

**PERMODELAN SIMULASI UNJUK KERJA TURBIN PUSARAN AIR  
(VORTEX) BERBENTUK SILINDER DENGAN JARI-JARI 110 MM  
MENGUNAKAN *ANSYS FLUENT***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**IRFAN AHMAD SYAH  
NPM 2115021093**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2026**

**PERMODELAN SIMULASI UNJUK KERJA TURBIN PUSARAN AIR  
(VORTEX) BERBENTUK SILINDER DENGAN JARI-JARI 110 MM  
MENGUNAKAN *ANSYS FLUENT***

**Oleh :**

**IRFAN AHMAD SYAH**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2026**

## **ABSTRAK**

### **PERMODELAN SIMULASI UNJUK KERJA TURBIN PUSARAN AIR (VORTEX) BERBENTUK SILINDER DENGAN JARI-JARI 110 MM MENGUNAKAN *ANSYS FLUENT***

**Oleh**

**Irfan Ahmad Syah**

Turbin vortex merupakan salah satu jenis turbin air yang memanfaatkan pusaran aliran fluida untuk mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik, yang sangat cocok digunakan pada kondisi head rendah dan debit kecil. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis unjuk kerja turbin pusaran air (vortex) berbentuk silinder dengan jari-jari kelengkungan sudu 110 mm menggunakan metode simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) pada perangkat lunak ANSYS Fluent. Metode penelitian dilakukan dengan pembuatan model tiga dimensi (3D) turbin, saluran, dan tangka sirkulasi menggunakan Autodesk Inventor, kemudian dilakukan simulasi numerik pada ANSYS Fluent dengan model turbulensi  $k-\omega$  SST. Variasi debit aliran yang digunakan adalah 10,61 L/s, 10,62 L/s, dan 10,66 L/s. Parameter yang dianalisis meliputi distribusi kecepatan aliran, torsi, daya turbin, serta efisiensi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pola aliran membentuk pusaran yang mampu memutar sudu turbin secara efektif. Nilai torsi, daya, dan efisiensi turbin mengalami peningkatan seiring bertambahnya debit aliran. Selain itu, hasil simulasi menunjukkan kesesuaian yang cukup baik dengan data eksperimen, sehingga metode CFD dapat digunakan sebagai pendekatan yang valid dalam menganalisis kinerja turbin vortex. Dengan demikian, turbin vortex berbentuk silinder dengan jari-jari kelengkungan 110 mm memiliki potensi yang baik untuk diterapkan pada sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro pada kondisi head rendah.

Kata kunci: Turbin vortex, CFD, ANSYS Fluent, debit aliran, efisiensi

## **ABSTRAK**

### **SIMULATION MODELING OF THE PERFORMANCE OF A CYLINDRICAL VORTEX TURBINE WITH A RADIUS OF 110 MM USING ANSYS FLUENT**

**By**

**Irfan Ahmad Syah**

A vortex turbine is a type of water turbine that utilizes fluid swirl flow to convert the kinetic energy of water into mechanical energy, making it highly suitable for low head and low flow rate conditions. This study aims to analyze the performance of a cylindrical vortex water turbine with a blade curvature radius of 110 mm using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation in ANSYS Fluent software. The research method was carried out by creating a three-dimensional (3D) model of the turbine, channel, and conical basin using Autodesk Inventor, followed by numerical simulation in ANSYS Fluent using the  $k-\omega$  SST turbulence model. The flow rate variations used in this study were 10.61 L/s, 10.62 L/s, and 10.66 L/s. The parameters analyzed include flow velocity distribution, torque, turbine power, and efficiency. The simulation results show that the flow pattern forms a vortex capable of effectively rotating the turbine blades. The values of torque, power, and efficiency increase with the rise in flow rate. In addition, the simulation results show good agreement with experimental data, indicating that the CFD method can be used as a valid approach to analyze the performance of vortex turbines.

Therefore, the cylindrical vortex turbine with a blade curvature radius of 110 mm has good potential to be applied in micro-hydropower generation systems under low head conditions.

**Keywords:** Vortex turbine, CFD, ANSYS Fluent, flow rate, efficiency

Judul Skripsi : PERMODELAN SIMULASI UNJUK KERJA  
TURBIN PUSARAN AIR (VORTEX)  
BERBENTUK SILINDER DENGAN JARI-JARI  
110 MM MENGGUNAKAN ANSYS FLUENT

Nama Mahasiswa : **Irfan Ahmad Syah**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2115021093

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

**Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T.**

**Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.**

NIP. 197101271998031004

NIP. 197112142000121001

**MENGETAHUI**

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

**Ahmad Su'udi, S.T., M.T.**

**Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.**

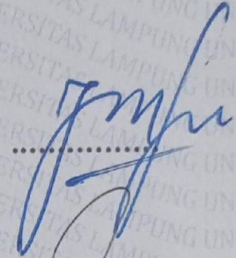
NIP. 197408162000121001

NIP. 197908212003121003

**MENGESAHKAN**

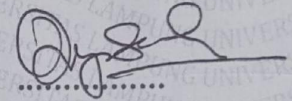
**1. Tim Penguji**

**Ketua Penguji : Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T.** .....



**Anggota Penguji : Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.** .....

**Penguji Utama : M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng.** .....



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.**

**NIP. 196910302000031001**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 20 April 2026**

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tanga di bawah ini:

Nama : Irfan Ahmad Syah

NPM : 2115022093

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujur-jujurnya, bahwa skripsi saya yang berjudul : **“Permodelan Simulasi Unjuk Kerja Turbin Pusaran Air (Vortex) Berbentuk Silinder Dengan Jari-Jari 110 mm Menggunakan ANSYS Fluent”**

Tugas akhir ini merupakan karya saya sendiri, baik gagasan, data, maupun pembahasannya. Karya ilmiah ini adalah hasil dari pengetahuan dan informasi yang saya dapatkan, karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukan hasil plagiat karya seseorang. Dengan demikian karya ini saya buat dan dapat di pertanggung jawabkan apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini.

Bandar Lampung, 15 April 2026  
Pembuat Pernyataan



Irfan Ahmad Syah  
NPM. 2115021093

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sukadana Ilir, Lampung Timur pada tanggal 3 Maret 2003 sebagai Putra dari Bapak Sumarno dan Ibu Rasmini. Pendidikan dasar ditempuh di SD Negeri 2 Sukadana, Kabupaten Lampung Timur, dan diselesaikan pada tahun 2015. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan ke SMP Negeri 1 Sukadana dan berhasil menyelesaikannya pada tahun 2018.

Pendidikan tingkat menengah atas ditempuh di SMK Negeri 1 Sukadana dengan mengambil kompetensi keahlian Teknik Kendaraan Ringan Otomotif (TKRO), dan lulus pada tahun 2021. Setelah menyelesaikan pendidikan menengah kejuruan, pada tahun 2021 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Universitas Lampung pada Program Studi S1 Teknik Mesin.

Selama menjalani masa studi, penulis turut berpartisipasi dalam kegiatan kemahasiswaan, khususnya dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM). Pada tahun 2024, penulis dipercaya sebagai anggota pada bidang Humas Eksternal. Selain itu, penulis juga melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PT Perusahaan Gas Negara, Tbk Stasiun Labuhan Maringgai dengan judul laporan **“Analisis Konsumsi Bahan Bakar Gas Pada Gas Engine Generator Merk Caterpillar Type 63306 Di PT. Perusahaan Gas Negara, Tbk Stasiun Labuhan Maringgai.”**. Pada tahun yang sama, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata Periode II di Desa Mulyo Asri, Kecamatan Bumi Agung, Kabupaten Lampung Timur.

Dalam penyusunan Tugas Akhir, Penulis melakukan penelitian Skripsi dengan Judul **“Permodelan Simulasi Unjuk Kerja Turbin Pusaran Air (Vortex) Berbentuk Silinder Dengan Jari-Jari 110 mm Menggunakan ANSYS Fluent,”** di bawah bimbingan Bapak Jofri Boike Sinaga, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.

## **PERSEMBAHAN**

*Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberi kehidupan, waktu dan kekuatan hingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tanpa ridha dan rahmat-Nya, tak mungkin langkah ini mampu sampai sejauh ini.*

### **Kepada Bapak dan Mamak Tercinta**

*kepada orang tua tercinta, sebagai bentuk terima kasih yang tak terhingga atas segala kasih sayang, pengorbanan, dan perjuangan yang telah diberikan. Dari keringat ayah yang bekerja tanpa mengenal lelah demi masa depan anaknya, hingga doa ibu yang sering menangis dalam sujudnya memohon kepada Tuhan agar anak laki-lakinya ini dapat menyelesaikan perkuliahan. Semua itu menjadi kekuatan terbesar bagi penulis untuk terus berjuang hingga sampai pada titik ini.*

### **Kepada Kakak Tercinta Visca Isnaeni, S.Pd., Gr.**

*Terima kasih atas segala perhatian, dukungan, dan kebersamaan yang selalu diberikan kepada penulis. Kehadiran mu menjadi salah satu sumber semangat bagi penulis untuk terus berjuang hingga mampu menyelesaikan perkuliahan ini. Semoga kebersamaan, kasih sayang, dan dukungan yang telah diberikan menjadi kenangan indah serta kebanggaan bagi keluarga kita semua.*

### **Kepada Para Sahabat**

*Selalu membantu dan ikut mengisi kehidupanku di dunia perkuliahan ini.*

*Serta Almamaterku tercinta, Universitas Lampung.*

## **MOTTO**

“Keberhasilan tidak ditentukan oleh besarnya tujuan, melainkan oleh kebiasaan yang dijalankan secara konsisten”

–**James Clear, *Atomic Habits* (2018)**

## SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Permodelan Simulasi Unjuk Kerja Turbin Pusaran Air (Vortex) Berbentuk Silinder Dengan Jari-Jari 110 mm Menggunakan ANSYS Fluent” dapat terselesaikan dengan baik. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Penulis menyadari adanya keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki, sehingga dengan adanya bimbingan arahan serta bantuan dari berbagai pihak, skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Ahmad Su’udi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktu dan mendidik dengan kesabaran dan keihklasan penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktu dan mendidik dengan kesabaran dan keihklasan penyusunan skripsi ini.
7. Bapak M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng., selaku dosen Pembahas yang telah bersedia meluangkan waktu memberikan saran dan arahan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.

8. Bapak Sugiman selaku teknisi laboratorium Mekanika Fluida yang selalu memberikan semangat dan bantuan kepada penulis.
9. Seluruh Bapak, Ibu Dosen dan seluruh Staff Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah mengajarkan banyak pengetahuan kepada penulis.
10. Teman-teman Angkatan 2021 dan Tim Laboratorium Mekanika Fluida dan kawan kawan: Randa Admiral, S.T., Tri Topan Ramadani, S.T., David Sinaga, S.T., M Fadhly Effendi, S.T., Darius Simamora, S.T., Glenn Ananta Velasco L, S.T., Nando Kurniawan, S.T., Al Aziz, S.T., Barry Indrama, A.Md.T, dan Faris Nadi Abdillah yang selalu memberi dorongan semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun dalam rangka penyempurna skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Bandar Lampung, 15 April 2026

Penulis

Irfan Ahmad Syah

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Batasan .....	3
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Turbin Air.....	5
2.1.1 Klasifikasi Berdasarkan Cara Kerja .....	6
2.2 Turbin Vortex .....	7
2.3 Basin.....	8
2.4 Model Sudu .....	9
2.5 Computational Fluid Dynamics (CFD) .....	12
2.6 Metode Perhitungan CFD .....	16
2.7 ANSYS .....	20
2.8 Persamaan Umum dalam CFD .....	23
2.9 Model Turbulensi Pada CFD.....	24
<b>III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
3.1 Tempat Penelitian.....	28
3.2 Tahapan Penelitian .....	28
3.2.1 Studi Literatur.....	28
3.2.2 Penyiapan Alat.....	28
3.2.3 Pembuatan Tangki Sirkulasi dan Turbin .....	28
3.2.4 Alur Simulasi.....	34
3.3 Diagram Alur Penelitian.....	51
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>54</b>
4.1 Parameter Simulasi <i>ANSYS Fluent</i> .....	54
4.2 Validasi Data .....	55
4.3 Hasil Penelitian.....	56
4.3.1 Mesh Independent Test .....	56
4.3.2 Simulasi distribusi kecepatan di saluran, sudu pengarah, tangki sirkulasi, dan tekanan pada turbin .....	58
4.4 Data Simulasi.....	80
4.5 Nilai rpm Terhadap Torsi .....	82

4.6 Nilai rpm Terhadap Daya Turbin .....	85
4.7 rpm Terhadap Efisiensi Turbin.....	87
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>91</b>
5.1 Kesimpulan.....	91
5.2 Saran.....	93
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>94</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>96</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Roda Turbin .....	5
2. Turbin Impuls.....	6
3. Sudu turbin reaksi: (a) Kaplan, dan (b) Francis .....	7
4. Turbin Vortex .....	8
5. Jenis basin A) Conical, B) Silinder, C) Conical Convex .....	9
6. Bentuk skema 3D sudu turbin .....	9
7. Sudu turbin vortex berpenampang silinder .....	10
8. Parameter geometri sudu turbin vortex .....	11
9. Tampilan Ansys Workbench 2021 R2 .....	22
10. Geometri Connical Basin dan Fitur Revolve .....	29
11. Geometri Canal Turbin Vortex .....	30
12. Geometri Poros Turbin .....	30
13. Desain Ketebalan dan Kemiringan Turbin .....	31
14. <i>Sweep Sudu Turbine</i> dengan Curve Profil .....	31
15. <i>Circular Pattern</i> untuk Jumlah Sudu .....	32
16. <i>Fitur Loft Intersect</i> pada Turbin Vortex .....	32
17. Turbin yang akan Disimulasikan .....	33
18. Gambar Teknik Turbin Pusaran Air (Vortex) .....	33
19. Hasil <i>Streanline</i> debit air 10,61 L/s .....	35
20. Hasil <i>Streanline</i> debit air 10,62 L/s .....	35
21. Hasil <i>Streanline</i> debit air 10,66 L/s .....	36
22. <i>Boundary Condition</i> pada Turbin Pusaran Air (Vortex) .....	37
23. Proses Meshing pada <i>Connical</i> Basin.....	38
24. Tampilan Fluent Launcher .....	40
25. General Menu .....	42
26. Model Menu .....	44
27. <i>Cell Zone</i> Menu .....	45
28. <i>Bondary Condition</i> Menu .....	46
29. <i>Initialization</i> Menu .....	48
30. <i>Run Calculation</i> Menu .....	49
31. Grafik Residual .....	50
32. Hasil Simulasi berupa Contour Streamlined 3D .....	51
33. Diagram Alir Penelitian .....	51
34. Kontur kecepatan aliran Debit air 10,61 L/s hasil simulasi kecepatan di saluran pengarah pada bidang YX .....	59
35. Kontur kecepatan pada tangki sirkulasi dengan debit 10.61 L/s contour kecepatan bidang ZY .....	60
36. Kontur tekanan pada sudu turbin debit 10,61 L/s .....	61

37. Potongan kontur kecepatan debit air 10,61 L/s a). 400 mm dari outlet bidang XZ b). 300 mm dari outlet bidang XZ c).200 mm dari outlet bidang XZ d).100 mm dari outlet bidang XZ e). outlet pada bidang XZ .....	63
38. Visualisasi isosurface velocity pada turbin vortex debit aliran 10,61 L/s .....	65
39. Kontur kecepatan aliran debit air 10,62 L/s hasil simulasi kecepatan di saluran pengarah pada bidang ZX .....	66
40. Variasi simulasi debit aliran 10.62 L/s contour kecepatan bidang ZY .....	67
41. Kontur Tekanan Pada Sudu Turbin Debit 10,62 L/s.....	68
42. Potongan kontur kecepatan debit air 10,62 L/s a). 400 mm dari outlet bidang XZ b). 300 mm dari outlet bidang XZ c).200 mm dari outlet bidang XZ d).100 mm dari outlet bidang XZ e). outlet pada bidang XZ .....	70
43. Visualisasi isosurface velocity pada turbin vortex debit aliran 10,62 L/s .....	72
44. Kontur kecepatan aliran debit air 10,66 L/s hasil simulasi kecepatan di saluran pengarah pada bidang ZX .....	73
45. Variasi simulasi debit aliran 10.66 L/s contour kecepatan bidang ZY .....	74
46. Kontur Tekanan Pada Sudu Turbin Debit 10,62 L/s .....	75
47. Potongan kontur kecepatan debit air 10,66 L/s a). 400 mm dari outlet bidang XZ b). 300 mm dari outlet bidang XZ c).200 mm dari outlet bidang XZ d).100 mm dari outlet bidang XZ e). outlet pada bidang XZ .....	77
48. Visualisasi isosurface velocity pada turbin vortex debit aliran 10,66 L/s.....	79
49. perbandingan torsi eksperimen dengan simulasi dengan variasi debit 10.61 L/s ....	83
50. perbandingan torsi eksperimen dengan simulasi dengan variasi debit 10.62 L/s ....	83
51. perbandingan torsi eksperimen dengan simulasi dengan variasi debit 10.66 L/s ....	84
52. Perbandingan daya turbin dengan rpm Eksperimen dengan simulasi dengan variasi debit 10,61 L/s .....	85
53. Perbandingan daya turbin dengan rpm Eksperimen dengan simulasi dengan variasi debit 10.62 L/s .....	85
54. Perbandingan daya turbin dengan rpm Eksperimen dengan simulasi dengan variasi debit 10.66 L/s .....	86
55. perbandingan efesiensi turbin dengan rpm eksperimen dengan simulasi dengan variasi debir air 10,61 L/s.....	87
56. perbandingan efesiensi turbin dengan rpm eksperimen dengan simulasi dengan variasi debir air 10.62 L/s.....	88
57. perbandingan efesiensi turbin dengan rpm eksperimen dengan simulasi dengan variasi debir air 10.66 L/s.....	88

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Diameter Hidraulik.....	37
2. Bilangan Reynold Number Pada Tiap Aliran .....	37
3. Parameter mesh .....	39
4. Kondisi batas yang akan di input .....	41
5. Variasi Debit air 10.66 L/s.....	56
6. Variasi debit air 10.62 L/s.....	57
7. Variasi debit air 10.61 L/s.....	57
8. Data hasil eksperimen untuk memvalidasi.....	80
9. Data hasil simulasi dengan ansys fluent.....	81
10. validasi error eksperimen dan simulasi variasi debit air 10.61 L/s.....	89
11. validasi error eksperimen dan simulasi variasi debit air 10.62 L/s.....	89
12. validasi error eksperimen dan simulasi variasi debit air 10.66 L/s.....	90

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat seiring perkembangan kehidupan modern. Namun, belum semua wilayah terutama daerah terpencil dapat menikmati akses yang layak terhadap jaringan listrik konvensional. Maka dari itu, pemanfaatan teknologi pembangkit listrik tenaga mikro-hidro menjadi solusi alternatif yang menjanjikan karena dapat menghasilkan energi secara mandiri, efisien, serta lebih ramah lingkungan.

