

STUDI NUMERIK PENGARUH JUMLAH SUDU DAN SUDUT SERANG TERHADAP PERFORMA AXIAL FAN

Bagas Dwi Darmawan ^{1*}, Burniadi Moballa, S.T., M.Sc., Ph.D. ², Dra. Daisy Dwijati Kumala R.A., M.Pd. ³

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{2*}

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{3*}

Email: bagasdwi@student.ppns.ac.id^{1*}; bmoballa@ppns.ac.id^{2*}; daisy.dwijati@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - Axial fan is mostly used in ships and shipyard. Since there are many requests of it from ships or shipyard, it encourages local entrepreneurs to make their own axial fans. Unfortunately, the axial fans used had no values of pressure, discharge, efficiency and so on. Its performance is also influenced by number of blades and angle of attack. Therefore, a research in the form of simulation was conducted to determine the effect of blades and angle of attack number to axial fan performance. The variation number of blades is 7, 8, and 9. The variation angle of attack refers to the previous research i.e. 35° and 40°. Simulation of axial fans are carried out using 3D modeling based on CFD (Computational Fluid Dynamics). It is done to know the flowrate and power coefficient values on the axial fan. The final result is the most optimum flowrate and power coefficient values are in the variation of 7 blades and 35° angle of attack so that it can be developed to improve the local axial fan performance.

Keyword: Angle of Attack, CFD (Computational Fluid Dynamics), Number of Blade

Nomenclature

Q	=	Debit (m^3/s)
C	=	Chord Length (m)
S	=	Span (m)
R_t	=	Radius Tip (m)
R_h	=	Radius Hub (m)
ω	=	Angular Velocity (rad/s)

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis. Pada sebagian besar wilayah di Indonesia, suhu tinggi dan kelembapan yang tinggi menjadi ciri khas, yang memengaruhi kebutuhan akan sistem pendingin yang efektif dan efisien. Disini sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Condition*) berperan penting dalam memberikan kenyamanan sirkulasi udara yang sehat dan pengendalian kelembapan. AHU (*Air Handling Unit*) adalah perangkat HVAC yang bertugas untuk mengatur dan memproses udara dalam ruangan tertentu. Pada AHU sendiri. Salah satu komponen utama dalam AHU adalah kipas (*fan*) yang digunakan untuk menggerakkan dan mengalirkan udara melalui *unit* tertentu.

Fan atau kipas adalah alat mekanis yang dirancang untuk menghasilkan aliran udara dengan mengubah energi mekanis menjadi energi kinetik pada udara. Tujuan utama dari *fan* sendiri yaitu untuk memindahkan udara dari suatu tempat ke tempat lain dan juga bisa bertujuan menghasilkan aliran udara yang diperlukan dalam suatu sistem tertentu. Klasifikasi *fan* berdasarkan

prinsip kerja sendiri terdapat dua jenis, yaitu *centrifugal fan* dan *axial fan*.

Axial fan adalah alat yang digunakan untuk menurunkan dan meningkatkan volume laju aliran udara [1]. Jika dibandingkan dengan jenis fan lain, maka fan aksial mempunyai karakteristik debit udara yang besar namun tekanan yang kecil [2]. Oleh karena itu, banyak dilakukannya modifikasi untuk mengetahui apa saja efek yang terjadi pada *fan* dan juga agar sesuai dengan penggunaannya. Untuk modifikasi yang memungkinkan sendiri pada *fan* khususnya jenis *axial fan* sendiri seperti merubah jumlah sudu, besar sudut, pemilihan profil kipasnya, dan modifikasi lainnya.

Penelitian tugas akhir ini, dilakukan *redesain axial fan* dari *air handling unit* dengan memvariasi jumlah sudu *impeller* pada *axial fan* serta sudut serang untuk mengetahui pengaruh nilai koefisien *flowrate* dan *pressure* sebelum dan sesudah pada *blade*. Sudut serang adalah sudut antara gerakan bilah dan garis *chord* [3]. Selain itu, sudut serang adalah sudut yang dibentuk oleh tali busur sebuah *airfoil* dan arah aliran udara yang melewatinya (*relative wind*) [4]. Modifikasi ini juga dilakukan karena melihat banyaknya kebutuhan baik keperluan untuk kapal dan keperluan di lingkungan galangan kapal yang ada khususnya di Indonesia. Modifikasi pada *blade* dilakukan dengan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Dalam hal ini program yang akan digunakan dalam CFD (*Computational Fluid Dynamics*) menggunakan aplikasi *OPENFOAM* yang diharapkan mendapatkan hasil dari pengaruh jumlah sudu dan sudut serang terhadap nilai

koefisien *flowrate* dan *pressure* dengan hasil *flowrate* yang tinggi dan dengan *pressure* yang rendah atau optimal sesuai karakteristik pada *axial fan*

2. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk melakukan simulasi pada penelitian ini maka perlunya dilakukan beberapa langkah diantaranya adalah sebagai berikut:

2.1 Pengumpulan Data

Tahapan selanjutnya pengumpulan data yang dilakukan penulis dan merupakan data primer yang diperoleh secara langsung dengan cara pengamatan dan pengukuran dari spesifikasi objek yang didapat secara langsung dan sumber data didapatkan melalui studi literatur. Berikut adalah tabel spesifikasi axial fan yang diambil saat pengukuran secara langsung sesuai pada tabel 1.

Table 1. Data *Existing Axial Fan*

Casing	Diameter	445 mm
	Tebal	14,5 mm
	Panjang	495 mm
Fan	Jumlah	8 buah
	Panjang blade	157,5 mm
	Airfoil	NACA 6409
	Panjang Airfoil Hub	78.7 mm
	Panjang Airfoil Tip	68.55 mm
	Diameter hub	130 mm
	Sudut Serang Hub	35°
Sudut Serang Tip	30°	
Motor	Type	3 Phase Induction Motor
	Daya	1,5 kW
	Tegangan	220 V
	Putaran	1730 rpm
	Arus	6,1 A

2.2 Penyusunan Model

Dalam tahap penyusunan pemodelan, tahap ini digunakan untuk simulasi pada tahap selanjutnya. Pada penelitian ini, software untuk menyusun pemodelan akan menggunakan *software Solidworks* untuk mendesain bentuk *axial fan* dengan 3 dimensi.

2.3 Validasi *Grid Independence*

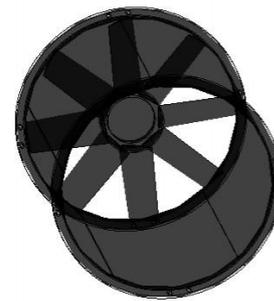
Proses validasi dilakukan untuk memperoleh hasil yang tepat atau bahkan mendekati hasil dari eksperimen terhadap model dan parameter yang akan dilakukan pada proses simulasi[5]. Berikut ini Langkah – langkah proses validasi dan *Grid Independence* :

1. Penentuan Model Numerik

Proses awal sebelum memasuki tahap validasi dan *Grid Independence* dilakukan penentuan model numerik yang akan dipakai pada *software Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Penentuan model numerik melibatkan proses pemilihan dan penyesuaian model matematis yang akan digunakan untuk memsimulasikan suatu fenomena pada percobaan.

2. Pembuatan *Existing Fan*

Pemodelan untuk *existing fan* ini membuat pemodelan *axial fan* sesuai dengan data yang didapat saat melakukan pengukuran secara langsung yang telah dilakukan sebelumnya.

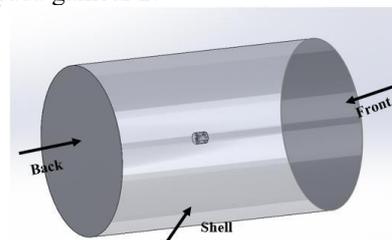


Gambar 1. *Existing Axial Fan*

3. Simulasi CFD

a. *Pre – Processing* :

- Pembangkitan Meshing : *Meshing* adalah tahap penting dalam simulasi numerik, khususnya dalam metode CFD. *Meshing* merupakan proses yang melibatkan pembagian domain atau geometri yang akan disimulasikan menjadi elemen-elemen kecil yang disebut elemen mesh atau jaringan. Setelah pembangkitan mesh, barulah menentukan kondisi batas atau *boundary condition*. *Boundary condition* digunakan untuk menentukan pemodelan *airfoil* seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Skema *Boundary Condition*

b. *Solving* :

Solving merupakan tahap perhitungan model yang dibuat pada tahap *pre processing*. Jenis solusi numerik finite volume.

c. *Post – Processing* :

Selanjutnya hasil penghitungan dari *solving* yang berupa nilai-nilai numerik dan variabel-variabel dasar. Pada tahap *post-processing*, hasilnya ditampilkan pada bentuk visualisasi ataupun kontur distribusi parameter aliran fluida.

