

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

**(Skripsi)**

**Oleh**

**ALAZIS**

**NPM 2115021049**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS  
LAMPUNG BANDAR  
LAMPUNG**

**2026**

**PERMODELAN SIMULASI UNJUK KERJA TURBINPUSARAN  
AIR(*VORTEX*) DENGAN JARI-JARI KELENGKUNGAN SUDU 110 MM  
MENGUNAKAN ANSYS FLUENT**

**Oleh**

**ALAZIS**

**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*) DENGAN JARI-JARI KELENGKUNGAN SUDU 110 MM MENGGUNAKAN ANSYS FLUENT

Oleh

Al Azis

Pemanfaatan energi air dengan *head* rendah sebagai sumber energi terbarukan memiliki potensi untuk dikembangkan di Indonesia. Salah satu teknologi yang sesuai untuk kondisi tersebut adalah turbin *vortex*, yang mampu bekerja pada *head* rendah dengan memanfaatkan pusaran air untuk menghasilkan energi mekanik. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan menganalisis unjuk kerja turbin pusaran air (*vortex*) dengan jari-jari kelengkungan sudu 110 mm dengan bentuk sudu *curved* diameter bawah (D1) 200 mm dan diameter bawah (D2) 380 mm mengikuti bentuk tangki sirkulasi pengujian, jumlah 6 sudu turbin (n), tinggi hub (H) 288 mm dan sudut kemiringan sudu ( $\alpha$ ) 18°. Pemodelan dilakukan dengan membuat geometri tangki sirkulasi berbentuk kerucut (*connical basin*) dengan diameter saluran atas 600 mm dengan saluran keluar (*outlet*) 100 mm, lebar saluran masuk 100 mm. Geometri di desain pada software Autodesk Inventor 2020 yang kemudian di simulasikan pada software ANSYS Fluent 2021 R2 dengan kondisi *steady-state* dengan turbulensi K-Omega SST dengan bentuk *mesh poly-hexcore*. Simulasi dilakukan pada tiga variasi debit aliran 648,1 l/mnt, 632,2 l/mnt dan 530,2 l/mnt dengan parameter putaran turbin (rpm), torsi (Nm), kecepatan aliran (m/s), daya poros turbin (W) dan efisiensi turbin (%). Hasil simulasi diperoleh paling optimal pada debit aliran 648,1 l/mnt dengan putaran 110,2 rpm, daya poros optimal 27,78 W, efisiensi 33,128 % dengan rata-rata kesalahan 5,93 %. Pada debit aliran 632,2 l/m diperoleh hasil optimal pada putaran 129,1 rpm, daya poros turbin 15,271 W, efisiensi 15,75 % dengan rata-rata kesalahan 7,57%. Kemudian pada debit 530,2 l/mnt diperoleh hasil paling optimal pada putaran 161,3 rpm, daya poros turbin 9,645 W, efisiensi 9,91% dengan rata-rata kesalahan 11,86 %. Efisiensi turbin pusaran air (*vortex*) dipengaruhi oleh beberapa variabel yaitu kecepatan aliran dan tekanan pada sudu turbin. Dari peneltitian menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan aliran pada tangki sirkulasi dan semakin besar tekanan pada sudu turbin maka akan mempengaruhi hasil unjuk kerja turbin pusaran air (*vortex*).

Kata kunci: Turbin *vortex*, CFD, debit aliran, unjuk kerja, torsi, daya turbin, efisiensi,

## **ABSTRACT**

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

**By**

**Al Azis**

The use of low head water energy as a renewable energy source has the potential to be developed in Indonesia. One technology suitable for these conditions is a vortex turbine, which is able to work at low head by utilizing water eddies to produce mechanical energy. This study aims to model and analyze the performance of a vortex turbine with a blade curvature radius of 110 mm with a curved blade shape of 200 mm bottom diameter (D1) and 380 mm bottom diameter (D2) following the shape of the test circulation tank, the number of 6 turbine blades (n), hub height (H) 288 mm and blade inclination angle ( $\alpha$ )  $18^\circ$ . Modeling is done by creating a conical basin circulation tank geometry with an upper channel diameter of 600 mm with an outlet of 100 mm, an inlet width of 100 mm. The geometry was designed in Autodesk Inventor 2020 software which was then simulated in ANSYS Fluent 2021 R2 software with steady-state conditions with K-Omega SST turbulence with a poly-hexcore mesh shape. The simulation was carried out on three variations of flow rate of 648.1 l/min, 632.2 l/min and 530.2 l/min with turbine rotation parameters (rpm), torque (Nm), flow velocity (m/s), turbine shaft power (W) and turbine efficiency (%). The simulation results were obtained most optimally at a flow rate of 648.1 l/min with a rotation of 110.2 rpm, optimal shaft power of 27.78 W, efficiency of 33.128% with an average error of 5.93%. At a flow rate of 632.2 l/m, optimal results were obtained at 129.1 rpm, turbine shaft power of 15.271 W, efficiency of 15.75% with an average error of 7.57%. Then at a flow rate of 530.2 l/min, the most optimal results were obtained at 161.3 rpm, turbine shaft power of 9.645 W, efficiency of 9.91% with an average error of 11.86%. The efficiency of the vortex turbine is influenced by several variables, namely the flow velocity and pressure on the turbine blades. From the research, it shows that the higher the flow velocity in the circulation tank and the greater the pressure on the turbine blades, the more it will affect the performance of the vortex turbine.

**Keywords:** Vortex turbine, CFD, flow rate, performance, torque, turbine power, efficiency,

Judul Skripsi : PERMODELAN SIMULASI UNJUK KERJA TURBIN  
PUSARAN AIR (VORTEX) DENGAN JARI-JARI  
KELENGKUNGAN SUDU 110 MM  
MENGUNAKAN ANSYS FLUENT

Nama Mahasiswa : Al Azis

Nomor Pokok Mahasiswa : 2115021049


Program Studi : S1 Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

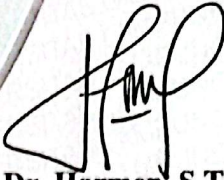


1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

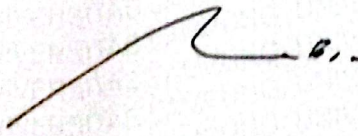
  
Jorjy Boike Sinaga, S.T., M.T.  
NIP. 197101271998031004

Pembimbing II

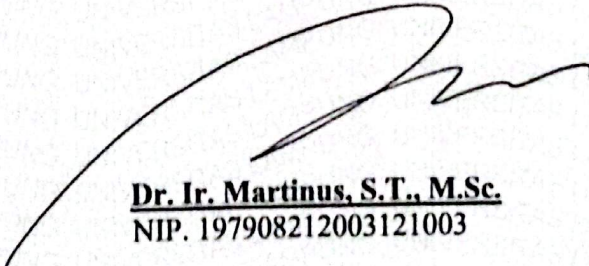
  
Dr. Harmen, S.T., M.T.  
NIP. 196906202000031001

MENGETAHUI

Ketua Jurusan Teknik Mesin

  
Ahmad Su'udi, S.T., M.T.  
NIP. 197408162000121001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

  
Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.  
NIP. 197908212003121003

**MENGESAHKAN**

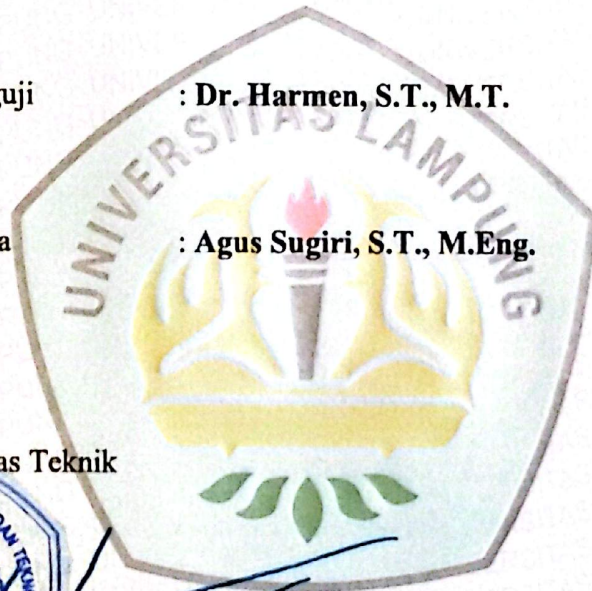
**1. Tim Penguji**

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

**Anggota Penguji : Dr. Harmen, S.T., M.T.**

**Penguji Utama : Agus Sugiri, S.T., M.Eng.**

*Jorfri*  
.....  
*Harmen*  
.....  
*Agus*  
.....



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.**  
NIP. 196910302000031001

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 24 Februari 2026**

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Al Azis

NPM :2115021049

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujur-jujurnya, bahwa skripsi saya yang berjudul : **“Permodelan Simulasi Unjuk Kerja Turbin Pusaran Air (Vortex) dengan Jari-Jari Kelengkungan Sudu 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, 24 Februari 2026  
Pembuat Pernyataan



Al Azis  
NPM. 2115021049

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 16 Mei 2003, sebagai anak pertama dari empat bersaudara, dari pasangan Bapak Eka Indra dan Ibu Elridawati. Penulis memulai Pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) di TK Harapan Bunda yang diselesaikan pada tahun 2009, Sekolah Dasar (SD) di SDN 80 Bumbung yang diselesaikan pada tahun 2015, penulis melanjutkan Sekolah Menengah Pertama di SMPS YKPP Sungai Pakning dan lulus pada tahun 2018. Kemudian penulis melanjutkan pendidikannya di SMAN 1 Kamang Magek dan lulus pada tahun 2021. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota Divisi Kesekretariatan. Penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PT. Bukit Asam, Tbk Tanjung Enim, Sumatera Selatan pada 06 Januari 2025 – 16 Februari 2025 dan telah menyelesaikan laporan kerja praktek yang berjudul **“Analisis Kelayakan Operasional Pompa SULZER 355 KW Setelah Dilakukan Alignment di PT. Bukit Asam”**. Tahun 2024 penulis bergabung di laboratorium Mekanika Fluida dan membuat Tugas Akhir yang berjudul **“Permodelan Simulasi Unjuk Kerja Turbin Pusaran Air (*Vortex*) Dengan Jari-Jari Kelengkungan Sudu 110 mm Menggunakan ANSYS Fluent”** dibawah bimbingan Bapak Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Harmen, S.T., M.T.

## **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillahirobbil'alamin, dengan mengucapkan rasa syukur atas rahmat dan ridho Allah SWT atas segala limpahan rahmat, rizki dan karunia yang Engkau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Kupersembahkan karya ini untuk orang-orang yang sangat berharga dalam hidupku:

### **Ayah dan Ibu Tercinta**

Senantiasa berdoa dan memotivasi putranya hingga kuat melewati semuanya sampai ke jenjang ini, dengan keikhlasan dan segala daya upaya yang beliau lakukan tanpa kenal lelah.

### **Bapak dan Ibu Dosen**

Terima kasih Bapak dan Ibu Dosen yang selalu memberikan ilmu yang bermanfaat dan membimbingku dengan penuh kesabaran dan keikhlasannya.

### **Para Sahabat**

Selalu membantu dan ikut mengisi kehidupanku di dunia perkuliahan ini.

**Serta Almamaterku tercinta, Universitas Lampung.**

## SANWACANA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Permodelan Simulasi Unjuk Kerja Turbin Pusaran Air (*Vortex*) Dengan Jari-Jari Kelengkungan Sudu 110 mm Menggunakan ANSYS Fluent”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Skripsi ini dibuat sebagai sebuah karya tulis yang merupakan hasil dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan. Selama penyusunan skripsi ini, penulis telah banyak menerima bantuan, dukungan, motivasi dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak Eka Indra dan Ibu Elfiridawati yang selalu mendampingi dan melimpahkan doa-doanya pada penulis sehingga tetap bersemangat dalam menjalankan Program Studi jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Ahmad Su'udi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
6. Bapak Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah bersedia mendidik dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Dr. Harmen, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah bersedia mendidik dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam penyusunan

skripsi ini.

8. Bapak Agus Sugiri, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembahas yang senantiasa berkenan memberikan masukan dan arahan kepada penulis. Terima kasih
9. untuk masukan dan saran-saran pada seminar proposal dan seminar hasil.
10. Bapak Sugiman selaku teknisi laboratorium Mekanika Fluida yang selalu memberikan semangat dan bantuan kepada penulis.
11. Seluruh Bapak, Ibu Dosen dan seluruh Staff Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah mengajarkan banyak pengetahuan kepada penulis.
12. Teman-teman Angkatan 2021 dan Tim Laboratorium Mekanika Fluida dan kawan-kawan: Randa Admiral, S.T., Fiki Bayu Fernando, S.T., Tri Topan Ramadani, S.T., David Sinaga, S.T., Gomes Bahtera Silaban, S.T., Surya Jonathan Sagala, A.Md., Yosafat Hasiholan Tampubolon, S.T., M Fadhly Effendi S.T., Darius Simamora S.T., Glenn Ananta Velasco L S.T., Nando Kurniawan S.T., Irfan Ahmad Syah, Muhammad Hussein, Aji, Kevin dan Rizal yang selalu memberi dorongan semangat kepada penulis.
13. Saudari Fina Lisnawati S.E. yang selalu menyemangati penulis, memberi dorongan serta memotivasi 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.

BandarLampung, 24 Februari 2026  
Penulis

**Al Azis**

## DAFTAR ISI

<b>Daftar Isi</b>	<b>Halaman</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Batasan.....	3
1.4 Sistematika Penulisan .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Turbin Air.....	5
<b>2.1.1 Klasifikasi Berdasarkan Cara Kerja</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.2 Berdasarkan Tingkat Head</b> .....	<b>8</b>
2.2 Turbin <i>Vortex</i> .....	8
2.3 Sudu Turbin.....	10
2.3 Tangki Sirkulasi ( <i>Basin</i> ).....	11
2.4 Computational Fluid Dynamics (CFD).....	13
2.5 Metode perhitungan CFD.....	14
2.8 ANSYS.....	16
2.9 OpenFOAM.....	18
2.10 SimScale.....	20
2.11 Persamaan umum dalam CFD .....	21
2.12 Model Turbulensi Pada CFD .....	23
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>28</b>
3.1 Tempat Penelitian .....	28
3.2 Tahapan Penelitian .....	28
3.2.1. Studi Literatur .....	<b>28</b>

3.2.2. Penyiapan Alat .....	28
3.2.3. Geometri Tangki Sirkulasi dan Turbin .....	29
3.3.3. Proses simulasi.....	34
3.3.4 Validasi .....	50
3.3. Diagram Alir.....	51
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>52</b>
4.1 Data Validasi.....	52
4.2 Hasil Penelitian.....	55
4.3 Data Simulasi .....	79
4.4 Hubungan putaran turbin terhadap torsi.....	81
4.6 Hubungan putaran turbin terhadap efisiensi turbin .....	88
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>91</b>
5.1 Kesimpulan.....	91
5.2 Saran.....	92
<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>93</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 3. 1</b> Geometri Tangki Sirkulasi dan Fitur <i>Revolve</i> .....	29
<b>Gambar 3. 2</b> Desain Saluran Dengan <i>Extrude</i> .....	30
<b>Gambar 3. 3</b> Geometri Poros dan Radius Sudu.....	30
<b>Gambar 3. 4</b> Desain Hub Pada Turbin Pusaran Air( <i>Vortex</i> ).....	31
<b>Gambar 3. 5</b> Desain Ketebalan Turbin Dan derajat Kemiringan.....	31
<b>Gambar 3. 6</b> <i>Sweep</i> Sudu Turbin dengan <i>Curve Profile</i> .....	32
<b>Gambar 3. 7</b> <i>Circular Pattern</i> Untuk Desain Jumlah Sudu .....	32
<b>Gambar 3. 8</b> Fitur <i>Loft Intersect</i> pada Turbin Pusaran Air ( <i>Vortex</i> ) .....	33
<b>Gambar 3. 9</b> Turbin <i>Vortex</i> yang akan disimulasikan .....	33
<b>Gambar 3. 10</b> Gambar Teknik Turbin Pusaran Air ( <i>Vortex</i> ).....	34
<b>Gambar 3. 11</b> <i>Streamline</i> debit aliran 648,1 l/mnt.....	35
<b>Gambar 3. 12</b> <i>Streamline</i> debit aliran 632,2 l/mnt.....	35
<b>Gambar 3. 13</b> <i>Streamline</i> debit aliran 530,2 l/mnt .....	36
<b>Gambar 3. 14</b> <i>Boundary Condition</i> Pada Turbin Pusaran Air( <i>Vortex</i> ).....	38
<b>Gambar 3. 15</b> Proses Meshing Pada Connical Basin .....	39
<b>Gambar 3. 16</b> General Menu .....	43
<b>Gambar 3. 17</b> Models Menu.....	44
<b>Gambar 3. 18</b> Cell Zone Menu.....	45
<b>Gambar 3. 19</b> <i>Boundary condition</i> menu.....	46
<b>Gambar 3. 20</b> <i>Initialization</i> menu.....	47
<b>Gambar 3. 21</b> <i>Run Calculation</i> Menu.....	48
<b>Gambar 3. 22</b> Grafik Residual.....	49
<b>Gambar 3. 23</b> Hasil simulasi berupa Kontur streamlined 3D.....	50
<b>Gambar 4. 1</b> Kontur kecepatan aliran tinggi 16 cm hasil simulasi kecepatan di saluran pengarah pada bidang XZ.....	55

