

SIMULASI PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP PERFORMANSI TURBIN ANGIN TIPE DARRIEUS-H DENGAN PROFIL SUDU NACA 0018 MENGGUNAKAN SOFTWARE CFD

Wahyu Hamdani¹, Himsar Ambarita², Tulus B. Sitorus³, Dian M.Nasution⁴, Terang UHS Ginting⁵

^{1,2,3,4,5}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Email: wahyuhamdani09@gmail.com

ABSTRAK

Turbin angin merupakan mesin dengan sudu berputar yang mengkonversikan energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Turbin angin sumbu vertikal tipe *Darrieus-H* merupakan pengembangan dari turbin angin *Darrieus*. Penelitian yang telah dilakukan para peneliti sebelumnya secara eksperimen menunjukkan hasil berupa efisiensi yang dihasilkan dari turbin angin *Darrieus-H* ini sangat kecil. Nilai ini tidak sebanding dengan biaya pabrikasi yang cukup mahal. Banyak faktor yang mempengaruhi efisiensi turbin angin ini yaitu pengaturan sudut *pitch*, diameter rotor turbin, tinggi sudu, panjang *chord* sudu dan massa turbin itu sendiri. Biaya pabrikasi yang mahal tidak efisien untuk meneliti keseluruhan variabel tersebut maka perlu dilakukan simulasi dengan menggunakan komputer. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah sudu terhadap performansi turbin angin dengan mensimulasikannya dengan menggunakan *software* CFD. Turbin angin yang disimulasi berupa rotor 2D dengan diameter 1,50 m pada daerah *rotating region*. Airfoil yang dipakai adalah NACA 0018. Variasi jumlah sudu yang digunakan adalah 3, 4, 5, dan 6 buah. Hasil simulasi menunjukkan efisiensi untuk jumlah sudu 5 buah pada tip speed ratio 1.8 memiliki efisiensi tertinggi yaitu 58.941 %. Perbedaan yang terjadi antara hasil eksperimen dan simulasi disebabkan karena adanya kerugian yang terjadi pada saat pengujian.

Kata kunci : Turbin angin *Darrieus-H*, *Software* CFD, Efisiensi

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi angin di Indonesia masih sangat kecil, baik yang dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik ataupun untuk menggerakkan peralatan mekanis seperti pompa ataupun mesin penggiling biji-bijian. Ini dikarenakan kecepatan angin yang terdapat di Indonesia umumnya relatif kecil yaitu lebih kecil dari 5 m/s. Hanya ada beberapa daerah tertentu yang memiliki kecepatan angin lebih besar dari 5 m/s contohnya di daerah-daerah di sekitar pantai. Nilai kecepatan angin yang kecil ini tidak cukup untuk menggerakkan turbin angin untuk mendapatkan daya yang besar.

Pada zaman dahulu sebelum perangkat komputer berkembang, beberapa peneliti di seluruh dunia merancang berbagai bentuk sudu turbin angin untuk diuji dan dianalisa dengan bantuan terowongan angin (*wind tunnel*). Cara pengujian ini membutuhkan biaya yang cukup mahal. Dengan bantuan perangkat lunak CFD, para peneliti dapat menganalisa bentuk sudu lebih baik dan murah dengan hasil yang hampir sama bila dengan menggunakan terowongan angin (*wind tunnel*).

Atas pertimbangan inilah, penulis akan melakukan simulasi bentuk sudu dan pengaruh jumlah sudu turbin angin sumbu vertikal agar turbin angin yang akan dibuat nantinya dapat berfungsi secara optimal.

Dengan melihat begitu banyaknya faktor yang terdapat dalam perancangan turbin angin ini, penulis membuat batasan masalah agar tujuan dan target penelitian dapat dicapai sesuai perencanaan. Batasan masalah penelitian ini adalah:

1. Airfoil yang akan dianalisa adalah tipe NACA 0018 untuk mendapatkan koefisien lift dan koefisien drag dimana analisa dilakukan secara 2D dengan variasi sudut serang 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12.
2. Pemodelan secara 2D peralatan turbin angin untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu terhadap performa turbin angin ini dengan variasi jumlah sudu 3, 4, 5 dan 6.

3. Simulasi dilakukan secara numerik dengan bantuan software *Computational Fluid Dynamic*. Untuk model dilakukan dengan bantuan preprocessor Gambit dan Solidwork dan analisa fluidanya dengan menggunakan Fluent.

