

Analysis of the Influence of Turbulent Models in CFD Simulation of Centrifugal Fans using Ansys

Bagas Santoso^{1*}, Delima Yanti Sari¹, Hendri Nurdin¹, Fitrah Qalbina¹

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang, INDONESIA

*Corresponding author: bagassantoso5432@gmail.com

Received Oktober 8th 2024; Revised Oktober 25th 2024; Accepted Oktober 28th 2024

Abstract

The study was conducted to determine the airflow in the backward type centrifugal fan using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation. This type of fan is often used in various industries due to its high efficiency in moving air or gas. In CFD simulation, the selection of the right turbulent model is very important to obtain simulation results that are reliable, efficient, and relevant to real conditions. The study used four different turbulent models to look at their effects on pressure distribution, flow velocity, and fan efficiency. The turbulent models used are k- ϵ Standard, k- ϵ RNG, k- ϵ Realizable and k- ω SST. The goal was to find the most optimal turbulent model of the centrifugal fan around the impeller. The impeller has an angle (β -1.) of 35,260 with a rotation speed of 301,069 rad/s. The simulation was carried out by meshing about 500,000 mesh elements for a balance between accuracy and computing needs. Validation was carried out by comparing the simulation results of Ansys Student R1 2024 and Solidwork. Of the four turbulent models tested, k- ϵ RNG provided the most accurate results, with an efficiency difference of only 1.3% compared to Solidworks. This model manages to capture better variations in pressure and flow velocity, especially in turbulent areas and around the impeller. These results show that the k- ϵ RNG turbulent model provides closer results than other models. These findings are important for the optimization of centrifugal fan design and emphasize the importance of selecting the right turbulent model in numerical simulations.

Keywords : CFD Analysis, Centrifugal fan, Impeller, Mesh, Turbulence Model

Analisis Pengaruh Model Turbulen dalam Simulasi CFD *Centrifugal Fan* menggunakan Ansys

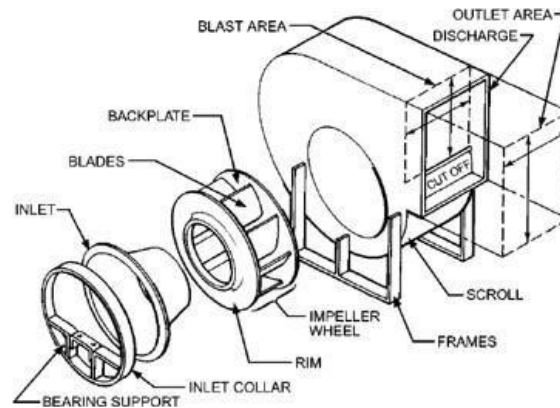
Abstrak

Penelitian dilakukan untuk mengetahui aliran udara pada kipas sentrifugal tipe backward menggunakan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD). Kipas jenis ini sering digunakan dalam berbagai industri karena efisiensinya yang tinggi dalam menggerakkan udara atau gas. Dalam simulasi CFD, pemilihan model turbulen yang tepat adalah hal yang sangat penting untuk mendapatkan hasil simulasi yang andal, efisien, dan relevan dengan kondisi nyata. Penelitian ini menggunakan empat model turbulen berbeda untuk melihat pengaruhnya terhadap distribusi tekanan, kecepatan aliran, dan efisiensi kipas. Model turbulen yang digunakan adalah k- ϵ Standar, k- ϵ RNG, k- ϵ Realizable dan k- ω SST. Tujuannya adalah untuk menemukan model turbulen yang paling optimal dari kipas sentrifugal fan disekitar *impeller*. *Impeller* memiliki sudut (β_1) adalah $35,26^\circ$ dengan kecepatan rotasi 301,069 rad/s. Simulasi dilakukan dengan *meshing* sekitar 500.000 elemen *mesh* untuk keseimbangan antara akurasi dan kebutuhan komputasi. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi Ansys Student R1 2024 dan Solidwork. Dari keempat model turbulen yang diuji, k- ϵ RNG memberikan hasil paling akurat, dengan selisih efisiensi hanya 1,3% dibandingkan dengan Solidworks. Model ini berhasil menangkap variasi tekanan dan kecepatan aliran yang lebih baik, terutama di area turbulen dan sekitar *impeller*. Hasil ini menunjukkan bahwa model turbulen k- ϵ RNG memberikan hasil yang lebih mendekati dibandingkan model lainnya. Temuan ini penting untuk optimasi desain kipas sentrifugal dan menekankan pentingnya pemilihan model turbulen yang tepat dalam simulasi numerik.

Kata Kunci : Analisis CFD, *Centrifugal fan*, *Impeller*, *Mesh*, Model Turbulen

I. PENDAHULUAN

Centrifugal fan sering digunakan dalam industri teknik, terutama dalam sistem Heating Ventilation and Air-Conditioning (HVAC) untuk mengalirkan udara melalui saluran udara (Patel et al., 2014; Zhao et al., 2021). Komponen utama dari *centrifugal fan* meliputi *Fan Housing*, *Impeller*, *Inlet* dan *Outlet Duct*, Poros, serta Mekanisme Penggerak. Gambar 1 menunjukkan komponen utama *centrifugal fan* ini. Setiap komponen memiliki peran penting dalam mempengaruhi performa keseluruhan. Jika salah satu komponen dirancang tidak optimal, hal tersebut akan memengaruhi kinerja secara keseluruhan (Dewangga & Yamin, 2021; Fatahian et al., 2023). *Impeller* merupakan salah satu komponen yang berpengaruh besar terhadap efisiensi total dari *centrifugal fan*, di mana banyak penelitian telah dilakukan untuk menemukan desain *impeller* yang paling efisien (Eskandari et al., 2016; Varun Ch et al., 2023). Menurut (Iskandar et al., 2021), beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam desain *impeller* optimal meliputi rasio diameter *inlet* dan *outlet*, kecepatan putaran, jumlah *impeller*, profil *impeller*, desain *diffuser*, dan sudut *impeller*. Banyak faktor yang memengaruhi kinerja *centrifugal fan*, termasuk sudut *impeller* yang dapat memengaruhi aliran udara. Selain itu, pemilihan model turbulen yang tepat juga memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil simulasi numerik. Pemilihan model yang tepat sangat penting untuk memprediksi aliran udara yang optimal.



