

# **TUGAS AKHIR**

## **SIMULASI NUMERIK KARAKTERISTIK KINERJA TURBIN AIR DARRIEUS AKIBAT PERUBAHAN SUDUT SERANG PADA PROFIL NACA 0012**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**FANDI HARIADI**  
**1507230213**



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

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Fandi Hariadi  
NPM : 1507230213  
Judul Skripsi : Simulasi Numerik Karakteristik Kinerja Turbin Air Darrieus  
Akibat Perubahan Sudut Serang Pada Profil NACA 0012  
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, 3 November 2020

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Chandra A Siregar, S.T.,M.T

Dosen Penguji II



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

Dosen Penguji III



Khairul Umurani, S.T.,M.T

Dosen Penguji IV



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

Program Studi Teknik Mesin  
Ketua,



  
Affandi, S.T.,M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Fandi Hariadi  
Tempat /Tanggal Lahir : Sei Meranti, 28 Maret 1997  
NPM : 1507230213  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

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

**"SIMULASI NUMERIK KARAKTERISTIK KINERJA TURBIN AIR DARRIEUS AKIBAT PERUBAHAN SUDUT SERANG PADA PROFIL NACA 0012",**

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, 03 November 2020

Saya yang menyatakan,



Fandi Hariadi

## ABSTRAK

Indonesia merupakan negara dengan potensi sumber daya alam yang besar. Namun, Kebutuhan energi listrik di Indonesia saat ini semakin meningkat dan masih di dominasi oleh energi yang berbasis bahan bakar fosil. Energi fosil menimbulkan banyak kerugian, maka dari itu perlu adanya energi alternatif salah satunya adalah turbin air. Turbin adalah alat yang merubah energi aliran fluida menjadi energi mekanik poros. Untuk dapat menghasilkan energi mekanik, maka perlu mengkonversi energi potensial menjadi energi kinetik. Skema turbin memerlukan dua hal yaitu debit air dan ketinggian jatuh (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Dalam penelitian ini dengan memanfaatkan aliran air yang akan digunakan untuk membuat pusaran air (*whirlpool*). Pusaran air ini selanjutnya menggerakkan sudu turbin sehingga *runner* berputar, Kemudian terjadi proses perubahan energi kinetik air menjadi energi mekanis pada turbin yang digunakan untuk menggerakkan generator sehingga menjadi energi listrik. Bentuk dan kemiringan sudut serang pada turbin sangat menentukan putaran turbin yang dimana dapat mempengaruhi kecepatan tangensial yang memutar roda turbin untuk meningkatkan kinerja turbin. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai daya turbin yang maksimal yang didapat dengan memvariasikan sudut serang dengan kemiringan sudut  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ , dan  $15^{\circ}$  menggunakan 3 sudu turbin air *darrieus*. Metode yang digunakan untuk menghitung torsi dan daya turbin adalah dengan cara mensimulasikan turbin air *darrieus* menggunakan aplikasi *solidwork flow simulation* dengan memproses data-data yang dimasukkan pada tahapan *wizard*, *boundary condition*, dan *goals* lalu mengkalkulasi *mesh* dan selanjutnya *solving*. Pada penelitian ini didapat hasil pengujian turbin air *darrieus* dengan daya turbin paling besar terdapat pada sudut serang dengan kemiringan sudu  $5^{\circ}$  yang dihasilkan oleh debit 220 liter/menit dengan daya turbin 24,322 J/s.

Kata kunci: Turbin air *darrieus*, Sudut serang, Daya turbin

## ABSTRACT

*Indonesia is a country with great natural resource potential. However, the need for electrical energy in Indonesia is currently increasing and is still dominated by energy based on fossil fuels. Fossil energy causes many losses, therefore it is necessary to have alternative energy, one of which is water turbines. Turbine is a device that converts fluid flow energy into shaft mechanical energy. To be able to produce mechanical energy, it is necessary to convert potential energy into kinetic energy. The turbine scheme requires two things, namely the water discharge and the height of the fall (head) to generate power that can be utilized. In this research, by utilizing the water flow that will be used to make a whirlpool. This whirlpool then moves the turbine blade so that the runner rotates. Then there is a process of changing the kinetic energy of the water into mechanical energy in the turbine which is used to drive the generator so that it becomes electrical energy. The shape and slope of the angle of attack on the turbine greatly determines the rotation of the turbine which can affect the tangential speed of turning the turbine wheels to improve turbine performance. This study aims to obtain the maximum turbine power value obtained by varying the angle of attack with the angle of inclination of 50, 100, and 150 using 3 darrieus water turbine blades. The method used to calculate turbine torque and power is to simulate a darrieus water turbine using a solidwork flow simulation application by processing the data entered in the wizard stage, boundary conditions, and goals then calculating the mesh and then solving. In this study, the results of the Darrieus water turbine test with the greatest turbine power are at the angle of attack with a blade slope of 50 which is produced by a discharge of 220 liters / minute with a turbine power of 24.322 J/s.*

*Keyword : Darrieus water turbine, Angel of attack, power turbine*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Simulasi Numerik Karakteristik Kinerja Turbin Air *Darrieus* Terhadap Perubahan Sudut Serang Pada *NACA 0012*” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji sekaligus sebagai Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak H. Muharnif, S.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji I sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji II sekaligus sebagai Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, 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, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesin kepada penulis.
8. Orang tua penulis, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: Fahrudin Arazi, Shahrin Fauzi, Febri Antoni S, Wahyu Eka Syahputra, Arismunandar Hsb, Malik Vanedi, Aldi Fahmi Tambunan dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu persatu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil/mesin/elektro.