d. Validasi *Grid Independence* :

Setelah proses simulasi CFD selesai, maka akan dilakukan validasi jumlah *cell* yang digunakan dalam perhitungan karena hal ini menentukan keakuratan hasil yang diperoleh karena jumlah *cell* juga dapat mempengaruhi perubahan bentuk geometri. Namun tidak selamanya dengan jumlah *cell* yang banyak akan menambah keakuratan hasil perhitungan. Oleh karena itu, akan ditentukan jumlah *cell* (mesh) yang paling optimum, sehingga lebih efisiensi

dalam segi waktu dan penyimpanan pada komputer atau laptop yang terpakai tidak terlalu banyak.

e. Validasi sesuai literatur :

Pada tahap akhir dilakukan validasi sesuai literatur dengan membandingkan nilai hasil simulasi dengan *software OpenFOAM* yang dijadikan acuan. Apabila nilai jauh dari nilai validasi maka perlu dilakukan revisi pemodelan dan *setting*.

4. Studi Parameter :

Dalam tahap ini, akan dilakukannya simulasi pemodelan jumlah sudu dan sudut serang terhadap pengaruh nilai koefisien *flowrate* dan *pressure axial fan*. Langkah awal pada tahap ini yaitu penggambaran objek 3D. Penggambaran 3D penelitian ini meliputi *redesain* gambar asli dan juga meredesain dengan variasi jumlah sudu seperti pada gambar 3.4 dan sudut serang. Pada proses simulasi, aliran dibuat *steady*. Setelah simulasi sesuai dengan *boundary* yang telah ditentukan menggunakan CFD dengan *software OPENFOAM*.



Gambar 3. 3D Variasi jumlah sudu

5. Evaluasi Hasil Simulasi :

Tahapan evaluasi hasil simulasi bertujuan untuk mengolah data yang didapat dari hasil simulasi sebelumnya melalui *software OPENFOAM*. Lali dilakukan olah data dari hasil simulasi sehingga didapatkan nilai dari koefisien *flowrate* dan *pressure fan*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan *Solidity Existing* Data

Langkah awal yaitu menghitung nilai *solidity* awal atau *solidity existing* yang juga dijadikan acuan untuk mengihtung variasi *fan* lainnya

$$\sigma = \frac{Z \cdot C \cdot S}{\pi \cdot (R_t^2 - R_h^2)}$$

σ = *Solidity*

Z = jumlah sudu

C = *Chord Length*

S = *Span*

R_t = *Radius tip*

R_h = *Radius hub*

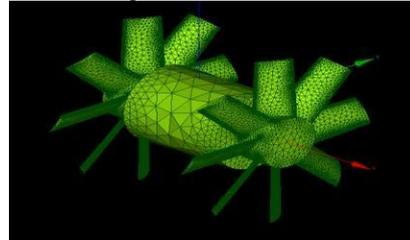
$$\sigma = \frac{Z \cdot C \cdot S}{\pi \cdot (R_t^2 - R_h^2)}$$

$$\sigma = \frac{8 \cdot 73,625 \cdot 150}{\pi \cdot (215^2 - 65^2)}$$

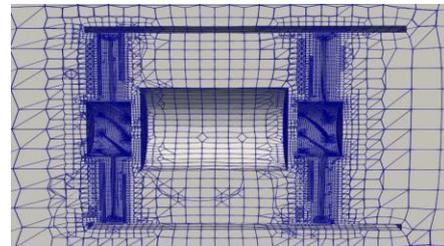
$$\sigma = 0,670$$

3.2 Proses Meshing Existing dan Skema Boundary

Meshing penelitian ini menggunakan *algorithm Netgen 1D-2D* dengan *software* dan menggunakan *max size cell 0,5* dan *min size cell default* untuk memenuhi *mesh* pada bagian terkecil. Kemudian setelah didapat *mesh* pada dengan hasil *mesh surface*, dilanjutkan *mesh volume* dengan *mesh* ulang pada *software OpenFOAM* dengan *command CartesianMesh*.



Gambar 4. Hasil Meshing Surface Existing



Gambar 5. Hasil Meshing Volume Existing

3.3 Hasil Simulasi Dan Validasi Data

Perbandingan yang akan dilakukan yaitu dengan mengambil nilai *surface flow* atau debit pada tiap percobaan ukuran *max cell size* pada *existing axial fan*. Dapat dilihat dari tabel 2.

