

**PERMODELAN UNJUK KERJA TURBIN PUSARAN (*VORTEX*) UNTUK
MODEL ALAT UJI PEMBANGKIT LISTRIK MENGGUNAKAN
*SOFTWARE ANSYS FLUENT***

(Skripsi)

Oleh

Randa Admiral
1615021052



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT**VORTEX TURBINE PERFORMANCE MODELING FOR POWER TEST
MODELS USING ANSYS FLUENT SOFTWARE****By****RANDA ADMIRAL**

Vortex flow which is also known as pulsating or eddy flow can occur in a fluid stream flowing in a channel that undergoes sudden changes. This study aims to determine the performance of vortex turbines using the CFD method. This research was conducted by conducting a simulation to determine the distribution of flow velocity in the lead channel and circulation tank. In this study, we will discuss modeling simulations that show the work of vortex turbines to model power generation systems using Ansys Fluent. This research was carried out where the results of this simulation were used to optimize the vortex turbine test tool model and it was expected to design a power plant

The simulation results of the vortex turbine work show that at a high discharge flow rate of 20 cm, the torque generated is 2.35 Nm. The turbine power generated from the simulation results is 18.54 watts, and the vortex turbine performance at a high flow speed of 17 cm obtained the efficiency generated from the simulation is 24%.

Keywords: Thermal photovoltaic, CFD method, pressure drop and PV/T surface temperature.

ABSTRAK

**PERMODELAN UNJUK KERJA TURBIN PUSARAN (*VORTEX*) UNTUK
MODEL ALAT UJI PEMBANGKIT LISTRIK MENGGUNAKAN
*SOFTWARE ANSYS FLUENT***

Oleh

RANDA ADMIRAL

Aliran *vortex* yang juga dikenal sebagai aliran pulsating atau pusaran dapat terjadi pada suatu fluida yang mengalir dalam suatu saluran yang mengalami perubahan mendadak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja turbin *vortex* menggunakan metode CFD. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan simulasi untuk mengetahui distribusi kecepatan aliran di saluran pengarah dan tangki sirkulasi. 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

Hasil simulasi unjuk kerja turbine *vortex* menunjukkan pada kecepatan aliran debit tinggi 20 cm bahwa torsi yang dihasilkan sebesar 2,35 Nm. Daya turbin yang dihasilkan dari hasil simulasi sebesar 18,54 watt, dan Performa turbin *vortex* pada kecepatan aliran tinggi 17 cm efisiensi yang dihasilkan dari simulasi didapatkan adalah 24%.

Keywords : *ANSYS fluent CFD (Computational Fluid Dynamic) Turbine Vortex Flow Rate*

**PERMODELAN UNJUK KERJA TURBIN PUSARAN (*VORTEX*) UNTUK
MODEL ALAT UJI PEMBANGKIT LISTRIK MENGGUNAKAN
*SOFTWARE ANSYS FLUENT***

Oleh

Randa Admiral

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi

**: PERMODELAN UNJUK KERJA TURBIN
PUSARAN (VORTEX) UNTUK MODEL ALAT UJI
PEMBANGKIT LISTRIK MENGGUNAKAN
SOFTWARE ANSYS FLUENT**

Nama Mahasiswa

: Randa Admiral

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1615021052

Jurusan

: Teknik Mesin

Fakultas

: Teknik



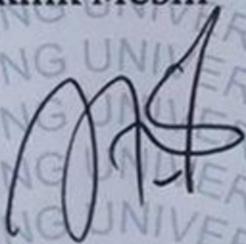
Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2


Jofri Boike Sinaga, S.T., M.T.
NIP 19700202 19980310 004


Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.
NIP 19710331 19990310 003


Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP 19710331 199903 1 003


Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP 19701104 199703 2 001

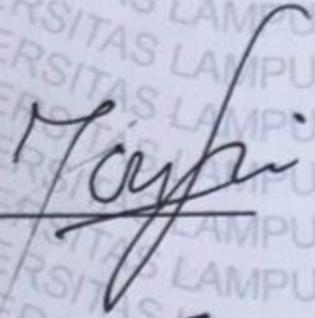
Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP 19710331 199903 1 003

Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP 19701104 199703 2 001

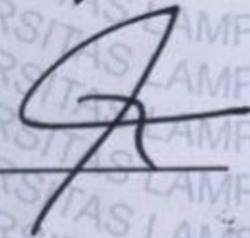
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

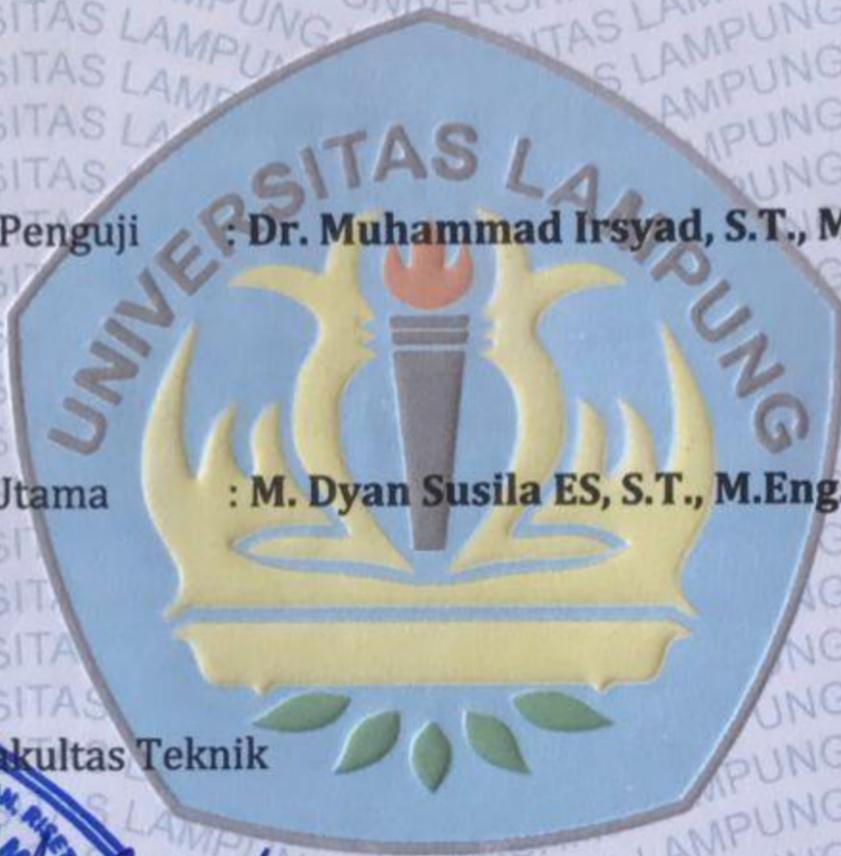
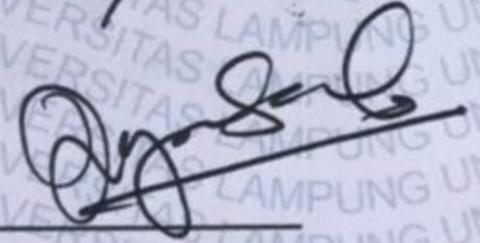
Ketua Penguji : Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T.



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



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



2. Dekan Fakultas Teknik



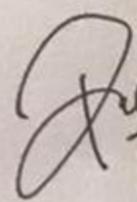
**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP 19750928 200112 1 002**

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 01 Februari 2023

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PENGATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN
REKTOR No. 3187/H26/DT/2010.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



RANDA ADMIRAL

NPM. 1615021052

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, Tanjung Karang Pusat pada tanggal 02 Maret 1997 sebagai anak kelima dari 7 bersaudara, dari pasangan bapak zulham dan ibu yetri-yetis.

Pendidikan pertama yang dijalani oleh penulis yaitu Taman Kanak-Kanak (TK) Kartika II-2 pada tahun 2003, kemudian dilanjutkan dengan tingkat Sekolah Dasar (SD) yang diselesaikan di SDN 1 Durian Payung pada tahun 2009. Pada tahun 2011 penulis melanjutkan di Sekolah Menengah Pertama SMP Perintis 1 Bandar Lampung. Pada bulan agustus 2013 penulis melanjutkan di SMK Bhakti Utama Bandar Lampung. Penulis lulus dari SMK Bhakti Utama pada bulan mei 2016.

Tahun 2016 penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin di Universitas Lampung. Kemudian selama menjadi mahasiswa teknik mesin penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM). Pada tahun 2017 penulis terdaftar sebagai anggota divisi penelitian HIMATEM penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata di desa Gunung Betuah, Abung barat Lampung Utara dan pada 2022 penulis melakukan Kerja Praktek di Pijar Insan Indonesia (PIND) dengan topik yang dibahas “DESAIN *ADDITIVE MANUFACTURING* 3D MODELLING *ROLLED CONVEYOR* UNTUK FDM 3D PRINTING (PIND)”. Pada tahun 2021 pertengahan penulis mulai melakukan penelitian dengan membaca studi literatur dan mempelajari *software Ansys* dan melakukan simulasi turbin pusaran (*vortex*) dibawah bimbingan Bapak Jorfri Boike Sinaga, S.T.,M.T selaku pembimbing pertama dan Bapak Dr.Muhammad Irsyad, S.T.,M.T selaku pembimbing kedua penulis.

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PENGATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN
REKTOR No. 3187/H26/DT/2010.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN

RANDA ADMIRAL

NPM. 1615021052

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'alamin, dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, rizki dan karunia yang Engkau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Teriring doa, rasa syukur dan segala kerendahan hati. Dengan segala cinta dan kasih sayang ku persembahkan karya ini untuk orang-orang yang sangat berharga dalam hidupku:

**Kedua Orang Tua Serta Keluarga Yang Terkasih
Dan
Semua Yang Selama Ini Telah Mendukung, Mendidik Dan Membimbing
Penulis**

“Jazakumullah Khairan”

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karna atas rahmat, hidayah, dan lindungannya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dan menyelesaikan laporan skripsi dengan lancar dan tetap dalam keadaan sehat. Shalawat serta salam tak lupa penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing umatnya menuju kehidupan yang berakhlak dan berilmu yang baik sehingga dapat menjalani kehidupan dengan baik dan benar. Skripsi ini dibuat sebagai sebuah karya tulis yang merupakan hasil dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu di bidang energi, terkhusus dalam bidang turbin air. Skripsi ini juga merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Semoga karya tulis ini dapat membawa manfaat bagi pembacanya dan dapat dikembangkan lebih jauh lagi.

Selesainya skripsi ini tidak luput dari bantuan, bimbingan dan arahan dari semua pihak, oleh karena itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Zulham dan Yetri-Yetis yang selalu mendampingi dan mendoakan penulis sehingganya penulis dapat tetap bersemangat dalam menjalankan studi Teknik Mesin.
2. Untuk keluarga di rajawali Randi Prabowo, Bang Fedriano, Bang Fedrianto, Rahma Ticha sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi dan memberikan motivasi.
3. Untuk kepada Icha Anggraini memberikan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan skripsi ini.

4. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
6. Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
7. Novri Tanti, S.T., M.T. selaku Kepala Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
8. 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.
9. Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah bersedia membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
10. Bapak Dyan Susila, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji dalam skripsi ini. Terimakasih untuk masukan dan saran-saran pada seminar proposal dan hasil terdahulu.
11. Afif Rizky Adrian, S.T., Panji Firmanul Hakim, S. T. Dedy Rizaldy S.T. dan Fachrian Giovalka S.T. selaku mentor dalam penyelesaian skripsi ini.
12. Tim Laboratorium Mekanika Fluida: Fiki Bayu Fernando, Yokkew Gunung Sulah, Hilmi Akram ST, Maulana Abdullah, Bapak Sugiman selaku teknisi lab yang selalu memberikan semangat dan bantuan pada penulis.
13. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah mengajarkan banyak pengetahuan kepada penulis.
14. Seluruh staff dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
15. Teman – teman Angkatan 2016 yang selalu mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat. Semoga kebersamaan kita tetap terjaga.
16. Semua pihak yang telah membantu penulis namun tidak bisa disebutkan namanya satu persatu, penulis ucapkan terima kasih semoga Allah Yang Maha Pengasih membalas segala kebaikan kalian.

Penulis menyadari bahwa isi 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 penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Bandar Lampung, 21 Februari 2023

Penulis,

Randa Admiral
NPM. 1615021052

MOTTO

Hidup Berakal, Mati Beriman!

Yah Namanya juga hidup harus ada yang diperjuangkan!

DAFTAR ISI

I. PENDAHULUAN	i
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	2
C. Batasan Masalah	2
D. Sistematika Penulisan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
1. Berdasarkan tingkatan headnya yaitu:	5
a) Turbin yang head sangat rendah	5
b) Turbin yang head rendah.....	5
c) Turbin yang head sedang	5
d) Turbin yang head tinggi	5
2. Berdasarkan cara kerjanya	5
a) Turbin reaksi	5
b) Turbin impuls.....	6
B. Turbin Vortex.....	7
C. Tangki Sirkulasi (<i>Connical Basin</i>).....	8
D. Model Sudu.....	10
E. Computational Fluid Dynamics (CFD).....	11
1. Pre-processor.....	11
2. Solver	12
3. Post Processor	12
F. Metode Penghitungan CFD.....	12
1. Metode Beda Hingga	13
2. Metode Elemen Hingga	13
3. Metode Volume Hingga.....	13
G. ANSYS	13
H. Persamaan Navier-Stokes dan Model Turbulensi	15
1. Model Turbulent K-epsilon.....	16
2. Model Turbulent K-omega.....	18
3. K-Omega (SST)	19