Medan, 03 November 2020

Fandi Hariadi

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	3
1.2. Rumusan masalah	3
1.3. Ruang lingkup	3
1.4. Tujuan	4
1.5. Manfaat	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>5</b>
2.1. Turbin	5
2.1.1. Pengertian Turbin Air	5
2.1.2. Klasifikasi Turbin	6
2.1.3. Definisi Turbin Air	7
2.1.4. Jenis-Jenis Turbin	8
2.1.4.1. Turbin Sumbu Horizontal	8
2.1.4.2. Turbin Sumbu Vertikal	9
2.1.4. Komponen-komponen Turbin	10
2.1.5. Konstruksi Turbin	10
2.1.5.1. Laptop/PC	11
2.1.5.2. Aplikasi <i>Solidworks</i>	11
2.1.6. Prinsip Kerja Turbin Air	12
2.2. Perencanaan Turbin	12
2.2.1. Turbin Air <i>Darrieus</i>	12
2.2.2. <i>Hydrofoil</i>	13
2.3. Macam-macam Aliran Fluida	15
2.3.1 Pengertian Fluida	15
2.4. Sudu	16
2.5. <i>Airfoil NACA</i>	17
2.6 Prinsip Penggerak Generator	17
2.7 Sudut serang ( $\alpha$ )	18
2.8. Analisa Perhitungan Turbin	19
2.8.1 Daya Air Dan Turbin	19
2.8.2 Perhitungan Dasar	20
2.9. Karakteristik Turbin Air	22
2.10. Simulasi Numerik	23

2.10.1	Pengertian Simulasi	23
2.10.2	Pengertian Numerik	23
2.10.3	Pengertian Simulasi Numerik	23
2.11.	<i>Computational Dynamic Fluida (CFD)</i>	24
2.11.1	Proses <i>Computational Fluid Dynamic</i>	25
2.11.2	<i>Meshing</i>	27
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI</b>	<b>28</b>
3.1	Tempat dan Waktu Pembuatan	28
3.1.1.	Tempat Pembuatan	28
3.1.2.	Waktu Penelitian	28
3.2	Alat dan Instrumen Penelitian	29
3.2.1	Laptop/PC	29
3.2.2	Apikasi <i>solidwork</i>	29
3.3	<i>Flowchart</i> Penelitian	30
3.4	Prosedur Penelitian	31
3.4.1	<i>pre processing</i>	31
3.4.1.1	Desain Komponen Turbin	31
3.4.1.2	<i>wizard</i>	31
3.4.1.3	Menentukan <i>Boundary Condition</i>	31
3.4.1.4	Menentukan <i>Goals</i>	32
3.4.2	<i>Processing</i>	32
3.4.2.1	<i>Meshing</i>	33
3.4.2.2	<i>Solving</i>	33
3.4.3	Analisa Data Dan Kesimpulan	33
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>34</b>
4.1	Vaidasi Penelitian	34
4.1.1	Desain Turbin Air <i>Darrieus naca 0012</i>	34
4.1.1.1	Desain Rumah Turbin	34
4.1.1.2	Desain <i>Runner</i>	36
4.1.2	<i>Wizard</i>	38
4.1.3	<i>Boundary Condition</i>	39
4.1.4	<i>Goals</i>	40
4.2	Hasil Simulasi	45
4.2.1	<i>Meshing</i>	45
4.2.2	Kontur Tekanan Aliran Fluida	46
4.2.3	Vektor Kecepatan Fluida	50
4.3	Efisiensi Turbin	53
4.3.1	Putaran Sudut	53
4.3.2	Perhitungan Efisiensi Turbin	57
4.3.3	Grafik Hasil Simulasi	60
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>64</b>
5.1.	Kesimpulan	64
5.2.	Saran	65

**DAFTAR PUSTAKA**

**66**

**LAMPIRAN  
LEMBAR ASISTENSI  
DAFTAR RIWAYAT HIDUP**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi yang digunakan	11
Tabel 3.1 Jadwal dan Pelaksanaan Penelitian	28
Tabel 3.2 Spesifikasi PC yang Digunakan	29
Tabel 3.3 <i>Inlet Volume Flow</i>	32
Tabel 4.1 <i>Wizard</i>	38
Tabel 4.2 <i>Boundary Condition</i>	39
Tabel 4.3. Goals Yang Digunakan	40
Tabel 4.4. <i>Equatoin Goals</i>	43
Tabel 4.5. Kecepatan aliran linear sudu 3 variasi $5^0$	54
Tabel 4.6. Kecepatan aliran linear sudu 3 variasi $10^0$	55
Tabel 4.7. Kecepatan aliran linear sudu 3 variasi $15^0$	56
Tabel 4.8. Data Hasil Simulasi Variasi Sudut $5^0$	57
Tabel 4.9. Data Hasil Simulasi Variasi Sudut $10^0$	58
Tabel 4.10. Data Hasil Simulasi Variasi Sudut $15^0$	59

