

TUGAS AKHIR

SIMULASI ALIRAN FLUIDA (AIR) PADA TURBIN WHIRLPOOL MENGGUNAKAN PENDEKATAN CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS)

*Diajukan untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

ARISMUNANDAR HASIBUAN
1507230199



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Arismunandar Hasibuan
NPM : 1507230199
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Simulasi Aliran Fluida (Air) Pada Turbin *Whirlpool*
Menggunakan Pendekatan *CFD (Computational Fluid Dynamics)*
Bidang Ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2020

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



H. Muharnif, S.T., M. Sc

Dosen Peguji II



Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji III



Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Peguji IV



Chandra A Seregar, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



Handwritten signature of Ahmad Marabdi Siregar

Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Arismunandar Hasibuan
Tempat /Tanggal Lahir : Ladang Tengah, 23 Oktober 1997
NPM : 1507230199
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Simulasi Aliran Fluida (Air) Pada Turbin *Whirlpool* Menggunakan Pendekatan *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*)”.

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2020
Saya Yang Menyatakan,



Arismunandar Hasibuan

ABSTRAK

Potensi pengembangan PLTMH di Indonesia masih sangat terbuka. Banyak inovasi yang telah dilakukan pada turbin air, salah satunya dengan memanfaatkan energi dari pusaran air untuk selanjutnya dikonversi menjadi energi puntir seperti pada turbin *whirlpool*. Turbin air *Whirlpool* merupakan mesin untuk mengkonversikan energi air menjadi energi puntir sebagai penggerak generator untuk membangkitkan energi listrik, dengan keuntungan dapat bekerja pada head yang rendah serta konstruksi dan perawatannya mudah dan murah. Dalam hal ini peneliti bertujuan untuk mengetahui bagaimana karakteristik aliran fluida yang terjadi pada turbin *whirlpool* menggunakan *Solidworks Flow Simulation*. Variasi yang digunakan adalah dengan menggunakan debit aliran yaitu 90, 110, 125, 135, dan 150 l/m. Metode simulasi menggunakan tipe analisis *Internal Flow*. Kondisi batas yang digunakan adalah *Inlet Volume Flow* pada *inlet* dan *Environment Pressure* pada *outlet*. Hasilnya adalah turbin *whirlpool* menghasilkan efisiensi 19,95 pada debit 150 l/m. Nilai torsi yang diperoleh turbin *whirlpool* semakin tinggi dengan bertambahnya debit aliran dengan torsi maksimal 0,159 Nm, efisiensi maksimal adalah 22,14 % pada debit 125 l/m. Dan efisiensi pada pengujian CFD lebih tinggi dibanding dengan pengujian secara eksperimental.

Kata Kunci : CFD, Turbin Air, *Whirlpool*, Laju Aliran

ABSTRACT

The potential for developing PLTMH in Indonesia is still very open. Many innovations have been made in the water turbine, one of which is by utilizing the energy from the whirlpool to further convert it into torsional energy such as the whirlpool turbine. The Whirlpool water turbine is a machine to convert water energy into torsional energy as a generator to generate electrical energy, with the advantage of being able to work at a low head and its construction and maintenance is easy and cheap. In this matter, the researcher aims to find out how the fluid flow characteristics that occur in a whirlpool turbine using Solidworks Flow Simulation. The variation used is to use flow rates, namely 90, 110, 125, 135, and 150 l/m. The simulation method uses the Internal Flow analysis type. The boundary conditions used are Inlet Volume Flow at the inlet and Environment Pressure at the outlet. The result is that the whirlpool turbine produces an efficiency of 19.95 at a discharge of 150 l/m. The torque value obtained by the whirlpool turbine is higher with the increase in flow rate with a maximum torque of 0.159 Nm, the maximum efficiency is 22,14 % at a discharge of 125 l/m. And the efficiency of CFD testing is higher than experiment.

Keywords: CFD, Water Turbine, Whirlpool, Flow Rate

KATA PENGANTAR

Assalamu ‘alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Dengan nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Simulasi Aliran Fluida (Air) Pada Turbin *Whirlpool* Menggunakan Pendekatan *CFD (Computational Fluid Dynamics)*” sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis mengahaturkan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak, yaitu:

1. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing dan memberikan arahan kepada penulis dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing II yang juga telah membimbing dan memberikan arahan kepada penulis dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Dan juga sebagai Sekretaris Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Muharnif, S.T., M. Sc selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II yang juga yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Affandi, S.T., M.T, selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu teknik mesin kepada penulis selama perkuliahan.
8. Bapak/Ibu staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Kedua Orang Tua penulis yang telah telah membesarkan dan memberi nasihat serta motivasi untuk segera menyelesaikan studi.
10. Rekan-rekan IMMawan/IMMawati Pimpinan Komisariat Ikatan Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Rekan-rekan seperjuangan kelas A2 Siang Angkatan 2015 telah bersama dalam menyelesaikan studi.
12. Dan rekan satu tim dalam menyelesaikan tugas akhir ini yaitu Wahyu, Heri, Amin, dan Ridho.

Akhir kata, tentunya laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis dimasa yang akan datang. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi Teknik Mesin. Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, September 2020
Penulis,

Arismunandar Hasibuan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Metode Penelitian	2
1.5. Tujuan Penelitian	3
1.6. Manfaat Penelitian	3
1.7. Sistematika Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Energi Air	5
2.2. Turbin Air	6
2.2.1. Tinggi Terjun Efektif	7
2.2.2. Jenis Turbin Air	7
2.2.2.1. Turbin Impuls	7
2.2.2.2. Turbin Reaksi	8
2.2.3. Turbin <i>Whirlpool</i>	10
2.2.4. Karakteristik Turbin Air	12
2.2.5. Efisiensi Turbin dan Runner	15
2.3. Pusaran Air	15
2.3.1. Sifat-sifat Pada Aliran <i>Whirlpool (Vortex)</i>	17
2.3.2. Tipe Pusaran Air	17
2.3.4.1. Pusaran Dengan Paksaan	17
2.3.4.2. Pusaran Bebas	19
2.4. <i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i>	21
2.4.1. Proses <i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i>	22
2.4.2. <i>Meshing</i>	22
2.4.3. Persamaan Dasar CFD	23
2.5. Kajian Pustaka Simulasi <i>Vortex Flow</i>	26

BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1.	Tempat dan Waktu	29
3.1.1.	Tempat Penelitan	29
3.1.2.	Waktu Penelitian	29
3.2.	Alat dan Instumen Penelitian	29
3.2.1.	Laptop/PC	30
3.2.2.	Aplikasi <i>Solidworks</i>	30
3.3.	<i>Flowchart</i> Penelitian	31
3.4.	Prosedur Penelitan	32
3.4.1.	<i>Pre Procesing</i>	32
3.4.1.1.	Desain Komponen Turbin	32
3.4.1.2.	<i>Wizard</i>	32
3.4.1.3.	Menentukan <i>Boundary Condition</i>	32
3.4.1.4.	Menentukan <i>Goals</i>	33
3.4.2.	<i>Procesing</i>	33
3.4.2.1.	<i>Meshing</i>	34
3.4.2.2.	<i>Solving/Calcilation</i>	34
3.4.3.	Analisa Data dan Kesimpulan	34
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Validasi Penelitian	35
4.1.1.	Desain Turbin <i>Whilpool</i>	35
4.1.1.1.	Desain Basin	35
4.1.1.2.	Desain Runner	38
4.1.2.	<i>Wizard</i>	40
4.1.3.	<i>Boundary Cindition</i>	40
4.1.4.	<i>Goals</i>	41
4.2	Hasil Simulasi	44
4.2.1.	Hasil <i>Meshing</i>	44
4.2.2.	Kontur Tekanan dan Kecepatan	44
4.2.3.	Kontur Tekanan pada Runner	46
4.2.4.	Vektor Kecepatan Fluida	47
4.3	Perhitungan Efisiensi Turbin	48
4.3.1.	Kecepatan Sudut	48
4.3.2.	Efisiensi Turbin	50
4.4	Grafik Hasil Simulasi	52
4.4.1.	Hubungan Torsi dan Putaran	52
4.4.2.	Perbandingan Pengujian CFD dan Eksperimental	53
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1.	Kesimpulan	55
5.2.	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		56
LAMPIRAN		
LEMBAR ASISTENSI		
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		

DAFTAR TABEL

- Tabel 2.1. Skala Kualitas *Meshing*
- Tabel 2.2. Kelebihan dan Kekurangan Metode Turbulensi CFD
- Tabel 3.1. Jadwal dan Pelaksanaan Penelitian
- Tabel 3.2. Spesifikasi PC
- Tabel 3.3. *Inlet Volume Flow*
- Tabel 4.1. *Wizard*
- Tabel 4.2. *Boundary Condition*
- Tabel 4.3. *Goals* yang Digunakan
- Tabel 4.4. *Equation Goals*
- Tabel 4.5. *Velocity*
- Tabel 4.6. Data Hasil Simulasi

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1. Jenis-jenis Turbin
Gambar 2.2. Turbin Pelton
Gambar 2.3. Turbin Cross Flow
Gambar 2.4. Turbin Francis
Gambar 2.5. Turbin Kaplan
Gambar 2.6. Grafik daya listrik vs *head, flow* pada turbin *whirlpool*
Gambar 2.7. Turbin *Whilpool*
Gambar 2.8. Instalasi Turbin *Whilpool*
Gambar 2.9. Pergerakan aliran *whilpool*
Gambar 2.10. Pusaran dengan paksaan (a) potongan melalui pusaran dengan paksaan, (b) kemiringan pada permukaan *E*, (c) gaya-gaya yang bekerja pada elemen (*E*). (*Daugdale, 1986*)
Gambar 2.11. Teori Pusaran Bebas
Gambar 2.12. Penampang Melalui Permukaan Bebas dari (a) Pusaran Dengan Paksaan dan (b) Pusaran Bebas
Gambar 3.1. Aplikasi *Solidworks*
Gambar 3.2. *Flowchart* Penelitian
Gambar 4.1. *Sketch* dasar *basin*
Gambar 4.2. *Sketch* dinding *basin*
Gambar 4.3. *Sketch* rumah runner
Gambar 4.4. *Sketch* dan desain *draft tube*
Gambar 4.5. *Basin*
Gambar 4.6. *Sketch Core Runner*
Gambar 4.7. *Sketch* dan desain sudu runner
Gambar 4.8. *Circular Pattern* sudu runner
Gambar 4.9. *Runner*
Gambar 4.10. *Component Control*
Gambar 4.11. *Golas*
Gambar 4.12. Hasil *Mesh*
Gambar 4.13. Kontur Kecepatan Aliran Fluida
Gambar 4.14. Distribusi Tekanan
Gambar 4.15. Kontur Tekanan pada Runner
Gambar 4.16. Vektor Aliran Fluida
Gambar 4.17. *Sketch* kecepatan linear
Gambar 4.18. Grafik Putaran vs Torsi
Gambar 4.19. Grafik Debit Aliran vs Efisiensi
Gambar 4.20. Grafik Perbandingan Efisiensi CFD dan Ekperimental

DAFTAR NOTASI

m	Massa air	Kg
g	Percepatan gravitasi	m/s^2
h	Head	m
ϕ	Rasio kecepatan	
Nu	Kecepatan satuan	rpm
Qu	Debit satuan	m^3/s
Pu	Daya satuan	Kw
Ns	Kecepatan spesifik	
Ds	Diameter spesifik	m
ω	Kecepatan sudut	rad/s
P_{Air}	Daya air	Kw
P_{Turbin}	Data turbin	Kw
ΔP	Perbedaan tekanan	Pa
Q	Debit aliran	m^3/s
T	Torsi	Nm
ρ	Massa jenis	Kg/m^3
v	Laju aliran	m/s

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Potensi air tersebar di seluruh Indonesia dan diperkirakan mencapai 75.000 MW dan pemanfaatannya baru sekitar 10,01 % atau sebesar 7.572 dari seluruh potensi yang ada. Akan tetapi, pembangkit listrik berskala besar tidak sepenuhnya bisa menjawab masalah pemenuhan kebutuhan energi. Tidak juga dalam keseimbangan penyebaran terutama pada daerah-daerah pelosok yang belum memungkinkan distribusi listrik nasional.

Konsep berbasis pada teknologi pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dapat menjawab permasalahan diatas. Mikrohidro biasanya dipakai untuk pembangkit listrik yang menghasilkan output di bawah 500 KW, sementara minihidro untuk output 500 KW - 1 MW. Banyak daerah pelosok di Indonesia yang dekat dengan aliran sungai yang memadai untuk dijadikan mikrohidro. Dan diharapkan dengan memanfaatkan potensi yang ada di daerah tersebut dapat memenuhi kebutuhan listriknya sendiri dalam mengantisipasi kesulitan jaringan listrik nasional untuk menjangkaunya.

Banyak inovasi yang telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pada turbin air, salah satunya adalah dengan memanfaatkan energi dari pusaran air untuk menggerakkan turbin seperti pada turbin *whirlpool*. Penggunaan turbin *whirlpool* ini belum begitu banyak dikembangkan. Mengutip dari website *turbulent.be* sebagai pengembang dari turbin tipe ini, turbin ini sangat efisien digunakan untuk sungai dan kanal dengan perbedaan ketinggian rendah (antara 1,5 - 5 m), dan keunggulan lain dari turbin tipe *whirlpool* ini juga ramah lingkungan dan tidak perlu membuat bendungan, minim perawatan, aman dari resiko banjir karena tidak mengganggu jalur sungai yang seharusnya, serta mudah dalam pemasangan.

Mengingat tingginya biaya yang dikeluarkan untuk riset terutama pada pengujian eksperimental. Untuk menekan biaya riset ini maka dapat dilakukan dengan pengujian menggunakan perangkat lunak komputasi yaitu *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. *CFD* sendiri adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya

dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika (model matematika). Pada dasarnya, persamaan-persamaan pada fluida dibangun dan dianalisis berdasarkan persamaan-persamaan diferensial parsial (*PDE - partial Differential Equation*) yang mempresentasikan hukum-hukum konversi massa, momentum, dan energi.

Sebuah perangkat lunak *CFD (Computational Fluid Dynamics)* akan memberikan simulasi aliran fluida, perpindahan panas, perpindahan massa, benda-benda bergerak, aliran multi fasa, reaksi kimia, interaksi fluida dengan struktur, dan sistem akuisisi hanya dengan pemodelan di komputer. Dengan menggunakan *software* ini kita dapat membuat *virtual prototype* dari sebuah sistem atau alat yang akan kita analisis dengan menerapkan kondisi nyata dilapangan. *Software CFD* akan memberikan data-data, gambar-gambar, atau kurva-kurva yang menunjukkan prediksi dari performansi keandalan sistem yang kita disain tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah latar belakang diatas, maka dapat ditarik rumusan-masalah, bagaimana karakteristik aliran fluida pada turbin *whirlpool*, dan pengaruh jumlah debit aliran terhadap torsi dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin.

1.3. Ruang Lingkup Masalah

Dalam penulisan laporan tugas akhir ini ada batasan-batasan masalah yang diberikan agar penelitian ini lebih terarah, adapun batasan masalahnya adalah:

1. Membuat desain turbin *Whirlpool* meliputi desain *basin* dan *runner* menggunakan *software Solidworks*.
2. Melakukan simulasi *CFD* pada turbin *Whirlpool* dengan menggunakan *software Solidworks Flow Simulation*.
3. Memvariasikan debit aliran masuk (*inlet volume flow*) yaitu 90 l/m, 110 l/m, 125 l/m, 135 l/m, 150 l/m.
4. Membandingkan efisiensi menggunakan *CFD (Computational Fluid Dynamics)* dengan hasil pengujian secara eksperimental.

1.4. Metodologi Penelitian

Adapun metode pengumpulan data dalam laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penulis melakukan pengujian langsung pada turbin air *Whirlpool* untuk memperoleh data-data yang akan diolah yaitu putaran turbin (ω), Torsi (T) dan efisiensi (η).
2. Studi Pustaka
 - a) Membaca dan mempelajari buku-buku literatur untuk dapat mengetahui dasar teori yang berhubungan dengan permasalahan-permasalahan yang dibahas yaitu turbin *whirlpool* dan *CFD (Computational Fluid Dynamics)*.
 - b) Melakukan diskusi dengan dosen pembimbing dan sesama mahasiswa Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Permodelan dan Simulasi Turbin *Whirlpool*
 - a) Mendesain permodelan turbin *whirlpool (basin dan runner)* yang disesuaikan dengan variasi debit aliran dalam rumah turbin menggunakan aplikasi *Solidworks*.
 - b) Menentukan tipe analisa dan fluida yang digunakan serta *level of initial mesh* pada *solidwoks flow simulation*.
 - c) Menentukan *Boundary Condition* dan *goals* yang diperlukan selanjutnya melakukan simulasi pada *solidwoks flow simulation*.
 - d) Menganalisa hasil simulasi simulasi turbin *Whilpool*, yaitu mendapatkan kontur aliran, kontur tekanan, torsi, *mass flow rate*, dan *pressure drop*.
 - e) Melakukan analisa perhitungan hasil simulasi yang kemudian dibandingkan dengan hasil eksperimental.

1.5. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mensimulasikan aliran fluida pada turbin *whirlpool*.
2. Menganalisis karakteristik aliran fluida yang terjadi pada turbin *whirlpool*.
3. Membandingkan hasil dari perhitungan menggunakan *CFD (computational fluid dynamics)* dengan hasil pengujian secara eksperimental.

1.6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah :

1. Menambah wawasan dan kemampuan berpikir mengenai ilmu pengetahuan tentang simulasi kerja turbin jenis *whirlpool*.
2. Sebagai literatur atau referensi pada penelitian dan sejenisnya dalam rangka pengembangan teknologi tentang turbin *whirlpool* khususnya.
3. Hasil simulasi dapat dijadikan acuan dalam perancangan dan perencanaan turbin *whirlpool*, dan sebagai sarana diagnosis dalam mencari sebab masalah atau kegagalan yang terjadi pada pengujian ekperimental.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut: BAB I: Pendahuluan, berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. BAB II: Landasan teori, berisi tentang pendekatan teoritis serta tinjauan pustaka yang berkaitan dengan turbin air jenis *whirlpool*, dan *Computational Fluid Dynamic (CFD)*. BAB III: Metodologi penelitian, berisi tentang alat penelitian, serta tata cara pelaksanaan penelitian. BAB IV: Hasil dan pembahasan, berisi data hasil penelitian (simulasi) serta perhitungan dan analisa data hasil. BAB V: Penutup, berisi tentang kesimpulan dan saran, serta daftar pustaka yang memuat rujukan yang penulis gunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi Air

Kaidah enegri menyatakan bahwa suatu bentuk energi akan dapat diubah menjadi bentuk energi lain. Arus air yang mengalir mengandung enegi dan energi tersebut dapat diubah bentuk, misalnya perubahan dari energi potensial (tekanan) kedalam enegi kinetis (kecepatan), ataupun sebaliknya. Artinya selajutnya dari kaidah kekekalan energi adalah apabila arus air dalam alirannya dilewatkan melalui turbin air, maka energi yang ada dalam air akan diubah menjadi bentuk yang lain.

Energi air telah dimanfaatkan secara luas di Indonesia yang dalam skala besar telah digunakan sebagai pembangkit listrik. Beberapa perusahaan di bidang pertanian bahkan juga memiliki pembangkit listrik sendiri yang bersumber dari energi air. Di masa mendatang untuk pembangunan pedesaan termasuk industri kecil yang jauh dari jaringan listrik nasional, energi yang dibangkitkan melalui sistem mikrohidro diperkirakan akan tumbuh secara pesat.

Pemanfaatan energi air pada dasarnya adalah pemanfaatan energi potensial gravitasi. Energi mekanik aliran air yang merupakan transformasi dari energi potensial gravitasi dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin atau kincir. Umumnya turbin digunakan untuk membangkitkan energi listrik sedangkan kincir untuk pemanfaatan energi mekanik secara langsung. Pada umumnya untuk mendapatkan energi mekanik aliran air ini, perlu beda tinggi air yang diciptakan dengan menggunakan bendungan. Akan tetapi dalam menggerakkan kincir, aliran air pada sungai dapat dimanfaatkan ketika kecepatan alirannya memadai.

Besarnya Energi air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya head dan debit air. Dalam hubungan dengan reservoir air maka head adalah beda ketinggian antara muka air pada reservoir dengan muka air keluar dari kincir air/turbin air. Total energi yang tersedia dari suatu reservoir air adalah merupakan energi potensial air yaitu:

$$E_p = g \cdot h \tag{2.1}$$

Dengan :

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

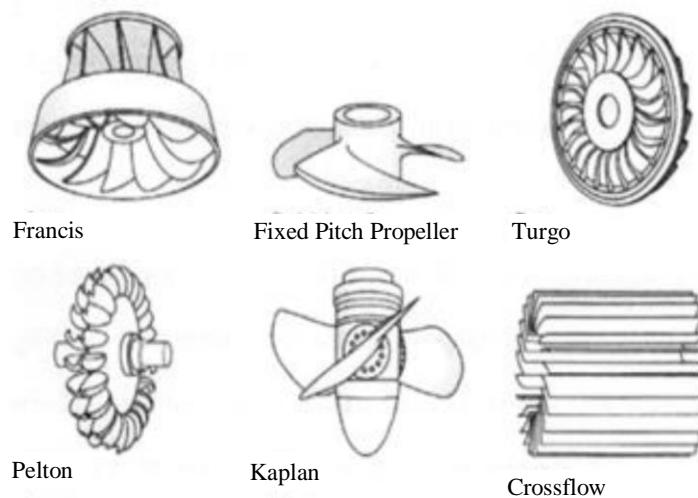
h = Head (m)

2.2. Turbin Air

Turbin secara umum dapat diartikan sebagai mesin penggerak mula dimana energi fluida kerja yang digunakan langsung memutar roda turbin, fluida kerjanya berupa air, uap dan gas. Dengan demikian turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air.

Turbin air dikembangkan pada abad ke 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin air mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanis. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi kinetik menjadi energi mekanis poros. Turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Pada head, debit putaran turbin yang berbeda, bentuk sudu dari turbin akan mempengaruhi bentuk profile sudu.

Air sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui dan persediaanya yang banyak di Indonesia mendorong lahirnya pusat pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Untuk itu dibuat berbagai jenis turbin air (Gambar 2.1) untuk mengatasi masalah kekurangan energi yang terjadi tersebut. Sungai Kalimas Surabaya berpotensi menghasilkan sumber *renewable energy* melalui karakteristik *head* dan debit.



Gambar 2.1. Jenis-jenis Turbin Air

2.2.1. Tinggi Terjun Efektif

Suatu turbin air bekerja dengan debit Q , tinggi terjun H_n , dan putaran n . Dalam hal aliran terbuka pada umumnya kecepatan meningkat dengan bertambahnya jarak dari batas. Kecepatan maksimum tidak terjadi pada permukaan batas tetapi biasanya dibawah permukaan bebas pada jarak 0,05 sampai 0,25 kedalaman. Kecepatan rata-rata pada garis vertikal kadang-kadang ditentukan dengan mengukur kecepatan pada 0,6 kedalaman, tetapi cara lebih cepat dapat diandalkan ialah dengan mengambil harga rata-rata dari kecepatan pada 0,2 sampai 0,8 kedalaman, sesuai dengan pengukuran-pengukuran Survei Gologi Amerika Serikat.