2. TINJAUAN PUSTAKA

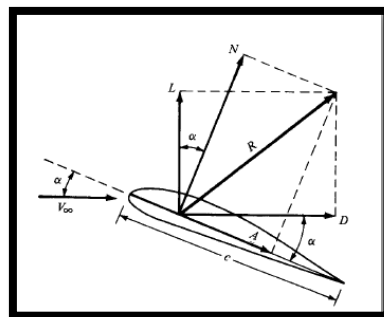
Energi angin merupakan salah satu bentuk energi yang dapat diperbaharui. Angin merupakan gejala alam yang diakibatkan adanya perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Didaerah khatulistiwa, udaranya menjadi panas, mengembang lalu menjadi ringan, naik ke atas dan bergerak ke daerah yang lebih dingin. Sebaliknya, daerah kutub yang dingin, udaranya menjadi dingin dan turun ke bawah. Dengan demikian terjadi suatu perputaran udara berupa perpindahan udara dari kutub utara ke garis khatulistiwa menyusuri permukaan bumi dan sebaliknya suatu perpindahan udara dari garis khatulistiwa kembali ke kutub utara, melalui lapisan udara yang lebih tinggi ^[2].

Turbin angin merupakan mesin dengan sudu berputar yang mengkonversikan energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Berdasarkan arah sumbu gerakannya, turbin angin terbagi menjadi 2, yaitu:

1. Turbin angin sumbu horizontal
2. Turbin angin sumbu vertikal

Bentuk airfoil dari sudu membantu untuk menghasilkan gaya lift dengan mengambil keuntungan dari efek Bernoulli. Salah satu lembaga yang telah banyak meneliti bentuk dari airfoil adalah *National advisory committee for aeronautics (NACA)* yang dimiliki oleh Amerika Serikat. Dua variabel yang mempengaruhi bentuk airfoilnya adalah kemiringan garis tengah airfoil (*the slope of the airfoil mean camber line*) dan distribusi ketebalan diatas dan dibawah garis tersebut (*the thickness distribution above and below this line*). Kedua variabel ini menjadi inti dari semua pengembangan bentuk seri NACA yang lainnya.

Penempatan sudu dari turbin angin menentukan seberapa banyak gaya lift yang dapat dihasilkan. Gambar berikut menunjukkan arah kecepatan angin pada sudu turbin angin.



Gambar 1. Gaya aerodinamis pada penampang sudu^[1]

Besarnya gaya angkat dan gaya drag sama dengan persamaan berikut ini.

$$F_L = c_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2 \cdot (R \cdot c) \cdot B \quad \text{.....(1)}$$

$$F_D = c_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2 \cdot (R \cdot c) \cdot B \quad \text{.....(2)}$$

Dimana:

C_L = koefisien lift

C_D = koefisien gaya drag

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

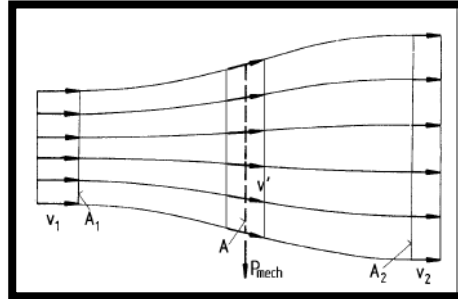
w = kecepatan angin relative (m/s)

R = jari jari turbin (m)

c = panjang chord sudu (m)

B = jumlah sudu

Albert Betz menjelaskan bahwa dengan menerapkan hukum fisika dasar, energi mekanik yang dapat diekstrak dari aliran udara yang melewati suatu penampang, dibatasi oleh energi yang terkandung pada aliran udara tersebut. Penelitian lebih lanjut ekstraksi daya yang optimal didapatkan dengan rasio tertentu antara kecepatan aliran udara yang berada didepan mesin konversi energi dan kecepatan aliran di belakang mesin tersebut ^[3].



Gambar 2. Kondisi aliran udara pada proses pengambilan energi mekanik menurut teori momentum elementer^[3]

Nilai perbandingan antara daya mekanik yang dapat diekstrak turbin angin dibandingkan daya yang tersedia oleh angin bebas disebut sebagai koefisien daya, c_p yang dituliskan sebagai berikut ini:

$$c_p = \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \cdot \left| 1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right| \left| 1 + \frac{v_2}{v_1} \right| \dots (3)$$

Dimana:

P = Daya turbin (Watt)

P_0 = Daya angin (Watt)

V_1 = Angin masuk (m/s)

V_2 = Angin keluar (m/s)

Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika (model matematika). Pada dasarnya, persamaan-persamaan pada fluida dibangun dan dianalisis berdasarkan persamaan-persamaan diferensial parsial (PDE = *Partial differential Equation*) yang mempresentasikan hukum-hukum konservasi massa, momentum, dan energy^[4].