I.	Boundary Layer	20
III.	METODOLOGI PENELITIAN	26
A.	Tempat Penelitian	26
B.	Tahapan Penelitian.....	26
1.	Studi Literatur	26
2.	Penyiapan Alat.....	26
3.	Pembuatan Tangki Sirkulasi dan turbin	27
4.	Proses simulasi.....	29
a)	Pre-Processing.....	29
1.	Proses desain geometri.....	29
2.	<i>Meshing</i>	31
3.	Solver	32
a)	Menentukan solver.....	33
b)	General menu	35
c)	Models menu.....	36
d)	Materials menu.....	36
e)	Cell Zone Condition Menu	37
f)	Boundary Condition Menu.....	38
g)	Mesh interface menu	38
h)	Initialization Menu	39
i)	Run Calculation Menu	40
j)	Calculation	40
k)	Post -Processing	42
3.	Validasi	42
C.	Diagram Alir	42
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	45
A.	Parameter Simulasi ANSYS fluent	45
B.	Validasi Data.....	46
C.	Hasil Penelitian.....	47
1.	Mesh Independent Test	47
a)	Variasi Debit Air Tinggi 20 cm	49
b)	Variasi Debit Air Tinggi 17 cm	50
c)	Variasi Debit Air Tinggi 12 cm	51
2.	Simulasi distribusi kecepatan di saluran, sudu pengarah, dan tangki sirkulasi	52
a)	Variasi debit air tinggi 20 cm.....	52
b)	Variasi debit air tinggi 17 cm.....	54

c) Variasi debit air tinggi 12 cm.....	56
d) Grafik kecepatan terhadap jarak untuk variasi 3 kecepatan aliran	58
3. Simulasi menggunakan turbin 6 sudu	61
a) Nilai RPM terhadap torsi.....	63
b) Nilai rpm terhadap daya turbin.....	66
c) Efisiensi turbin terhadap rpm	68
V. PENUTUP.....	75
A. Kesimpulan.....	75
B. Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Hal
Gambar 2. 1 Turbin Francis (Jaliwala,2010)	6
Gambar 2. 2 Turbin Turgo (Jaliwala,2010)	7
Gambar 2. 3 Skema pembangkit listrik menggunakan turbin vortex (Franz, 2002)8	8
Gambar 2. 4 Model tangki Sirkulasi Pada Turbin Vortex	10
Gambar 2. 5 Jenis – jenis sudu pada turbin vortex	10
Gambar 2. 6 Tampilan lembar kerja ANSYS R1 2021	14
Gambar 2. 7 Pembagian Zona turbulensi pada boundary layer	21
Gambar 2. 8 Pembagian zona turbulensi sekitar dinding dengan parameter non- dimensional	22
Gambar 2. 9 Pendekatan wall function dan near-wall model	22
Gambar 2. 10 Inflation layer pada sekitar object	24
Gambar 3 1 Tampak Samping Tangki Sirkulasi	27
Gambar 3 2 Tampak Atas Tangki Sirkulasi	27
Gambar 3 3 Spesifikasi Drawing Turbin Vortex	28
Gambar 3 4 Desain skema model alat uji pembangkit listrik	28
Gambar 3 5 Analysis System Ansys Fluent	30
Gambar 3 6 Geometri Connical basin dan sudu turbin	31
Gambar 3 7 Proses meshing geometri connical basin dan sudu turbin	32
Gambar 3 8 Merupakan menu Setup Solver	33
Gambar 3 9 general menu	35
Gambar 3 10 Models menu	36
Gambar 3 11 materials menu	37
Gambar 3 12 Cell Zone Menu	37
Gambar 3 13 Boundary condition menu	38

Gambar 3 14 Mesh interface menu	39
Gambar 3 15 Initialization menu.....	39
Gambar 3 16 Run Calculation Menu	40
Gambar 3 17 Grafik Residual	41
Gambar 3 18 Hasil simulasi berupa contour streamlined 3D	42
Gambar 4 1 Grafik jumlah element mesh terhadap kecepatan aliran pada variasi tinggi 20 cm	49
Gambar 4 2 Grafik jumlah element mesh terhadap kecepatan aliran pada variasi tinggi 17 cm	50
Gambar 4 3 Grafik jumlah element mesh terhadap kecepatan aliran pada variasi tinggi 12 cm	51
Gambar 4 4 Variasi simulasi tinggi 20 cm contour hasil simulasi kecepatan di saluran dan sudu pengarah pada bidang ZX	52
Gambar 4 5 Variasi simulasi tinggi 20 cm contour hasil simulasi kecepatan di saluran dan sudu pengarah pada bidang XY	53
Gambar 4 6 countor kecepatan aliran streamlined 3D variasi tinggi 20 cm	54
Gambar 4 7 Variasi simulasi tinggi 17 cm contour hasil simulasi kecepatan di saluran dan sudu pengarah pada bidang ZX	54
Gambar 4 8 countor kecepatan aliran streamlined 3D variasi tinggi 17 cm	56
Gambar 4 9 Variasi simulasi tinggi 12 cm contour hasil simulasi kecepatan di saluran dan sudu pengarah pada bidang ZX	56
Gambar 4 10 Variasi simulasi tinggi 12 cm contour hasil simulasi kecepatan di saluran dan sudu pengarah pada bidang XY	57
Gambar 4 11 countor kecepatan aliran streamlined 3D variasi tinggi 12 cm	58
Gambar 4 12 grafik perbandingan 3 variasi kecepatan pada sumbu YZ	59
Gambar 4 13 grafik perbandingan 3 variasi kecepatan pada sumbu XY.....	60
Gambar 4 14 Hubungan perbandingan torsi experiment dengan simulasi dengan variasi 20 cm	64
Gambar 4 15 Hubungan perbandingan torsi experiment dengan simulasi dengan variasi 17 cm	64
Gambar 4 16 Hubungan perbandingan torsi experiment dengan simulasi dengan variasi 12 cm	65

Gambar 4 17 Hubungan perbandingan daya turbin dengan rpm experiment dengan simulasi dengan variasi 20 cm	66
Gambar 4 18 Hubungan perbandingan daya turbin dengan rpm experiment dengan simulasi dengan variasi 17 cm	67
Gambar 4 19 Hubungan perbandingan daya turbin dengan rpm experiment dengan simulasi dengan variasi 12 cm	67
Gambar 4 20 Hubungan perbandingan efesiensi turbin dengan rpm experiment dengan simulasi dengan variasi 20 cm.....	69
Gambar 4 21 Hubungan perbandingan efesiensi turbin dengan rpm experiment dengan simulasi dengan variasi 17 cm.....	69
Gambar 4 22 Hubungan perbandingan efesiensi turbin dengan rpm experiment dengan simulasi dengan variasi 12 cm.....	70
Gambar 4 23 Contour distribusi kecepatan tangki sirkulasi variasi tinggi 20 cm	73
Gambar 4 24 Contour distribusi kecepatan tangki sirkulasi variasi tinggi 17 cm	73
Gambar 4 25 Contour distribusi kecepatan tangki sirkulasi variasi tinggi 12 cm	74

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 3 1 Nilai debit dan kecepatan aliran.....	30
Tabel 3 2 Parameter Kondisi batas.....	34
Tabel 3 3 Pengaturan Simulasi.....	34
Tabel 4 1 Solution Method ANSYS Fluent	45
Tabel 4 2 Variasi debit air ketinggian 20 cm	48
Tabel 4 3 Variasi debit air ketinggian 17 cm	48
Tabel 4 4 Variasi debit air ketinggian 12 cm	49
Tabel 4 5 Data hasil eksperimen yang akan divalidasi	61
Tabel 4 6 Data hasil simulasi dengan ansys fluent	62
Tabel 4 7 validasi error eksperimen dan simulasi variasi tinggi 20 cm.....	70
Tabel 4 8 validasi error eksperimen dan simulasi variasi tinggi 17 cm.....	71
Tabel 4 9 validasi error eksperimen dan simulasi variasi tinggi 12 cm.....	71

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seorang Peneliti dari Jerman Viktor Schaubberger mengembangkan 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 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.

Oleh karena itu, peneliti fokus pada turbin air yang digunakan di *Gravitation Water Vortex Power Plant* (GWVPP), yang menghasilkan listrik dengan head rendah dan laju aliran rendah. Turbin air jenis pusaran gravitasi ini terutama terdiri dari *runner* dan tangki. Secara umum, penggunaan energi air sebagai sumber pembangkit listrik masih membutuhkan ketinggian air untuk menghasilkan energi listrik, tetapi masih banyak daerah yang tidak memiliki ketinggian jatuh air yang tinggi. Oleh karena hal tersebut

dibutuhkanlah turbin hidrokinetik yang membutuhkan ketinggian jatuh air dengan head rendah, dikarenakan pada turbin ini terdapat energi kinetik yang mampu menghasilkan energi listrik.

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 (Christina,2022).

B. Tujuan

Adapun Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

1. Membuat model 3D saluran, saluran pengarah tangki kerucut (*conical basin*) dan turbin aliran *vortex* menggunakan software *Autodesk Inventor* model.
2. Melakukan simulasi untuk mengetahui distribusi kecepatan aliran di saluran pengarah dan tangki sirkulasi.
3. Melakukan Simulasi untuk mengetahui unjuk kerja turbin vortex yang di gunakan pada model pembangkit listrik.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan penelitian adalah:

1. Alat uji model sistem pembangkit listrik yang di modelkan ini adalah model sistem pembangkit listrik yang dibuat di laboratorium mekanika fluida.
2. Melakukan simulasi dengan menggunakan 3 variasi debit kecepatan aliran.

3. Simulasi digunakan dengan software Ansys R2021

D. 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 langkah-langkah 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

Berisikan data-data perhitungan dan juga gambar yang digunakan dalam melakukan penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Turbin Air

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) turbin air merupakan peralatan utama selain generator. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Untuk merancang pembangkit menggunakan turbin air memerlukan rancangan yang sangat spesifik yaitu pada dimensi kincirnya, debit aliran dan tingginya untuk memaksimalkan kerja dari turbin tersebut. Pengertian turbin secara umum adalah sebuah elemen mesin yang berputar yang memperoleh energi dari aliran fluida. Dikarenakan fluida yang bergerak menyebabkan terjadinya perputaran pada baling-baling sehingga menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor. Pada suatu pembangkit turbin merupakan bagian yang paling utama.

Turbin yang bergerak dengan menggunakan aliran fluida biasanya disebut dengan turbin air. Fluida akan mengalir dari tempat yang tinggi ketempat yang rendah sehingga menghasilkan perbedaan tinggi yang akan menghasilkan energi potensial. Fungsi dari turbin tersebut akan mengubah energi potensial menjadi energi kinetik, yang akan mendorong jatuhnya air kesistem baling-baling yang dapat menyebabkan turbin tersebut berputar. Dan perputaran tersebut akan dihubungkan dengan generator sehingga yang akan menghasilkan energi listrik. Secara umum pengklasifikasian turbin ada dua yaitu turbin reaksi dan turbin implus. Dimana turbin reaksi adalah turbin

yang memiliki head rendah dan laju aliran tinggi, sedangkan turbin implus adalah turbin yang memiliki head besar dan laju aliran rendah (Fox, 2004). Berdasarkan cara penggunaannya turbin diklasifikasikan dalam beberapa jenis adapun jenis- jenis turbin tersebut adalah sebagai berikut ini (Dietsel, 1980):

1. Berdasarkan tingkatan headnya yaitu:

Pengklasifikasian turbin berdasarkan headnya dibagi menjadi empat jenis yaitu:

a) Turbin yang head sangat rendah

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

b) Turbin yang head rendah

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

c) Turbin yang head sedang

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

d) Turbin yang head tinggi

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

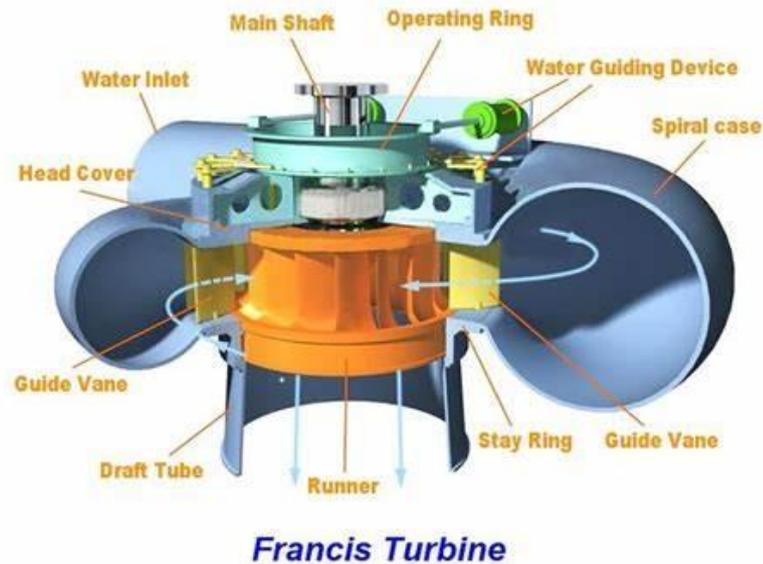
2. Berdasarkan cara kerjanya

Menurut cara kerjanya turbin di klasifikasikan menjadi dua jenis yaitu:

a) Turbin reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang memanfaatkan energi air yang bertujuan untuk mengubah energi air menjadi energi kinetik pada saat air mengalir melewati sudu-sudu sehingga menyebabkan penurunan tekanan air selama air melewati sudu-sudu tersebut. Dikarenakan adanya perbedaan tekanan maka akan memberikan gaya pada sudu sehingga bagian turbin yang berputar (*runner*) dapat

berputar. Oleh karena itu putaran *runner* menyebabkan perubahan momentum oleh air tersebut. Salah satu contoh turbin reaksi adalah turbin Francis dan Kaplan (*propeller*), *Darrieus* (Patty, 1995). Pada komponen dari turbin Francis diperlihatkan pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 Turbin Francis (Jaliwala,2010)

b) Turbin impuls

Turbin impuls adalah turbin yang sistem kerjanya memanfaatkan kecepatan, tekanan, dan energi potensial menjadi energi kinetiknya yang akan memutar turbin sehingga energi mekanik yang terdapat pada poros akan ditransmisikan ke generator yang akan menghasilkan energi listrik akibat adanya perputaran pada turbin. Cara kerja dari turbin impuls ini adalah energi fluida akan masuk ke sudu yang bergerak untuk membentuk energi kinetik pada *nozzle*, dan air akan keluar dari *nozzle* yang memiliki kecepatan yang tinggi akan membentur sudu turbin yang akan menyebabkan arah kecepatan aliran akan berubah sehingga akan terjadi perubahan momentum yang menyebabkan terjadinya perputaran pada roda turbin. Contoh dari turbin impuls ini adalah turbin Pelton, Turgo, dan *Crossflow*. Bentuk turbin turgo dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2. 2 Turbin Turgo (Jaliwala,2010)

B. Turbin Vortex

Turbin jenis ini merupakan turbin yang memanfaatkan pusaran air (*vortex*) sebagai utamanya dengan energi yang menggerakkan sumbu vertikal sehingga terdapat perbedaan antara tekanan dan sumbu disekelilingnya. Turbin ini dioperasikan di daerah dengan *head* yang relatif rendah dengan memanfaatkan pusaran dan gravitasi air sehingga dapat menghasilkan perbedaan tekanan pada sumbu. Hal ini pertama ditemukan oleh insinyur Austria Franz Zototerer saat mencoba menemukan cara lain mengaginkan air tanpa sumber eksternal. sama seperti namanya, turbin ini memanfaatkan pusaran air untuk memutar sudu, lalu energi pusaran tersebut diubah menjadi energi putar pada poros. dengan proses air yang berasal dari sungai dialirkan melalui saluran inlet ke tanki turbin yang dibawahnya terdapat lubang kecil yang mengakibatkan aliran air menjadi pusaran air. Head yang dibutuhkan vortex ini verkisar antara 0,7m – 1 m dengan debit berkisar 1000 l/s turbin ini sangat sederhana, dan biaya yang dikeluarkan untuk pembuatannya terbilang sedikit. Bentuk turbin vortex diperlihatkan pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Skema pembangkit listrik menggunakan turbin vortex (Franz, 2002)

Sistem pembangkit listrik menggunakan turbin *vortex* adalah sebuah teknologi baru yang memanfaatkan energi yang terkandung dalam pusaran air yang besar yang dibuat dengan menciptakan melalui perbedaan *head* rendah di sungai. Dimana cara kerjanya:

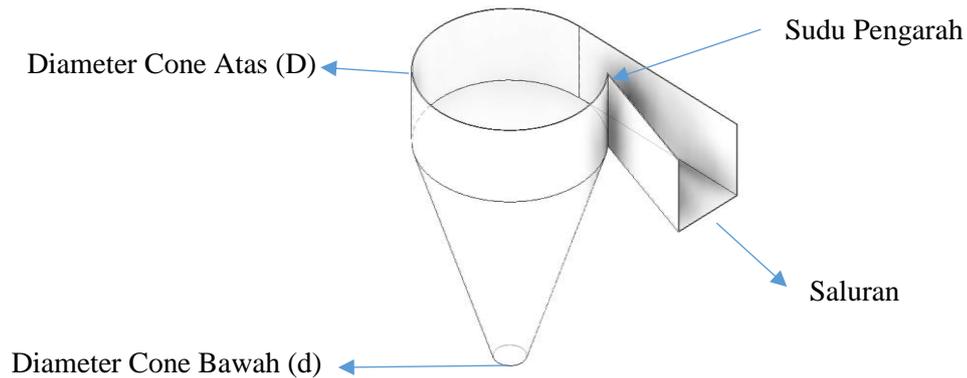
1. Air sungai dari tepi sungai disalurkan dan diarahkan ke tangki sirkulasi. Tangki sirkulasi ini memiliki suatu lubang lingkaran pada dasarnya.
2. Tekanan rendah pada lubang dasar tangki dan kecepatan air pada titik masuk tangki sirkulasi mempengaruhi kekuatan aliran *vortex*.
3. Energi potensial seluruhnya diubah menjadi energi kinetik rotasi di inti vortex yang selanjutnya diekstraksi melalui turbin sumbu vertikal.
4. Air kemudian kembali ke sungai melalui saluran keluar.