<b>Gambar 4.2</b> Kontur Kecepatan Pada Tangki Sirkulasi dengan Debit 648,1 l/mnt pada bidang YZ.....	56
<b>Gambar 4.3</b> <i>Vortex Core Region</i> Pada Debit aliran 648,1 l/mnt.....	58
<b>Gambar 4.4</b> Kontur Tekanan Pada Sudu Turbin Pada Debit aliran 648,1 l/mnt.....	60
<b>Gambar 4.5</b> a.) Kontur Kecepatan pada Outlet Bidang XZ b.) Kontur Kecepatan 100 mm dari Outlet bidang XZ c.) Kontur Kecepatan 200 mm dari Outlet pada bidang XZ d.) Kontur Kecepatan 300 mm dari Outlet pada Bidang XZ e.) Kontur Kecepatan 400 mm dari Outlet pada Bidang XZ.....	62
<b>Gambar 4.6</b> Kontur kecepatan aliran tinggi 14 cm hasil simulasi kecepatan di saluran pengarah pada bidang XZ.....	64
<b>Gambar 4.7</b> Kontur Kecepatan Pada Tangki Sirkulasi dengan Debit 632,2 l/mnt pada bidang Yz.....	65
<b>Gambar 4.8</b> <i>Vortex Core Region</i> Pada Debit aliran 632,2 l/mnt.....	66
<b>Gambar 4.9</b> Kontur Tekanan Pada Sudu Turbin Pada Debit aliran 632,2 l/m.....	67
<b>Gambar 4.10</b> a.) Kontur Kecepatan pada Outlet Bidang XZ b.) Kontur Kecepatan 100 mm dari Outlet bidang XZ c.) Kontur Kecepatan 200 mm dari Outlet pada bidang XZ d.) Kontur Kecepatan 300 mm dari Outlet pada Bidang XZ e.) Kontur Kecepatan 400 mm dari Outlet pada Bidang XZ.....	69
<b>Gambar 4.11</b> Kontur kecepatan debit aliran 530,2 L/m hasil simulasi kecepatan di saluran pengarah pada bidang XZ.....	71
<b>Gambar 4.12</b> Kontur Kecepatan Pada Tangki Sirkulasi dengan Debit 530,2 L/m pada bidang XY.....	72
<b>Gambar 4.13</b> <i>Vortex Core Region</i> Pada Debit aliran 530,2 l/mnt.....	73
<b>Gambar 4.14</b> Kontur Tekanan Pada Sudu Turbin Pada Debit aliran 530,2 L/m.....	75
<b>Gambar 4.15</b> a.) Kontur Kecepatan pada Outlet Bidang XZ b.) Kontur Kecepatan 100 mm dari Outlet bidang XZ c.) Kontur Kecepatan 200 mm dari Outlet pada bidang XZ d.) Kontur Kecepatan 300 mm dari Outlet pada Bidang XZ e.) Kontur Kecepatan 400 mm dari Outlet pada Bidang XZ.....	77
<b>Gambar 4.16</b> Hubungan perbandingan torsi eksperimen dengan simulasi dengan debit 648,1 l/mnt.....	81
<b>Gambar 4.17</b> Hubungan perbandingan torsi eksperimen dengan simulasi dengan debit 632,2 l/mnt.....	82

<b>Gambar 4. 18</b> Hubungan perbandingan torsi eksperimen dengan simulasi dengan debit 530,2 l/mnt.....	82
<b>Gambar 4. 19</b> Hubungan Perbandingan daya turbin dengan putaran hasil simulasi dengan debit 648,1 l/mnt.....	86
<b>Gambar 4. 20</b> Hubungan Perbandingan daya turbin dengan putaran hasil simulasi dengan debit 632,2 l/mnt.....	87
<b>Gambar 4. 21</b> Hubungan Perbandingan daya turbin dengan putaran hasil simulasi dengan debit 530,2 l/mnt.....	87
<b>Gambar 4.22</b> Hubungan Perbandingan efisiensi dengan putaran hasil simulasi dengan debit 648,1 l/mnt.....	89
<b>Gambar 4.23</b> Hubungan Perbandingan efisiensi dengan putaran hasil simulasi dengan debit 632,2 l/mnt.....	89
<b>Gambar 4. 24</b> Hubungan Perbandingan daya turbin dengan putaran hasil simulasi dengan debit 530,2 l/mnt.....	90

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Turbin vortex awalnya dikembangkan Viktor Schaubberger yang berasal dari Jerman untuk teknologi aliran *vortex* (pusaran) untuk diterapkan pada pemodelan turbin air dengan memanfaatkan aliran irigasi yang kemudian diubah menjadi aliran *vortex* (pusaran), yang kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan sudu turbin. Aliran *vortex* yang juga dikenal sebagai aliran pulsating atau pusaran dapat terjadi pada suatu fluida yang mengalir dalam suatu saluran yang mengalami perubahan mendadak. Fenomena aliran *vortex* sering kali dijumpai pada permodelan sayap pesawat, aliran *vortex* cenderung dianggap sebagai suatu kerugian dalam suatu aliran fluida. Kemudian teknologi ini dikembangkan lagi oleh Franz Zotloeterer berkebangsaan Austria. Ia memulai penelitian ini pada tahun 2004 dan memulai pemasangan turbin pertamanya di Obergrafendorf, Austria pada tahun 2005, kemudian sampai dengan tahun 2013 turbin ini sudah dibangun di beberapa negara seperti Jerman, Republik Ceko, Hungaria, Cili, Thailand, Irlandia, Indonesia, Jepang, Francis, Italy, dan Swiss. Referensi teori tentang turbin ini jarang dibahas di dunia pendidikan karena teknologi ini sudah menjadi hak paten Zotloeterer.

Pada era modern ini, kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan teknologi. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia adalah energi air, khususnya pada skala mikrohidro. Turbin air konvensional seperti Kaplan, Francis, dan Pelton umumnya memiliki efisiensi tinggi, namun

memerlukan head yang relatif besar dan biaya konstruksi yang tinggi sehingga tidak selalu sesuai untuk daerah terpencil dengan karakteristik sungai ber-head rendah. Jika kita bandingkan turbin pusaran air (*vortex*) dengan turbin non *vortex* lainnya yaitu terletak pada headnya. Alasan mengapa turbin pusaran air (*vortex*) dapat diaplikasikan pada head rendah adalah karena kemampuan mengkonversi daya airnya cukup bagus pada aliran rendah. Head turbin *vortex* bisa di aplikasikan pada dengan ketinggian  $< 1$  m yang tergolong head sangat rendah. Kemudian alat-alat yang digunakan tergolong lebih sedikit dan murah jika dibandingkan dengan turbin yang lainnya sehingga mempermudah untuk pemeliharaan komponen-komponen turbin *vortex*. Turbin pusaran air (*vortex*) merupakan turbin inovatif yang dirancang untuk memanfaatkan aliran air ber-head rendah dengan desain sederhana. Sebagai pembanding, turbin non-*vortex* seperti Kaplan dan Pelton memiliki efisiensi lebih tinggi namun memerlukan head dan biaya konstruksi yang besar. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk membandingkan unjuk kerja turbin *vortex* simulasi dan secara eksperimen sehingga dapat menentukan jenis turbin yang paling sesuai dengan kondisi sungai di Indonesia.

Pada penelitian ini akan membahas mengenai simulasi pemodelan unjuk kerja turbin *vortex* untuk model sistem pembangkit listrik dengan menggunakan Ansys Fluent. Penelitian ini dilakukan di dimana hasil simulasi ini digunakan untuk optimasi untuk model alat uji turbin *vortex* dan diharapkan untuk merancang pembangkit listrik yang telah di buat di laboratorium mekanika fluida . Pada Penelitian yang sudah dilakukan oleh (Sinaga, 2024) didapat dengan variasi bentuk sudu *Flat*, *Curved* dan *Twisted* dengan jari-jari sudu 130 mm didapat bahwa efisiensi tertinggi diperoleh pada sudu turbin dengan bentuk *curved*. Kemudian pada penelitian (Effendi, 2026) dengan varisi jari-jari turbin 85 mm, 110 mm, 130 mm dan 145 mm dengan bentuk sudu *curved* diperoleh efisiensi terbaik pada jari-jari turbin 110 mm dengan bentuk *curved*. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan (Effendy, 2025) menjadi acuan untuk validasi data dari hasil simulasi. Pada penelitian (Admiral, 2022) melakukan simulasi permodelan unjuk kerja turbin *vortex* dengan bentuk

meshing tetrahedron didapat bahwa *error* yang didapat cukup kecil dengan menggunakan turbin dengan bentuk sudu lengkung. Berdasarkan pada penelitian (Admiral, 2022) perlu adanya penelitian lanjutan untuk simulasi permodelan simulasi unjuk kerja turbin dengan memvariasikan bentuk geometri turbin salah satunya adalah jari-jari dan mencoba menggunakan bentuk meshing yang berbeda untuk melihat apakah berpengaruh terhadap hasil simulasi turbin untuk proses pengoptimalan unjuk kerja turbin pusaran air (*vortex*) dan dapat digunakan untuk perhitungan awal sebagai acuan untuk penelitian turbin (*vortex*) kedepannya sebelum dilakukan eksperimen untuk data pertimbangan sebelum dilakukan uji coba secara eksperimen.

## 1.2 Tujuan

Adapun Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

1. Membuat model 3D saluran, tangki sirkulasi kerucut (*connical basin*) dan turbin pusaran air (*vortex*) menggunakan software Autodesk Inventor model.
2. Melakukan simulasi untuk mengetahui distribusi kecepatan aliran di saluran pengarah, tangki sirkulasi dan kontur tekanan pada turbin.
3. Melakukan simulasi untuk mengetahui unjuk kerja turbin *vortex* yang di gunakan pada model pembangkit listrik dan membandingkannya dengan hasil yang dilakukan secara eksperimen.

## 1.3 Batasan

Adapun batasan masalah yang digunakan penelitian adalah:

1. Alat uji yang di modelkan berdasarkan adalah model sistem dari alat uji turbin vortex yang dibuat di LLaboratorium Mekanika Fluida, Teknik Mesin.
2. Melakukan simulasi dengan menggunakan 3 variasi debit kecepatan aliran dengan menggunakan turbin dengan kelengkungan jari-jari sudu 110 cm.
3. Simulasi digunakan dengan software Ansys R2021. (Sinaga, 2024)

## 1.4 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada laporan penelitian ini terdiri dari beberapa bab sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan ini berisikan latar belakang, tujuan, dan Batasan masalah dan sistematika penulisan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang teori, pengklasifikasian turbin, parameter serta permodelan simulasi menggunakan persamaan-persamaan analisa numerik.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi mengenai waktu, tempat penelitian, beserta langkahlangkah yang dilakukan selama proses penelitian.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan gambar countur dan pembahasan yang didapatkan selama proses penelitian.

5. BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan juga saran kepada penelitian yang akan melakukan penelitian ini lebih lanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan literatur-literatur yang dijadikan referensi dalam penulisan laporan ini.

LAMPIRAN

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Turbin Air

Turbin air merupakan sebuah mesin konversi energi yang mengubah energi mekanik menjadi energi kinetik, kemudian menjadi energi potensial dan selanjutnya menjadi energi listrik. Selain itu PLTMH tidak perlu membuat waduk yang besar seperti PLTA dan sebagian besar PLTMH yang ada saat ini memanfaatkan head air yang tinggi untuk menghasilkan energi listrik. Sedangkan untuk aliran sungai dengan head yang rendah belum dimanfaatkan secara optimal (Hakim,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. 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, dll) yang dimana akan terjadi konversi energi yaitu energi kinetik menjadi energi mekanis yang menggerakkannya atau mengubah energi potensial menjadi energi kinetic. 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 dilihat dari cara kerja turbin dalam hal mengubah tinggi jatuh yaitu :

a) Turbin Impuls

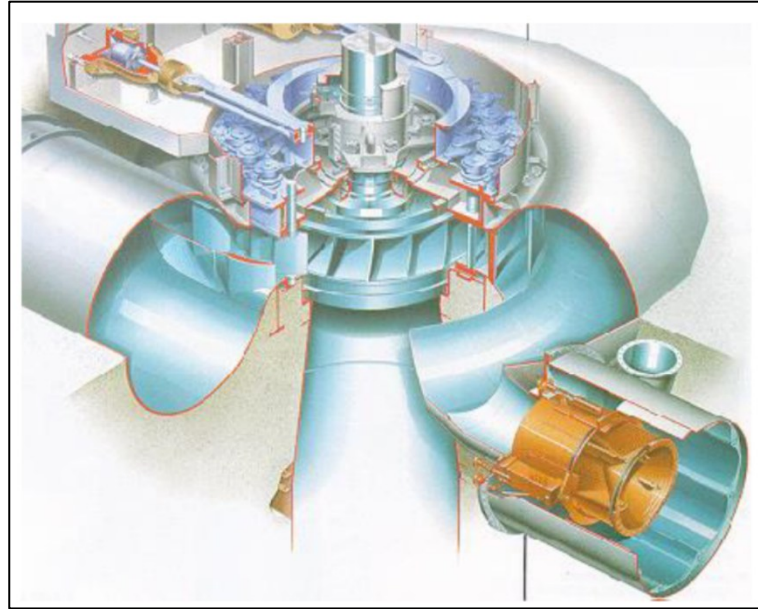


Gambar 2. 1 Turbin Pelton (Yunus,2016.)

Turbin impuls merupakan turbin yang mengubah energi air dengan tinggi jatuh tertentu dirubah menjadi energy kinetik melalui nossel. Setelah air keluar dari nossel, pancaran air menumbuk sudu dan memutar poros kemudian mengalir dengan tekanan konstan. Beberapa jenis turbin yang termasuk turbin impuls adalah turbin turgo, turbin pelton dan turbin crossflow. Turbin reaksi adalah turbin yang memanfaatkan energi potensial untuk menghasilkan energi gerak. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga sudu dapat berputar. Ciri utama turbin impuls adalah tekanan jatuh hanya terjadi pada sudu tetap, dan tidak terjadi pada sudu berputar, umumnya turbin impuls ini seluruh energi potensial di ubah menjadi energi kinetis didalam nossel sebelum menerpa roda turbin,

air yang keluar dari nosel memancar dengan kecepatan-kecepatan tinggi diarahkan pada sejumlah sudu-sudu yang di pasang sekeliling roda turbin.

b) Turbin Reaksi



Gambar 2. 2 Turbin Francis (Yunus,2016.)

Turbin reaksi bekerja dengan memanfaatkan perbedaan tekanan masuk dan keluar turbin. Pada sisi masuknya energi tekanan sebanding dengan energi kinetik. Pada saat fluida melewati sudu turbin, energi tekanan dan energi kinetiknya dirubah menjadi energi mekanis dan secara bertahap tekanan yang keluar dari turbin berkurang. Jenis-jenis turbin reaksi diantaranya adalah turbin Francis. Turbin impuls adalah turbin yang memanfaatkan energi potensial air diubah menjadi energi kinetik dengan nosel. Air keluar nosel yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu, arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls). Akibatnya, roda turbin akan berputar. Ciri utama turbin impuls adalah tekanan jatuh hanya terjadi pada sudu tetap, dan tidak terjadi pada sudu berputar, umumnya turbin impuls ini seluruh energi potensial di ubah menjadi energi kinetis didalam nosel sebelum menerpa roda turbin,

air yang keluar dari nosel memancar dengan kecepatan-kecepatan tinggi diarahkan pada sejumlah sudu-sudu yang dipasang sekeliling roda turbin. Ciri utama turbin reaksi pada semua jenis turbin, baik turbin uap, turbin gas maupun turbin air adalah sebagian tekanan jatuh terjadi pada sudu tetap dan sebagian lagi pada sudu berputar. Persamaan kontinuitas dapat digunakan pada perhitungan aliran melalui sudu berputar, karena seluruh fluida kerja memenuhi semua saluran sudu.

### 2.1.2 Berdasarkan Tingkat Head

Pengklasifikasian turbin berdasarkan headnya dibagi menjadi empat jenis yaitu:

1) Turbin yang head sangat rendah

Turbin yang headnya sangat rendah memiliki tinggi berkisaran  $\leq 5$  m, biasanya jenis turbin dengan besar head yang diatas adalah turbin Propeller, Kaplan.

2) Turbin yang head rendah

Turbin yang head rendah memiliki ketinggian berkisaran 5 –20 m, biasanya jenis turbin dengan head diatas adalah turbin Crossflow.