Salah satu jenis turbin mikro-hidro yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah turbin vortex. Prinsip kerjanya didasarkan pada pembentukan pusaran air yang terjadi ketika aliran air diarahkan ke dalam kolam berbentuk silinder yang memiliki bukaan di bagian dasarnya, sehingga mampu memutar sudu-sudu turbin. Turbin jenis ini unggul karena mampu beroperasi secara efektif pada ketinggian jatuhnya air (*head*) yang rendah, yaitu di bawah 2 meter, dengan debit aliran yang kecil. Selain itu, desainnya yang sederhana menjadikan perawatan lebih mudah dan biayanya pun relatif rendah.

Namun, efisiensi dari turbin vortex sangat bergantung pada aspek geometris desainnya, termasuk konfigurasi kolam (basin), jumlah sudu pada runner, kemiringan saluran masuk (*notch*), serta ukuran saluran keluar. Karena itu, diperlukan analisis teknik yang tepat guna mengevaluasi kinerja turbin sebelum proses pembuatan prototipe dilakukan. Salah satu pendekatan yang dinilai efektif untuk tujuan tersebut adalah melalui simulasi numerik menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

*ANSYS Fluent* merupakan salah satu perangkat lunak CFD yang populer digunakan untuk mensimulasikan perilaku aliran fluida dan memetakan fenomena turbulen yang kompleks, termasuk formasi pusaran air. Di sisi lain,

Autodesk Inventor dimanfaatkan untuk merancang model 3D turbin secara presisi sesuai spesifikasi yang dibutuhkan. Dengan mengintegrasikan kedua perangkat lunak ini, analisis performa turbin dapat dilakukan secara menyeluruh, seperti mengamati distribusi kecepatan dan tekanan, arah aliran vortex, hingga memperkirakan daya yang dihasilkan.

Sejumlah studi terdahulu, seperti yang dilakukan oleh Sinaga (2024), telah melakukan pengujian pada turbin dengan menggunakan jari-jari kelengkungan 85 mm, 110 mm, dan 145 mm dengan bentuk penampang kerucut. Dari hasil pengujian, turbin dengan jari-jari kelengkungan 110 mm mencapai efisiensi maksimum sebesar 33,12% pada debit aliran 10,8 L/s, sedangkan turbin dengan jari-jari kelengkungan 85 mm dan 145 mm masing-masing mencapai efisiensi maksimum sebesar 23,84% dan 30,70% pada debit aliran yang sama. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa jari-jari kelengkungan sudu 110 mm memberikan kinerja terbaik dibandingkan jari-jari kelengkungan sudu 85 mm dan 145 mm. Kurniawan (2026), Melakukan penelitian dengan menggunakan jari-jari kelengkungan sudu 110 mm menggunakan enam buah sudu dengan bentuk penampang silinder dengan menggunakan tiga variasi debit aliran yaitu 10,61 L/s, 10,62 L/s dan 10,66 L/s. diperoleh efisiensi terbaik pada debit aliran 10,66 L/s mencapai efisiensi maksimum sebesar 55,82%. Berdasarkan eksperimental yang telah dilakukan Kurniawan (2026) menjadi acuan untuk validasi data dari hasil simulasi.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan Penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan model tiga dimensi (3D) saluran, saluran pengarah kerucut (*conical basin*), dan turbin pusaran (*vortex*) berbentuk penampang silinder sebagai dasar analisis simulasi unjuk kerja turbin.
2. Mengetahui distribusi kecepatan aliran di saluran pengarah, tangki sirkulasi, torsi, daya turbin, kontur tekanan pada turbin, serta efisiensi yang dihasilkan pada turbin.
3. Mengetahui unjuk kerja turbin vortex berbentuk penampang silinder yang di gunakan pada model pembangkit listrik dan membandingkannya dengan hasil yang dilakukan secara eksperimental.

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan penelitian ini adalah:

1. Alat uji model sistem pembangkit yang di modelkan ini adalah model sistem pembangkit yang dibuat di laboratorium mekanika fluida, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.
2. Melakukan simulasi dengan menggunakan 3 variasi debit aliran yaitu 10,61 L/s, 10,62 L/s dan 10,66 L/s.
3. Turbin yang digunakan adalah bentuk sudu lengkung (*curved*) dengan bentuk penampang silinder, dengan menggunakan 6 sudu turbin.
4. Simulasi ini dilakukan menggunakan software Ansys R2 2021 dan Autodesk Inventor 2024 sebagai pembuatan geometri.

## 1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini diawali dari Bab I Pendahuluan berisikan: latar belakang, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan. Bab II Tinjauan pustaka, berisi tentang landasan teori yang digunakan, pengklasifikasian turbin, parameter serta

permodelan simulasi menggunakan persamaan-persamaan analisa numerik. Bab III Metodologi Penelitian berisikan tentang: tempat penelitian, waktu serta langkah-langkah dalam melakukan proses penelitian. Bab IV Hasil dan pembahasan melampirkan gambar *countur* dan pembahasan yang didapatkan dari hasil proses penelitian. Bab V Penutup berisikan kesimpulan dan saran selama penelitian ini dilakukan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Turbin Air

Turbin air merupakan suatu pembangkit mula-mula yang memanfaatkan energi potensial air menjadi energi mekanik dimana air memutar roda turbin. Air yang berada pada ketinggian tertentu memiliki energi potensial. Ketika air mengalir ke tempat yang lebih rendah energi potensial berubah menjadi energi kinetik. Oleh turbin air, energi kinetik dirubah menjadi energi mekanik (Syahrul dkk., 2018).

Pada roda turbin terdapat sudu yaitu suatu konstruksi lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerja mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut, dengan demikian roda turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada suatu gaya yang bekerja. Gaya tersebut akan terjadi karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir diantara sudunya. Sudu hendaknya dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja air tersebut.



**Gambar 1.** Roda turbin (Syahrul dkk., 2018).

Sudu (*blade*) merupakan bagian turbin yang berfungsi untuk merubah gerak pancar air menjadi gerak rotasi/putaran atau pancaran air yang masuk turbin dan mengenai sudu roda turbin akibat adanya fluida kerja (air, angin, uap, dan lain sebagainya) yang dimana akan terjadi konversi energi yaitu energi

kinetik menjadi energi mekanis yang menggerakkannya atau mengubah energi potensial menjadi energi kinetik. Bentuk dari sudu turbin sesuai dengan fluida kerja yang menggerakkannya dengan dimensi sesuai dengan kebutuhan untuk menggerakkan roda turbin.

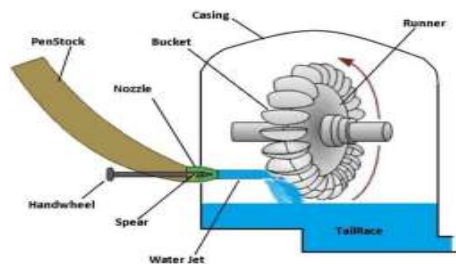
### 2.1.1 Klasifikasi Berdasarkan Cara Kerja

Pada umumnya turbin air dapat diklasifikasi menjadi 2 jenis dapat dilihat dari kerja turbin dalam hal mengubah tinggi jatuh yaitu :

#### a. Turbin impuls

Turbin impuls lahir dari konsep sederhana tentang perubahan momentum yang terjadi sebelum dan setelah air menabrak sudu-sudu (roda turbin). Sistem kerja turbin impuls ialah menggunakan energi air dari jet penyemprot untuk menabrak sudu dan menyebabkan turbin berotasi (energi mekanik).

Sudu pada turbin impuls tidak terendam dan air tetap pada tekanan atmosfer sebelum dan setelah melakukan kontak dengan sudu. Turbin berjenis impuls seperti Pelton, Crossflow, dan Turgo cenderung digunakan pada kondisi head sedang hingga tinggi dan laju aliran rendah (Astro *et al*, 2020).



**Gambar 2.** Turbin impuls (Abimanyu *et al.*, 2023).

#### b. Turbin Reaksi

Turbin reaksi memanfaatkan tekanan dari aliran air untuk memutarinya. Turbin reaksi sepenuhnya terendam air dalam permukaan tertutup. Sudu turbin dibentuk agar terjadi perbedaan tekanan pada turbin. Tekanan pada bagian atas lebih besar dibanding tekanan di

bagian bawah turbin sehingga menyebabkan gaya angkat hidrodinamika yang mendorong sudu berputar. Turbin reaksi umumnya digunakan pada kondisi head rendah dengan debit besar. Contoh turbin reaksi adalah turbin Francis, dan Propeller/Kaplan.

Sudu turbin Propeler berbentuk baling-baling dengan sisi-sisi sudu dibentuk menyerupai sayap pesawat terbang. Turbin Propeler didesain untuk kondisi head rendah dengan debit air besar. Umumnya turbin dengan sudu tetap disebut turbin Propeler, dan jika sudu turbin dapat diatur dinamakan turbin Kaplan. Air masuk ke sudu turbin Kaplan/Propeller secara aksial dan menyebabkan daerah di bawah sudu mengalami penurunan tekanan akibat kecepatan alir yang tinggi. Reaksi atas perbedaan tekanan tersebut menimbulkan gaya angkat. Berputarnya sudu turbin dipengaruhi oleh komponen tangensial dari gaya angkat.



**Gambar 3.** Sudu turbin reaksi: (a) kaplan, dan (b) francis (Astro *et al.*, 2020).

## 2.2 Turbin *Vortex*

Turbin vortex merupakan turbin yang memanfaatkan pusaran air sebagai media perantara energi terhadap sumbu vertikal sehingga terjadi perbedaan tekanan antara bagian sumbu dan sekelilingnya. Turbin air ini dioperasikan pada daerah yang memiliki *head* yang rendah dan memanfaatkan pusaran gravitasi air sehingga akan menimbulkan perbedaan tekanan air dengan bagian sumbu. Hal ini ditemukan oleh insinyur Austria Franz Zotloterer ketika mencoba untuk menemukan cara untuk menganginkan air tanpa sumber daya eksternal. *Vortex* adalah massa fluida yang partikel-partikelnya

bergerak berputar dengan garis arus (*streamline*) membentuk lingkaran konsentris. Gerakan *vortex* berputar disebabkan oleh adanya perbedaan kecepatan antara lapisan fluida yang berdekatan. Dapat diartikan juga sebagai gerak alamiah fluida yang diakibatkan oleh parameter kecepatan dan tekanan. *Vortex* sebagai pusaran yang merupakan efek dari putaran rotasional dimana viskositas berpengaruh didalamnya (Sembiring dkk., 2017).

Beberapa penelitian sudah dilakukan untuk mengembangkan turbin *vortex*, salah satunya adalah kajian terkait sudu turbin. Penelitian-penelitian tersebut dilakukan untuk uji eksperimental pengaruh variasi jumlah sudu terhadap kinerja turbin reaksi aliran *vortex* dengan sudu berpenampang plat datar; menggunakan variasi jarak sudu dengan saluran keluar basin. Uji eksperimental juga dilakukan untuk kinerja turbin reaksi aliran *vortex* tipe sudu berpenampang lurus dengan variabel luas optimum sudu. Analisis telah dilakukan terhadap profil sudu turbin mikro-hidro *vortex* untuk mendapatkan efisiensi optimum. Penelitian juga dilakukan dengan metode simulasi antara lain simulasi komputasi dinamika fluida (*Computational Fluid Dynamics – CFD*) untuk pembangkit listrik mini dan pengaruh *baffle* pada turbin. Simulasi komputer juga dilakukan untuk unjuk kerja dan medan aliran turbin *vortex*, pengaruh parameter-parameter geometri pada basin berbentuk kerucut, pemodelan skala dan pemodelan CFD turbin *vortex* (Ikhsan et al., 2020).



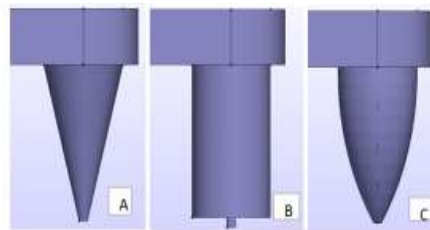
**Gambar 4.** Turbin *Vortex* (Harmiansyah dkk, 2023).

### 2.3 Basin

Komponen penting dalam GWVHP ini salah satunya basin. Model basin sangat mempengaruhi pembentukan aliran *vortex* yang akan

menggerakkan runner/sudu turbin. Semakin kuat aliran vortex yang dihasilkan semakin besar potensi energi Listrik yang dapat di ekstrak melalui sudu turbin (Kurniawan dkk., 2024).

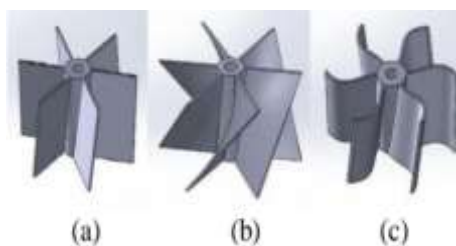
Tes eksperimental telah dilakukan untuk membandingkan kinerja sistem basin berbentuk kerucut dengan sistem basin silinder. Karena peningkatan nilai *velocity head* dengan peningkatan kedalaman dan kekuatan vortex yang lebih besar, efisiensi turbin lebih besar di basin berbentuk kerucut dibandingkan dengan silinder (Indarto dkk., 2020).



**Gambar 5.** Jenis basin A) *Conical*, B) *Silinder*, C) *Conical Convex*. (Kurniawan dkk., 2024).

## 2.4 Model Sudu

Sudu turbin adalah bagian dari turbin di mana konversi energi terjadi. Sudu terdiri dari akar sudu, badan sudu, dan ujung sudu. Sudu-sudu tersebut kemudian disusun untuk membentuk lingkaran lengkap dengan jarak yang sama. Sudu (*blade*) merupakan bagian turbin yang berfungsi untuk merubah gerak pancar air menjadi gerak rotasi air yang masuk turbin dan mengenai sudu turbin akibat adanya fluida kerja (air, angin, uap, dll) yang dimana akan terjadi konversi energi yaitu energi kinetik menjadi energi mekanis yang menggerakkannya atau mengubah energi potensial menjadi energi kinetik (Dhakal *et al.*, 2017).



**Gambar 6.** Bentuk skema 3D sudu turbin (a) *flat*, (b) *twisted*, (c) *curved* (Ikhsan *et al.*, 2020).

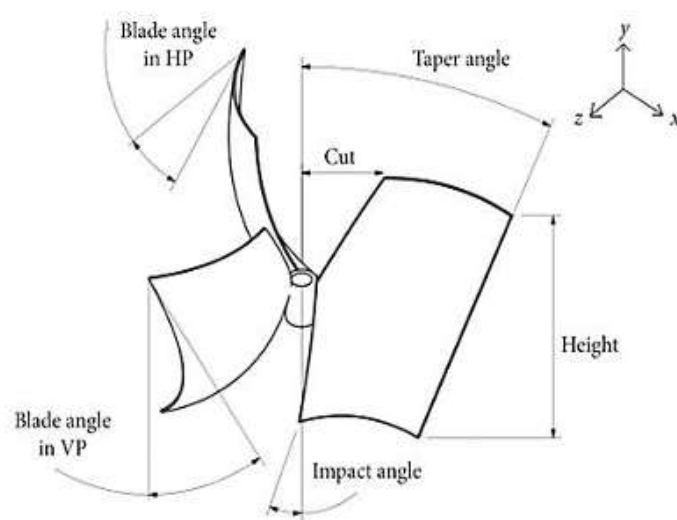
Dapat dilihat pada Gambar 6. menunjukkan bentuk sudu pada turbin *vortex*, terdiri dari sudu *flat*, *twisted*, *curved*. Setiap bentuk sudu akan mempengaruhi kinerja turbin *vortex* yaitu hasil keluaran torsi turbin, daya poros turbin dan efisiensi turbin. Bagian dari sudu turbin meliputi panjang sudu, diameter sudu, bentuk sudu, dan jumlah sudu. Menurut Dhakal *et al.* (2017), sudu turbin dengan bentuk melengkung lebih cocok untuk aliran *vortex* dibandingkan dengan bentuk sudu lainnya.

Turbin Air Penampang Silinder adalah Turbin yang memiliki bentuk sudu atau runner dengan penampang melintang berbentuk silinder, sehingga aliran air berpusar (*vortex*) akan menumbuk permukaan silinder secara radial dan tangensial. Bentuk penampang silinder ini memungkinkan air mengalir mengelilingi permukaan silinder dan menghasilkan momen puntir (torsi) yang lebih stabil dan besar. Desain geometris turbin silinder sangat berpengaruh terhadap performa dan efisiensinya. Beberapa parameter penting yang memengaruhi kinerja turbin antara lain adalah jumlah sudu, sudut impak aliran, diameter rotor, lebar sudu, dan kecepatan aliran air. Jumlah sudu yang terlalu banyak dapat menimbulkan gesekan dan menurunkan efisiensi, sementara sudu yang terlalu sedikit akan mengurangi transfer energi. Penelitian menunjukkan bahwa sudut optimal antara *nozzle* dan sudu rotor berada pada kisaran  $20^{\circ}$  hingga  $30^{\circ}$ , guna memastikan air memberikan gaya maksimal pada sudu. Selain itu, diameter rotor berperan dalam menentukan torsi yang dihasilkan, sedangkan panjang sudu berpengaruh pada volume air yang bisa digunakan per satuan waktu (Fitroh, 2018).



**Gambar 7.** Sudu turbin *Vortex* berpenampang silinder

Efisiensi sudu (*blade*) sangat dipengaruhi oleh bentuk geometri sudu, khususnya dimensi, dan kelengkungannya terhadap arah aliran *vortex*. Desain sudu pada turbin *vortex* sangat dipengaruhi oleh *radius of curvature* ( $R$ ), yaitu jari-jari kelengkungan dari permukaan sudu. Menurut Ikhsan et al., (2020) bentuk sudu melengkung (*curved blade*) meningkatkan kelancaran aliran pusaran air dan cenderung meningkatkan efisiensi turbin dibanding sudu lurus (*flat blade*) karena lebih sesuai dengan streamline pusaran *vortex*.



