapat dilakukan eksperimen perhitungan riil dengan membangkitkan daya generator. Turbin dengan *overlap ratio* 0,5 memiliki celah paling besar sehingga memungkinkan kehilangan momentum akibat energi angin hanya melewati tanpa memberikan momentum untuk dapat melawan gaya gesek sehingga turbin dapat berputar. Secara umum trend grafik terlihat bahwa *overlap ratio* 0,3 lebih besar nilai C_p dibandingkan 0,1. Namun pada kondisi kecepatan lebih tinggi, untuk nilai C_p terbesar dimiliki oleh *overlap ratio* 0,1. Grafik juga menunjukkan bahwa semakin besar Reynolds Number maka akan semakin besar pula nilai C_p yang dihasilkan.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan metode pemodelan numerik 2D dan uji eksperimen serta analisa grafik maka dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain :

1. Secara umum turbin dengan *overlap ratio* 0,1 memiliki performa yang lebih dibandingkan 0,3 dan 0,5 yang ditunjukkan oleh besarnya nilai *coefficient of power* (C_p).
2. Nilai C_p terbesar hasil pemodelan numerik adalah 0,284 dengan *overlap ratio* 0,1 sedangkan nilai terendahnya adalah 0,099 dengan *overlap ratio* 0,3.
3. Nilai C_p terbesar hasil uji eksperimen perhitungan teoritis adalah 0,436 dengan *overlap ratio* 0,1 sedangkan nilai terendahnya adalah 0,247 dengan *overlap ratio* 0,5.
4. Nilai C_p terbesar hasil uji eksperimen perhitungan riil adalah 0,091 dengan *overlap ratio* 0,1 sedangkan nilai terendahnya adalah 0,031 juga dengan *overlap ratio* 0,1.
5. Semakin besar Reynolds Number, maka semakin besar pula nilai C_p yang dihasilkan.
6. Nilai C_p pada kondisi riil sangat jauh berbeda dengan kondisi teoritis dikarenakan proses pembuatan pada turbin dan pemilihan material turbin.

B. Saran

Demi kesempurnaan penelitian ini, maka ada beberapa hal yang ingin penulis sampaikan, antara lain :

1. Dalam proses pembuatan turbin perlu diperhatikan tentang permasalahan *misalignment* yang ditimbulkan dengan tidak adanya poros tengah.
2. Diperlukan adanya penelitian mengenai material yang cocok digunakan sebagai bahan dasar pembuatan turbin agar dapat mempermudah turbin berputar pada kondisi awal (dari keadaan diam).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis D.S.W. mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) Kemendikbud yang telah memberikan dana sehingga penelitian dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gorban Alexander, N, Gorlov Alexander, M, Silantsev Valentine, M., "Limits of the Turbine Efficiency for Free Fluid Flow", *Journal of Energy Resources Technology*, Vol 123, (Desember 2001), 311-317.
- [2] Akwa, J.V, Gilmar Alves da Silva Junior, Adriane Prisco Petry., "Discussion on the verification of the overlap ratio influence on performance coefficients of a Savonius wind rotor using computational fluid dynamics", *Renewable Energy* (2012) 38:141-149.
- [3] Kamoji, M.A, S.B, Kedare, S.V, Prabhu, "Performance test on helical Savonius rotors", *Renewable Energy* (2009) 34:521-529.