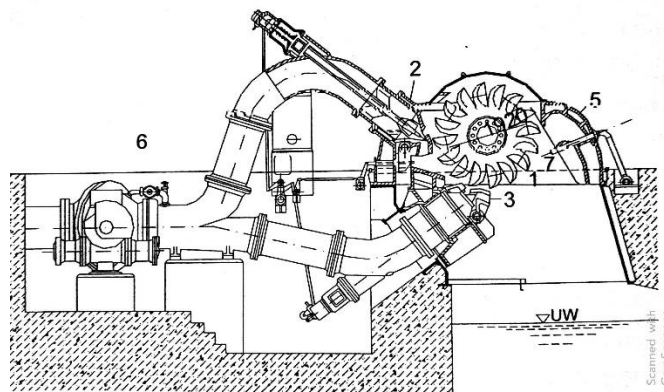
2.2.2. Jenis Turbin Air

Turbin air dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa cara, namun yang paling utama adalah klasifikasi turbin air berdasarkan cara turbin tersebut merubah energi air menjadi energi puntir. Berdasarkan hal ini turbin diklasifikasikan menjadi dua, yaitu:

2.2.2.1. Turbin Impuls

Yang dimaksud turbin impuls adalah turbin air yang cara bekerjanya dengan merubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial+ tekanan+kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menjadikan energi puntir.

Turbin impuls modern adalah tipe pelton yang digunakan untuk head yang tinggi, seperti terlihat pada gambar 2.2. Satu atau lebih nosel yang berasal dari beberapa nosel (samapai 6) membentur sudu-sudu berupa mangkok dari sisi masuk kesisi keluar, sehingga menghasilkan gaya yang menghasilkan momen puntir pada poros. Semua head yang tersedia diubah menjadi energi kinetik didalam nosel, dan semua energi kinetik setelah meninggalkan sudu hilang (tidak dapat dimanfaatkan lagi). Karena ini perencanaan sudu sebaik mungkin untuk meminimalisir kecepatan keluar. Keuntungan turbin ini adalah dapat beroperasi dengan efisien yang hampir konstan pada beban yang berubah-ubah.

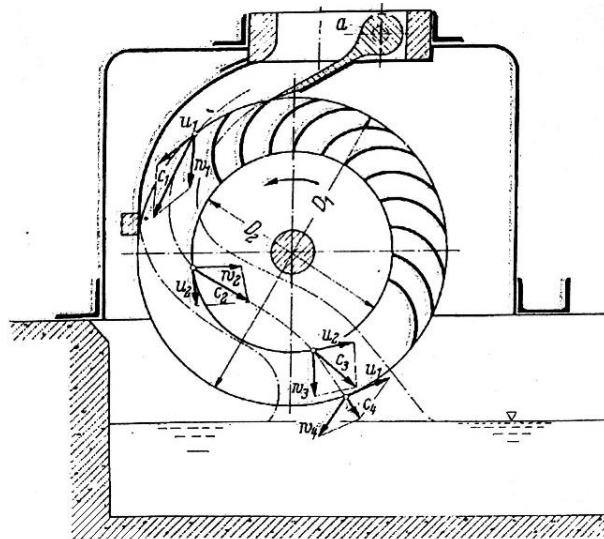


Keterangan

1. Sudu Gerak
2. Nosel
3. Deflektor Jet
4. Setingan Nosel
5. Rumah Turbin
6. Bantalan Campuran

Gambar 2.2. Turbin Pelton dua Nosel (Himran S. 2017)

Turbin Banki-Mitchel seperti terlihat pada gambar 2.3 adalah variasi dari turbin impuls. Aliran melalui sudu gerak menjadi dua kali, yakni: pertama kali sudu bagian atas dan kedua kalinya pada bagian bawah sudu seperti terlihat pada gambar 2.3 dibawah.



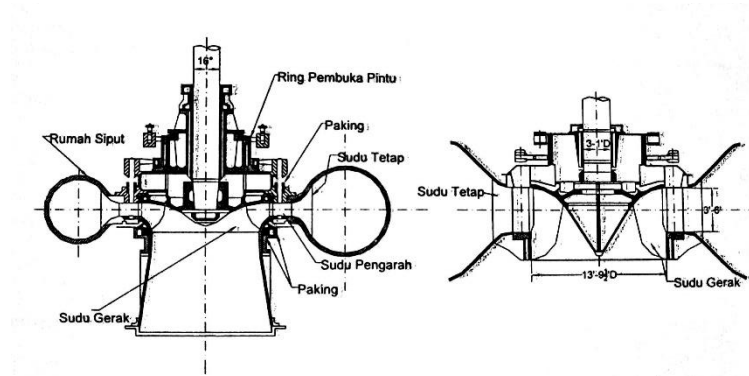
Gambar 2.3. Turbin Aliran Menyilang/Cross Flow campuran (Himran S. 2017)

2.2.2.2. Turbin Reaksi

Yang dimaksud dengan turbin reaksi adalah turbin air yang cara bekerjanya merubah seluruh energy air yang tersedia menjadi energi puntir. Turbin reaksi dibagi menjadi dua jenis yaitu :

1. Turbin Francis

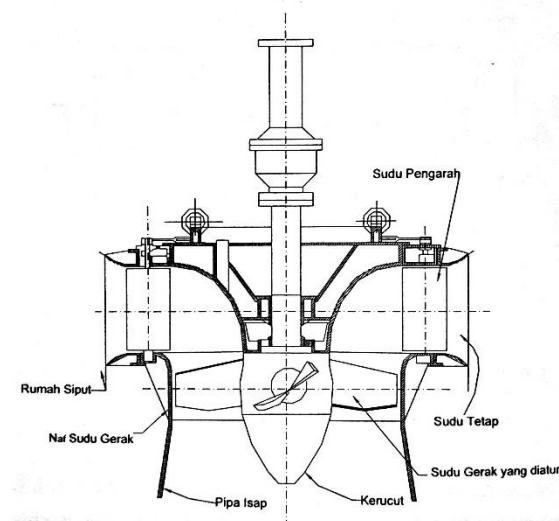
Pada turbin ini radius aliran air keluar berbeda dengan radius aliran air masuk. Turbin aliran radila terlihat pada gambar 2.4a, bila aliran masuk sudu hanya dengan arah radial. Berbeda dengan turbin aliran campuran terlihat pada gambar 2.4b, bila aluran masuk sudu dengan arah radial dan aksial.



Gambar 2.4. Turbin Francis aliran radial (kiri), aliran campuran (Himran S. 2017)

2. Turbin Propeller/Kaplan

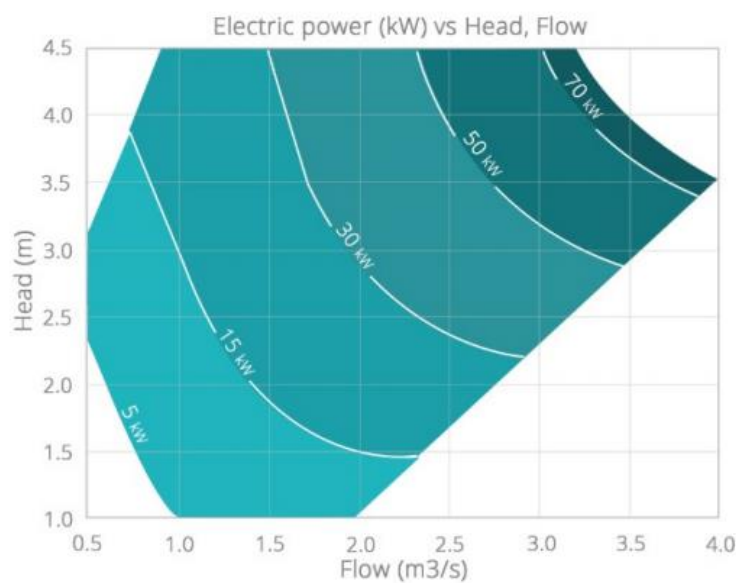
Turbin kaplan adalah turbin aksial klasik. Turbin Kaplan sudu pengarah dan sudu gerak dapat diubah-ubah, lihat gambar 2.5. Aliran air masuk secara radial melalui sudu pengarah, dan sejajar sumbu turbin melalui sudu gerak. Dengan ngatur sudu gerak, turbin Kaplan dapat beroperasi pada beban yang berubah-ubah dengan efisiensi yang tinggi.



Gambar 2.5. Turbin Kaplan (Himran S. 2017)

2.2.3. Turbin *Whirlpool*

Desain *whirlpool* sendiri merupakan suatu perencanaan yang memanfaatkan pusaran air. Sehingga air direkayasa dengan saluran yang mendorong air membuat pusaran. Prinsip kerja yang dimiliki oleh *Whirlpool* seperti prinsip kerja pada wastafel. Pusaran ini tentunya membutuhkan perbedaan tinggi, namun yang dibutuhkan hanya beda tinggi bekisar 1 sampai 3 m untuk dapat menggerakkan turbin. Ini sangat efektif dari pada dengan turbin vertikal yang membutuhkan tinggi jatuh yang besar.

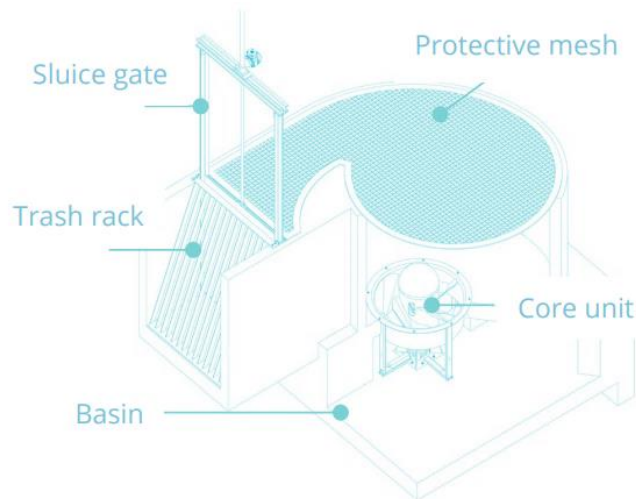


Gambar 2.6. Grafik daya listrik vs *head, flow* pada turbin *whirlpool* (*turbulent.be*)

Gambar 2.6 menunjukkan besar daya listrik yang dihasilkan oleh turbin *whirlpool* menggunakan parameter head dan debit aliran menurut penelitian yang dilakukan *turbulent.be*.

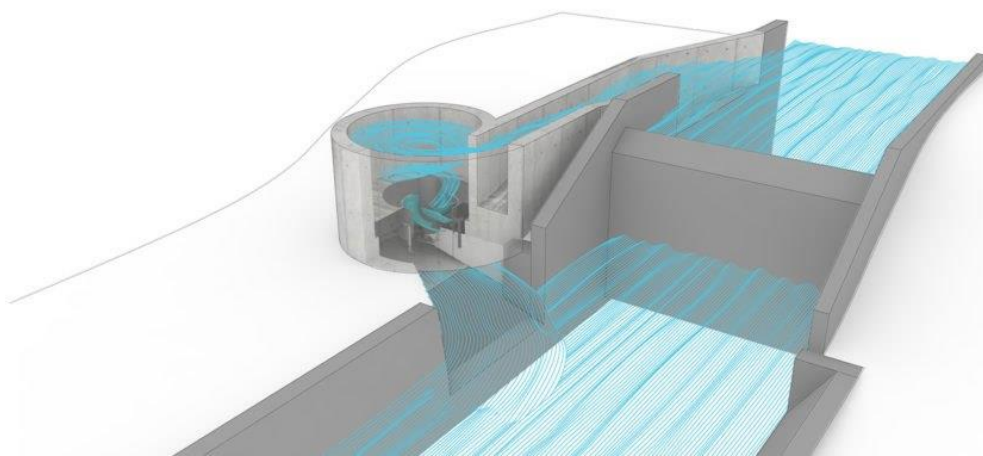
Diketahui bahwa pada umumnya untuk membuat sebuah *hydropower* perlu didirikannya bendungan didaerah yang tinggi akan untuk menapat sebuah reservoir air yang cukup besar. Lalu kemudian dengan menggunakan pipa, air tersebut dialirkan kerumah pusat tenaga, yang dibangun dibawah bendungan, dan didalam rumah tersebut terdapat tubin yang mengubah energi air tersebut menjadi energi pintir. Akan tetapi pada penggunaan turbin *whirlpool* ini penggunaan bendungan tidak telalu di butuhkan karena head yang dibutuhkan oleh turbin ini adalah berkisar

antara 1 s/d 5 m. Instalasinya cukup dengan membelokkan aliran sungai kearah turbin dan memasang pintu pengatur debit sebelum air memasuki turbin.



Gambar 2.7. Turbin Whirlpool (*turbulent.be*)

Instalasi turbin *whirlpool* seperti pada gambar 2.8, memanfaatkan jeram kecil atau air terjun untuk mendapatkan energi. Sebidang tanah di dekat sumber air digali untuk membuat sebuah bak dan saluran air kecil dengan konstruksi beton. Generator dan impeller dimasukkan ke dalam bak, lalu dinding sungai dibuka sedikit supaya sebagian air sungai bisa masuk ke dalamnya, sehingga membuat turbin berputar.



Gambar 2.8. Instalasi Turbin Whirlpool

2.2.4. Karakteristik Turbin Air

Karakteristik suatu turbin dinyatakan secara umum oleh enam buah konstanta, yaitu:

1. Rasio Kecepatan (ϕ)
2. Kecepatan Satuan (Nu)
3. Debit Satuan (Qu)
4. Daya Satuan (Pu)
5. Kecepatan Spesifik (Ns)
6. Diameter Spesifik (Ds)

1. Rasio Kecepatan (ϕ)

Rasio kecepatan (ϕ) adalah perbandingan kecepatan antara kecepatan keliling linear turbin pada ujung diameter nominal dibagi dengan kecepatan teoritis air melalui curat dengan tinggi terjun sama dengan tinggi terjun (H_{netto}) yang bekerja pada turbin. Dapat dinyatakan dengan:

$$\phi = \frac{V_{Linear}}{\sqrt{2gh}} \Rightarrow \phi = \frac{ND}{84.6\sqrt{H}} \quad (2.2)$$

$$V_{Linear} = \frac{N\pi D}{60}$$

Dengan N adalah putaran turbin rpm (rotation per minutes), D adalah diameter karakteristik turbin (m), umumnya digunakan diameter nominal, H adalah tinggi terjun netto/efektif (m)

2. Kecepatan Satuan (Nu)

Kecepatan satuan (Nu) adalah kecepatan putaran turbin yang mempunyai diameter (D) satu satuan panjang dan bekerja pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

Dari persamaan (2.1) diperoleh korelasi:

$$N = 84.6 \cdot \phi \frac{\sqrt{H}}{D} \quad (2.3)$$

Dengan memasukkan nilai $D = 1$ m dan $h = 1$ m, maka pers.(2.2) menjadi

$$N_u = 84.6 \cdot \phi \quad (2.4)$$

Akhirnya Pers.(2.3) dapat ditulis sebagai

$$N_u = \frac{ND}{\sqrt{H}} \quad (2.5)$$

3. Debit Satuan (Q_u)

Debit yang masuk ke turbin secara teoritis dapat diandaikan sebagai debit yang melalui suatu curat dengan tinggi terjun sama dengan tinggi terjun (H_{netto}) yang bekerja pada turbin. Oleh karena itu debit yang melalui turbin dapat dinyatakan sebagai

$$Q = C_d \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \sqrt{2gh} \quad (2.6)$$

$$Q = CD^2 \sqrt{H}$$

Dengan C_d adalah koefisien debit.

Debit satuan (Q_u) adalah debit turbin yang mempunyai diameter (D) satu satuan panjang dan bekerja pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

$$Q_u = C_d \frac{1}{4} \pi \sqrt{2g} \quad (2.7)$$

Akhirnya pers.(1.5) dapat ditulis sebagai

$$Q_u = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H}} \quad (2.8)$$

4. Daya Satuan (P_u)

Daya (P) yang dihasilkan turbin dapat dinyatakan sebagai

$$P = \eta \cdot Q_u \cdot H \cdot \gamma = \eta \cdot Q_u \cdot D^2 \sqrt{H} \cdot H \cdot \gamma \quad (2.9)$$

$$P = \eta \cdot \gamma \cdot Q_u \cdot D^2 \cdot H^{3/2}$$

Dengan η adalah efisiensi turbin, γ adalah berat jenis air.

Daya satuan (P_u) adalah daya turbin yang mempunyai diameter (D) satu satuan panjang dan bekerja pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

Akhirnya pers.(2.8) dapat ditulis sebagai

$$P_u = \frac{P}{D^2 \cdot H^{3/2}} \quad (2.10)$$

5. Kecepatan Spesifik (N_s)

Eliminasi diameter (D) dari pers.(2.4) dan pers.(2.9) menghasilkan korelasi:

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}} \quad (2.11)$$

Kecepatan spesifik (N_s) adalah kecepatan puntir turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

Kecepatan spesifik (N_s) dapat dinyatakan dalam sistim metrik maupun sistim Inggris, korelasi dari kedua system tersebut dinyatakan dalam

$$N_s (\text{Metrik}) = N_s (\text{Inggris}) \times 4.42 \quad (2.12)$$

Catatan: Satuan daya yang digunakan dalam rumus diatas adalah Daya Kuda (DK) atau *Horse Power* (HP).

6. Diameter Spesifik (D_s)

Dari pers.(2.9) diperoleh

$$D = \frac{1}{P_u} \frac{\sqrt{P}}{H^{3/4}} \quad (2.13)$$

Diameter spesifik adalah diameter turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

Akhirnya pers.(2.13) dapat ditulis sebagai

$$D_s = \frac{D \cdot H^{3/4}}{\sqrt{P}} \quad (2.14)$$

Rumus empiris untuk menghitung diameter spesifik dari diameter debit (discharge diameter, D_3) untuk turbin reaksi adalah sebagai berikut:

$$\text{Turbin Francis} \quad D_{3s} = \frac{567,85}{N_s^{0.37}} (cm) \quad (2.15)$$

$$\text{Turbin Kaplan} \quad D_{3s} = \frac{475,72}{N_s^{0.34}} (cm) \quad (2.16)$$

Pada turbin reaksi, jika diameter spesifiknya telah dihitung dengan pers.(2.15) atau pers.(2.16), maka diameter debit dapat dihitung dari pers.(2.13).

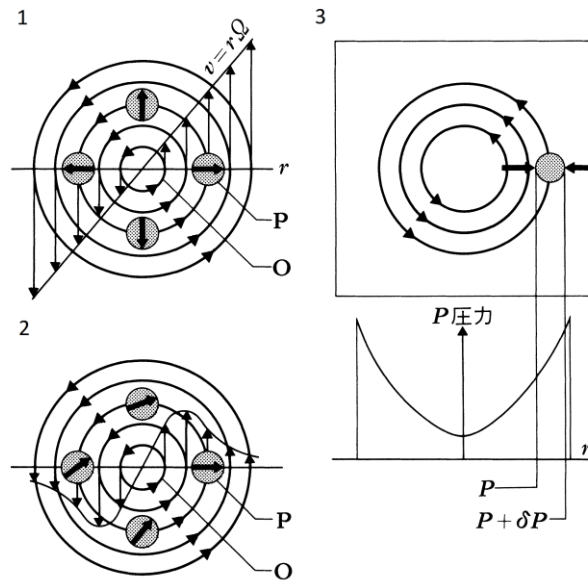
2.2.5. Efisiensi Turbin dan Runner

Secara umum, efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara output dengan input. Pada sistem turbin air, terdapat banyak cara untuk menghitung efisiensi, berdasarkan perbandingan daya output dengan input total sistem, berdasarkan presentase *pressure drop* pada berbagai komponen atau berdasarkan rugi-rugi pada berbagai komponen turbin. Analisis CFD turbin Francis untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi kavitas, dan masalah-masalah dinamik yang terjadi, efisiensi dihitung dengan cara menghitung head drop pada setiap komponen (Patel, 2011). Kajian CFD dan menghitung efisiensi turbin Francis berdasarkan rugi tekanan yang terjadi pada setiap komponen. Dalam kajian ini, efisiensi runner dihitung berdasarkan torsi total runner dan drop tekanan yang terjadi pada runner (Dartina, 1999).

$$Efisiensi = \frac{P_{Air}}{P_{Runner}} = \frac{T \cdot \omega}{\Delta P \cdot Q} \quad (2.17)$$

2.3. Pusaran Air (*Whirlpool*)

Sebuah fluida berputar dikenal sebagai pusaran. Gerakan fluida dengan cepat berputar-putar di sekitar pusat pusaran disebut aliran *whirlpool* atau dikenal juga dengan istilah vortex. Terdapat dua jenis vortex. Salah satunya adalah disebut vorteks bebas, dan yang lainnya adalah vortex paksa. Sebuah pergerakan vortex juga dapat dicirikan sebagai gerak pusaran silinder dan gerak pusaran spiral. Sebuah contoh yang baik dari sebuah pusaran adalah fenomena atmosfer, angin puyuh atau tornado. Pada skala yang lebih kecil, yang biasanya terbentuk pusaran air seperti dalam sebuah wastafel atau toilet.



Gambar 2.9 Pergerakan aliran *whirlpool*

Kecepatan sudut konstan di sekitar sumbu vertikal untuk seember air Ω . Setelah itu, setiap bagian fluida pada akhirnya akan memiliki kecepatan sudut konstan dalam arah tertentu. Ω Itu menetap dalam keadaan di mana ia berputar. Mari kita perhatikan pergerakan sebagian kecil P air pada jarak r dari pusat O (Gambar 2.9 -1). P adalah kecepatan $v = r \Omega$. Itu wajar bahwa ia berputar di sekitar O, tetapi juga dapat dilihat bahwa ia berputar (berputar sendiri) di sekitar porosnya sendiri. Dan karena rotasi ini berputar sekali selama revolusi di sekitar O, kecepatan sudut rotasi adalah Ω . Ini sama untuk setiap bagian dari r , dan semua air dalam ember adalah Ω . Berputar pada kecepatan sudut.

Berbeda dengan ini 2 Adalah pusaran yang bisa dilihat saat mandi dicabut. Angka 1 Garis arusnya konsentris, dan air bergerak dengan kecepatan konstan, di mana pun berada, tetapi kecepatannya menjadi lebih lambat karena menjauh dari pusat, kecuali di sekitar pusat. Dalam hal ini, kecepatan sudut rotasi sangat kecil kecuali air di dekat pusat. Oleh karena itu, meskipun terlihat sama, sifatnya sangat berbeda dari vortex bucket.

Rotasi fluida semacam itu juga terjadi ketika fluida kental terjepit di antara dua pelat paralel (jarak h) dan satu lempeng dipindahkan pada kecepatan konstan U . Dalam hal ini, $U / 2 h$ Ia mengendap dalam keadaan yang berputar pada kecepatan sudut.

