

Studi simulasi penggunaan airfoil naca 6412 sebagai sudu pada turbin angin crossflow melalui pemodelan CFD 2 dimensi

Muhammad Ivan Fadhil Hendrawan¹, Dominicus Danardono², Syamsul Hadi²

¹ Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36 A, Ketingan, Surakarta, 57126

² Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36 A, Ketingan, Surakarta, 57126
Email korespondensi: ivanfadhil@student.uns.ac.id

Abstrak

Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut sudu dan jumlah sudu turbin angin sumbu vertikal cross flow runner terhadap peningkatan kinerja turbin angin. Turbin memiliki jumlah sudu 20, 22, dan 24. Simulasi dilakukan dalam analisis 2D menggunakan ANSYS-Fluent. Tip Speed Rasio bervariasi pada kisaran 0,1-0,5 dengan kecepatan konstan inlet 2 m/s. Efek dari jumlah sudu terhadap torsi dan koefisien daya dianalisis dan dibandingkan. Telah dihasilkan bahwa koefisien daya terbaik adalah 0,5 pada Tip Speed Rasio 0,3.

Kata kunci: vertical axis wind turbine, turbin crossflow, jumlah sudu.

Abstract

The simulation aimed to understand the effect of the angle of blade number and blade number of vertical axis wind turbine with cross flow runner to enhance the performance of wind turbine. The turbine had 20, 22, and 24 number of blades. Simulation was done in 2D analysis using ANSYS-Fluent. Tip speed ratio was varied in range of 0,1-0,5 with constant velocity inlet 2 m/s. The effect of blade numbers to torque and power coefficient were analyzed and compared. It had been found that the best power coefficient were 0,5 at tip speed ratio 0,3.

Keywords: vertical axis wind turbine, crossflow turbine, number of blades.

1. Pendahuluan

Keadaan angin di Indonesia yang memiliki kecepatan relatif rendah serta arahnya yang berubah-ubah, turbin *crossflow* merupakan turbin angin yang cocok untuk daerah yang memiliki kecepatan angin yang rendah. Turbin angin *crossflow* memiliki torsi awal dan nilai efisiensi daya yang tinggi. Hal tersebut dikarenakan turbin *crossflow* memiliki serangkaian sudu yang melingkar. Sehingga, aliran udara akan melewati runner dua kali, dan efisiensinya menjadi tinggi[1]. Performa turbin *crossflow* masih dapat ditingkatkan, dengan memperhatikan beberapa faktor seperti sudut kemiringan sudu, jumlah sudu dan kelengkungan sudu.

Pada VAWT dengan sudu berbentuk airfoil, ketebalan dari airfoil tersebut dapat mempengaruhi performa dari turbin angin *crossflow*. Perubahan ketebalan dari airfoil akan mempengaruhi koefisien drag dan lift. Setiap penambahan ketebalan airfoil, koefisien *drag* akan semakin besar dan koefisien lift akan semakin berkurang[2]. Rasio perbandingan lift dan drag dapat mempengaruhi performa serta range kecepatan kerja yang optimal dari turbin[3].

Performa turbin dapat dipengaruhi oleh jumlah sudu. Hal tersebut dikarenakan dengan semakin banyak sudu, jumlah torsi yang diperoleh oleh turbin akan semakin banyak[4]. Secara umum, dengan penambahan jumlah sudu, energi kinetik aliran yang

tersedia akan lebih efisien diubah menjadi energi mekanis oleh sudu-sudu tersebut. Namun jika jumlah sudu terlalu banyak, dan jarak antar sudu menjadi terlalu rapat, dapat menyebabkan penurunan efisiensi turbin[5].

Mockmore dan Merryfield menyebutkan bahwa besarnya sudut serang turbin berhubungan dengan besarnya sudut masuk dari sudu turbin tersebut[6]. Sudut serang dapat dirubah dengan merubah sudut masuk dari sudu[7]. Dengan merubah sudut masuk dari sudu, performa dari turbin angin *crossflow* diharapkan dapat meningkat.