C. Tangki Sirkulasi (*Connical Basin*)

Pada pembangkit listrik dengan menggunakan turbin vortex laju aliran masuk adalah air yang di alirkan ke saluran yang terhubung ke tangki sirkulasi. Saluran itu berfungsi untuk mengarahkan aliran air ke dalam bak secara tangensial bias horizontal atau miring pada sudut yang di inginkan. Bentuk saluran masuk (*inlet*) dan saluran keluar (*outlet*) juga mempengaruhi kecepatan aliran pusaran sehingga parameter ini harus dioptimalkan dengan penelitian ekstensif untuk menghasilkan pusaran air yang lebih efektif.

Desain tangki sirkulasi mampu mempengaruhi bentuk aliran pusaran gravitasi yang dapat digunakan untuk sumber energi alternatif atau terbarukan. Air masuk ke dalam tangki sirkulasi melingkar secara tangensial yang menciptakan pusaran bebas dan energi diekstraksi dari pusaran bebas dengan menggunakan turbin. Desain tangki sirkulasi yang banyak digunakan yaitu kerucut dan silinder.

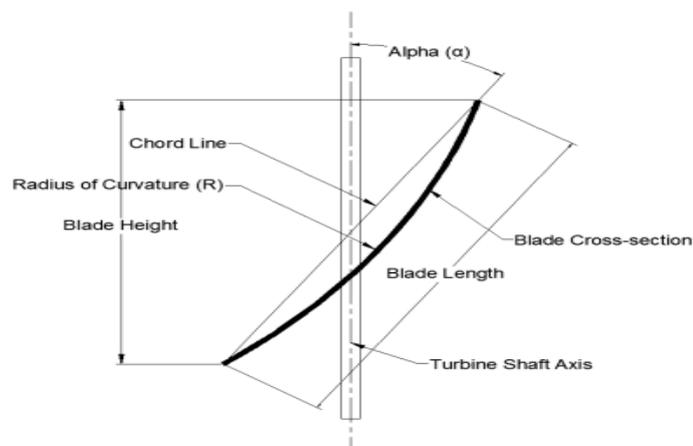
Berdasarkan studi dari penelitian Wanchat dan Sutivarakorn (2013) yang menyatakan bahwa bentuk dari tabung sirkulasi akan mempengaruhi aliran vortex pada turbin. Penelitian ini juga menyatakan bahwa parameter pada tabung sirkulasi seperti bentuk tabung sirkulasi, diameter aliran masuk dan keluar air, dan tinggi tabung sirkulasi dapat menentukan besar energi kinetik yang dapat dihasilkan. Penelitian ini menyatakan bahwa tabung sirkulasi dengan bentuk silinder paling sesuai untuk menghasilkan energi kinetik aliran vortex. Berdasarkan dari penelitian Wanchat, dkk (2013) yang menggunakan diameter tabung sirkulasi sebesar 0.10m sampai 0.40m didapatkan dengan menggunakan diameter 0.2m akan dihasilkan daya keluar sebesar 60W, tinggi aliran vortex sebesar 0.40m dan menghasilkan efisiensi sebesar 30%. Berdasarkan dari penelitian Sagar, dkk (2014) yang menyatakan bahwa turbin vortex dengan bentuk tangki sirkulasi kerucut akan meningkatkan kecepatan air keluar turbin. Kecepatan terbesar didapatkan dari rasio diameter atas tangki sirkulasi (D) dan diameter bawah (d) antara 14% - 18% dengan derajat kemiringan pada tangki sirkulasi kerucut sebesar 23° dan diameter sebesar 800 mm yang menghasilkan efisiensi sebesar 36,84%.



Gambar 2. 4 Model tangki Sirkulasi Pada Turbin Vortex

D. Model Sudu

Turbin adalah perangkat yang mengekstrak energi dari fluida yang mengalir. Dalam turbin reaksi, aliran fluida mengenai sudu turbin diikuti oleh penurunan tekanan statis yang signifikan dan perubahan kecepatan relatif fluida melintasi sudu-sudu turbin sedangkan dalam turbin impuls efek pengaruh kecepatan dapat diabaikan. Turbin adalah salah satu komponen terpenting untuk pembangkit listrik aliran vortex. Turbin diposisikan di tengah, sejajar dengan pusat aliran keluar. Turbin didorong oleh tenaga air yang berasal dari pusaran air. Sebagian besar penelitian difokuskan pada optimasi turbin untuk meningkatkan efisiensi turbin.



Gambar 2. 5 Jenis – jenis sudu pada turbin vortex

Pada turbin vortex yang menjadi parameter pada sudu turbin ialah panjang sudu, diameter sudu, bentuk sudu, dan jumlah sudu. Berdasarkan penelitian Acharya, dkk (2019) yang menyatakan bahwa sudu turbin dengan bentuk melengkung lebih sesuai untuk aliran vortex dibandingkan dengan sudu turbin berbentuk lurus. Jumlah sudu turbin dilakukan berdasarkan penelitian dari penelitian Sritram dan Suntivarakorn (2013) dimana saat melakukan pengujian dengan menggunakan jumlah 2 sampai 7 sudu turbin didapatkan kesimpulan turbin yang menggunakan 5 sudu menghasilkan efisiensi paling tinggi, berdasarkan penelitian dari penelitian Christine, dkk (2016) menyatakan bahwa efisiensi turbin meningkat ketika jumlah sudu pada turbin ditambah dari 2 sudu menjadi 4 sudu. Berdasarkan penelitian dari penelitian Acharya, dkk (2015) yang menyatakan bahwa efisiensi tertinggi didapatkan dengan meletakkan sudu turbin 65% - 70% dari keseluruhan tinggi tangki sirkulasi yang dimulai dari saluran masuk (*inlet*) tangki sirkulasi.

E. 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 riil alat maka dilakukan proses penghitungan dengan menjalankan simulasi. Maka dalam proses simulasi perlu menganalisa data yang akan digunakan sehingga simulasi yang akan dijalankan akan memberikan hasil yang mendekati kenyataan dengan baik.

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.

F. Metode Penghitungan 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 Beda Hingga

Metode merupakan salah satu metode dalam proses penyelesaian skema numerik persamaan diferensial parsial. Penyelesaian dalam metode ini menggunakan deret Taylor dengan mengubah persamaan diferensial parsial kedalam bentuk beda hingga. Setelah ditransformasikan kedalam beda hingga selanjutnya dilakukan iterasi untuk mendapatkan solusinya (Derajat, 2013).

2. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan salah satu cara untuk menyelesaikan persoalan diferensial baik diferensial biasa atau diferensial parsial. Prinsip kerja dari metode elemen hingga ini adalah membagi suatu persoalan yang kompleks menjadi elemen-elemen kecil dan menyelesaikannya dengan cara interpolasi (Isworo, 2018).

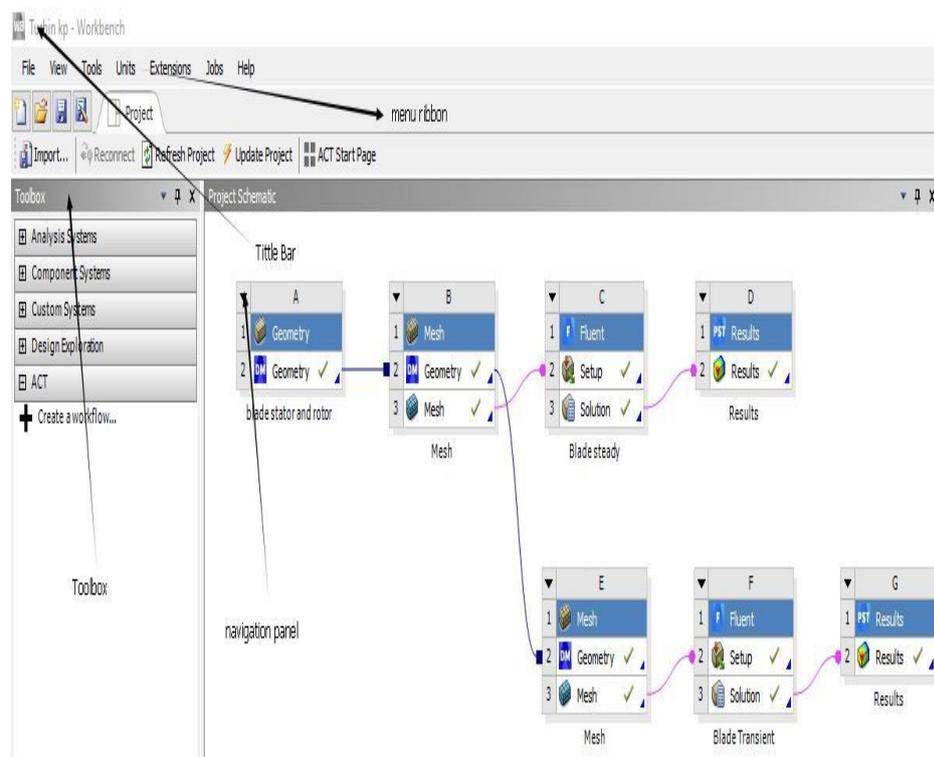
3. Metode Volume Hingga

Metode volume hingga sama dengan metode yang dua sebelumnya yaitu untuk menyelesaikan persoalan diferensial. Metode penyelesaian yang digunakan mengacu pada volume yang mengitari setiap titik *node* pada sebuah *mesh*. Metode Volume hingga ini biasa digunakan dalam permasalahan diferensial yang berhubungan dengan dinamika fluida (Isworo, 2018).

G. 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. 6 Tampilan lembar kerja ANSYS R1 2021

Pada gambar 2.4 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.

H. Persamaan Navier-Stokes dan Model Turbulensi

Dalam melakukan simulasi ini, media aliran adalah fase tunggal, isothermal, dan aliran air yang dapat dimampatkan di dalam bagian turbin. Untuk formulasi kecepatan relatif, persamaan yang mengatur aliran fluida dalam kerangka acuan bergerak dapat Aliran internal turbin air mengikuti aturan persamaan kekekalan massa, kekekalan momentum persamaan, dan persamaan kekekalan energi ditulis sebagai berikut:

Kovermasi massa:

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

u , v , dan w adalah komponen vektor kecepatan di x , y , dan z petunjuk arah, masing-masing. u , v , dan w adalah komponen vektor kecepatan di x , y , dan z petunjuk arah, masing-masing. Mengenai aturan tersebut, persamaan momentum di x , y , dan z direction.

Standart K-epsilon model, menggunakan model persamaan tunggal, *Launder* dan *Spalding* mengusulkan model dua persamaan dan kemudian memperkenalkan persamaan lain tentang laju disipasi turbulendan dengan demikian terbentuk *k – ε model*.

Kekekalan momentum:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{V}r) + \nabla \cdot (\rho \vec{V}r \vec{V}r) + \rho(2\vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r} + \vec{\alpha} \times \vec{r} + \vec{\alpha}) = -\nabla p \dots\dots(2.2)$$

Dimana:

$$\vec{\alpha} = \frac{d\vec{w}}{dt} \text{ and } \vec{\alpha} = \frac{d\vec{v}}{dt} \dots\dots\dots (2.3)$$

Kekekalan Energi:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E_r) + \nabla \cdot (\rho \vec{V}_r H_r) = \nabla \cdot (k \nabla T + \bar{\tau}_r \cdot \vec{V}_r) + S_h \dots\dots\dots (2.4)$$

Bagi pengguna software *Computational Fluid Dynamics* (CFD), pasti anda 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. Model Turbulent K-epsilon

Model turbulen k-epsilon merupakan model semi-empiris yang pertama kali diajukan oleh Harlow dan Nakayama pada 1968 dan merupakan model turbulen RANS yang relatif cukup tua. Model ini memiliki keunggulan dalam menyelesaikan aliran dengan Reynold number yang tinggi, seperti pada aliran *free stream* (jauh dari dinding) karena model ini didasarkan pada perhitungan *length scale* atau ukuran dari *eddies* yang terdapat pada aliran *free stream*. Adapun untuk memfasilitasi perhitungan yang akurat pada sekitar dinding, digunakan perhitungan *damping function* untuk memodifikasi koefisien-koefisien yang diperoleh dari eksperimen sehingga diperoleh efek yang diinginkan pada sekitar dinding. Meskipun demikian, penggunaan *damping function* tersebut tidak dapat memprediksi dengan baik aliran dengan

adverse pressure gradient serta separasi yang terjadi misalkan pada sayap pesawat yang mengalami stall maupun aliran pada difuser.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot k) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \cdot \vec{u} \cdot k) = \vec{\nabla} \cdot \left(\rho \cdot \left\{ v_1 + \frac{v_t}{\sigma_{t,k}} \cdot \vec{\nabla} k \right\} \right) + \rho \cdot (P_k + G_b - \varepsilon)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot \varepsilon) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \cdot \vec{u} \cdot \varepsilon) = \vec{\nabla} \cdot \left(\rho \cdot \left\{ v_1 + \frac{v_t}{\sigma_{t,\varepsilon}} \cdot \vec{\nabla} \varepsilon \right\} \right) + \left\{ \rho \cdot \frac{\varepsilon}{k} \cdot (C_{1\varepsilon} \cdot P_K + C_{3\varepsilon} \cdot G_b - C_{2\varepsilon} \cdot \varepsilon) \right\} \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana

k = *turbulent kinetic energy*

ε = *dissipation rate*

ρ = massa jenis fluida

v_1 dan v_t = viskositas kinematik laminar dan turbulen

P_k = *volumetric production rate* dari k akibat tegangan geser

G_b = *volumetric production rate* dari k akibat potensi gravitasi

g = vektor gravitasi

Sedikit kesalahan yang sering terjadi adalah pembacaan “k” pada k-epsilon yang sebenarnya adalah huruf romawi “kappa”. Penyederhaan menjadi “k” adalah untuk mempermudah penulisan atau kebiasaan pada pembacaanya. Model turbulen ini dapat diaplikasikan pada daerah dengan bilangan Reynold yang tinggi. Pada daerah sekitar dinding dengan bilangan reynold yang mendekati nol, dibutuhkan persamaan khusus yang dikenal juga dengan istilah *wall function*, atau *low-Reynold-number extension*. pada model standar, digunakan pendekatan *wall-function*. Namun, perlu diketahui model turbulen ini kurang memuaskan untuk digunakan pada aplikasi:

- *separated flow*
- *bouyancy*
- *streamline curvature*
- *swirl*
- *turbulence-driven secondary motions*
- rotasi
- kompresibilitas
- *adverse pressure gradient*, dan
- *axi-symmetrical jets*

Meskipun demikian, karena penggunaannya yang luas, maka modifikasi dari model ini juga tersedia untuk meningkatkan kapabilitasnya. Beberapa yang sering dikenal antara lain: Reliasable, RNG, chen-kim dan Yap untuk penggunaan pada *separated flow*, dan ad hoc *Richardson-number modification of Launder* untuk *curvature*, *swirl* dan *rotation*.