2.3.3. Sifat-sifat Pada Aliran *Whirlpool (Vortex)*

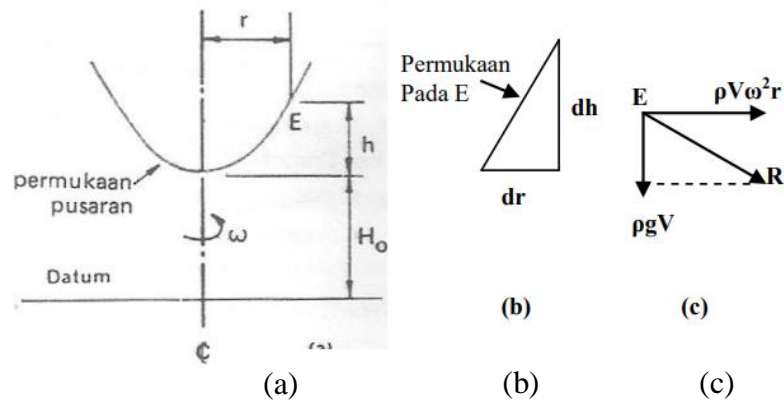
Adapun aliran *whirlpool* memiliki beberapa sifat-sifat khusus antara lain:

1. Tekanan fluida dalam sebuah vortex bernilai paling rendah dipusatnya dimana pada kondisi ini kecepatannya paling tinggi, dan naik secara bertahap sesuai dengan pengaruh jarak dari pusat. Hal ini sesuai dengan persamaan bernoulli.
2. Inti dari setiap vortex dapat dibayangkan mengandung sebuah garis vortex dan setiap partikel dalam vortex dapat dianggap bersirkulasi disekitar garis vortex. Garis-garis vortex berawal dan berakhir pada lapis batas dari fluida tetapi garis-garis tersebut tidak bermula atau berakhir dalam fluida.
3. Dua atau lebih vortex yang kira-kira parallel dan bersirkulasi dalam arah yang sama akan dengan cepat bergabung untuk membentuk sebuah vortex tunggal. Sirkulasi dari vortex yang bergabung akan sama dengan jumlah sirkulasi komponen-komponen pembentuk vortex
4. Vortex mengandung energi yang besar dalam gerakan sirkular fluida. Dalam sebuah fluida ideal energi ini tidak pernah dapat didisipasi dan vortex akan tetap ada seterusnya. Bagaimanapun, fluida nyata menganut adanya viskositas dan disipasi energi vortex akibat viskositas yang mana garis vortex dapat berakhir pada ujung dalam fluida.

2.3.4. Tipe Pusaran Air

2.3.4.1. Pusaran dengan paksaan

Secara matematis, suatu pusaran dengan paksaan mempunyai karakteristik bahwa setiap tetes dari cairan di dalamnya mempunyai kecepatan sudut sama ω , sehingga kecepatan tangensial pada jari-jari r dari pusat pusaran adalah $u r = \omega$. Pada pusat dimana $r = 0$, $u = 0$. Potongan melalui pusaran dengan paksaan terlihat pada gambar 2.6a. Jejak dari setiap elemen cairan seperti E (gambar 2.6a) adalah suatu lingkaran sekitar garis tengah pusaran. Akibatnya resultanya R , dari gaya-gaya (berat dan gaya sentrifugal yang bekerja pada E harus tegak lurus pada permukaan di E , terlihat pada skala yang diperbesar dalam (Gambar 2.6 b).



Gambar 2.10 Pusaran dengan paksaan (a) potongan melalui pusaran dengan paksaan, (b) kemiringan pada permukaan E , (c) gaya-gaya yang bekerja pada elemen (E). (Daugdale, 1986)

Segitiga kecepatan (Gambar 2.10b) dan (Gambar 2.10c) harus sama, sehingga didapatkan (Dugdale, 1986).

$$\frac{dh}{dr} = \frac{\rho \cdot V \cdot \omega^2 \cdot r}{\rho \cdot g \cdot V} = \frac{\omega^2 \cdot r}{g} \quad (2.18)$$

Dimana V = volume dari E

$$\therefore h = \int \frac{\omega^2 \cdot r}{g} \cdot dr = \frac{\omega^2 \cdot r^2}{2 \cdot g} + C \quad (2.19)$$

Dimana C = Konstan.

Dari gambar 2.6 (a), $h = 0$, $r = 0$, dan $\therefore C = 0$

yaitu:

$$h = \frac{\omega^2 \cdot r^2}{2 \cdot g} + \frac{u}{2 \cdot g} \quad (2.20)$$

yang merupakan persamaan dari permukaan bebas.

Apabila head total pada $r = 0$ adalah H_0 , maka pada jari-jari r

$$H = H_0 + h \frac{u^2}{2 \cdot g}$$

$\frac{u}{2g}$ adalah kecepatan, sehingga

$$H = H_0 + \frac{u^2}{2 \cdot g} + \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad (2.21)$$

$$H = H_0 + \frac{u^2}{2 \cdot g}$$

H berubah kalau r berubah, yaitu dalam pusaran-pusaran dengan paksaan head total berubah dari garis arus ke garis arus. Oleh karena itu persamaan Bernoulli berlaku sepanjang suatu garis Bernoulli selalu berlaku sepanjang 13 suatu garis arus (streamline), tidak dapat dipakai dari satu garis arus ke garis arus yang lain tanpa pandang bulu. (Dugdale, 1986)

2.3.4.2. Pusaran Bebas

Suatu pusaran bebas adalah fenomena yang timbul ketika air bak dibiarkan keluar melalui lubang keluar. Seperti pada pusaran dengan paksaan, garis-garis arus adalah lingkaran-lingkaran konsentris tetapi tidak seperti pusaran dengan paksaan, kecepatan tangensial u , pada jari-jari r diberikan dengan : (Dugdale, 1986)

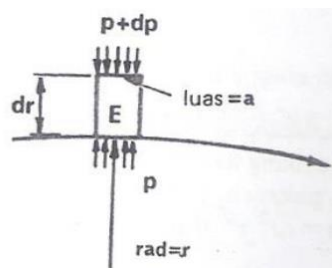
$$ur = K, \text{ suatu konstan}$$

karena Head total H , adalah fungsi dari p , u dan z , maka :

$$\frac{dH}{dr} = \frac{\delta H}{\delta r} \frac{dp}{dr} + \frac{\delta H}{\delta u} \frac{du}{dr} + \frac{\delta H}{\delta z} \frac{dz}{dr} \quad (2.22)$$

Dan karena $H = \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} + z$ pada garis arus,

$$\frac{\delta H}{\delta p} = \frac{1}{\rho g}; \frac{\delta H}{\delta u} = \frac{u}{g}; \frac{\delta H}{\delta z} \quad (2.23)$$



Gambar 2.11 Teori pusaran bebas (Daugdale, 1986)

Gambar 2.11 menunjukkan elemen E akan mengalir sepanjang jejak melengkung hanya bila tekanan pada sebelah luar lebih besar daripada sebelah dalam dengan sejumlah dp , maka:

Gaya radial kedalam = $a dp = \text{Massa} \times \text{Percepatan}$

$$= \rho \cdot \alpha \cdot dr \frac{u^2}{r}$$

$$\therefore \frac{dp}{dr} = \frac{\rho u^2}{r} \quad (2.24)$$

Karena $u = \frac{k}{r}$ maka,

$$\frac{du}{dr} = -\frac{k}{r^2} = -\frac{u}{r} \quad (2.25)$$

dengan mensubstitusi pers. (2.22), (2.23), (2.24) kedalam pers. (2.21) didapat,

$$\frac{dH}{dr} = \frac{dz}{dr} \quad (2.26)$$

Pada bidang horizontal $\frac{dz}{dr} = 0$, sehingga H konstan. Kenyataannya, H konstan untuk semua garis arus, maka bila sufix₁ dan sufix₂ menandakan kondisi dari dua garis arus.

$$H = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + z_2 \quad (2.27)$$

Karena pada tiap titik

$$z = \frac{p}{\rho g} + \frac{C^2}{2gr^2} = H \quad (2.28)$$

Jika fluida pada kondisi permukaan bebas, $\frac{p}{\rho g} = 0$ dan profil pada permukaan

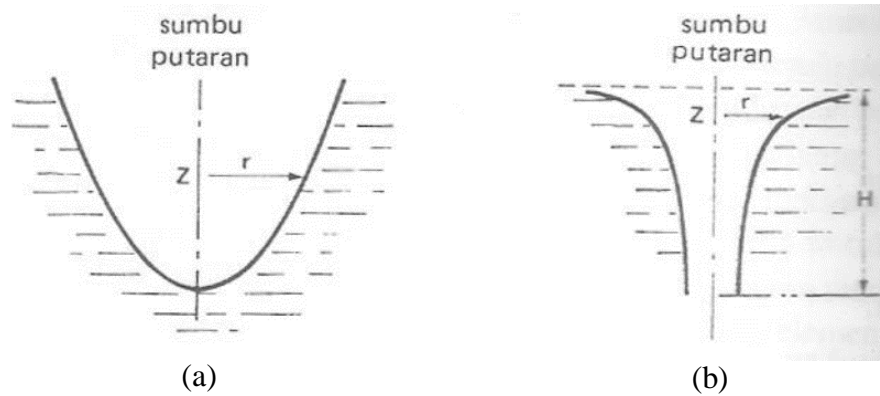
bebas diberikan sebagai berikut:

$$H - z = \frac{C^2}{2gr^2} \quad (2.29)$$

Untuk tiap-tiap bidang horizontal, z adalah konstan dan variasi tekanan diberikan sebagai:

$$\frac{p}{\rho g} = (H - z) = \frac{C^2}{2gr^2} \quad (2.30)$$

Sehingga pada pusaran bebas, tekanan menurun dan circumferensial kecepatan naik ketika bergerak mendekati pusat vortex. (J.F Douglas, 1995)



Gambar 2.12 Penampang melalui permukaan bebas dari (a) pusaran dengan paksaan dan (b) pusaran bebas (Dugdale, 1986)

2.4. Computational Dynamic Fluida (CFD)

Computational Fluid Dynamics merupakan suatu program yang dapat digunakan untuk menganalisa aliran fluida beserta karakteristik yang ditimbulkan akibat Bergeraknya suatu benda pada fluida tersebut. Persamaan dasar yang digunakan pada CFD merupakan persamaan yang didasarkan pada dinamika fluida yaitu persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Prinsipnya adalah suatu ruang berisi fluida yang akan dilakukan perhitungan dibagi menjadi beberapa bagian. Bagian-bagian ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan *meshing*. Sel merupakan sebuah kontrol perhitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi. Pada setiap sel akan dilakukan perhitungan dengan batasan *domain* dan *boundary condition* yang telah ditentukan. Prinsip inilah yang dipakai pada proses perhitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer.

CFD adalah suatu teknik menganalisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas ataupun reaksi kimia menggunakan simulasi komputer. Ada dua persamaan dasar untuk kajian aliran fluida pada turbin air yaitu :

1. Hukum Kekekalan Massa

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \nabla \cdot (\rho V) \quad (2.31)$$

2. Kekekalan Momentum

$$\rho \left[\frac{\partial V}{\partial t} V \cdot \nabla \cdot V \right] = F_b - \nabla p + \mu \cdot \nabla^2 + \frac{\mu}{3} \nabla (\nabla \cdot V) \quad (2.32)$$

CFD memanipulasi kedua persamaan dasar diatas ke dalam bentuk persamaan aljabar diskrit dan diselesaikan untuk mendapatkan nilai-nilai diskrit pada ruang dan waktu tertentu, menggunakan komputer.

2.4.1. Proses *Computational Fluid Dynamic*

Secara umum proses perhitungan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) terdiri atas 3 bagian utama yaitu:

1. *Pre-processing*

Pre-processing adalah langkah awal dalam menganalisa sebuah model CFD. Sebelum sebuah model dianalisa, geometri model harus di definisikan terlebih dahulu menjadi domain komputasi. Kemudian membuat meshing yang sesuai dengan geometri dan analisa yang akan dilakukan. Terakhir mendefinisikan kondisi batas dan sifat dari fluida yang akan digunakan.

2. *Solving*

Solving CFD merupakan proses pengolahan dan perhitungan dari kondisi yang telah di tetapkan saat *pre-processing*. Pada tahapan ini dilakukan proses komputasi numerik dengan menggunakan metode numerik berupa pendekatan variabel yang diketahui menjadi fungsi yang lebih sederhana, diskritisasi dengan substitusi pendekatan kedalam persamaan yang mengatur aliran, serta solusi dari persamaan aljabar.

3. *Post-processing*

Post-processing merupakan tahap akhir dalam analisis CFD. Tahap ini, hasil dari komputasi numerik yang telah dilakukan dibuat visualisasikan dan di dokumentasikan dalam bentuk gambar, kurva, dan animasi. Hasil visualisasi dan dokumentasi akan dibuat untuk melakukan analisa.

2.4.2. *Meshing*

Proses *meshing* bertujuan untuk membagi *solution domain* menjadi bagian bagian yang lebih kecil lagi yang disebut dengan *cell*. Keakuratan dan perhitungan

tergantung dari dan ukuran serta struktur *cell*. Proses perhitungan yaitu melalui iterasi diantara *cell-cell* dalam *mesh*. Jumlah pembagian mesh ini nantinya akan menentukan keakuratan dari hasil komputasi numerik yang dilakukan. Semakin halus hasil *meshing* maka hasil komputasi numerik akan semakin akurat, namun waktu proses komputasi numerik akan menjadi lebih lama. *Software Solidworks Flow Simulation* akan menyeimbangkan gaya dan aliran-aliran massa pada setiap *cell* hingga *error* dapat diprediksi dan diperkecil. Kualitas *meshing* dapat diukur menggunakan *mesh metric*. Skala kualitas *meshing* untuk *mesh metric skewness* ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Skala Kulititas *Meshing*

<i>Value of Skewness</i>	0 – 0,25	0,25 – 0,5	0,5 -0,8	0,8 – 0,95	0,95 – 0,98	0,98 – 1,00
<i>Quality</i>	<i>Excellent</i>	<i>Very Good</i>	<i>Good</i>	<i>Acceptable</i>	<i>Bad</i>	<i>Unacceptable</i>

2.4.3. Persamaan dasar CFD

Pada dasarnya CFD merupakan pendekatan dari karakteristik fluida dengan kondisi *real*. CFD menggunakan persamaan dasar dinamika fluida yaitu persamaan kekekalan massa dan momentum. Berikut persamaan dasar yang digunakan dalam simulasi turbin *Whirlpool*.

1. *Continuity*

Sistem merupakan beberapa massa yang tetap atau tidak berubah. Secara sederhana, prinsip dari hukum kekekalan massa adalah laju perubahan massa sistem terhadap waktu sama dengan nol. Massa sistem konstan pada saat sitem bergerak melalui medan aliran. Berdasarkan pada hukum konservasi massa muncul persamaan kontinuitas untuk 2 dimensi sebagai berikut:

$$\frac{\delta p}{\delta t} + \frac{\delta p u}{\delta x} + \frac{\delta p v}{\delta y} = 0 \quad (2.33)$$

Karena fluida bersifat *incompressible*, maka massa jenis dianggap konstan. Sehingga persamaan diubah menjadi:

$$\frac{\delta u}{\delta y} + \frac{\delta v}{\delta y} = 0 \quad (2.34)$$

Dimana:

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} = \text{Perubahan massa jenis terhadap waktu persatuan luas } (Kg \cdot m^{-2} s^{-1})$$

$$\frac{\delta \rho u}{\delta x} = \text{Perubahan flux massa persatuan luas pada sumbu x } (Kg \cdot m^{-2} s^{-1})$$

$$\frac{\delta \rho v}{\delta y} = \text{Perubahan flux massa persatuan luas pada sumbu y } (Kg \cdot m^{-2} s^{-1})$$

2. Persamaan momentum

Hukum Newton Kedua menyebutkan bahwa gerakan pada system merupakan laju perubahan momentum linear pada sistem sama dengan jumlah seluruh gaya luar yang bekerja pada sistem. Gaya yang bekerja pada suatu sistem dapat dibagi menjadi 2, yakni *surface force* dan *body force*. Pada keadaan normal, gaya yang bekerja pada partikel udara adalah *Surface force*. *Surface force* dapat dicontohkan seperti gaya gravitasi, gaya tekan, dan gaya viskous. *Surface force* biasanya berkaitan dengan tekanan (P) dan komponen teggangan (τ). Sedangkan untuk *body force* contohnya yaitu gaya sentrifugal dan gaya elektromagnet.

Incompressible Navier-Stoke Equation merupakan persamaan momentum yang digunakan dalam sistem CFD. Persamaan *Navier-Stoke* untuk fluida *incompressible* dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho &= \left(\frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} + v \frac{\delta u}{\delta y} \right) = \rho g x - \frac{\delta p}{\delta x} + \mu \left(\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \right) \\ \rho &= \left(\frac{\delta v}{\delta t} + u \frac{\delta v}{\delta x} + v \frac{\delta v}{\delta y} \right) = \rho g y - \frac{\delta p}{\delta x} + \mu \left(\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \right) \end{aligned} \quad (2.35)$$

3. Turbulensi

Turbulensi merupakan fenomena aliran fluida yang sering ditemukan dalam berbagai aplikasi industri. Aliran turbulensi sering ditemukan pada

penukar kalor, reaktor kimia, kecepatan aliran yang melewati turbin air. Dalam CFD salah terdapat beberapa jenis model turbulensi. Kelebihan dan kelemahan model turbulensi CFD dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kelebihan dan Kelemahan Model Turbulensi CFD

Model Turbulensi	Kelebihan	Kelemahan
<i>Realizable k-ε model</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lebih akurat untuk memprediksi laju penyebaran fluida 2. bagus untuk aliran yang melibatkan putaran, lapisan batas gradien tekanan yang besar, separasi, dan resirkulasi 	Terbentuknya viskositas turbulen non-fisik pada kasus dimana domain perhitungan mengandung zona fluida yang diam dan berputar (<i>multiple reference frame, sliding mesh</i>)
<i>k-ω model</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak membutuhkan fungsi dinding 2. Berfungsi baik pada aliran terpisah 	Butuh <i>mesh</i> yang baik pada daerah dekat dinding.
<i>Shear Stress Transport (SST) model</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menggunakan <i>k-ε model</i> pada aliran bebas dan <i>k-ω</i> pada daerah dekat dinding 2. Berfungsi sangat baik pada tekanan terpisah 3. Banyak disarankan untuk menggantikan <i>k-ε model</i> 	Butuh <i>mesh</i> yang baik pada daerah yang dekat dengan dinding

Pada simulasi ini yang digunakan adalah model turbulensi yaitu *realizable k-ε model*. Model turbulensi *realizable k-ε* lebih baik dibandingkan dengan *standard k-ε* untuk perhitungan simulasi di dekat permukaan dinding. Turbulensi *realizable k-ε* menggunakan dua variabel, yaitu *turbulent kinetic energy (k)* dan *rate of dissipation of kinetic energy (ε)*. Persamaan *realizable kε model*:

$$\frac{\delta(\rho k)}{\delta t} + \frac{\delta(\rho k u_i)}{\delta x_i} = \frac{\delta}{\delta x_j} \left[\mu \left(\frac{\mu t}{\sigma k} \right) \frac{\delta k}{\delta x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_m + S_k \quad (2.36)$$

$$\frac{\delta(\rho\varepsilon)}{\delta t} + \frac{\delta(\rho\varepsilon u_i)}{\delta x_i} = \frac{\delta}{\delta x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu t}{\sigma\varepsilon} \right) \frac{\delta\varepsilon}{\delta x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{K + \sqrt{\nu\varepsilon}} + C_1 \varepsilon \frac{\varepsilon}{k} - C_3 \varepsilon G_b + S_\varepsilon \quad (2.37)$$

Dimana,

u_i = Kecepatan komponen.

G_k = *turbulent kinetic energy* akibat gradien kecepatan rata-rata = $\mu_t S^2$

S = *modulus of the mean rate of strain tensor*.

μ_t = *edddy viscosity*.

G_b = *generation of turbulent kinetic energy* karena efek *buoyancy*.

Y_m = *contribution of the fluctuating dilatation incompressible turbulence to*

$$\text{the overall dissipation rate} = 2\rho\varepsilon \frac{k}{\gamma RT}$$

σk dan $\sigma\varepsilon$ = *turbulent Prandtl numbers for k and ε* .

S_k dan S_ε = *user defined source terms*.

$$C_1 = \text{Max} \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right]$$

$$\eta = S \frac{k}{\varepsilon}$$

2.5. Kajian Pustaka Simulasi *Vortex Flow*

Perkembangan pemanfaatan tenaga air pada saat ini sangat pesat. Para peneliti dengan berbagai inovasi melakukan percobaan untuk terus meningkatkan kinerja turbin air. Turbin air dengan memanfaatkan energy *vortex* merupakan salah satu jenis turbin air reaksi. Turbin air jenis *vortex* pertama kali dirancang oleh peneliti Australia bernama Franz Zotlotere ketika beliau sedang mencari cara yang paling efisien untuk memanfaatkan energy air (Dakal, S., Timilsina, A. B., 2015).

Vico (2018), melakukan penelitian optimasi desain turbin air tipe vortex dengan 5 variasi jumlah sudu terhadap efisiensi. Penelitian ini dilakukan dengan parameter-parameter yang sudah ditentukan dengan melihat luas area dan aliran sungai yaitu luas dam 4,2 m², diameter turbin 0,6 m dan tinggi turbin 0,5 m.

Selanjutnya dilakukan perhitungan dan gambar geometri menggunakan *software* CAD. Kemudian untuk menganalisa fluida dilakukan simulasi *Computational fluid dynamics* (CFD) menggunakan *software* ANSYS dengan menggunakan sudu 4, 5, 6, 7, 8 dan 9 buah. Dari hasil analisa dan perhitungan dapat disimpulkan bahwa jenis turbin yang paling optimum untuk digunakan di Baturaden Adventure Forest, Purwokerto adalah menggunakan *runner* dengan jumlah 9 sudu. Yaitu menghasilkan daya output terbesar 20,35 kW dengan efisiensi 64%. Tipe *runner* dengan jumlah sudu 9 ini aman dari kavitasasi karena mempunyai tekanan terendah sebesar 2481130 Pa lebih besar dari tekanan uap jenuhnya sebesar 2338,48 Pa.

Nandhika (2018), melakukan analisis profil sudu turbin mikro hidro vortex untuk mendapatkan efisiensi optimum. Penelitian dilakukan dengan jumlah sudu tetap dan nilai kecepatan angular yang divariasikan antara 50 rpm sampai 250 rpm dengan interval 50 rpm. Simulasi performa turbin dilakukan dengan metode CFD menggunakan *software* ANSYS Fluent. Hasil simulasi menunjukkan bahwa profil sudu *crossflow* pada 150 rpm memiliki efisiensi yang paling tinggi pada angka 76%. Hasilnya adalah dari tiga profil yang telah dirancang, profil *crossflow* memiliki nilai efisiensi tertinggi dengan nilai 76% pada 150 rpm diikuti oleh profil *curved* dengan nilai 67% pada 150 rpm, dan profil *inverted conical* 42% pada 150 rpm.

Budiman (2015), melakukan simulasi aliran fluida pada rumah turbin vortex dengan 5 variasi lubang buang. Analisis dilakukan pada aliran tiga dimensi (3D), transient, turbulen dan incompressible. Variabel yang digunakan untuk dianalisa adalah diameter lubang buang air. Hal tersebut terdiri dari lima ukuran 3 cm, 5.5 cm, 8.5 cm, 10.5 cm dan 16 cm. Dari hasil analisa simulasi didapat daya air paling maksimum pada diameter lubang buang 16 cm, yaitu 24.24680432 watt dengan debit 0.008253662 m³ /s dan head 0.3 m.