**Gambar 8.** Parameter geometri sudu turbin *vortex*

Gambar 8. menunjukkan parameter utama dari geometri sudu turbin *vortex* seperti sudut sudu pada bidang horizontal (*blade angle in HP*), bidang vertikal (*blade angle in VP*), sudut impak (*impact angle*), sudut ketirusan (*taper angle*), serta tinggi sudu (*height*). Parameter ini sangat memengaruhi bentuk kelengkungan. Menurut Bajracharya et al. (2020) dalam penelitiannya mengenai pengaruh parameter geometrik pada turbin *vortex* menjelaskan bahwa sudu turbin harus didesain dengan memperhatikan beberapa parameter utama seperti Jari-jari *inlet* dan *outlet*, Sudut sudu pada bidang horizontal, Sudut impak.

Jari-jari kelengkungan sudu pada turbin *vortex* adalah parameter penting yang menentukan bentuk lengkungan sudu, dan secara langsung

mempengaruhi bagaimana fluida mengalir melalui turbin dan seberapa efisien energi pusingan air diubah menjadi energi mekanik. (Sinaga *et al.*, 2024) melakukan penelitian tentang pengaruh bentuk sudu terhadap efisiensi turbin air gravitasi aliran *vortex* yang dimana efisiensi terbaik berada disudu lengkung (*curved*).

## **2.5 Computational Fluid Dynamics (CFD)**

CFD adalah analisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena terkait seperti reaksi kimia melalui simulasi berbasis komputer. Tekniknya sangat ampuh dan mencakup berbagai area aplikasi industri dan non-industri. Beberapa bidang yang memanfaatkan CFD yaitu: aerodinamika pesawat terbang dan kendaraan, hidrodinamika kapal, pembangkit listrik: pembakaran di mesin pembakaran internal dan turbin gas, turbin uap dan lain lain. CFD sangat bermanfaat dalam proses desain karena akan meminimalisir proses kegagalan dan menghindarkan dari kerugian finansial. CFD memiliki tiga proses utama yaitu:

### **1. Pre-processor**

Tahapan penentuan simulasi yang akan digunakan kemudian tahap ini juga proses untuk menggambar geometri dari alat yang akan disimulasikan. Pada proses ini juga dilakukan penamaan pada beberapa permukaan gambar kerja, dan proses *meshing*. Pemberian nama pada proses ini harus tepat, sehingga sistem dapat membaca dengan baik ketika akan dilakukan simulasi. *Meshing* merupakan kegiatan yang dilakukan oleh sistem guna membagi geometri menjadi bagian-bagian kecil. Pembagian komponen ini akan membantu dalam proses analisa yang akan dilakukan, karena setiap komponen geometri dapat diperbesar dan dapat dilihat dengan baik karena *meshing* yang dilakukan.

Pada proses *pre-processor* juga dilakukan pembuatan atau penggambaran geometri dari alat yang akan disimulasikan. Geometri dapat dibuat secara langsung di dalam perangkat lunak simulasi atau diimpor dari perangkat

lunak CAD. Ketelitian dalam menggambar dimensi, sudut, serta detail komponen sangat penting karena geometri akan merepresentasikan kondisi nyata dari sistem yang dianalisis. Dalam penelitian turbin, misalnya, bagian seperti *inlet*, *outlet*, *runner*, dan *casing* harus dimodelkan secara presisi agar distribusi aliran dan karakteristik fluida dapat dianalisis dengan benar.

Selain pembuatan geometri, pada tahap ini juga dilakukan penamaan (*naming*) pada beberapa permukaan atau bagian tertentu dari gambar kerja. Penamaan ini bertujuan untuk mempermudah identifikasi saat pemberian kondisi batas seperti *inlet velocity*, *pressure outlet*, *wall*, maupun *rotating domain*. Pemberian nama harus dilakukan secara tepat dan konsisten karena sistem simulasi akan membaca dan mengenali setiap permukaan berdasarkan label yang telah ditentukan. Kesalahan dalam penamaan dapat menyebabkan ketidaksesuaian antara kondisi batas yang direncanakan dengan area yang sebenarnya ingin dianalisis.

Tahapan penting lainnya dalam *pre-processor* adalah proses *meshing*, yaitu proses pembagian geometri menjadi elemen-elemen kecil yang disebut *mesh* atau *grid*. *Meshing* dilakukan agar sistem dapat melakukan perhitungan numerik menggunakan metode diskretisasi, seperti metode elemen hingga atau metode volume hingga. Semakin halus dan terstruktur *mesh* yang dibuat, maka semakin detail hasil analisis yang diperoleh, meskipun waktu komputasi juga akan meningkat. Pembagian komponen menjadi elemen-elemen kecil ini memungkinkan setiap bagian geometri dianalisis secara lebih rinci, sehingga fenomena fisik seperti distribusi tekanan, kecepatan, maupun turbulensi dapat diamati dengan lebih jelas dan akurat.

## 2. *Solver*

Pada tahapan ini adalah tahapan untuk menentukan kondisi-kondisi batas pada CFD. Pada tahap ini yang perlu dikondisikan adalah bentuk aliran, jenis material yang digunakan, dan kondisi awal pada proses *inlet* dan

*outlet* dari fluida. Setelah semua kondisi telah dipastikan sesuai dengan kondisi riil alat maka dilakukan proses penghitungan dengan menjalankan simulasi. Maka dalam proses simulasi perlu menganalisa data yang akan digunakan sehingga simulasi yang akan dijalankan akan memberikan hasil yang mendekati kenyataan dengan baik.

Pada tahapan *solver* juga dilakukan penentuan dan pengaturan kondisi batas (*boundary conditions*) yang sangat berpengaruh terhadap hasil simulasi. Kondisi yang perlu dikonfigurasi meliputi bentuk dan karakteristik aliran, seperti laminar atau turbulen, kecepatan atau debit fluida pada *inlet*, tekanan pada *outlet*, serta kondisi dinding (*wall condition*). Selain itu, jenis material atau properti fluida yang digunakan—seperti densitas, viskositas, dan temperatur—harus didefinisikan secara akurat. Ketepatan dalam menentukan parameter-parameter ini akan memastikan bahwa model numerik yang dibangun sesuai dengan kondisi riil alat atau sistem yang dianalisis.

Setelah seluruh kondisi batas dan parameter fisik telah dipastikan sesuai dengan kondisi aktual, proses perhitungan dapat dijalankan. *Solver* akan melakukan iterasi secara berulang hingga mencapai kondisi konvergen, yaitu keadaan di mana residual *error* berada di bawah batas toleransi yang telah ditentukan. Proses iterasi ini sangat penting karena menunjukkan kestabilan dan keakuratan solusi numerik yang diperoleh. Semakin baik kualitas mesh dan pengaturan parameter *solver*, maka semakin cepat proses konvergensi dapat tercapai.

Dalam menjalankan simulasi, analisis terhadap data input sangat diperlukan agar hasil yang diperoleh mendekati kenyataan. Pengguna perlu memastikan bahwa asumsi yang digunakan tidak menyimpang dari kondisi fisik sebenarnya, serta memeriksa grafik residual, keseimbangan massa, dan parameter keluaran lainnya selama proses komputasi berlangsung. Dengan pengaturan *solver* yang tepat dan analisis data yang cermat, simulasi CFD dapat memberikan hasil berupa distribusi tekanan,

kecepatan, maupun karakteristik aliran yang representatif dan dapat digunakan sebagai dasar evaluasi maupun pengembangan desain sistem.

### 3. *Post Processor*

*Post processor* merupakan tahapan terakhir dalam rangkaian proses simulasi numerik setelah tahap *pre-processor* dan *solver* selesai dilakukan. Pada tahap ini, seluruh data hasil perhitungan yang telah diperoleh dari proses iterasi akan diolah dan divisualisasikan agar dapat dianalisis dengan lebih mudah. *Post processor* berfungsi untuk menerjemahkan data numerik menjadi bentuk visual seperti grafik, tabel, kontur warna, maupun animasi sehingga peneliti dapat memahami fenomena fisik yang terjadi pada sistem yang disimulasikan secara lebih jelas dan sistematis.

Pada tahap ini pengguna dapat melihat berbagai hasil simulasi, seperti distribusi tekanan, kecepatan, temperatur, serta parameter turbulensi dalam bentuk kontur (*contour plot*). Kontur tersebut biasanya ditampilkan dengan gradasi warna untuk menunjukkan perbedaan nilai pada setiap titik di dalam domain fluida. Dengan adanya visualisasi ini, area dengan tekanan tinggi, zona turbulensi, maupun daerah dengan kecepatan maksimum dan minimum dapat diidentifikasi secara cepat. Hal ini sangat membantu dalam mengevaluasi performa alat yang dianalisis.

Selain kontur, *post processor* juga menampilkan pola pergerakan aliran fluida dalam bentuk *streamline* atau garis arus. *Streamline* digunakan untuk menggambarkan arah dan karakteristik aliran di dalam sistem, sehingga pola sirkulasi, pusaran (*vortex*), maupun separasi aliran dapat diamati secara detail. Visualisasi ini sangat penting dalam analisis sistem fluida seperti turbin, pompa, atau saluran aliran karena memberikan gambaran nyata mengenai interaksi antara fluida dan geometri alat.

Tahap *post processor* juga memungkinkan pengguna untuk mengekstraksi data numerik tertentu guna dilakukan analisis lanjutan,

seperti perhitungan gaya, torsi, efisiensi, maupun debit aliran. Data tersebut dapat disajikan dalam bentuk grafik hubungan antar variabel untuk mempermudah interpretasi hasil. Dengan demikian, *post processor* tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi, tetapi juga sebagai sarana evaluasi akhir untuk memastikan bahwa hasil simulasi telah sesuai dengan tujuan penelitian dan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan atau pengembangan desain lebih lanjut.

## 2.6 Metode perhitungan CFD

CFD adalah metode penghitungan dengan memanfaatkan control dimensi luas dan volume, dengan bantuan perangkat komputer dalam menyelesaikan proses penghitungan. Proses penghitungan yang dilakukan oleh perangkat lunak yang digunakan CFD adalah dengan menghitung bagian yang disebut dengan sel yang didapatkan melalui proses *meshing*. Sel-sel tersebut yang akan menjadi kontrol penghitungan perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan proses CFD. Dalam proses perhitungannya, perangkat lunak CFD membagi domain atau geometri yang dianalisis ke dalam bagian-bagian kecil yang disebut sel (*cells*). Proses pembagian ini dikenal sebagai *meshing*. *Mesh* yang terbentuk dapat berupa elemen dua dimensi maupun tiga dimensi, tergantung pada jenis analisis yang dilakukan. Kualitas mesh sangat memengaruhi tingkat akurasi dan kestabilan hasil simulasi, sehingga tahap *meshing* menjadi salah satu langkah krusial dalam simulasi CFD.

Sel-sel hasil proses *meshing* tersebut berfungsi sebagai volume kontrol dalam proses perhitungan numerik. Pada setiap sel inilah perangkat lunak melakukan diskretisasi persamaan dan menghitung parameter-parameter aliran seperti tekanan, kecepatan, serta distribusi energi. Dengan jumlah sel yang memadai dan kualitas *mesh* yang baik, simulasi CFD mampu menghasilkan prediksi performa sistem yang mendekati kondisi nyata, sehingga dapat digunakan sebagai dasar analisis dan pengambilan keputusan dalam perancangan maupun penelitian teknik. Metode ini ada beberapa kriteria yang digunakan untuk menjalankan proses simulasi yaitu:

## 1. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah teknik numerik untuk memecahkan masalah yang dijelaskan oleh persamaan diferensial parsial atau dapat diformulasikan sebagai minimalisasi fungsional. Domain yang diminati direpresentasikan sebagai kumpulan elemen hingga. Fungsi pendekatan dalam elemen hingga ditentukan dalam nilai nodal dari bidang fisik yang dicari. Masalah fisik kontinu diubah menjadi masalah elemen hingga yang terdiskritisasi dengan nilai nodal yang tidak diketahui. Untuk masalah linier, sistem persamaan aljabar linier harus diselesaikan. Nilai di dalam elemen hingga dapat dipulihkan menggunakan nilai nodal.

Dalam penerapannya, domain atau wilayah yang ditinjau tidak dianalisis secara kontinu, melainkan direpresentasikan sebagai kumpulan elemen-elemen kecil yang disebut elemen hingga. Elemen-elemen ini dapat berbentuk segitiga, segiempat, tetrahedron, atau bentuk lainnya tergantung pada jenis analisis dan dimensi permasalahan. Proses pembagian domain menjadi elemen-elemen kecil ini disebut diskretisasi. Dengan adanya diskretisasi, geometri yang kompleks dapat disederhanakan menjadi bagian-bagian kecil yang lebih mudah dihitung secara numerik tanpa menghilangkan karakteristik utama dari sistem.

Fungsi pendekatan dalam setiap elemen hingga dinyatakan berdasarkan nilai nodal, yaitu titik-titik tertentu yang terletak pada sudut atau bagian tertentu dari elemen. Nilai nodal ini merupakan variabel yang belum diketahui dan akan dihitung dalam proses penyelesaian sistem persamaan. Medan fisik yang dicari, seperti perpindahan, temperatur, atau tekanan, diasumsikan berubah secara kontinu di dalam elemen berdasarkan fungsi interpolasi yang ditentukan dari nilai nodal tersebut. Dengan demikian, permasalahan fisik kontinu diubah menjadi permasalahan diskrit yang dinyatakan dalam bentuk sistem persamaan aljabar.

Untuk kasus linier, proses penyelesaian Metode Elemen Hingga menghasilkan sistem persamaan aljabar linier yang dapat diselesaikan menggunakan metode numerik seperti eliminasi *Gauss* atau metode matriks lainnya. Setelah nilai nodal diperoleh, nilai variabel di dalam setiap elemen dapat dihitung kembali melalui fungsi interpolasi yang telah ditetapkan sebelumnya. Dengan pendekatan ini, FEM mampu memberikan solusi yang mendekati kondisi nyata dengan tingkat ketelitian yang dapat ditingkatkan melalui penyempurnaan *mesh* dan pemilihan elemen yang sesuai, sehingga sangat efektif digunakan dalam analisis rekayasa modern. (Zain *et al.*, 2023).

## 2. Metode *spectral*

Metode spektral (*spectral method*) merupakan salah satu teknik numerik yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial, khususnya persamaan diferensial parsial yang banyak dijumpai dalam analisis mekanika fluida, perpindahan panas, dan dinamika gelombang. Metode ini dapat dipandang sebagai pengembangan dari metode *finite difference*, namun memiliki pendekatan yang berbeda dalam merepresentasikan fungsi solusi. Jika metode *finite difference* menggunakan pendekatan berbasis grid titik diskrit, maka metode spektral memanfaatkan representasi fungsi secara global menggunakan kombinasi fungsi basis tertentu.

Berbeda dengan metode elemen hingga yang menggunakan polinomial *piecewise* pada setiap elemen kecil, metode spektral lebih memilih fungsi basis polinomial yang bersifat seragam dan berlaku pada seluruh domain. Fungsi basis yang umum digunakan antara lain polinomial *Chebyshev*, *Legendre*, atau deret *Fourier*, tergantung pada karakteristik domain dan kondisi batas. Dengan menggunakan fungsi basis global, solusi yang diperoleh biasanya memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi, terutama untuk permasalahan dengan solusi yang halus (*smooth solution*).

Prinsip utama metode spektral adalah mengaproksimasi solusi sebagai kombinasi linier dari sejumlah fungsi basis yang telah ditentukan sebelumnya. Koefisien dari fungsi-fungsi basis tersebut kemudian dihitung sehingga memenuhi persamaan diferensial yang dianalisis. Karena menggunakan pendekatan global, metode ini sering kali membutuhkan jumlah titik yang lebih sedikit dibandingkan metode diskretisasi lokal untuk mencapai tingkat ketelitian yang sama. Hal ini menjadikan metode spektral sangat efisien dalam kasus tertentu, khususnya pada domain yang sederhana dan teratur.

Meskipun memiliki keunggulan dalam hal akurasi, metode spektral juga memiliki keterbatasan, terutama dalam menangani geometri yang kompleks atau kondisi batas yang tidak teratur. Oleh karena itu, pemilihan metode numerik harus disesuaikan dengan karakteristik permasalahan yang dihadapi. Secara umum, metode spektral dikenal memiliki tingkat konvergensi yang sangat cepat dibandingkan metode numerik lainnya, sehingga banyak digunakan dalam penelitian komputasi ilmiah yang membutuhkan presisi tinggi, sebagaimana dijelaskan dalam literatur terkait. (Amalia, 2022).

### 3. Metode Volume Hingga

Metode Volume Hingga (*Finite Volume Method / FVM*) merupakan salah satu metode numerik yang banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pemodelan matematika, khususnya yang berkaitan dengan mekanika fluida dan perpindahan panas. Metode ini sangat populer dalam analisis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) karena kemampuannya dalam menjaga prinsip konservasi secara langsung pada setiap bagian domain. Berbeda dengan metode lain yang berbasis pendekatan diferensial, metode volume hingga didasarkan pada bentuk integral dari hukum kekekalan, seperti hukum kekekalan massa, momentum, dan energi.

Prinsip dasar metode volume hingga adalah membagi domain perhitungan menjadi sejumlah volume kontrol atau sel kecil. Setiap sel merepresentasikan sebagian kecil dari domain secara keseluruhan. Pada setiap volume kontrol tersebut dilakukan integrasi persamaan konservasi, sehingga diperoleh hubungan keseimbangan fluks yang masuk dan keluar dari sel. Nilai variabel yang dihitung, seperti tekanan, kecepatan, dan temperatur, direpresentasikan sebagai nilai rata-rata pada masing-masing sel. Dengan pendekatan ini, sifat konservatif dari sistem tetap terjaga secara numerik.

Metode volume hingga dipilih karena memiliki keunggulan dalam menangani geometri yang tidak teratur dan kompleks. Bentuk domain yang tidak beraturan, seperti aliran gas di dalam ruang dengan kontur tertentu atau sistem dengan batas lengkung, dapat didiskritisasi dengan lebih fleksibel menggunakan berbagai jenis *mesh*, baik terstruktur maupun tidak terstruktur. Hal ini membuat metode volume hingga sangat sesuai untuk analisis sistem nyata yang jarang memiliki bentuk geometris sederhana.

Selain itu, karena didasarkan pada hukum kekekalan dalam bentuk integral, metode ini memberikan solusi yang stabil dan secara fisik konsisten, terutama dalam simulasi aliran fluida. Proses diskretisasi yang dilakukan memungkinkan persamaan matematika diubah menjadi sistem persamaan aljabar yang lebih mudah diselesaikan secara numerik. Dengan demikian, solusi yang diperoleh cenderung mendekati nilai sebenarnya dan dapat merepresentasikan kondisi fisik secara akurat, sebagaimana dijelaskan dalam penelitian sebelumnya (Masyhudi et al., 2018).