Gambar 1. Komponen *Centrifugal Fan* (Salmat et al., 2023)

Menurut (Iskandar et al., 2021) sudut *impeller* optimal yaitu dibawah $35,26^\circ$ dengan kondisi volume aliran saat memasuki *impeller* sama pada *inlet blade*. Menurut (Salmat et al., 2023) untuk saluran (*ducting*) *inlet* dan *outlet* dibuat panjang agar aliran udara yang dihasilkan stabil. (Eskandari et al., 2016) melakukan penelitian pada blower sentrifugal menggunakan simulasi numerik. Hasil simulasi ini divalidasi dengan membandingkannya dengan pengukuran fisik. Perbedaan antara hasil simulasi dan pengukuran pada kurva kinerja sebesar 4,8%, dan pada kurva efisiensi sebesar 15,1%. Dalam penelitian ini, mereka menggunakan model turbulen $k-\epsilon$ Standar untuk menguji keakuratan simulasi dibandingkan dengan hasil eksperimen. Dari hasil ini, desain blower dapat dikembangkan lebih lanjut untuk optimasi dan peningkatan kinerjanya. (Kaul, 2016) membandingkan dua model turbulen, yaitu $k-\omega$ Standar dan $k-\omega$ SST. Dari hasil penelitian, model $k-\omega$ SST dianggap lebih andal dan lebih mendekati kondisi nyata. Dalam analisis $k-\omega$ SST, *viskositas* turbulen disesuaikan untuk mempertimbangkan pengangkutan tegangan geser utama di dalam lapisan batas. Model ini juga memperhitungkan pemisahan aliran dan detasemen, terutama ketika aliran berubah dari laminar menjadi transisi, lalu dari transisi menjadi turbulen. (Sinaga et al., 2010) menyatakan bahwa hasil verifikasi model simulasi mereka dibandingkan dengan hasil eksperimen dari penelitian sebelumnya. Mereka menguji tiga model turbulen, yaitu $k-\epsilon$ Standar, $k-\epsilon$ RNG, dan $k-\epsilon$ realizable, dengan menggunakan metode diskretisasi momentum first order dan second order upwind. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk melihat seberapa cepat proses iterasi mencapai konvergensi dan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk perhitungan.

1. Aliran Fluida

Aliran fluida adalah pergerakan zat cair atau gas dari satu tempat ke tempat lain dan merupakan bagian *integral* dari mekanika fluida. Salah satu jenis aliran yang sering ditemukan dalam berbagai aplikasi industri dan teknik adalah aliran turbulen. Aliran turbulen terjadi ketika fluida bergerak secara tidak teratur, dengan pola yang kompleks dan bergolak, sehingga partikel-partikel fluida saling bercampur. Menurut (Cory, 2006) aliran turbulen ditandai oleh gerakan yang kacau dan campur aduk, dengan pusaran besar dan kecil yang terus muncul dan menghilang. Berbeda dengan aliran laminar yang teratur dan sejajar, aliran turbulen memiliki perubahan kecepatan dan tekanan yang besar di berbagai bagian aliran. Aliran turbulen biasanya terjadi pada kecepatan tinggi atau saat viskositas rendah. Jenis *impeller* sangat berpengaruh terhadap karakteristik aliran fluida dalam sistem seperti kipas sentrifugal, blower, pompa, dan ventilasi. Tiga tipe *impeller* yang umum digunakan dalam sistem fluida adalah *forward-curved*, *backward-curved*, dan *axial impellers*. Masing-masing memiliki kelebihan dan karakteristik unik yang mempengaruhi bagaimana fluida mengalir, efisiensi sistem, serta aplikasi penggunaannya.



Gambar 2. Tipe *Impeller* (Mahmoodi-Eshkaftaki & Ebrahimi, 2019)

Desain *impeller* pada kipas sentrifugal terdiri dari tiga tipe: *forward*, *backward*, dan *radial*. *Impeller* tipe backward adalah salah satu yang paling sering digunakan karena mampu menghasilkan efisiensi tinggi dalam mengalirkan udara atau gas. *Impeller* tipe ini bekerja dengan memutar bilah-bilahnya sehingga mengalirkan udara secara radial, menghasilkan tekanan tinggi dan volume sedang. Desain ini sangat cocok untuk aplikasi yang memerlukan aliran udara yang merata dan efisien. Untuk memastikan kinerja optimal, penting memahami bagaimana variasi desain, seperti sudut bilah, memengaruhi performa kipas.

Studi ini fokus pada analisis aliran udara pada kipas sentrifugal tipe backward menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Dengan menggunakan perangkat lunak Ansys *Student* R1 2024, analisis dilakukan pada *impeller* dengan sudut $35,26^\circ$ dan kecepatan rotasi 301,069 rad/s. Berdasarkan analisis (Salmat et al., 2023) geometri *impeller* dengan sudut $35,26^\circ$ lebih unggul dari variasi sudut lainnya, seperti tekanan, kecepatan aliran, dan efisiensi. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi bagaimana model turbulen memengaruhi distribusi tekanan, kecepatan aliran, dan efisiensi kipas sentrifugal pada sudut *impeller* tersebut.

2. Model Turbulen

Dalam analisis CFD ini, fokus hanya diberikan pada studi hidrodinamika tanpa mempertimbangkan perpindahan kalor. Dengan demikian, medan aliran diatur oleh dua persamaan fundamental, yaitu persamaan kontinuitas dan persamaan momentum *Navier-Stokes*. Untuk aliran laminar, *steady-state*, dan inkompresibel dalam tiga dimensi, persamaan kontinuitas dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Persamaan momentum *Navier-Stokes* dalam bentuk persamaan skalar pada setiap komponen adalah:

$$\begin{aligned} u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} \\ u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} \\ u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \quad (2)$$

Di dalam FLUENT terdapat beberapa model turbulen yang dapat disimulasi, diantaranya adalah model k- ϵ *Standar*, k- ϵ RNG, k- ϵ *realizable* dan k- ω SST. Semua model ini mempunyai bentuk yang serupa karena mengandung persamaan transport untuk k (energi kinetik turbulen), ϵ (energi disipasi turbulen) dan ω (laju disipasi spesifik) (Sinaga et al., 2010).