Irham (2013), melakukan analisa performansi turbin vortex menggunakan perangkat lunak cfd dengan variasi dimensi sudu i dan sudu iii, debit air masuk serta luas saluran buang. Analisis dilakukan pada aliran tiga dimensi (3D), steady, turbulen dan incompressible. Analisis sendiri menggunakan tiga jenis outlet 5,5cm,6cm,dan 7cm yang masing masing. Penelitian ini memvariasikan dua jenis sudu. Sudu I dengan panjang 78,3 cm dan lebar 27,5 cm serta sudu III dengan panjang 78,3 cm dan lebar 13,5

cm. Kedua sudu berjumlah 4 blade dengan satu buah poros. Setelah menganalisa dan simulasi didapat efisiensi maksimal sudu I dan sudu III masing – masing adalah 25,522% dan 43,29 %.

Muhammad (2019), melakukan optimasi desain model struktur basin pada *gravitation water vortex power plant*. Penelitian ini difokuskan pada perancangan model Basin yang optimum dari 1 model referensi dan 4 model variasi berdasarkan parameter dari para peneliti sebelumnya. Pemodelan menggunakan software solidworks dan simulasi menggunakan Ansys CFX, dari hasil simulasi maka basin model 1 merupakan model dengan desain paling optimum karena mempunyai daya 34,62 Watt dan nilai efisiensi 92 %.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Komputer Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan.

3.1.2. Waktu Penelitian

Adapun waktu pelaksanaan penelitian ini dimulai dari dikeluarkannya Surat Penentuan Tugas Akhir dan Pengunjukan Dosen Pembimbing oleh Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dan diberikan oleh Dosen Pembimbing I dan II. Penelitian dimulai pada tanggal 20 Oktober 2019 sampai dinyatakan selesai.

Tabel 3.1 Jadwal dan Pelaksanaan Penelitian

No.	Kegiatan	Waktu (Bulan)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Studi Literatur								
2	Pengumpulan Data								
3	Penentuan Diameter dan Jumlah Runner								
4	Pembuatan Model								
5	Simulasi								
6	Pengolahan Data dan Evaluasi								
7	Penyelesaian Tugas Akhir								

3.2. Alat dan Instrumen Penelitian

Peralatan dan instrument yang digunakan pada simulasi dan pengambilan data pada simulasi ini adalah sebagai berikut :

3.2.1. Laptop/PC

PC digunakan untuk mendesain dan menjalankan proses simulasi. Selanjutnya untuk pengambilan data dengan baik dibutuhkan PC dengan spesifikasi yang cukup mumpuni. Adapun spesifikasi PC yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada table dibawah ini.

Tabel 3.2 Spesifikasi PC yang digunakan

Processors	Intel(R) Core(TM) i3-4030U CPU @ 1.90GHz
Memory	3988 MB / 134217727 MB
Operating system	(Build 9600)
CAD version	SolidWorks 2014 SP0.0
CPU speed	1900 MHz

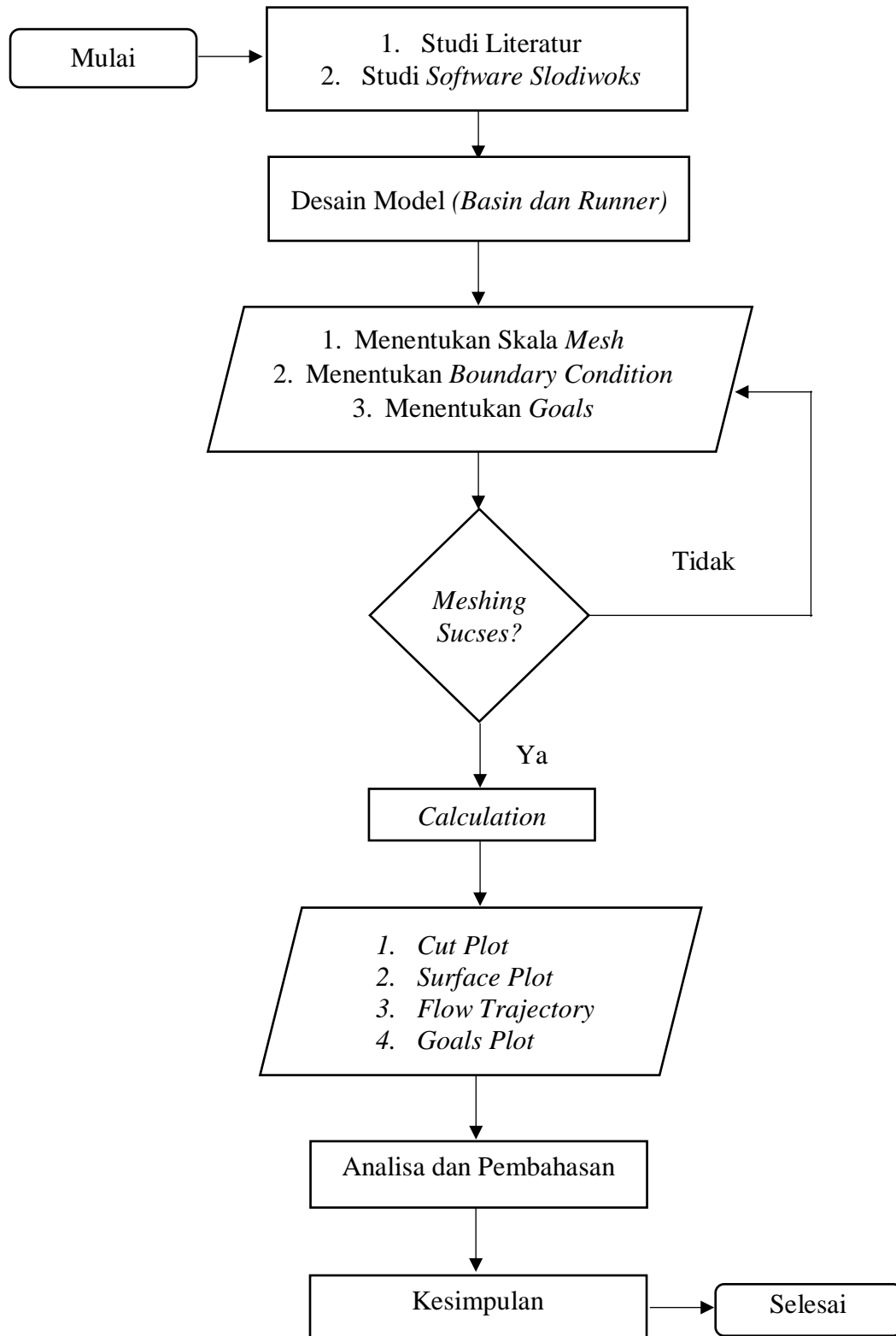
3.2.2. Aplikasi *Solidworks*

Aplikasi *Solidworks* digunakan untuk mendesain bagian-bagian dari Turbin *Whirlpool* dan selanjutnya disimulasikan menggunakan aplikasi *add-ins Solidworks Flow Simulation*.



Gambar 3.1 *Solidworks*

3.3. Flowchart Penelitian



Gambar 3.2 Flowchart Penelitian

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. *Pre Processing*

Tahap *pre processing* ini merupakan tahapan awal dalam membangun dan menganalisa sebuah model komputasi fluida (CFD). Dalam tahapan *pre processing* ini terdiri dari beberapa subtahapan mulai dari pembuatan desain bodi menggunakan software *Solidworks*, penentuan daerah komputasi, penggenerasian mesh (*meshing*) serta menentukan parameter parameter yang digunakan dalam simulasi.

3.4.1.1. Desain Komponen Turbin

Pada tahapan ini penulis membuat desain geometri 3D turbin *whirlpool* menggunakan software *Solidworks* 2014. Diameter basin yang yang dirancang adalah 500, tinggi basin 150 mm. Diameter rumah turbin 280 mm dan tingginya 150 mm. Diameter *daft tube* 100 mm dengan tinggi 300 mm. ketebalan seluruh bagian basin adalah 1,50 mm.

Selanjtnyan penulis akan mendesain kompenen kedua yaitu runner. Diameter runner adalah 280 mm dengan tinggi 140 mm. panjang sudu 120 mm dan lebar sudu 90 mm dengan ketebalan 1,5 mm. serta diameter poros luar 100 mm.

3.4.1.2. *Wizard*

Tahapan ini dilakukan pada *solidworks flow similation* dengan menentukan satuan unit yang digunakan yaitu *SI (Satuan Intenational)*, menentukan tipe analisa yaitu *internal analisys* dengan *exclude cavities withot flow conditions*. Fluida yang digunakan adalah air, selanjutnya *resut resolution* (skala mesh) dipilih pada level 4 untuk mempercepat dalam melakukan *calculation* dan hasilnya sudah cukup bagus.

3.4.1.3. Menentukan *Boundary Condition*

Tipe *boundary condition* yang dimasukkan pada simulasi ini adalah pada bagian *inlet* dipilih *flow opening* dan tipenya adalah *Inlet Volume Flow*. Adapun variasi *volume flow* yang digunakan dalam simulasi ini adalah:

Tabel 3.3. *Inlet Volume Flow*

l/m	m ³ /s
150	0,002500
135	0,002250
125	0,002083
110	0,001833
90	0,001650

Selanjutnya pada bagian *oulet boundary condtion* yang digunakan adalah adalah *pressure opening* dengan tipe *Enviornment Pressure* pada setiap variasi debit pada tabel 3.3 diatas.

3.4.1.4. Menentukan Goals

Adapun goals yang diperlukan pada simulasi ini adalah:

1. *Surface goals* dengan parameter *mass flow inlet* dan *selection* pada bagian *inlet lid turbin whirlpool*.
2. *Surface goals* dengan parameter *mass flow outlet* dan *selection* pada bagian *outlet lid turbin whirlpool*.
3. *Surface goals* dengan parameter *average static pressure. selection* pada gelas ini menggunakan part bantu.
4. *Surface goals* dengan parameter *bulk average static pressure. selection* pada gelas ini menggunakan part bantu.
5. *Surface goals* dengan parameter *torque* pada bidang Y. *selection* pada gelas ini pada keseluruhan bagian runner.
6. *Equatin goals* untuk menghitung *pressure drop* parameternya dengan mengurangi goals *average static pressure* dan *bulk average static pressure*.

3.4.2. *Procesing*

Pada aplikasi *solidworks flow simulation* computer memproses data-data yang telah dimasukkan tadi pada tahapan, *wizard, boundary condition, dan goals* mulai mengkalkulasi *mesh* dan selanjutnya melakukan *solving*.

3.4.2.1. *Meshing*

Pada *Wizar mesh* yang telah ditentukan adalah level 4. Semakin rapat selnya maka akan semakin akurat hasil perhitungan yang di dapat, namun akan menambah waktu penyelesaian simulasi. Oleh karena itu sebelum di *running*, *mesh* pada model diperiksa terlebih dahulu agar tidak ada ukuran mesh yang besar meliputi ujung model yang berukuran jauh lebih kecil dari ukuran mesh.

Setelah dilakukan pengecekan maka *solver* akan melakukan *meshing* dan memperhalus bagian-bagian yang dibutuhkan penghalusan *mesh*, seperti pada ujungujung atau sudut, bagian yang berkurva dan bagian-bagian yang sangat kecil dibandingkan dengan ukuran bagian lainnya pada model. Hasil akhir dari penghalusan mesh tergantung berdasarkan level mesh yang dipilih, semakin tinggi levelnya maka akan semakin halus seragam, yang terpenting adalah *meshing* yang halus meliputi bagian model yang perlu penghalusan *mesh*.

3.4.2.2. *Solving*

Setelah proses *meshing* selesai maka selanjutnya proses *solving*. Proses *solving* memakan waktu yang cukup lama tergantung dari jumlah *mesh*. Proses *solving* berlangsung dengan mengkalkulasi iterasi-iterasi yang telah ditentukan pada tahap mesing.

3.4.3. Analisa data dan Kesimpulan

Analisis data dilakukan berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan dengan melihat struktur aliran berupa distribusi tekanan dan arah kecepatan aliran air. Data hasil simulasi yang diperoleh berupa *torque*, *velocity*, *pressure drop*, *kontur tekan*, dan *kontur kecepatan*. Selanjutnya data dan hasil simulasi yang diperoleh ditabelkan dan diplot ke dalam grafik. Dari tabel dan grafik dilakukan analisa yang menggambarkan hasil simulasi. Kemudian dari hasil analisa tersebut dapat ditarik kesimpulan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

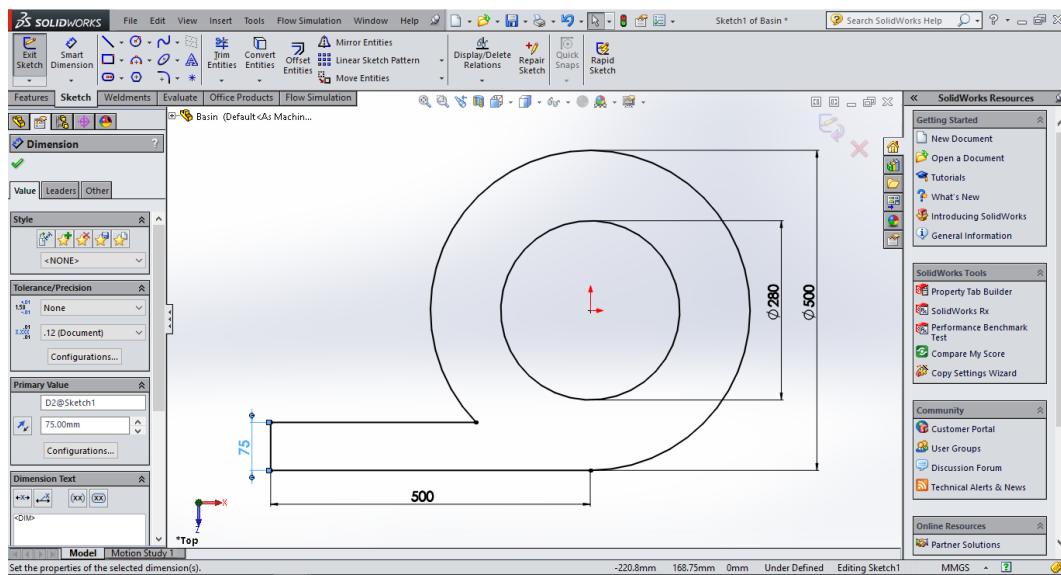
4.1. Valiasi Penelitian

Validasi penelitian merupakan salah satu tahap penelitian dengan simulasi yang harus dilalui agar hasil penelitian yang dihasilkan valid. Validasi turbin *Whirlpool* dilakukan untuk memastikan penulis mampu mengembangkan pemodelan turbin *Whirlpool*. Validasi pemodelan turbin *whirlpool* ini ditinjau dari penelitian yang telah dilakukan oleh perusahaan asal Belgia *turbulent.be* yang telah mengembangkan terdahulu model tubin jenis ini.

4.1.1. Desain Turbin *Whirlpool*

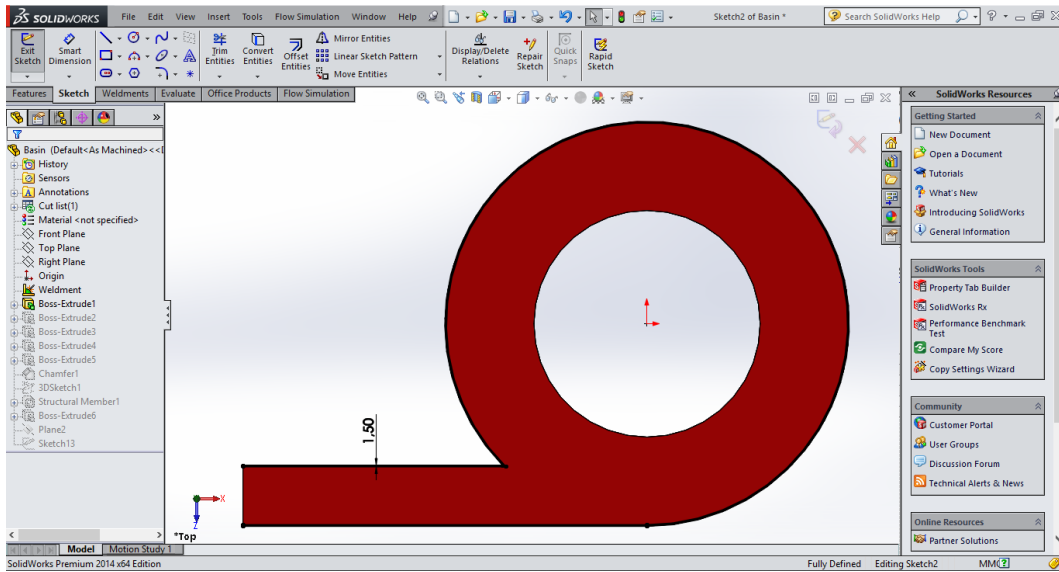
4.1.1.1. Desain Basin

1. Desain 2D bagian lantai basin menggunakan *sketch* dengan ukuran-ukuran seperti pada gambar dibawah.



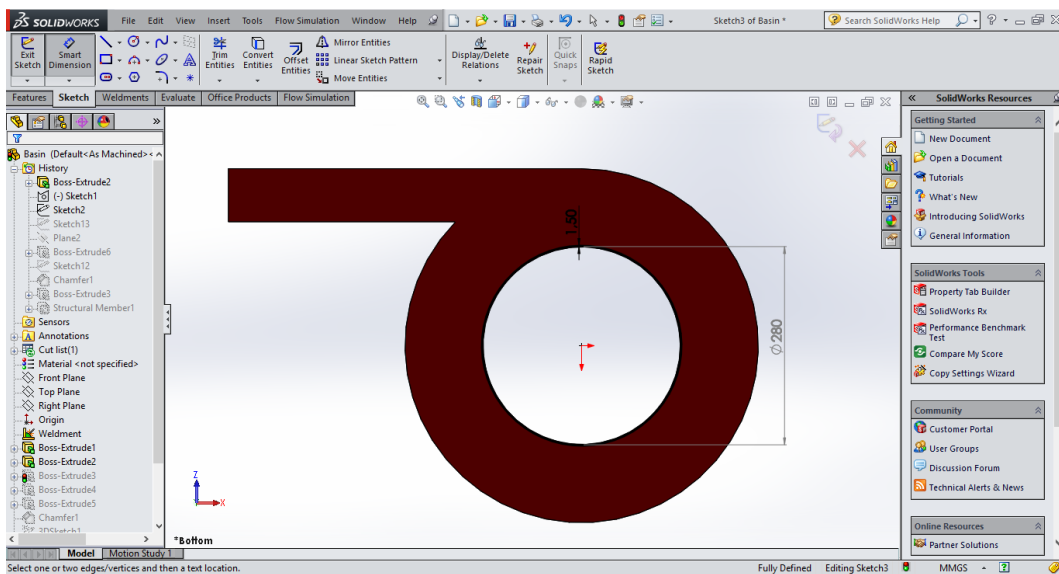
Gambar 4.1. *Sketch* dasar basin

2. Selanjutnya menggunakan sktch membuat dinding menggunakan *convert entities* dan *offset entities* setebal 1,5 mm. kemudian di extrude setinggi 150 mm.



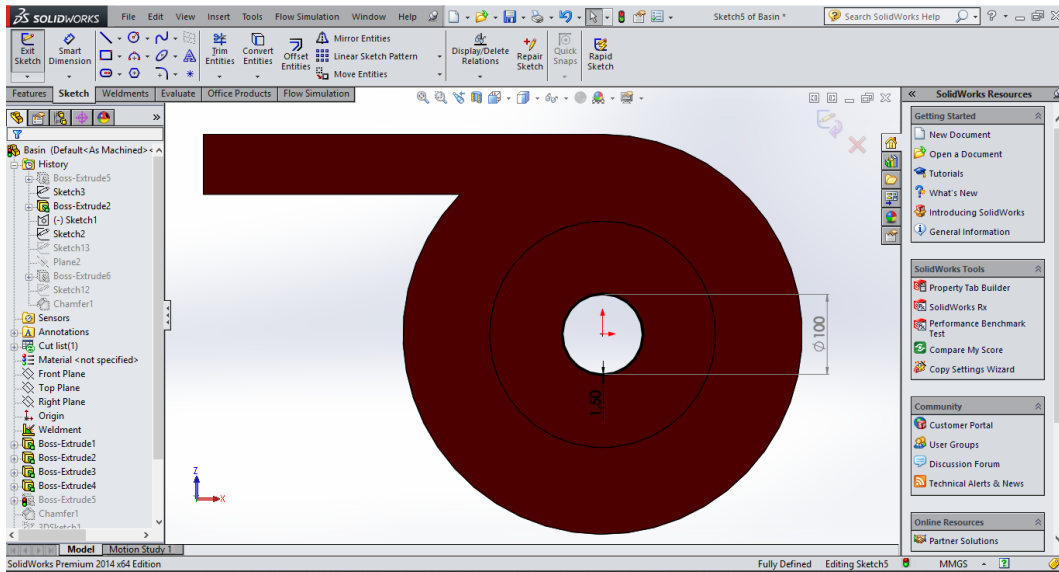
Gambar 4.2. *Sketch* dinding basin

3. Gambar selanjutnya membuat rumah runner dengan diameter 280 mm, tinggi 120 mm, dan tebal 1,5 mm.



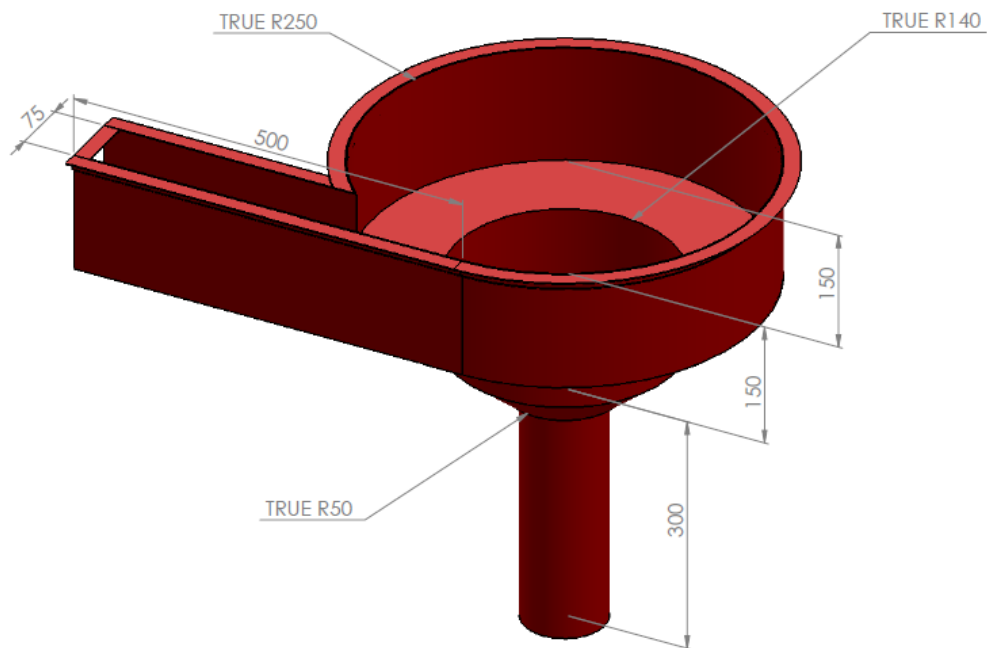
Gambar 4.3. *Sketch* rumah runner

4. Gambar selanjutnya menunjukkan sketch dan desain pada bagian draft tube dengan diameter 100 mm, tinggi 300 mm, dan tebal 1,5 mm.