3) Turbin yang head sedang

Turbin yang headnya sedang memiliki tinggi berkisaran 20-100 m, biasanya jenis turbin dengan head yang diatas adalah turbin Francis.

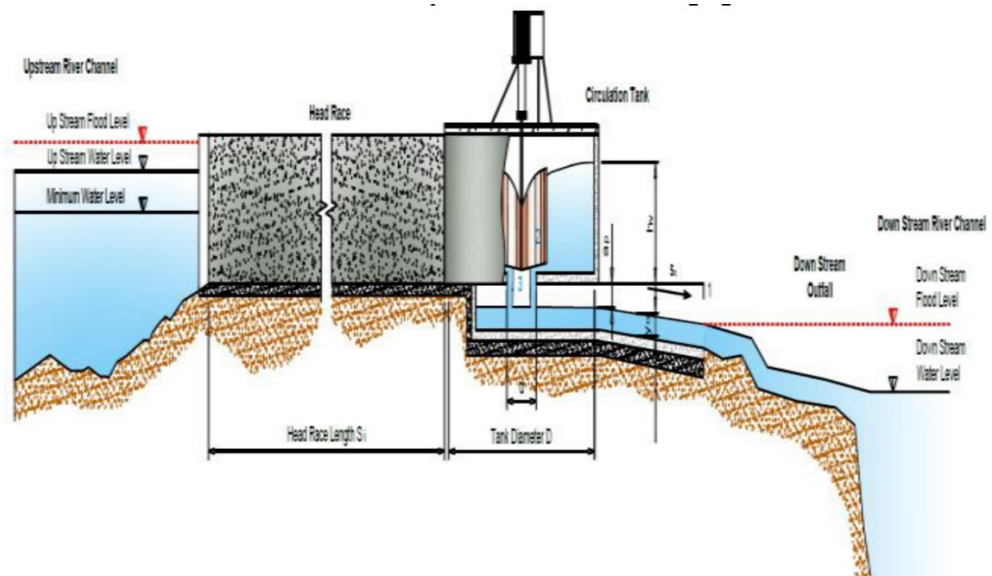
4) Turbin yang head tinggi

Turbin dengan head yang tinggi biasanya memiliki ketinggian berkisaran 100 m, biasanya jenis turbin dengan head yang diatas adalah turbin Pleton, dan Turgo.

## 2.2 Turbin *Vortex*

Turbin *vortex* merupakan aliran pusaran yang dapat terjadi pada suatu fluida yang mengalir dalam suatu saluran yang mengalami perubahan mendadak . Pada turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetik pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah sehingga poros

akan berputar. Kinerja turbin pusaran air (*vortex*) dibantu dengan generator. Generator adalah bagian komponen dari turbin yang berfungsi sebagai penggerak melalui bantuan transmisi untuk menghasilkan energi listrik. Beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja turbin pusaran air (*vortex*) yaitu, jari-jari kelengkungan, tinggi sudu, sudut kemiringan sudu dan jumlah sudu turbin. Pemanfaatan aliran air yang memiliki nilai head yang rendah dengan mengubahnya menjadi aliran *vortex*. Jumlah sudu mempengaruhi volume air yang masuk ke dalam celah turbin, sehingga membuat dorongan air yang menerpa turbin menjadi lebih besar yang berakibat meningkatnya putaran turbin yang dihasilkan.



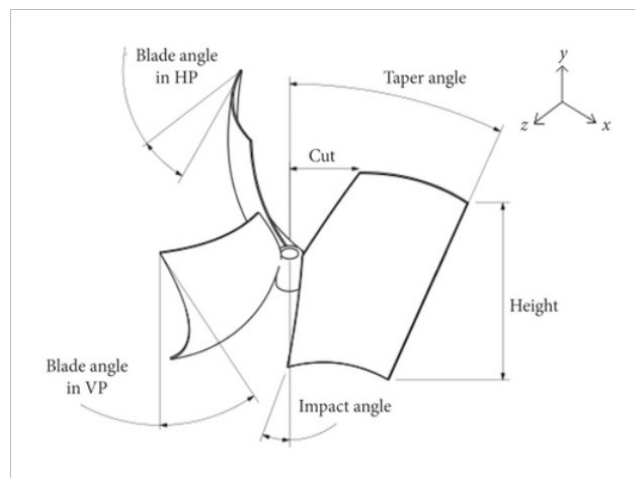
Gambar 2. 3 *GWVPP* pada *upsteam* dan *downsteam* sungai(Mulligan,2011).

Beberapa penelitian sudah dilakukan untuk mengembangkan turbin *vortex*, salah satunya adalah kajian terkait sudu turbin. Penelitian-penelitian tersebut dilakukan untuk uji eksperimen pengaruh variasi jumlah sudu terhadap kinerja turbin reaksi aliran *vortex* dengan sudu berpenampang plat datar; menggunakan variasi jarak sudu dengan saluran keluar basin. Uji eksperimen 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* (Rubiono dkk.,2020).

*Gravitational Water Vortex Power Plant* (GWVPP) ini pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang mengkonversi energi dari pusaran air yang terbentuk pada struktur *tangki* sirkulasi, sudu pengarah, dan turbin. *Gravitation Water Vortex Power Plant* sedang muncul saat ini karena memiliki persyaratan head yang rendah, ekonomis, dan dapat diandalkan.

### 2.3 Sudu Turbin



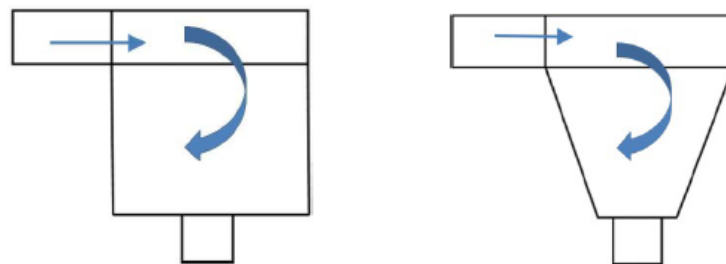
Gambar 2. 4 Dimensional Sudu Turbin

Menurut Sapkota et.al turbin adalah perangkat yang mengekstrak energi dari fluida yang mengalir. Dalam turbin reaksi, aliran fluida menghantam sudu turbin diikuti oleh penurunan tekanan statis yang signifikan dan perubahan kecepatan relatif fluida melintasi sudu turbin sedangkan pada turbin impuls efek tersebut dapat diabaikan. Geometri turbin sedemikian rupa sehingga fluida

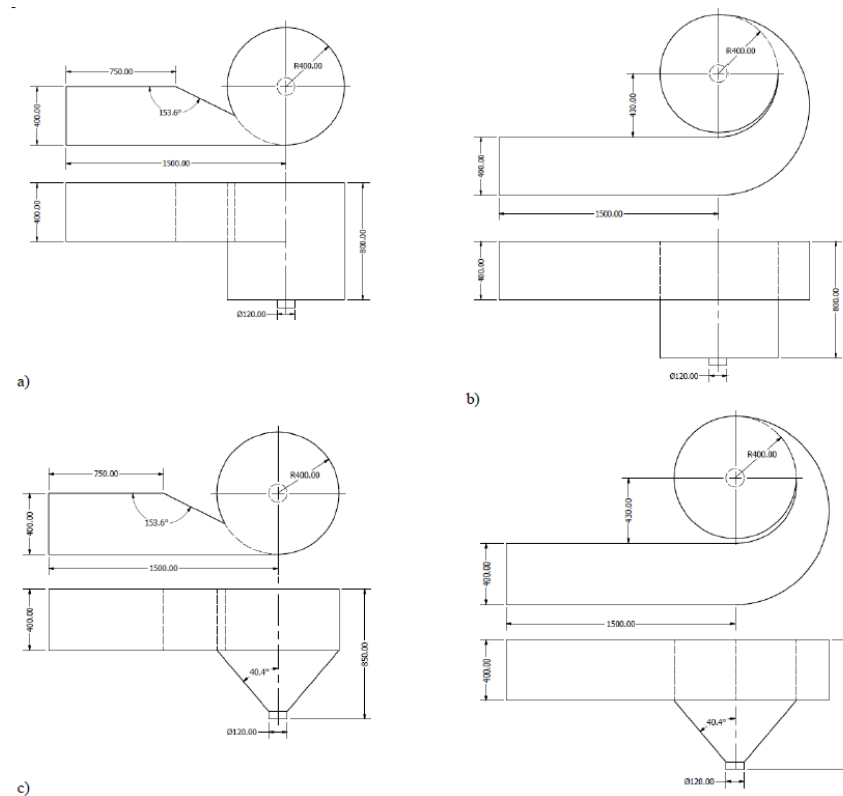
memberikan torsi pada rotor searah putarannya. Dengan demikian, desain sudu yang tepat sangat penting untuk produksi daya maksimum dari kondisi aliran yang tersedia. Berdasarkan penelitian Acharya et al. (2019) yang menyatakan bahwa sudu turbin dengan bentuk melengkung lebih sesuai untuk aliran *vortex* dibandingkan dengan sudu turbin berbentuk lurus. Secara total, dua puluh dua sudu telah dikembangkan, dan kinerjanya dinilai secara Eksperimen dan dibandingkan dengan simulasi numerik. Dua puluh dua sudu (enam sudu muncul pada lebih dari satu set sudu; dibagi menjadi tujuh set dengan empat sudu di setiap set. Dari penelitian Sapkota et al.(2022) ada berbagai parameter dimensional pada turbin *vortex* seperti sudut kemiringan sudu pada diameter sudu atas turbin *vortex* yang merupakan sudut aliran pada fluida masuk, *Impact Angle* pada diameter bawah turbin yang merupakan sudut aliran pada fluida yang keluar dan Height merupakan tinggi sudu untuk mengubah energi potensial yang terjadi pada sudu turbin.

### 2.3 Tangki Sirkulasi (*Basin*)

Tangki sirkulasi (*basin*) atau tempat pembentukan pusaran air yang akan dikonversi oleh turbin pusaran air (*vortex*). Tes Eksperimen telah dilakukan untuk membandingkan kinerja sistem basin berbentuk kerucut dengan sistem basin silinder. Berdasarkan pengujian tangki sirkulasi yang berbentuk kerucut memiliki nilai kecepatan dan kekuatan *vortex* yang lebih besar, sehingga efisiensi turbin lebih besar di tangki sirkulasi berbentuk kerucut dibandingkan dengan silinder (Salim,2020).



Gambar 2. 5 Silinder Basin dan Connical Basin (Abdullah,2022).



Gambar 2. 6 Konfigurasi Geometris Saluran Masuk (Chica,2020).

Untuk GWVT, laju aliran air masuk yang digunakan untuk pembangkit energi dialirkan melalui kanal yang terhubung dengan sudu pengarah serta tangki sirkulasi yang berisi unit pembangkit. Tangki sirkulasi tersebut dapat berupa memiliki konfigurasi geometri silinder atau kerucut. Oleh karena itu, empat konfigurasi geometris yang merupakan hasil kombinasi dari dua tipe saluran masuk dan dua tipe tangki sirkulasi diselidiki untuk menentukan model dengan kinerja terbaik untuk menghasilkan pusaran. Dalam hal ini, beberapa model dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak CAD Solidworks. Model pertama menggunakan tangki sirkulasi silinder dengan saluran masuk tangensial; selanjutnya, model kedua didasarkan pada tangki sirkulasi silinder dengan saluran masuk melingkar, model ketiga menggunakan tangki sirkulasi berbentuk kerucut dengan saluran masuk tangensial, dan yang terakhir menggunakan tangki sirkulasi berbentuk kerucut dengan saluran masuk

melingkar. Saluran masuk memiliki penampang persegi dan terletak di bagian atas tangki sirkulasi, tidak tertutup di bagian atas (Chica,2020).

Semua model memiliki lubang di bagian tengah bawah. Untuk keempat model, diameter dalam (D) tangki sirkulasi adalah 800 mm, dan diameter lubang (d) di bagian bawah tangki sirkulasi, 120 mm D/D diambil sebagai 0,15. Rasio optimum d/D dalam kisaran 14%-18% untuk lokasi dengan head rendah dan tinggi, masing-masing, telah diklaim dalam tangki sirkulasi silinder di masa lalu untuk pembentukan pusaran yang kuat. Ketinggian (H) tangki sirkulasi silinder dan kerucut adalah 800 mm. Panjang saluran masuk adalah 1500 mm. Selanjutnya, lebar dan tinggi saluran adalah 0,5 H; oleh karena itu, parameter geometris ini sama dengan 400 mm. Untuk model dengan tangki sirkulasi berbentuk kerucut, sudut kerucut diasumsikan sebesar  $40,4^\circ$ .

## 2.4 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*

*Pre-processor* adalah 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.

### 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 rill 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.

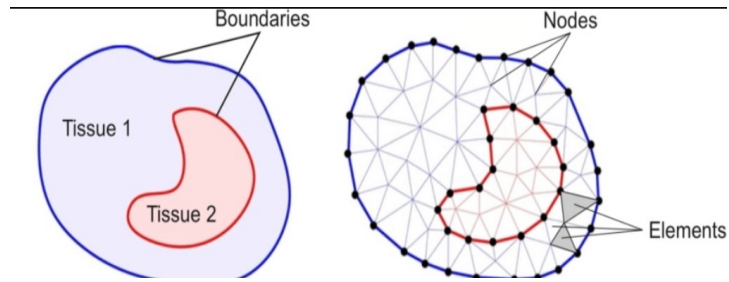
### 3. *Post Processor*

Tahap ini adalah tahap terakhir dalam simulasi. Tahapan ini untuk melihat hasil dari simulasi, kontur pergerakan dan streamlined pada pola aliran fluida dari alat yang disimulasikan.

## 2.5 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. Metode ini ada beberapa kriteria yang digunakan untuk menjalankan proses simulasi yaitu:

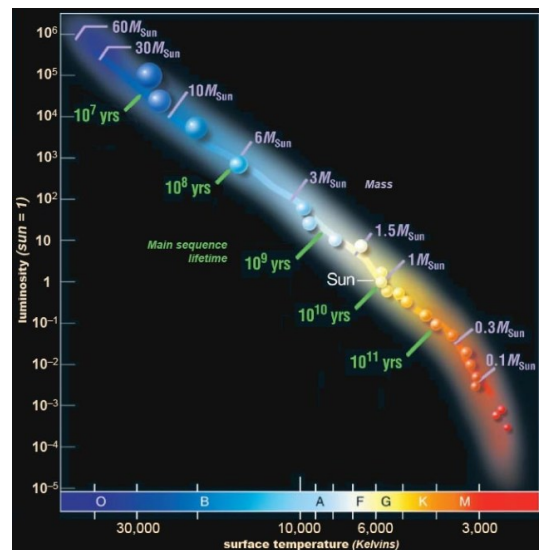
## 1. Metode Elemen Hingga



Gambar 2. 7 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 (Sujantoko et.al., 2023)

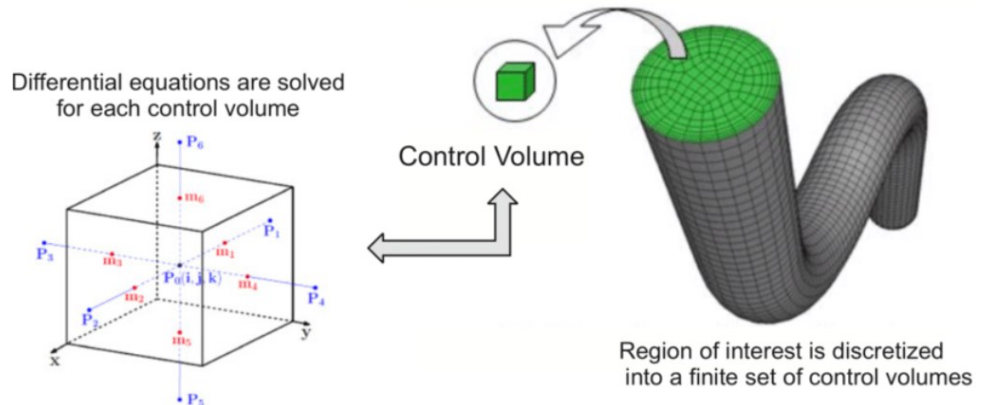
## 2. Metode spectral



Gambar 2. 8 Metode Spectral Numerik

Metode spectral adalah formulasi dari metode finite difference yang menggunakan polinomial piecewise. Metode ini lebih memilih fungsi-fungsi basis polinomial berdimensi tinggi yang tidak seragam (Baharuddin, 2022).