a. Model k- ϵ *Standar*

Model k- ϵ *Standar* adalah model semi-empiris yang dikembangkan berdasarkan persamaan transport untuk energi kinetik turbulen dan laju disipasi turbulen. Dalam pengembangan model k- ϵ , diasumsikan bahwa aliran sepenuhnya turbulen (*fully turbulent*) dan pengaruh viskositas molekuler diabaikan. Oleh karena itu, model ini paling cocok untuk aliran yang sudah mengalami turbulen penuh. Energi kinetik turbulen (k) dan laju disipasinya (ϵ) diperoleh dari persamaan transport berikut:

$$\begin{aligned}\rho \frac{Dk}{Dt} &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M \\ \rho \frac{D\epsilon}{Dt} &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} + (C_{2\epsilon} + C_{3\epsilon} \frac{C_b}{b}) - C_{1\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}\end{aligned}\quad (3)$$

b. Model k-ε RNG

Model turbulen ini diturunkan dari persamaan *Navier-Stokes* menggunakan metode matematika yang dikenal sebagai renormalization group (RNG). Model k-ε RNG memiliki struktur yang mirip dengan model k-ε *Standar*, yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\rho \frac{Dk}{Dt} &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\alpha \mu_{k\text{ eff}} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M \\ \rho \frac{D\epsilon}{Dt} &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\alpha \mu_{k\text{ eff}} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} + (C_{2\epsilon} + C_{3\epsilon} \frac{C_b}{b}) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R\end{aligned}\quad (4)$$

c. Model k-ε Realizable

Istilah "*realizable*" menunjukkan bahwa model ini memenuhi batasan tertentu untuk tegangan normal yang sejalan dengan sifat fisik aliran turbulen. Dengan menggabungkan hubungan Boussinesq dan definisi viskositas turbulen, maka dapat memperoleh tegangan Reynolds normal dalam aliran rata-rata yang inkompresibel sebagai berikut:

$$u^2 = \frac{2}{3}k - 2\nu_t \frac{\partial u}{\partial x} \quad (5)$$

Persamaan transport yang dimodelkan untuk model k-ε *realizable* adalah:

$$\begin{aligned}\frac{Dk}{Dt} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M \\ \rho \frac{D\epsilon}{Dt} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} - \rho C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu_t \epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} C_{3\epsilon} \frac{G_b}{b}\end{aligned}\quad (6)$$

d. Model k-ω SST

Model turbulen ini digunakan dalam analisis Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk memprediksi aliran turbulen, terutama di sekitar permukaan padat seperti dinding atau bilah kipas, serta di area dengan gradien aliran yang tinggi. Model ini memadukan kelebihan dari dua model turbulen terkenal, yaitu k-ε dan k-ω, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih akurat dalam berbagai kondisi aliran. Tegangan Reynolds menggambarkan dampak turbulen pada aliran fluida rata-rata. Tensor Tegangan Reynolds dalam aliran rata-rata (Reynolds-averaged flow) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\tau_{ij} = -\rho u'_i u'_j \quad (7)$$

Tegangan Reynolds dalam aliran rata-rata diasumsikan proporsional dengan gradien kecepatan rata-rata, sebagai berikut:

$$\tau_{ij} = 2\mu_t \left(S_{ij} - \frac{1}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (8)$$

Model k-ω menggunakan frekuensi ($\omega = \frac{\gamma}{k}$) turbulen sebagai variabel kedua dan skala Panjang, ($l = \sqrt{\frac{k}{\omega}}$). Oleh karena itu *viskositas eddy* diberikan oleh ($\mu_t = \frac{\rho k}{\omega}$).

3. Mesh

Mesh atau jaringan adalah bagian penting dari simulasi numerik dalam *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan *Finite Element Analysis* (FEA) di perangkat lunak ANSYS. *Mesh* merupakan pembagian domain simulasi menjadi elemen-elemen kecil yang digunakan untuk menghitung dan memprediksi perilaku fisik sistem yang sedang dianalisis, seperti aliran fluida, perpindahan panas, atau

tegangan mekanis. Dalam penelitian ini *mesh* yang dipakai ialah *polyhedra* dengan perbandingan ukuran 28 mm untuk daerah fluid domain, sedangkan untuk bagian *impeller* dan sekitarnya dibuat lebih rapat. Pemilihan ukuran dan tipe elemen *mesh* mempengaruhi akurasi dan kecepatan simulasi. Elemen *mesh* yang lebih kecil dan rapat memberikan hasil yang lebih optimal terhadap kecepatan aliran atau gradien tekanan. Di sisi lain, elemen yang lebih besar dan jarang dapat digunakan di area yang lebih stabil agar menghemat waktu komputasi (Salmat et al., 2023).

Simulasi CFD menggunakan *mesh* dengan ukuran sekitar 500.000 sel dilakukan untuk mencapai keseimbangan antara akurasi hasil dan kebutuhan komputasi. Selain itu, 4 model turbulen, *k-ε Standar*, *k-ε RNG*, *k-ε Realizable* dan *k-ω SST*, diterapkan untuk menentukan model mana yang paling sesuai dalam merepresentasikan karakteristik aliran di sekitar *impeller*.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang bagaimana desain *impeller*, serta pemilihan model turbulen yang tepat sangat penting dalam evaluasi kinerja *centrifugal fan* secara numerik. Temuan ini akan memberikan kontribusi penting bagi optimasi desain *impeller centrifugal fan* dan membantu dalam pemilihan model turbulen serta penggunaan *mesh* yang tepat untuk simulasi numerik yang optimal.

II. METODE PENELITIAN

1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk menganalisis *centrifugal fan* dengan bantuan software Ansys. Ansys adalah perangkat lunak simulasi teknik yang digunakan untuk menganalisis berbagai fenomena fisik, termasuk dinamika fluida (CFD), mekanika struktur, termal, elektromagnetik, dan akustik. Ansys menyediakan platform simulasi yang memungkinkan pengguna memodelkan, menganalisis, dan mengoptimalkan kinerja berbagai produk dan sistem tanpa perlu membuat prototipe fisik. Proses penelitian dimulai dengan persiapan geometri, diikuti oleh pembuatan desain 3D menggunakan software Solidworks. Setelah itu, analisis CFD dilakukan pada *centrifugal fan* menggunakan Ansys Fluent. Menurut (Li et al., 2023; Versteeg & Malalasekera, 2007) *Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah teknik yang menggunakan analisis numerik dan algoritma untuk menyelesaikan serta menganalisis masalah yang melibatkan aliran fluida. Teknik ini memanfaatkan komputer untuk melakukan perhitungan yang dibutuhkan dalam mensimulasikan interaksi cairan atau gas dengan permukaan yang dibatasi oleh kondisi tertentu.