Gambar 4.4. *Sketch dan desain draft tube*

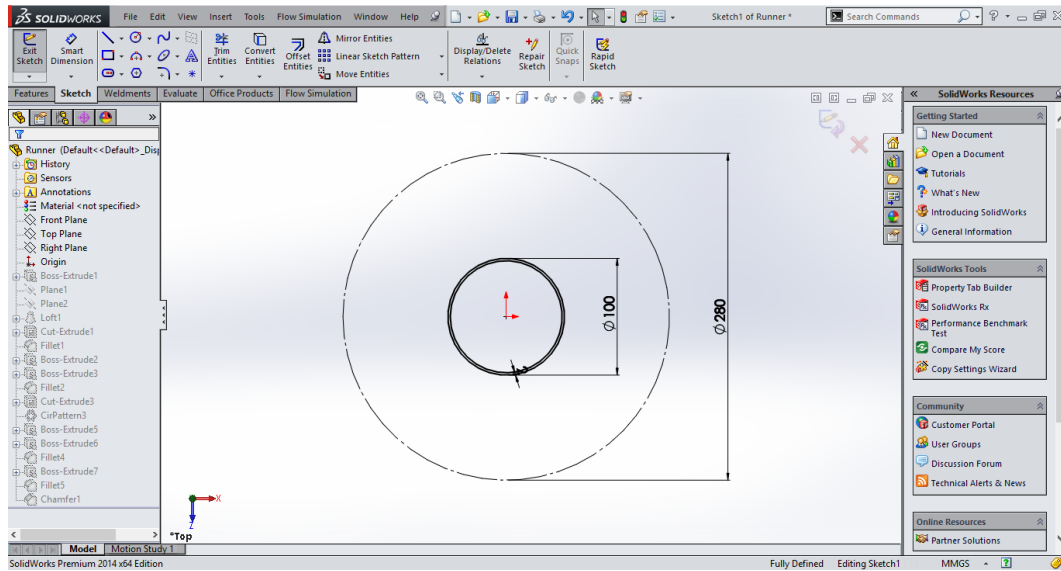
5. Berikut gambar dan ukuran lengkap basin.



Gambar 4.5. Basin

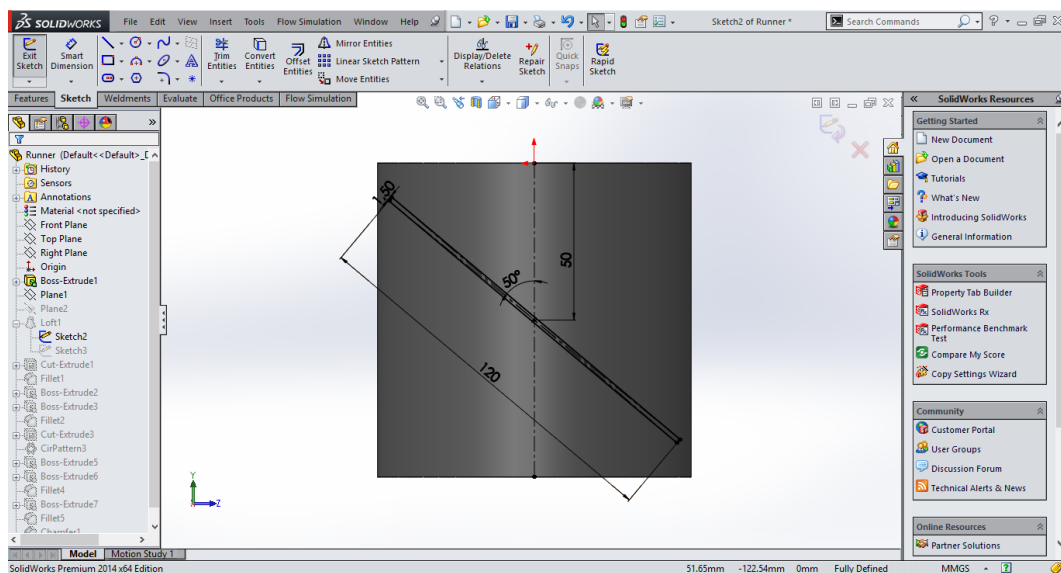
4.1.1.2. Desain Runner

1. Desain core runner dengan diameter 100 mm pada sketch, dan tinggi 120 mm pada extrude boss.



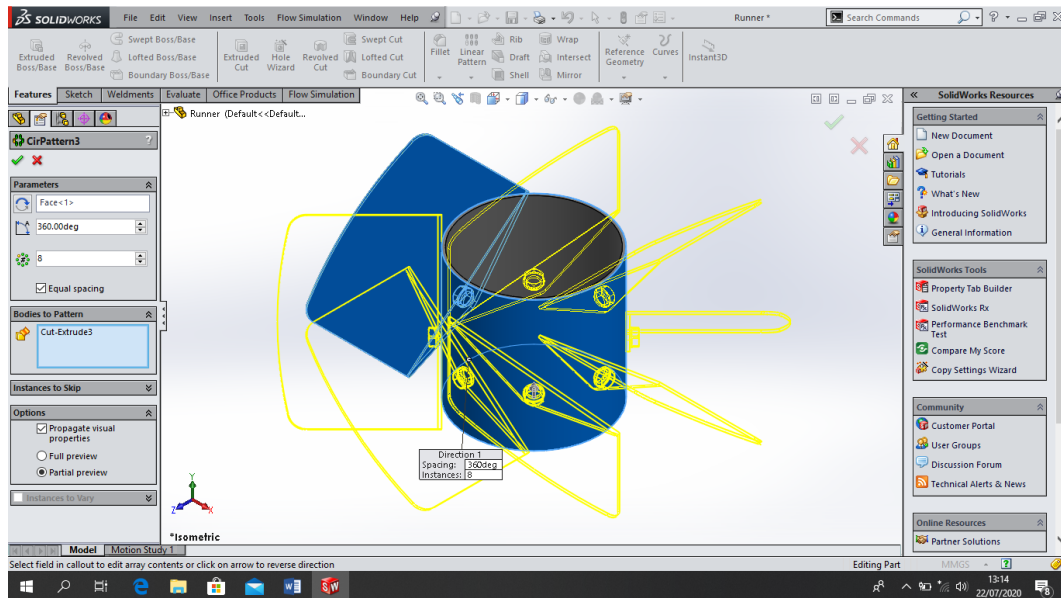
Gambar 4.6. *Sketch Core Runner*

2. Sketch dan desain sudu runner dengan lebar 120 mm dan tebal 1,5 mm. selanjutnya panjang dari sudu 90 mm di *extrude boss*.



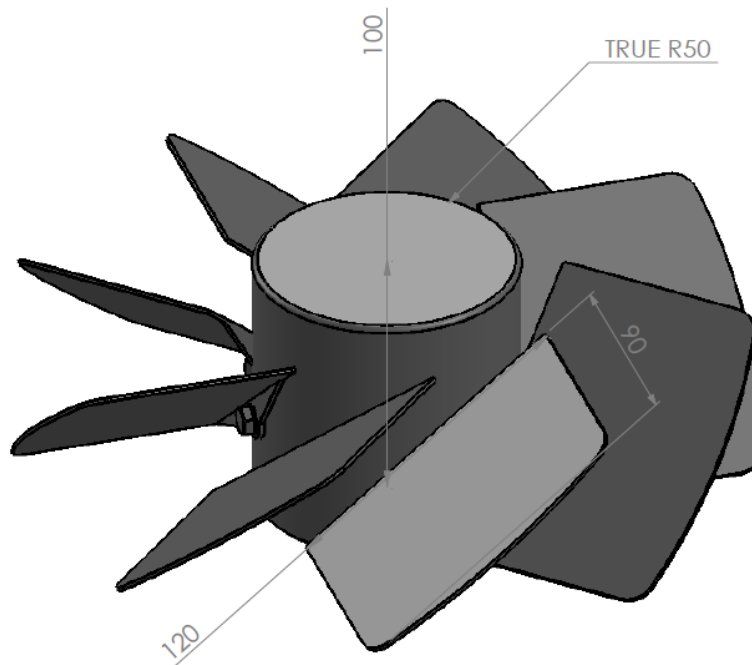
Gambar 4.7. *Sketch dan desain sudu runner*

3. Selanjutnya memperbanyak sudut menggunakan *circular pattern* sebanyak 8 sudut.



Gambar 4.8. *Circular pattern* pada sudut

4. Berikut adalah gambar dan ukuran lengkap runner.



Gambar 4.9. Runner

4.1.2. Wizard

Adapun *wizard* yang telah ditentukan seperti pada tabel 4.1 dibawah. *Wizard* merupakan langkah awal dalam melakukan simulasi.

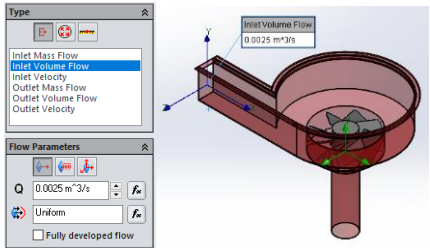
Tabel 4.1. *Wizard*

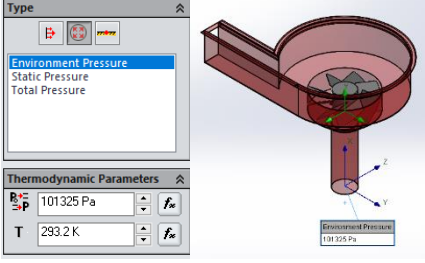
<i>Project Name</i>	<i>Simulasi Turbin Whirlpool</i>
<i>Configuration</i>	<i>Use Current</i>
<i>Unit System</i>	<i>SI</i>
<i>Analisis Type</i>	<i>Internal</i> <i>Exclude cavities without flow conditions</i>
<i>Physical Features</i>	-
<i>Default Fluid</i>	<i>Water</i>
<i>Wall Condition</i>	<i>Adiabatic wall, default smooth walls</i>
<i>Initial Conditions</i>	<i>Default conditions</i>
<i>Result and Geometry Resolution</i>	Set the <i>Result resolution level</i> to 3; <i>Minimum gap size</i> = 0.04 m, <i>Minimum wall thickness</i> = 0.002 m, <i>other options are default</i>

4.1.3. Boundary Condition

Setelah wizard ditentukan selanjutnya menentukan boundary condition, adapun boundary condition yang telah ditentukan pada simulasi ini seperti ditunjukkan pada tabel 4.2 dibawah.

Tabel 4.2. *Boundary Condition*

<i>Type</i>	<i>Inlet Volume Flow</i>	
<i>Name</i>	<i>Inlet Volume Flow 1</i>	
<i>Faces to apply</i>	<i>the inner face of the Inlet Lid</i>	
<i>Parameter:</i>	<i>Volume Flow Rate</i> of 0,0025 m ³ /s, with the <i>uniform</i> profile.	

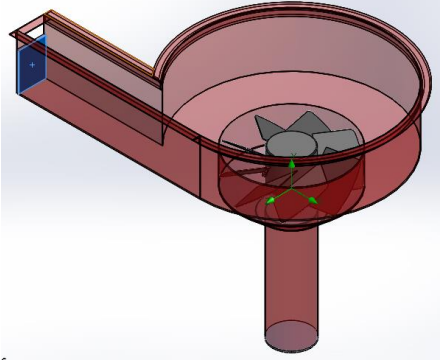
Type	Environment Pressure	
Name	Environment Pressure 1	
Face To apply	the inner face of the Outlet Lid	
Thermodynamics Parameters: Default value (101325 Pa and 293,2 K) in the absolute frame of references (the Pressure Potential option is not selected)		

Pada tabel 4.2 diatas menunjukkan *boundary condition* yang digunakan pada simulasi ini. Untuk memvariasikan debit aliran seperti yang sudah dijelaskan pada BAB 3 sebelumnya, maka yang perlu diganti hanya pada *volume flow rate*. Pada debit 150 l/m maka *volume flow rate* adalah 0,0025 m³/s, pada debit 135 l/m *volume flow rate* nya 0,00225 m³/s, pada debit 125 l/m *volume flow rate* nya 0,002083 m³/s, pada debit 110 l/m *volume flow rate* nya 0,001833 m³/s, dan pada debit 90 l/m *volume flow rate* nya 0,001650 m³/s. Untuk *Environment Pressure* adalah sama pada setiap variasi debit aliran.

4.1.4. Goals

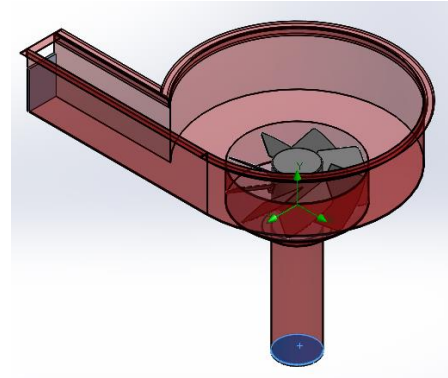
Goals yang ditentukan merupakan data-data yang dibutuhkan dalam analisa ini, adapun goal yang digunakan pada simulasi ini seperti pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Goals Yang Digunakan

Goal Type	Goal Parameter	Face
		<i>The inner face of the Inlet Lid</i>
Surface Goal	Mass Flow Rate	

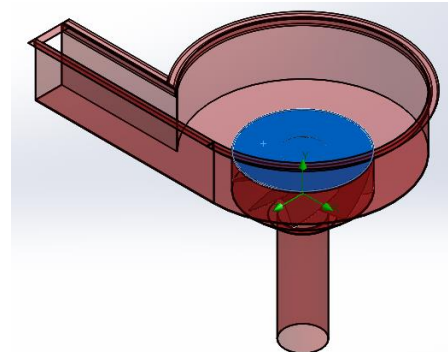
The inner face of the **Inlet Outlet**

Surface Goal *Mass Flow Rate*



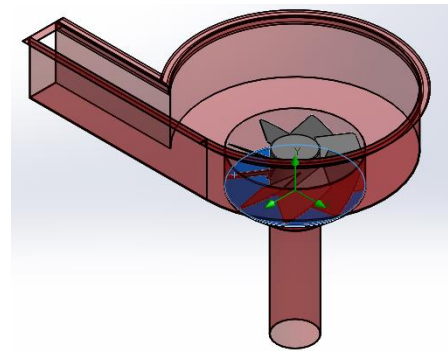
The inner face of the **Measure** at the Runner's inlet.

Surface Goal *Av Static Pressure*



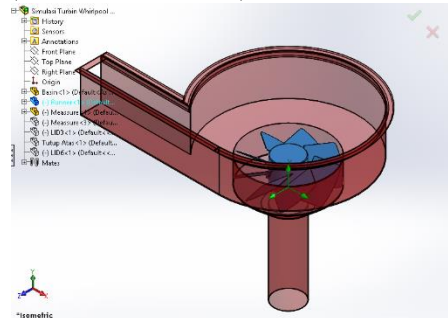
The inner face of the **Measure** at the Runner's outlet.

Surface Goal *Bulk Av Static Pressure*

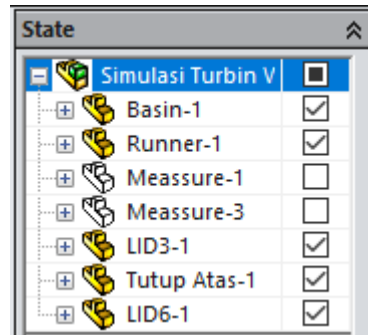


All **runner** faces in contact water
(see details below).

Surface Goal *Torque Y*

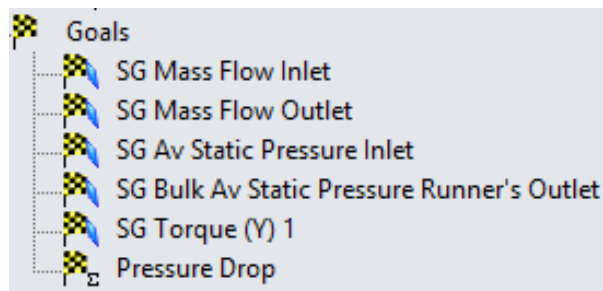


Komponen ukur hanya digunakan untuk mengukur tekanan (goal ditentukan pada bagian permukaan bagian dalam), oleh karena itu harus dinonaktifkan di kotak dialog *Component Control* seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.10. *Component Control*

Kemudian untuk mempermudah dalam melakukan simulasi maka nama goals pada tabel 4.3 diatas diganti menjadi seperti pada gambar 4.2 diatas.



Gambar 4.11. *Goals*

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai *pressure drop* adalah selisi antara tekanan masuk dan tekanan keluar ($\Delta P = P_{in} - P_{out}$). Persamaan diatas kemudian dimasukkan kedaalam equation golas pada solidwoeks flow simulation seperti pada tabel 4.4 dibawah.

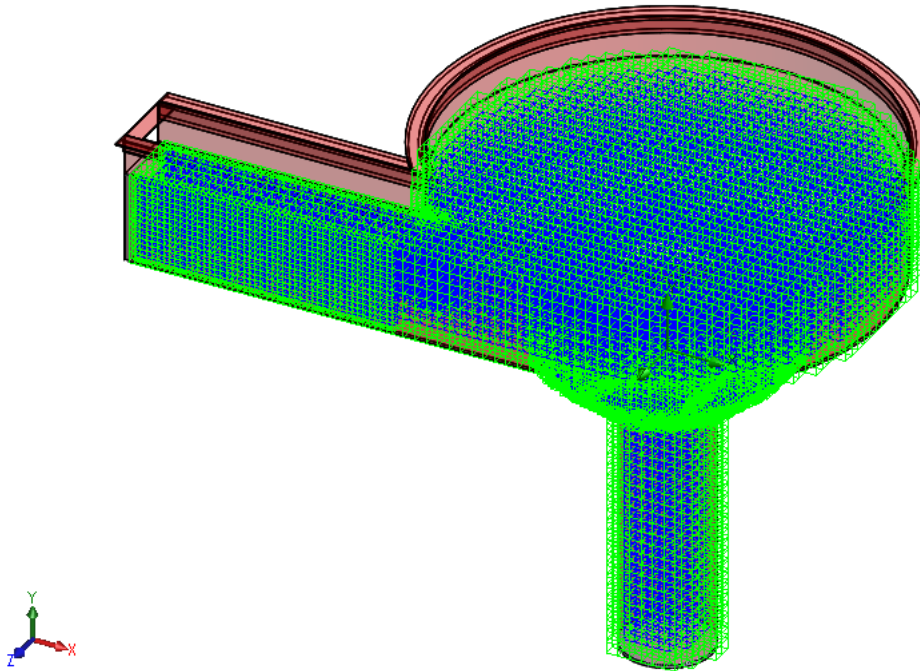
Tabel 4.4. *Equatoin Goals*

Goal Name	Formula	Dimensionality
<i>Prssure Drop</i>	$\{SG\ Av\ Static\ Pressure\ Inlet\} - \{SG\ Bulk\ Av\ Static\ Pressure\ Runner's\ Outlet\}$	<i>Pressure & stress</i>

4.2. Hasil Simulasi

4.2.1. Meshing

Domain mesh turbin *savonius* yang digunakan adalah menggunakan *mesh* berbentuk persegi (*square mesh*). Lapis batas pada permukaan sudu digunakan untuk menangkap perubahan tajam sifat fluida dekat permukaan sudu. Sehingga, hasil yang didapatkan akan lebih akurat seperti yang dapat dilihat di Gambar 4.12.



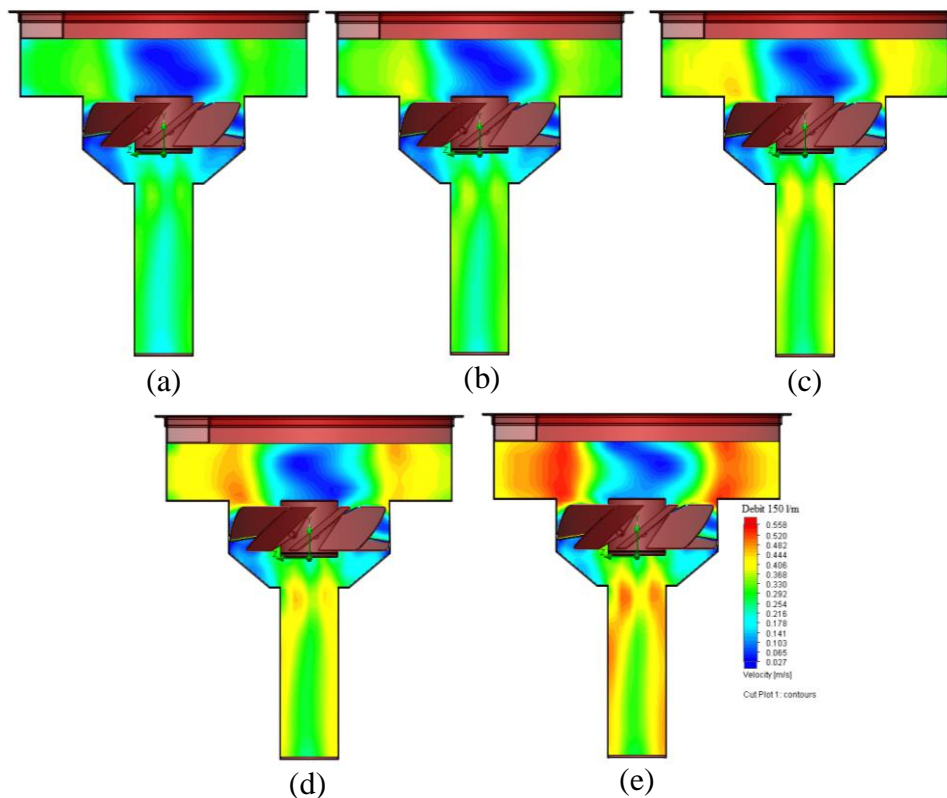
Gambar 4.12. Hasil *Mesh*

Basic dimension mesh pada bidang X adalah 56, pada bidang Y adalah 42 dan pada bidang Z adalah 38. Kemudian basing dimension mesh dikalkulasi menjadi lebih kecil lagi menjadi *cells-cells* kecil. Adapun *number of cell* dari hasil *meshing* berupa *total cells* sebanyak 182875, *fluid cells* sebanyak 46163, *solid cells* sebanyak 90459, dan *partial cells* sebanyak 46253. Kotak warna biru pada gambar 4.12 diatas menunjukkan *fluid cells* sedangkan kotak berwarna hijau menunjukkan *partial cells*.