Untuk kasus 2 dimensi (2D), persamaan-persamaan ini ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (4)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \dots\dots (5)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{k}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \dots\dots (6)$$

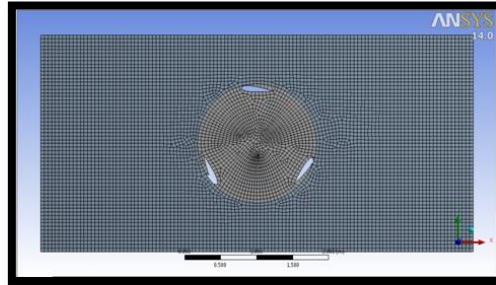
3. METODOLOGI

Dalam penelitian ini yang menjadi fokus perhatian adalah jumlah sudu yang optimal dalam mengekstrak energi angin oleh turbin angin.

Untuk melakukan perhitungan performansi turbin angin maka diperlukan seperangkat komputer yang telah terinstall *Software Computational Fluid dynamic*. Simulasi yang akan dilakukan adalah dengan memvariasikan jumlah sudu 3, 4, 5, dan 6 buah dan *tip speed ratio* 1.65, 1.7, 1.75, dan 1.8. Sudu yang dipakai adalah airfoil NACA 0018.

Langkah-langkah dalam melakukan simulasi dibagi ke dalam dua tahap yaitu pemodelan geometri dan yang kedua melakukan simulasi CFD menggunakan Fluent. Pemodelan geometri dilakukan di Solidwork kemudian pembuatan meshnya dilakukan di ANSYS V14.0

Disini juga dilakukan proses *mesh interface* yang bertujuan untuk memisahkan antara mesh lingkungan dan mesh daerah berputar turbin (*rotating region*).



Gambar 3. Pembuatan mesh pada geometri turbin angin

Setelah proses meshing selesai selanjutnya penentuan kondisi batas (*boundary condition*). Proses ini juga dilakukan di ANSYS V14.0 dengan menentukan inlet, outlet serta dinding pada geometri.

Setelah proses penentuan kondisi batas selesai selanjutnya dilakukan proses simulasi. Simulasi turbin angin dilakukan di Fluent. File mesh yang telah dihasilkan di ANSYS 14.0 dibuka di Fluent, kemudian dilakukan proses pengecekan kondisi mesh apakah sudah baik atau terdapat error.

Langkah berikutnya adalah menentukan solver, dalam simulasi ini digunakan keadaan *unsteady* karena simulasi ini berdasarkan waktu yang telah ditentukan dan model *viscous* yang dapat dipilih sesuai dengan kasus ini adalah dipilih model *k-epsilon (2eq)*.

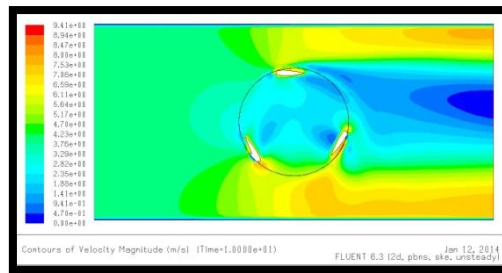
Langkah berikutnya adalah menentukan nilai-nilai kondisi batas. Untuk jenis kondisi batas keluar dan wall, dipakai nilai default yang ada di Fluent. Sedangkan untuk kondisi batas *velocity inlet* dipakai nilai sebesar 4 m/detik. Kondisi batas yang divariasikan adalah kecepatan rotasi turbin angin yang didasarkan pada nilai *tip speed ratio* yang telah ditentukan sebelumnya. Meskipun besarnya nilai kecepatan rotasi berubah-ubah, namun geometri *meshing* yang digunakan sama untuk setiap variasi sudu yang sama pula. Hal yang dilakukan adalah mengubah ubah nilai kecepatan rotasi pada daerah rotasinya.

Langkah selanjutnya adalah proses inisialisasi dan iterasi. Pada simulasi ini lamanya proses perhitungan telah ditentukan dengan Time Step Size 0.01, Number of Time Steps 1000, dan Max. iterasi per Time Step 2.