## 2.7 ANSYS

Dunia rekayasa dan keteknikan, umumnya menggunakan piranti lunak untuk membantu dalam menyelesaikan permasalahan dalam suatu pekerjaan yang telah ditentukan. Salah satu perangkat lunak yang biasa digunakan dalam

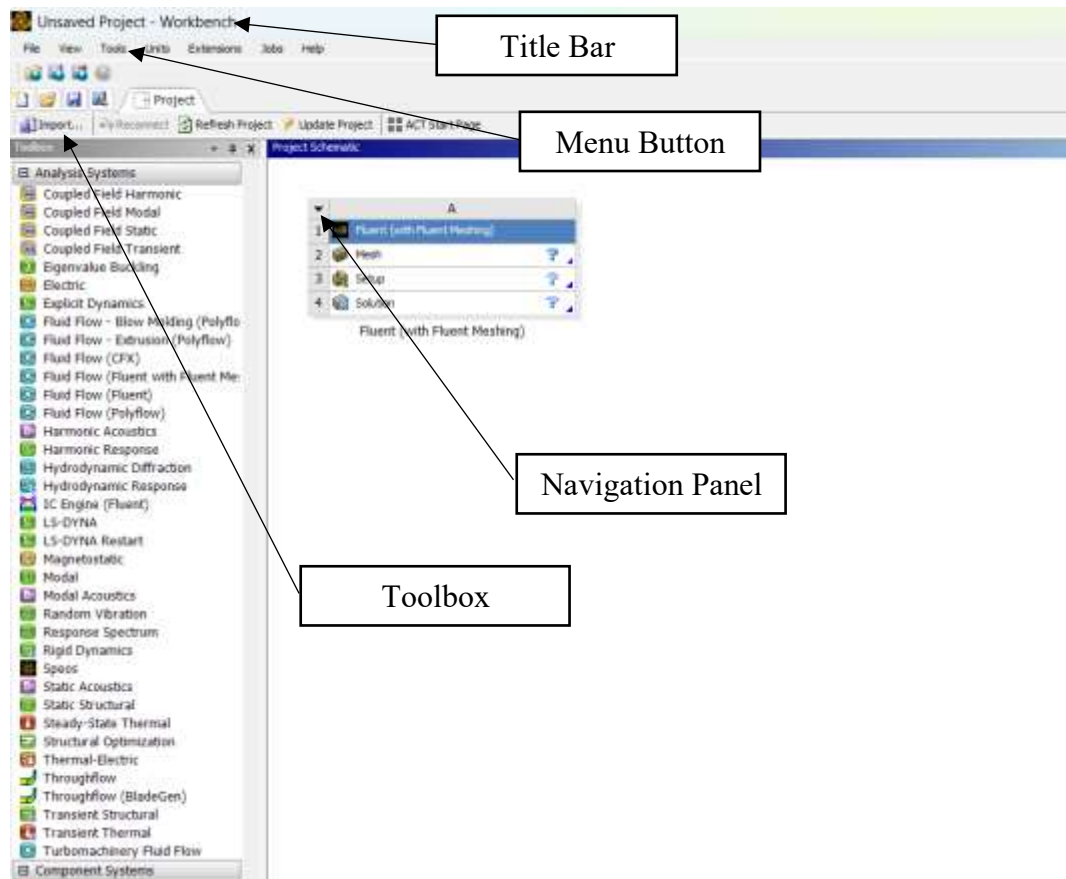
bidang desain dan analisis adalah *ANSYS* yang hingga saat ini sudah diterbitkan mencapai versi 21.

*ANSYS* dirancang untuk mendukung berbagai jenis analisis rekayasa berbasis metode numerik, seperti analisis struktur menggunakan metode elemen hingga, analisis termal untuk perpindahan panas, analisis fluida atau *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan metode volume hingga, serta analisis elektromagnetik. Dengan cakupan kemampuan tersebut, *ANSYS* mampu digunakan untuk menyelesaikan berbagai kasus keteknikan, mulai dari perancangan komponen mesin, analisis kekuatan material, simulasi aliran fluida pada turbin, hingga optimasi desain produk industri. Integrasi antarmuka yang sistematis—mulai dari tahap *pre-processor*, *solver*, hingga *post-processor*—membuat proses simulasi dapat dilakukan secara terstruktur dalam satu lingkungan kerja.

Selain digunakan di industri, *ANSYS* juga banyak dimanfaatkan dalam bidang pendidikan dan penelitian. Perusahaan pengembangnya menyediakan versi khusus mahasiswa (*student version*) yang dapat diakses secara bebas melalui situs resmi mereka. Hal ini menunjukkan perhatian *ANSYS Inc.* terhadap pengembangan sumber daya manusia di bidang teknik, sehingga mahasiswa dapat mempelajari simulasi numerik sejak dini tanpa harus menggunakan lisensi komersial penuh. Dengan adanya versi edukasi ini, proses pembelajaran analisis numerik, seperti simulasi struktur maupun CFD, menjadi lebih mudah diakses.

*ANSYS* merupakan produk yang berkesinambungan produksi dari perusahaan *ANSYS Inc.*'s. *ANSYS Inc.*'s juga memperhatikan bidang pendidikan sehingga dalam produk *ansys* yang dikeluarkan terdapat *student version* yang dapat diakses secara bebas melalui website resmi *ANSYS Inc.*'s. Secara umum, analisa yang bisa dilakukan oleh *ANSYS* adalah analisa struktur, termal, fluida/CFD, dan *electromagnetic's* serta berbagai kasus keteknikan lainnya. Penyelesaian kasus dalam *Ansyes* hanya dapat dikerjakan apabila pilihan

solusi yang digunakan tepat, sehingga perlu pengenalan terlebih dahulu terhadap perangkat lunak yang akan digunakan (ANSYS Inc., 2021).



**Gambar 9.** Tampilan *ansys workbench* 2021 R2

Pada gambar 9. terdapat beberapa bagian yang mempunyai fungsi masing-masing yang akan dijelaskan sebagai berikut:

### 1. Title Bar

Title bar berfungsi untuk memberikan informasi judul dari pekerjaan yang sedang berjalan.

### 2. Menu *Ribbon*

Menu yang berisi menu-menu *file, View, Tools, Extensions, Jobs, Help*.

### 3. *Toolbox*

Menu yang berisi sebagai *analysis system, component system, costum system, design Exploration, ACT system* solusi yang sesuai untuk menyelesaikan kasus yang akan dipecahkan.

#### 4. *Navigation Panel*

Menu ini berisi tahap-tahap dari pekerjaan yang akan dilaksanakan. Pada menu ini terdapat beberapa menu yaitu *Geometry, Mesh, Setup, Solution*, serta *Results*. Semua menu pada navigation panel ini harus dikerjakan guna mendapat solusi dari simulasi yang dijalankan.

### 2.8 Persamaan umum dalam CFD

Dalam pemodelan *Computational Fluid Dynamics* (CFD), persamaan kekekalan massa atau yang sering disebut sebagai persamaan kontinuitas memiliki peran yang sangat penting. Persamaan ini digunakan untuk memastikan bahwa massa fluida tidak hilang maupun bertambah secara tidak logis selama proses simulasi berlangsung. Dalam proses simulasi CFD, persamaan ini merupakan salah satu dari sistem persamaan konservasi yang diselesaikan secara numerik bersama dengan persamaan kekekalan momentum dan energi. Selain itu, persamaan kontinuitas juga menjadi acuan dalam pemantauan konvergensi simulasi melalui nilai residual. Jika nilai residual dari persamaan ini masih tinggi, maka solusi dianggap belum stabil dan belum memenuhi keseimbangan massa. Oleh karena itu, persamaan kekekalan massa tidak hanya penting secara fisik, tetapi juga krusial dalam menjamin suatu keakuratan hasil simulasi CFD. *Computational Fluid Dynamic* (CFD) adalah cara penyelesaian persamaan fundamental dari dinamika kontinuitas, masalah fluida berdasarkan pada diantaranya momentum dan persamaan energi. Konsep dasar penggunaan *Computational Fluid Dynamic* adalah persamaan Navier - Stokes dengan prinsip (Imron et al., 2011) :

#### 1. Kekekalan Massa

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

Persamaan momentum dikembangkan dari persamaan Navier-Stokes dalam bentuk sesuai dengan metode finite volume. Keseimbangan massa pada suatu elemen fluida dapat dituliskan sebagai berikut: “Laju

pertambahan massa pada elemen fluida sama dengan netto laju aliran massa ke dalam elemen fluida tersebut”.

## 2. Kekekalan Momentum

Momentum x :

$$\rho \left[ u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right] = \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] + S_{MX} \dots (2)$$

Momentum y :

$$\rho \left[ u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right] = \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] + S_{MY} \dots (3)$$

Momentum z :

$$\rho \left[ u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right] = \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] + S_{MZ} \dots (4)$$

dimana  $\mu$  adalah viskositas dinamik fluida (kg/m det) dan  $S_{MX}$ ,  $S_{MY}$  dan  $S_{MZ}$  adalah momentum yang berasal dari  $S_{MX}$ ,  $S_{MY}$  dan  $S_{MZ}$  body per unit volume per unit waktu, masing-masing untuk koordinat x, y dan z.

## 3. Kekekalan Energi

$$\rho \left[ u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right] = \rho \left[ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] + k \left[ u \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + v \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + w \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \dots (5)$$

$\rho$  adalah tekanan fluida (Pa),  $k$  adalah konduktivitas termal fluida (W/m°C) dan  $S_i$  adalah energi yang ditambahkan per unit volume per unit waktu. Dengan menggunakan persamaan-persamaan di atas, kondisi batas yang dijadikan *input* diolah dan dikembangkan menjadi suatu model dengan menggunakan *software Fluent* sehingga diperoleh suatu output.

### 2.9 Model Turbulensi Pada CFD

Dalam simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD), model turbulensi berperan penting dalam memprediksi perilaku aliran fluida yang bersifat tidak teratur atau acak. Turbulensi merupakan fenomena kompleks yang ditandai dengan adanya fluktuasi kecepatan dan tekanan pada berbagai skala waktu serta ruang. Karena penyelesaian langsung terhadap semua skala turbulensi membutuhkan sumber daya komputasi yang sangat besar, maka digunakan model turbulensi untuk menyederhanakan perhitungan tanpa mengurangi

akurasi hasil secara signifikan. Model turbulensi membantu memperkirakan pengaruh dari gerakan fluida yang tidak terukur secara langsung, sehingga simulasi dapat dilakukan lebih efisien dan realistis.

Beragam pendekatan telah dikembangkan untuk merepresentasikan turbulensi, di antaranya *Direct Numerical Simulation* (DNS), *Large Eddy Simulation* (LES), dan *Reynolds Averaged Navier-Stokes* (RANS). Dari ketiga pendekatan tersebut, metode RANS merupakan yang paling umum diterapkan karena menawarkan keseimbangan antara akurasi dan efisiensi komputasi. RANS menghitung nilai rata-rata dari fluktuasi aliran turbulen dan menggunakan persamaan tambahan untuk menutup sistem persamaan Navier-Stokes. Beberapa model turunan RANS yang banyak digunakan antara lain *k-epsilon* ( $k-\epsilon$ ), *k-omega* ( $k-\omega$ ), dan *k-omega SST* (*Shear Stress Transport*), di mana masing-masing memiliki karakteristik serta tingkat ketelitian yang berbeda sesuai dengan kondisi aliran dan aplikasi yang dianalisis.

### 1. Model k-Epsilon ( $k-\epsilon$ )

Model k-epsilon ( $k-\epsilon$ ) merupakan salah satu model turbulensi dua persamaan (*two-equation model*) yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi teknik. Model ini menggunakan dua variabel transport, yaitu energi kinetik turbulen ( $k$ ) dan laju disipasi energi turbulen ( $\epsilon$ ). Variabel  $k$  menggambarkan intensitas energi yang terkandung dalam fluktuasi turbulen, sedangkan  $\epsilon$  menunjukkan laju peredaman energi tersebut akibat efek viskositas fluida. Pendekatan ini memungkinkan simulasi turbulen dilakukan dengan komputasi yang relatif ringan namun tetap memberikan hasil yang cukup akurat.

Model  $k-\epsilon$  standar bekerja dengan asumsi bahwa turbulensi bersifat isotropik, artinya karakteristik turbulen dianggap sama ke segala arah. Model ini sangat baik digunakan pada aliran yang sudah berkembang penuh (*fully developed turbulent flow*) seperti pada saluran tertutup, pipa, atau sistem perpindahan panas. Keunggulan utamanya terletak pada

stabilitas perhitungan dan kemudahan konvergensi. Namun demikian, model ini memiliki keterbatasan dalam menangani aliran dengan gradien tekanan tinggi, daerah separasi (*flow separation*), dan wilayah dekat dinding (*near-wall region*). Untuk meningkatkan akurasi, dikembangkan beberapa varian seperti RNG  $k-\epsilon$  dan Realizable  $k-\epsilon$  yang lebih mampu menyesuaikan dengan kondisi aliran kompleks.

## 2. Model $k-\Omega$ ( $k-\omega$ )

Model  $k-\omega$  ( $k-\omega$ ) merupakan kategori *two-equation model*, namun berbeda dari  $k-\epsilon$  karena menggunakan variabel kedua berupa laju dispersi spesifik ( $\omega$ ), yaitu rasio antara laju disipasi energi turbulen terhadap energi kinetik turbulen ( $\omega = \epsilon/k$ ). Dengan pendekatan ini, model  $k-\omega$  mampu memberikan hasil yang lebih akurat di daerah dekat dinding karena sensitivitasnya terhadap gradien kecepatan dan efek viskositas.

Kelebihan utama model ini adalah kemampuannya dalam memprediksi lapisan batas viskos (*boundary layer*), separasi aliran, serta gradien tekanan yang tinggi dengan lebih baik dibandingkan model  $k-\epsilon$ . Hal ini menjadikannya cocok untuk digunakan pada aliran internal maupun eksternal yang kompleks. Namun, model  $k-\omega$  cukup sensitif terhadap kondisi batas di daerah aliran bebas (*free stream*), sehingga penentuan nilai awal  $\omega$  harus dilakukan secara hati-hati agar hasil simulasi tetap stabil.

## 3. Model $k-\Omega$ SST (*Shear Stress Transport*)

Model  $k-\omega$  SST (*Shear Stress Transport*) dikembangkan sebagai bentuk kombinasi antara keunggulan model  $k-\epsilon$  dan  $k-\omega$ . Model ini menggunakan formulasi  $k-\omega$  di dekat dinding untuk menghasilkan prediksi yang akurat pada lapisan batas viskos, dan bertransisi secara halus ke formulasi  $k-\epsilon$  pada daerah aliran bebas untuk meningkatkan stabilitas numerik. Pendekatan ini memungkinkan model SST memberikan hasil yang konsisten pada berbagai kondisi aliran, terutama pada kasus yang

melibatkan gradien tekanan tinggi, separasi aliran, dan interaksi antara fluida dan permukaan padat.

Selain itu, model ini dilengkapi dengan pembatas tegangan geser (*shear stress limiter*) yang berfungsi membatasi produksi energi kinetik turbulen agar tidak berlebih, terutama di daerah dengan pusaran kuat atau *recirculation zone*. Dengan karakteristik tersebut, model k- $\omega$  SST sering dipilih sebagai model default dalam simulasi aliran turbulen di bidang teknik, karena mampu memberikan keseimbangan antara akurasi prediksi dan efisiensi komputasi. Model ini banyak diterapkan dalam analisis aliran fluida di saluran, pipa, sistem pendingin, maupun desain komponen fluida dinamis seperti turbin dan *diffuser*.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.

#### 3.2 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan–tahapan yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut:

##### 3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur pada penelitian ini dilaksanakan dengan mengumpulkan data turbin vortex seperti dimensi tangki sirkulasi, dimensi saluran, dan dimensi turbin.

##### 3.2.2 Penyiapan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berupa laptop dan perangkat lunak *software Autodesk Inventor 2024* dan *ANSYS Fluent R2 2021* dengan spesifikasi:

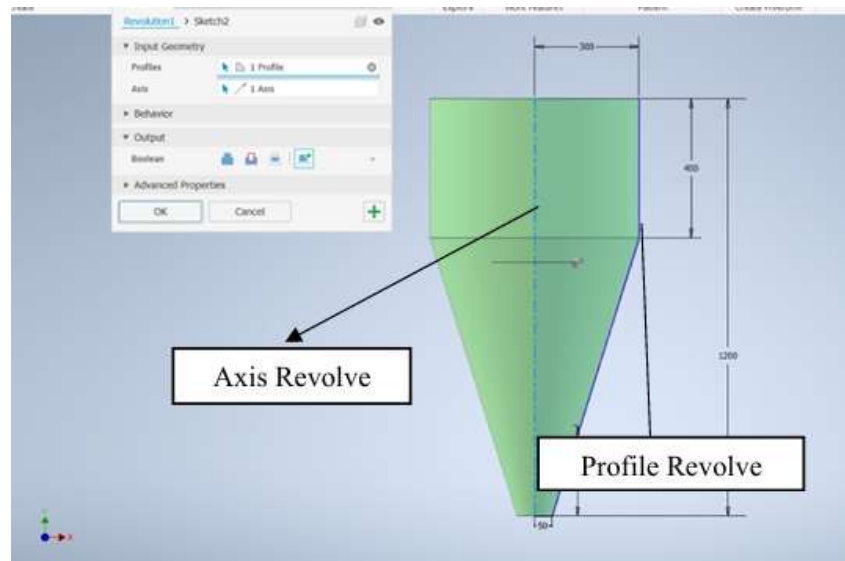
- a. *Hardware* yang dibutuhkan untuk spesifikasi
  - a) CORE i5 13420H
  - b) RAM 16 GB
  - c) Intel UHD Graphics (13th Gen)
- b. Perangkat Lunak
  - a) ANSYS R2 2021
  - b) *Autodesk Inventor 2024*
  - c) Y+ Calculator

##### 3.2.3 Pembuatan Tangki Sirkulasi dan turbin

Desain tangki sirkulasi dengan *inlet guide* digunakan sesuai dengan rekomendasi Wanchat *et.al* (2013) serta jurnal penelitian Abdullah *et.al* (2022). karena berpengaruh *connical* basin dengan berbentuk kerucut lebih tinggi effisiensinya dibanding dengan *coonnical* basin berbentuk

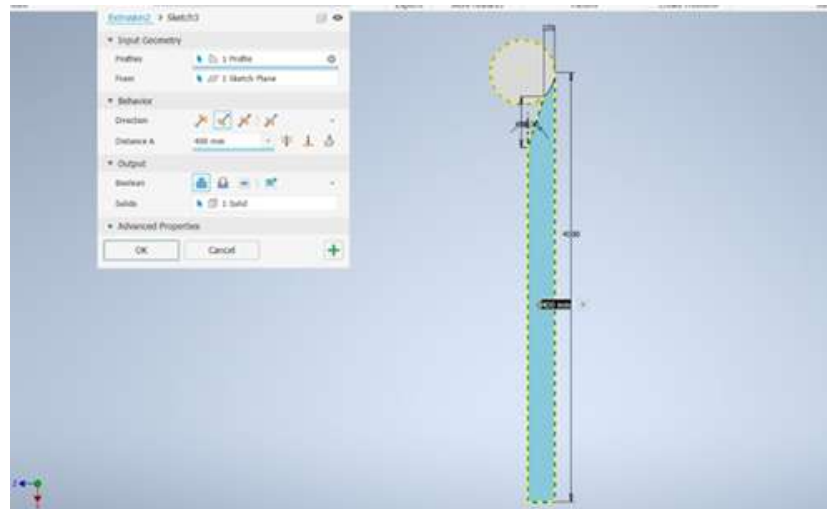
silinder. Model Desain *Connical Basin* menggunakan *software Autodesk inventor* dengan dimensi *conical* diameter 60 cm, tinggi conical 80 cm, lebar *inlet* sebesar 10 cm, *inlet notch* 18° Panjang *canal* adalah 4 m lebar dan tinggi Tangki adalah 90 dan 130 cm. Adpaun proses pembuatan geometri connical basin dan canal yaitu:

1. Membuat *desain conical* pada pemodelan simulasi unjuk kerja turbin *vortex* dapat di lihat pada Gambar 10. Desain basin memiliki panjang ke arah sumbu Y 1200 mm. Kemudian, jari-jari atas 300 mm dan jari jari keluaran bawah 50 mm. Kemudian menggunakan fitur *revolve* dengan *axis* adalah garis bantu yang telah di gambar dan profile yang akan di *revolve*.