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Klasifikasi Turbin Air	7
Gambar 2.2 Skema Turbin <i>Pelton</i>	8
Gambar 2.3 Turbin <i>Darrieus</i>	9
Gambar 2.4 Turbin <i>Savonius</i>	9
Gambar 2.5 Komponen – Komponen Turbin	10
Gambar 2.6 Aplikasi <i>Solidworks</i>	11
Gambar 2.7 Bentuk <i>Hydrofoil</i>	13
Gambar 2.8 Bentuk Profil Sudu <i>Hydrofoil</i>	14
Gambar 2.9 Aliran <i>Laminear</i>	15
Gambar 2.10 Aliran <i>Transisi</i>	16
Gambar 2.11 Aliran <i>Turbulen</i>	16
Gambar 2.12 <i>Airfoil NACA 0012</i>	17
Gambar 2.13 Sudut Serang Dan Sudut <i>Pitch</i>	18
Gambar 3.1 Apikasi <i>Solidwork</i>	29
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Penelitian	30
Gambar 4.1 Tahap Awal <i>Solidwork</i>	34
Gambar 4.2 <i>Top Plane</i>	35
Gambar 4.3 Desain 2D Diameter Rumah	35
Gambar 4.4 Desain Rumah Sudu 3D	36
Gambar 4.5 Pintu Keluar Air	36
Gambar 4.6 <i>Sketch</i> Pintu Masuk Air	37
Gambar 4.7 <i>Sketch</i> 2D Sudu Turbin <i>Darrieus</i>	37
Gambar 4.8 Sudu <i>Darrieus NACA 0012</i>	38
Gambar 4.9 Batang Penyangga Sudu Turbin	38
Gambar 4.10 Sudu 3 Turbin <i>Darrieus</i> Dengan Sudut Serang $5^{\circ}$	39
Gambar 4.11 Sudu 3 Turbin <i>Darrieus</i> Dengan Sudut Serang $10^{\circ}$	39
Gambar 4.12 Sudu 3 Turbin <i>Darrieus</i> Dengan Sudut Serang $15^{\circ}$	40
Gambar 4.13 Bagian-Bagian Turbin	40
Gambar 4.14 <i>Goals</i>	45
Gambar 4.15 Hasil <i>Mesh</i>	46
Gambar 4.16 Kontur Kecepatan Aliran Fluida Variasi Sudut $5^{\circ}$	47
Gambar 4.17 Kontur Kecepatan Aliran Fluida Variasi Sudut $10^{\circ}$	48
Gambar 4.18 Kontur Kecepatan Aliran Fluida Variasi Sudut $15^{\circ}$	49
Gambar 4.19 Vektor Kecepatan Aliran Fluida Variasi Sudut $5^{\circ}$	50
Gambar 4.20 Vektor Kecepatan Aliran Fluida Variasi Sudut $10^{\circ}$	51
Gambar 4.21 Vektor Kecepatan Aliran Fluida Variasi Sudut $15^{\circ}$	52
Gambar 4.22 Kecepatan <i>Linear</i>	53
Gambar 4.23 Grafik debit air terhadap Torsi	61
Gambar 4.24 Debit Air terhadap daya turbin	62
Gambar 4.25 Debit Air terhadap daya Efisiensi	63

## DAFTAR NOTASI

<b>NO. Simbol</b>	<b>Besaran</b>	<b>Satuan</b>
1. $N_s$	Kecepatan spesifik	rpm
2. $V_n$	Kecepatan pancaran	m/s
3. $P$	Daya	watt
4. $Q$	Debit aliran air	$m^3/s$
5. $t$	waktu	second
6. $v$	Kecepatan runner	m/s
7. $H$	Tinggi jatuh	m
8. $n$	Putran	rpm
9. $g$	Perepatan gravitasi	$m/s^2$
10. $T$	Torsi	Nm
11. $r$	Kerapatan Air	$kg/m^3$
12. $h_t$	Efisiensi turbin	%
13. $dn$	Diameter nozzle	m
14. $Dt$	Diameter lingkaran tusuk	m
15. $Z$	Jumlah Sudu	Buah
16. $B_s$	Lebar Sudu	m
17. $C_s$	Kedalaman Sudu	m
18. $M$	Lebar Bukaan Sudu	m
19. $I$	Jarak Jet Keujung Sudu	m
20. $L_s$	Panjang sudu	m
21. $F$	Gaya	N
22. $w$	Kecepatan sudut	rad/s
23. $N_s$	Kecepatan putar spesifik (rpm)	
24. $N$	Kecepatan putar turbin pada efisiensi maksimum	rpm
25. $Q$	Kapasitas air	m/det
26. $H$	Tinggi air jatuh	m
27. $C_p$	Koefisien daya	J
28. $P_{rotor}$	Daya pada rotor	J/s
29. $P_{air}$	Daya air	J/s