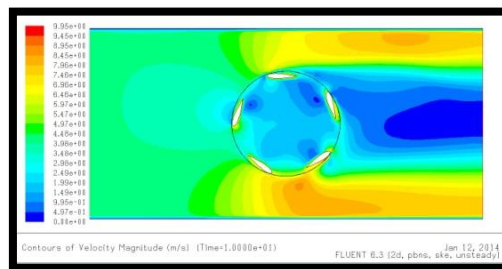
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi yang dilakukan didapat data berupa nilai kecepatan angin pada sisi keluar dari turbin angin berdasarkan parameter-parameter yang diinput berupa nilai kecepatan angin, sudut pitch, dan nilai kecepatan putar turbin angin pada tiap-tiap variasi jumlah sudu dan variasi *tip speed ratio*. Jumlah sudu yang akan digunakan, yaitu 3 sudu, 4 sudu, 5 sudu, dan 6 sudu. Nilai *tip speed ratio* yang akan digunakan, yaitu 1.65, 1.7, 1.75, dan 1.8. Nilai *tip speed ratio* ini digunakan untuk menentukan besar putaran turbin. Nilai kecepatan angin yang digunakan tetap sebesar 4 m/s untuk semua variasi dan sudut pitch yang dipakai sebesar 6^0 yang dipilih berdasarkan eksperimen yang pernah dilakukan sebelumnya.

Berikut ini ditampilkan perbandingan hasil simulasi turbin angin dengan variasi jumlah sudu dengan nilai *tip speed ratio* yang tetap sebesar 1,8 dengan kecepatan angin yang tetap pula pada sisi inlet sebesar 4 m/s.



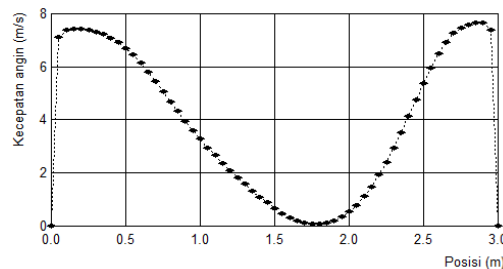
Gambar 4. Kontur kecepatan pada jumlah sudu 3 dengan TSR 1,8



Gambar 5. Kontur kecepatan pada jumlah sudu 5 dengan TSR 1,8

Pada gambar di atas terlihat aliran yang melewati turbin angin untuk jumlah sudu 3 sudu dan 5 sudu. Perbedaan warna tersebut mewakili besar kecepatan angin yang melewati turbin angin. Pada gambar 5 terlihat kontur kecepatan angin yang melewati turbin angin memiliki kecepatan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan kontur kecepatan angin pada gambar 4 yang diwakilkan dengan warna biru. Hal ini disebabkan karena perbedaan kerapatan hambatan pada daerah berputar turbin angin.

Data kecepatan angin yang melewati sisi outlet dapat ditentukan langsung menggunakan Fluent dengan cara mengeplot nilai X dan Y sisi outlet setelah proses iterasi selesai. Data kecepatan angin ini didapat sepanjang sisi outlet dari posisi 0 meter sampai posisi 3 meter dengan rentang 0,05 meter.



Gambar 6. Grafik kecepatan angin pada sisi outlet

Pada grafik di atas terlihat kecepatan angin pada sisi outlet dari posisi 0 meter sampai 3 meter. Sebenarnya nilai kecepatan angin yang digunakan untuk perhitungan tidak seluruhnya disepanjang sisi outlet, melainkan hanya disepanjang diameter daerah putar turbin saja, yaitu 1,65 meter. Jadi titik yang digunakan untuk mengambil data kecepatan angin yaitu sebagai berikut:

Panjang outlet = 3 m

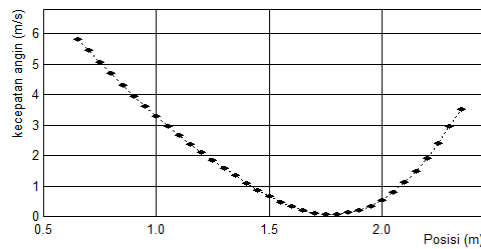
Diameter rotating region = 1,65 m

Jarak dari bawah ;