2. Model Turbulent K-omega

Model turbulen dengan dua persamaan yang pertama kali dibuat adalah k-omega oleh Kolmogorov (1942), yang melibatkan solusi dari persamaan transport dari *turbulent kinetic energy*, k (kappa) dan *turbulence frequency*, omega. Perlu diketahui bahwa beberapa pekerjaan permodelan lain menggunakan omega sebagai *specific dissipation rate* = ϵ/k dimana epsilon adalah *dissipation rate*.

Beberapa perbedaan dan pengembangan dari versi kolmogorov telah dibuat, seperti misalkan yang diajukan oleh Saly (1974), Spalding (1979), Wilcox (1988, 2008), Speziale (1990) dan Menter (1992). Pada model ini akan dideskripsikan model k-omega standar dari Wilcox yang termasuk didalamnya *low-Reynold-Number extension* untuk turbulensi dekat dinding. Meskipun model k-omega tidak sepopuler model k-epsilon, model ini memiliki keunggulan diantaranya:

- Model ini memiliki performa yang lebih baik pada aliran translasional dan aliran dengan *adverse pressure gradient*.
- Model ini secara numerik lebih stabil, terutama pada versi bilangan reynold rendah, yang cenderung menghasilkan solusi yang konvergen lebih cepat dibandingkan model *k-epsilon*
- Versi blangan reynold rendah lebih ekonomis dan elegan dibandingkan dengan model k-epsilon untuk bilangan reynold yang rendah, dimana di dalamnya tidak membutuhkan perhitungan jarak dinding, penambahan *source* atau *damping function* berdasarkan *friction velocity*.

Kelemahan utama dari model k-omega standar adalah tidak seperti k-epsilon, model ini sensitif terhadap *free-stream boundary condition* untuk omega pada *free-shear flow*. Varian modifikasi yang ada yang diklaim dapat menghilangkan sensitivitas dengan memasukkan *cross-diffusion source term* pada persamaan transport omega. Salah satu varian yang cukup populer pada contoh ini adalah model k-omega SST.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot k) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \cdot \vec{u} \cdot k) = \vec{\nabla} \cdot \left(\rho \cdot \left\{ v_1 + \frac{v_t}{\sigma_{t,k}} \cdot \vec{\nabla} k \right\} \right) + \rho \cdot (P_k - f_2 \cdot \varepsilon)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot \omega) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \cdot \vec{u} \cdot \omega)$$

$$= \vec{\nabla} \cdot \left(\rho \cdot \left\{ v_1 + \frac{v_t}{\sigma_{\omega}} \cdot \vec{\nabla} \omega \right\} \right) + \rho \cdot \omega \left(f_1 \cdot C_{1\omega} \cdot \frac{P_k}{k} - C_{2\omega} \cdot \omega \right)$$

.....(2.6)

3. K-Omega (SST)

Seperti dijelaskan pada artikel model turbulen k-omega standard, model turbulen k-omega ini telah disempurnakan beberapa kali karena kelemahannya pada sensitivitas terhadap *free stream boundary condition*. Salah satu pekerjaan yang telah dilakukan untuk mengurangi sensitivitas ini adalah seperti yang dilakukan oleh Menter (1992).

Pada model yang disempurnakan oleh Menter, model k-omega dikombinasikan dengan model k-epsilon sehingga memiliki kapabilitas yang baik pada daerah sekitar dinding dan bilangan reynold rendah sebagai keunggulan dari k-omega, dan aliran dengan *adverse pressure gradient* yang rendah serta ketidaksensitivitasnya pada daerah *free stream* yang merupakan keunggulan k-epsilon. Basis dari teknik ini adalah mentransformasikan persamaan k-omega ke k-epsilon.

Kemudian, pekerjaan Menter tersebut diekstensikan dengan pertimbangan *turbulent shear stress* pada persamaan transportnya, sehingga meningkatkan kemampuannya memprediksi separasi aliran pada *adverse pressure gradient*. Model ini disebut juga dengan k-omega SST (*Shear Stress Transport*).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot k) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \cdot \vec{u} \cdot k) = \vec{\nabla} \cdot \left(\rho \cdot \left\{ v_1 + \frac{v_t}{\sigma_{t,k}} \cdot \vec{\nabla} k \right\} \right) + \rho \cdot (P_k - \varepsilon)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot \omega) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \cdot \vec{u} \cdot \omega) = \vec{\nabla} \cdot \left(\rho \cdot \left\{ v_1 + \frac{v_t}{\sigma_\omega} \cdot \vec{\nabla} \omega \right\} \right) + \rho \cdot \omega \cdot \left(\gamma \cdot \frac{P_k}{k} - \beta \right) + 2 \cdot (1 - F_1) \cdot \left\{ \rho \frac{\sigma_{\omega 2}}{\omega} \right\} \cdot \vec{\nabla} k \cdot \vec{\nabla} \omega \dots \dots \dots (2.7)$$

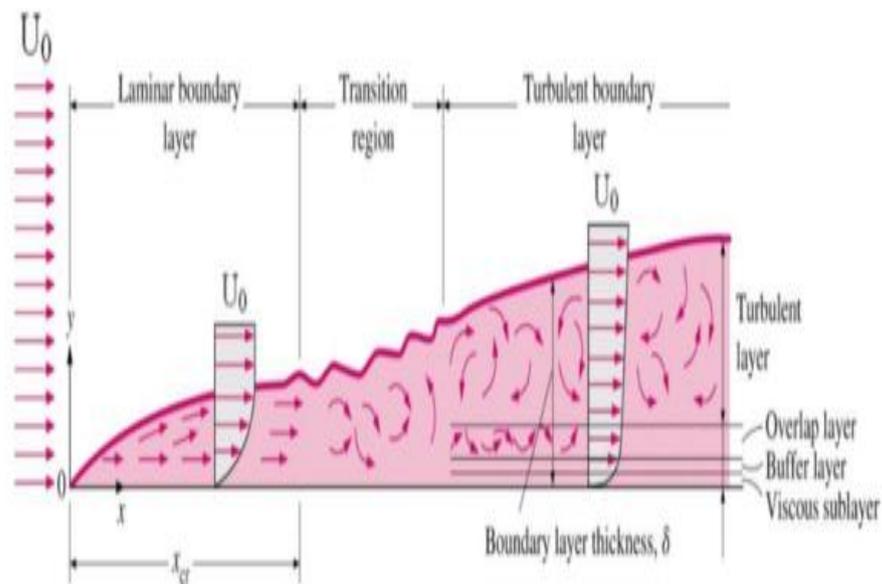
Dengan F adalah *blending function* yang berubah dengan jarak dengan dinding, sehingga “merubah” persamaan menjadi k-omega jika dekat dengan dinding dan menjadi k-epsilon jika jauh dari dinding.

I. *Boundary Layer*

Aliran turbulen sangatlah dipengaruhi oleh keberadaan dinding-dinding yang menghasilkan *no-slip conditions*. Pada daerah yang sangat dekat dengan dinding, *viscous damping* mengurangi fluktuasi kecepatan tangensial, sedangkan *kinematic blocking* mengurangi fluktuasi kearah normal. Lebih jauh dari daerah dinding, turbulensi secara cepat bertambah dengan produksi *turbulence kinetic energy* (TKE) karena adanya gradien

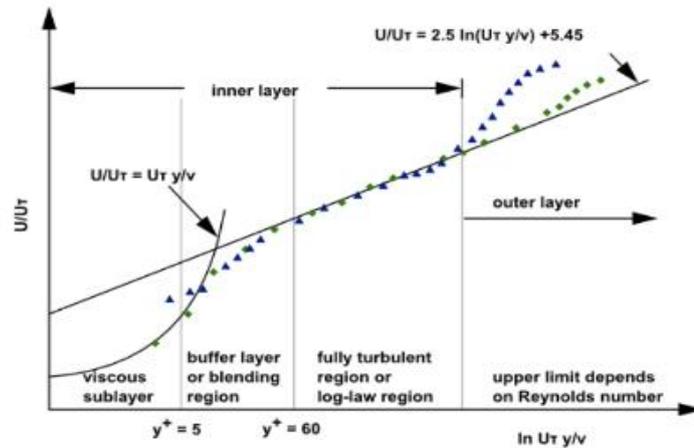
kecepatan rata-rata yang tinggi. Permodelan pada daerah dinding secara signifikan berpengaruh pada *fidelity* (keakuratan dan kehalusan solusi) numerik, karena dinding adalah sumber dari vortisitas dan turbulensi. Selain kecepatan, TKE, dan vortisitas, parameter-parameter *transport scalar* lainnya juga terdapat gradien yang cukup besar pada daerah dinding.

Cukup banyak eksperimen yang menunjukkan bahwa daerah dekat dinding dibagi menjadi tiga “lapisan” atau zona; pada bagian paling dekat dinding disebut juga dengan *viscous sublayer*, pada daerah ini aliran hampir laminar, dan viskositas molekuler pada daerah ini memegang peranan penting pada transfer momentum dan kalor pada lapisan paling luarnya dikenal dengan *fully-turbulent layer*, yang didominasi oleh aliran turbulen; Adapun daerah di antara *viscous sub-layer* dan *fully-turbulent layer* terdapat daerah transisi yang dikenal dengan istilah *buffer layer*.



Gambar 2. 7 Pembagian Zona turbulensi pada boundary layer

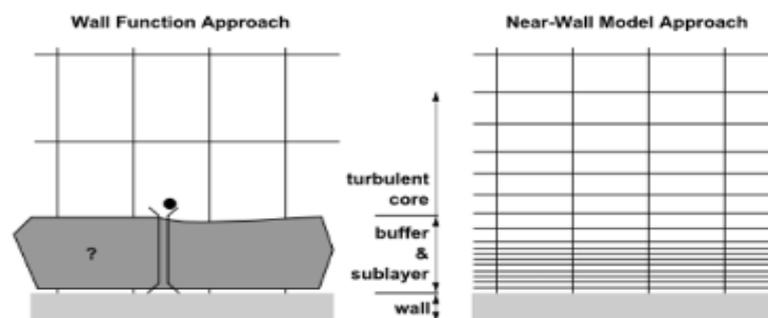
Daerah-daerah ini memiliki ukuran yang berbeda-beda tergantung dari kecepatan aliran, viskositas, dan lain-lain, sehingga lebih mudah direpresentasikan dengan parameter-parameter *non-dimensional*, seperti *non-dimensional wall distance*, y^+ dan *non-dimensional velocity* U/U_t .



Gambar 2. 8 Pembagian zona turbulensi sekitar dinding dengan parameter non-dimensional

Pada umumnya ketebalan *viscous sub-layer* tersebut sangatlah tipis, sehingga membutuhkan *mesh* yang terlalu detail untuk menyelesaikannya, yang mana sangat menambah effort komputasi, oleh karena itu pada daerah dinding dilakukan beberapa pendekatan; yang pertama adalah *viscous sub-layer* tidak diselesaikan persamaanya, melainkan persamaan semi-empiris atau dikenal dengan “*wall function*” digunakan untuk menjembatani daerah yang terkena efek viskositas antara dinding dengan daerah turbulen.

Pendekatan lainnya adalah menerapkan mesh yang dapat mengakomodasi fenomena *boundary layer*, atau dikenal dengan *near-wall approach*, yang keduanya diilustrasikan pada gambar di bawah ini:



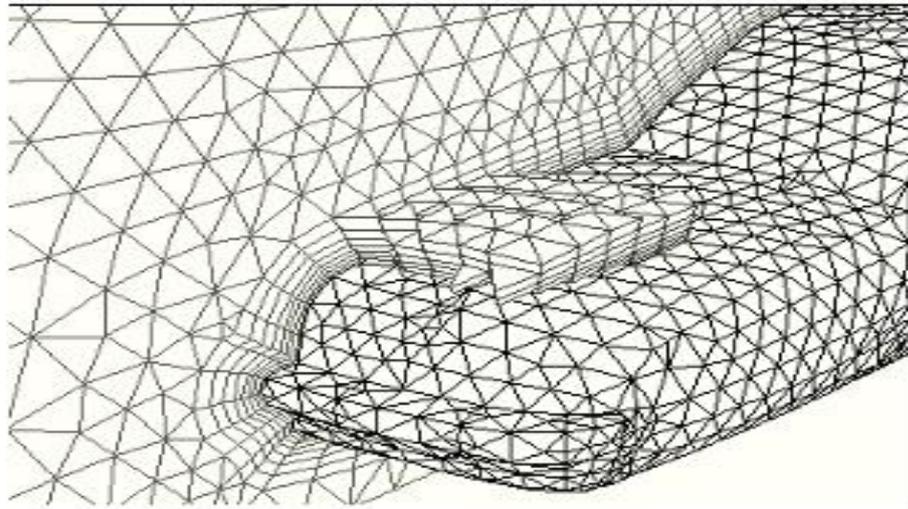
Gambar 2. 9 Pendekatan wall function dan near-wall model

Salah satu kelemahan pada semua *wall function* (kecuali *scalable wall function*) adalah hasil numerik terdefinisi dengan buruk pada grid dengan y^+ dibawah 15, yang menghasilkan *unbonded error* pada *wall shear stress* dan *wall heat transfer*, adapun beberapa software sudah jauh berkembang dengan permodelan yang lebih independent terhadap y^+ .