**Gambar 10.** Geometri *connical basin* dan fitur *revolve*

2. Kemudian membuat kanal pada turbin *vortex* yang akan disimulasikan yang di *extrude* ke arah bawah sepanjang 4000 mm dapat di lihat pada Gambar 11.

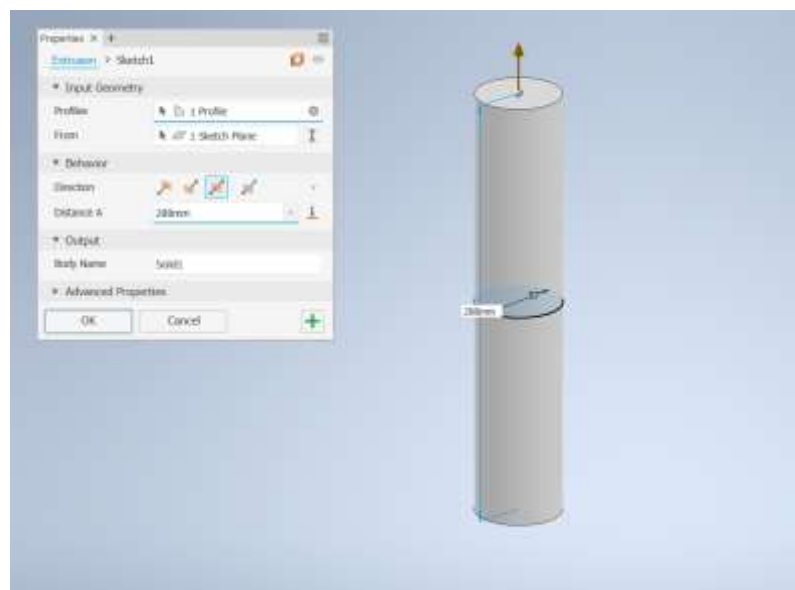


**Gambar 11.** Geometri canal turbin *vortex*

Untuk spesifikasi turbin yang digunakan adalah tinggi 288 mm dan diameter total 285mm jumlah sudu 6 buah, jari jari kelengkungan sudu dengan radius 110 mm dan sudut  $\alpha$   $17^\circ$ .

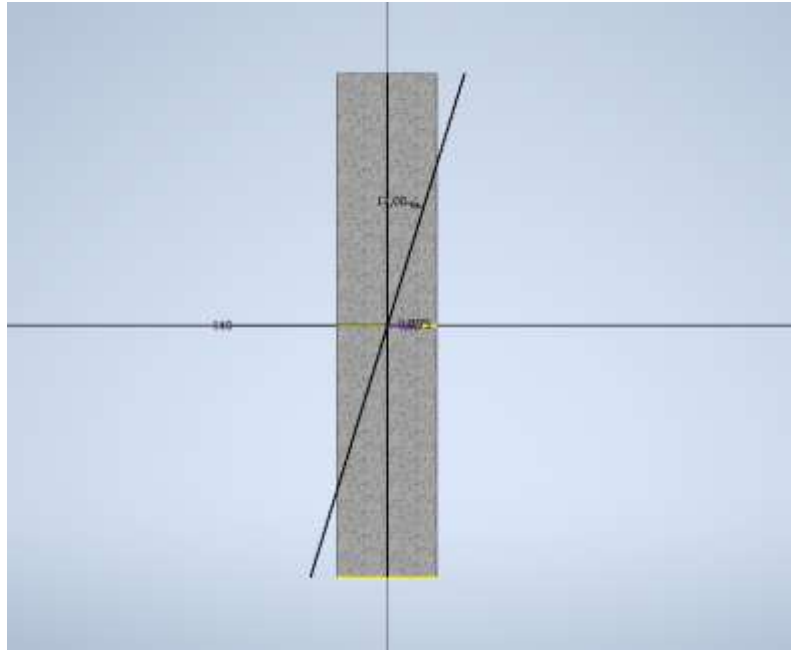
Adapun proses pembuatan turbin pusaran air (*vortex*) yang akan disimulasikan adalah sebagai berikut :

1. Membuat dimensi poros dengan diameter 57mm dan menggunakan *circle* dan *extrude* dengan *symmetric* sepanjang 288 mm pada fitur *Autodesk Inventor* dapat di lihat pada Gambar 12.



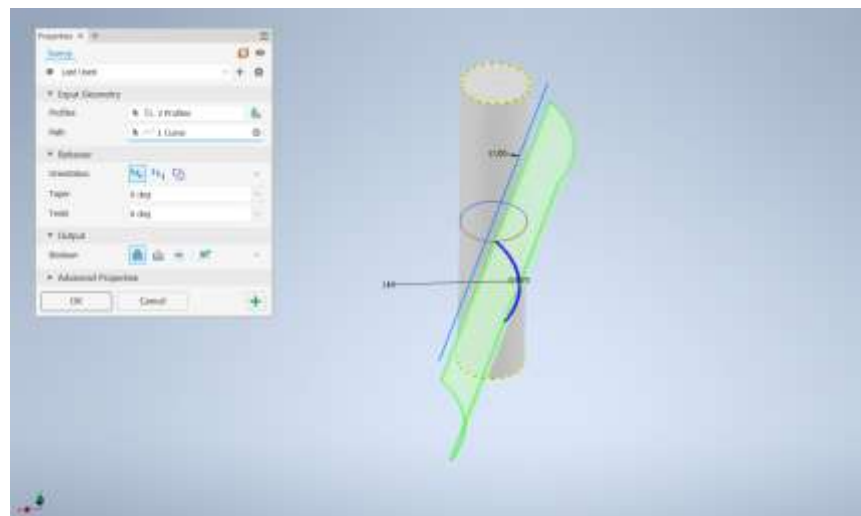
**Gambar 12.** Geometri poros turbin

2. Kemudian, membuat kemiringan sudu turbin dengan dengan ketebalan 1.5 mm dengan derajat kemiringan adalah 17 derajat dapat di lihat pada Gambar 13.



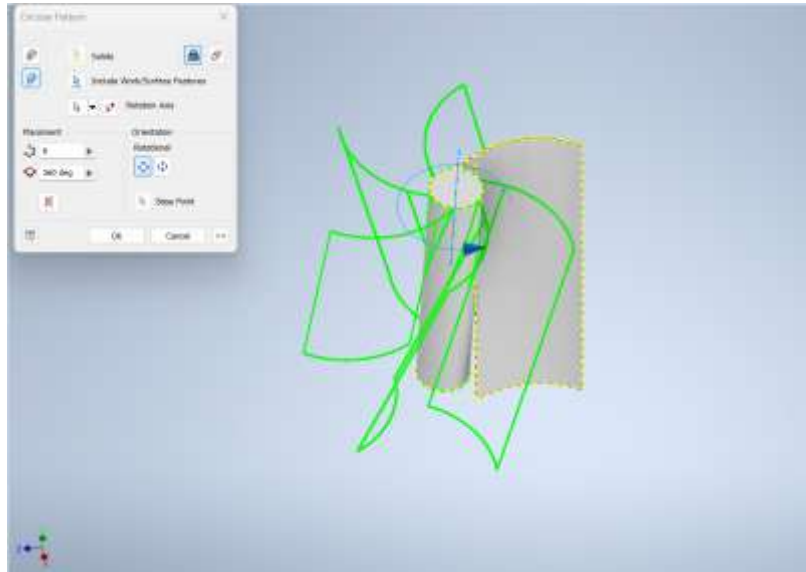
**Gambar 13.** Desain ketebalan dan kemiringan turbin

3. Selanjutnya lakukan *sweep profile* pada bagian tengah Hub turbin dan *curved* maka *autodesk inventor* akan menampilkan bentuk *profile curve* dapat di lihat pada Gambar 14.



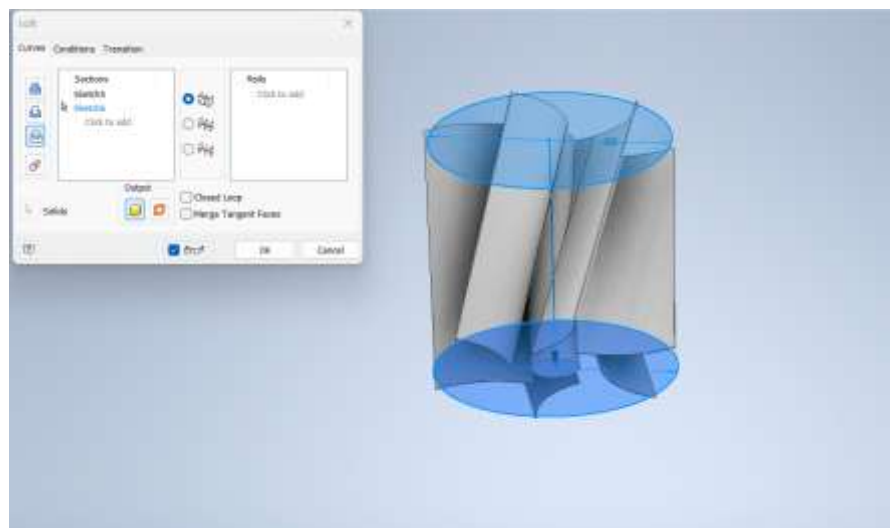
**Gambar 14.** Sweep sudu turbin dengan *curve profile*

4. Setelah satu sudu turbin jadi kemudian lakukan *circular pattern* sudu yang sudah di desain dengan *number pattern* berjumlah enam buah dapat di lihat pada Gambar 15.



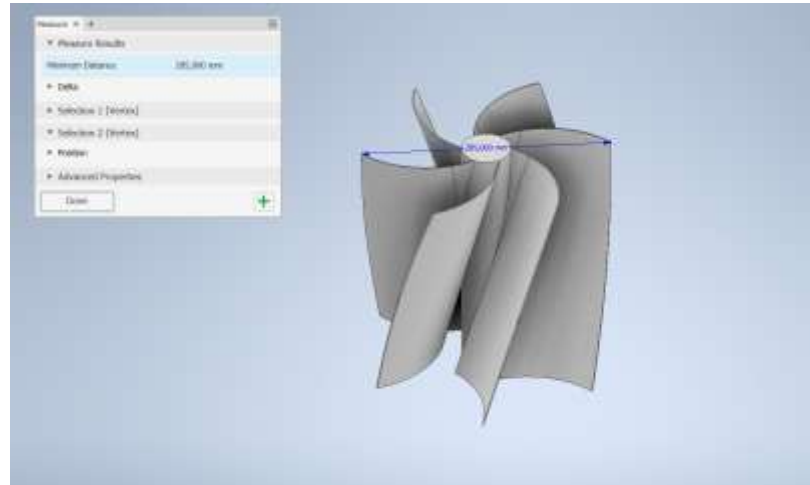
**Gambar 15.** *Circular pattern* untuk desain jumlah sudu.

5. Setelah melakukan *circular pattern* kemudian langkah selanjutnya adalah menentukan diameter atas dan juga menentukan diameter bawah karena bentuk turbin berbentuk silinder Untuk diameter atas adalah 285 mm dan diameter bawah 285 mm dengan menggunakan fitur *loft intersect* agar turbin sepenuhnya berdiameter total 285 mm dapat di lihat pada Gambar 16.



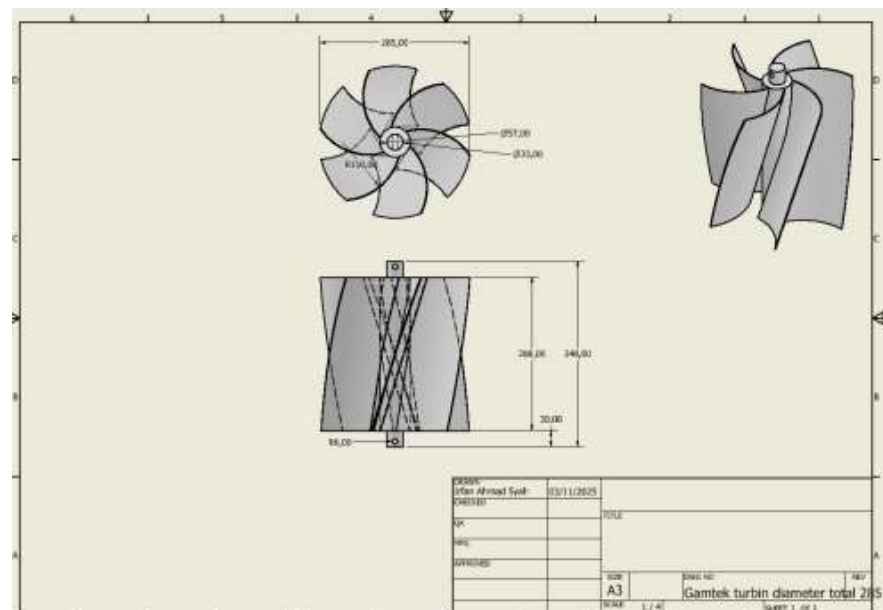
**Gambar 16.** Fitur *loft intersect* pada turbin vortex

6. Dengan menggunakan fitur *measure* kita bisa melihat bahwa diameter total pada turbin *vortex* sudah benar dan dapat di lihat pada Gambar 17. Setelah, itu maka turbin akan disimulasikan dengan menggunakan *Ansys 2021 R2*.



**Gambar 17.** Turbin yang akan disimulasikan.

7. Membuat gambar teknik untuk melihat detail gambar yang sudah selesai di *sketch* pada *Autodesk Inventor* dapat di lihat pada Gambar 18.



**Gambar 18.** Gambar teknik turbin pusaran air (*vortex*)

### 3.2.4 Alur Simulasi

permodelan simulasi menggunakan *software ansys fluent* lalu melakukan *meshing* untuk menentukan kondisi batas dan melakukan perhitungan untuk distribusi kecepatan di tangki, sudu pengarah dan saluran, setelah itu hasil akan dilihat dari kontur kecepatan dan daya efisiensi turbin yang diperoleh. Simulasi ini dilaksanakan dengan program *Computational Fluid Dynamic (CFD)* dengan menggunakan perangkat lunak *ANSYS Fluent 2021 R2*. Tahapan dalam proses simulasi ini terbagi menjadi 3, yaitu *Pre-Processor*, *Solver*, dan *Post-Processor*.

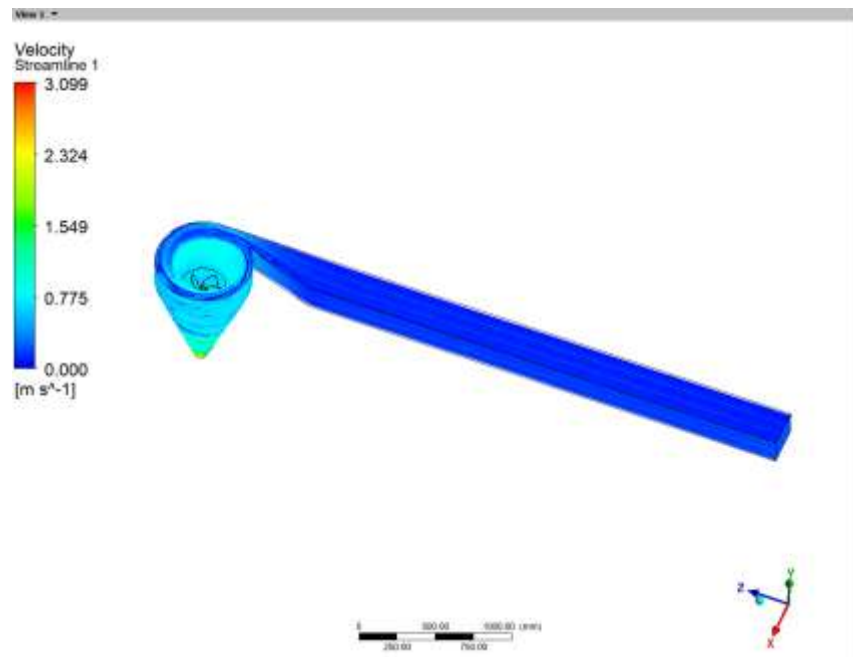
#### a. *Pre-Processing*

Tahap ini terbagi menjadi dua bagian secara umum yaitu mendesain geometri reaktor dan biomassa, kemudian melakukan proses pembagian elemen dari geometri menjadi bagian-bagian kecil atau sering disebut dengan *meshing*.