Table 2. Nilai *Surface Flow Existing* Tiaan *Max Cell Size*

<i>Max Cell Size</i>	Q (m ³ /s)	Time Convergence	Error (%)
0,8	1,81251	1830s	
0,7	2,66807	1450s	1,47203
0,6	2,24358	1430s	1,23783
0,5	2,67249	1320s	1,47447

Dapat disimpulkan bahwa ukuran *max cell size* yang akan digunakan pada percobaan variasi adalah *max cell size 0,6* dikarenakan nilai *error* yang didapat paling kecil disbanding dengan *max cell size* lainnya.

3.4 Perhitungan Variasi Pemodelan

σ (solidity) existing = 0,670

Rasio *Hub* dan *Tip*

$$\begin{aligned}
 - \text{Hub} &= \frac{78,7}{147,25} \\
 &= 0,5345 \\
 - \text{Tip} &= \frac{68,55}{147,25} \\
 &= 0,4655
 \end{aligned}$$

a. Mencari Panjang *hub* dan *tip* variasi 7 sudu

$$\sigma = \frac{Z \cdot C \cdot S}{\pi \cdot (R_t^2 - R_h^2)}$$

$$0,670 = \frac{7 \cdot C \cdot 150}{\pi \cdot (215^2 - 65^2)}$$

$$C = 84,152$$

$$C = 84,152 \times 2$$

$$= 168,304$$

$$- \text{Hub} = 168,304 \times 0,5345$$

$$= 89,959 \text{ mm}$$

$$- \text{Tip} = 168,304 \times 0,4655$$

$$= 78,345 \text{ mm}$$

b. Mencari Panjang *hub* dan *tip* variasi 9 sudu

$$\sigma = \frac{Z \cdot C \cdot S}{\pi \cdot (R_t^2 - R_h^2)}$$

$$0,670 = \frac{9 \cdot C \cdot 150}{\pi \cdot (215^2 - 65^2)}$$

$$C = 65,452$$

$$C = 65,452 \times 2$$

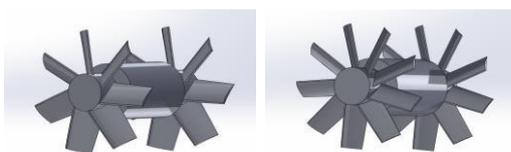
$$= 130,904$$

$$- \text{Hub} = 130,904 \times 0,5345$$

$$= 69,968 \text{ mm}$$

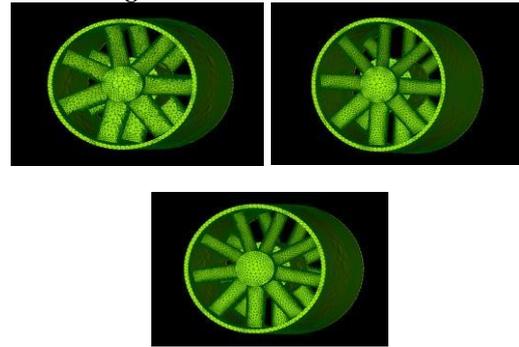
$$- \text{Tip} = 130,904 \times 0,4655$$

$$= 60,936 \text{ mm}$$



Gambar 6. 3D 7 Sudu(kiri) dan 9 Sudu (kanan)

3.5 Meshing



Gambar 7. Hasil Meshing Surface



Gambar 8. Hasil Meshing Volume

3.6 Solving

Pada tahap *solving* sendiri sama seperti pada saat *solving existing*. *Solving* menggunakan *software OpenFOAM*. *Solver* yang digunakan yaitu *simplefoam*. Hasil simulasi *running* didapat debit sebagai berikut :

Table 3. Nilai *Surface Flow* Tiap Variasi

Variasi	Q (m ³ /s)
7 sudu, sudut serang 40°	2,11278
7 sudu, sudut serang 35°	2,41368
8 sudu, sudut serang 40°	1,35211
9 sudu, sudut serang 40°	1,0519
9 sudu, sudut serang 35°	0,707209