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan potensi sumber daya alam yang besar. Namun, Kebutuhan energi listrik di Indonesia saat ini semakin meningkat dan masih di dominasi oleh energi yang berbasis bahan bakar fosil, seperti minyak bumi dan batu bara. Kerugian dari penggunaan bahan bakar fosil adalah sifatnya yang tidak ramah lingkungan, karena hasil pembakaran bahan bakar fosil adalah CO<sub>2</sub> yang merupakan gas rumah kaca. Bahan bakar fosil merupakan energi yang tak terbarukan, sehingga apabila dieksploitasi secara terus menerus maka cadangan bahan bakar fosil akan habis (Sitepu 2014). Maka dari itu perlu adanya suatu upaya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia. Salah satu energi alternatif yang mudah dan dapat digunakan adalah air. Untuk pemanfaatan energi air ialah dengan menggunakan turbin air sebagai salah satu solusinya. (Wicaksana, 2018)

Sumatera Utara memiliki banyak sungai baik yang kecil maupun yang besar dengan kecepatan air sangat bervariasi yang mana ini dapat menjadi potensi energi yang terbarukan, namun potensi ini belum dapat dimanfaatkan. Pembangkit listrik tenaga air sebagai salah satu bentuk energi terbarukan utama. Namun, pembangkit listrik tenaga air yang memiliki tinggi jatuh air yang tinggi biasanya memerlukan dam dan sangat sulit untuk diterapkan dan memberikan dampak yang sangat luas terhadap sistem ekologi. Energi kinetik yang diperoleh dari air yang mengalir dapat dimanfaatkan dan digunakan dalam wujud energi mekanis maupun energi listrik. (Nasution, 2018)

Akibat dari ketersediaan energi fosil yang semakin menipis dan terbatas, maka sumber energi alternatif adalah solusi yang digunakan untuk mengatasi kekurangan sumber energi listrik. Potensi sumber energi alternatif yang ada di Indonesia sangat banyak seperti tenaga potensial air, udara, panas bumi, energi matahari, biogas dan sebagainya. Kondisi topografi Indonesia yang bergunung dan berbukit serta dialiri oleh banyak sungai (besar dan kecil) dan di beberapa daerah tertentu terdapat danau dan atau waduk yang cukup potensial sebagai

sumber energi air. Energi air dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit listrik dengan memanfaatkan tenaga potensial yang tersedia (potensi air terjun dan kecepatan aliran). Hal ini menyebabkan Indonesia memiliki potensi besar untuk mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), adalah salah satu teknologi yang sudah terbukti tidak merusak lingkungan, menunjang diverifikasi energi sebagai pemanfaatan energi terbarukan, menunjang program pengurangan penggunaan BBM, dan sebagian besar konstruksinya menggunakan material lokal. (Pieters dkk, 2013)

Dalam suatu PLTA diperlukan turbin kinetik dengan efisiensi yang baik. Pemberian sekat pada bagian masuk turbin agar punggung turbin yang berputar melawan arus dapat terhindar dari tekanan air adalah salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi turbin kinetik. (Pieters dkk, 2013)

Turbin adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengubah energi mekanik / gerak menjadi energi listrik. Untuk dapat menghasilkan energi listrik dibutuhkan sebuah turbin untuk menggerakkan generator dengan memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air perdetik yang ada pada aliran saluran irigasi, sungai atau air terjun. Energi ini selanjutnya memutar poros turbin dan menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik. Sebuah skema turbin yang memerlukan dua hal yaitu debit air dan ketinggian jatuh (head) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Hal ini adalah sebuah sistem konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) kedalam bentuk energi mekanik dan energi listrik. (Lety, 2019)

Turbin memiliki berbagai jenis, salah satunya adalah turbin *darrieus*. Banyak jenis turbin air yang dikembangkan, penulis mencoba dengan Turbin Darrieus dimana merupakan jenis turbin air vertical-axis hydro turbine dengan sudut *NACA 0012*. Pemanfaatan energi arus itu dapat dilakukan dengan pemakaian sumber pembangkit listrik tenaga arus air berupa turbin arus air yang akan mengkonversi energi kinetik arus air menjadi energi listrik yang prinsip kerjanya persis sama dengan turbin angin. Keunggulan dari turbin jenis ini adalah dapat menerima arus dari arah mana tanpa merubah arah putaran dengan kecepatan yang konstan. Dengan demikina kita tidak memerlukan sebuah

bendungan, karena turbin tersebut memerlukan debit dan kecepatan arus air saja. (Adiarso & Sudargana, 2014)

Adapun permasalahan yang di teliti dari konstruksi turbin yakni; variasi sudut serang terhadap kinerja turbin yaitu: daya turbin dan torsi. Untuk mempercepat aliran dengan mengatur dimensi saluran masuk turbin maupun bentuk sudu, telah dilakukan berbagai penelitian Kinerja dari suatu turbin kinetik sangat bergantung pada kecepatan aliran, sudut sudu, pengarah aliran, ukuran aliran dan jumlah sudu. Jumlah sudu turbin kinetik adalah salah satu variabel yang sangat mempengaruhi putaran dan gaya tangensial yang menentukan daya dan efisiensi sebuah turbin kinetik. (Pietersz dkk, 2013)

Penambahan variasi sudut serang dengan menggunakan sudu 3 adalah untuk mengetahui torsi dan daya turbin yang terjadi sehingga mendapatkan efisiensi turbin *darrieus*, untuk itu maka penelitian ini diarahkan untuk menentukan karakteristik kinerja turbin air *darrieus* akibat perubahan sudut serang pada NACA 0012. Berdasarkan pengaruh, variasi sudut yang divariasikan dalam menghasilkan daya turbin yang optimal. Oleh sebab itu penulis memilih meneliti pemanfaatan energi air sebagai energi alternatif yang terbarukan dengan menggunakan turbin *darrieus*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian adalah :

- a. Bagaimana kinerja turbin air *darrieus* akibat perubahan sudut serang pada profil *naca* 0012 dengan menggunakan simulasi *solidwork* ?