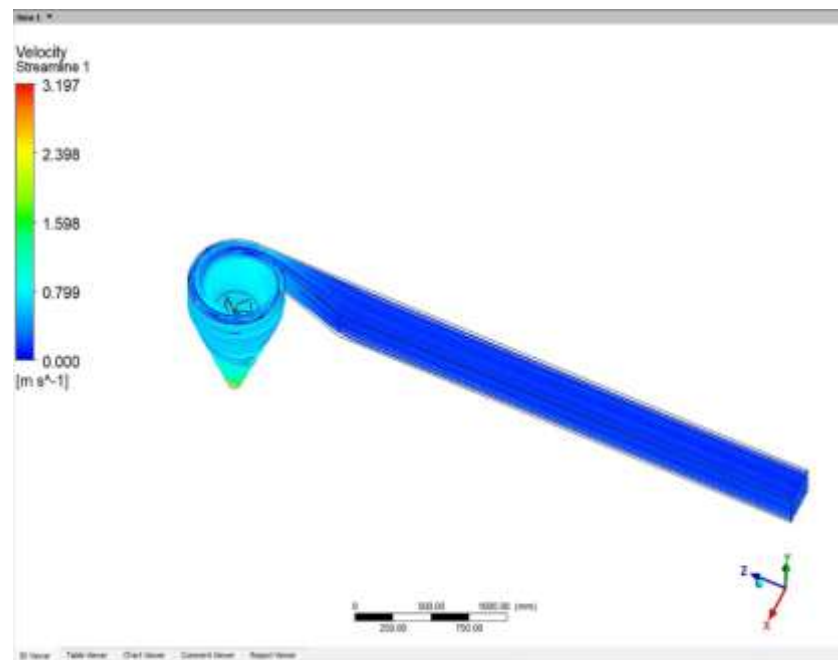
#### 1. Proses *Import Geometri*

Proses desain geometri ini menggunakan dimensi yang telah ditentukan yaitu variasi tinggi turbin sebesar 288 mm dengan jumlah 6 sudu, Diameter conical basin adalah 60 cm tinggi 100 cm, panjang saluran 4 m dan lebar inlet sebesar 10 cm, setelah dibuat geometri selanjutnya lakukan *import* ke *ansys modeler* untuk dapat ditentukan parameter-parameter material, kondisi batas dan perhitungan oleh komputer.

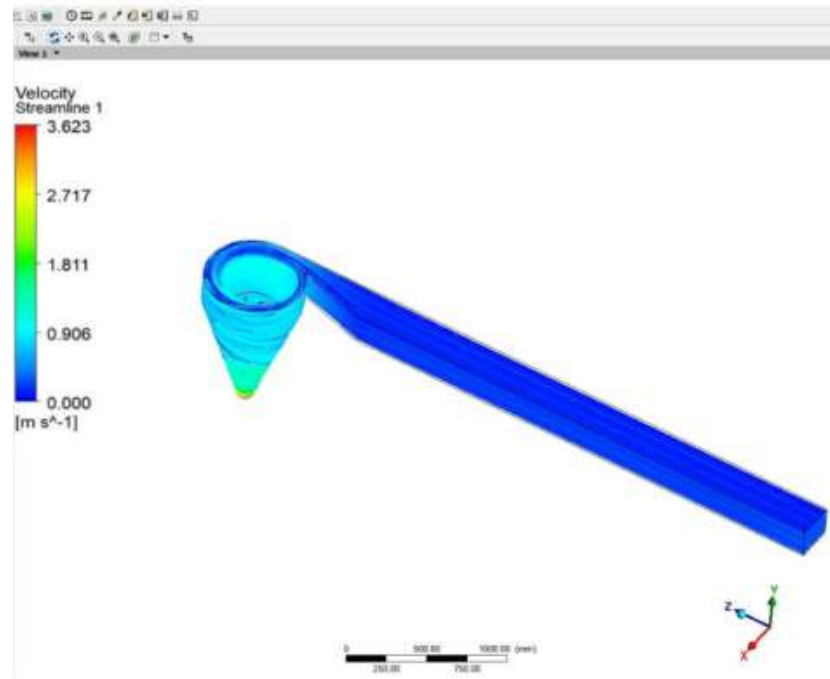
Selanjutnya sebelum geometri di simulasi diperlukan pengambilan data di laboratorium mekanika fluida terlebih dahulu untuk kondisi batas pada simulasi yang dilakukan untuk variasi 3 debit kecepatan aliran.. Hasil dibawah ini akan dilakukan simulasi untuk mengetahui unjuk kerja turbin pusaran air (*vortex*). Nilai kecepatan fluida didapat dari simulasi tanpa menggunakan *domain fluid* untuk melihat distribusi kecepatan pada tangki sirkulasi.



**Gambar 19.** Hasil *streamline* debit air 10,61 L/s



**Gambar 20.** Hasil *streamline* debit air 10,62 L/s



**Gambar 21.** Hasil *streamline* debit air 10,66 L/s

Berdasarkan dari streamline dapat di lihat pada Gambar 19. Gambar 20. dan Gambar 21. pada simulasi tersebut kita memasukkan data kecepatan fluida pada tangki sirkulasi untuk menentukan nilai *Reynold Number* pada tangki sirkulasi, penentuan nilai *Reynold* ini bertujuan untuk menentukan permodelan turbulensi pada proses setup nanti untuk mengaktifkan persamaan yang kita gunakan. Kemudian untuk mencari nilai *Reynold Number* dari tiap aliran kita harus mencari Diameter Hidraulik dari tiap aliran dengan data dapat di lihat pada Tabel 1.

$$Dh = \frac{2*a*b}{a+b} \dots\dots\dots(6)$$

**Keterangan:**

- Dh = Diameter Hidrolik
- a = Tinggi Permukaan (m)
- b = Lebar Penampang (m)

**Tabel 1.** Tabel Diameter Hidraulik

Debit (L/s)	Tinggi Permukaan (mm)	Lebar Penampang (mm)	Diameter Hidraulik (m)
10.61	0,20	0,25	0,2222
10.62	0,22	0,25	0,2340
10,66	0,24	0,25	0,2449

Kemudian untuk rumus bilangan Reynold Number dan data bilangan reynold number dapat dilihat pada Tabel 2.

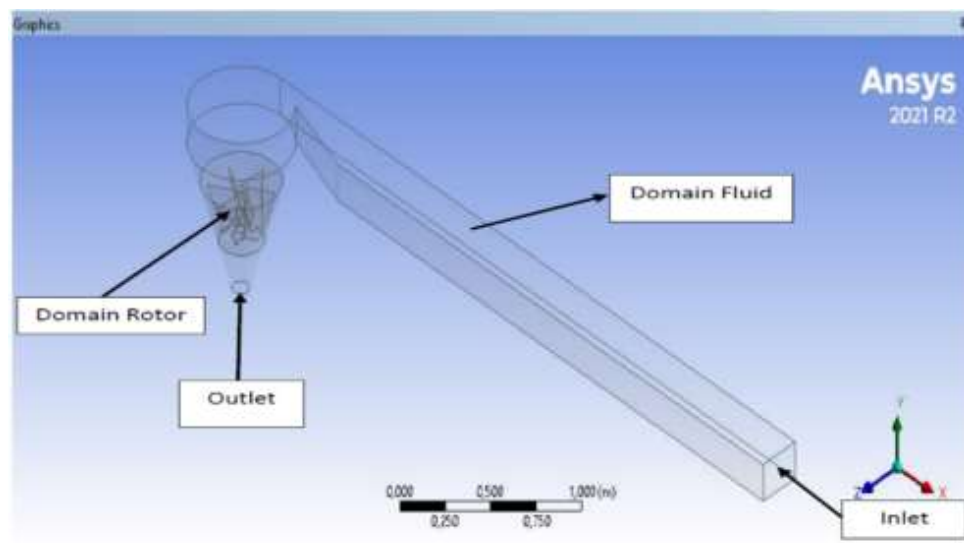
$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot Dh}{\mu} \dots \dots \dots (7)$$

**Keterangan:**

- Re = Reynold Number  
 ρ = Massa jenis air (1000 kg/m<sup>3</sup>)  
 Dh = Diameter Hidraulik  
 μ = Koefisien Gesek (0,00089 Pa.s)

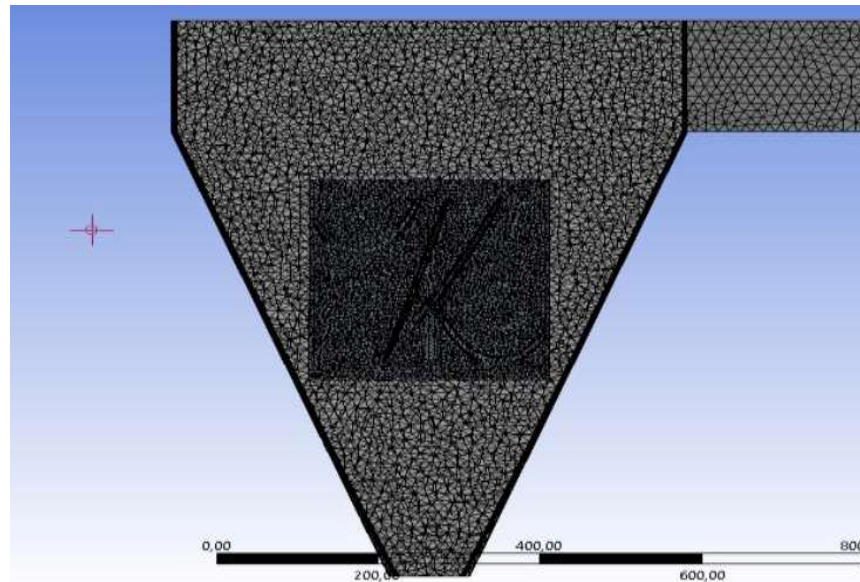
**Tabel 2.** Tabel Bilangan Reynold Number Pada Tiap Aliran

Debit (L/s)	Tinggi Aliran (cm)	Re Number
10,61	20	59865
10,62	22	60299
10,66	24	48962

**Gambar 22.** Boundary condition pada turbin pusaran air (Vortex)

## 2. Meshing

Geometri solid dan *fluid* yang telah terbentuk kemudian akan dilakukan proses *meshing* dapat di lihat pada Gambar 23. Dibawah menu geometri terdapat menu *mesh* lalu pilih menu *mesh* tersebut untuk melakukan proses *meshing*. Pada proses *meshing*, kualitas ukuran *mesh* mempengaruhi baiknya ketelitian analisa simulasi distribusi kecepatan, tekanan, torsi yang akan tampak pada hasil akhir.



**Gambar 23.** Proses *meshing* pada *connical basin*

Pada menu *mesh*, geometri juga harus diberi nama pada bagian-bagian yang akan dimasukan kondisi batas. Simulasi ini memberikan beberapa nama pada sisi geometri seperti *top surface*, *fluid domain*, *wall turbin*, *wall*, *interface stationary*, *interface rotation domain*, *inlet* dan *outlet*. Dalam proses pemilihan metode *meshing*, terdapat beberapa opsi seperti *Sweep*, *Multizone*, *Cartesian Mesh*, *Polyhedrons*, *Tetrahedrons*, dan *Poly-Hexcore*. Setiap metode memiliki tingkat otomatisasi, kemudahan, serta kecocokan terhadap bentuk geometri yang berbeda-beda. Pada penelitian ini dipilih mesh *Tetrahedrons*, karena metode ini bersifat *full otomatis* dan termasuk yang mudah digunakan dengan tingkat error yang rendah. Dibandingkan jenis mesh yang lainnya yang cenderung

sulit dan sering mengalami *error*, *Tetrahedrons* jauh lebih efisien untuk geometri kompleks tanpa memerlukan kontrol mesh yang rumit.

Dalam proses meshing, diperlukan perhatian khusus pada daerah yang memiliki gradien tinggi seperti dekat dinding (*boundary layer*) atau sekitar sudu turbin dan sudu impeller, sehingga perlu dibuat *mesh* yang lebih halus atau menerapkan *inflation layer* untuk menangkap fenomena viskositas dengan baik. Selain itu, kualitas mesh juga dinilai dari parameter seperti *skewness*, *orthogonality*, dan *aspect ratio*, di mana nilai yang buruk dapat menyebabkan kesalahan perhitungan atau konvergensi yang lambat.

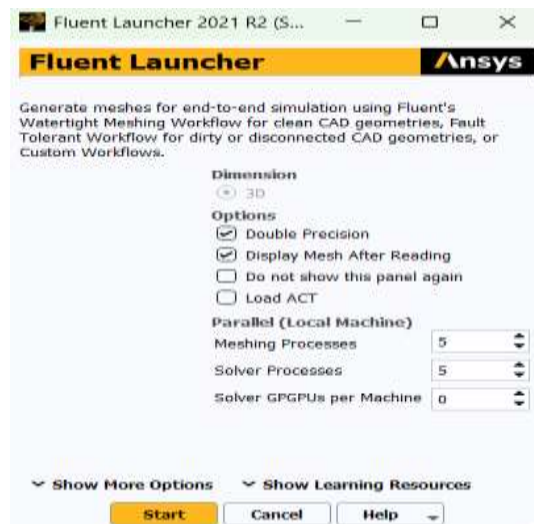
Oleh karena itu, pemilihan metode *meshing* yang tepat dan pengecekan kualitas *mesh* secara menyeluruh sebelum melakukan simulasi menjadi hal yang sangat penting dalam memastikan akurasi dan stabilitas hasil CFD. *Sizing* pada domain turbin yang digunakan menggunakan *face sizing* dan *body sizing*. Untuk *face sizing* menggunakan target *mesh size* 0,005 m dengan target yang di *sizing* adalah *Wall\_Turbine* dan *body sizing* dengan target *mesh size* yaitu 0,02 m dengan target yang di *sizing* adalah domain turbin. Bentuk *meshing* yang digunakan adalah *Tetrahedrons* dengan Maximum size 0,06 m dan Minimum size yang digunakan adalah 0,003 m dan mencapai target orthogonal yang diinginkan. Kemudian menambahkan *layer* pada *wall canal*, *wall conical* basin dan juga *wall* pada turbin vortex agar perhitungan dapat lebih akurat untuk simulasi. kemudian untuk parameter mesh dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Parameter mesh

No	Jenis Mesh	Target/Ukuran Mesh	Lokasi penempatan	Keterangan
1	<i>Face Sizing</i>	0,005 m	<i>Wall_Turbin</i>	Ukuran mesh halus pada permukaan

				turbin
2	<i>Body Sizing</i>	0,02 m	<i>Domain_Turbin</i>	Ukuran mesh pada volume fluida
3	<i>Tetrahedrons</i>	Max : 0,06 m Min : 0,003 m	<i>All Domain</i>	Full otomatis, dan jarang error
4	<i>Inflation Layer</i>	-	<i>Wall Canal, Wall Connical, Wall Turbine</i>	Menangkap efek viskositas di boundary layer

### 3. Solver



**Gambar 24.** Tampilan *fluent launcher*

Tahap *Solver* atau tahap *processing* merupakan tahapan yang penting dalam simulasi suatu kasus. Pada tahap ini proses pemberian kondisi batas diberikan. Kondisi batas terdiri dari parameter-parameter yang sesuai dengan alat yang akan disimulasikan dan kondisi material yang akan digunakan. Pada tahap Solver terdiri dari beberapa menu seperti *General, Models, Material, Cell Zone Condition, Boundary Condition, Mesh Interface, Initialization, Calculation Activities, dan Run Calculation*.

### a) Menentukan solver

Fluida yang digunakan dalam simulasi adalah air dengan sifat-sifat sebagai berikut :

1. Kerapatan (densitas) konstan,  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ .
2. Viskositas,  $\mu = 0.001003 \text{ Pa.s}$  Aliran yang digunakan dalam penelitian ini adalah aliran turbulen, karena mengacu pada aliran air yang berputar dan tidak dapat diprediksi. Dari asumsi fluida yang digunakan adalah dengan massa jenis dan densitas tetap sehingga jenis alirannya isothermal dan inkompresibel. Kondisi batas diatur pada setiap sisi rumah turbin. Untuk memperjelas letak kondisi batas pada penelitian ini selengkapnya ditampilkan pada Tabel 4.

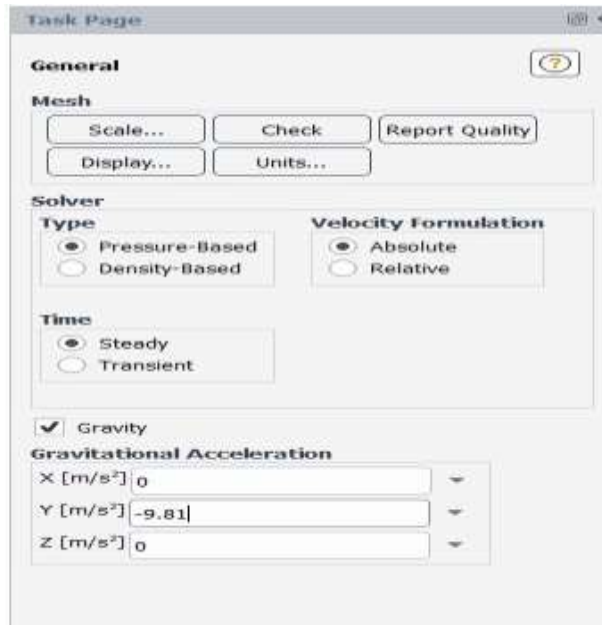
**Tabel 4.** Kondisi batas yang akan di input

<b>Kondisi Batas</b>	<b>Jenis kondisi batas</b>	<b>Nilai</b>
<i>Inlet</i>	<i>Velocity-Inlet</i>	0,23 m/s
<i>Outlet</i>	<i>Pressure-Outlet</i>	0 Pa ( <i>gauge</i> )
<i>Top_Surface</i>	<i>Pressure-Inlet</i>	101325 Pa
<i>Wall</i>	<i>Wall</i>	-
<i>Wall_Turbin</i>	<i>Wall</i>	-

### b) General menu

Pada General menu ada beberapa pengaturan awal yang dapat dipilih sebelum ke tahap selanjutnya. Pada simulasi ini menggunakan waktu steady state, kemudian pada *Solver velocity formulation* menggunakan *absolute*, dan *Solver type* menggunakan *pressure-based*. Pada set unit perlu diubah satuan rad/s menjadi rev/min, kemudian pada opsi length diubah menjadi milimeter, dan pada gravitation pilih pada sumbu y sebesar -9.81 sebelum masuk ke tahap selanjutnya dalam proses simulasi ansys fluent ini melakukan setting display untuk tampilan geometri yang disesuaikan dengan kebutuhan simulasi, pada opsi check diperuntukkan menganalisa

ulang hasil meshing yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya agar diketahui seberapa detail meshing yang telah dibuat, kemudian *report quality* setelah memilih opsi *check* agar analisa geometri sebelumnya tampil pada *console*.