### 3. Metode Volume Hingga



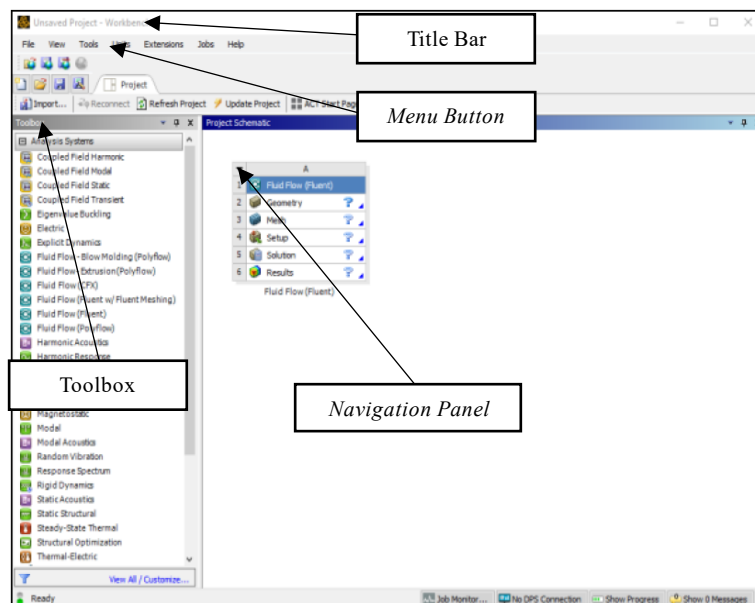
Gambar 2. 9 Metode Volume Hingga pada perhitungan CFD

Metode volume hingga merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pemodelan matematika. Metode volume hingga didasarkan pada bentuk integral hukum kekekalan. Metode ini membagi domain menjadi banyak sel dan mengambil nilai pendekatan rata-rata kuantitas dalam setiap sel. Metode volume hingga dipilih karena dapat digunakan pada bentuk benda yang tidak teratur seperti halnya gas sehingga benda menjadi lebih mudah didiskritisasi untuk menentukan nilai-nilai yang akan dicari pada proses diskritisasi. Sehingga dalam menyelesaikan persamaan matematika akan lebih mudah dan solusi yang diperoleh mendekati nilai sebenarnya (Setiawan, 2018).

## 2.8 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 and analisis adalah ANSYS yang hingga saat ini sudah diterbitkan mencapai versi 21. 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 Ansys hanya dapat dikerjakan apabila pilihan solusi yang digunakan tepat, sehingga perlu pengenalan terlebih dahulu terhadap perangkat lunak yang akan digunakan (ANSYS *Tutorial Guide*, 2021).



Gambar 2. 10 Tampilan Ansys Workbench 2021 R2

Pada gambar 2.10 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*.

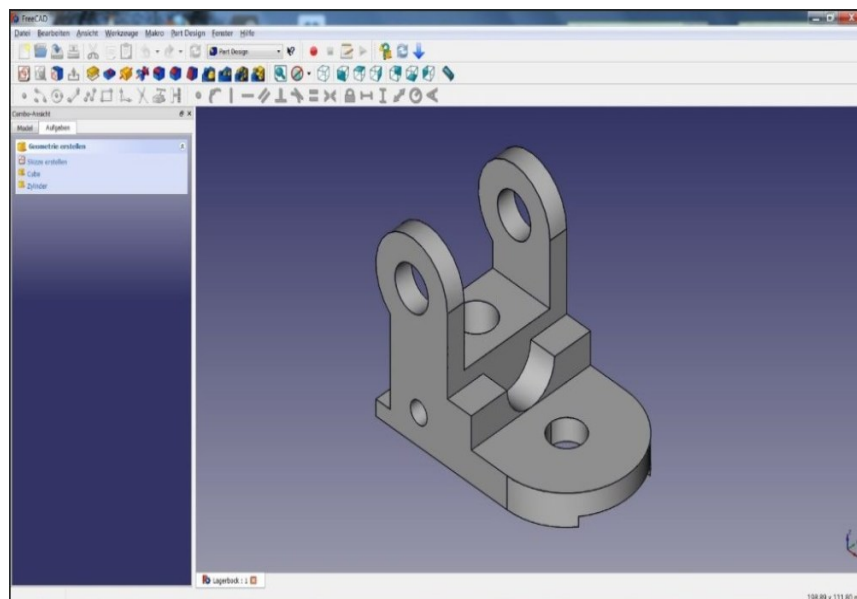
## 3. Toolbox

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.

## 2.9 OpenFOAM



Gambar 2. 11 Visi perangkat lunak FreeCAD

OpenFOAM (Open Field Operation and Manipulation) adalah salah satu perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics (CFD)* berbasis open source yang banyak dimanfaatkan oleh kalangan akademisi, peneliti, maupun industri untuk melakukan simulasi fenomena aliran fluida, perpindahan panas, dan

interaksi multi-fisika lainnya. Perangkat lunak ini dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C++ sehingga memberikan fleksibilitas bagi pengguna untuk memodifikasi, mengembangkan solver baru, atau menyesuaikan model simulasi sesuai kebutuhan penelitian yang sedang dilakukan.

Pada tahap awal permodelan CFD menggunakan OpenFOAM, pengguna akan membuat geometri domain simulasi. Geometri tersebut dapat dibangun secara langsung melalui utilitas *blockMesh* yang menggunakan pendekatan *structured hexahedral mesh*, atau dengan bantuan aplikasi CAD/meshing eksternal seperti Gmsh dan Salome apabila bentuk geometri yang diinginkan kompleks. Proses pembuatan mesh yang baik akan sangat mempengaruhi kualitas hasil simulasi, terutama dalam menangkap gradien dan fenomena aliran di dekat permukaan padat (*wall*)

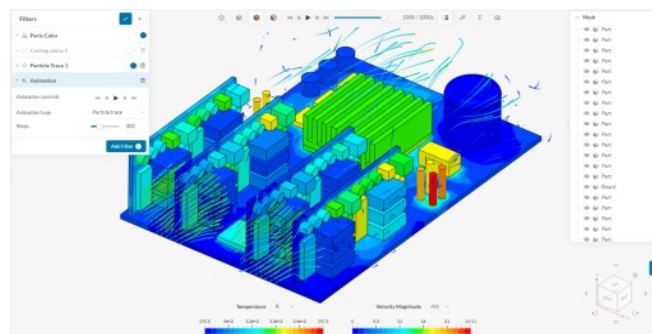
Setelah proses meshing selesai, langkah berikutnya adalah menetapkan kondisi batas (*boundary conditions*), parameter properti fluida, model turbulensi, serta model fisika lainnya yang relevan. Semua konfigurasi tersebut dituliskan dalam file teks pada direktori kasus yang umumnya terdiri atas tiga folder utama, yaitu *system*, *constant*, dan *0*. Folder *system* berisi pengaturan kontrol simulasi seperti skema numerik dan solver settings, folder *constant* berisi properti fluida dan mesh, sedangkan folder *0* berisi kondisi awal dan batas (*initial and boundary conditions*) untuk setiap variabel yang disimulasikan.

OpenFOAM memiliki berbagai pilihan solver yang disesuaikan dengan jenis permasalahan, seperti *simpleFoam* untuk simulasi aliran turbulen *steady-state incompressible*, *pisoFoam* untuk aliran transien *incompressible*, serta *interFoam* untuk simulasi *multiphase flow* dengan metode Volume of Fluid (VOF). Selain itu, untuk pemodelan turbulensi, OpenFOAM menyediakan model-model seperti  $k-\epsilon$ ,  $k-\omega$  SST, LES (Large Eddy Simulation), hingga DNS (*Direct Numerical Simulation*) bagi kasus yang membutuhkan akurasi tinggi meskipun dengan konsekuensi kebutuhan komputasi yang lebih besar.

Proses perhitungan dalam OpenFOAM menggunakan metode *finite volume* dan mendukung komputasi paralel (*parallel computing*), sehingga simulasi dengan domain yang besar atau mesh halus dapat diselesaikan dengan waktu komputasi yang lebih cepat, terutama ketika dijalankan pada sistem multi-core processor atau *high performance computing* (HPC). Hasil simulasi, seperti distribusi kecepatan, tekanan, temperatur, serta parameter turunan lainnya, dapat divisualisasikan melalui Paraview yang terintegrasi dengan OpenFOAM, untuk kemudian dilakukan analisis dan validasi terhadap data eksperimen atau literatur.

Dengan sifatnya yang *open source*, fleksibel, serta didukung oleh komunitas pengguna dan pengembang yang luas, OpenFOAM menjadi salah satu software utama dalam pemodelan CFD, khususnya di bidang teknik mesin, teknik kimia, perkapalan, dan disiplin ilmu lainnya yang membutuhkan analisis fluida dan termal secara mendalam dengan kebebasan modifikasi sesuai kebutuhan penelitian.

## 2.10 SimScale



Gambar 2. 12 Software simulasi Simscale

SimScale merupakan salah satu platform *Computational Fluid Dynamics* (CFD) berbasis cloud yang memungkinkan pengguna melakukan simulasi langsung melalui browser tanpa memerlukan instalasi software di komputer

lokal. Platform ini dikembangkan di Jerman dan mengusung konsep *Software as a Service* (SaaS), sehingga seluruh proses komputasi dilakukan di server cloud SimScale. Hal ini memberikan keuntungan utama bagi pengguna yang memiliki keterbatasan spesifikasi hardware, karena seluruh perhitungan dilakukan secara daring dengan kecepatan komputasi tinggi yang disediakan oleh penyedia layanan. Dalam penggunaannya, SimScale mendukung berbagai jenis simulasi fluida, baik aliran internal seperti pipa, ducting, dan sistem HVAC, maupun aliran eksternal seperti aerodinamika kendaraan, bangunan, dan drone. Platform ini menyediakan model turbulensi RANS seperti  $k-\epsilon$  dan  $k-\omega$  SST, serta mendukung analisis *conjugate heat transfer* (CHT) dan thermal management komponen elektronik. Visualisasi hasil dilakukan melalui antarmuka web yang interaktif, sehingga pengguna dapat menganalisis distribusi kecepatan, tekanan, dan temperatur dengan mudah tanpa perlu mengunduh file output dan membuka software post-processing terpisah.

Keunggulan SimScale terletak pada antarmuka yang user-friendly, banyaknya template tutorial praktis, serta kemampuan kolaborasi proyek secara real-time. Namun demikian, versi gratisnya hanya tersedia untuk proyek yang bersifat publik, sehingga keterbatasan privasi data menjadi salah satu pertimbangan penting. Selain itu, SimScale memiliki keterbatasan dalam kustomisasi solver dibandingkan dengan OpenFOAM, serta bergantung pada koneksi internet yang stabil. Meski demikian, untuk kebutuhan simulasi aliran fluida umum dan pembelajaran CFD berbasis kolaborasi daring, SimScale menjadi salah satu alternatif software CFD modern yang efisien dan mudah digunakan.

## 2.11 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 keakuratan hasil simulasi CFD. *Computational Fluid Dynamic* (CFD) adalah suatu cara penyelesaian masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika fluida diantaranya kontinuitas, momentum dan persamaan energi. Konsep dasar penggunaan *Computational Fluid Dynamic* adalah persamaan Navier - Stokes (Sobirin dkk,2014). :

#### 1. Kekekalan Massa

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots(2.1)$$

Persamaan momentum dikembangkan dari persamaan Navier-Stokes dalam bentuk sesuai dengan metode finite volume.

#### 2. Kekekalan Momentum

Momentum x:

$$\rho \left[ u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right] = \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] + S_{MX} \dots\dots\dots(2.2)$$

Momentum y:

$$\rho \left[ u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right] = \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] + S_{MY} \dots\dots\dots(2.3)$$

Momentum z:

$$\rho \left[ u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right] = \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] + S_{MZ} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana  $\rho$  adalah massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ ),  $\mu$  adalah viskositas dinamik fluida ( $\text{kg/ms}$ ) 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

$$\rho \left[ u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right] = p \left[ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] + k \left[ u \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + v \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + w \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \dots (2.5)$$

$\rho$  adalah massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ ),  $P$  adalah tekanan pada fluida (Pa) dan  $k$  adalah konduktivitas termal fluida ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ ). Dengan menggunakan persamaan-persamaan di atas, kondisi batas yang dijadikan input diolah dan dikembangkan menjadi suatu model dengan menggunakan software Fluent 6.3 sehingga diperoleh suatu output.

## 2.12 Model Turbulensi Pada CFD

Bagi pengguna software *Computational Fluid Dynamics* (CFD), sudah tidak asing dengan istilah permodelan turbulen (*turbulent modelling*). Ada cukup banyak permodelan yang digunakan, mulai dari pendekatan penyelesaian persamaan mekanika fluida secara langsung atau *Direct Numerical Simulation* (DNS), memodelkan ukuran-ukuran turbulensi/eddy tertentu atau *Large Eddy Simulation* (LES), atau menghitung nilai rata-rata dari nilai fluktuasi aliran dengan *Reynold Averaged Navier-Stokes* (RANS). Salah satu yang paling umum digunakan dalam permodelan sehari-hari karena memiliki keunggulan berupa *effort* komputasi yang relatif rendah namun masih cukup akurat adalah RANS dengan berbagai macam pilihan, diantaranya yang paling terkenal dan akan kita bahas adalah  $k$ - $\epsilon$ ,  $k$ - $\omega$ , dan  $k$ - $\omega$  SST (*shear stress transport*).

### 1. Turbulensi $k$ $\epsilon$

Model  $k$ - $\epsilon$  terdiri atas dua persamaan transport, yaitu satu untuk energi kinetik turbulen ( $k$ ) dan satu lagi untuk laju dissipasi turbulen ( $\epsilon$ ). Energi kinetik turbulen ( $k$ ) menggambarkan intensitas turbulensi, sedangkan  $\epsilon$  menunjukkan seberapa cepat energi tersebut hilang akibat efek viskositas. Kedua persamaan ini memungkinkan model untuk menghitung viskositas turbulen, yang selanjutnya digunakan dalam persamaan momentum. Dengan kata lain, model  $k$ - $\epsilon$  mampu memperkirakan distribusi kecepatan

dan tekanan pada aliran turbulen tanpa harus memecahkan fluktuasi kecepatan secara langsung. Model turbulen RNG k-ε merupakan perbaikan dari metode k-ε STD. Model RNG k-ε menggunakan bentuk persamaan yang digunakan sama dengan metode STD k-ε, namun memiliki beberapa pengembangan dari metode STD k-ε. Pengembangan tersebut meliputi:

- 1). Pada model RNG k-ε terdapat besaran tambahan pada persamaan laju disipasi (Epsilon), sehingga mampu meningkatkan akurasi untuk aliran yang terhalang secara tiba-tiba.
- 2). Model RNG k-ε menyertakan efek putaran pada turbulensi dalam perhitungan, sehingga meningkatkan akurasi pada jenis aliran yang berputar (swirling flow).
- 3). Model RNG k-ε menyediakan formulasi untuk bilangan Reynolds rendah, sedangkan model standard hanya menyediakan untuk bilangan Reynolds tinggi.
- 4). Terdapat formulasi analitis untuk bilangan Prandtl turbulen, sementara model STD k-ε menggunakan nilai bilangan Prandtl konstan. Energi kinetik dan laju disipasi didapatkan dari persamaan transport.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{u_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - p\epsilon - Y_M + S_K \dots \dots (2.6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} + \\ &(G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \dots \dots \dots (2.7) \end{aligned}$$

Dimana  $G_k$  adalah energi kinetik turbulen akibat gradien rata-rata kecepatan,  $G_b$  adalah energi turbulen akibat daya apung (*buoyancy*),  $Y_M$  adalah kontribusi fluktuasi dilatasi pada turbulensi kompressibel terhadap laju disipasi secara keseluruhan,  $C_{1\epsilon}$ ,  $C_{2\epsilon}$  dan  $C_{3\epsilon}$  adalah konstanta,  $\sigma_k$  dan  $\sigma_\epsilon$  adalah nomor turbulensi Prandtl untuk  $k$  dan  $\epsilon$ ,  $S_K$  dan  $S_\epsilon$  adalah parameter input yang ditentukan oleh pengguna

## 2. Turbulensi K- $\omega$

Dalam analisis aliran turbulen menggunakan CFD, pemodelan turbulensi dengan pendekatan k- $\omega$  (k-omega) merupakan salah satu metode yang cukup populer dan efektif, terutama untuk menangani aliran yang kompleks di dekat dinding (*near-wall flow*). Model ini termasuk dalam kategori model RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) yang menggunakan pendekatan dua persamaan transport, yaitu untuk energi kinetik turbulen (k) dan frekuensi disipasi spesifik turbulen ( $\omega$ ). Variabel  $\omega$  menggambarkan laju peredaman energi turbulen per satuan energi kinetik, sehingga secara fisik berkaitan dengan skala waktu turbulen.

Dalam analisis aliran turbulen menggunakan CFD, pemodelan turbulensi dengan pendekatan k- $\omega$  (omega) merupakan salah satu metode yang cukup populer dan efektif, terutama untuk menangani aliran yang kompleks di dekat dinding (*near-wall flow*). Model ini termasuk dalam kategori model RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) yang menggunakan pendekatan dua persamaan transport, yaitu untuk energi kinetik turbulen (k) dan frekuensi disipasi spesifik turbulen ( $\omega$ ). Variabel  $\omega$  menggambarkan laju peredaman energi turbulen per satuan energi kinetik, sehingga secara fisik berkaitan dengan skala waktu turbulen.