Persamaan Dasar

Persamaan dasar yang digunakan dalam pemodelan CFD merupakan persamaan dasar mekanika fluida seperti:

Persamaan kontinuitas :

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} = 0$$

Incompressible Navier-Stokes Equation :

Sumbu x

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

Sumbu y

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + v \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$$

Dua parameter yang digunakan untuk menentukan performa dari turbin angin adalah koefisien daya (C_p) dan koefisien torsi (C_m). Besarnya nilai C_p didefinisikan sebagai berikut:

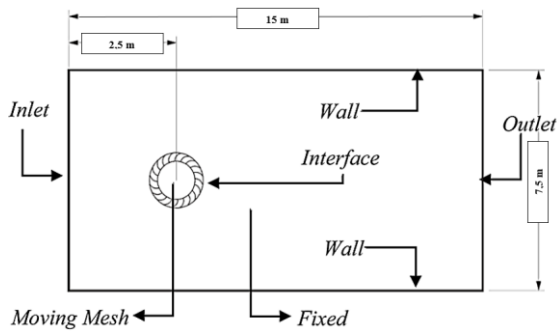
$$C_m = \frac{M}{0,25Qv_\infty^2 D_1 S'}$$

Nilai koefisien daya (C_p) dan koefisien torsi (C_m) memiliki hubungan linear. Hubungan antara nilai koefisien daya (C_p) dan koefisien torsi (C_m) adalah sebagai berikut:

$$C_p = \lambda C_m$$

2. Metode

Pada penelitian ini turbin angin tipe *crossflow* dilakukan dengan pemodelan 2D transien dengan aliran fluida turbulen yang memiliki densitas sebesar $1,2048 \text{ kg/m}^3$ dan tekanan sebesar $1,7979 \times 10^{-5} \text{ Pa}$. Turbin angin *cross flow* dengan diameter 1000 mm diletakkan pada sumbu simetri dengan jarak 2.500 mm dari ujung sebelah kiri. Persegi panjang tersebut memiliki panjang 15000 mm dan lebar 7500 mm. Domain pemodelan yang digunakan seperti terlihat pada Gambar 1.

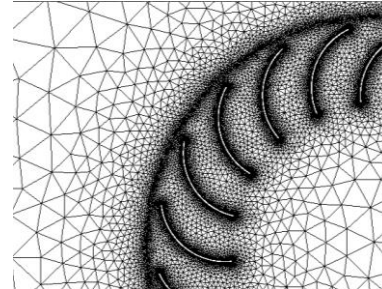


Gambar 1 Domain pemodelan

Domain dibagi menjadi dua sub domain, yaitu *fixed* dan *rotating*. *Rotating sub domain* dibuat berputar dengan menggunakan metode *sliding mesh* agar dapat memodelkan turbin yang berputar dengan kecepatan konstan. *Fixed sub domain* dibuat diam dan memiliki panjang dan lebar lebih dari 7 kali diameter turbin agar gesekan udara yang terjadi pada *wall* tidak mempengaruhi aliran udara di sekitar turbin.

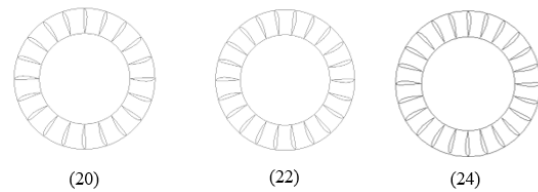
Sisi kiri *fixed sub domain* dimodelkan sebagai inlet dengan kecepatan udara masuk konstan sebesar 2 m/s. Sisi sebelah kanan dimodelkan sebagai *pressure outlet* dengan *relative static pressure* sebesar 0 Pa. Sisi atas dan bawah serta sudu pada turbin angin *crossflow* dimodelkan sebagai *wall* dan diaplikasikan *no slip wall*. Turbin angin *crossflow* yang terletak di sumbu simetris domain dimodelkan berputar dengan kecepatan putar 0,4 rad/s; 0,8 rad/s; 1,2 rad/s; 1,6 rad/s; dan 2,0 rad/s. Bilangan Reynold yang digunakan sebesar $1,34 \times 10^5$.

Meshing yang digunakan adalah *triangular meshing* dan *rectangular meshing*. *Triangular meshing* digunakan pada hampir seluruh bagian domain, kecuali bagian yang dekat dengan sudu turbin dan *interface*. Bagian tersebut menggunakan *rectangular meshing* agar *meshing* dibagian tersebut menjadi lebih halus dan hasil komputasi menjadi lebih akurat. Hasil *meshing* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil *meshing*

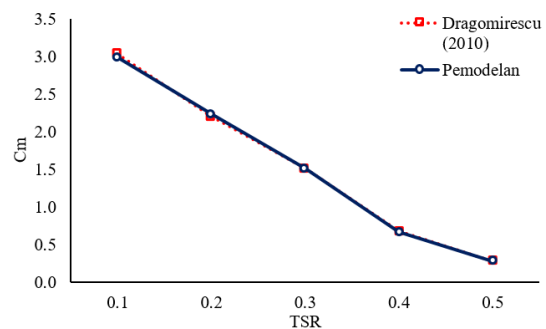
Penelitian ini bertujuan untuk melihat efek dari dan jumlah sudu 20 buah, 22 buah; dan 24 buah terhadap nilai C_p dan C_m dari turbin angin *crossflow*. Variasi jumlah sudu dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Variasi jumlah sudu