4.2.2. Kontur Kecepatan dan Tekanan

Pada gambar 4.13 dibawah menunjukkan kontur kecepatan aliran fluida pada turbin. Simulasi ini menggunakan *Solidworks Flow Simulation* selain dapat

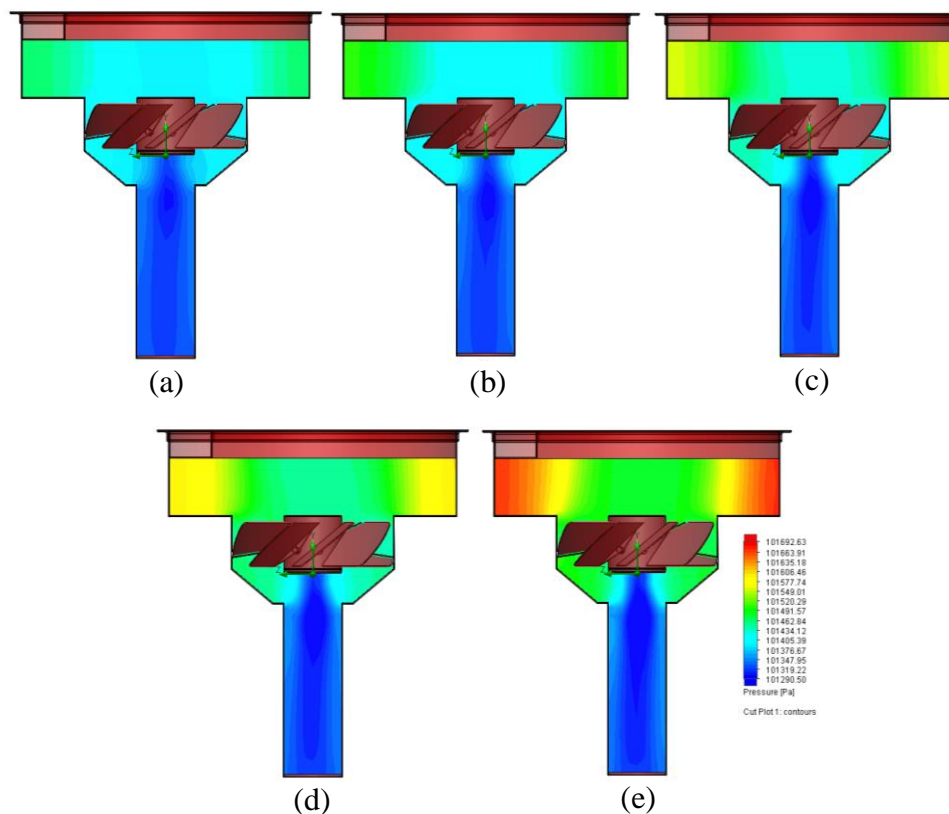
menganalisis secara numerik juga dapat menganalisis secara visual. Keunggulan dari turbin *Whirlpool* adalah konfigurasi turbin yang sederhana, serta dapat memaksimalkan potensi debit aliran pada head yang rendah. Analisis visual sangat membantu penelitian ini untuk mengetahui seberapa energi angin yang dapat diserap oleh turbin. Bukan hanya itu, analisa secara visual dapat mengetahui bagaimana fluida air melewati sudu. Gambar 4.13 menunjukkan kontur kecepatan hasil pemodelan turbin *whilpool*.



Gambar 4.13. Kontur Kecepatan Aliran Fluida

Gambar 4.13 (a) menunjukkan kontur aliran fluida pada debit aliran 90 l/m, (b) menunjukkan kontur aliran pada debit 110 l/m, (c) menunjukkan kontur aliran pada debit 125 l/m, (d) menunjukkan kontur aliran pada debit 135 l/m, (e) menunjukkan kontur aliran pada debit 150 l/m. Terlihat pada gambar bahwa semakin tinggi debit aliran maka laju aliran akan semakin tinggi. Dapat dilihat pada bagian runner warna dari kontur aliran makin cerah, hal ini menandakan penyerapan energi oleh runner sehingga kecepatan aliran semakin rendah.

Selanjutnya pada gambar 4.14 adalah kontur tekanan pada turbin. Gambar 4.14 (a) menunjukkan kontur tekanan pada debit 90 l/m, (b) menunjukkan kontur tekanan pada debit 110 l/m, (c) menunjukkan kontur tekanan pada debit 125 l/m, (d) menunjukkan kontur tekanan pada debit 135 l/m, (e) menunjukkan kontur tekanan pada debit 150 l/m. Sama halnya dengan kontur pada aliran semakin tinggi debit aliran maka tekanan yang dihasilkan semakin besar juga, tetapi polanya berbeda. penurunan tekanan terjadi pada *inlet*, dapat diamati secara visual warna biru menunjukkan tekanan paling rendah terjadi pada sisi *outlet*. Hal ini membuktikan adanya perbedaan tekanan (*pressure drop*) pada turbin. Tekanan yang bekerja pada gambar dibawah merupakan tekanan dinamis.

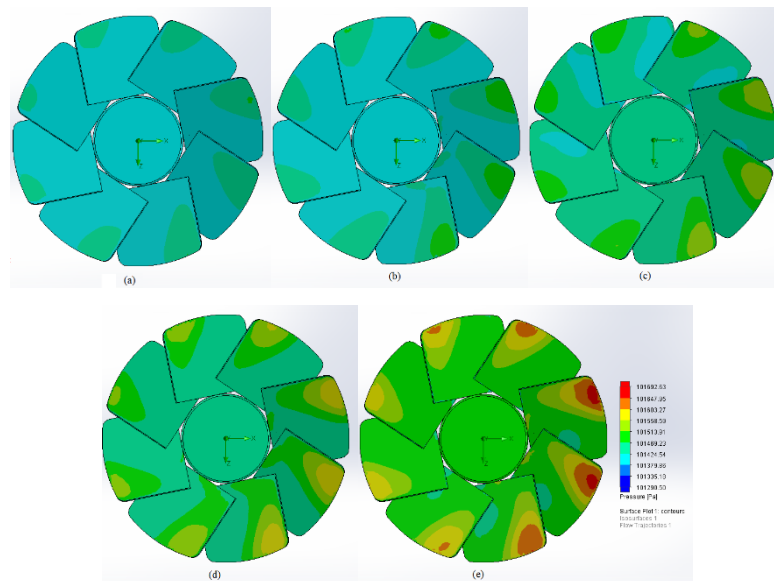


Gambar 4.14. Distribusi Tekanan

4.2.3. Kontur Tekanan Pada Runner

Distribusi tekanan pada runner pada gambar 4.15 dibawah menunjukkan tekanan dari fluida yang diterima runner. Bila diperhatikan pada warna yang dihasilkan, terlihat bahwa tekanan hanya menumpuk pada satu titik pada sudu

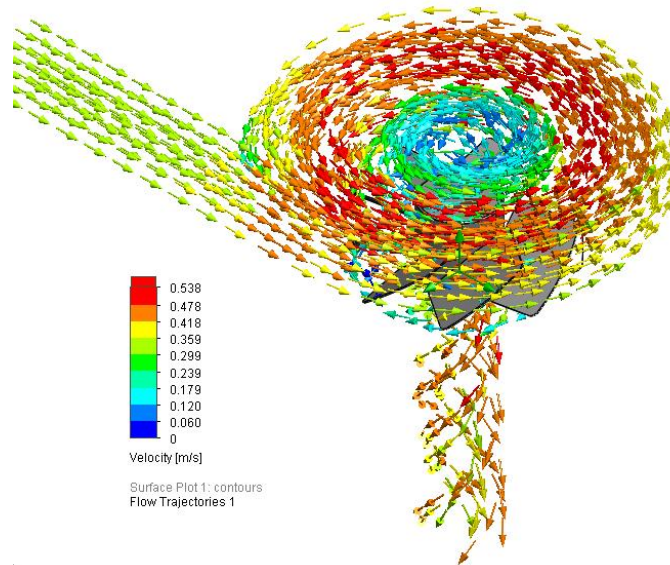
runner. Hal demikian terjadi karna *vortex* yang dihasilkan basin kurang sempurna. Visualisasi aliran ini dapat membantu memberikan umpan balik pada proses perancangan turbin, seperti basin dan *drafttube*. Basin dengan kinerja yang baik, akan meningkatkan kinerja runner pula. Dan pada gambar 4.15, terlihat basin belum mempunyai kinerja yang cukup bagus pada setiap debit aliran, karna tekanan yang diterima runner tidak merata dan hal demikian dapat menyebabkan torsi yang dihasilkan tidak maksimal.



Gambar 4.15. Kontur Tekanan pada Runner

4.2.4. Vektor Kecepatan Fluida

Gambar 4.15 merupakan vektor aliran fluida pada turbin *whirlpool*. Dapat diamati melalui perbedaan warna, kecepatan fluida semakin tinggi pada bagian tengah basin. *Mass flow rate* pada debit 150 l/m adalah 2,4930 Kg/s, *mass flow rate* pada debit 135 l/m adalah 2,2445 Kg/s, *mass flow rate* pada debit 125 l/m adalah 2,0779 Kg/s, *mass flow rate* pada debit 110 l/m adalah 1,8285 Kg/s, *mass flow rate* pada debit 90 l/m adalah 1,6460 Kg/s.



Gambar 4.16. Vektor Kecepatan Fluida

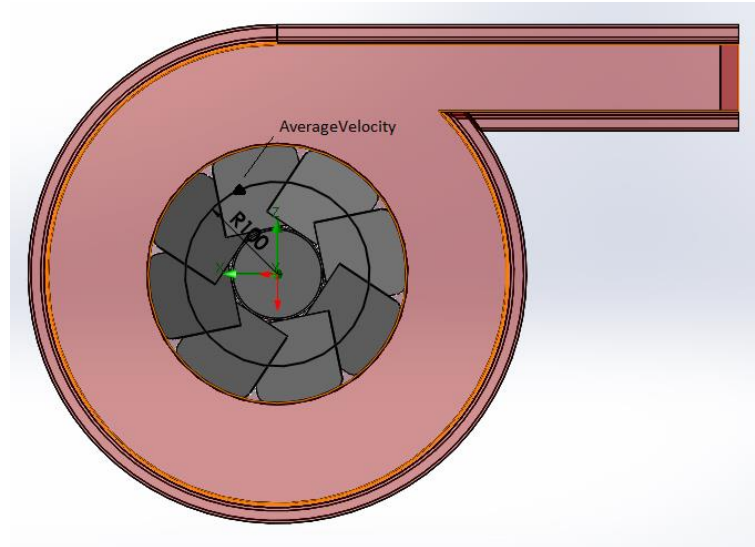
Pada vektor terlihat bahwa kecepatan aliran meningkat pada tengah bagian basin, peningkatan kecepatan ini terjadi karena aliran fluida menjadi vortex. Jika diamati lebih jelas Kecepatan outlet lebih kecil dari pada kecepatan inlet karena kecepatan air akan turun jika terkena hambatan sudu turbin (atau disebabkan energi kinetik dari tekanan air diubah menjadi energy putar sudu turbin).

Tekanan fluida dalam sebuah vortex paling rendah dipusatnya dimana pada kondisi ini kecepatannya paling tinggi. Dari gambar di atas didapat diketahui bahwa vektor kecepatan yang terjadi baik karena vektor kecepatannya memiliki arah yang sesuai dengan arah aliran air. Hal ini tidak ada yang berbalik atau turbulen.

4.3. Efisiensi Turbin

4.3.1. Kecepatan Sudut

Untuk mendapatkan efisiensi turbin harus diketahui terlebih dahulu kecepatan sudut (ω). Hasil simulasi menggunakan *solidworks flow simulation* tidak memberikan hasil kecepatan sudut, maka kecepatan sudut dapat ditentukan menggunakan persamaan dengan mengetahui kecepatan aliran dan radius, perhatikan pada gambar 4.17 dibawah.



Gambar 4.17. Kecepatan Linear

Untuk mendapatkan rata-rata kecepatan aliran pada garis seperti pada gambar diatas dengan menggunakan result *XY plots*, kemudian di export ke Excel dan diambil nilai rata-rata. Adapun hasilnya seperti pada tabel 4.4 dibawah.

Tabel 4.4. Velocity

Debit (l/m)	Velocity (m/s)	Radius (m)
150	0,1271	0,1
135	0,1111	0,1
125	0,1002	0,1
110	0,0873	0,1
90	0,0772	0,1

Data dari tabel diatas kemudian diolah menggunakan persamaan berikut:

$$f = \frac{V}{r}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

- Dimana :
- f = Frekuensi (rev/s)
 - V = Kecepatan rata-rata (m/s)
 - r = radius (m)
 - ω = Putaran sudut (rad/s)

1. Kecepatan sudut (ω) pada debit aliran 150 l/m adalah:

$$f = \frac{0,1271}{0,1} = 1,271 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 1,145 = 7,98 \text{ rad/s}$$

2. Kecepatan sudut (ω) pada debit aliran 135 l/m adalah:

$$f = \frac{0,1111}{0,1} = 1,111 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 1,025 = 6,97 \text{ rad/s}$$

3. Kecepatan sudut (ω) pada debit aliran 125 l/m adalah:

$$f = \frac{0,1002}{0,1} = 1,002 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,945 = 6,29 \text{ rad/s}$$

4. Kecepatan sudut (ω) pada debit aliran 110 l/m adalah:

$$f = \frac{0,0873}{0,1} = 0,873 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,815 = 5,48 \text{ rad/s}$$

5. Kecepatan sudut (ω) pada debit aliran 110 l/m adalah:

$$f = \frac{0,0772}{0,1} = 0,772 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,721 = 4,84 \text{ rad/s}$$

4.3.2. Perhitungan Efisiensi Turbin

Efisiensi Turbin merupakan perbandingan antara output dan input pada turbin air. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi adalah:

$$\eta = \frac{T \cdot \omega}{\Delta P \cdot Q}$$

Dimana T = Torsi (Kgm)

ω = Kecepatan Sudut (rad/s)

ΔP = Pressure Drop (Pa)

Q = Debit Aliran (m³/s)

Dari hasil simulasi menggunakan *Solidwoks Flow Simulation* diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.5. Data Hasil Simulasi

Debit (l/m)	ω (rad/s)	Debit (m ³ /s)	<i>Pressure Drop</i> (Pa)	Torsi (Kgm)
150	7,98	0,002500	233,79	0,01621
135	6,98	0,002250	180,53	0,01285
125	6,29	0,002083	151,59	0,01091
110	5,48	0,001833	114,26	0,00826
90	4,85	0,001650	90,00	0,00663

1. Efisiensi (η) pada debit aliran 150 lpm adalah:

$$\eta = \frac{0,01621 \cdot 7,98}{233,79 \cdot 0,0025} \times 100\%$$

$$\eta = 22,14\%$$

2. Efisiensi (η) pada debit aliran 135 lpm adalah:

$$\eta = \frac{0,01285 \cdot 6,98}{180,53 \cdot 0,00225} \times 100\%$$

$$\eta = 22,07\%$$

3. Efisiensi (η) pada debit aliran 125 lpm adalah:

$$\eta = \frac{0,01091 \cdot 6,29}{151,59 \cdot 0,002083} \times 100\%$$

$$\eta = 21,74\%$$

4. Efisiensi (η) pada debit aliran 110 lpm adalah:

$$\eta = \frac{0,00826 \cdot 5,48}{114,26 \cdot 0,001833} \times 100\%$$

$$\eta = 21,62\%$$

5. Efisiensi (η) pada debit aliran 90 lpm adalah:

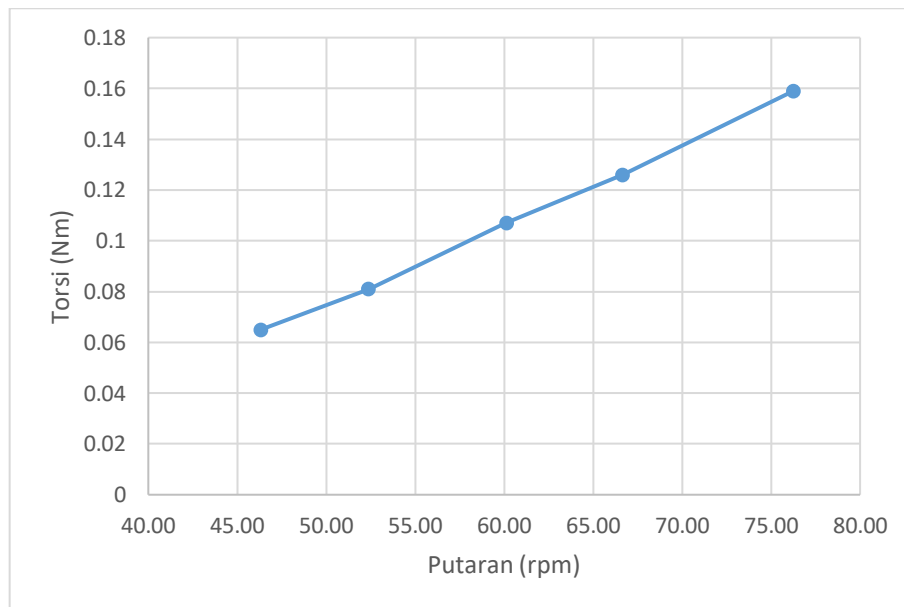
$$\eta = \frac{0,00663 \cdot 4,85}{90 \cdot 0,001650} \times 100\%$$

$$\eta = 21,65\%$$

4.4. Grafik Hasil Simulasi

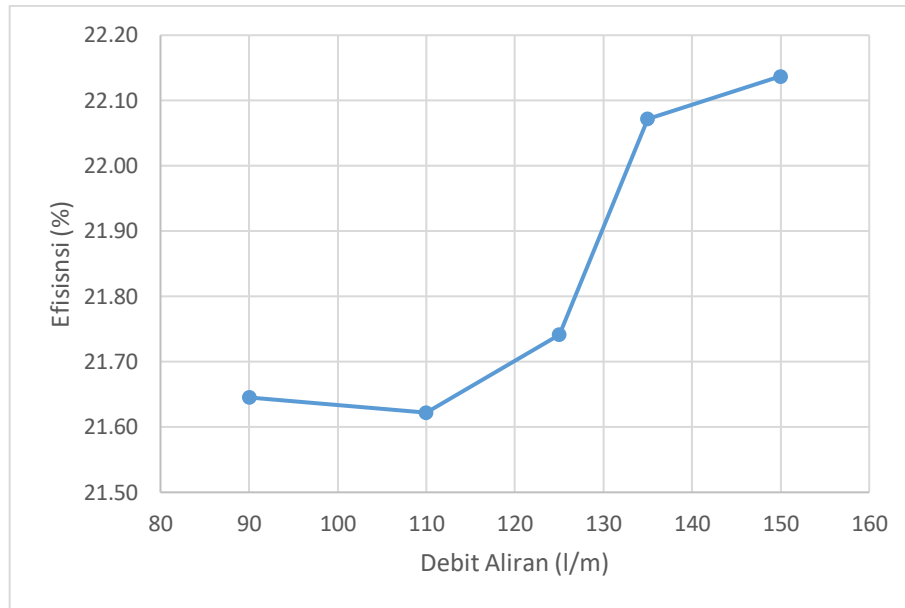
4.4.1. Grafik Hubungan Torsi dan Putaran

Gambar 4.18 menunjukkan hubungan antara torsi dan putaran turbin. Grafik tersebut menunjukkan nilai torsi yang semakin tinggi dengan meningkatnya putaran runner. Sudut sudu dan jumlah sudu sangat berpengaruh pada putaran dan torsi yang dihasilkan turbin, serta desain dan model sudu runner juga sangat berpengaruh dalam penyerapan energi potensial dari fluida. Torsi juga merupakan salah satu variabel penting yang mempengaruhi performansi dari turbin. Torsi pada turbin yang berotasi berada pada tiap sudu dan shaft, yang mana pada tiap sudu dan shaft tersebut terdapat gaya terhadap sumbu x, y dan z.



Gambar 4.18. Grafik Putaran vs Torsi

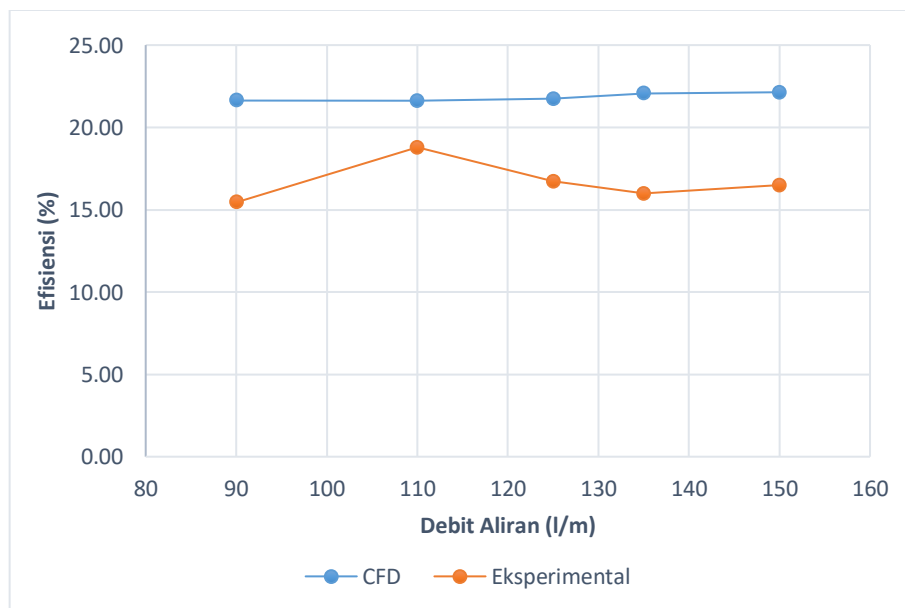
Gambar 4.19 merupakan grafik hubungan antara efisiensi turbin dengan debit aliran. Semakin tinggi debit aliran maka efisiensi yang dihasilkan juga semakin tinggi. Efisiensi tertinggi adalah 22,14 % pada debit aliran 150 l/m. Peningkatan efisiensi pada setiap debit tidak terlalu signifikan, dapat disimpulkan efisiensi pada turbin whirlpool cukup stabil pada kisaran 21 %. Hal utama yang mempengaruhi efisiensi yang dihasilkan turbin adalah sudut dan jumlah sudu yang digunakan, desain sudu dan basin juga sangat berpengaruh pada efisiensi yang dihasilkan.



Gambar 4.19. Debit Aliran vs Efisiensi

4.4.2. Grafik Perbandingan Pengujian dengan CFD dan Pengujian Ekperimental

Pengujian Ekperimental yang dilakukan menunjukkan grafik seperti pada gambar 4.20 dibawah. Pada grafik menunjukkan perbandingan efisiensi yang dihasilkan turbin menggunakan CFD dan pengujian eksperimental. Kedua pengjian dilakukan dengan konfigurasi turbin yang sama yaitu dengan jumlah sudu 8 buah dan sudut sudu 50° dan geometri juga sama.



Gambar 4.20. Grafik Perbandingan Efisiensi CFD dan Eksperimental

Pada grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.20 diatas, terlihat bahwa hasil pengujian yang dilakukan menggunakan CFD lebih tinggi dan cukup stabil disbanding dengan pengujian secara eksperimental. Ada beberapa factor yang mempengaruhi hasil tersebut, diantaranya adalah *roughness* (kekasaran permukaan). Pada pengujian menggunakan CFD *roughness* tidak didefinisikan untuk menghemat waktu pengujian. Hal lain yang mempengaruhi hasil adalah akurasi pada alat ukur yang digunakan dan *finishing* pada sudu runner yang kurang baik. Ketiga hal diatas sangat mempengaruhi hasil yang didapatkan pada masing-masing pengujian baik menggunakan CFD maupun pengujian eksperimental.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dengan melihat berbagai macam variable yang mempengaruhi aliran fluida pada turbin *whirlpool* dengan menggunakan metode simulasi, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Torsi yang dihasilkan oleh turbin *whirlpool* semakin tinggi seiring dengan bertambahnya debit aliran. Torsi paling tinggi adalah 0,01621 Kgm pada debit aliran 150 l/m dengan putaran sudut (ω) 7,98 rad/s.
2. Efisiensi menggunakan CFD lebih tinggi dibandingkan efisiensi yang dihasilkan menggunakan pengujian eksperimental. Rata-rata efisiensi yang dihasilkan dengan pengujian CFD adalah 21,84 % sedangkan dengan pengujian eksperimental 16,69 %.