Model k – omega yang terdapat pada FLUENT merupakan model berdasarkan model Wilcox k –  $\omega$  yang memasukkan beberapa modifikasi untuk menghitung efek aliran pada bilangan Reynolds rendah, kompresibilitas dan penyebaran aliran geser (*shear flow*) [3]. Untuk pemodelan turbulence kinetic energy dan specific dissipation rate didapatkan dari persamaan berikut.

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + U_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} - \beta^* k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (v + \sigma^* v_T) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] \dots \dots \dots (2.8)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial x_j} + U_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \alpha \frac{\omega}{k} \tau_{ij} \frac{\partial U_j}{\partial x_j} - \beta \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (v + \sigma v_T) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] \dots \dots \dots (2.9)$$

### 3. K- $\omega$ (SST)

Dalam pemodelan turbulensi menggunakan CFD, model k-omega SST (*Shear Stress Transport*) merupakan salah satu model turbulensi yang paling banyak digunakan karena mampu memberikan prediksi yang akurat untuk berbagai jenis aliran, terutama yang melibatkan interaksi aliran dengan permukaan padat, gradien tekanan tinggi, dan separasi aliran. Model ini dikembangkan oleh Menter sebagai penggabungan dari kelebihan dua model dua-persamaan yang populer, yaitu model k- $\epsilon$  dan model k- $\omega$ , guna mengatasi kelemahan masing-masing model pada domain aliran tertentu.

Model k-  $\omega$  SST mengandalkan dua persamaan transport: satu untuk energi kinetik turbulen (k) dan satu untuk frekuensi peredaman spesifik ( $\omega$ ). Keunggulan utamanya terletak pada strategi blending yang digunakannya. Di dekat dinding, model ini menggunakan formulasi k- $\omega$ , yang dikenal mampu memodelkan lapisan batas dengan sangat baik tanpa perlu menggunakan fungsi dinding. Sementara itu, di daerah aliran bebas (*freestream*), model ini bertransisi ke model k- $\epsilon$ , yang lebih tahan terhadap pengaruh kondisi batas dan lebih stabil secara numerik di luar zona dinding.

Salah satu aspek penting dari model SST adalah dimasukkannya efek transport tegangan geser (*shear stress transport*) ke dalam formulasi. Hal ini menjadikan model ini lebih mampu memprediksi awal mula separasi aliran (*flow separation*) secara akurat, terutama pada aliran yang mengalami perubahan arah atau bentuk geometri yang tajam, seperti pada sayap pesawat, diffuser, atau sudu turbin. Oleh karena itu, model ini sangat disarankan untuk digunakan dalam aplikasi teknik yang melibatkan aerodinamika, perpipaan kompleks, mesin turbin, *heat exchanger*, dan sistem HVAC.

Sementara itu, dalam model SST  $k-\omega$  banyak digunakan dalam simulasi aliran yang membutuhkan akurasi tinggi di dekat dinding dan aliran turbulen yang lebih kompleks. Persamaan model SST  $k-\omega$  diuraikan.

$$\frac{\partial}{\partial t}(p\omega) + \frac{\partial}{\partial x_j}(p\omega u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + G_\omega - \rho \beta^* \omega^2 + S_\omega \dots \dots (2.10)$$

Dimana  $G_\omega$  adalah pembangkitan  $\omega$  akibat gradien kecepatan,  $\beta^*$  adalah konstanta yang mengatur disipasi,  $\sigma_\omega$  adalah bilangan Prandtl turbulen untuk  $\omega$  dan  $S_\omega$  adalah suku sumber yang didefinisikan oleh pengguna

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat Penelitian

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

#### 3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan–tahapan yang dilakukan dilakukan:

##### 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 2023 dan ANSYS Fluent dengan spesifikasi .

a) Hardware yang dibutuhkan untuk spesifikasi

- AMD Ryzen 5 2200U @2.5 GHz

- RAM 16 GB

- Radeon Vega 3 Graphic 1024 MB

b) Perangkat Lunak

- ANSYS R2021 R1Fluent

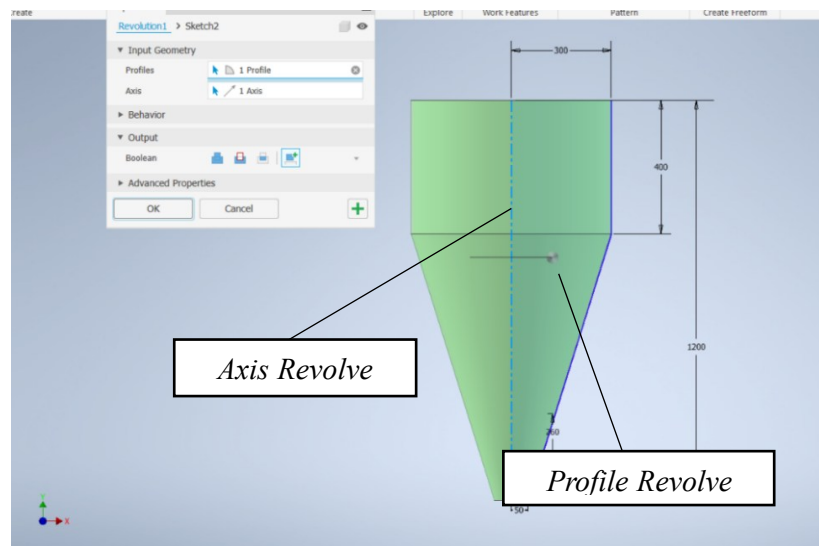
- Autodesk Inventor 2023

- Y+ Calculator

### 3.2.3. Geometri Tangki Sirkulasi dan Turbin

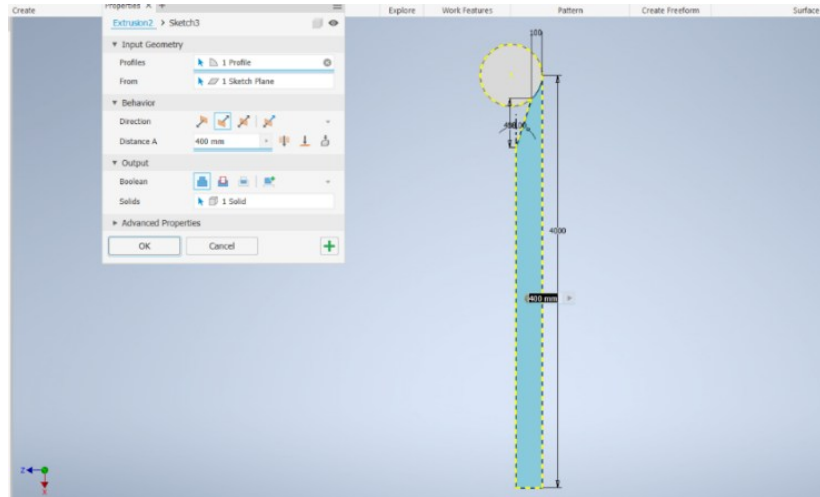
Desain tangki sirkulasi kerucut dengan sudu pengarah digunakan sesuai dengan rekomendasi Wanchat dan Suntivarakorn dan Dhakal et.al serta jurnal penelitian Abdullah. dkk.,2022 karena berpengaruh tangki sirkulasi dengan berbentuk kerucut lebih tinggi effisiensinya dibanding dengan tangki sirkulasi berbentuk silinder. Model Desain tangki sirkulasi berbentuk kerucut menggunakan software Autodesk *Inventor* dengan dimensi conical diameter 60 cm, tinggi conical 105 cm, lebar *inlet* sebesar 25cm, *inlet notch* 18°, panjang saluran adalah 4 m dan outlet tangki sirkulasi 10 cm . Adapun proses pembuatan geometri conical basin dan saluran yaitu:

1.Membuat desain conical pada untuk membuat pemodelan simulasi unjuk kerja turbin *vortex*. 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 3. 1 Geometri tangki sirkulasi dan fitur *Revolve*

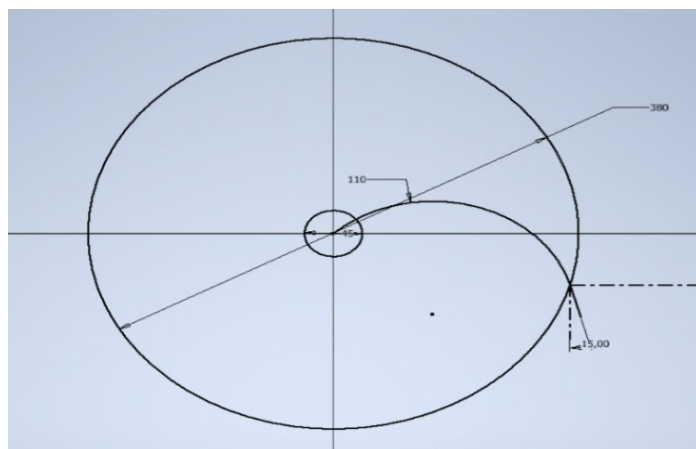
2. Kemudian membuat kanal pada turbin *vortex* yang akan disimulasikan yang di *extrude* ke bawah sepanjang 400 mm.



Gambar 3. 2 Desain saluran dengan *Extrude*

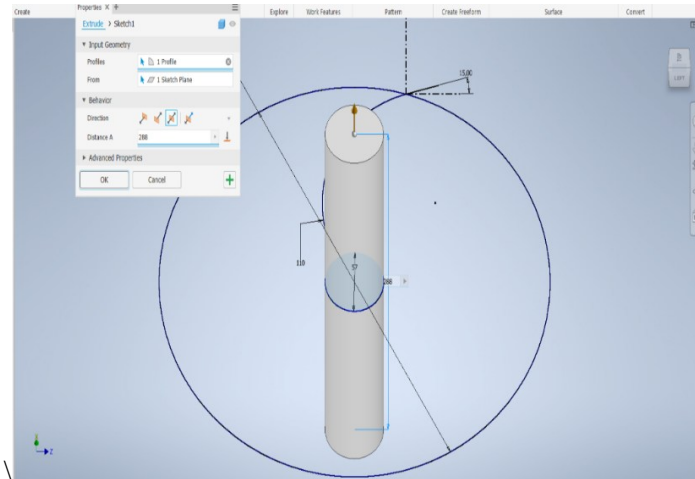
Setelah dibuat tangki sirkulasi dan juga saluran pada sistem pengujian turbin pusanan air (*vortex*) selanjutnya adalah mendesain geometri dari turbin yang akan disimulasikan.

1. Membuat dimensi poros dan juga radius sudu turbin menggunakan line dan circle pada fitur Autodesk Inventor.



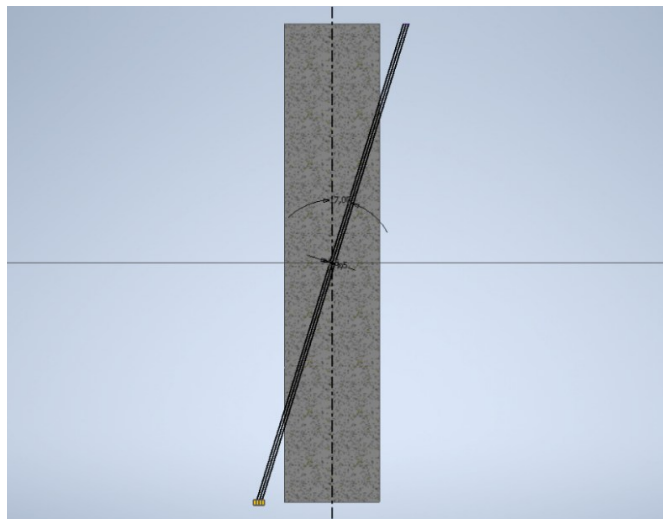
Gambar 3. 3 Geometri poros dan radius sudu

2. *Extrude* bagian tengah lingkaran dalam pada geometri yang sudah di desain yang merupakan Hub dari turbin pusaran air (*vortex*). Hub adalah tempat diletakkan sudu turbin pusaran air (*vortex*). Tinggi hub turbin adalah 288 mm.



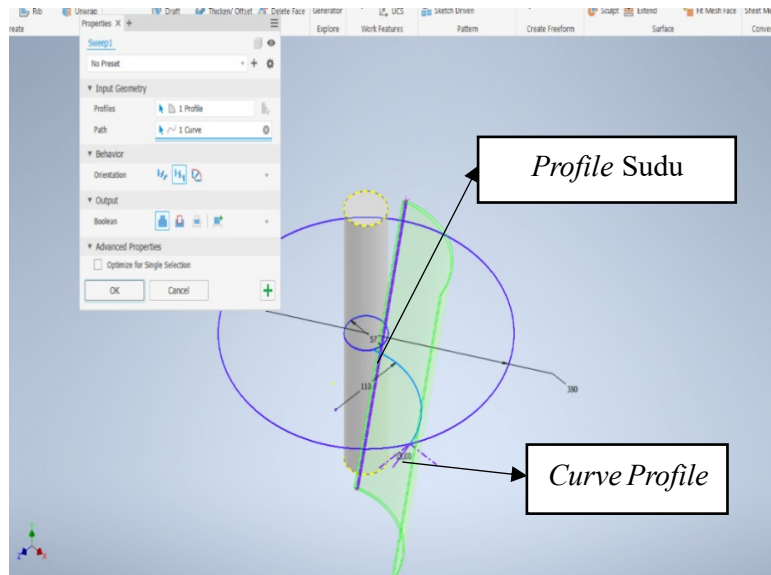
Gambar 3. 4 Desain hub pada turbin pusaran air (*Vortex*).

3. Kemudian, membuat kemiringan sudu turbin dengan dengan ketebalan 3 mm dengan derajat kemiringan adalah 17 derajat.



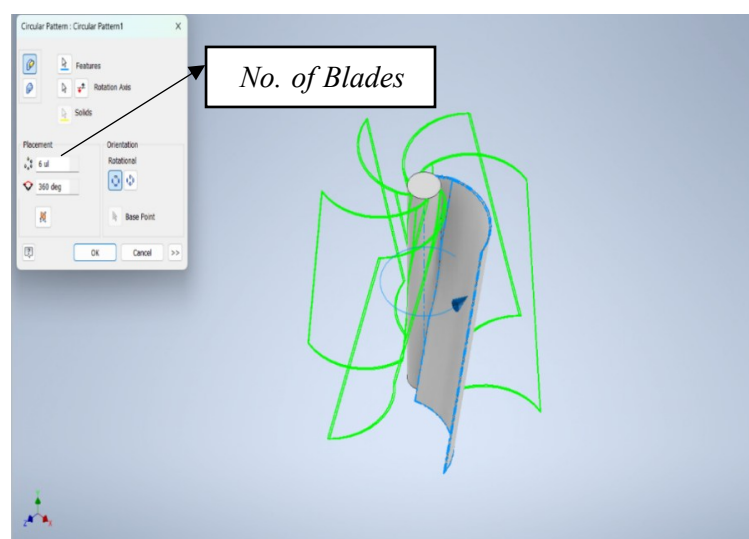
Gambar 3. 5 Desain ketebalan turbin dan derajat kemiringan

4. Pada fitur *sweep profile* adalah bagian pada tengah Hub turbin dan *curved* pada sketch pada Gambar 3.6.



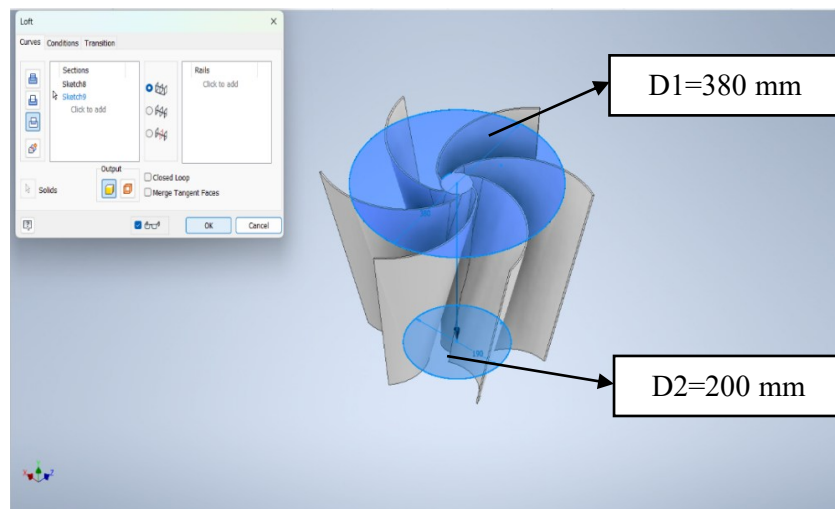
Gambar 3. 6 Sweep sudu turbin dengan *Curve Profile*

5. Setelah satu sudu turbin jadi kemudian *circular pattern* sudu yang sudah di desain dengan *number pattern* 6 karena menggunakan *number of blades* 6.