3. Hasil dan Pembahasan

Model turbulensi *k-ε realizable* digunakan untuk menyelesaikan simulasi turbin angin *crossflow*. Model turbulensi *k-ε* banyak digunakan karena aplikasinya untuk aliran yang kompleks seperti aliran berputar (*swirl*), pemisahan aliran dan aliran sekunder karena pembentukan pusaran. Nilai C_m dari pemodelan turbin angin dengan sudu setengah lingkaran dan jumlah sudu 20 buah divalidasi dengan membandingkan hasil dari penelitian Dragomirescu[8]. Untuk hasil validasi dapat dilihat pada Gambar 4.

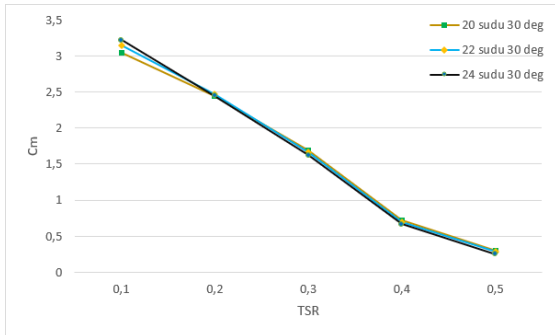


Gambar 4 Perbandingan nilai koefisien torsi

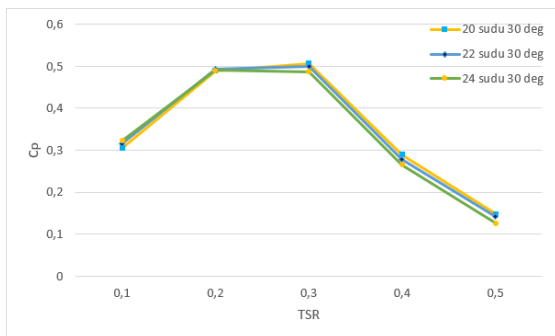
Pengaruh Jumlah Sudu

Nilai C_m seluruh turbin dengan jumlah sudu 20, 22 dan 24 menurun seiring dengan bertambahnya TSR. Turbin dengan jumlah sudu 20 cenderung lebih baik diantara jumlah sudu lainnya pada TSR 0,3. Grafik nilai C_m terhadap TSR pada turbin dengan kemiringan sudu 30° dapat dilihat pada Gambar 7.

Nilai C_p dari variasi jumlah sudu juga menunjukkan hal yang sama. Turbin dengan sudu 20 memiliki nilai C_p tertinggi pada TSR 0,3. Grafik nilai C_p terhadap TSR pada turbin dengan ketebalan 20 mm dapat dilihat pada Gambar 8.

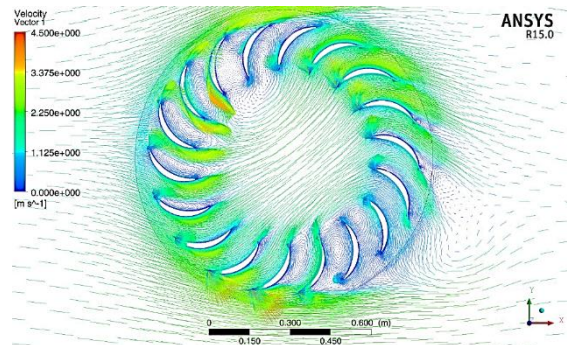
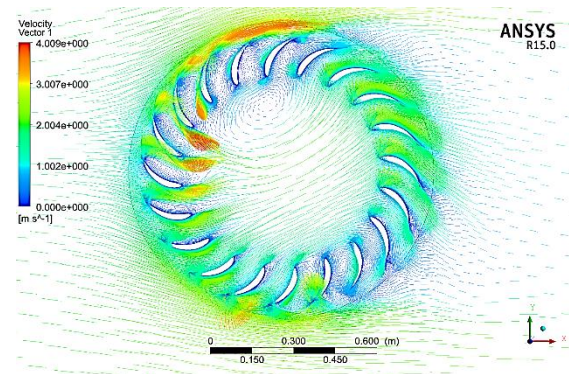