Pada *unstructured mesh*, direkomendasikan membuat layer prisma dengan jumlah lapisan 10-20 atau lebih untuk memprediksi dengan baik *boundary layer* dengan ketebalan tertentu yang dapat dicek pada hasil simulasi diindikasikan dengan nilai turbulenti *viscosity* maksimum pada daerah tengah boundary layer. Kemudian, pada permodelan *wall function standart*, pendekatan yang umum digunakan adalah hasil dari *Launder* dan *Spalding* yang telah cukup luas digunakan pada industry. Seperti dijelaskan sebelumnya, *wall function* pada umumnya akan mengalami deteriorasi pada nilai y^+ dibawah 15, atau y^* di bawah 11. Untuk menanganinya, digunakan *scalable wall functions* untuk mendapatkan permodelan yang independent terhadap nilai y^+ . *Enhanced wall treatment* juga memiliki fungsi serupa, dan biasa digunakan untuk permodelan persamaan *epsilon*. Adapun, untuk mengakomodasi aliran-aliran yang kompleks pada sekitar dinding, seperti *adverse pressure-gradient*, separasi, *reattachment*, serta *impingement*, direkomendasikan untuk menggunakan *non-equilibrium wall functions*.

Pada teori mekanika fluida, kita mengenal adanya kondisi aliran fluida yang cenderung menempel pada dinding yang solid, atau dikenal juga dengan istilah *no-slip condition*. Kondisi ini membuat gradien kecepatan pada sekitar permukaan tersebut memiliki pola tertentu yang menentukan besarnya beberapa parameter seperti tegangan geser, koefisien konveksi, dan lain sebagainya yang membentuk suatu lapisan (*layer*) dengan ketebalan tertentu yang dikenal dengan istilah *boundary layer*. Lapisan ini pada umumnya sangatlah tipis, sehingga akan memakan jumlah mesh yang sangat banyak jika kita harus membuat ukuran mesh pada sekitar lapisan tersebut sesuai dengan ukuran ketebalan *boundary layer*.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengakomodasi ketebalan *boundary layer* ini tanpa harus merubah seluruh ukuran mesh menjadi detail adalah *inflation*, yaitu *mesh* yang dibuat berlapis-lapis (*layering*) searah normal terhadap permukaan dinding, seperti diilustrasikan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. 10 Inflation layer pada sekitar object

Karena mesh ini hanya mengarah searah normal dari permukaan (yang dalam Bahasa matematika kearah atas dari suatu sistem koordinat pada) pada umumnya adalah sumbu Y, maka arah inflasi ini disebut juga dengan arah Y positif, atau $y+$.

Konsep perhitungan $y+$ ini sangat berguna untuk menentukan berapa nilai ketebalan *inflation* minimum pada sekitar dinding untuk mengakomodasi *boundary layer*. Perhitungannya pun biasa dilakukan menggunakan kalkulator online dengan menginput nilai $y+$ yang diinginkan, *free stream velocity*, bilangan Reynold, serta massa jenis dan viskositas fluida untuk memperoleh ketebalan *inflation* pertama pada mesh yang akan kita gunakan. Perlu dicatat bahwa aliran dengan Bilangan Reynold yang tinggi, misalkan aliran pada pesawat atau *projectile* pada kecepatan yang tinggi akan memiliki ketebalan *boundary layer* yang sangat tipis, sehingga penggunaan *inflation* menjadi tidak terlalu signifikan dan dapat diabaikan. Kemudian,

hal penting lain yang harus diketahui adalah bahwa y^+ tidak harus selalu men-*capture boundary layer* secara sempurna, karena pada pada permodelan turbulen terdapat fitur yang disebut dengan *wall functions*.

Bilangan Reynolds untuk kecepatan aliran bebas tertentu U_∞ adalah:

$$Re = \frac{\rho \cdot U_\infty \cdot L_{boundary\ layer}}{\mu} \dots\dots\dots(2.8)$$

Rumus Schlichting untuk mendapatkan koefisien gesekan C_f digunakan dalam kalkulator ini dan berlaku untuk $Re_x < 10^9$

$$C_f = [2 \log_{10}(Re_x) - 0.65]^{-2.3} \text{ voor } Re_x < 10^9 \dots\dots\dots(2.09)$$

Tegangan geser dinding dihitung dari koefisien gesekan C_f

$$\tau_\omega = C_f \cdot \frac{1}{2} \rho U_\infty^2 \dots\dots\dots(2.10)$$

Kecepatan tak berdimensi u^* adalah fungsi dari densitas fluida dan tegangan geser dinding:

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_\omega}{\rho}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dan akhirnya jarak dinding untuk y^+ yang diinginkan adalah:

$$y = \frac{y^+ \mu}{\rho u^*} \dots\dots\dots(2.12)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat Penelitian

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

B. Tahapan Penelitian

Tahapan–tahapan yang dilakukan dilakukan:

1. Studi Literatur

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

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 3 2200U @2.5 GHz

-RAM 20 GB

-SSD dan HDD 245 + 1000 GB

- Radeon Vega 3 Graphic 1024 MB

b) Perangkat Lunak

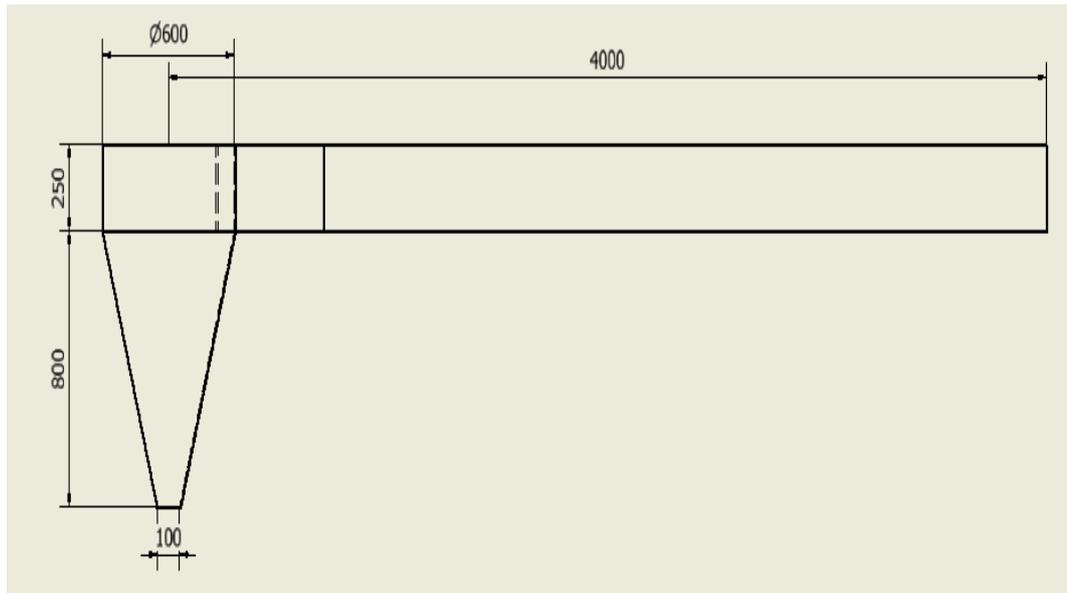
- ANSYS R2022 R1Fluent

- Autodesk Inventor 2023

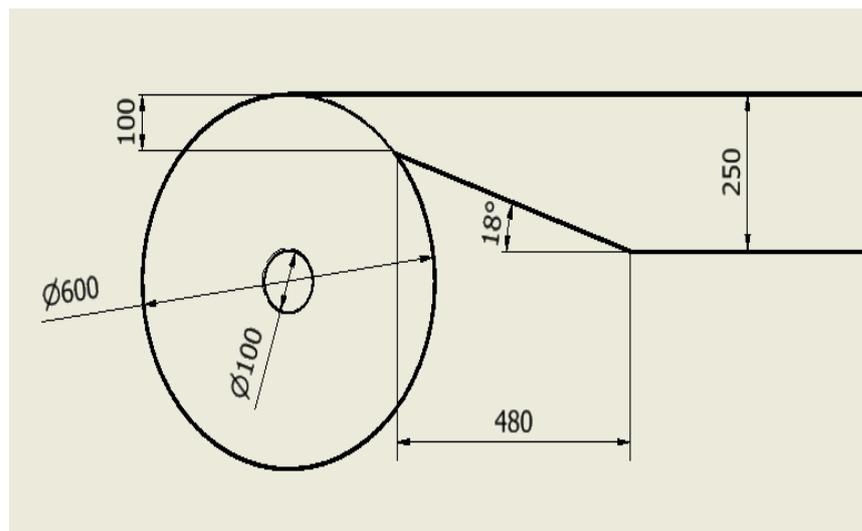
- Y+ Calculator

3. Pembuatan Tangki Sirkulasi dan turbin

Desain conical basin dengan inlet guide digunakan sesuai dengan rekomendasi Wanchat dan Suntivarakorn dan Dhakal et.al. Model Desain Conical Basin menggunakan software Autodesk *inventor* dengan dimensi conical diameter 60 cm, tinggi conical 80 cm, lebar inlet sebesar 10 cm, *inlet notch* 18° Panjang canal adalah 4 m lebar dan tinggi Tangki adalah 90 dan 130 cm.

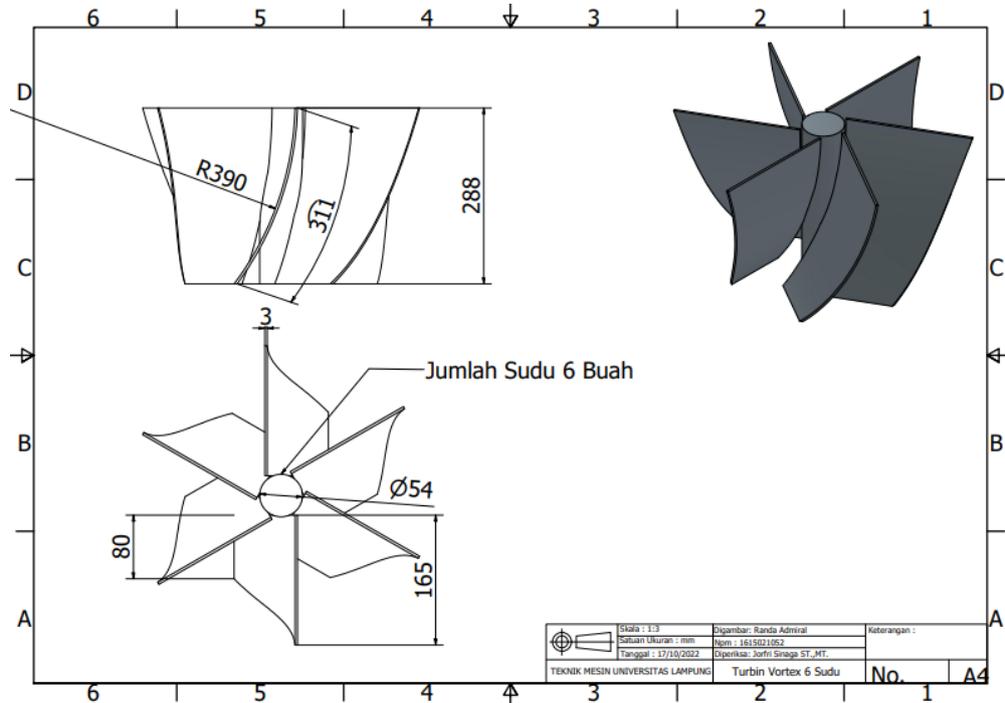


Gambar 3 1Tampak Samping Tangki Sirkulasi

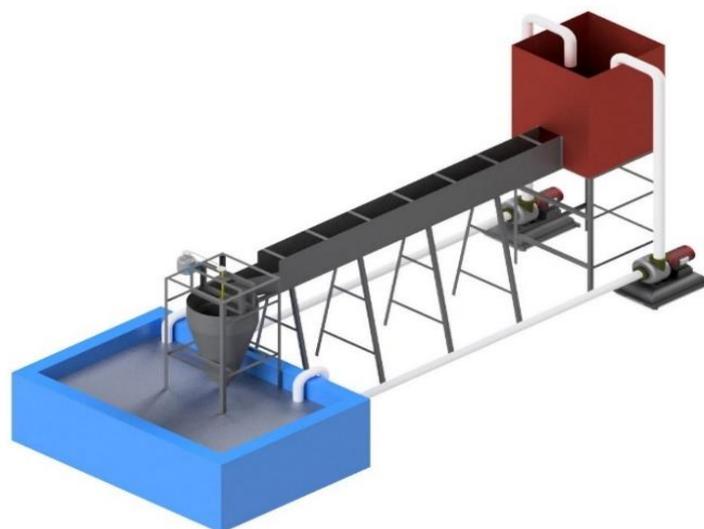


Gambar 3 2 Tampak Atas Tangki Sirkulasi

Untuk Jenis turbin yang digunakan yang diusulkan oleh Dhakal, dkk adalah untuk spesifikasi tinggi turbin 288 mm dan jari-jari turbin $R_1 = 100$ mm dan $R_2 = 190$ mm jumlah sudu 6 buah, Panjang *chord* sebesar 303 mm Panjang sudu turbin 311 mm, jari jari kelengkungan sudu dengan radius 391 mmdan sudut $\alpha 18^\circ$.



Gambar 3 3 Spesifikasi Drawing Turbin Vortex



Gambar 3 4 Desain skema model alat uji pembangkit listrik

4. 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*.

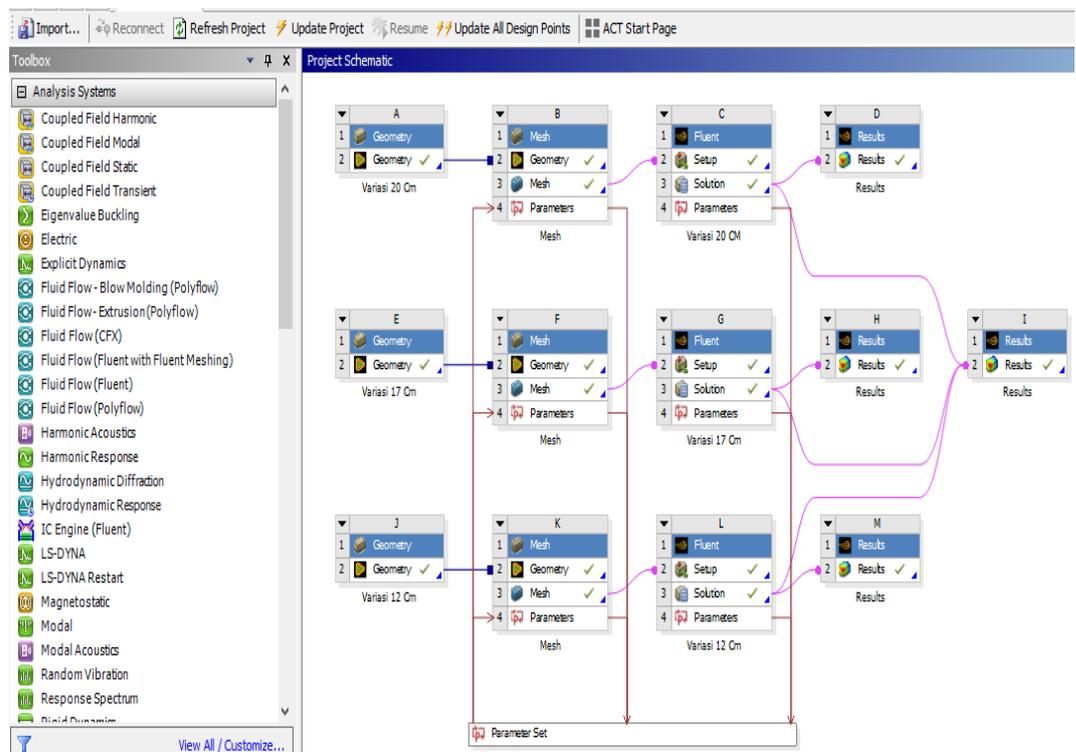
1. Proses desain geometri

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

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. Pada tabel dibawah ini adalah hasil dari pengujian yang dilakukan Christina (2022). Hasil dibawah ini akan dilakukan simulasi untuk mengetahui unjuk kerja turbin *vortex*.