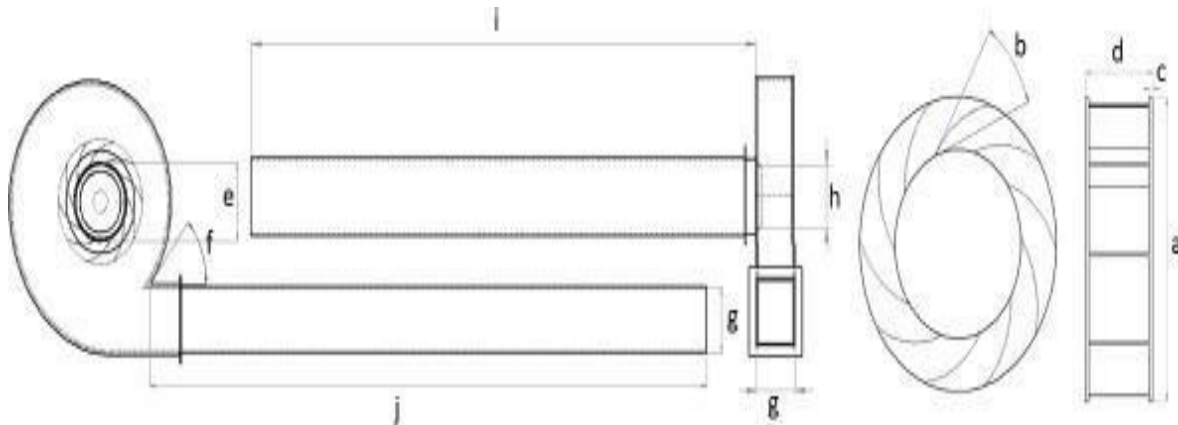
2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi, Departemen Teknik Mesin, Universitas Negeri Padang. Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada juli-september 2024.

3. Data Geometri dan Meshing Centrifugal Fan

a. Data Geometri Centrifugal Fan

Model yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada studi sebelumnya oleh (Salmat et al., 2023). Model tiga dimensi dibuat menggunakan alat desain berbantuan komputer (CAD) di Solidworks, dengan parameter model yang tercantum pada Tabel 1 dan ditunjukkan pada Gambar 3. Di bagian saluran masuk, panjang 10 kali diameter ditetapkan, sedangkan di bagian saluran keluar, panjangnya ditetapkan pada 15 kali diameter. Diasumsikan bahwa ini akan menghasilkan aliran fluida yang stabil masuk dan keluar dari kipas (Huang & Hsieh, 2009; Umurani et al., 2020). *Impeller* dalam penelitian ini berputar dengan kecepatan rotasi yang konstan, sehingga didefinisikan sebagai daerah rotasi dengan tipe sliding rotation. Berikut merupakan parameter ukuran *centrifugal fan* yang akan diteliti.



Gambar 3. *Centrifugal Fan Design* (Salmat et al., 2023)

Tabel 1. Parameter Utama *Centrifugal Fan*

Nomor	Parameter	Ukuran
1.	Diameter <i>Impeller</i> (a), mm	287
2.	Sudut Bilah (b), derajat	35,26°
3.	Jumlah Bilah	10
4.	Tebal <i>Impeller</i> (c), mm	5
5.	Lebar <i>Impeller</i> (d), mm	95
6.	Diameter <i>Inlet</i> (e), mm	170
7.	Sudut Lidah (f), derajat	47,2°
8.	Ukuran <i>Outlet</i> (g), mm x mm	153 x 130
9.	Diameter Mulut <i>Inlet</i> (h), mm	144
10.	Panjang Saluran <i>Inlet</i> (I), mm	1.700
11.	Panjang Saluran <i>Outlet</i> (j), mm	1.900
12.	Tebal <i>Casing</i> , mm	5

b. Data *Meshing Centrifugal Fan*

Centrifugal fan ini menggunakan *mesh* polyhedra dengan perbandingan ukuran 28 mm untuk daerah *fluid domain*, sedangkan untuk bagian *impeller* dan sekitarnya dibuat lebih rapat. Pada Table 2 ditampilkan ukuran dan tipe elemen *mesh*. Elemen *mesh* yang lebih kecil dan rapat memberikan hasil yang lebih optimal terhadap kecepatan aliran atau gradien tekanan. Sedangkan elemen yang lebih besar dan jarang dapat digunakan di area stabil untuk menghemat waktu komputasi.

Tabel 2. *Input Meshing Centrifugal Fan*

Komponen	Kualitas Minimum <i>Mesh</i>	Cell
Fluid Domain	0.28	68135
Rotasi Domain	0.11	151966

Impeller	0.07	343407
Jumlah		563508

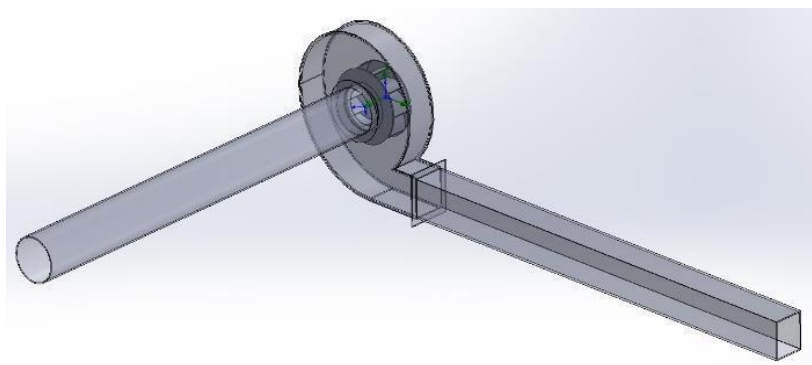


Gambar 4. Hasil *Mesh Centrifugal Fan*

4. Tahap Simulasi

a. Membuat Desain *Centrifugal Fan*

Dalam pembuatan desain *centrifugal fan* menggunakan bantuan *software Solidworks*. Dapat dilihat pada Gambar 5 yang merupakan hasil desain menggunakan *software Solidworks*.