## 1.3 Ruang Lingkup

Mengingat luasnya permasalahan penelitian ini, Penulis sadar perlunya untuk membatasi masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini mengingat keterbatasan tempat, waktu, kemampuan serta pengalaman.

- a. Turbin air *darrieus* menggunakan sudu 3 dengan variasi sudut serang  $5^0$ ,  $10^0$ , dan  $15^0$  menggunakan debit 50 l/m, 100 l/m, 150 l/m, 200 l/m, 220 l/m
- b. Menggunakan *NACA* 0012 pada sudu turbin air *Darrieus*
- c. Menggunakan *software solidwork* dalam pembuatan simulasi
- d. Penelitian ini dilakukan di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

#### 1.4 Tujuan Penelitian

1. Mensimulasikan aliran fluida pada turbin air *darrieus*.
2. Menganalisis simulasi numerik karakteristik torsi, daya dan efisiensi pada aliran fluida yang terjadi pada turbin air *darrieus*.
3. Membandingkan pengaruh variasi sudut serang pada profi *NACA 0012* terhadap kinerja turbin air *darrieus*

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap pemakaian bahan bakar fosil
2. Dapat memecahkan masalah keterbatasan energi listrik dengan menggunakan energi alternatif
3. Jika diproduksi dalam skala besar akan meningkatkan penggunaan sumber energi listrik

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Turbin**

Turbin adalah mesin penggerak dimana energi fluida kerja dipergunakan langsung untuk memutar sudu turbin. Bagian turbin yang bergerak dinamakan *rotor* atau sudu turbin, sedangkan bagian yang tidak berputar dinamakan *stator* atau rumah turbin. Secara umum, turbin adalah alat mekanika yang terdiri dari poros dan sudu-sudu. Sudu tetap ataupun stationary blade, tidak ikut berputar bersama poros, dan berfungsi mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar atau rotary blade, mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga timbul gaya yang memutar poros. Air biasanya dianggap sebagai fluida yang tak kompresibel, yaitu fluida yang secara virtual massa jenisnya tidak berubah dengan tekanan. (Sihombing, 2014)

##### **2.1.1 Pengertian Turbin Air**

Turbin secara umum dapat diartikan sebagai mesin penggerak mula di mana energi fluida kerja yang digunakan langsung memutar roda turbin, fluida kerjanya yaitu berupa air, uap air dan gas. Dengan demikian turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air. (Arismunandar, W., 2004. Berbeda yang terjadi pada mesin torak (motor bakar), pada turbin tidak terdapat bagian mesin yang bergerak translasi. Bagian turbin yang berputar dinamai rotor (runner pada turbin cross-flow) atau roda turbin, sedangkan bagian yang tidak berputar dinamai stator atau rumah turbin. Roda turbin terletak didalam rumah turbin dan roda turbin memutar poros daya yang menggerakkan atau memutar bebannya (*generator*). (Mafruddin & Irawan, 2014)

Turbin air secara umum memiliki prinsip kerja dengan mengubah energi kinetik aliran sungai menjadi energi putar poros. Energi putar poros yang dikopel dengan generator sehingga menjadi tenaga listrik. Jenis turbin air dikelompokkan menjadi turbin impuls dan turbin reaksi. (Brian, 2017)

### 2.1.2 Klasifikasi Turbin

Pemilihan sebuah turbin kebanyakan didasarkan pada head air yang didapatkan dan kurang lebih pada rata-rata alirannya. Aplikasi penggunaan turbin berdasarkan tinggi *head* yang didapatkan antara lain sebagai berikut:

1. Turbin Kaplan :  $2 < H < 100$  meter
2. Turbin Francis :  $5 < H < 500$  meter
3. Turbin Pelton :  $H < 30$  meter
4. Turbin Banki :  $2 < H < 200$  meter

(Fauzi, 2016)