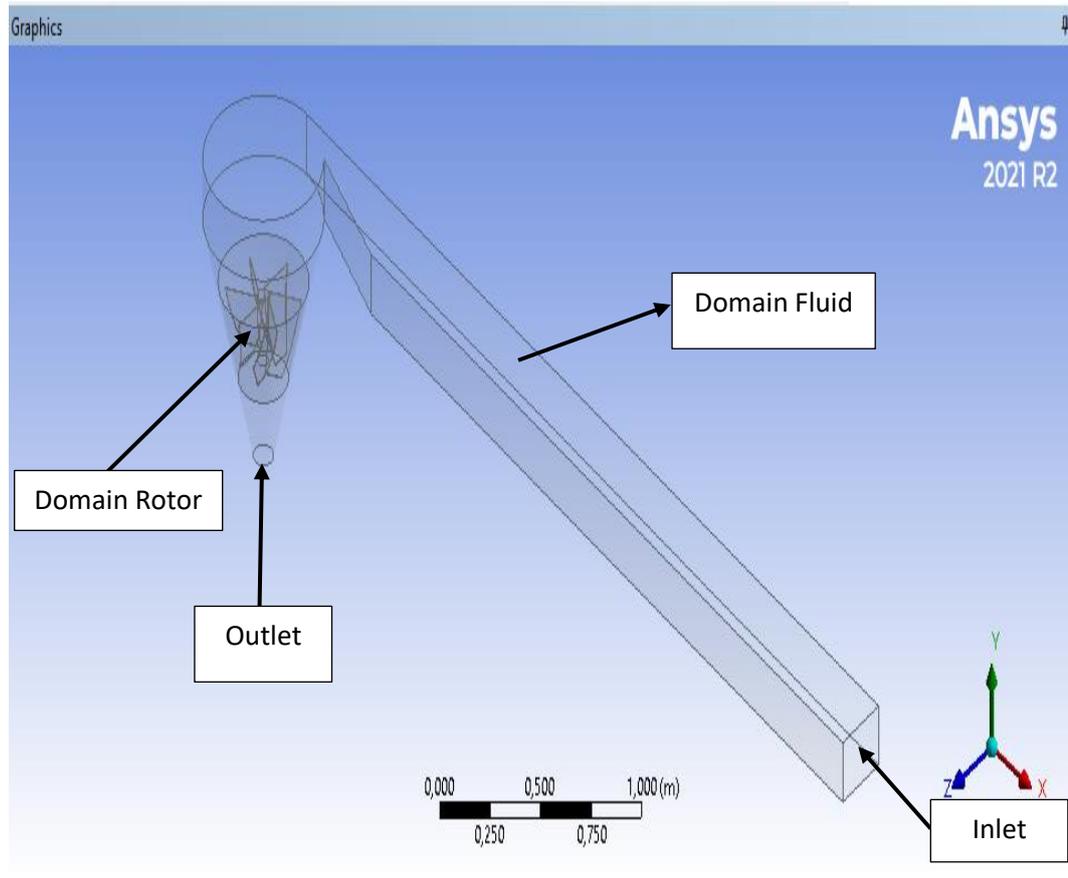
Tabel 3 1 Nilai debit dan kecepatan aliran

Tinggi air pada saluran masuk (m)	Luas penampang saluran (m^2)	Δt (s)	Kecepatan Aliran (m/s)	Debit (m^3/s)
0,12	0,03	5,163	0,258	0,008
0,17	0,0425	4,067	0,231	0,010
0,2	0,05	3,287	0,243	0,012



Gambar 3 5 Analysis System Ansys Fluent

Pada Gambar 3.6 merupakan tampilan lembar kerja pada *fluid flow (fluent)*. Pada Analisis sistem atau lembar kerja tersebut kemudian dapat dipilih menu geometri untuk melakukan proses menggambar benda kerja. Pada tampilan tersebut ada beberapa pilihan menu. Menu yang akan kita gunakan adalah *Fluid Flow (Fluent)*, terdapat juga pilihan menu selain *fluid flow (fluent)* seperti *fluid flow (cfx)* dan *fluid flow (polyflow)*.

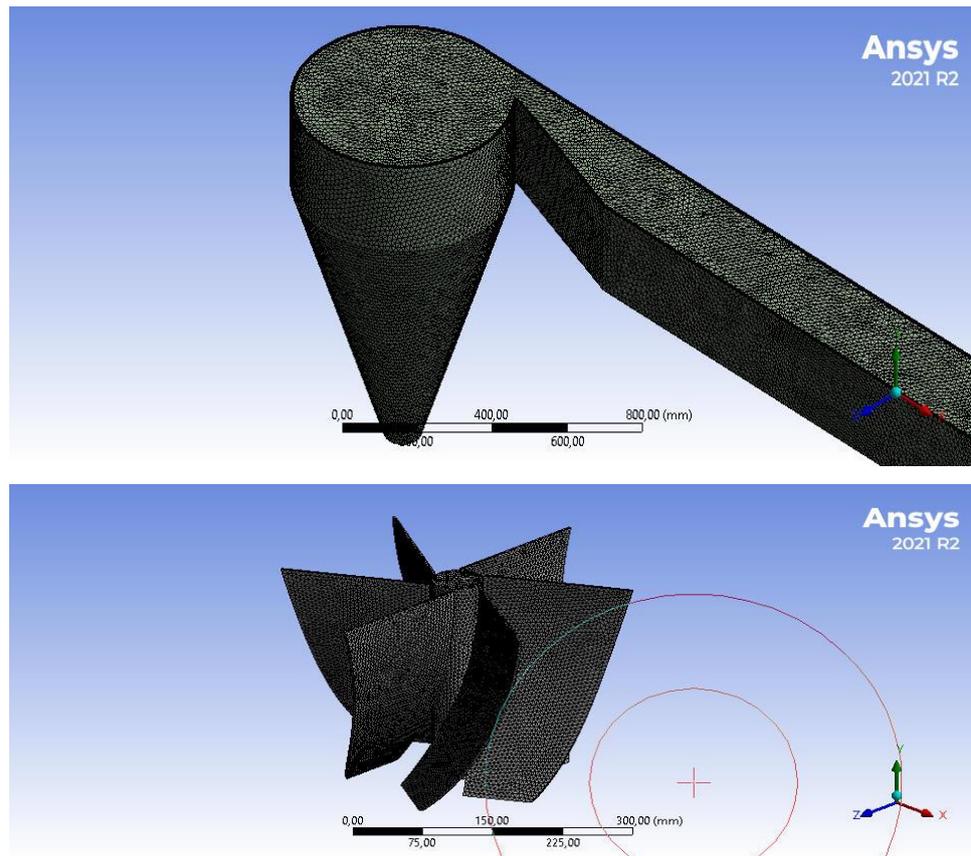


Gambar 3 6 Geometri Connical basin dan sudu turbin

Gambar 3.7 merupakan Geometri *connical basin* 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.



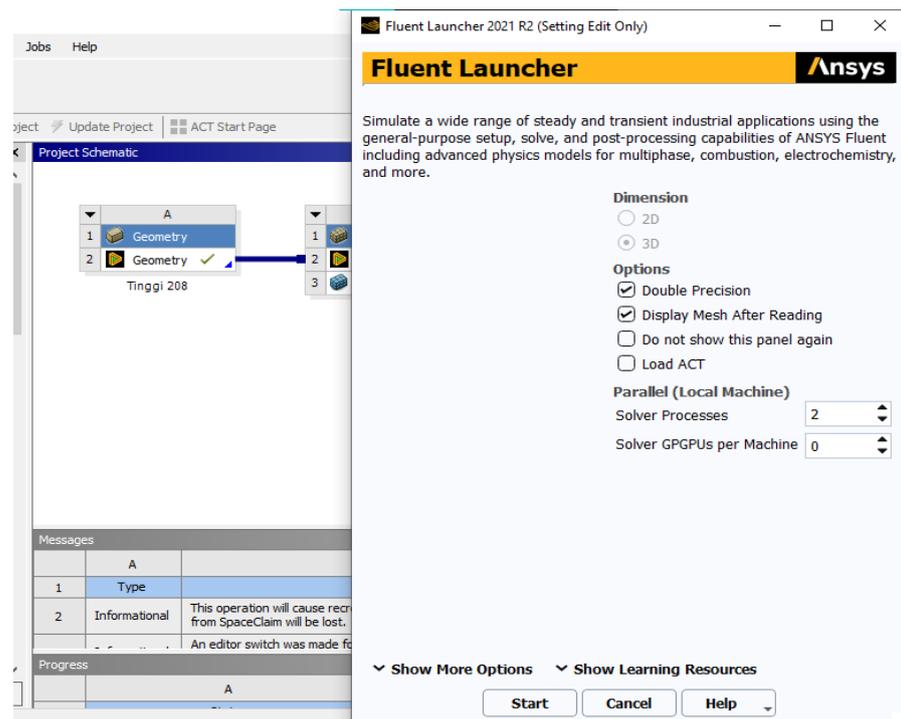
Gambar 3 7 Proses meshing geometri conncal basin dan sudu turbin

Pada menu mesh, geometri juga harus diberi nama pada bagian-bagian yang akan dimasukkan kondisi batas. Simulasi ini memberikan beberapa nama pada sisi geometri seperti *top surface*, *fluid domain*, *wall turbin*, *wall*, *interface stationary*, *interface rotation domain*, *inlet* dan *outlet*. Dan manual meshing seperti *body sizing* untuk domain fluida sebesar 15 mm dan domain rotor nya sebesar 10 mm dan lakukan langkah *inflation layer* menggunakan *y+ calculator* dan memasukan *first layer height* untuk sisi *wall*, untuk jenis *mesh* yang digunakan adalah *tetrahedron*.

3. Solver

Tahap *Solver* atau tahap prosssing 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*.



Gambar 3 8 Merupakan menu Setup Solver

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, $\mu = 0.001003 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Aliran yang digunakan dalam penelitian ini adalah aliran turbulen, karena mengacu pada aliran air yang berputar dan tidak dapat diprediksi. Dari asumsi fluida yang digunakan adalah dengan massa jenis dan densitas tetap sehingga jenis alirannya isothermal dan inkompresibel. Kondisi batas diatur pada setiap sisi rumah turbin. Untuk memperjelas letak

kondisi batas pada penelitian ini selengkapnya ditampilkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 3 2 Parameter Kondisi batas

Kondisi Batas	Jenis Kondisi Batas	Nilai
<i>Inlet</i>	<i>Velocity-Inlet</i>	0,22 m/s
<i>Outlet</i>	<i>Pressure-Outlet</i>	0 Pa (<i>gauge</i>)
<i>TopSurface</i>	<i>Pressure-Inlet</i>	101325 pa
<i>Wall</i>	<i>wall</i>	-
<i>Wall Turbine</i>	<i>wall</i>	-

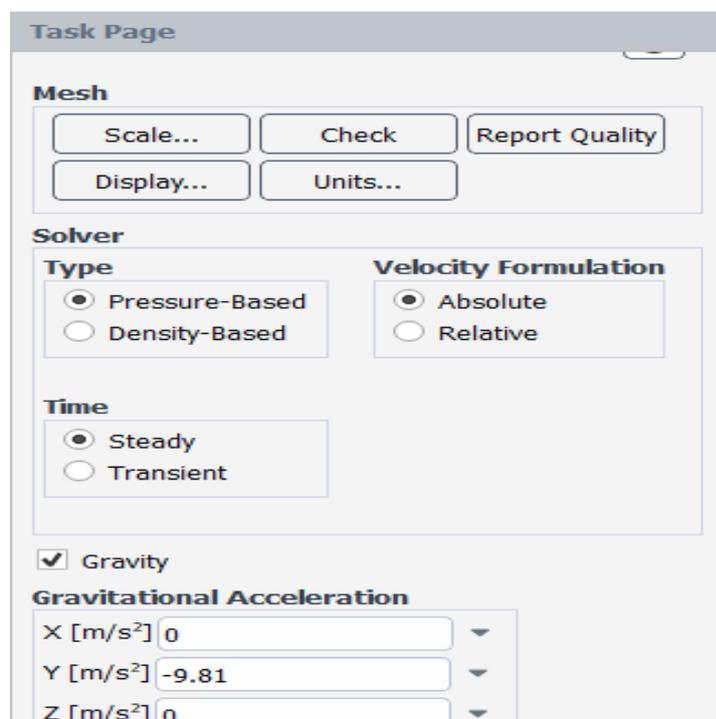
Pengaturan simulasi yang dimaksud adalah menentukan beberapa aspek yang diperlukan dalam simulasi seperti bentuk solver yang dipilih, material, jenis viskos, dll sesuai dengan asumsi yang dilakukan. Tabel 3.2 menunjukkan pengaturan simulasi yang dilakukan.