5.2. Saran

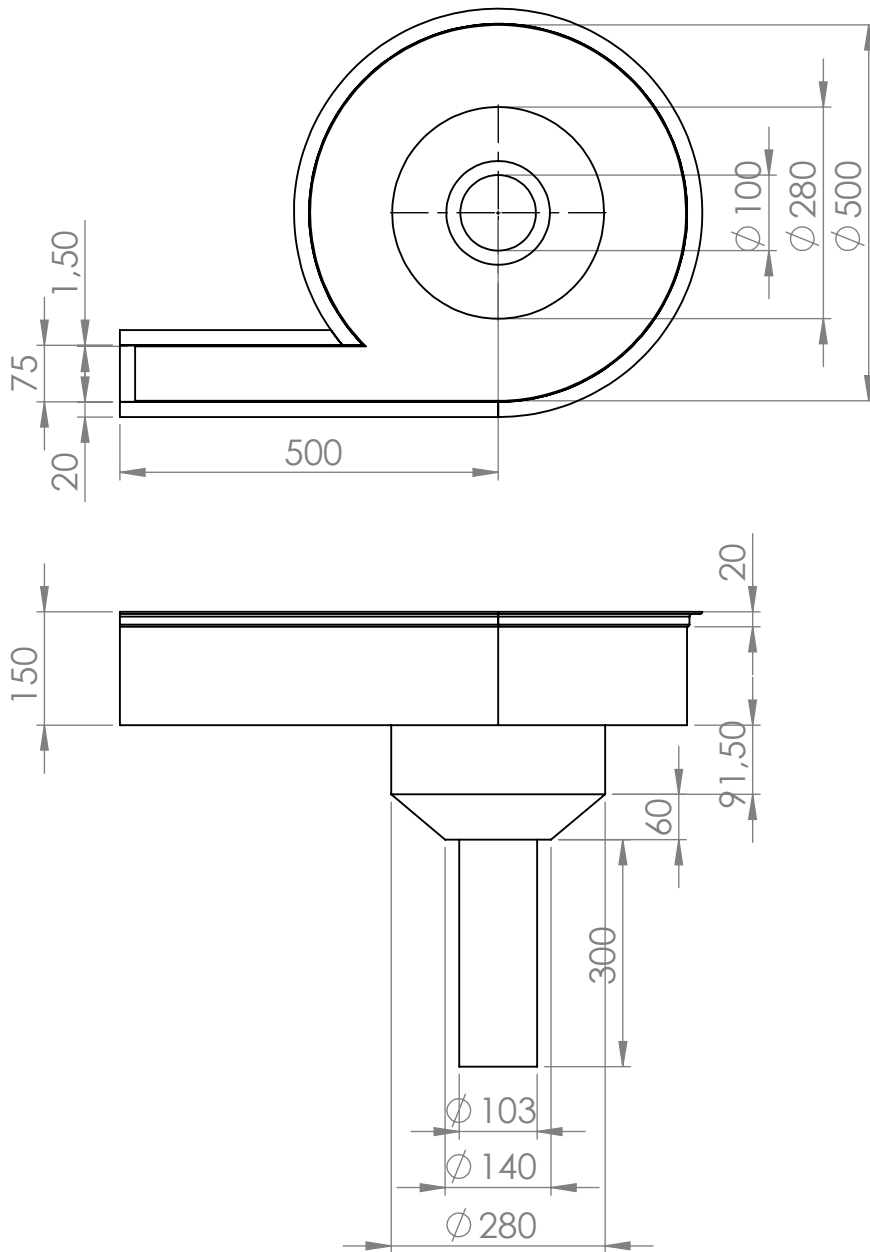
Simulasi turbin air *whirlpool* merupakan bahasan yang menarik, turbin jenis ini belum banyak dikembangkan di Indonesia saat ini. Penelitian ini adalah tahap awal dalam pengembangan turbin jenis ini, oleh sebab itu penulis berharap penelitian ini dilanjutkan selanjutnya dengan mengembangkan bagian utama seperti desain runner dan basin.

DAFTAR PUSTAKA

- Dietzel, F. 1993. *Turbin Pompa dan Kompresor*. Terjemahan oleh Dakso Sriyono. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Dartina, P., Sallaberger, M. 1999. *Hydraulic Turbines – Basic Principles and State-of-the-art Computational Fluid Dynamics Applications*. Proceedings of Instn Mech Engrs, Vol 213, Part C.
- Dugdale, R H. 1986. *Mekanika Fluida*. Ahli Bahasa oleh Bambang Priambodo. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Himran, S. 2017. *Turbin Air, Teori dan Dasar Perancangan*. Yogyakarta: Penerbit Andi
- Patel, K., Desai, J., Chauhan, V., & Charnia, S. (2011). *Development of Francis Turbine using Computational Fluid Dynamics*. Asian International Conference on Fluid Machinery, 21-23 November 2011.
- PPPPTK. 2015. *Konversi Energi Air Teknologi Energi Terbarukan – Teknik Energi Hidro*. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jendral Guru dan Tenaga Kependidikan: Jakarta.
- Sharma, A. 2017. *Introduction to Computational Fluid Dynamics: Developmet, Application and Analysis*. United Kingdom. Athena Academic Ltd.
- Streeter, V L., Wyle, E B. 2018. *Mekanika Fluida, Edisi Kedelapan*. Terjemahan oleh Arko Prijono. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Syafitri, N F., Permatasari, R. 2018. *Analisa Profil Sudu Turbin Mikro Hidro Vortex Untuk Mendapatkan Efisiensi Optimum*. Seminar Nasional Cendikiawan Ke 4 Tahun 2018: Jakarta.
- Simbolon, B Y. 2015. *Simulasi Aliran Fluida Pada Rumah Turbin Vortex Dengan 5 Variasi Lubang Buang*. Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Tanjung, I F. 2013. *Analisa Performansi Turbin Vortex Menggunakan Perangkat Lunak CFD Dengan Variasi Dimensi Sudu I Dan Sudu III Debit Air Masuk Serta Luas Saluran Buang*. Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Versteeg, H K., Malalaskara, V. 2007. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*. England: Person Education Ltd.
- Yusuf, M. 2019. *Optimasi Design Model Struktur Basin Gravitation Water Vortex Power Plant*. Universitas Pembangunan Negri Jakarta: Jakarta.

Syafitri, N F., Permatasari, R. 2018. *Analisa Profil Sudu Turbin Mikro Hidro Vortex Untuk Mendapatkan Efisiensi Optimum*. Seminar Nasional Cendekiawan Ke 4 Tahun 2018: Jakarta.

Rinanda, V., Permatasari, R. 2018. *Optimasi Desain Turbi Air Tipe Vortex Dengan 5 Varasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi*. Seminar Nasional Cendekiawan Ke 4 Tahun 2018: Jakarta.



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	ARISMUNANDAR H				
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

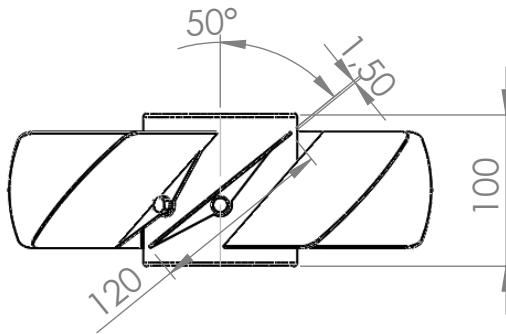
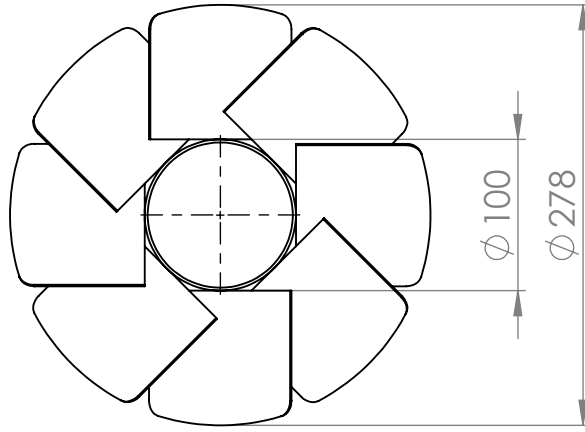
Basin

DWG NO.

A4

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	ARISMUNANDAR H				
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

Runner

DWG NO.

A4

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1

FULL REPORT DEBIT 90 l/m

System Info

Product	Flow Simulation 2014 PR1. Build: 2511
Computer name	DESKTOP-VNMUDIL
User name	LENOVO
Processors	Intel(R) Core(TM) i3-4030U CPU @ 1.90GHz
Memory	3988 MB / 134217727 MB
Operating system	(Build 9600)
CAD version	SolidWorks 2014 SP0.0
CPU speed	1900 MHz

General Info

Model	D:\Uji Coba Simulasi Fix\Simulasi Turbin Whirlpool Fix.SLDASM
Project name	Project 90 lpm
Project path	D:\Uji Coba Simulasi Fix\9
Units system	SI (m-kg-s)
Analysis type	Internal
Exclude cavities without flow conditions	On
Coordinate system	Global coordinate system
Reference axis	Y

INPUT DATA

Initial Mesh Settings

Automatic initial mesh: On

Result resolution level: 4

Advanced narrow channel refinement: Off

Refinement in solid region: Off

Geometry Resolution

Evaluation of minimum gap size: Automatic

Evaluation of minimum wall thickness: Automatic

Computational Domain

Size

X min	-0.495 m
X max	0.249 m
Y min	-0.348 m
Y max	0.203 m
Z min	-0.249 m
Z max	0.249 m

Boundary Conditions

2D plane flow	None
At X min	Default
At X max	Default
At Y min	Default
At Y max	Default
At Z min	Default
At Z max	Default

Physical Features

Heat conduction in solids: Off
Time dependent: Off
Gravitational effects: Off
Flow type: Laminar and turbulent
Cavitation: Off
High Mach number flow: Off
Default roughness: 0 micrometer
Default wall conditions: Adiabatic wall

Initial Conditions

Thermodynamic parameters	Static Pressure: 101325.00 Pa Temperature: 293.20 K
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.005 m

Material Settings

Fluids

Water

Boundary Conditions

Inlet Volume Flow 1

Type	Inlet Volume Flow
Faces	Face<1>@LID6-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Volume flow rate: 0.0017 m ³ /s Fully developed flow: No Inlet profile: 0
Thermodynamic parameters	Temperature: 293.20 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.005 m

Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent
---------------------------	--------------------------------

Environment Pressure 1

Type	Environment Pressure
Faces	Face<2>@LID3-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 101325.00 Pa Temperature: 293.20 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.005 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Goals

Surface Goals

SG Mass Flow Inlet

Type	Surface Goal
Goal type	Mass Flow Rate
Faces	Face<1>@LID6-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Mass Flow Outlet

Type	Surface Goal
Goal type	Mass Flow Rate
Faces	Face<1>@LID3-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Av Static Pressure Inlet

Type	Surface Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Faces	Face<1>@LID6-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Bulk Av Static Pressure Runner's Outlet

Type	Surface Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Faces	Face<1>@Measure-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Torque (Y) 1

Type	Surface Goal
Goal type	Torque (Y)

Faces	Runner-1 @ Simulasi Dengan Tutup
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

Equation Goals

Pressure Drop

Type	Equation Goal
Formula	SG Av Static Pressure Inlet-SG Bulk Av Static Pressure Runner's Outlet
Dimensionality	Pressure & stress
Use in convergence	On

Calculation Control Options

Finish Conditions

Finish conditions	If one is satisfied
Maximum travels	4
Goals convergence	Analysis interval: 5e-001

Solver Refinement

Refinement: Disabled

Results Saving

Save before refinement	On
------------------------	----

Advanced Control Options

Flow Freezing

Flow freezing strategy	Disabled
------------------------	----------

RESULTS

General Info

Iterations: 202

CPU time: 2153 s

Log

Mesh generation started	00:55:40 , Aug 07
Mesh generation normally finished	00:56:30 , Aug 07
Preparing data for calculation	00:56:38 , Aug 07
Calculation started 0	00:56:58 , Aug 07
Calculation has converged since the following criteria are satisfied: 201	01:32:35 , Aug 07
Goals are converged 201	
Calculation finished 202	01:33:00 , Aug 07

Calculation Mesh

Basic Mesh Dimensions

Number of cells in X	56
Number of cells in Y	42
Number of cells in Z	38

Number Of Cells

Total cells	182875
Fluid cells	46163
Solid cells	90459
Partial cells	46253
Irregular cells	0
Trimmed cells	0

Maximum refinement level: 6

Goals

Name	Unit	Value	Progress	Use in convergence	Delta	Criteria
SG Mass Flow Inlet	kg/s	1.6460	100	On	0	0.00164597687
SG Mass Flow Outlet	kg/s	-1.6460	100	On	1.93274086e-006	0.0016459814
SG Av Static Pressure Inlet	Pa	101477.99	100	On	3.01349548	3.60760346
SG Bulk Av Static Pressure Runner's Outlet	Pa	101387.99	100	On	0.751657591	0.808709406
SG Torque (Y) 1	N*m	0.065	100	On	0.00152771911	0.00168125205
Pressure Drop	Pa	90.00	100	On	2.28436473	2.79889406

Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Pressure [Pa]	101286.51	101685.64
Temperature [K]	293.20	293.20
Density (Fluid) [kg/m ³]	997.56	997.56
Velocity [m/s]	0	0.432
Velocity (X) [m/s]	-0.339	0.351
Velocity (Y) [m/s]	-0.329	0.270

Velocity (Z) [m/s]	-0.365	0.318
Temperature (Fluid) [K]	293.20	293.20
Vorticity [1/s]	3.652e-004	1429.837
Dynamic Pressure [Pa]	0	93.02
Shear Stress [Pa]	0	24.81
Relative Pressure [Pa]	-38.49	360.64
Heat Transfer Coefficient [W/m^2/K]	0	0
Surface Heat Flux [W/m^2]	0	0
Turbulent Viscosity [Pa*s]	3.8993e-014	0.2898
Turbulent Time [s]	2.937e-004	597.241
Turbulence Length [m]	9.401e-007	0.013
Turbulence Intensity [%]	0.14	1000.00
Turbulent Energy [J/kg]	1.396e-012	0.009
Turbulent Dissipation [W/kg]	2.34e-015	2.20

FULL REPORT DEBIT 110 l/m

System Info

Product	Flow Simulation 2014 PR1. Build: 2511
Computer name	DESKTOP-VNMUDIL
User name	LENOVO
Processors	Intel(R) Core(TM) i3-4030U CPU @ 1.90GHz
Memory	3988 MB / 134217727 MB
Operating system	(Build 9600)
CAD version	SolidWorks 2014 SP0.0
CPU speed	1900 MHz

General Info

Model	D:\Uji Coba Simulasi Fix\Simulasi Turbin Whirlpool Fix.SLDASM
Project name	Project 110 lpm
Project path	D:\Uji Coba Simulasi Fix\8
Units system	SI (m-kg-s)
Analysis type	Internal
Exclude cavities without flow conditions	On
Coordinate system	Global coordinate system
Reference axis	Y

INPUT DATA

Initial Mesh Settings

Automatic initial mesh: On

Result resolution level: 4

Advanced narrow channel refinement: Off

Refinement in solid region: Off

Geometry Resolution

Evaluation of minimum gap size: Automatic

Evaluation of minimum wall thickness: Automatic

Computational Domain

Size

X min	-0.495 m
X max	0.249 m
Y min	-0.348 m
Y max	0.203 m
Z min	-0.249 m
Z max	0.249 m

Boundary Conditions

2D plane flow	None
At X min	Default
At X max	Default
At Y min	Default
At Y max	Default
At Z min	Default
At Z max	Default

Physical Features

Heat conduction in solids: Off
Time dependent: Off
Gravitational effects: Off
Flow type: Laminar and turbulent
Cavitation: Off
High Mach number flow: Off
Default roughness: 0 micrometer
Default wall conditions: Adiabatic wall

Initial Conditions

Thermodynamic parameters	Static Pressure: 101325.00 Pa Temperature: 293.20 K
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.005 m

Material Settings

Fluids

Water

Boundary Conditions

Inlet Volume Flow 1

Type	Inlet Volume Flow
Faces	Face<1>@LID6-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Volume flow rate: 0.0018 m ³ /s Fully developed flow: No Inlet profile: 0
Thermodynamic parameters	Temperature: 293.20 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.005 m

Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent
---------------------------	--------------------------------

Environment Pressure 1

Type	Environment Pressure
Faces	Face<2>@LID3-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 101325.00 Pa Temperature: 293.20 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.005 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Goals

Surface Goals

SG Mass Flow Inlet

Type	Surface Goal
Goal type	Mass Flow Rate
Faces	Face<1>@LID6-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Mass Flow Outlet

Type	Surface Goal
Goal type	Mass Flow Rate
Faces	Face<1>@LID3-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Av Static Pressure Inlet

Type	Surface Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Faces	Face<1>@LID6-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Bulk Av Static Pressure Runner's Outlet

Type	Surface Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Faces	Face<1>@Measure-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Torque (Y) 1

Type	Surface Goal
Goal type	Torque (Y)

Faces	Runner-1 @ Simulasi Dengan Tutup
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

Equation Goals

Pressure Drop

Type	Equation Goal
Formula	SG Av Static Pressure Inlet-SG Bulk Av Static Pressure Runner's Outlet
Dimensionality	Pressure & stress
Use in convergence	On

Calculation Control Options

Finish Conditions

Finish conditions	If one is satisfied
Maximum travels	4
Goals convergence	Analysis interval: 5e-001

Solver Refinement

Refinement: Disabled

Results Saving

Save before refinement	On
------------------------	----

Advanced Control Options

Flow Freezing

Flow freezing strategy	Disabled
------------------------	----------

RESULTS

General Info

Iterations: 202

CPU time: 2159 s

Log

Mesh generation started	00:08:25 , Aug 07
Mesh generation normally finished	00:09:17 , Aug 07
Preparing data for calculation	00:09:28 , Aug 07
Calculation started 0	00:09:42 , Aug 07
Calculation has converged since the following criteria are satisfied: 201	00:45:31 , Aug 07
Goals are converged 201	
Calculation finished 202	00:46:04 , Aug 07

Calculation Mesh

Basic Mesh Dimensions

Number of cells in X	56
Number of cells in Y	42
Number of cells in Z	38

Number Of Cells

Total cells	182875
Fluid cells	46163
Solid cells	90459
Partial cells	46253
Irregular cells	0
Trimmed cells	0

Maximum refinement level: 6

Goals

Name	Unit	Value	Progress	Use in convergence	Delta	Criteria
SG Mass Flow Inlet	kg/s	1.8285	100	On	0	0.00182853067
SG Mass Flow Outlet	kg/s	-1.8285	100	On	2.28358686e-006	0.0018285334
SG Av Static Pressure Inlet	Pa	101517.43	100	On	4.4619751	4.52359934
SG Bulk Av Static Pressure Runner's Outlet	Pa	101403.18	100	On	0.969533839	1.01206034
SG Torque (Y) 1	N*m	0.081	100	On	0.00202906067	0.00210629488
Pressure Drop	Pa	114.26	100	On	3.49244126	3.511539

Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Pressure [Pa]	101277.07	101797.73
Temperature [K]	293.20	293.20
Density (Fluid) [kg/m ³]	997.56	997.56
Velocity [m/s]	0	0.487
Velocity (X) [m/s]	-0.383	0.394
Velocity (Y) [m/s]	-0.372	0.303

Velocity (Z) [m/s]	-0.417	0.361
Temperature (Fluid) [K]	293.20	293.20
Vorticity [1/s]	0.001	1560.570
Dynamic Pressure [Pa]	0	118.30
Shear Stress [Pa]	0	29.09
Relative Pressure [Pa]	-47.93	472.73
Heat Transfer Coefficient [W/m ² /K]	0	0
Surface Heat Flux [W/m ²]	0	0
Turbulent Viscosity [Pa*s]	1.0934e-014	0.3248
Turbulent Time [s]	2.573e-004	295.216
Turbulence Length [m]	8.799e-007	0.013
Turbulence Intensity [%]	0.09	1000.00
Turbulent Energy [J/kg]	1.413e-012	0.011
Turbulent Dissipation [W/kg]	4.79e-015	3.05

FULL REPORT DEBIT 125 l/m

System Info

Product	Flow Simulation 2014 PR1. Build: 2511
Computer name	DESKTOP-VNMUDIL
User name	LENOVO
Processors	Intel(R) Core(TM) i3-4030U CPU @ 1.90GHz
Memory	3988 MB / 134217727 MB
Operating system	(Build 9600)
CAD version	SolidWorks 2014 SP0.0
CPU speed	1900 MHz

General Info

Model	D:\Uji Coba Simulasi Fix\Simulasi Turbin Whirlpool Fix.SLDASM
Project name	Project 125 lpm
Project path	D:\Uji Coba Simulasi Fix\7
Units system	SI (m-kg-s)
Analysis type	Internal
Exclude cavities without flow conditions	On
Coordinate system	Global coordinate system
Reference axis	Y

INPUT DATA

Initial Mesh Settings

Automatic initial mesh: On

Result resolution level: 4

Advanced narrow channel refinement: Off

Refinement in solid region: Off

Geometry Resolution

Evaluation of minimum gap size: Automatic

Evaluation of minimum wall thickness: Automatic

Computational Domain

Size

X min	-0.495 m
X max	0.249 m
Y min	-0.348 m
Y max	0.203 m
Z min	-0.249 m
Z max	0.249 m

Boundary Conditions

2D plane flow	None
At X min	Default
At X max	Default
At Y min	Default
At Y max	Default
At Z min	Default
At Z max	Default

Physical Features

Heat conduction in solids: Off
Time dependent: Off
Gravitational effects: Off
Flow type: Laminar and turbulent
Cavitation: Off
High Mach number flow: Off
Default roughness: 0 micrometer
Default wall conditions: Adiabatic wall

Initial Conditions

Thermodynamic parameters	Static Pressure: 101325.00 Pa Temperature: 293.20 K
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.005 m

Material Settings

Fluids

Water

Boundary Conditions

Inlet Volume Flow 1

Type	Inlet Volume Flow
Faces	Face<1>@LID6-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Volume flow rate: 0.0021 m ³ /s Fully developed flow: No Inlet profile: 0
Thermodynamic parameters	Temperature: 293.20 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.005 m

Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent
---------------------------	--------------------------------

Environment Pressure 1

Type	Environment Pressure
Faces	Face<2>@LID3-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 101325.00 Pa Temperature: 293.20 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.005 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Goals

Surface Goals

SG Mass Flow Inlet

Type	Surface Goal
Goal type	Mass Flow Rate
Faces	Face<1>@LID6-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Mass Flow Outlet

Type	Surface Goal
Goal type	Mass Flow Rate
Faces	Face<1>@LID3-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Av Static Pressure Inlet

Type	Surface Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Faces	Face<1>@LID6-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Bulk Av Static Pressure Runner's Outlet

Type	Surface Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Faces	Face<1>@Measure-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Torque (Y) 1

Type	Surface Goal
Goal type	Torque (Y)

Faces	Runner-1 @ Simulasi Dengan Tutup
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

Equation Goals

Pressure Drop

Type	Equation Goal
Formula	SG Av Static Pressure Inlet-SG Bulk Av Static Pressure Runner's Outlet
Dimensionality	Pressure & stress
Use in convergence	On

Calculation Control Options

Finish Conditions

Finish conditions	If one is satisfied
Maximum travels	4
Goals convergence	Analysis interval: 5e-001