**Gambar 25.** General menu

### c) Model Menu

Pada *Models Menu* terdapat beberapa opsi model fisik yang dapat dipilih sesuai dengan jenis analisis yang dilakukan, seperti model aliran (*viscous*), energi (*energy*), radiasi, hingga model multifasa. Setiap opsi memiliki fungsi dan pengaturan tersendiri yang disesuaikan dengan karakteristik permasalahan yang dianalisis. Namun, pada simulasi ini tidak semua model diaktifkan, melainkan hanya model tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian agar proses komputasi lebih fokus dan efisien.

Dalam simulasi ini, opsi yang digunakan adalah model *Viscous*, yaitu pengaturan yang berkaitan dengan karakteristik aliran dan model turbulensi. Model viskositas sangat penting dalam analisis CFD karena menentukan bagaimana efek gesekan fluida dan

turbulensi dimodelkan di dalam domain komputasi. Awalnya, model turbulensi yang umum digunakan adalah  $k-\epsilon$  ( $k$ -epsilon), tetapi pada simulasi ini model tersebut diganti menjadi model  $k-\omega$  SST (*Shear Stress Transport*). Pemilihan model turbulensi yang tepat sangat berpengaruh terhadap akurasi hasil, terutama pada sistem dengan gradien kecepatan tinggi dan interaksi aliran dekat dinding.

Model  $k-\omega$  SST adalah salah satu model matematis yang digunakan dalam simulasi aliran fluida untuk memprediksi perilaku turbulensi. Model ini menggabungkan keunggulan dari dua model turbulensi, yaitu model  $k-\epsilon$  dan model  $k-\omega$ , sehingga mampu memberikan hasil yang lebih akurat pada berbagai kondisi aliran. Model tersebut dipilih karena memiliki keunggulan dalam memprediksi karakteristik aliran pada daerah *near-wall* dibandingkan model  $k-\epsilon$ . Model ini menggabungkan kelebihan model  $k-\omega$  yang akurat di dekat dinding dengan keunggulan model  $k-\epsilon$  yang stabil pada aliran bebas (*free stream*). Dalam kasus turbin, terutama pada bagian dinding turbin dan area sekitar bentuk konikal (*conical section*), fenomena gesekan, separasi aliran, serta distribusi tegangan geser sangat dipengaruhi oleh perilaku aliran dekat dinding. Oleh karena itu, penggunaan model  $k-\omega$  SST dinilai lebih representatif untuk menggambarkan kondisi aliran yang terjadi.

Selain itu, model  $k-\omega$  SST juga memiliki kemampuan yang lebih baik dalam memprediksi terjadinya separasi aliran (*flow separation*) yang sering muncul pada perubahan geometri atau sudut tertentu pada turbin. Pada bagian *conical* dan sudu turbin, perubahan arah aliran yang signifikan dapat menimbulkan pusaran dan daerah resirkulasi. Jika model turbulensi yang digunakan kurang tepat, maka prediksi distribusi tekanan dan kecepatan dapat menyimpang dari kondisi sebenarnya. Dengan menggunakan  $k-\omega$  SST, fenomena ini dapat dimodelkan dengan lebih akurat sehingga hasil simulasi menjadi lebih *reliabel*.

Dapat di lihat pada Gambar 26. pemilihan model pada *Models Menu* juga berpengaruh langsung terhadap kestabilan dan waktu komputasi simulasi. Model yang terlalu sederhana mungkin menghasilkan perhitungan yang cepat tetapi kurang akurat, sedangkan model yang terlalu kompleks dapat meningkatkan waktu iterasi secara signifikan. Oleh karena itu, penggunaan model *viscous k- $\omega$  SST* dalam penelitian ini merupakan bentuk kompromi antara akurasi dan efisiensi komputasi. Dengan konfigurasi tersebut, diharapkan simulasi mampu memberikan gambaran performa turbin yang mendekati kondisi nyata tanpa mengorbankan stabilitas proses perhitungan.

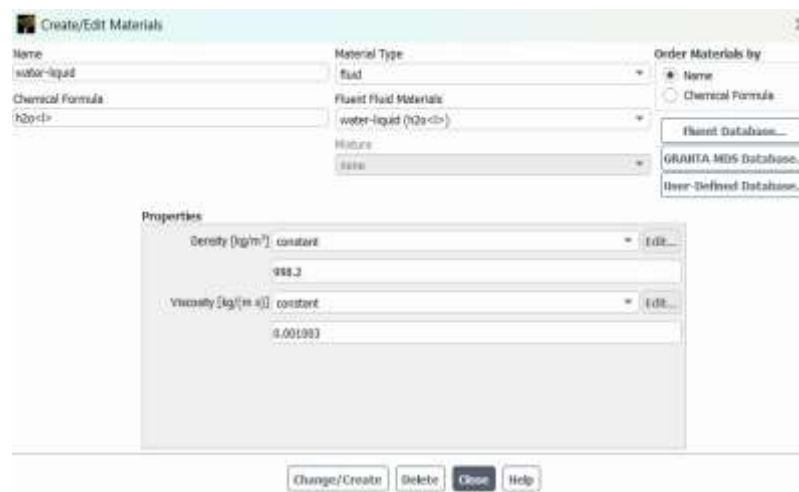


**Gambar 26.** Model menu

#### d) Material Menu

Material Menu merupakan tempat untuk mengatur sifat fisik material yang akan digunakan dalam simulasi. Pengaturan material ini sangat penting karena sifat fisik fluida atau padatan akan berpengaruh langsung terhadap perilaku aliran dan hasil perhitungan numerik. Pada simulasi ini, turbin *vortex* menggunakan material fluida air (water) dengan densitas sebesar  $1000 \text{ kg/m}^3$  dan viskositas dinamik sebesar  $0,001 \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$ . Nilai ini merupakan sifat standar air pada kondisi suhu ruang (sekitar  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Pemilihan air sebagai fluida kerja didasarkan pada ketersediaannya yang melimpah, sifat aliran yang dapat diprediksi dengan baik, serta kemampuannya mentransfer energi kinetik secara efisien.

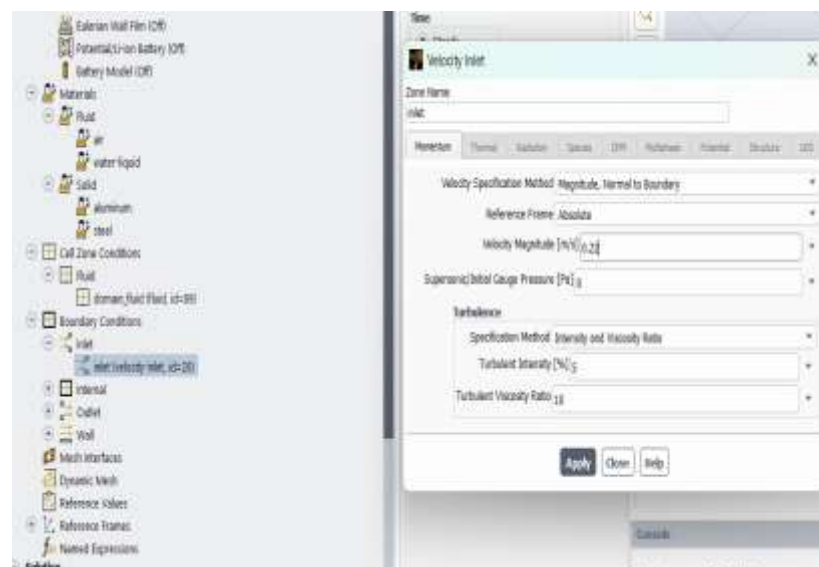
Selain fluida, material padat pada komponen turbin seperti poros, sudu, atau dinding saluran juga dapat ditentukan jika diperlukan analisis interaksi fluida-struktur. dapat di lihat pada Gambar 27. Dengan mengatur material secara tepat, proses simulasi akan lebih akurat dalam merepresentasikan kondisi nyata, sehingga hasil perhitungan seperti kecepatan aliran, tekanan, dan torsi dapat mencerminkan performa sistem secara menyeluruh.



**Gambar 27.** Cell zone menu

### e) *Boundary Condition Menu*

*Boundary Condition* merupakan bagian yang sangat penting karena pada bagian ini mengatur kecepatan fluida *water liquid*. Penelitian ini menggunakan tekanan konstan pada tinggi. dapat di lihat pada Gambar 28. Pada menu ini juga mengatur variasi laju aliran kecepatan yang mengalir masuk ke sistem turbin sebesar 101325 Pa. outlet fluida menggunakan opsi *pressure outlet* dan bagian *top surface* diubah menjadi *pressure inlet* dan domain turbin diubah menjadi *moving wall* opsi lainnya menggunakan pilihan *coupled* agar turbin nya dianggap berputar.



**Gambar 28.** *Boundary condition menu*

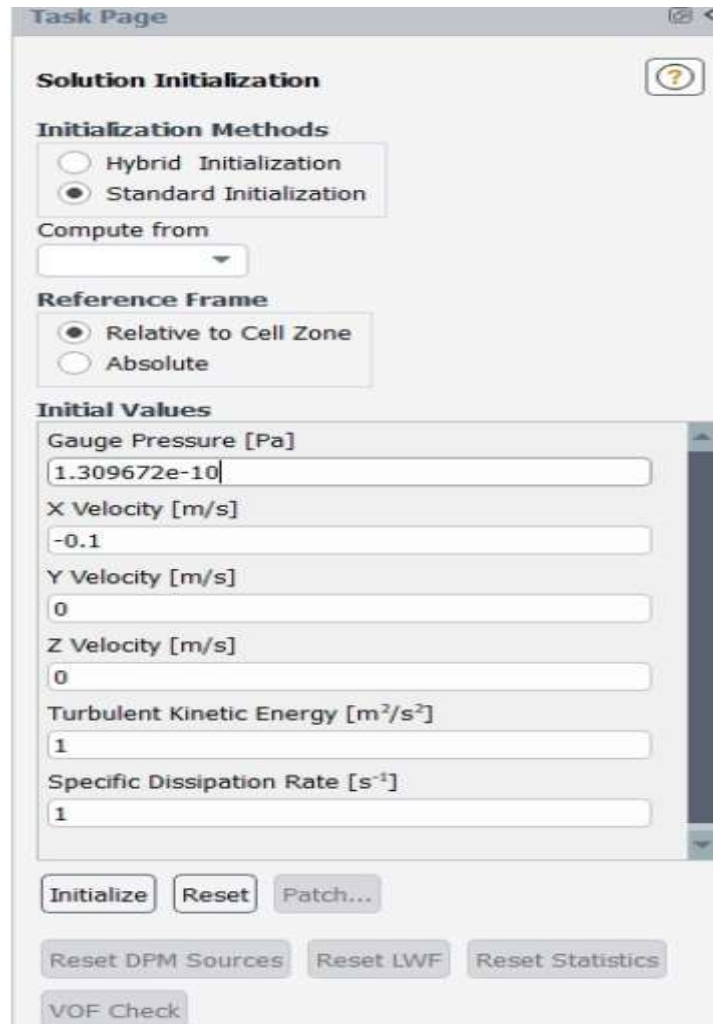
### f) *Initialization Menu*

*Initialization* merupakan tahapan penting dalam proses simulasi numerik, khususnya pada analisis *Computational Fluid Dynamics* (CFD), yang berfungsi untuk memberikan nilai dugaan awal (*initial guess*) pada setiap sel *mesh* di dalam domain komputasi. Nilai awal ini mencakup parameter-parameter seperti tekanan, kecepatan, temperatur, maupun variabel turbulensi sesuai dengan model yang digunakan. Secara umum, nilai inialisasi dapat ditentukan secara bebas karena selama proses iterasi berlangsung, solver akan

memperbarui nilai-nilai tersebut hingga memenuhi persamaan pengatur (*governing equations*) dan mencapai kondisi keseimbangan numerik.

Meskipun nilai awal dapat dipilih secara bebas, pemilihan nilai dugaan yang mendekati solusi aktual sangat dianjurkan. Hal ini karena nilai awal yang realistis dapat mempercepat proses konvergensi dan mengurangi jumlah iterasi yang dibutuhkan. Jika nilai awal terlalu jauh dari kondisi sebenarnya, proses iterasi bisa menjadi lebih lama, bahkan berpotensi mengalami kesulitan konvergensi. Oleh sebab itu, dalam praktiknya sering digunakan pendekatan seperti *standard initialization* atau *hybrid initialization* untuk memberikan estimasi awal yang lebih stabil dan representatif terhadap kondisi fisik sistem.

Pada menu *Initialization*, proses inisialisasi biasanya dihitung (*compute*) pada seluruh zona (*all zones*) yang telah didefinisikan dalam domain simulasi. dapat di lihat pada Gambar 29. Setiap zona, baik itu fluida maupun solid (jika terdapat analisis konjugat), akan diberikan nilai awal sesuai pengaturan yang dipilih. Setelah proses *compute* dilakukan, pengguna dapat meninjau nilai dugaan awal yang telah dihasilkan oleh sistem dan melakukan penyesuaian apabila dirasa kurang sesuai dengan kondisi perhitungan atau data eksperimen yang tersedia.

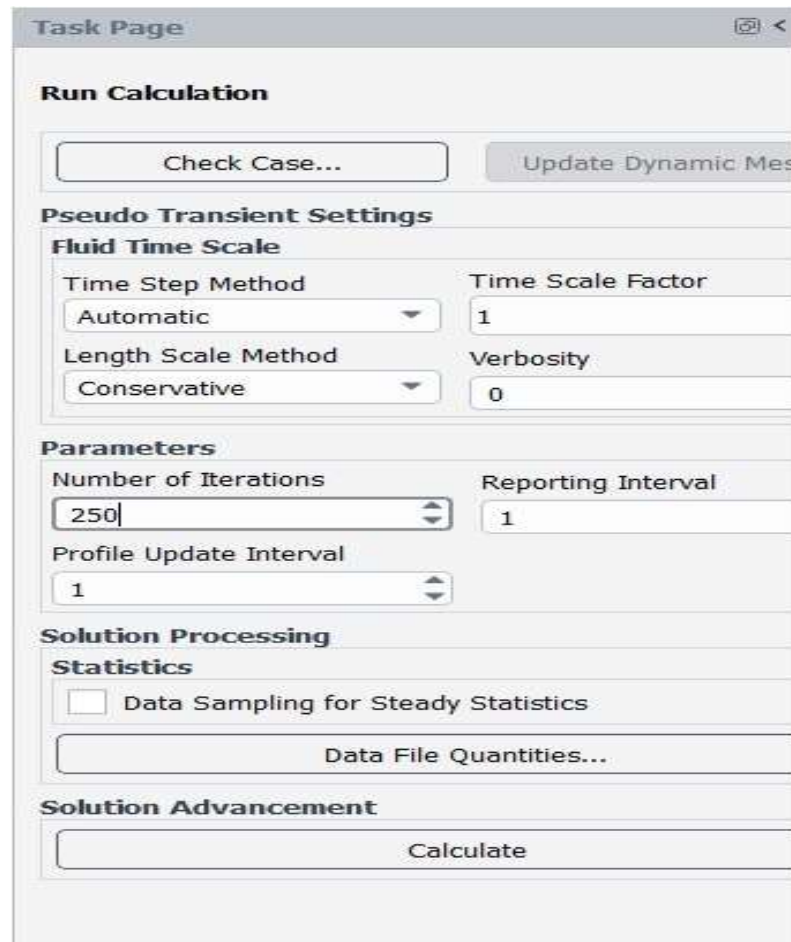


**Gambar 29.** *Initialization menu*

**g) *Run Calculation Menu***

Menu *Run Calculation* pada *ANSYS Fluent* merupakan tahap inti dalam proses simulasi, karena pada bagian ini solver mulai melakukan perhitungan numerik berdasarkan seluruh model fisika, material, *boundary condition*, serta *mesh* yang telah ditentukan sebelumnya. *Run calculation menu* pada *ansys fluent* dapat di lihat pada Gambar 30. Ketika pengguna menjalankan perhitungan, *solver* akan melakukan iterasi untuk menyelesaikan persamaan Navier–Stokes, energi, turbulensi, dan persamaan lain yang relevan. Setiap iterasi memperbarui nilai kecepatan, tekanan, suhu, dan parameter aliran lainnya hingga solusi mendekati kondisi stabil atau konvergen.

Dengan kata lain, *Run Calculation* adalah proses di mana seluruh konfigurasi yang telah diatur sebelumnya benar-benar dihitung dan menghasilkan data aliran fluida sesuai kondisi nyata.



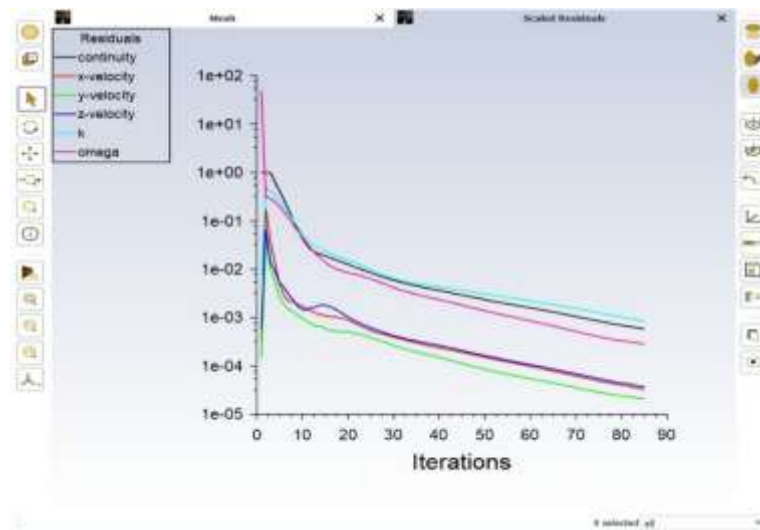
Gambar 30. Run calculation menu

#### h) Calculation

Karena saat inisiasi kita menginput nilai perkiraan, maka *governing equations* tidak akan memenuhi *equilibrium*. Ketidakseimbangan dalam *governing equation* inilah yang dinamakan residual. Nilai residual dihitung di setiap persamaan. Persamaan kontinuitas memiliki residual, *Naveir-Stokes* juga memiliki nilai residual. Berarti setidaknya ada 6 residual yang dihitung. dapat di lihat pada Gambar 31. Untuk mempermudah cek *residuals*, idealnya kita perlu memonitor nilai-nilai tersebut dalam bentuk grafik saat proses iterasi

berlangsung. Biasanya konvergensi tercapai jika grafik residual terus menurun sampai batas yang ditentukan.