Titik 1 = $0 + (3 - 1,65)/2 = 0.675$ m

Titik 2 = $0.725 + 1,55 = 2.325$ m

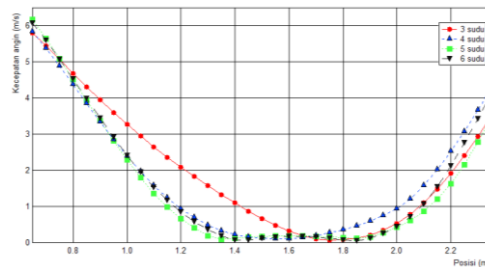
Grafik kecepatan angin pada daerah putar turbin ditampilkan sebagai berikut:



Gambar 7. Grafik kecepatan angin pada daerah putar turbin dengan jumlah sudu 3 TSR 1,65

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa ketika posisi 0,65 meter sampai posisi 1,75 meter dari daerah sisi outlet terjadi penurunan kecepatan, namun setelah melewati posisi 1,75 meter kecepatan angin kembali meningkat sampai posisi 2,35 meter dari sisi outlet. Nilai kecepatan angin ini bisa didapat secara langsung di Fluent dengan cara mengeplot nilai X dan Y setelah proses iterasi selesai.

Nilai kecepatan angin rata-rata yang keluar dari daerah putar turbin angin akan digunakan untuk menghitung nilai C_p . Nilai C_p digunakan untuk menghitung daya dari turbin angin. Untuk data hasil simulasi dengan variasi jumlah sudu 3, 4, 5, dan 6 buah berupa kecepatan angin di daerah putar untuk TSR = 1,65 ditampilkan dalam grafik berikut.



Gambar 8. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap variasi jumlah sudu

Pada grafik di atas terlihat jika jumlah sudu bertambah, maka kecepatan angin yang melewati turbin angin akan semakin mengecil. Hal ini karena angin yang melewati turbin angin energinya lebih banyak diekstrak oleh turbin angin melalui rotornya. Kecepatan angin yang semakin mengecil ini menandakan bahwa daya yang dapat diekstrak oleh turbin angin lebih besar.

Berikut ini merupakan data yang diperoleh dari hasil simulasi yang berupa data kecepatan angin rata-rata yang diperoleh dari nilai rata-rata kecepatan angin outlet sepanjang daerah berputar turbin angin terhadap nilai TSR pada variasi jumlah sudu yang dibuat dalam bentuk tabel.

Tabel 1. Kecepatan rata-rata hasil simulasi

TSR	V_{ave} (m/s)			
	3 sudu	4 sudu	5 sudu	6 sudu
1.65	2.09	1.84	1.67	1.68
1.7	2.08	1.79	1.62	1.67
1.75	2.03	1.76	1.59	1.67
1.8	2.00	1.75	1.555	1.66

Kondisi angin pada saat dilakukan proses simulasi yaitu pada temperature 32°C. Sehingga didapat massa jenis udara sebesar:

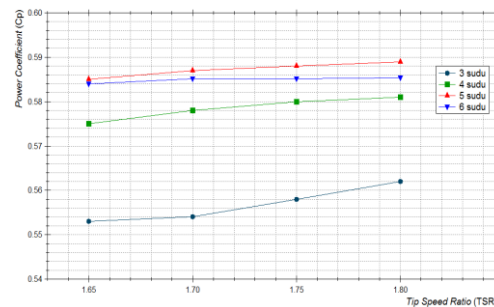
$$T = 32^{\circ}\text{C} \rightarrow \rho_{\text{udara}} = 1.1594 \text{ kg/m}^3$$

Kecepatan angin pada saat simulasi adalah 4 m/s, sehingga didapat daya angin yang melewati luas rotor turbin sebesar:

$$\begin{aligned} D_{\text{turbin}} &= 1.65 \text{ m} \\ H_{\text{turbin}} &= 1.5 \text{ m} \\ A &= D_{\text{turbin}} \times H_{\text{turbin}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.65 \times 1.5 \\
 &= 2.475 \text{ m}^2 \\
 P_{\text{angin}} &= \frac{1}{2} \rho A v_a^3 \\
 &= 0,5 (1,1594)(2.475)(4^3) \\
 &= 91.82 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

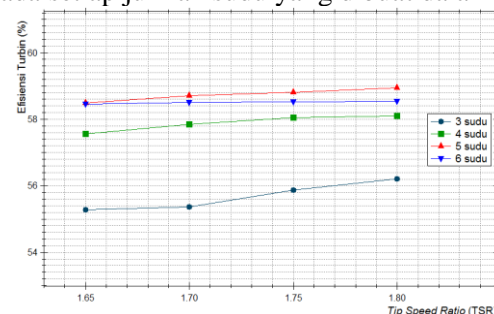
power coefficient (C_p) adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan secara mekanik pada sudu akibat gaya angin terhadap daya yang dihasilkan oleh gaya lift pada aliran udara, Hasil perhitungan tiap data dibuat dalam grafik berikut ini.