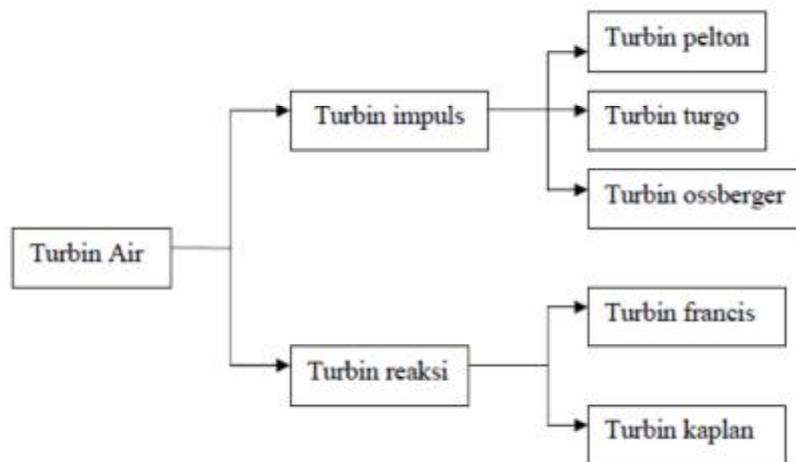
Berdasarkan perubahan tekanan yang terjadi, turbin dapat dikelompokkan menjadi dua golongan besar, yaitu Turbin Impuls dan Turbin Reaksi.

- a. Turbin *impuls* adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari *nozzle* tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Turbin *Impuls* memanfaatkan energi potensial air diubah menjadi energi kinetik dengan *nozzle*. Air keluar *nozzle* yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impuls*). Akibatnya roda turbin akan berputar. Turbin *impuls* memiliki tekanan sama karena aliran air yang keluar dari *nozzle* tekanannya sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Energi potensial yang masuk ke *nozzle* akan dirubah menjadi energi kecepatan (kinetik). Yang termasuk turbin impuls adalah: *Pelton, Turgo, Cross flow*. (Fauzi, 2016)
- b. Turbin reaksi adalah turbin yang memanfaatkan energi potensial untuk menghasikan energi gerak. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan pada prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. *Runner* turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin. Yang termasuk turbin reaksi: *francis, propeller, kaplan, tubular, tyson*. (Fauzi, 2016)

Klasifikasi turbin berdasarkan daya, tinggi jatuh, dan debit yang mengalir:

- a) Turbin Mini Mikrohidro, contohnya kincir air.
- b) Turbin Mikrohidro untuk head rendah, contohnya turbin kaplan.
- c) Turbin Hydropower adalah turbin air dengan daya tinggi yang mampu menghasilkan daya diatas 20 MW tiap unit. Contohnya turbin *Francis*, *Kaplan*, dan *Pelton*. (Fauzi, 2016)

Diagram klasifikasi turbin air dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.1. Diagram klasifikasi turbin air

(Mafruddin & Irawan, 2014)

### 2.1.3 Definisi Turbin Air

Turbin air adalah salah satu mesin berputar yang mengkonversi energi dari suatu gerakan aliran air menjadi energi mekanis. Energi mekanis ini kemudian ditransfer melalui suatu poros untuk mengoperasikan mesin atau generator. Turbin air digunakan pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA) untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, dengan memanfaatkan aliran dan tinggi air jatuh. Air dibawah tekanan tinggi di dalam dam dilepaskan ke dalam suatu saluran dimana akan menggerakkan impeler turbin sehingga menyebabkan putaran yang cepat. Daya mekanis ini kemudian ditransfer ke generator oleh suatu poros dan kemudian akan menghasilkan energi listrik. Pemilihan suatu turbin tergantung pada karakteristik lokasi, karena menentukan tinggi air jatuh dan kapasitas air.

Selain itu pemilihan turbin juga tergantung dari kecepatan putar yang diminta oleh generator. (Al-attas, 2009)

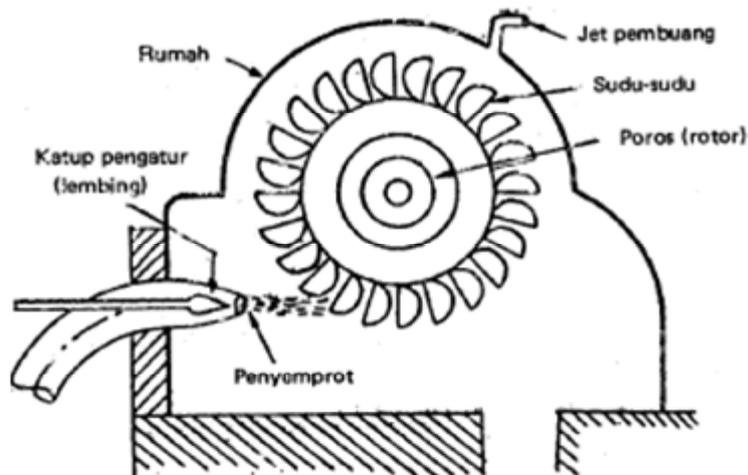
## 2.14 Jenis-Jenis Turbin

### 2.1.4.1 Turbin Sumbu Horizontal

#### a. Turbin *Peton*

Turbin *pelton* adalah suatu alat yang bekerja untuk merubah energi kinetik air yang diakibatkan karena adanya energi potensial yang dimiliki oleh air menjadi energi mekanik berupa putaran pada poros turbin tersebut. Dan perputaran poros dari poros tersebut bisa digunakan untuk memutar generator listrik yang kemudian bisa menghasilkan energi listrik. Pada roda turbin terdapat sudu dan fluida kerja mengalir melalui ruang di antara sudu tersebut. (Fauzi, 2016)