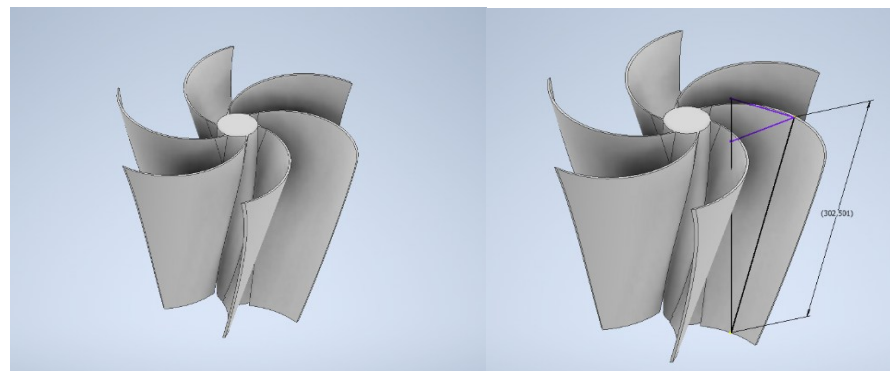
Gambar 3. 7 *Circular Pattern* untuk desain jumlah sudu

6. Setelah di circular pattern kemudian menentukan diameter atas dan juga menentukan diameter bawah karena bentuk turbin berbentuk kerucut karena menyesuaikan dengan bentuk dengan conical basin. Untuk diameter atas (D1) adalah 380 mm dan diameter bawah (D2) 200 mm dengan menggunakan fitur *loft intersect* agar turbin berbentuk conical.



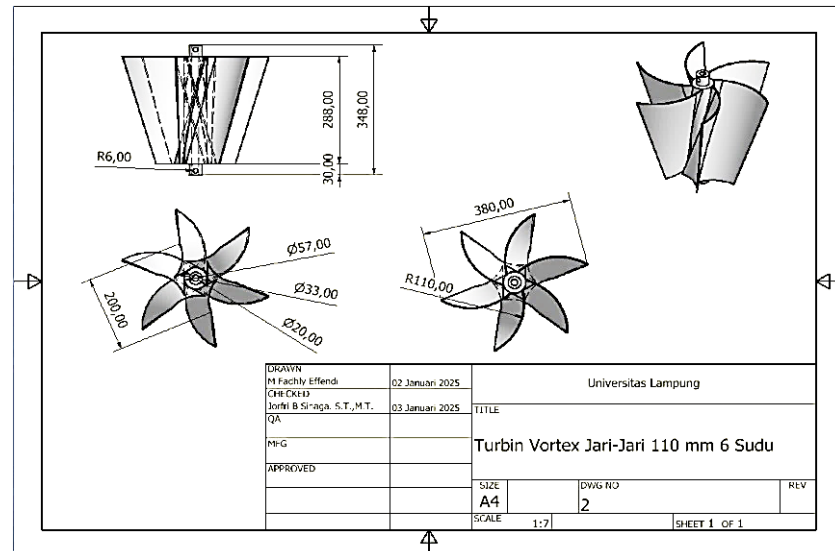
Gambar 3. 8 Fitur *Loft Intersect* pada turbin pusaran air (*Vortex*)

7. Dengan menggunakan 3D sketch kita bisa melihat total panjang chord line pada turbin *vortex*. Setelah, itu maka turbin akan disimulasikan dengan menggunakan Ansys 2021 R2



Gambar 3. 9 Turbin *Vortex* yang akan disimulasikan

8. Membuat gambar teknik untuk melihat detail gambar yang sudah selesai di sketch pada Autodesk Inventor



Gambar 3. 10 Gambar teknik turbin pusaran air (*Vortex*)

### 3.3.3. Proses simulasi

permodelan simulasi lalu 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.

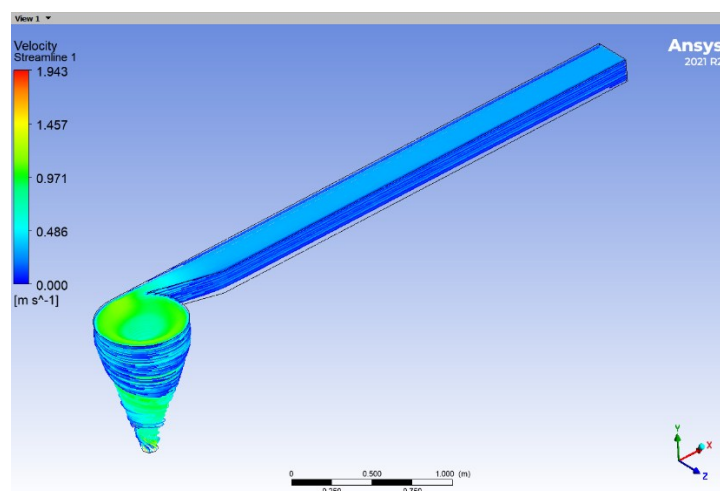
Simulasi ini dilaksanakan dengan program *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS *Fluent* 2021 R2. Tahapan dalam proses simulasi ini terbagi menjadi 3, yaitu *Pre-Processor*, *Solver*, dan *Post-Processor*.

#### a) *Pre-Processing*

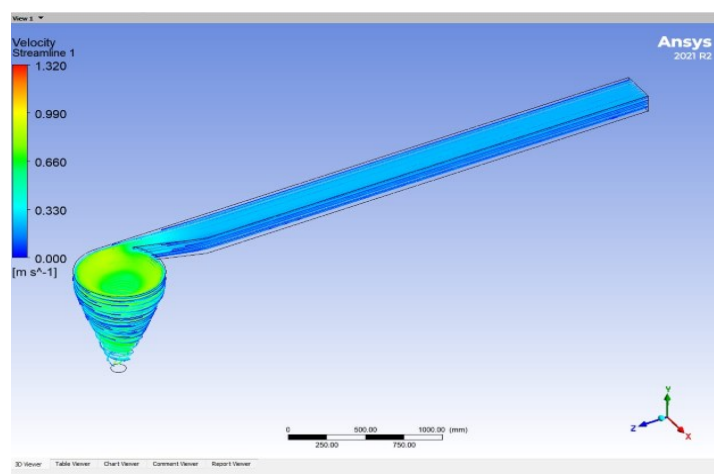
Tahap ini terbagi menjadi dua bagian secara umum yaitu mendesain geometri reaktor dan biomassa, kemudian melakukan proses pembagian elemen dari geometri menjadi bagian-bagian kecil atau sering disebut dengan *meshing*.

### 1. Proses *Import* Geometri

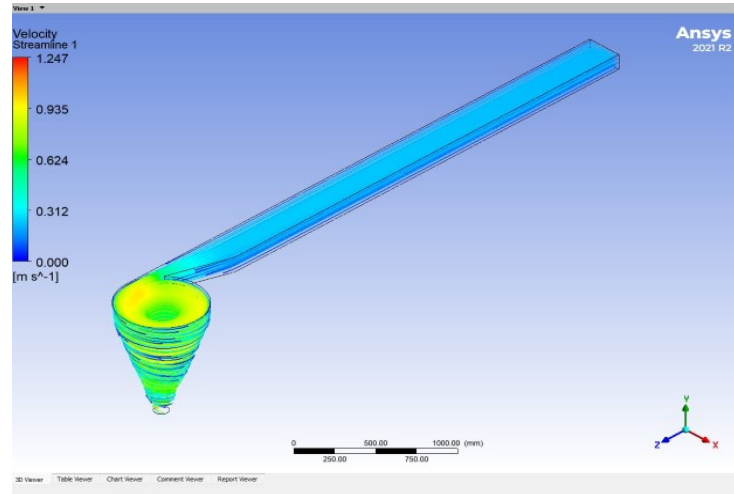
Sebelum geometri di simulasi perlu pengambilan data di laboratorium mekanika fluida terlebih dahulu untuk kondisi batas pada simulasi yang dilakukan untuk variasi 3 debit kecepatan aliran.. Hasil dibawah ini akan dilakukan simulasi untuk mengetahui unjuk kerja turbin pusaran air (*vortex*). Nilai kecepatan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



Gambar 3. 11 *Streamline* debit aliran 648,1 l/mnt



Gambar 3. 12 *Streamline* debit aliran 632,2 l/mnt



Gambar 3. 13 *Streamline* 530,2 l/mnt

Berdasarkan dari *streamline* pada simulasi tersebut kita memasukkan data kecepatan fluida pada tangki sirkulasi untuk menentukan nilai Reynold 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 bilangan Reynold dari tiap aliran kita harus mencari diameter hidraulik dari tiap aliran dengan data sebagai berikut:

$$D_h = \frac{2*a*b}{a+b} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana, a adalah tinggi permukaan (m), b adalah lebar penampang dan Dh adalah diameter hidraulik

Setelah di dapat diameter hidraulik untuk setiap tinggi aliran, nilai diameter hidraulik yang sudah di dapat kemudian dirumuskan kedalam bilangan Reynold.

$$Re = \frac{\rho v D_h}{\mu} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana  $\rho$  adalah massa jenis fluida ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $v$  adalah kecepatan aliran,  $D_h$  adalah diameter hidraulik dan  $\mu$  adalah viscositas kinematik fluida ( $\text{kg}/\text{ms}$ ), berikut adalah tabel untuk nilai Reynold pada setiap debit.

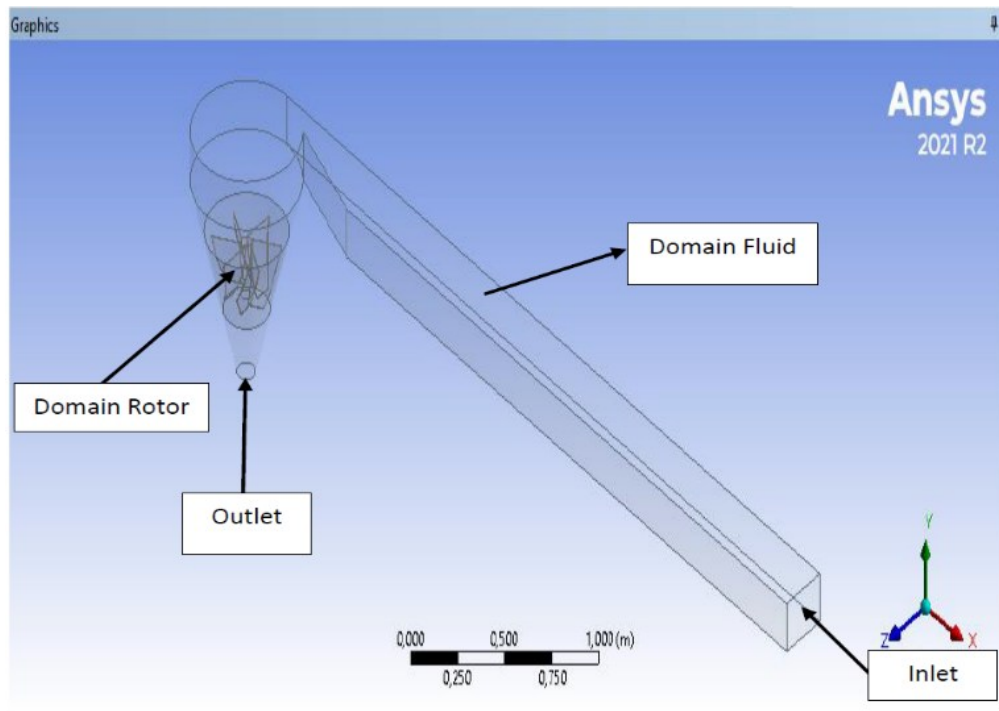
Tabel 3.1 Bilangan Reynold Number Pada Tiap Aliran

No	Debit	Re Number
1	0,0088	54747,78623
2	0,0105	59295,42869
3	0,0108	59093,65943

Kemudian untuk input setup kita menggunakan data pengujian yang telah dilakukan oleh (Effendy,2025) berupa data kecepatan aliran pada saluran turbin pusaran air (*vortex*).

Tabel 3.2 Nilai debit dan kecepatan aliran

No	Luas Penampang Aliran( $\text{m}^2$ )	$\Delta t(\text{s})$	Kecepatan Aliran( $\text{m}/\text{s}$ )	Debit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
1	0,03	4,526	0,294	0,0088
2	0,035	3,796	0,301	0,0105
3	0,04	3,703	0,270	0,0108

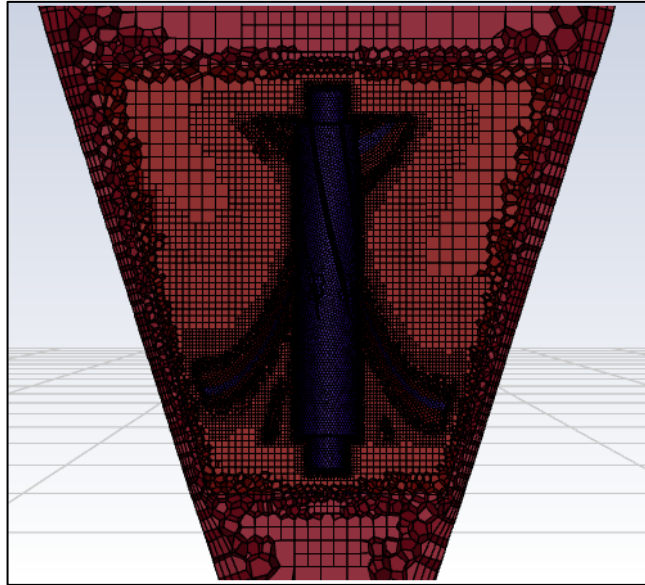


Gambar 3. 14 *Boundary Condition* pada turbin pusaran air (*Vortex*)

Gambar 3.14 merupakan Geometri tangki sirkulasi terdiri dari domain fluida dan domain rotor dan diberi kondisi batas setelah dibentuk dalam bentuk tiga dimensi. Selanjutnya akan dilakukan proses *meshing* pada geometri.

## 2. *Meshing*

Geometri *solid* dan *fluid* yang telah terbentuk kemudian akan dilakukan proses *meshing*. 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 3. 15 Proses *meshing* pada tangki sirkulasi

Pada tahap *meshing*, setiap bagian geometri harus diberi nama untuk penentuan kondisi batas, seperti *top surface*, *fluid domain*, *wall turbin*, *wall*, *interface stationary*, *interface rotation domain*, *inlet*, dan *outlet*. Jenis mesh yang umum digunakan meliputi hexahedral yang memiliki stabilitas numerik dan konvergensi baik, tetrahedral yang lebih fleksibel untuk geometri kompleks namun kurang stabil, serta polyhedral yang menggabungkan keunggulan keduanya dengan jumlah sel lebih efisien. Pada daerah dengan gradien tinggi, seperti dekat dinding dan sudu turbin, diperlukan mesh yang lebih halus atau penambahan *inflation layer* untuk menangkap efek viskositas. Kualitas mesh juga dievaluasi melalui parameter seperti *skewness* dan *orthogonality*, karena nilai yang buruk dapat menyebabkan kesalahan perhitungan atau konvergensi lambat.

Pada simulasi ini, digunakan *face sizing* sebesar 0,005 m pada *Wall\_Turbine* dan *body sizing* sebesar 0,02 m pada domain turbin. Metode *meshing* yang diterapkan adalah *Poly-Hexcore* dengan ukuran maksimum 0,06 m dan minimum 0,003 m, serta telah memenuhi target *orthogonality*. Selain itu, ditambahkan *layer* pada *wall canal*, *wall conical basin*, dan *wall turbin vortex* untuk meningkatkan akurasi hasil simulasi.

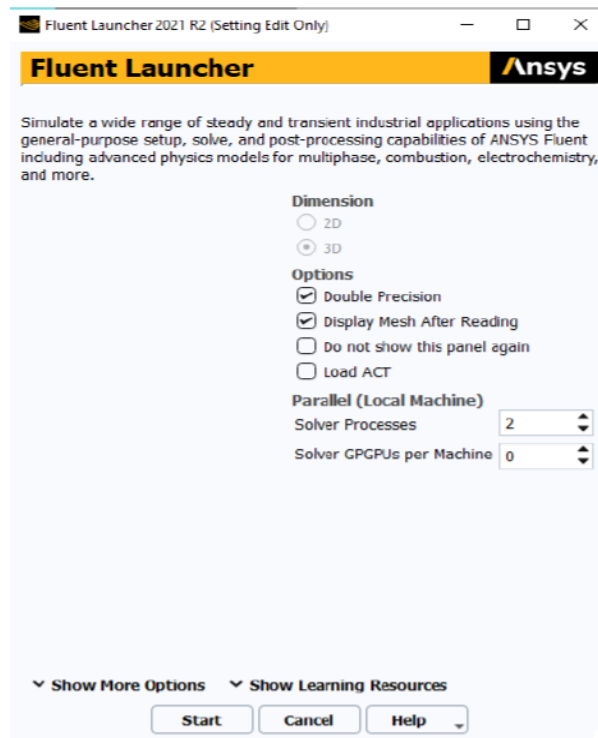
Tabel 3.3 Parameter Mesh

No	Bentuk Mesh	Target/Ukuran Mesh	Lokasi Penerapan	Keterangan
1	<i>Poly-Hexcore</i>	0,005 m	<i>Wall_Turbine</i>	Ukuran mesh halus pada permukaan turbin
2		0,02 m	<i>Domain_Turbin</i>	Ukuran mesh pada volume fluida
3		Max : 0,06 m Min : 0,003 m	<i>All Domain</i>	Kombinasi polyhedral dan hexahedral
4			<i>Wall Canal,</i> <i>Wall Connical,</i> <i>Wall Turbine</i>	Menangkap efek viskositas di boundary layer

Tabel 3.4 Kualitas Mesh Pada Turbin Vortex

No	Debit	Skewness	Orthogonal Quality
1	0,0088	0.723	0.275
2	0,0105	0.719	0.281
3	0,0108	0.701	0.284

### 3. Solver



Gambar 3.16 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*. Tahap *Solver* ini dari gambar 3.9 merupakan menu *Setup*.