Gambar 5. Desain *Centrifugal Fan*

b. Analisis CFD dengan Ansys Student R1 2024

Dalam penelitian ini, perangkat lunak CFD yang digunakan adalah Ansys Student R1 2024. Proses penelitian dimulai dengan pemodelan kipas sentrifugal, yang didasarkan pada jurnal (Salmat et al., 2023). Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi CFD. Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi kenaikan tekanan total dan efisiensi *centrifugal fan*.

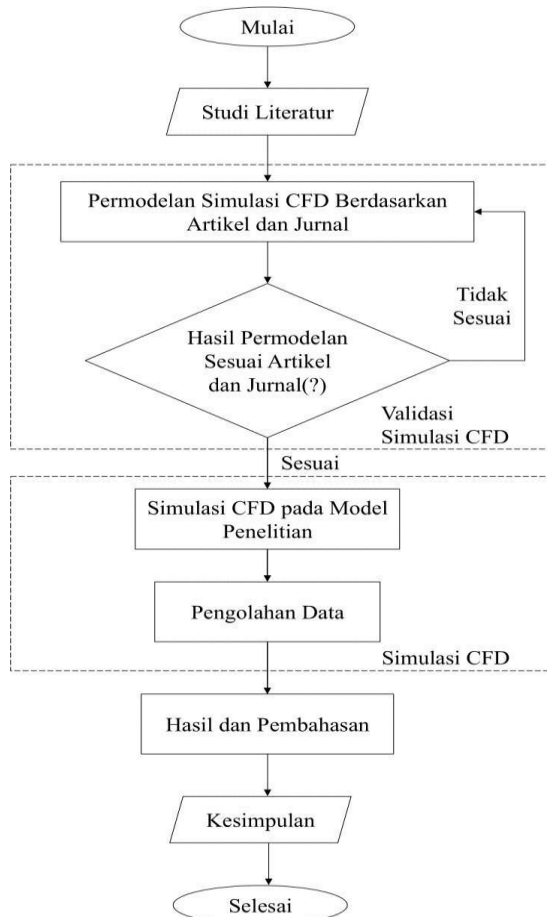
Adapun langkah - langkah dalam melakukan simulasi analisis CFD ini, sebagai berikut:

- Persiapkan geometri model yang akan dianalisis.
- *Import* geometri model ke Ansys, karena analisis yang dilakukan adalah simulasi CFD jadi pilih Ansys *fluent*
- Atur unit sistem yang akan digunakan pada analisis, dimana untuk analisis ini menggunakan ukuran satuan SI.
- *Meshing* untuk bagian komponen yang penting (memerlukan detail yang rapat) sebaiknya pilih ukuran yang lebih kecil/rapat
- *Simulation centrifugal fan*
 - Pilih model turbulen
 - *Setting Cell Zone Condition*
 - Tentukan *Boundary Condition* dan *input parameter* di *inlet*, *outlet* dan *wall*
 - *Setting* pada *definition* untuk *input rumus*

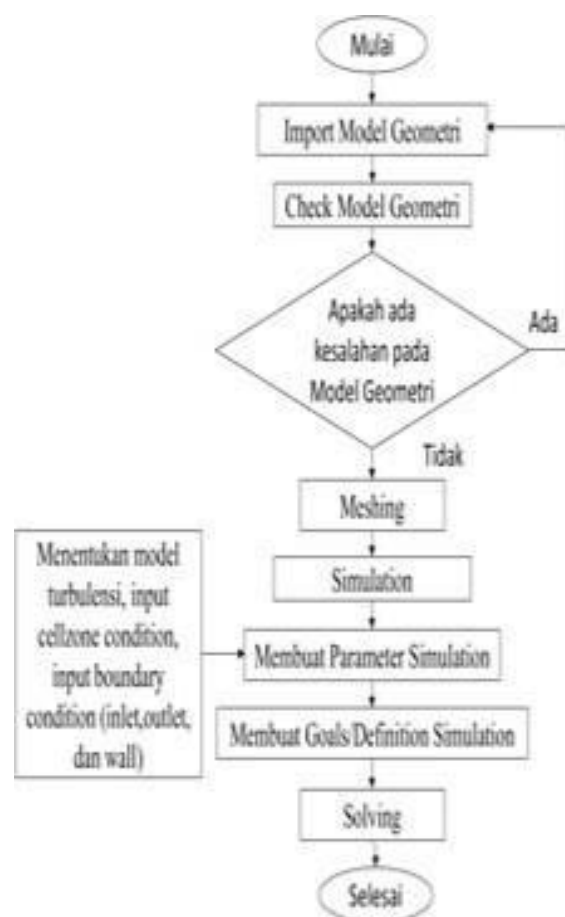
- *Setting residual dan installation*
- *Running Simulation*
- Hasil aliran pada CFD-post

5. Prosedur Penelitian

Berikut merupakan diagram alir untuk melakukan penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 sebagai berikut :



Gambar 6. Diagram Aliran Penelitian



Gambar 7. Diagram Simulasi CFD

Pada analisis CFD ini, peneliti hanya menganalisis sampai tahap validasi hasil permodelan pada simulasi CFD, karena jurnal ini bertujuan untuk membantu pemilihan model turbulen yang optimal saat simulasi CFD di Ansys.

6. Teknik Analisa Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini dimulai dengan merancang geometri *centrifugal fan* yang menjadi objek penelitian. Setelah itu, dilakukan analisis CFD pada *fan* tersebut menggunakan Ansys Fluent di dalam software Ansys. Dari proses ini, data hasil analisis CFD pada *centrifugal fan* diperoleh.