3.7 Hasil Dengan Perhitungan Manual

Perhitungan manual dilakukan dengan mengambil data *processing* dari hasil *running* yang ada pada *file running*. Kemudian setelah data didapat, dilakukan perhitungan manual dengan rumus sebagai berikut :

$$- \text{Koefisien Flow} : \Phi = \frac{Q}{\omega \cdot D^3}$$

$$- \text{Koefisien Power} : C_P = \frac{T \cdot \omega}{\rho \cdot \omega^3 \cdot D^5}$$

$$- \text{Koefisien Head} : \Psi = \frac{g \cdot H}{\omega^3 \cdot D^3}$$

Table 4. Perbandingan Nilai Ψ , C_p , dan Φ pada Variasi Jumlah Sudu dan Variasi Sudut Serang pada *Axial Fan*

Variasi	Flow Coefficient (Φ)	Power Coefficient (C_p)	Head Coefficient (Ψ)
7 sudu aoa 40°	0,132343	0,00804822	0,000120430
7 sudu aoa 35°	0,151191	0,00538047	0,000407372
8 sudu aoa 40°	0,084695	0,00689419	0,000164413
8 sudu aoa 35°	0,1468286	0,00727247	0,000121110
9 sudu aoa 40°	0,0658901	0,00848285	0,000195026
9 sudu aoa 35°	0,044299	0,00761358	0,000251876

4. KESIMPULAN

Karakteristik dari *Axial Fan* sendiri adalah memiliki nilai *flow* yang tinggi dengan nilai *power* yang kecil. Jika dilihat dari grafik tersebut, untuk hasil koefisien *flow* tertinggi didapat pada variasi 7 sudu dan sudut serang 35°. Sedangkan untuk hasil terkecil didapat pada variasi 7 sudu dan sudut serang 35°. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan peneliti, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sesuai di bawah ini:

1. Semakin banyak jumlah sudu dan semakin besar derajat sudut serang, maka semakin kecil nilai koefisien *flow* nya, dan sebaliknya.
2. Semakin banyak jumlah sudu dan semakin besar derajat sudut serang, maka semakin besar nilai koefisien *power* nya, dan sebaliknya.
3. Variasi terbaik pada simulasi *axial fan* ini yaitu variasi 7 sudu dan sudut serang 35°.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan moril dan materil, motivasi, kasih sayang serta do'a yang selalu mengalir kepada penulis.
2. Bapak Burniadi Moballa selaku dosen pembimbing I.
3. Ibu Daisy Dwijati Kumala selaku dosen pembimbing II.
4. Kerabat dan sahabat seperjuangan Teknik Permesinan Kapal-PPNS

6. PUSTAKA

- [1] M. F. Hanif, M. A. Mustaghfirin, dan E. Santoso, "Analisa Pengaruh Sudut Serang dan *Airfoil NACA 4 Digit* pada *Blade Axial Fan*," 2020.
- [2] A. S. Tanjung, "Studi Eksperimen Pengaruh Blade 30° Dan 60° Berprofil *Flat Plate* Terhadap Karakteristik Kerja *Axial Fan 120MM*," 2015.

- [3] S. K. Wang, *Handbook of air conditioning and refrigeration*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2000.
- [4] M. M. Lubis, "Analisis Aerodinamika *Airfoil NACA 2412* Pada Sayap Pesawat Model Tipe *Glider* Dengan Menggunakan *Software* Berbasis *Computational Fluid Dynamic* Untuk Memperoleh Gaya Angkat Maksimum" 2012.
- [5] M. F. Haryadi dan F. F. Nugroho, "Penggunaan Komputasi pada Analisis Dinamika Fluida di *Airfoil NACA M-15*," *Cakrawala J. Ilm. Bid. Sains*, vol. 1, no. 1, Jul 2022, doi: 10.28989/cakrawala.v1i1.1289.
- [6] BEE. 2004. *Energy Efficiency Guide Book*. India: Government of India.
- [7] FanManDan. 2017. "Fan Types - Why Choose an Axial Fan," December.
- [8] Air Flow through an Axial Fan." *International Journal of Engineering* 30 (10). <https://doi.org/10.5829/ije.2017.30.10a.20>.
- [9] Xu, J Q, H S Dou, H X Jia, X P Chen, Y K Wei, and M W Dong. 2016. "Numerical Simulation and Analysis of the Flow in a Two-Stage Axial Fan." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 129 (May): 012060. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/129/1/012060>.
- [10] Rajabi, R Rafee, S. Frazam-Alipour. 2017. "Effect of Blade Design Parameters on Air Flow through an Axial Fan." *International Journal of Engineering* 30 (10). <https://doi.org/10.5829/ije.2017.30.10a.20>.