#### 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. Setiap tinggi aliran memiliki tiga variasi kecepatan aliran yang disesuaikan dengan variasi debit. Untuk variasi kecepatan ada 3 variasi yaitu ini 0.30 m/s pada debit 648,1 l/mnt, 0.29 pada debit 632,2 l/mnt dan 0.27 m/s pada debit 530,2 l/mnt selengkapnya ditampilkan pada tabel 3.4.

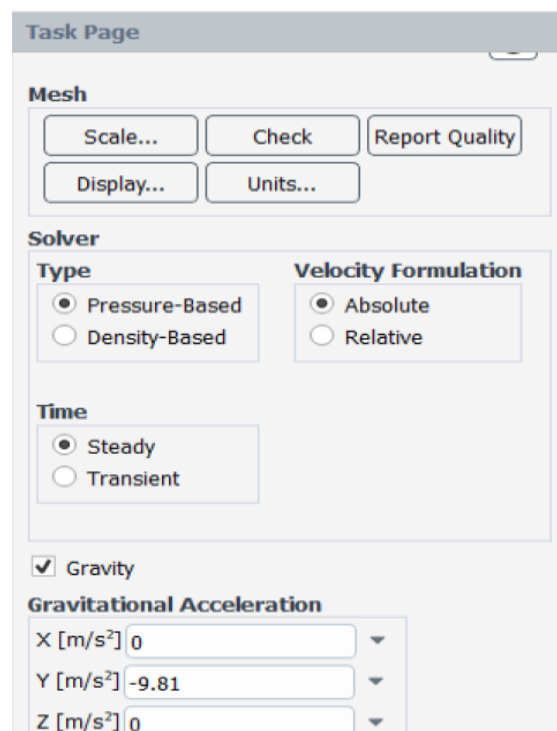
Tabel 3.5 Nilai kondisi batas yang akan diinput

<b>Kondisi Batas</b>	<b>Jenis Kondisi Batas</b>	<b>Nilai</b>
<i>Inlet</i>	<i>Velocity-Inlet</i>	0.30 m/s (divariasikan berdasarkan debit aliran)
<i>Outlet</i>	<i>Pressure-Outlet</i>	0 Pa
<i>Top_Surface</i>	<i>Pressure-Inlet</i>	101325 Pa
<i>Wall</i>	<i>Wall</i>	-
<i>Wall_Turbine</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

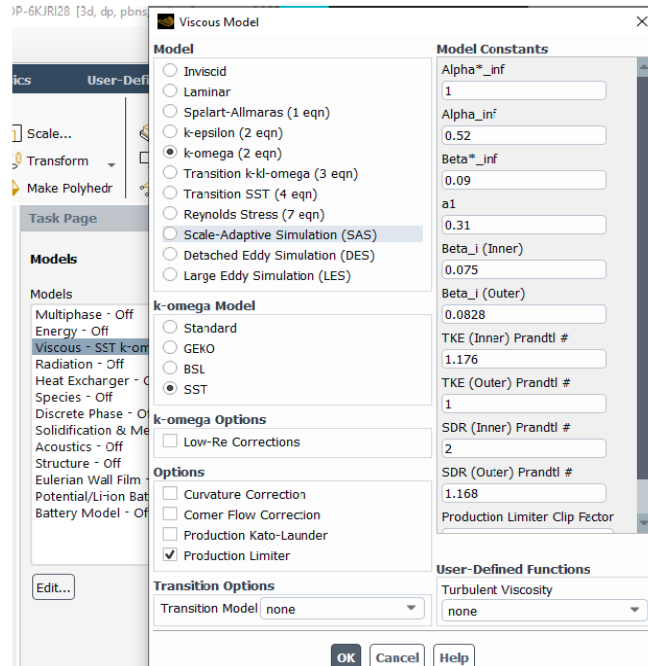
simulasi ansys *fluent* ini dengan menseting *display* untuk tampilan geometri yang disesuaikan dengan kebutuhan simulasi, pada opsi *check* diperuntukkan menganalisa ulang hasil *meshing* yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya agar diketahui seberapa detail *meshing* yang telah dibuat, kemudian *report quality* setelah memilih opsi *check* agar analisa geometri sebelumnya tampil pada *console*.



Gambar 3. 16 General Menu

c) *Models menu*

Pada *models menu* ada beberapa opsi yang dapat dipilih, namun pada simulasi ini hanya menggunakan satu opsi saja. Pertama opsi *viscous*. opsi viskositas diubah dari aliran  $k-\epsilon$  menjadi  $k-\omega$  SST, hal ini dilakukan model  $k-\omega$  sangat berpengaruh pada *near wall turbine* yang ada di sekitar *connical*.



Gambar 3. 17 Models Menu

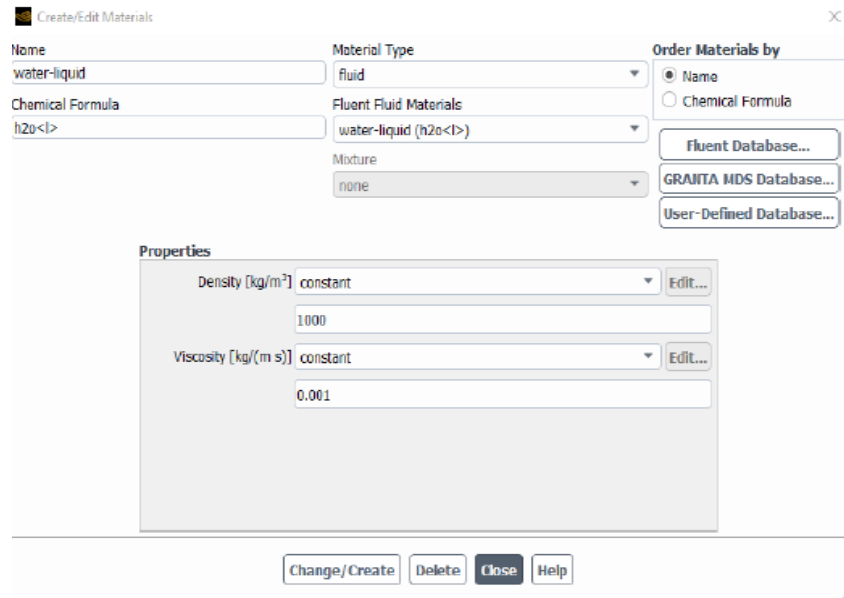
#### d) *Materials menu*

Materials 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 padatan pada komponen turbin seperti poros, sudu, atau dinding saluran juga dapat ditentukan jika diperlukan analisis interaksi fluida-struktur. Dengan mengatur material secara

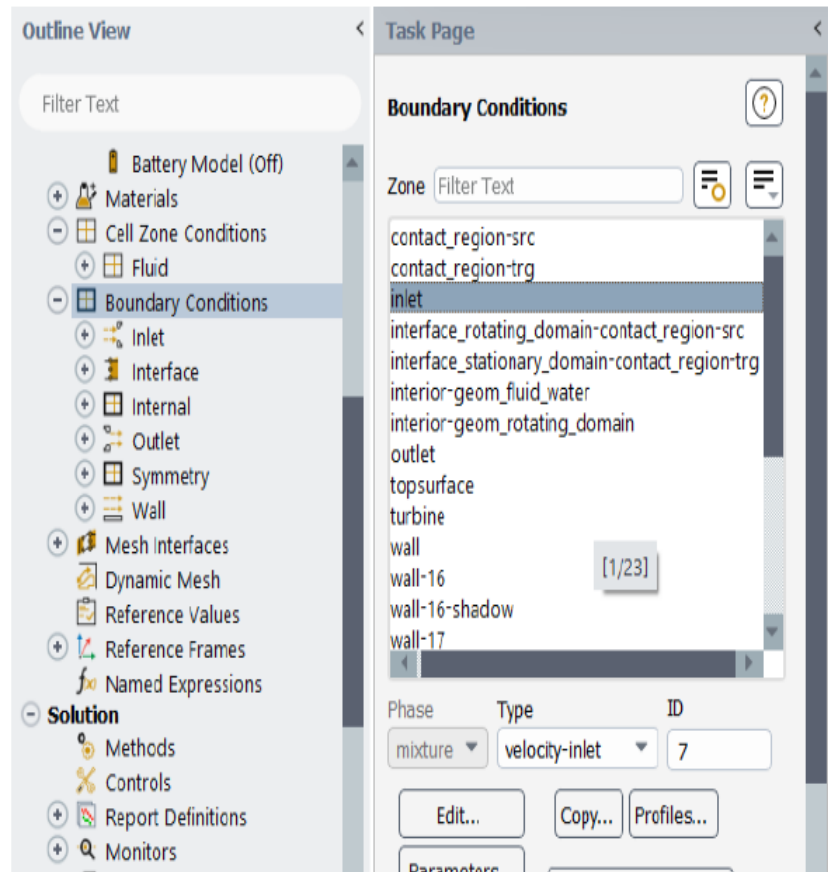
tepat, proses simulasi akan lebih akurat dalam merepresentasikan kondisi nyata, sehingga hasil perhitungan seperti kecepatan aliran, tekanan, dan torsi dapat mencerminkan performa sistem secara menyeluruh.



Gambar 3. 18 *Cell Zone* Menu

f) *Boundary Condition* Menu

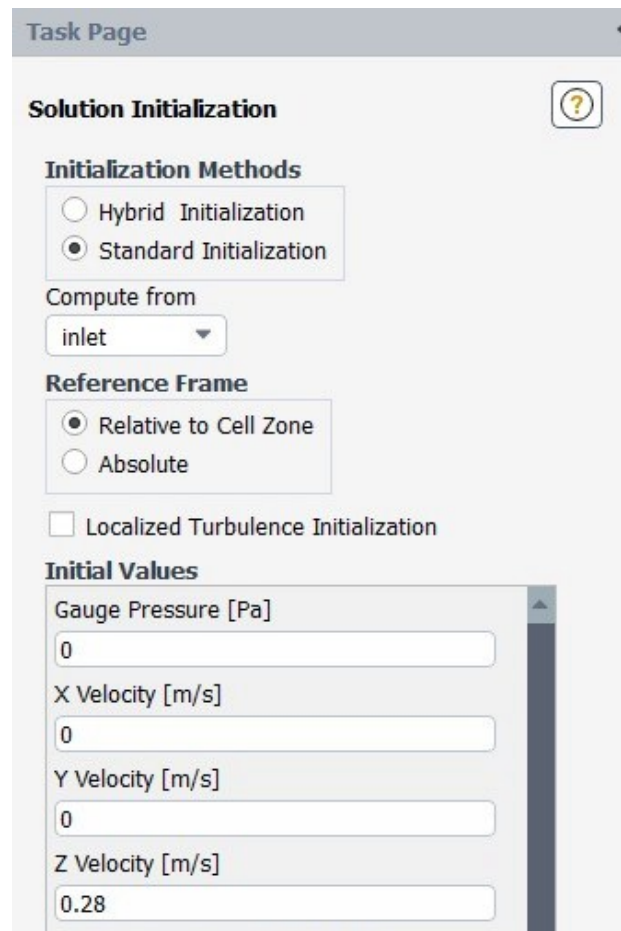
Pada menu ini merupakan bagian yang sangat penting karena pada bagian ini mengatur kecepatan fluida *water liquid*. Penelitian ini menggunakan tekanan konstan pada tinggi. Pada menu ini juga mengatur variasi laju aliran kecepatan yang mengalir masuk ke sistem turbin sebesar 101325 Pa. outlet fluida menggunakan 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 3. 19 *Boundary condition* menu

#### h) *Initialization* Menu

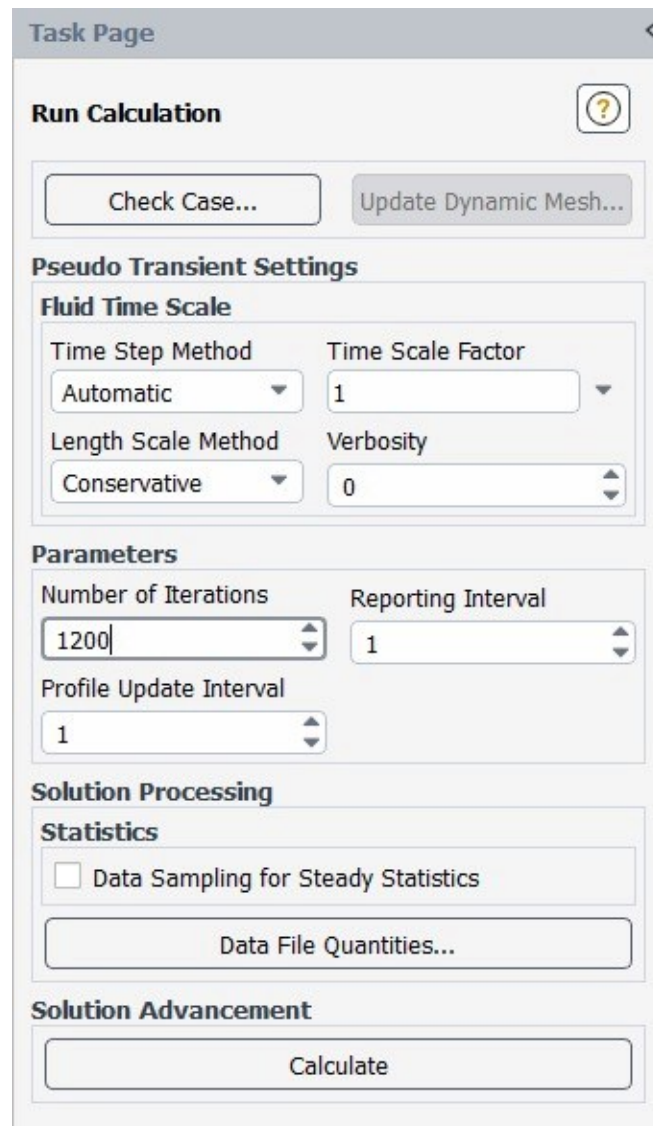
*Initialization* merupakan tahap mengisi nilai dugaan awal ke setiap sel-sel mesh. Pada dasarnya nilai ini bebas, mau berapapun tidak masalah, karena seiring berjalannya iterasi nilai-nilai tersebut akan menyesuaikan dengan *equilibrium governing equations*. Namun nilai dugaan awal yang terbaik, adalah yang mendekati solusi, agar simulasi cepat dan mudah *konvergen*. Intialization di compute pada all zones untuk melihat nilai dugaan dan bisa diubah jika kurang sesuai dengan perhitungan.



Gambar 3. 20 *Initialization* menu

i) Run Calculation Menu

Kalkulasi pada simulasi CFD sifatnya iterative. Komputer akan menyesuaikan nilai-nilai di dalam sel agar memenuhi *equilibrium*. Semakin banyak iterasi, semakin membuka peluang dan memberi komputer waktu untuk mendapatkan solusi yang memenuhi *equilibrium*.