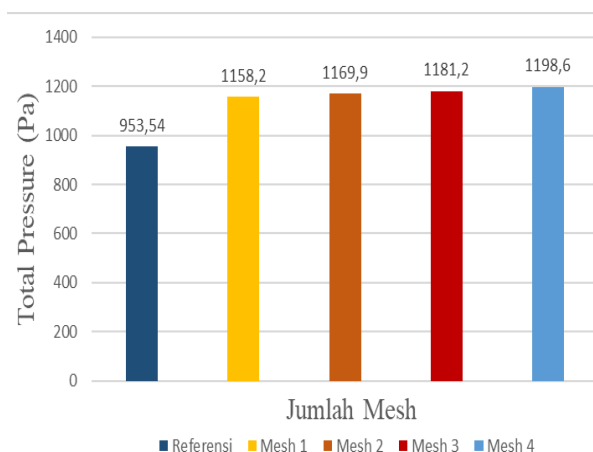
III. HASIL PENELITIAN

Analisis CFD pada *centrifugal fan* dilakukan menggunakan *software* Ansys Student R1 2024. *Mesh* yang berkualitas sangat penting untuk memastikan akurasi dalam solusi numerik. *Mesh* yang terlalu kasar bisa menghilangkan detail penting pada aliran, sementara *mesh* yang terlalu halus bisa meningkatkan waktu komputasi secara signifikan. Tabel 3 menampilkan variasi *mesh* yang dibandingkan dengan hasil (Salmat et al., 2023). Model turbulen yang digunakan pada *mesh* ini adalah *k-ε Standar*.

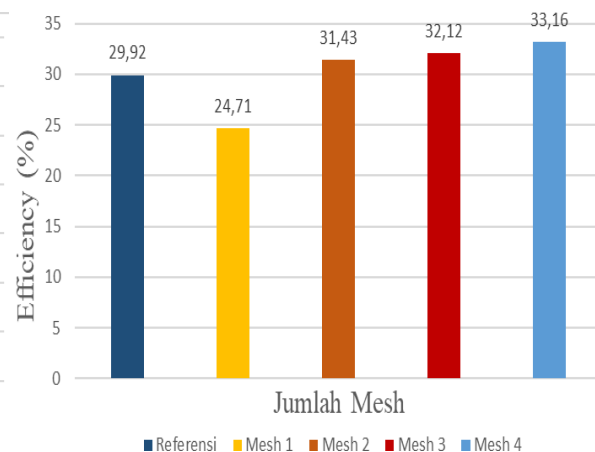
Tabel 3. Data *Meshing*

	Referensi	Mesh 1	Mesh 2	Mesh 3	Mesh 4
Jumlah Mesh	591.329	273.439	563.508	766.890	993.788
Waktu (menit)	18,2	14,3	21,60	25,80	30,4

Gambar 8 menunjukkan perbandingan hasil kenaikan tekanan total. Kenaikan tekanan total pada *mesh* di Ansys sekitar 17% - 20 %, terjadi secara signifikan. Gambar 9 menunjukkan perbandingan hasil efisiensi pada simulasi CFD. Dari keempat *mesh* yang dilakukan *mesh* 2 memiliki perbedaan 4,8% dari hasil (Salmat et al., 2023).



Gambar 8. Perbandingan Tekanan Total



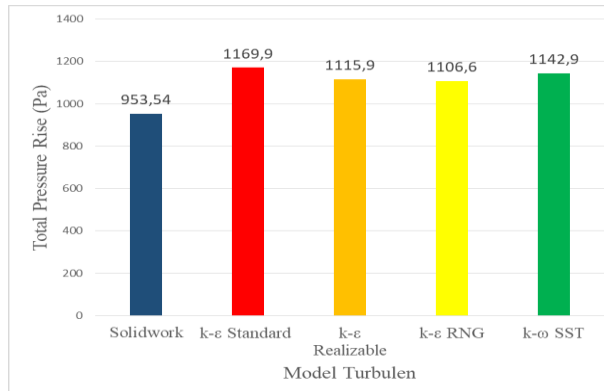
Gambar 9. Perbandingan Efisiensi

Dapat diketahui bahwa peran pengaturan *mesh* penting untuk simulasi CFD. Dari keempat pengaturan *mesh* diketahui bahwa *mesh* 2 yang direkomendasikan untuk melakukan simulasi CFD pada *centrifugal fan* kedepannya. Melalui analisa hasil simulasi tekanan total dan efisiensi diperoleh bahwa jumlah *mesh* mempengaruhi waktu estimasi dan penggunaan *mesh* yang tinggi belum tentu akurat.

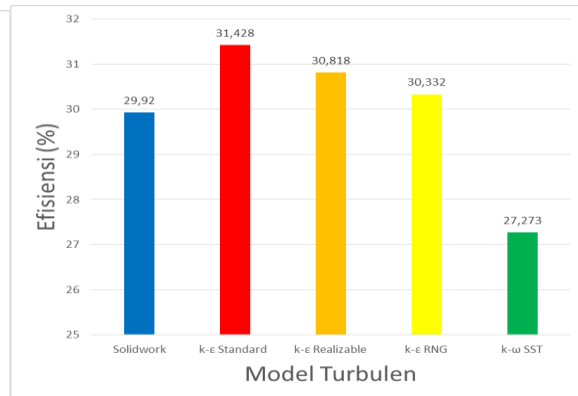
Tabel 4 Input Parameter dan Hasil Simulasi CFD

Validasi	Solidwork	Ansys			
Model Turbulence		k-ε Standar	k-ε Realizable	k-ε RNG	k-ω SST
Tekanan Inlet (Pa)	100384,88	100161,7	100215,8	100225	100188,7
Tekanan outlet (Pa)	101338,42	101331,6	101331,7	101331,6	101331,6
Total Pressure Rise (Pa)	953,54	1169,9	1115,9	1106,6	1142,9
Kecepatan Inlet (m/s)	2,448	2,448	2,448	2,448	2,448
Torsi (Nm)	0,588	0,6864	0,6675	0,6725	0,772
Air Power (P*VFR)	52,97	64,946	61,937	61,408	63,402
Shaft Power (T*ω)	177,03	206,651	200,973	202,456	232,469
effisiensi	29,92	31,428	30,818	30,332	27,273

Penelitian ini menggunakan *mesh* sebanyak 563.508 sel, residual $1e-3$, kecepatan putaran 301,07 rad/s, dan volume aliran masuk (Q) sebesar $0,55556 \text{ m}^3/\text{s}$. Berdasarkan Tabel 4, terlihat bahwa terdapat perbedaan nilai *total pressure* dan efisiensi ketika menggunakan berbagai model turbulen di Ansys CFD. Untuk memvalidasi hasil ini, perlu dilakukan perbandingan antara hasil Ansys dan Solidworks, sebagaimana diungkapkan dalam jurnal (Salmat et al., 2023). Agar perbandingan ini akurat, geometri dan parameter input yang digunakan harus sama di kedua software.