Gambar 9. Grafik tip speed ratio vs koefisien daya untuk semua jumlah sudu

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin besar nilai TSR, maka nilai koefisien daya turbin angin juga semakin besar. Turbin angin dengan jumlah sudu 5 buah memiliki *power coefficient* (C_p) paling tinggi dibandingkan dengan turbin angin dengan jumlah sudu 3, 4 maupun 6 buah. Nilai maksimum C_p untuk turbin dengan jumlah sudu 5 buah mencapai 0.589 pada TSR 1.8.

Efisiensi turbin merupakan perbandingan daya angin yang mampu diekstrak sudu turbin yang diukur dari *power coefficient* yang dihasilkan turbin angin dengan daya angin teoritis. Efisiensi turbin merupakan keefektifan rotor turbin dalam memanfaatkan energi kinetik angin. Berikut hasil perhitungan efisiensi turbin pada setiap jumlah sudu yang dibuat dalam bentuk grafik.



Gambar 10. Grafik nilai TSR vs efisiensi turbin untuk semua jumlah sudu

Dari grafik di atas terlihat bahwa semakin besar nilai TSR, maka nilai efisiensi turbin angin juga akan semakin besar. Turbin angin yang memiliki jumlah sudu 5 buah memiliki tingkat efisiensi yang paling tinggi dibandingkan dengan turbin angin yang memiliki jumlah sudu 3, 4 maupun 6 buah. Nilai maksimum efisiensi untuk turbin dengan jumlah sudu 5 buah mencapai 58,9413% pada TSR 1.8. Sedangkan efisiensi paling rendah dimiliki oleh jumlah sudu 3 buah dengan nilai efisiensi 55,2841% pada TSR 1,65.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan pada bab-bab sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan dari hasil penelitian ini yaitu:

1. Pada saat sudut serang 0° nilai koefisien gaya angkat airfoil NACA 0018 bernilai nol, hal ini akan mengakibatkan tidak adanya gaya aerodinamis dari profil airfoil. Ini disebabkan karena profil airfoil ini berbentuk simetri, dimana bentuk bagian atas profil sama dengan bentuk bagian bawah

profil airfoil. Unjuk kerja aerodinamis profil airfoil NACA 0018 akan memiliki nilai optimum pada sudut serang (α) = 7° , nilai ini diperoleh dari perbandingan antara koefisien gaya angkat dengan koefisien gaya hambat tertinggi yang diperoleh dari hasil simulasi yang nilainya sebesar 44,106.

2. Simulasi turbin angin dengan variasi tip speed ratio menunjukkan nilai koefisien daya terkecil 0,553 dihasilkan oleh jumlah sudu 3 buah dengan nilai tip speed ratio sebesar 1.65, sedangkan koefisien daya terbesar 0,589 dihasilkan oleh jumlah sudu 5 buah dengan nilai tip speed ratio 1.8.
3. Turbin angin dengan jumlah sudu 5 buah lebih efisien untuk mengekstrak energi angin daripada turbin angin dengan jumlah sudu 3 buah, 4 buah dan 6 buah. Hal ini disebabkan karena ketika jumlah sudu 5 buah kerapatan luas sapuan turbin semakin besar.

Efisiensi maksimum untuk tiap jumlah sudu yaitu:

- 3 sudu, $\eta_{\max} = 56.203 \%$
- 4 sudu, $\eta_{\max} = 58.098 \%$
- 5 sudu, $\eta_{\max} = 58.941 \%$
- 6 sudu, $\eta_{\max} = 58.534 \%$

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anderson Jr, J. D. 1999. *Fundamental of Aerodynamics*. Mc.Graw-Hill. Boston.
- [2] Damanik, Asan. 2011. *Fisika Energi*. Yogyakarta : Sanata Dharma.
- [3] Hau, Eric. 2006. *Wind turbines : Fundamentals, Technologies, Application, Economics*. Edisi 2. Berlin : Springer.
- [4] Tuakia, Firman. 2008, *Dasar-Dasar CFD Menggunakan Fluent*. Bandung : Penerbit Informatika.