Tabel 3 3 Pengaturan Simulasi

Aspek	Pengaturan
Solver	<i>Pressure based, 3D Steady State</i>
Model	Turbulent K-Omega (SST)
Material	<i>Water – liquid</i>
Kondisi Operasi	$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$
Inialisasi Residual monitor	<i>Velocity Inlet, 10⁻³</i>

b) General menu

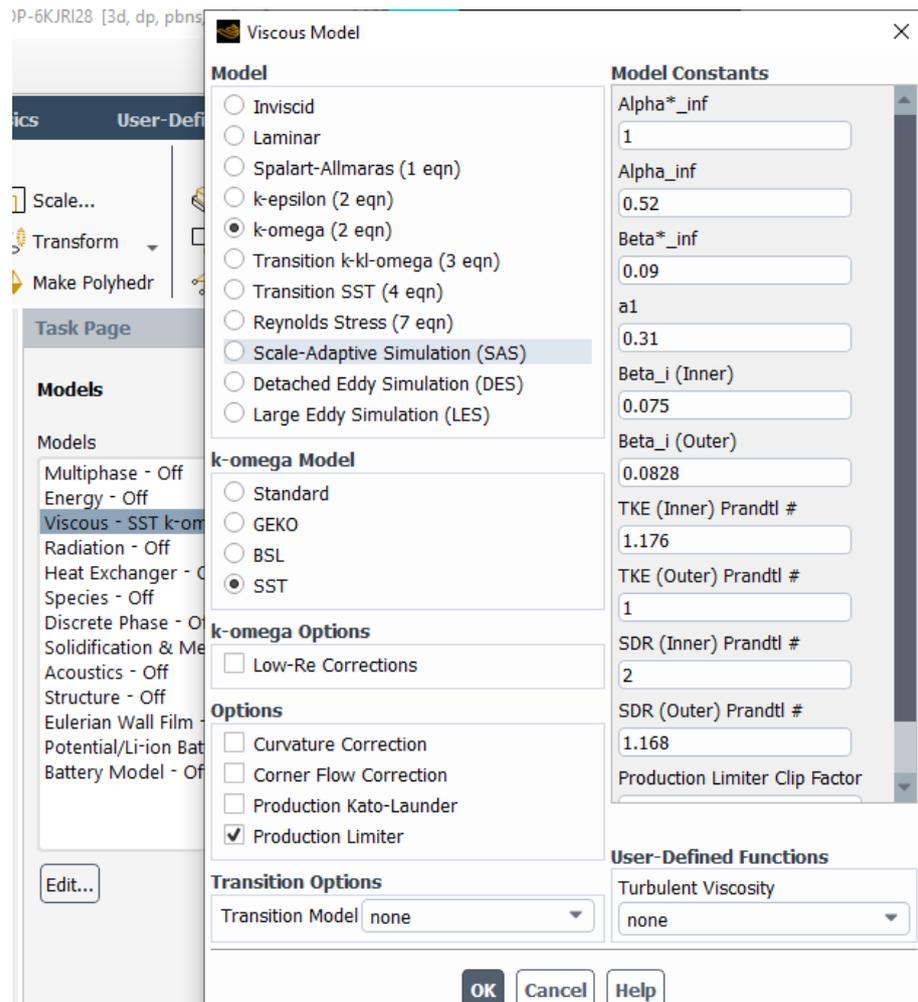
Pada *General menu* ada beberapa pengaturan awal yang dapat dipilih sebelum ke tahap selanjutnya. Pada simulasi ini menggunakan waktu *steady state*, kemudian pada *Solver velocity formulation* menggunakan *absolute*, dan *Solver type* menggunakan *pressure-based*. Pada set unit perlu diubah satuan rad/s 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 9 general menu

c) Models menu

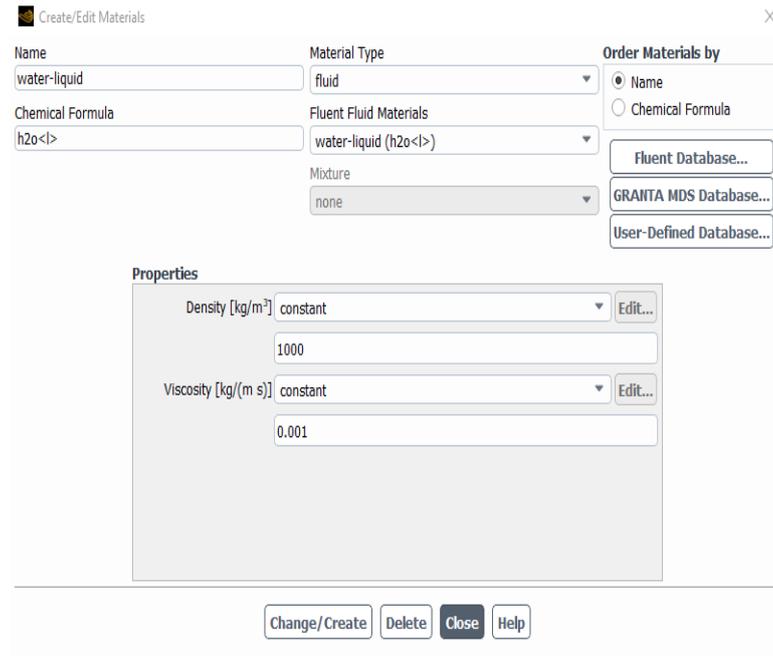
Pada *models menu* ada beberapa opsi yang dapat dipilih, namun pada simulasi ini hanya menggunakan satu opsi saja. Pertama opsi *viscous*. opsi viskositas diubah dari aliran k-epsilon menjadi k-omega SST, hal ini dilakukan model k-omega sangat berpengaruh pada *near wall turbine* yang ada di sekitar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



Gambar 3 10 Models menu

d) Materials menu

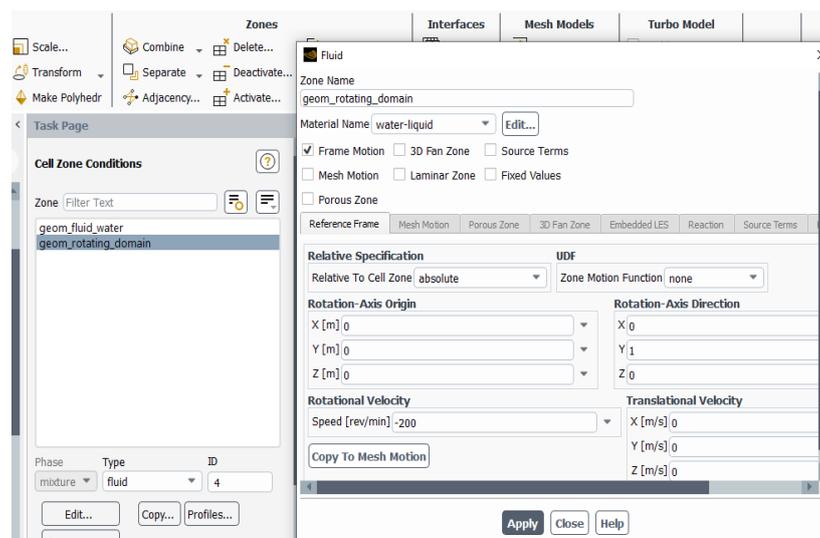
Material menu merupakan tempat mengatur kondisi batas material yang akan kita gunakan. Pada simulasi ini turbin vortex menggunakan material *fluid (water)* dengan sifat Densitas sebesar 1000 Kg/m³ dan viskositas dinamik sebesar 0.001k/g (m s).



Gambar 3 11 materials menu

e) Cell Zone Condition Menu

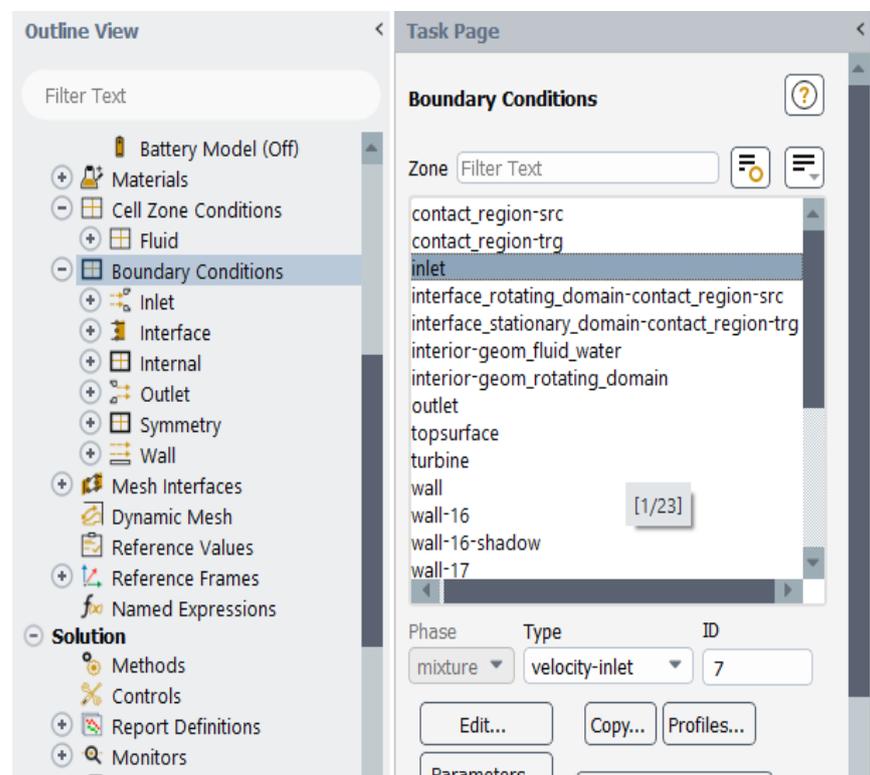
Pada Menu ini hanya menyesuaikan pemakaian material yang cocok dengan geometri. Pada saluran canal dan conical menggunakan Geometri *fluid*, kemudian *fluid* yang dipilih adalah *fluid* air pada geometri *rotating* gunakan *frame motion* untuk berputarnya bagian turbin Berikut gambar 3.14 adalah *menu Cell Zone Condition* menu.



Gambar 3 12 Cell Zone Menu

f) **Boundary Condition Menu**

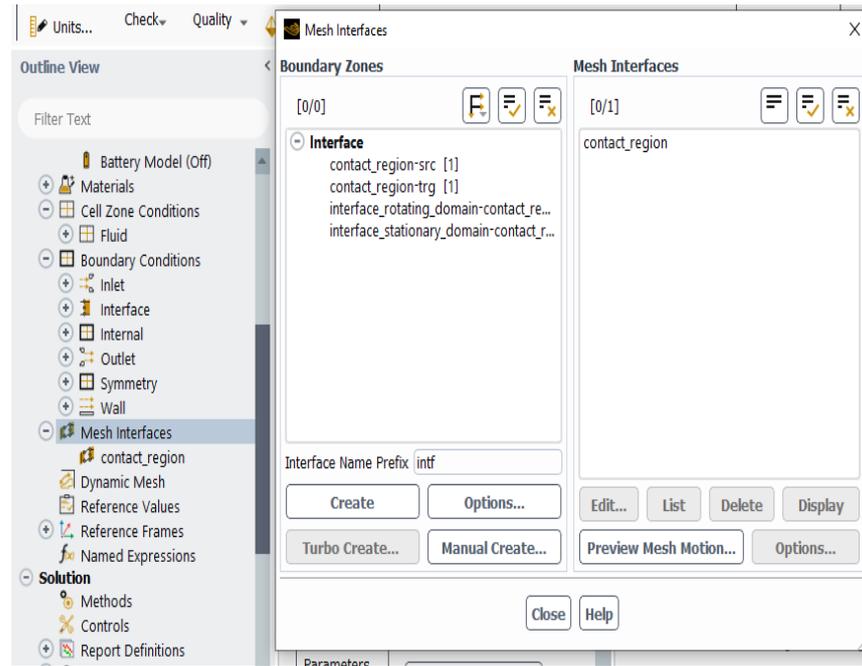
Pada menu ini merupakan bagian yang sangat penting karena pada bagian ini mengatur kecepatan fluida *water liquid*. Penelitian ini menggunakan tekanan konstan pada tinggi. Pada menu ini juga mengatur variasi laju aliran kecepatan yang mengalir masuk ke sistem turbin sebesar 101325 Pa. outlet fluida menggunakan 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 13 Boundary condition menu

g) **Mesh interface menu**

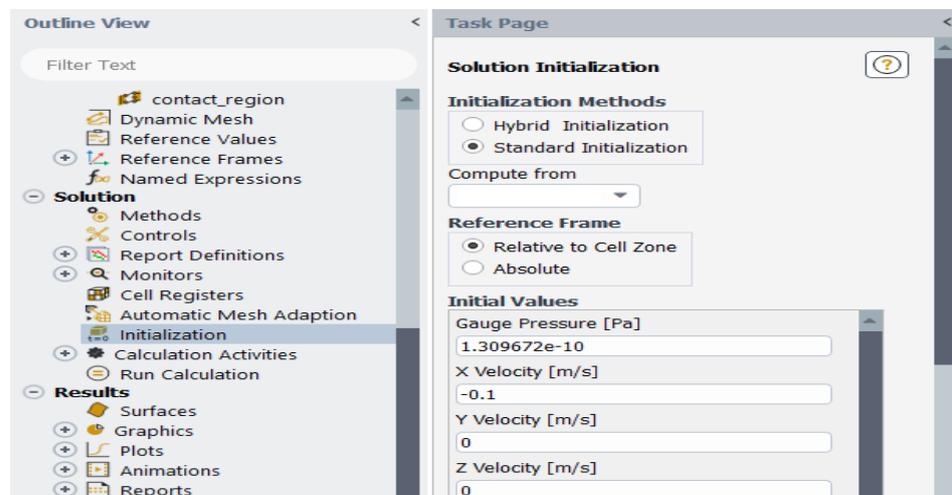
Pada menu ini mengatur kontak yang terjadi antar permukaan luar dan dalam domain yang *stationary* dan permukaan dalam dari domain rotasi. Pada simulasi ini menggunakan kontak permukaan dengan *coupled wall*.



Gambar 3 14 Mesh interface menu

h) Initialization Menu

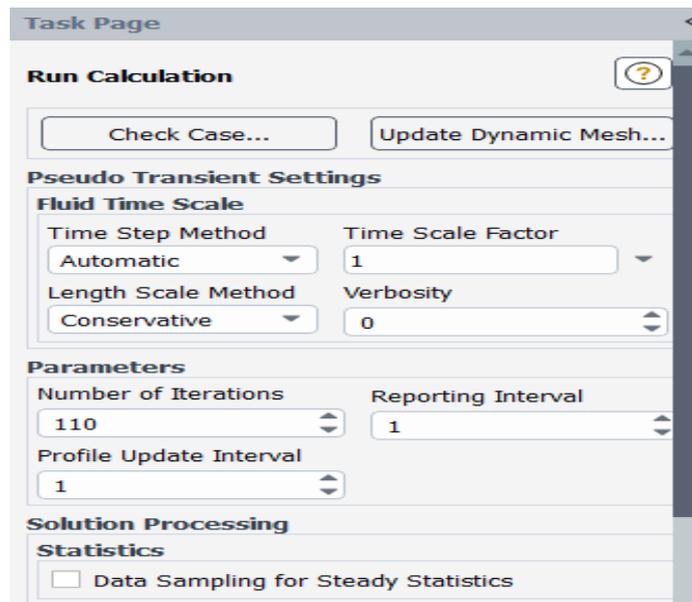
Initialization merupakan tahap mengisi nilai dugaan awal ke setiap sel-sel mesh. Pada dasarnya nilai ini bebas, mau berapapun tidak masalah, karena seiring berjalannya iterasi nilai-nilai tersebut akan menyesuaikan dengan *equilibrium governing equations*. Namun nilai dugaan awal yang terbaik, adalah yang mendekati solusi, agar simulasi cepat dan mudah *konvergen*.