Dua hal yang penting yang selalu menjadi acuan didalam menentukan ukuran utama Turbin pelton ialah kecepatan spesifik ( $ns$ ) dan batas tinggi jatuh yang diinginkan ( $H_{maks}$ ),  $ns$  (Specific Speed) merupakan parameter untuk memilih pompa digunakan oleh para desainer pompa (perencana/perancang pompa). (Fauzi et al., 2016)



Gambar 2.1. Skema Turbin *Pelton* (Gibran, 2014)

#### 2.1.4.2 Turbin Sumbu Vertikal

##### a. Turbin *Darrieus*

Turbin *darrieus* mula-mula diperkenalkan di Perancis pada sekitar tahun 1920-an. Turbin angin sumbu vertikal ini mempunyai bilah-bilah tegak yang berputar kedalam dan keluar dari arah angin (Daryanto, 2007).

Contoh turbin Darrieus ditunjukkan pada Gambar



Gambar 2.3 Turbin *Darrieus* (Daryanto, 2007).

##### b. Turbin *Savonius*

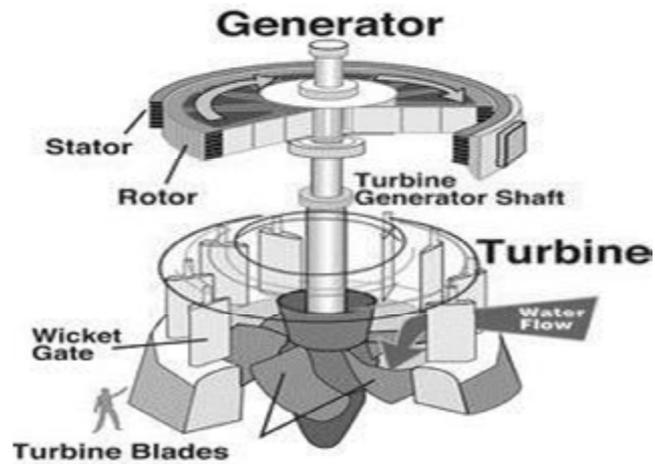
Turbin *savonius* diciptakan pertama kali di negara Finlandia dan berbentuk S apabila dilihat dari atas. Turbin jenis ini secara umumnya bergerak lebih perlahan dibandingkan jenis turbin angin sumbu horizontal, tetapi menghasilkan torsi yang besar. (<http://michael-suseno.blogspot.com/2011/09/turbin-angin.html>)

Contoh turbin Savonius ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2.4 Turbin *Savonius* (moderncities, 2012)

### 2.1.5 Komponen - Komponen Turbin



Gambar 2.5 Komponen – Komponen Turbin (Gibran,2014).

#### a) *Rotor*

*Rotor* adalah bagian dari sistem yang berputar yang terdiri atas :

- Sudu-sudu yang berguna untuk memperoleh beban pancaran yang diinjeksikan oleh *nozzle*.
- Poros yang berguna untuk menyalurkan aliran tenaga yang bersifat gerak putar yang dihasilkan oleh sudu.
- Bantalan yang berguna sebagai perekat-perekat komponen-komponen yang bertujuan supaya tidak mengalami kebocoran pada sistem.

#### b) *Stator*

*Stator* adalah sistem dengan komponen yang diam yang terdiri dari :

- Pipa pengarah / *nozzle* yang berguna untuk menyalurkan aliran fluida sehingga tekanan dan kecepatan aliran fluida yang dipakai didalam sistem besar.
- Rumah turbin yang berguna sebagai rumah kedudukan bagian-bagian dari turbin. (Sumber : <http://ridomanik.blogspot.com/2013/07/turbin-air.html>)

### 2.1.6 Konstruksi Turbin

Konstruksi pembuatan sudu turbin dibuat dengan menggunakan PC / laptop sebagai perangkat keras (*hardware*) dan aplikasi solidwork sebagai perangkat lunak (*software*) sebagai alat untuk membuat simulasi kinerja turbin air *darrieus*.

### 2.1.6.1 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 2.1 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

### 2.1.6.2 Aplikasi *Solidworks*

Aplikasi *solidworks* digunakan untuk mendesain bagian-bagian dari Turbin air *darrieus naca 0012* dan selanjutnya disimulasikan menggunakan aplikasi *add-ins Solidworks Flow Simulation*.



Gambar 2.6 Aplikasi *Solidworks*

### 2.1.7. Prinsip Kerja Turbin Air

Pada roda turbin terdapat sudu yaitu suatu konstruksi lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerja mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut, dengan demikian roda turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada suatu gaya yang bekerja. Gaya tersebut akan terjadi karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir diantara sudunya. Sudu hendaknya dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja air tersebut. (Mafruddin & Irawan, 2014)

## 2.2. Perencanaan Turbin

### 2.2.1 Turbin Air *Darrieus*

(Shiono dkk, 2002) mengatakan bahwa turbin darrieus yang diaplikasikan untuk konversi energi arus laut akan lebih efektif apabila model sudunya berbentuk helical. Hal ini berdasarkan tujuh model turbin yang diuji coba dengan membandingkan performa model sudu lurus dan model helical. Untuk model helical efisiensi yang baik dengan soliditas turbin sebesar 0,4. (Nasution, 2018)