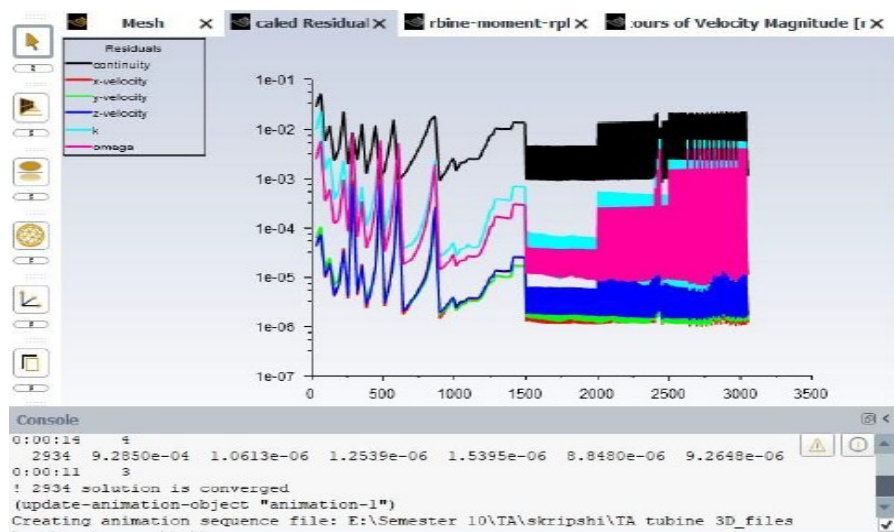


Gambar 3. 21 *Run Calculation* Menu

j) *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, Navier-Stokes juga memiliki nilai *residual*. Berarti setidaknya ada 6 residual yang dihitung. Untuk mempermudah cek *residuals*, idealnya kita perlu memonitor nilai-nilai tersebut dalam bentuk grafik

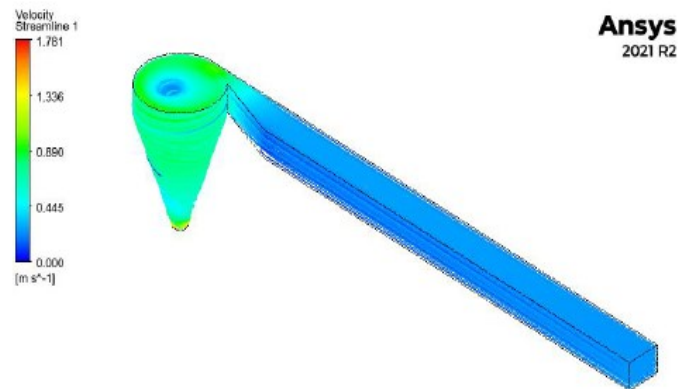
saat proses iterasi berlangsung. Biasanya konvergensi tercapai jika grafik residual terus menurun sampai batas yang ditentukan. Simulasi CFD melibatkan proses non-linier yang berkorelasi dengan fenomena yang tidak stabil secara inheren seperti turbulensi. Software CFD bertujuan untuk menyimulasikan proses 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 3. 22 Grafik Residual

### k) Post -Processing

Pada menu ini hasil simulasi dapat diambil dalam bentuk data grafik dan kontur yang akan ditampilkan. *Post-processing* adalah menu *result* yang dapat dilihat pada gambar 3.24 adalah *Result Menu* ini merupakan bentuk 3D dari turbin *vortex* dimana kecepatan fluida berwarna biru setelah itu fluida meningkat berwarna kuning dan *outlet fluida* berwarna merah



Gambar 3. 23 Hasil simulasi berupa Kontur streamlined 3D

### 3.3.4 Validasi

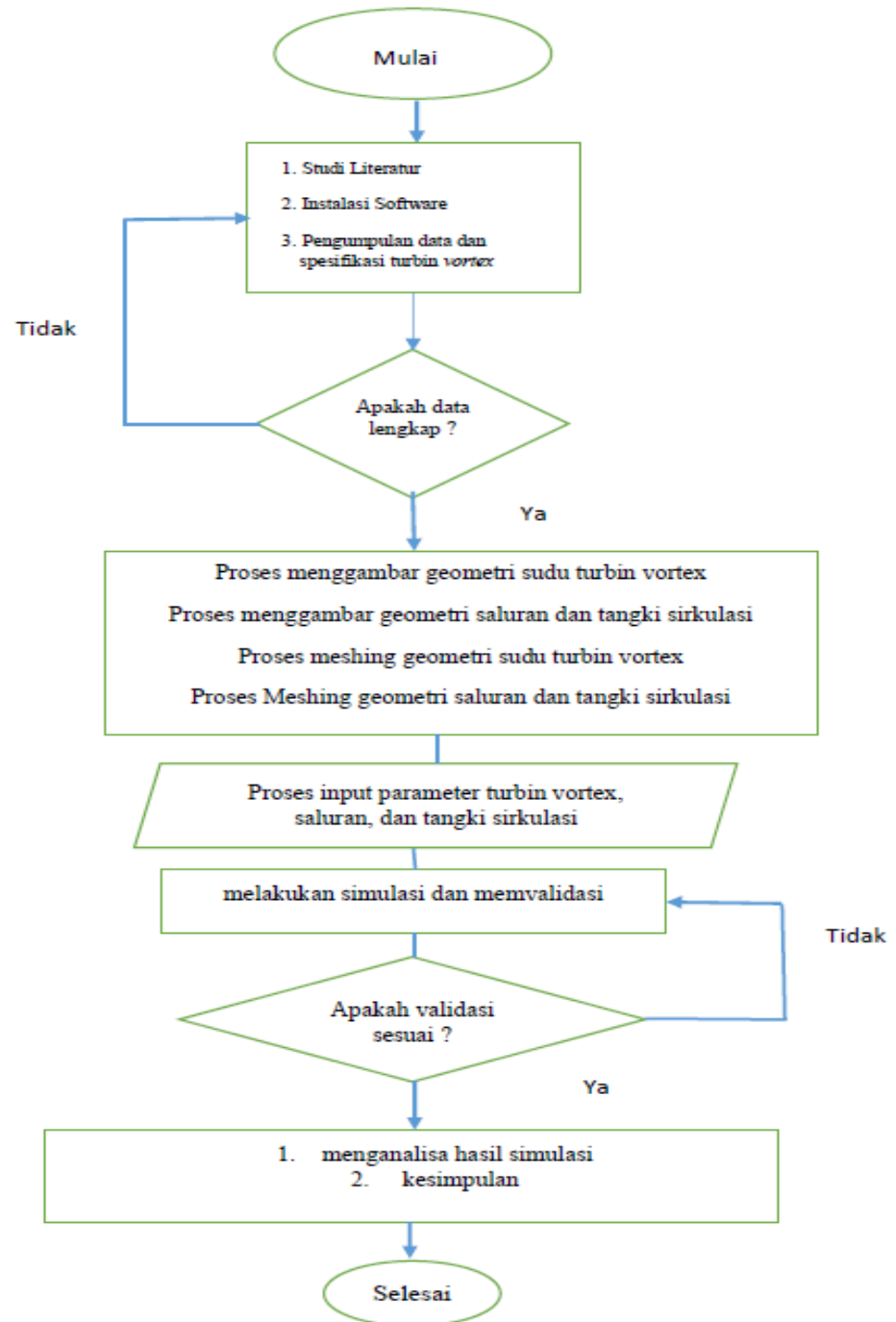
Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil yang di peroleh secara simulasi terhadap hasil yang diperoleh secara pengujian dilaboratorium mekanika fluida. setelah dilakukan pengujian oleh (Effendy, 2025).

Tabel 3.5 Data Hasil Pengujian Eksperimen

No	Debit (m <sup>3</sup> /s)	$\omega$ (rpm)	Head <i>Vortex</i> (m)	Torsi (Nm)	Effisiensi (%)
1	0,008836524	147,300	0,7	0,000	0,000
		134,300	0,7	0,610	14,129
		44,800	0,7	0,991	7,659
		0,000	0,7	0,914	0,000
2	0,010535558	153,200	0,8	0,000	0,000
		146,600	0,8	0,610	11,319
		136,700	0,8	0,991	17,151
		71,200	0,8	1,448	13,056
		0,000	0,8	2,972	0,000
3	0,01080108	0,000	0,8	0,000	0,000
		0,305	0,8	0,305	6,040
		1,067	0,8	1,067	19,676
		1,524	0,8	1,524	26,471
		2,286	0,8	2,286	29,738
		2,210	0,8	2,210	10,974
		2,134	0,8	2,134	0,000

### 3.3. Diagram Alir

Berikut adalah diagram alir pada penelitian pada penelitian ini



Gambar 3.25 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* dengan dimensi turbin adalah dengan tinggi 28,8 cm dengan kemiringan sudu turbin  $18^{\circ}$  dengan jumlah 6 sudu.
2. Nilai variasi debit aliran 648,1 l/mnt nilai kecepatan di sepanjang tangki sirkulasi mendapatkan nilai 3,153 m/s. Untuk nilai debit aliran 632,2 l/mnt mendapatkan nilai 3,089 m/s di sepanjang tangki sirkulasi dan nilai variasi debit aliran 530,2 l/mnt dihasilkan nilai 2,838 m/s disepanjang tangki sirkulasi. Yang menyebabkan kecepatan air meningkat adalah sudu pengarah pada canal yang mengarahkan pada tangki sirkulasi sehingga energi kinetik air menjadi lebih besar. Adapun fenomena pada tangki sirkulasi bahwa semakin besar debit aliran yang digunakan maka putaran air pada tangki sirkulasi akan semakin stabil efeknya menyebabkan putaran turbin semakin besar, sehingga sudu turbin mengekstrak energi air semakin maksimal. Dan dari percobaan simulasi yang telah dilakukan kemampuan tangki sirkulasi mengubah energi kinetik pada sudu pengarah dapat dikatakan sudah cukup baik karena kita ketika aliran mencapai tangki sirkulasi kecepatan aliran meningkat ketika akan menghantam sudu turbin.
3. Pada Penelitian ini hasil perbandingan putaran eksperimen dan simulasi didapatkan dengan putaran terbesar dihasilkan oleh turbin dengan variasi

debit aliran 648,1 l/mnt dengan nilai putaran eksperimen yang didapat sebesar 164,1 rpm dan nilai putaran hasil simulasi mendapatkan nilai sebesar 184,823 rpm. Untuk daya turbin antara eksperimen dan simulasi yang maksimal adalah 18,71 watt, 18,54 watt, dan 8,06 watt. Dan efisiensi yang dihasilkan oleh eksperimen dan simulasi efisiensi optimum yang didapatkan untuk variasi debit aliran 648,1 l/mnt yaitu sebesar 33,38 %, pada turbin variasi debit aliran 632,2 l/mnt yaitu sebesar 16,24 % dan untuk turbin variasi debit aliran 530,2 l/mnt sebesar 10,48 % dengan rata-rata *error* kurang dari 15% pada tiap debit aliran. Untuk debit 648,1 l/mnt sebesar 5,93 %, debit 632,2 l/m adalah 7,37 % dan debit 530,2 l/mnt 11,86 %. Hal yang menyebabkan pada debit aliran 648 l/mnt lebih baik dibandingkan dengan dua variasi debit lainnya adalah jika ditinjau pada kecepatan air yang menghantam sudu turbin lebih besar dibandingkan dengan dua variasi debit lainnya. Kemudian tekanan pada sudu turbin pada debit aliran 648,1 l/mnt lebih besar dibandingkan dua variasi debit lainnya yaitu sebesar 587,151 Pa pada area *low pressure* juga sudu turbin lebih sedikit jika dibandingkan dengan 2 debit lainnya. Karena pada debit aliran 648,1 l/mnt hanya pada poros turbin sedangkan dua debit lainnya *area low pressure* juga terdapat pada sudu turbin. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa kemampuan turbin dalam mengekstrak energi air dapat dilihat dari kecepatan air yang menghantam sudu turbin, tekanan dan luas area tekanan pada debit aliran 648,1 l/mnt lebih tinggi dibandingkan dengan dua variasi debit lainnya.

## 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. Yang berdasarkan hasil kesimpulan dapat memperbesar nilai unjuk kerja turbin pusaran air (*vortex*).
3. Penelitian ini diharapkan untuk menambahkan variasi head sistem untuk melihat performa keseluruhan turbin dan juga menambah variasi debit air yang masuk.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. F., Aziz, M. Q., & Idris, J. (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*, 99-113.
- Acharya, S., Ghimire, S. K., & Dura, H. B. (2019). Design Study of Runner for Gravitational Water Vortex Power Plant with Conical Basin. *IOE Graduate Conference, 2019-Summer*, 13 – 19.
- Adanta, D., Ibrahim, M. M., Sari, D. P., Syofii, I., & Saputra, M. A. (2022). Application of the Grid Convergency Index Method and Courant Number Analysis for Propeller Turbine Simulation. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*.
- Admiral, R. (2023). *Permodelan Unjuk Kerja Turbin Pusaran (Vortex) Untuk Model Alat Uji Pembangkit Listrik Menggunakan Software ANSYS Fluent*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Ashar, F., Hakim, M. F., & Sunaryo. (2025). Performance of Vortex Turbines in Ultra-Low-Head Hydroelectric Power Plants: A Numerical Study. *Clean Energy and Smart Technology*.
- Aspriliansyah, Pradana, I., Adiwibowo, & Heru, P. (2020). Simulasi Numerik Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin Aliran Vortex. *JTM*, 31- 40.
- Aziz, Abdul, M. Q., Idris, J., & Abdullah, M. F. (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*, 99-113.
- Canonburg. (2021 ). *ANSYS Fluent 2021 Theory Guide*. ANSYS.
- Chrismiando, D., A, B. A., & Sobirin, Y. (2014). Pengaruh Variasi Bentuk Hull Kapal Catamaran Terhadap Besar Hambatan Total Menggunakan CFD. *KAPAL*.
- Effendi, M. F. (2026). *Kajian Eksperimental Pengaruh Jari-Jari Kelengkungan Sudu Terhadap Kinerja Turbin Pusaran Air (Vortex )*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.

- Efriyasika, D., Qiram, I., & Rubiono, G. (2021). Tingkat Kekasaran Permukaan Sudu dan Sudut Input Air terhadap Unjuk Kerja Turbin Vortex. *Journal of Science and Technology*, 182-194.
- Fuad Hasan, M. B. (2020). Eksperimen Variasi Tabung Basin Silinder Pada Gravitation Water Vortex Power Plant (GWVPP) Berbasis Basin Silinder. *CYCLOTRON VOLUME 3 NOMOR 2*.
- Hakim, M. F., & Priyo Heru Adiwibowo, S. M. (2018). Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lurus Dengan Variasi Tinggi Sudu. *JTM*, 85-95.
- MA Masyhudi, A. F. (2018). Pemodelan Matematika Penyebaran Polutan Udara di Kawasan PLTU menggunakan Metode Volume Hingga. *Madikma*.
- Maridjo, Slameto, Wibawa, D. S., & Lutfy, A. (2020). Studi Perencanaan Turbin Air PLTMH di Sungai Cilaki. *Jurnal Energi Volume 10 Nomor 1*.
- Muhammad Ali Masyhudi, A. F. (2018). Pemodelan Matematika Penyebaran Polutan Udara di Kawasan PLTU Menggunakan Metode Volume Hingga. *Kadikma*, 194-203.
- Nafi, M. I., Basri, M. H., Iskawanto, H. S., Indarto, B., & Salim, A. T. (2020). Rancang Bangun Gravitation Water Vortex Power Plant (GWVPP) Berbasis Basin Silinder. *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE)*, Vol.5, No.1.
- Nugroho, G., & Swastika, N. P. (2024). Analisis Numerik Pengaruh Desain Kanal Inlet Terhadap Performansi Aliran Vortex pada Gravitational Water Vortex Power Plant (GWVPP). *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 13, No. 1,*, 2301-9271.
- P Sapkota, S. C. (2022). Measurements for Condition Monitoring of Hydropower. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*.
- Prasetyo, C. B., Gian Villany Golwa, T. I., & Jabar, M. A. (2022). Rancang Bangun Prototipe Turbin Archimedes Untuk Tangki Air Perumahan Dengan Formulasi Chris Rorres. *Jurnal Teknologi dan Inovasi Industri*, 032-039.
- Rosyida Permatasari, V. R. (2018). Optimasi Desain Turbin Air Tipe Vortex Dengan 5 Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi. *Seminar Nasional Cendekiawan ke 4*.
- S Mulligan, P. H. (2010). Design and optimisation of a water vortex hydropower plant. *Materials Science and Engineering*.
- Sahbana, M. A., & Anam, S. K. (2018). PENGARUH JENIS SUDU TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN AIR KINETIK POROS HORIZONTAL. *PROTON*, 20-24.

- Siahaan, E. W., Sitanggang, H., & Harianja, S. (2023). Studi Kelayakan Dalam Perencanaan Turbin Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Rahuning Berdaya 70 kW. *Jurnal Darma Agung*, Vol. 31, No. 1, 445 - 455.
- Sinaga, D. (2024). *Pengaruh Bentuk Sudu terhadap Efisiensi Turbin Air Gravitasi Aliran Vortex*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Sonjaya, A. N., Nugroho, F. S., & Vindiawan, M. V. (2023). Perencanaan Turbin Pelton Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *Jurnal Teknologi II (1)*, 100-109.
- Subang, D., Misbachudin, M., Yunus, M., & Widagdo, T. (2016). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Desa Kayuni Kabupaten Fakfak Provinsi Papua Barat. *Jurnal Austenit Volume 8, Nomor 2*, .
- Sujantoko, E. B. (2023). Numerical Modeling of Hydrodynamic Performance on Porous Slope Type Floating Breakwater. *Naše more*, 77-87.
- Velásquez García, R.-C. E. (2020). Numerical analysis of the inlet channel and basin geometries for vortex generation in a gravitational water vortex power plant . *18th International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'20)*.
- Widodo, I. G., Khoryanton, A., Pramono, A., Gutom, & E. S. (2023). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro. *SENTRIKOM Vol. 5*, 386-394.
- Wijanarko, D. V., & Habibillah, T. (2024). Studi Numerik Pengaruh Sudu Berpenampang Lengkung Dengan Variasi Kelengkungan Terhadap Kinerja Turbin Vortex. *JTM*, 99-106.
- Yanda, A. J., Abubakar, S., & Radhiah. (2024). Perancangan Turbin Cross-Flow Pada Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro (PLTPH) di Desa Wih Tenang Uken Bener Meriah.