Gambar 3 15 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*.

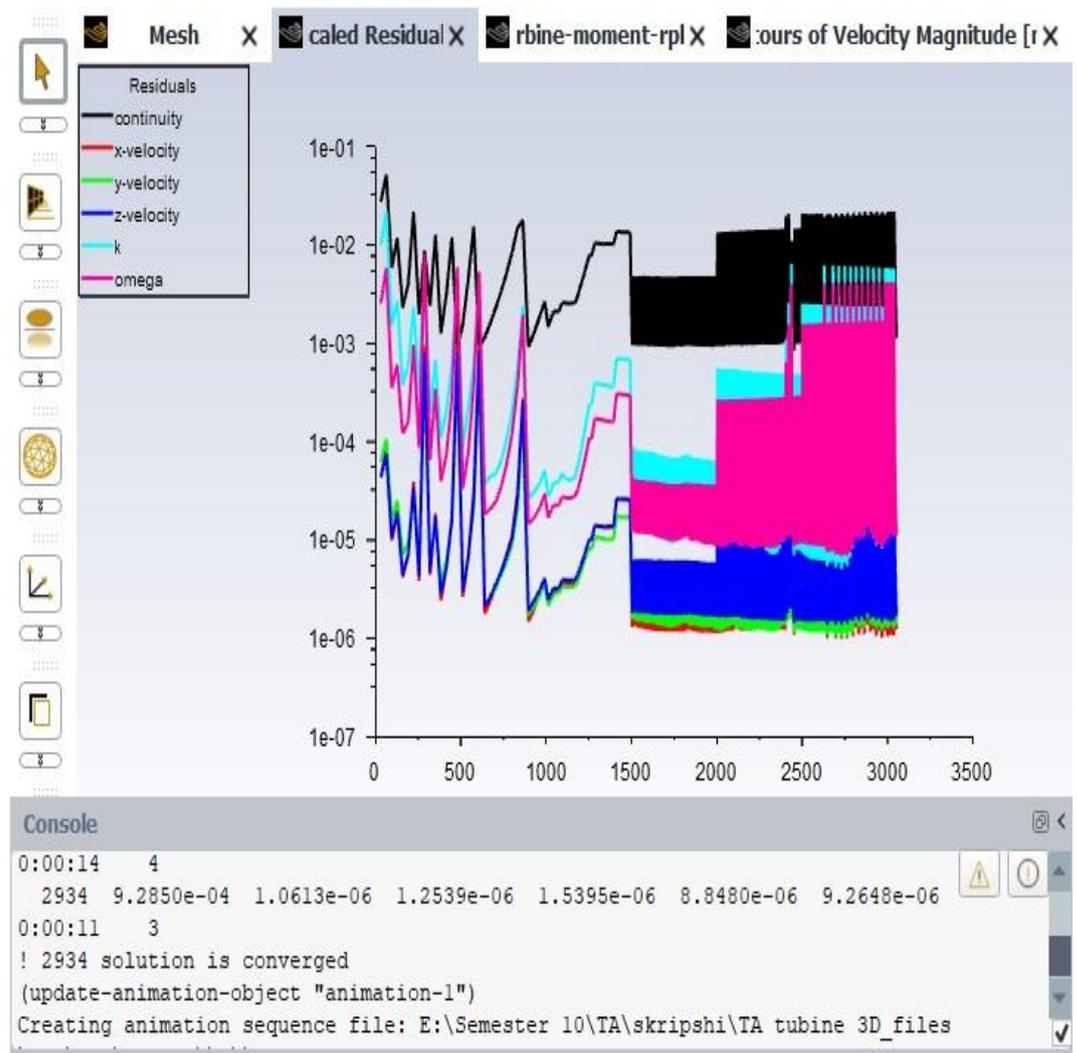


Gambar 3 16 Run Calculation Menu

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.

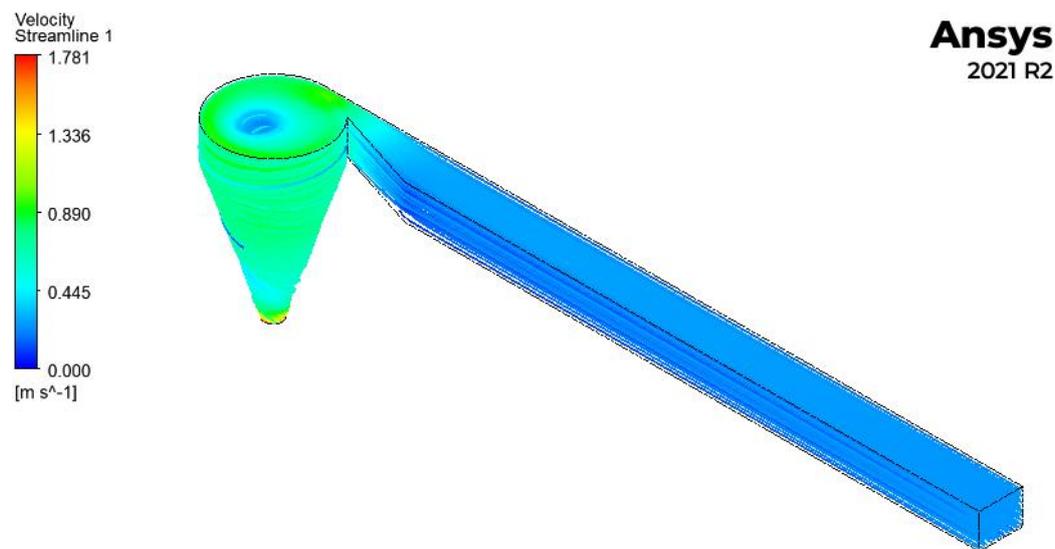
Simulasi CFD melibatkan proses non-linier yang berkorelasi dengan fenomena yang tidak stabil secara inheren seperti turbulensi. Software CFD bertujuan untuk menyimulasikan proses fisik, dengan menangkap permasalahan fenomena fisik ke dalam persamaan numerik. Karena itu, tidak ada jaminan bahwa akan ada 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 17 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 3.19 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 18 Hasil simulasi berupa contour streamlined 3D

3. Validasi

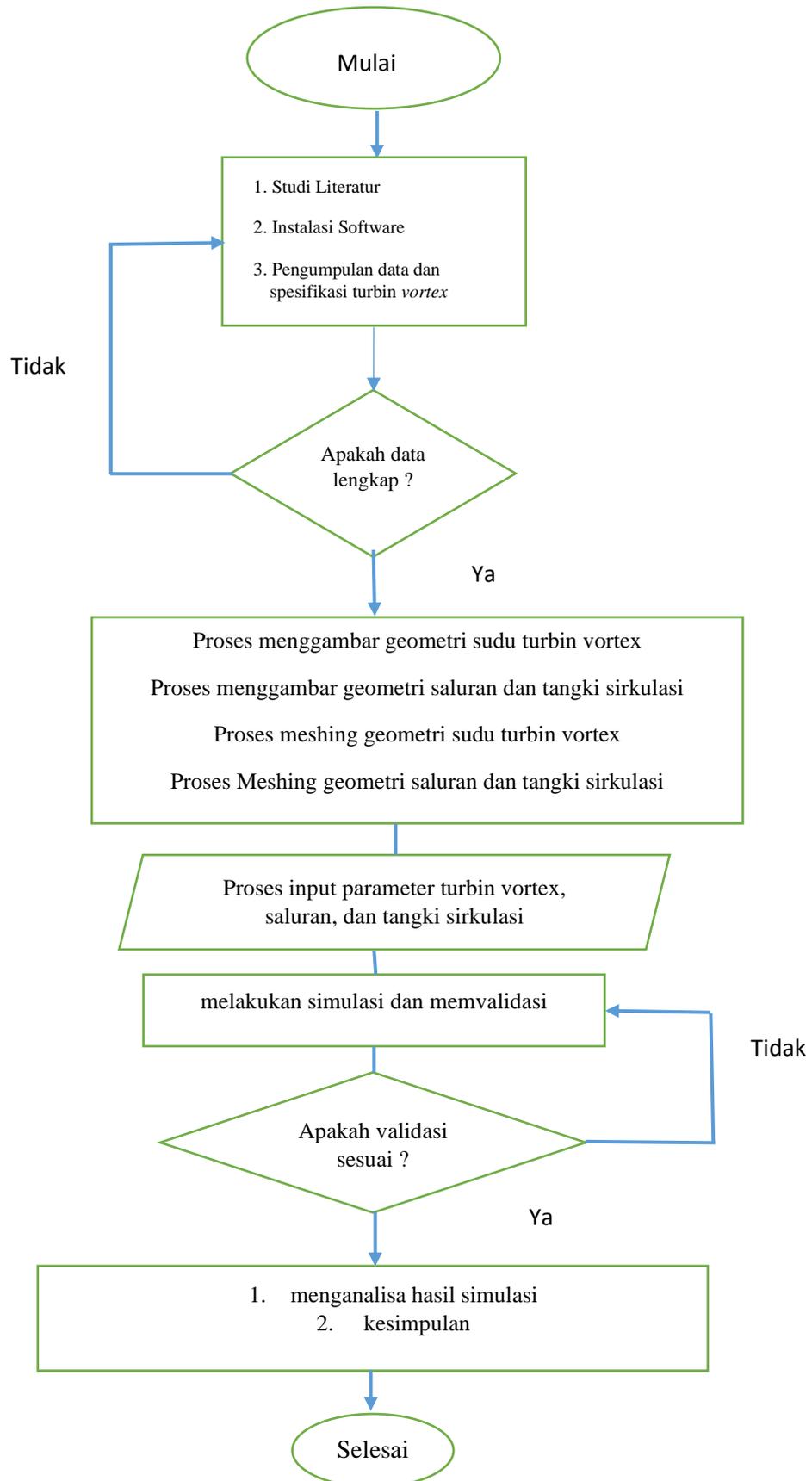
Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil yang di peroleh secara simulasi terhadap hasil yang diperoleh secara pengujian dilaboratorium mekanika fluida. setelah dilakukan pengujian oleh Cristhina (2022).

C. Diagram Alir

Penelitian ini akan dilaksanakan dengan memahami persoalan dan mencari teori-teori yang mendukung penelitian dengan cara studi literatur. Studi literatur dilaksanakan dengan memanfaatkan buku ataupun jurnal dari penelitian-penelitian yang telah dilaksanakan oleh orang lain. Buku dan jurnal diperoleh dengan memanfaatkan fasilitas perpustakaan universitas

lampung dan menggunakan fasilitas dunia digital yang telah berkembang. Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data-data yang didapat dari penelitian yang telah dilaksanakan dan didukung beberapa jurnal. Proses pengumpulan data juga digunakan untuk menginstal perangkat lunak yang akan digunakan.

Tahap selanjutnya adalah proses menggambar geometri sudu Turbin vortex menggunakan software Autodesk inventor Selanjutnya adalah persiapan simulasi dengan memasukan parameter-parameter yang dibutuhkan. Setelah proses input parameter maka selanjutnya melakukan simulasi. Tahap setelah simulasi adalah pengambilan data simulasi apabila data lengkap maka bergerak pada tahap selanjutnya. Secara umum alur penelitian yang akan dilaksanakan dapat dijabarkan melalui gambar 3.20 dibawah ini:



Gambar 3.19 Alur Penelitian

V. PENUTUP

A. 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° , diameter conical atas 60 cm dan diameter outlet conical 10 cm, dan jenis turbin vortex digunakan adalah jenis twisted dengan dimensi turbin adalah dengan tinggi 28,8 cm dengan kemiringan sudu turbin 18° dengan jumlah 6 sudu.
2. Nilai variasi tinggi 20 cm nilai kecepatan di sepanjang tangki sirkulasi mendapatkan nilai 1.280 m/s. untuk nilai variasi ketinggian 17 cm mendapatkan nilai 1.107 m/s di sepanjang tangki sirkulasi dan nilai variasi tinggi 12 cm dihasilkan nilai 0.986 m/s disepanjang tangki sirkulasi.
3. Pada Penelitian ini hasil perbandingan torsi eksperimen dan simulasi didapatkan dengan torsi terbesar dihasilkan oleh turbin dengan variasi debit air tinggi 20 cm 17 cm dan 20 cm dengan nilai torsi eksperiment yang didapat sebesar 2 Nm dan nilai torsi hasil simulasi mendapatkan nilai sebesar 2,35 Nm. Untuk daya turbin antara eksperimen dan simulasi yang maksimal adalah 18,71watt, 18,54 watt, dan 8,06 watt. Dan Efisiensi yang dihasilkan oleh eksperimen dan simulasi efisiensi optimum yang didapatkan untuk variasi debit air tinggi 20 cm yaitu sebesar 18,04 %, pada turbin variasi debit air tinggi 17 cm yaitu sebesar 24,68 % dan untuk turbin variasi debit air tinggi 12 cm sebesar 14,55%.

B. Saran

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

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

DAFTAR PUSTAKA

Astu Pudjanarsa, Djati Nursuhud, 2012. *Mesin Konversi Energi*. Andi Offset: Yogyakarta

ANSYS, Fluent, 2021. *Theory Guide: Canonburg*

Aeroengineering. 2019. Pengenalan komputasi dinamika fluida. Dapat diakses di <https://www.aeroengineering.co.id/2019/02/pengenalan-computational-fluid-dynamics-cfd/> Diunduh pada tanggal 26 september 2021

Dhakal S, Timilsina AB, Dhakal R, Fuyal D, Bajracharya TR, Pandit HP, Amatya N, Nakarmi AM, 2015. Comparison of conical basin and cylindrical basin with optimum position of runner: gravitational water vortex power plant. *Renew Sustain Energy Rev* 48:662–669.

Dietzel, F. 1996. *Turbin dan Pompa Kompresor*. PT. Gelora Aksara Pratama. Jakarta.

Zotloeterer. *Zotloetterer gravitational vortex power plant*. New Energy Congress, page 1, 2008.

Fox, R.W, dkk. 2004. *Introduction to Fluid Mechanics*. United State of America. John Wiley an Sons, Inc

Sritram, P and Suntivarakorn, R. 2019. *The effects of blade number and turbine baffle plates on the efficiency of free-vortex water turbines*, IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science* 257 012040.

Suman Acharya, Subodh Kumar Ghimire, Hari Bahadur Dura. 2019. *Design Study of Runner for Gravitational Water Vortex Power Plant with Conical Basin*. Journal ISSN: 2350-8914 Nepal

Tri Ratna Bajracharya, Shree Raj Shakya, Ashesh Babu Timilsina, Jhalak Dhakal, Subash Neupane, Ankit Gautam, 2020. *Effects of Geometrical Parameters in Gravitational Water Vortex Turbines with Conical Basin*. Journal Nepal

Jaliwala, R., dan Tim Contained Energy Indonesia., 2020. Buku Panduan Energi yang Terbarukan. Kementrian Dalam Negeri. Jakarta.

Wanchat S, Suntivarakorn R, Wanchat S, Tonmit K and Kayanyiem P 2013
Advanced Materials Research 805-806 811-817