Gambar 10. Hasil *Total Pressure*



Gambar 11. Hasil Efisiensi

Pada Gambar 11 dan Gambar 12 merupakan hasil dari analisis CFD dengan membandingkan hasil antara *software* Solidwork dan Ansys. Grafik diatas menunjukkan hasil setiap model turbulen dan k-ε RNG memiliki nilai data yang hampir sama dengan nilai solidwork milik (Salmat et al., 2023). Menurut (Moon et al., 2023) dalam memvalidasi data hasil simulasi CFD, salah satu cara yang digunakan adalah membandingkan hasil simulasi dengan hasil simulasi. Menurut beberapa jurnal, perbedaan hasil antara simulasi dan simulasi yang dianggap dapat diterima umumnya berkisar antara 5% - 20%, tergantung pada kompleksitas masalah dan kebutuhan akurasi. Selisih yang lebih besar mungkin masih diterima untuk studi konseptual, sementara selisih yang lebih kecil diharapkan dalam desain yang lebih rinci. Namun, ini bisa bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti model turbulen yang digunakan dan kondisi aliran.

1. Visualisasi Contour Total Pressure pada Model Turbulen

Analisa visualisasi Contour tekanan total pada simulasi CFD bertujuan mengetahui pengaruh model turbulen terhadap *impeller* secara visual, perbandingan tekanan total dari keempat variasi model turbulen diperlihatkan pada gambar berikut :



Gambar 12. Model k-ε Standar



Gambar 13. Model k-ε Realizable



Gambar 14. Model k-ε RNG

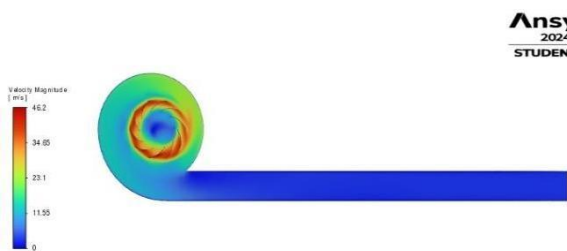


Gambar 15. Model k-ω SST

Gambar 12 – 15 menampilkan visualisasi contour tekanan, di mana gradasi warna mewakili perbedaan nilai tekanan. Warna biru menunjukkan nilai tekanan terendah, sementara hijau dan kuning menandakan nilai sedang, dan warna merah menggambarkan tekanan tertinggi. Dari hasil simulasi CFD, analisis visual tekanan total dengan model k- ϵ RNG menunjukkan efisiensi tertinggi dibandingkan metode lainnya. Jika dibandingkan dengan Gambar 15, terlihat perbedaan yang mencolok pada distribusi warna contour antara model k- ϵ RNG dan metode lain. Model k- ϵ RNG tampak lebih unggul dalam menangkap transisi tekanan, terutama terhadap fluktuasi kecil yang terjadi di sekitar aliran *impeller*. Keunggulan ini menunjukkan kemampuan model dalam menangani variasi tekanan yang halus, menjadikannya pilihan yang lebih tepat dalam menggambarkan dinamika aliran yang kompleks di daerah tersebut

2. Visualisasi Contour Velocity pada Model Turbulen

Analisa visualisasi *Contour Velocity* pada simulasi CFD bertujuan mengetahui pengaruh model turbulen terhadap *impeller* secara visual, perbandingan kecepatan aliran dari keempat variasi model turbulen diperlihatkan pada gambar berikut :



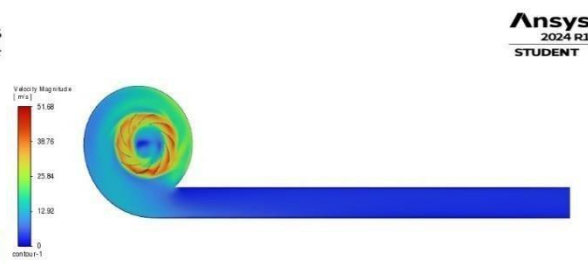
Gambar 16. Model k- ϵ Standar



Gambar 17. Model K- ϵ Realizable



Gambar 18. Model k- ϵ RNG



Gambar 19. Model k- ω SST

Gambar 16 – 19 menampilkan visualisasi contour kecepatan, di mana gradasi warna merepresentasikan variasi kecepatan aliran. Warna biru menunjukkan kecepatan terendah, sementara hijau dan kuning menandakan kecepatan sedang, dan warna merah menggambarkan kecepatan tertinggi. Berdasarkan hasil simulasi CFD, analisis distribusi kecepatan dengan model k- ϵ RNG menunjukkan performa yang lebih unggul dibandingkan metode lainnya, dengan kecepatan maksimum mencapai 54,92 m/s. Gambar 19 menunjukkan warna merah banyak disekitar bilah *impeller*, menampilkan bahwa contour model k- ϵ RNG secara signifikan lebih unggul dalam menangkap variasi kecepatan pada fluktuasi kecil di sekitar aliran *impeller*. Kecepatan puncak sebesar 54,92 m/s yang dicapai oleh model ini menunjukkan bahwa k- ϵ RNG mampu memberikan prediksi yang lebih nyata dan responsif terhadap perubahan kecepatan aliran.

IV. PEMBAHASAN

Dari hasil analisis CFD pada *centrifugal fan* menggunakan Ansys Fluent di platform Ansys Student R1 2024, dilakukan perbandingan hasil simulasi dengan berbagai model turbulen. Validasi hasil simulasi CFD dilakukan dengan membandingkan hasil Solidworks.