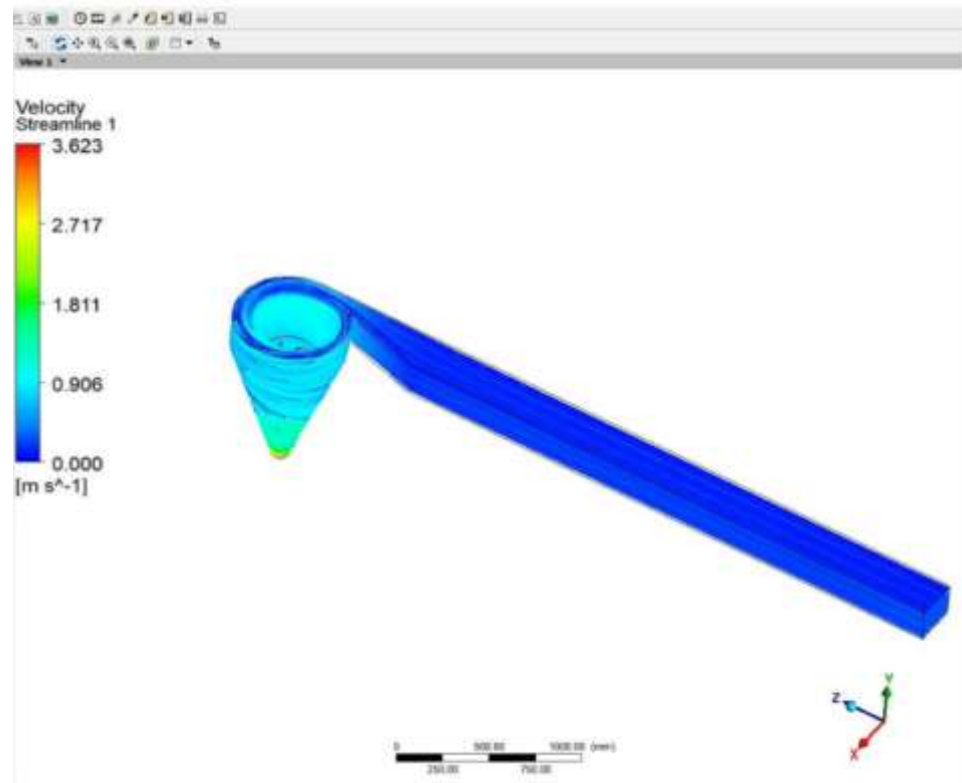
Simulasi CFD melibatkan proses non-linier yang berkorelasi dengan fenomena yang tidak stabil secara *inheren* seperti turbulensi. Software CFD bertujuan untuk mensimulasikan proses fisik, dengan menangkap permasalahan fenomena fisik ke dalam persamaan numerik. Karena itu, tidak ada jaminan bahwa akan ada solusi ‘konvergen’ pada kondisi mapan (*steady state convergence*) untuk suatu masalah. Masalah simulasi CFD pada umumnya bersifat non-linier dan teknik penyelesaiannya menggunakan proses secara iteratif untuk mendapatkan solusi hingga ‘konvergensi’ tercapai.



**Gambar 31.** Grafik residual

#### i) *Post-Processing*

Pada menu ini hasil simulasi dapat diambil dalam bentuk data grafik dan kontur yang akan ditampilkan dapat di lihat pada Gambar 32. *Post-processing* adalah menu result, Menu ini merupakan bentuk 3D dari turbin *vortex* dimana kecepatan tekanan dan yang lainnya bisa di lihat dengan grafik warna.



**Gambar 32.** Hasil simulasi berupa kontour *streamlined* 3D

#### j) Validasi

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil yang di peroleh secara simulasi terhadap hasil yang diperoleh secara pengujian dilaboratorium mekanika fluida. setelah dilakukan pengujian oleh (Kurniawan, 2025).

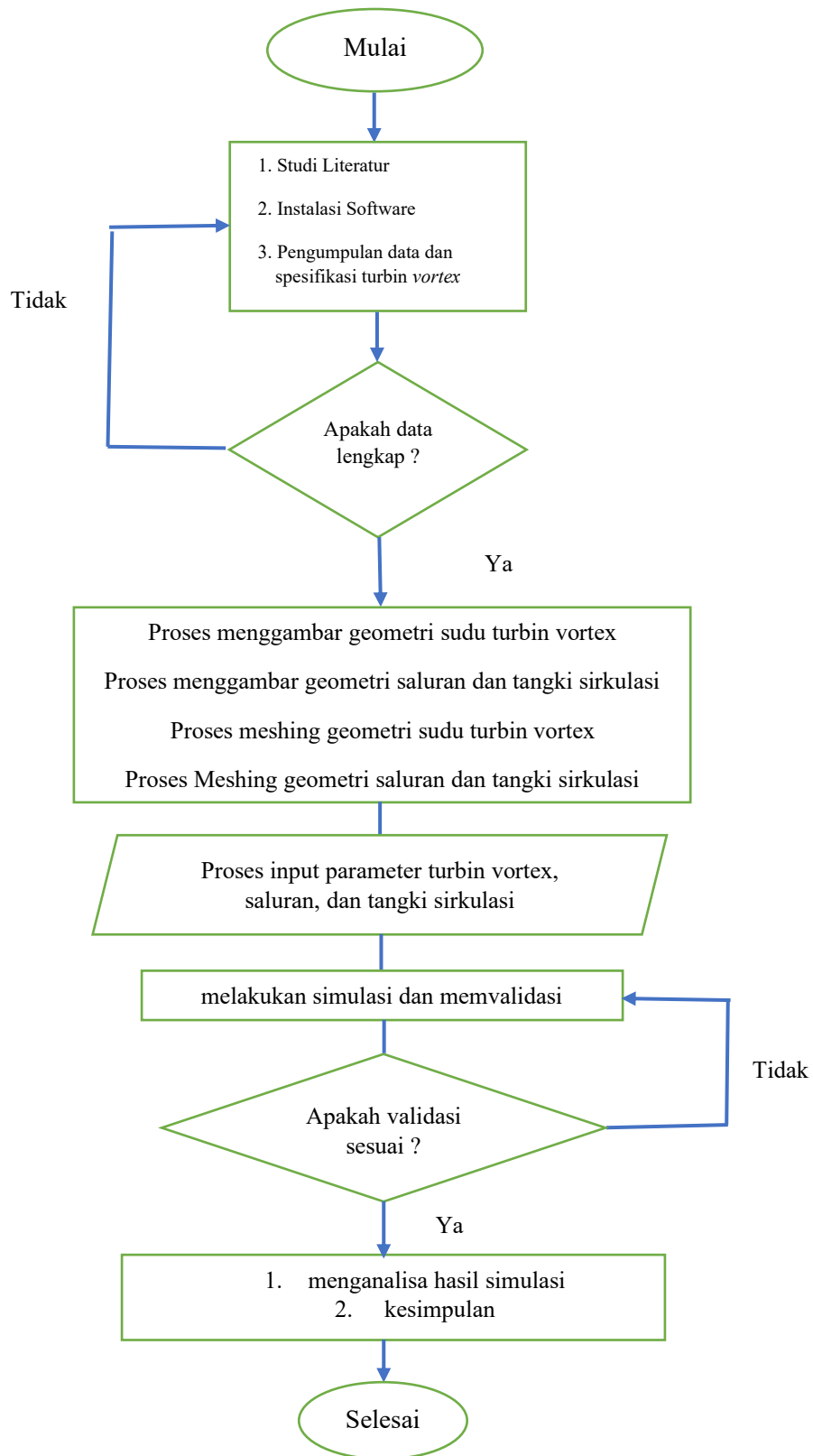
### 3.3 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengidentifikasi permasalahan serta menelusuri teori-teori yang relevan melalui studi pustaka. Studi pustaka dilakukan dengan memanfaatkan berbagai sumber referensi seperti buku dan jurnal yang berasal dari penelitian sebelumnya. Referensi tersebut diperoleh melalui fasilitas perpustakaan Universitas Lampung serta sumber digital yang tersedia secara daring. Tahap berikutnya yaitu mengumpulkan data dari penelitian terdahulu yang didukung oleh berbagai jurnal ilmiah. Selain itu,

pada tahap pengumpulan data juga dilakukan proses instalasi perangkat lunak yang akan digunakan dalam penelitian.

Setelah seluruh referensi dan data pendukung terkumpul, dilakukan proses analisis dan seleksi terhadap literatur yang paling relevan dengan topik penelitian agar diperoleh landasan teori yang kuat dan terarah. Tahap ini juga mencakup pemahaman terhadap metode penelitian, parameter yang digunakan, serta hasil-hasil yang telah dicapai pada studi sebelumnya sebagai bahan perbandingan. Dengan demikian, penelitian yang dilakukan memiliki dasar ilmiah yang jelas, alur metodologi yang sistematis, serta mampu menghindari pengulangan kesalahan yang sama, sehingga hasil yang diperoleh nantinya dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

Tahapan selanjutnya adalah pembuatan desain geometri sudu turbin *vortex* menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor*. Setelah proses perancangan selesai, dilakukan persiapan simulasi dengan memasukkan parameter-parameter yang diperlukan. Selanjutnya dilakukan proses simulasi berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Setelah simulasi selesai, dilakukan pengambilan dan analisis data hasil simulasi. Apabila data yang diperoleh telah lengkap, maka penelitian dilanjutkan ke tahap berikutnya. Secara umum, tahapan penelitian yang dilakukan dapat dijelaskan melalui Gambar 33. berikut.



**Gambar 33.** Diagram Alur Penelitian

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan pada simulasi unjuk kerja vortex untuk pembangkit listrik tenaga air skala laboratorium adalah sebagai berikut:

1. Dimensi saluran pada turbin vortex Panjang saluran 400 cm dan lebar saluran 25 cm, lebar sudu pengarah adalah 10 cm dan kemiringan sudu pengarah  $18^\circ$ , diameter connical atas 60 cm dan diameter outlet tangki sirkulasi 10 cm, dan jenis turbin vortex digunakan adalah jenis curved berpenampang silinder dengan dimensi turbin adalah dengan tinggi 28,8 cm dengan kemiringan sudu turbin  $17^\circ$  dengan jumlah 6 sudu.
2. Nilai variasi debit air 10.61 L/s nilai kecepatan aliran di saluran pengarah mendapatkan nilai 0.682 m/s untuk variasi debit 10.62 L/s mendapatkan nilai 0.704 m/s dan untuk debit 10.66 L/s mendapatkan nilai 0.798 m/s. kemudian untuk Nilai kecepatan di sepanjang tangki sirkulasi variasi debit air 10.61 L/s nilai kecepatan di sepanjang tangki sirkulasi mendapatkan nilai 3.070 m/s. untuk nilai variasi debit air 10.62 L/s mendapatkan nilai 3.168 m/s di sepanjang tangki sirkulasi dan nilai variasi debit air 10.66 L/s dihasilkan nilai 3.630 m/s disepanjang tangki sirkulasi. Kemudian tekanan pada sudu turbin pada variasi debit aliran 10,66 L/s menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dua variasi debit lainnya, dengan tekanan maksimum mencapai sekitar 6260,73 Pa. Peningkatan debit aliran ini menyebabkan energi kinetik fluida yang mengenai sudu menjadi lebih besar, sehingga tekanan yang dihasilkan pada permukaan sudu juga meningkat. Selain itu, distribusi area bertekanan rendah (*low pressure*) pada kondisi ini terlihat lebih terkonsentrasi, namun tidak hanya terbatas pada poros turbin. Area *low pressure* masih tampak menyebar pada bagian dalam sudu akibat pengaruh pusaran aliran (*swirl*) dan interaksi fluida dengan geometri turbin. Pada variasi debit 10,61 dan 10,66 L/s, distribusi tekanan rendah cenderung lebih luas dan menyebar, yang mengindikasikan aliran yang kurang terarah dan lebih turbulen. Berdasarkan kondisi

tersebut, dapat disimpulkan bahwa performa turbin dalam mengekstraksi energi aliran air dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu kecepatan aliran yang mengenai sudu, besar tekanan yang terjadi, serta pola distribusi tekanan. Pada debit 10,66 L/s, faktor-faktor tersebut menunjukkan kondisi yang lebih dominan dibandingkan dua variasi debit lainnya, sehingga kemampuan turbin dalam mengonversi energi fluida menjadi energi mekanik menjadi lebih optimal.

3. Pada Penelitian ini hasil perbandingan torsi eksperimen dan simulasi didapatkan dengan torsi terbesar dihasilkan oleh turbin dengan variasi debit air 10.61, 10.62, 10.66 L/s dengan nilai torsi eksperimen yang didapat sebesar 6,17 Nm dan nilai torsi hasil simulasi mendapatkan nilai sebesar 6,40 Nm. Untuk daya turbin simulasi yang maksimal adalah 33,77 Watt 41,45 watt, dan 53,48 watt. Dan Efisiensi yang dihasilkan simulasi efisiensi optimum yang didapatkan untuk variasi debit air 10.61 L/s yaitu sebesar 35,89%, pada turbin variasi debit air 10.62 L/s yaitu sebesar 39,48 % dan untuk turbin variasi debit air 10.66 L/s sebesar 58,11 %.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada pada simulasi ansys *fluent* model turbin *vortex* untuk pembangkit listrik tenaga air skala laboratorium adalah sebagai berikut:

1. Pada Penelitian ini perlu dilakukan simulasi lanjutan dengan jenis sudu turbin dengan bentuk lurus dan melengkung untuk mengetahui perbandingan unjuk kerja dan karakteristik dari turbin secara menyeluruh. Penelitian ini perlu dilakukan dengan lanjutan variasi jumlah sudu dan tinggi sudu untuk mengetahui setiap unjuk kerja turbin secara menyeluruh.
2. Penelitian ini lebih lanjut untuk memvariasikan tinggi debit air untuk melihat distribusi kecepatan di saluran, sudu pengarah dan tangki sirkulasi.
3. Penelitian ini diharapkan untuk menambahkan variasi lebar sudu pengarah dan diameter tangki sirkulasi
4. Penelitian ini diharapkan untuk menerapkan *meshing* jenis *polihedra*, *hexa*, *pyramid* dan *poly-hexcore* untuk mengetahui hasil validasi m yang sesuai dengan hasil simulasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Aziz, A., & Idris, M. (2022). Simulation of the conical gravitational water vortex turbine (GWVT) design in producing optimum force for energy production. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 92(1), 1–12.
- Abimanyu, Y., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Rancang Bangun Sistem Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Pada Daerah Irigasi Sawah Aliran Rendah. *PHYDAGOGIC : Jurnal Fisika Dan Pembelajarannya*, 6(1), 33–37.
- Amalia, E., Hendarko, Hamzah, M. N., Maulana, F. A., Budisatrio, F. H., Rafie, M., & Moelyadi, M. A. (2022). Comparison of Numerical Simulation and Experiment of Designed Vortex-Type Micro-hydro Water Turbine. In *International Journal of Fluid Machinery and Systems* (Vol. 15, Issue 3, pp. 297–308).
- ANSYS Inc. (2021). *ANSYS tutorial guide*. ANSYS Inc.
- Astro, R. B., Doa, H., & Hendro, H. (2020). Fisika Kontekstual Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 6(1), 142.
- Chrismianto, D. dkk. (2014). Pengaruh Variasi Bentuk Hull Kapal Catamaran Terhadap Besar Hambatan Total Menggunakan CFD. *Kapal*, 11(2), 99–106.
- Dhakal, A. Nepal, A. Acharya, B. Kumal, T. Aryal, S. Williamson, K. Khanal, dan L. Devkota. (2017). Technical and economic prospects for the site implementation of a gravitational water vortex power plant in Nepal. in *Proc. IEEE Int. Conf. Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, 2017, pp. 1001–1006.
- Fitroh, H. K. (2018). Uji eksperimental kinerja turbin reaksi aliran vortex tipe sudu melengkung dengan variasi sudut kemiringan. *JTM (Jurnal Teknik Mesin)*, 6(1), 97–104.
- Harmiansyah, H., Arysandia, D., Gamas, F. A. J., Saputri, N. W., Kusmali, M., & Fil'aini, R. (2023). Mini review pengaruh jumlah sudu turbin vortex berdasarkan daya pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) yang dihasilkan. *Sultra Journal of Mechanical Engineering*, 2(2), 82–91.
- Ikhsan, H. K., Nugroho, R., Wijaya, D. G., & Pamuji, D. S. (2020). Kajian teknologi: Parameter desain dan pemodelan numerik pada turbin vortex berbasis gravitasi. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi (ReTII)*, 140–148.
- Imron, C., Suhariningsih, Widodo, B., & Yuwono, T. (2011). Solusi numerik dari

persamaan Navier-Stokes. *Jurnal Matematika dan Aplikasinya*, 8(2), 9–15.

- Indarto, B., Nafi', M. I., Basri, M. H., Iskawanto, H. S., & Salim, A. T. A. (2020). Rancang Bangun Gravitation Water Vortex Power Plant (GWVPP) Berbasis Basin Silinder. *JEECAE (Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering)*, 5(1), 27–34.
- Kurniawan, I., Heri Siswanto, Yohanes, Y., Romy, R., & Amir Hamzah. (2024). Pengaruh Geometri Basin Terhadap Aliran Vortex: Kajian pada Basin Conical, Conical Convex dan Silinder dengan CFD. *Jurnal Surya Teknika*, 11(1), 332–336.
- Masyhudi, M. A., Fatahillah, A., Setiawan, T. B., & Jember, U. (n.d.). (2018). *Pemodelan Matematika Penyebaran Polutan*.
- Sembiring, dkk. (2017). Rancang Bangun Turbin Vortex Dengan Casing Berpenampang Lingkaran Yang Menggunakan Sudu Diameter 46 Cm Pada 3 Variasi Jarak Antara Sudu Dan Saluran Keluar. *Jurnal Dinamis* 5 (2), 36-46.
- Sinaga, J. B., Sinaga, D., Yonanda, A., Topan, T., & Bahtera, G. (2024). Pengaruh bentuk sudu terhadap efisiensi turbin air gravitasi aliran vortex. *TURBO*, 13(2), 574–582.
- Syahrul, K. A., & Sahbana, M. A. (2018). Pengaruh Jenis Sudu terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Air Kinetik Poros Horizontal. *Proton*, 10(2), 20–24.
- Wanchat, S., Suntivarakorn, R., Wanchat, S., Tonmitr, K., & Kayanyiem, S. (2013). A parametric study of a gravitation vortex power plant. *Advanced Materials Research*, 805–806, 811–817.
- Zain, R. A., Fitri, S. P., & Wardhana, E. M. (2023). Analisis Komputasional Aplikasi Penggunaan Phase Change Material (PCM) pada Insulasi Dinding Eco-Reefer Container 20 Feet. *Jurnal Teknik ITS*, 12(2), 119–124.