Solver Refinement

Refinement: Disabled

Results Saving

Save before refinement	On
------------------------	----

Advanced Control Options

Flow Freezing

Flow freezing strategy	Disabled
------------------------	----------

RESULTS

General Info

Iterations: 203

CPU time: 2239 s

Log

Mesh generation started	23:23:08 , Aug 06
Mesh generation normally finished	23:23:56 , Aug 06
Preparing data for calculation	23:24:11 , Aug 06
Calculation started 0	23:24:25 , Aug 06
Calculation has converged since the following criteria are satisfied: 202	00:01:28 , Aug 07
Goals are converged 202	
Calculation finished 203	00:01:54 , Aug 07

Calculation Mesh

Basic Mesh Dimensions

Number of cells in X	56
Number of cells in Y	42
Number of cells in Z	38

Number Of Cells

Total cells	182875
Fluid cells	46163
Solid cells	90459
Partial cells	46253
Irregular cells	0
Trimmed cells	0

Maximum refinement level: 6

Goals

Name	Unit	Value	Progress	Use in convergence	Delta	Criteria
SG Mass Flow Inlet	kg/s	2.0779	100	On	0	0.0020779211
SG Mass Flow Outlet	kg/s	-2.0779	100	On	2.82448469e-006	0.00207792645
SG Av Static Pressure Inlet	Pa	101578.23	100	On	5.76337936	6.0120404
SG Bulk Av Static Pressure Runner's Outlet	Pa	101426.64	100	On	1.14132952	1.33132244
SG Torque (Y) 1	N*m	0.107	100	On	0.00268807618	0.00278159207
Pressure Drop	Pa	151.59	100	On	4.64875849	4.68071797

Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Pressure [Pa]	101262.57	101910.98
Temperature [K]	293.20	293.20
Density (Fluid) [kg/m ³]	997.56	997.56
Velocity [m/s]	0	0.561
Velocity (X) [m/s]	-0.438	0.459
Velocity (Y) [m/s]	-0.421	0.351

Velocity (Z) [m/s]	-0.472	0.413
Temperature (Fluid) [K]	293.20	293.20
Vorticity [1/s]	0.001	2041.447
Dynamic Pressure [Pa]	0	157.03
Shear Stress [Pa]	0	35.11
Relative Pressure [Pa]	-62.43	585.98
Heat Transfer Coefficient [W/m ² /K]	0	0
Surface Heat Flux [W/m ²]	0	0
Turbulent Viscosity [Pa*s]	1.0079e-013	0.3771
Turbulent Time [s]	2.249e-004	423.362
Turbulence Length [m]	9.312e-007	0.013
Turbulence Intensity [%]	0.15	1000.00
Turbulent Energy [J/kg]	2.770e-012	0.016
Turbulent Dissipation [W/kg]	6.54e-015	4.38

FULL REPORT DEBIT 135 l/m

System Info

Product	Flow Simulation 2014 PR1. Build: 2511
Computer name	DESKTOP-VNMUDIL
User name	LENOVO
Processors	Intel(R) Core(TM) i3-4030U CPU @ 1.90GHz
Memory	3988 MB / 134217727 MB
Operating system	(Build 9600)
CAD version	SolidWorks 2014 SP0.0
CPU speed	1900 MHz

General Info

Model	D:\Uji Coba Simulasi Fix\Simulasi Turbin Whirlpool Fix.SLDASM
Project name	Project 135 lpm
Project path	D:\Uji Coba Simulasi Fix\6
Units system	SI (m-kg-s)
Analysis type	Internal
Exclude cavities without flow conditions	On
Coordinate system	Global coordinate system
Reference axis	Y

INPUT DATA

Initial Mesh Settings

Automatic initial mesh: On

Result resolution level: 4

Advanced narrow channel refinement: Off

Refinement in solid region: Off

Geometry Resolution

Evaluation of minimum gap size: Automatic

Evaluation of minimum wall thickness: Automatic

Computational Domain

Size

X min	-0.495 m
X max	0.249 m
Y min	-0.348 m
Y max	0.203 m
Z min	-0.249 m
Z max	0.249 m

Boundary Conditions

2D plane flow	None
At X min	Default
At X max	Default
At Y min	Default
At Y max	Default
At Z min	Default
At Z max	Default

Physical Features

Heat conduction in solids: Off
Time dependent: Off
Gravitational effects: Off
Flow type: Laminar and turbulent
Cavitation: Off
High Mach number flow: Off
Default roughness: 0 micrometer
Default wall conditions: Adiabatic wall

Initial Conditions

Thermodynamic parameters	Static Pressure: 101325.00 Pa Temperature: 293.20 K
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.005 m

Material Settings

Fluids

Water

Boundary Conditions

Inlet Volume Flow 1

Type	Inlet Volume Flow
Faces	Face<1>@LID6-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Volume flow rate: 0.0022 m ³ /s Fully developed flow: No Inlet profile: 0
Thermodynamic parameters	Temperature: 293.20 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.005 m

Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent
---------------------------	--------------------------------

Environment Pressure 1

Type	Environment Pressure
Faces	Face<2>@LID3-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 101325.00 Pa Temperature: 293.20 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.005 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Goals

Surface Goals

SG Mass Flow Inlet

Type	Surface Goal
Goal type	Mass Flow Rate
Faces	Face<1>@LID6-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Mass Flow Outlet

Type	Surface Goal
Goal type	Mass Flow Rate
Faces	Face<1>@LID3-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Av Static Pressure Inlet

Type	Surface Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Faces	Face<1>@LID6-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Bulk Av Static Pressure Runner's Outlet

Type	Surface Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Faces	Face<1>@Measure-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Torque (Y) 1

Type	Surface Goal
Goal type	Torque (Y)

Faces	Runner-1 @ Simulasi Dengan Tutup
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

Equation Goals

Pressure Drop

Type	Equation Goal
Formula	SG Av Static Pressure Inlet-SG Bulk Av Static Pressure Runner's Outlet
Dimensionality	Pressure & stress
Use in convergence	On

Calculation Control Options

Finish Conditions

Finish conditions	If one is satisfied
Maximum travels	4
Goals convergence	Analysis interval: 5e-001

Solver Refinement

Refinement: Disabled

Results Saving

Save before refinement	On
------------------------	----

Advanced Control Options

Flow Freezing

Flow freezing strategy	Disabled
------------------------	----------

RESULTS

General Info

Iterations: 204

CPU time: 2299 s

Log

Mesh generation started	10:35:49 , Aug 06
Mesh generation normally finished	10:36:43 , Aug 06
Preparing data for calculation	10:36:57 , Aug 06
Calculation started 0	10:37:13 , Aug 06
Calculation has converged since the following criteria are satisfied: 203	11:15:19 , Aug 06
Goals are converged 203	
Calculation finished 204	11:15:48 , Aug 06

Calculation Mesh

Basic Mesh Dimensions

Number of cells in X	56
Number of cells in Y	42
Number of cells in Z	38

Number Of Cells

Total cells	182875
Fluid cells	46163
Solid cells	90459
Partial cells	46253
Irregular cells	0
Trimmed cells	0

Maximum refinement level: 6

Goals

Name	Unit	Value	Progress	Use in convergence	Delta	Criteria
SG Mass Flow Inlet	kg/s	2.2445	100	On	0	0.00224451391
SG Mass Flow Outlet	kg/s	-2.2445	100	On	2.96612304e-006	0.00224452181
SG Av Static Pressure Inlet	Pa	101624.70	100	On	6.15121064	7.11755101
SG Bulk Av Static Pressure Runner's Outlet	Pa	101444.17	100	On	1.38448787	1.56934948
SG Torque (Y) 1	N*m	0.126	100	On	0.00308251793	0.00328359108
Pressure Drop	Pa	180.53	100	On	4.91102215	5.54820153

Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Pressure [Pa]	101238.74	102070.10
Temperature [K]	293.20	293.20
Density (Fluid) [kg/m ³]	997.56	997.56
Velocity [m/s]	0	0.607
Velocity (X) [m/s]	-0.473	0.507
Velocity (Y) [m/s]	-0.461	0.382

Velocity (Z) [m/s]	-0.514	0.446
Temperature (Fluid) [K]	293.20	293.20
Vorticity [1/s]	0.001	2300.964
Dynamic Pressure [Pa]	0	183.81
Shear Stress [Pa]	0	49.04
Relative Pressure [Pa]	-86.26	745.10
Heat Transfer Coefficient [W/m ² /K]	0	0
Surface Heat Flux [W/m ²]	0	0
Turbulent Viscosity [Pa*s]	8.4887e-028	0.4174
Turbulent Time [s]	1.845e-004	2.087e+018
Turbulence Length [m]	7.453e-007	0.013
Turbulence Intensity [%]	9.74e-017	1000.00
Turbulent Energy [J/kg]	1.002e-043	0.020
Turbulent Dissipation [W/kg]	4.80e-062	5.42

FULL REPORT DEBIT 150 l/m

System Info

Product	Flow Simulation 2014 PR1. Build: 2511
Computer name	DESKTOP-VNMUDIL
User name	LENOVO
Processors	Intel(R) Core(TM) i3-4030U CPU @ 1.90GHz
Memory	3988 MB / 134217727 MB
Operating system	(Build 9600)
CAD version	SolidWorks 2014 SP0.0
CPU speed	1900 MHz

General Info

Model	D:\Uji Coba Simulasi Fix\Simulasi Turbin Whirlpool Fix.SLDASM
Project name	Project 150 lpm
Project path	D:\Uji Coba Simulasi Fix\1
Units system	SI (m-kg-s)
Analysis type	Internal
Exclude cavities without flow conditions	On
Coordinate system	Global coordinate system
Reference axis	Y

INPUT DATA

Initial Mesh Settings

Automatic initial mesh: On

Result resolution level: 4

Advanced narrow channel refinement: Off

Refinement in solid region: Off

Geometry Resolution

Evaluation of minimum gap size: Automatic

Evaluation of minimum wall thickness: Automatic

Computational Domain

Size

X min	-0.495 m
X max	0.249 m
Y min	-0.348 m
Y max	0.203 m
Z min	-0.249 m
Z max	0.249 m

Boundary Conditions

2D plane flow	None
At X min	Default
At X max	Default
At Y min	Default
At Y max	Default
At Z min	Default
At Z max	Default

Physical Features

Heat conduction in solids: Off
Time dependent: Off
Gravitational effects: Off
Flow type: Laminar and turbulent
Cavitation: Off
High Mach number flow: Off
Default roughness: 0 micrometer
Default wall conditions: Adiabatic wall

Initial Conditions

Thermodynamic parameters	Static Pressure: 101325.00 Pa Temperature: 293.20 K
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.005 m

Material Settings

Fluids

Water

Boundary Conditions

Inlet Volume Flow 1

Type	Inlet Volume Flow
Faces	Face<1>@LID6-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Volume flow rate: 0.0025 m ³ /s Fully developed flow: No Inlet profile: 0
Thermodynamic parameters	Temperature: 293.20 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.005 m

Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent
---------------------------	--------------------------------

Environment Pressure 1

Type	Environment Pressure
Faces	Face<2>@LID3-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 101325.00 Pa Temperature: 293.20 K
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.005 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Goals

Surface Goals

SG Mass Flow Inlet

Type	Surface Goal
Goal type	Mass Flow Rate
Faces	Face<1>@LID6-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Mass Flow Outlet

Type	Surface Goal
Goal type	Mass Flow Rate
Faces	Face<1>@LID3-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Av Static Pressure Inlet

Type	Surface Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Faces	Face<1>@LID6-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Bulk Av Static Pressure Runner's Outlet

Type	Surface Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Faces	Face<1>@Measure-1
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

SG Torque (Y) 1

Type	Surface Goal
Goal type	Torque (Y)

Faces	Runner-1 @ Simulasi Dengan Tutup
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

Equation Goals

Pressure Drop

Type	Equation Goal
Formula	SG Av Static Pressure Inlet-SG Bulk Av Static Pressure Runner's Outlet
Dimensionality	Pressure & stress
Use in convergence	On

Calculation Control Options

Finish Conditions

Finish conditions	If one is satisfied
Maximum travels	4
Goals convergence	Analysis interval: 5e-001

Solver Refinement

Refinement: Disabled

Results Saving

Save before refinement	On
------------------------	----

Advanced Control Options

Flow Freezing

Flow freezing strategy	Disabled
------------------------	----------

RESULTS

General Info

Iterations: 223

CPU time: 2484 s

Log

Mesh generation started	09:40:49 , Aug 06
Mesh generation normally finished	09:41:44 , Aug 06
Preparing data for calculation	09:41:54 , Aug 06
Calculation started 0	09:42:09 , Aug 06
Calculation has converged since the following criteria are satisfied: 222	10:23:21 , Aug 06
Goals are converged 222	
Calculation finished 223	10:23:49 , Aug 06

Calculation Mesh

Basic Mesh Dimensions

Number of cells in X	56
Number of cells in Y	42
Number of cells in Z	38

Number Of Cells

Total cells	182875
Fluid cells	46163
Solid cells	90459
Partial cells	46253
Irregular cells	0
Trimmed cells	0

Maximum refinement level: 6

Goals

Name	Unit	Value	Progress	Use in convergence	Delta	Criteria
SG Mass Flow Inlet	kg/s	2.4939	100	On	0	0.00249390435
SG Mass Flow Outlet	kg/s	-2.4939	100	On	2.94724979e-006	0.0024939016
SG Av Static Pressure Inlet	Pa	101706.66	100	On	8.39277331	8.97984226
SG Bulk Av Static Pressure Runner's Outlet	Pa	101472.88	100	On	1.45314231	1.95645869
SG Torque (Y) 1	N*m	0.159	100	On	0.00380776206	0.00410715641
Pressure Drop	Pa	233.79	100	On	6.99758326	7.02338358

Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Pressure [Pa]	101233.75	102518.21
Temperature [K]	293.20	293.20
Density (Fluid) [kg/m ³]	997.56	997.56
Velocity [m/s]	0	0.695
Velocity (X) [m/s]	-0.554	0.560
Velocity (Y) [m/s]	-0.519	0.431

Velocity (Z) [m/s]	-0.591	0.526
Temperature (Fluid) [K]	293.20	293.20
Vorticity [1/s]	0.001	2839.518
Dynamic Pressure [Pa]	0	241.09
Shear Stress [Pa]	0	47.44
Relative Pressure [Pa]	-91.25	1193.21
Heat Transfer Coefficient [W/m ² /K]	0	0
Surface Heat Flux [W/m ²]	0	0
Turbulent Viscosity [Pa*s]	4.1606e-015	0.4783
Turbulent Time [s]	1.449e-004	414.985
Turbulence Length [m]	6.602e-007	0.013
Turbulence Intensity [%]	0.03	1000.00
Turbulent Energy [J/kg]	5.295e-012	0.021
Turbulent Dissipation [W/kg]	1.76e-014	7.86



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12
Website : <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail : fatek@umsu.ac.id

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor 1566/L.3AU/UMSU-07/F/2019

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin pada Tanggal 23 oktober 2019 dengan ini Menetapkan :

Nama : ARISMUNANDAR HASIBUAN
Npm : 1507230199
Program Study : TEKNIK MESIN
Semester : IX (SEMBILAN)
Judul Tugas Akhir : SIMULASI ALIRAN FLUIDA (AIR) PADA TURBIN WHIRIPOOL
MENGUNAKAN PENDEKATAN CFD (COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS)
Pembimbing 1 : KHAIRUL UMURANI ST. MT
Pembimbing 11 : CHANDRA A. SIREGAR ST. MT

Demikian diizinkan untuk Menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin I
2. Penulisan Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

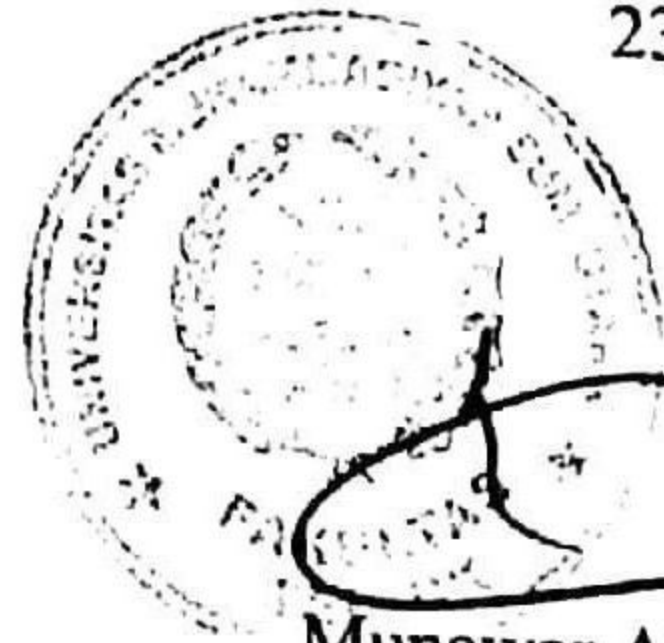
Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.

Medan 24 Shafar 1441 H

23 Oktober 2019 M

Dekan



Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT

NIDN: 0101017202

Cc. File

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Simulasi Aliran Fluida (Air) Pada Turbin Whirlpool Menggunakan Pendekatan CFD (Computational Fluid Dynamics)

Nama : Arismunandar Hasibuan
 NPM : 1507230199

Dosen Pembimbing 1 : Khairul Umurani, S.T., M.T
 Dosen Pembimbing 2 : Chandra A Siregar, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Selasa 04-07-20	- Pembacaan spesifikasi tugas.	h
2.	Selasa 11-07-20	- Perbaiki pendahuluan	h
3.	Jumat 14-07-20	- Perbaiki tujuan pustaka	h.
4.	Sabtu 15-07-20	- Perbaiki Metode	h
5.	Selasa 14-07-20	- Perbaiki Hasil	h
6.	Sabtu 18-07-20	- Jajant ke publik	h
7.	22/7-2020.	- Perbaiki format penulisan - Tambahkan lampiran langkah-langkah simulasi	h h
8.	23/7.2020	- Ace seminar	h.

Ace, seminar



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12
Website : <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail : fatek@umsu.ac.id

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor 1566/I.3AU/UMSU-07/F/2019

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin pada Tanggal 23 oktober 2019 dengan ini Menetapkan :

Nama : ARISMUNANDAR HASIBUAN
Npm : 1507230199
Program Study : TEKNIK MESIN
Semester : IX (SEMBILAN)
Judul Tugas Akhir : SIMULASI ALIRAN FLUIDA (AIR) PADA TURBIN WHIRIPOOL
MENGUNAKAN PENDEKATAN CFD (COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS)
Pembimbing 1 : KHAIRUL UMURANI ST.MT
Pembimbing 11 : CHANDRA A. SIREGAR ST. MT

Demikian diizinkan untuk Menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin I
2. Penulisan Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

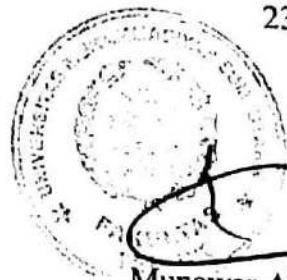
Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.

Medan 24 Shafar 1441 H

23 Oktober 2019 M

Dekan



Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT




NIDN: 0101017202

Cc. File

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2019 – 2020**

Peserta Seminar

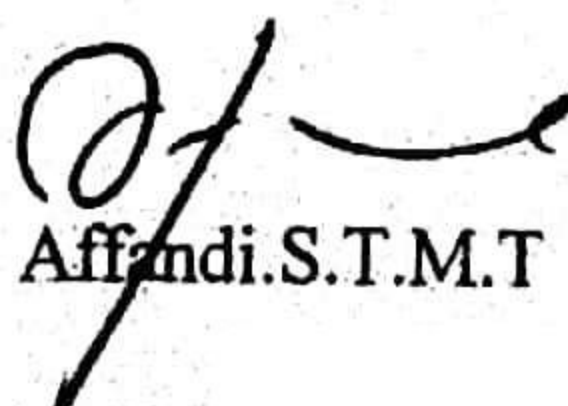
Nama : Arismunandar Hasibuan
 NPM : 1507230199
 Judul Tugas Akhir : Simulasi Aliran Fluida (Air) Pada Turbin Whirpool -
 Menggunakan Pendekatan CFD (Computational Fluid
 Dynamiks).

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T	: 
Pembimbing – II : Chandra A .Siregar	:
Pembanding – I : H.Muharnif.S.T.M.Sc	: 
Pembanding – II : Ahmad Marabdi Siregar.S.T.M.T	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 18 Dzulhijjah 1441 H
08 Agustus 2020 M

Ketua Prodi. T.Mesin


Affandi.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Arismunandar Hasibuan
NPM : 1507230199
Judul T.Akhir : Simulasi Aliran Fluida (Air) Pada Turbin Whirpool Menggunakan Pendekatan CFD (Computational Fluid Dynamikcs)

Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing – II ; Chandra A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pembanding - II : Ahmad Marabdi.Siregar.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

.....
Lihat buku skripsi
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :


.....
.....
.....
.....

Medan 18 Dzulhijjah 1441 H
08 Agustus 2020 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin


Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- I


H.Muharnif.S.T.M.Sc

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Arismunandar Hasibuan
NPM : 1507230199
Judul T.Akhir : Simulasi Aliran Fluida (Air) Pada Turbin Whirpool Menggunakan Pendekatan CFD (Computational Fluid Dynamikcs)


Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing – II ; Chandra A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pembanding - II : Ahmad Marabdi.Siregar.S.T.M.T


KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
 - perbaiki Metode / cara
 - perbaiki Hasil harus kelihatan debit simulasi aliran 90, 110, 125, 135 & 150 lpm
 - siapkan Daftar pustaka:
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....
.....

Medan 18 Dzulhijjah 1441 H
08 Agustus 2020 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin


Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- II

Ahmad Marabdi Siregar.S.T.M.T

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Arismunandar Hasibuan
Jenis Kelamin : Laki-laki
Tempat, Tanggal Lahir : Ladang Tengah, 23 Oktober 1997
Alamat : Jl. Kemenangan, Gg. Betari 7 Medan
Agama : Islam
E-mail : hasibuanaris96@gmail.com
No.Hp : 0823 6930 9510

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Muhammadiyah Ladang Tengah Tahun 2002-2009
2. SMP Muhammadiyah 28 Barus Tahun 2009-2012
3. SMK Muhammadiyah 11 Sibuluan Tahun 2012-2015
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2015-2020

C. RIWAYAT ORGANISASI

1. Ketua PK IMM Fakultas Teknik UMSU Periode 2017-2018.
2. Sekretaris Umum PK IMM Fakultas Teknik UMSU Periode 2018-2019.

LAMPIRAN



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12
Website : <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail : fatek@umsu.ac.id

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor 1566/I.3AU/UMSU-07/F/2019

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin pada Tanggal 23 oktober 2019 dengan ini Menetapkan :

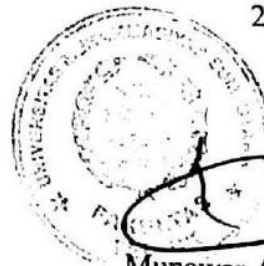
Nama : ARISMUNANDAR HASIBUAN
Npm : 1507230199
Program Study : TEKNIK MESIN
Semester : IX (SEMBILAN)
Judul Tugas Akhir : SIMULASI ALIRAN FLUIDA (AIR) PADA TURBIN WHIRIPOOL
MENGUNAKAN PENDEKATAN CFD (COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS)
Pembimbing 1 : KHAIRUL UMURANI ST.MT
Pembimbing 11 : CHANDRA A. SIREGAR ST. MT

Demikian diizinkan untuk Menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin I
2. Penulisan Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.
Medan 24 Shafar 1441 H
23 Oktober 2019 M



Dekan

Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT
NIDN: 0101017202

Cc. File