Tabel 5. Validasi Simulasi CFD dengan Hasil Efficiency

Solidwork	k- ϵ Standard	k- ϵ Realizable	k- ϵ RNG	k- ω SST
29,92 %	31,43 %	30,82 %	30,33 %	27,27 %
Selisih	4,8 %	2,9 %	1,3 %	9,7 %

Tabel 5 menampilkan bahwa model k- ϵ RNG memberikan hasil yang paling mendekati dengan efisiensi 30,33%, hanya berbeda 1,3% dari hasil di Solidworks. Keunggulan model k- ϵ RNG dibandingkan model turbulen lainnya terletak pada kemampuannya untuk menangani aliran dengan pusaran (swirl), prediksi disipasi turbulen yang lebih baik, dan kinerja yang lebih baik di area near-wall, yang sangat penting untuk aplikasi seperti *centrifugal fan*. Karena *centrifugal fan* menghasilkan aliran dengan banyak perubahan arah dan pusaran kuat, model k- ϵ RNG dirancang untuk menangani efek-efek ini dengan lebih baik. Hal ini terlihat pada Gambar 19, di mana aliran fluida memiliki daya dorong yang lebih kuat dibandingkan dengan model turbulen lainnya. Oleh karena itu, model k- ϵ RNG mampu memberikan prediksi yang lebih optimal berkat kemampuannya menangani aliran yang kompleks pada *centrifugal fan*.

V. KESIMPULAN

Dalam studi ini, analisis simulasi CFD pada *centrifugal fan* menggunakan beberapa model turbulen di ANSYS Fluent dan membandingkannya dengan hasil dari Solidworks menunjukkan bahwa model K- ϵ RNG memberikan hasil yang paling mendekati dengan efisiensi 30,33%, hanya selisih 1,3% dari hasil di Solidworks. Keunggulan K- ϵ RNG dibandingkan model turbulen lain terletak pada kemampuannya menangani aliran dengan efek pusaran (swirl), prediksi disipasi turbulen yang lebih optimal, serta peningkatan performa di area near-wall yang penting dalam aplikasi seperti *centrifugal fan*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan k- ϵ RNG lebih disarankan untuk studi ini karena dapat memberikan prediksi yang lebih optimal dan konsisten dibandingkan model turbulen lainnya seperti k- ϵ Standar, k- ϵ Realizable, dan k- ω SST. Jadi disarankan sebelum melakukan simulasi CFD sebaiknya melakukan variasi model turbulen terlebih dahulu.

VI. REFERENSI

- Cory, W. T. W. . (2006). *Fans and ventilation : a practical guide. (Contains a substantial buyers guide/directory also)*. Elsevier Advanced Technology.
- Dewangga, M., & Yamin, M. (2021). *M U H A M M A D I Y A H J A K A R T A RANCANG ULANG DESAIN IMPELLER KIPAS SENTRIFUGAL SISTEM PENDINGIN MESIN SEPEDA MOTOR SKUTIK DENGAN METODE REVERSE ENGINEERING*. 13(1). <https://doi.org/10.24853/jurtek.13.1.63-74>
- Eskandari, H., Nik, M. G., & Pakzad, A. (2016). Foundation analyzing of centrifugal ID fans in cement plants. *Alexandria Engineering Journal*, 55(2), 1563–1572. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.04.011>
- Fatahian, H., Mishra, R., Jackson, F. F., & Fatahian, E. (2023). Design optimization of an innovative deflector with bleed jets to enhance the performance of dual Savonius turbines using CFD-Taguchi method. *Energy Conversion and Management*, 296, 117655. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117655>
- Huang, C. K., & Hsieh, M. E. (2009). Performance analysis and optimized design of Backward-Curved airfoil centrifugal blowers. *HVAC and R Research*, 15(3), 461–488. <https://doi.org/10.1080/10789669.2009.10390846>
- Iskandar, Y., Nazaruddin, N., & Arif, Z. (2021). PENGARUH JUMLAH SUDU IMPELLER TERHADAP DEBIT AIR YANG DIHASILKAN POMPA CENTRIFUGAL. *JOURNAL OF*

- MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY, 5(1), 78–90.
<https://doi.org/10.31289/jmemme.v5i1.4472>
- Kaul, R. (2016). *International Journal of Current Engineering and Technology CFD Analysis of Centrifugal Pump's Impeller of Various Designs and Comparison of Numerical Results for Various Models*. <http://inpressco.com/category/ijcet>
- Li, H., Chen, Y., Yang, Y., Wang, S., Bai, L., & Zhou, L. (2023). CFD Simulation of Centrifugal Pump with Different Impeller Blade Trailing Edges. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/jmse11020402>
- Mahmoodi-Eshkaftaki, M., & Ebrahimi, R. (2019). The effect of blade angle of turbine impellers on anaerobic digestion efficiency in stirred digesters. *Energy*, 178, 772–780. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.183>
- Moon, H., Jeong, J., Park, S., Ha, K., & Jeong, J. H. (2023). Numerical and experimental validation of vortex generator effect on power performance improvement in MW-class wind turbine blade. *Renewable Energy*, 212, 443–454. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.04.104>
- Patel, J. I., Makadia Engineering, R. N., & Student, P. G. (2014). 73 X PARIPEX-INDIAN JOURNAL OF RESEARCH A Review on Performance of Industrial Induced Draft Centrifugal Fan Using Ansys Cfx. 1.
- Salmat, S., Yanti Sari, D., Fernanda, Y., & Prasetya, F. (2023). SolidWorks Flow Simulation: Selecting the optimal mesh for conducting CFD analysis on a centrifugal fan. *Journal of Engineering Researcher and Lecturer*, 2(3), 94–103. <https://doi.org/10.58712/jerel.v2i3.104>
- Sinaga, N., Efisiensi, L., & Energi, K. (2010). PENGARUH MODEL TURBULENSI DAN PRESSURE-VELOCITY COPLING TERHADAP HASIL SIMULASI ALIRAN MELALUI KATUP ISAP RUANG BAKAR MOTOR BAKAR (Vol. 12, Issue 2).
- Umurani, K., Rahmatullah, R., & Rachman, F. A. (2020). Analisa Pengaruh Diameter Impeller Terhadap Kapasitas Dan Penurunan Tekanan Blower Sentrifugal. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 3(1), 48–56. <https://doi.org/10.30596/rmme.v3i1.4528>
- Varun Ch, S., Anantharaman, K., & Rajasekaran, G. (2023). Effect of blade number on the performance of centrifugal fan. *Materials Today: Proceedings*, 72, 1143–1152. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.185>
- Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics Second Edition* (Second). www.pearsoned.co.uk/versteeg
- Zhao, X., Li, H., Yang, S., Fan, Z., Dong, J., & Cao, H. (2021). Blade vibration measurement and numerical analysis of a mistuned industrial impeller in a single-stage centrifugal compressor. *Journal of Sound and Vibration*, 501. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2021.116068>