Gambar 7 Hubungan C_m dengan TSR pada variasi jumlah sudu

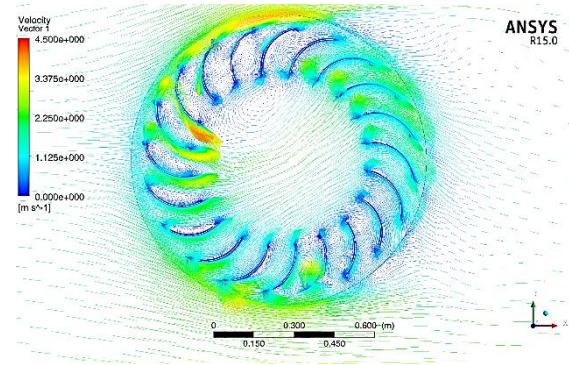


Gambar 8 Hubungan C_p dengan TSR pada variasi jumlah sudu

Hasil tersebut membuktikan bahwa turbin dengan jumlah sudu lebih sedikit akan cenderung lebih baik pada TSR 0,3. Turbin dengan jumlah sudu lebih banyak sebaliknya, lebih baik pada TSR 0,1 dan 0,2. Kecenderungan tersebut sesuai dengan teori yang dikemukakan Mathew bahwa semakin tinggi TSR suatu turbin, maka akan mencapai nilai performa yang optimum dengan jumlah sudu yang semakin sedikit. Dikarenakan pada kecepatan putar yang tinggi udara akan semakin sulit untuk masuk ke celah antara sudu. Jarak antar sudu akan semakin sedikit bila jumlah sudu semakin banyak. Vektor kecepatan pada TSR 0,1 dapat dilihat pada Gambar 9.



20 Sudu



Sudu setengah lingkaran

Gambar 9 Vektor kecepatan pada TSR 0,3

Analisa vektor kecepatan menunjukkan bahwa pada turbin sudu airfoil dengan jumlah sudu 20 dengan kemiringan sudu 30° , *vortex* yang terbentuk cenderung lebih kecil dibandingkan dengan bentuk sudu setengah lingkaran. *Inner vortex* menyebabkan terganggunya *flow rate* udara yang akan melewati sudu-sudu tingkat kedua. Hal tersebut membuat turbin angin bentuk sudu airfoil dengan kemiringan sudu 30° memiliki nilai C_p dan C_m lebih besar. Pada hasil kontur kecepatan pada sudu dengan kemiringan 30° dan 35° aliran udara yang lebih baik. Sehingga nilai C_p dan C_m lebih besar. Namun pada sudu dengan kemiringan 35° memiliki *inner vortex* yang lebih besar dibandingkan dengan sudu kemiringan 30° .

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data mengenai pengaruh sudut kemiringan sudu dan

jumlah sudu pada turbin angin tipe *crossflow* dapat diambil kesimpulan bahwa pada turbin dengan jumlah sudu 20 memiliki nilai koefisien daya yang lebih baik pada TSR 0,1, sedangkan turbin dengan sudu 24 memiliki nilai koefisien daya yang baik pada TSR 0,5.

Daftar Pustaka

- [1] I. C. Mandiș, D. N. Robescu, and M. B. Ȃ. R. G. L. Ȃ. Zan, "Capitalization of Wind Potential Using a Modified Banki Turbine," May, 2008.
- [2] M. Jahanmiri, A. Shooshtaryrezvany, and M. Nirooei, "A Computational Study of The Effect of Blade Thickness on Performance of Vertical Axis Wind Turbine," 2016.
- [3] Z. Najafian Ashrafi, M. Ghaderi, and A. Sedaghat, "Parametric study on off-design aerodynamic performance of a horizontal axis wind turbine blade and proposed pitch control," *Energy Convers. Manag.*, vol. 93, no. March, pp. 349–356, 2015.
- [4] L. Battisti, A. Brighenti, E. Benini, and M. R. Castelli, "Analysis of Different Blade Architectures on small VAWT Performance," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 753, p. 62009, 2016.
- [5] Z. Ni, T. Win, H. Htay, and M. Thein, "Performance Test and Structural Analysis of Cross-Flow Turbine,".
- [6] C. Mockmore and F. Merryfield, "The Banki Water Turbine," *Eng. Exp. Stn. Bull. Ser.*, vol. 25, no. February, pp. 1–28, 1949.
- [7] J.-I. Lim, Y.-T. Kim, and Y.-H. Lee, "Performance and Internal Flow Characteristics of a Cross-Flow Hydro Turbine by the Shapes of Nozzle and Runner Blade * Young-Do CHOI," *J. Fluid Sci. Technol.*, vol. 398, no. 3, pp. 398–409, 2008.
- [8] A. Dragomirescu, "Performance assessment of a small wind turbine with crossflow runner by numerical simulations," *Renew. Energy*, vol. 36, no. 3, pp. 957–965, 2011.