Sudu turbin berputar dengan memanfaatkan gaya drag, fluida untuk mendorong sudu turbin yang berbentuk cembung terhadap arah aliran datangnya fluida. Gaya fluida ini juga akan mendorong sudu yang berbentuk cekung terhadap arah aliran fluida. Gaya drag yang bekerja pada bagian cekung ini lebih kecil daripada bagian cembung, sehingga gaya drag pada bagian cekung ini bekerja melawan putaran turbin dan ini yang berakibat efisiensi turbin. (Nasution, 2018)

Mekanisme kerja turbin Darrieus memanfaatkan gaya lift. Gaya lift yang dihasilkan oleh sudu turbin didapat dari kecepatan sudu turbin yang kemudian mengakibatkan resultan gaya, karena hal ini maka turbin yang memanfaatkan mekanisme gaya lift hanya dapat bekerja dengan baik pada kecepatan fluida yang dapat membuat turbin berputar dan menghasilkan kecepatan sudu. Setelah turbin berputar maka efisiensi yang dihasilkan dapat menjadi lebih baik. Perlakuan untuk mencapai kondisi tunak dengan memberikan putaran awal pada poros turbin. (Nasution, 2018)

### 2.2.2. Hydrofoil

*Hydrofoil* adalah sebuah bentuk yang menyerupai sayap burung (pipih), dengan bagian depan tumpul seperti yang terlihat pada gambar 2.6. *Hydrofoil* ini biasanya di gunakan sebagai peningkat kecepatan pada kapal laut yang diletakkan di bawah lambung kapal, karena *hydrofoil* dapat menghasilkan gaya angkat sehingga lambung kapal terangkat dan keluar dari air. Hal inilah yang menyebabkan pengurangan gesekan sehingga dapat meningkatkan kecepatan. Ada dua penamaan pada *foil* ini yaitu pada pendisainan untuk udara disebut *airfoil* sedangkan untuk air disebut *hydrofoil*. (Irsyad, 2010)



Gambar 2.7 Bentuk Hydrofoil

Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin didefinisikan sebagai:

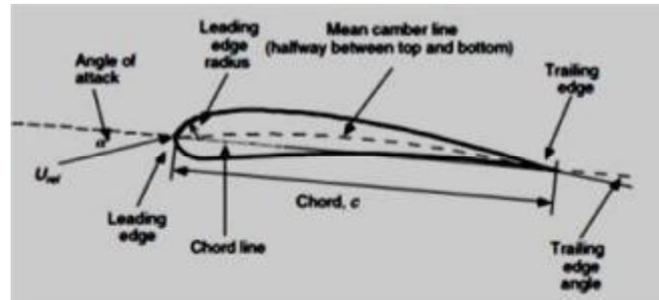
$$\frac{\text{daya yang dihasilkan turbin}}{\text{daya yang tersedia pada sudu penggerak}} \quad (2.1)$$

Saat ini salah satu referensi untuk pemilihan hydrofoil yang populer adalah profil hydrofoil yang dibuat oleh *National Advisory Committee for Aeronautics* (*NACA*). Pengujian yang dilakukan oleh *NACA* lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan serta pengujiannya dilakukan pada berbagai bilangan Reynolds. Setiap bentuk Hydrofoil *NACA* mempunyai parameter-parameter tersendiri sesuai dengan pengaplikasiannya. (Nasution, 2018)

Parameter-parameter yang telah ditentukan menurut standart *NACA* seperti pada gambar 1 adalah:

1. Panjang cord (  $c$  )
2. Maksimum camber (  $f$  ) atau camber ratio (  $f/c$  ) dalam %
3. Posisi maksimum camber (  $X_f$  )
4. Ketebalan maksimum Hydrofoil (  $t$  )

5. Posisi maksimum ketebalan (  $t_d$  )
6. Radius nose (  $r_N$  )
7. Koordinat Hydrofoil  $Z_u$  (  $X$  ) bagian atas dan  $z_i$  (  $X$  ) bagian bawah.



Gambar 2.8 Bentuk profil sudu *Hydrofoil*.  
(Nasution, 2018)

Ketika sebuah benda bergerak melalui fluida, suatu interaksi antara benda dengan fluida terjadi, efek ini dapat di gambarkan dalam bentuk gaya-gaya pada pertemuan antar muka fluida benda. Gaya resultan dalam arah yang sama dengan kecepatan hulu disebut sebagai *drag*, dan gaya resultan yang tegak lurus terhadap arah kecepatan hulu disebut sebagai *lift*. Secara prinsip, kerja turbin air Darrieus ditunjukkan pada Gambar 2 Sudu pada turbin ini pada umumnya berbentuk *hydrofoil* simetris yang memenuhi standard *NACA*. Air yang dengan kecepatan  $U$  menabrak sudu mengakibatkan *lift* yang merupakan gaya tangensial yang membentuk torsi agar turbin berputar. Turbin akan berputar dengan kecepatan  $v$  dan akibat kedua gerak ini maka terdapat gerak relatif  $W$ . arah *lift* akan tegak lurus dengan arah kecepatan relative. *Lift* ( $L$ ) inilah yang menimbulkan torsi pada rotor turbin sehingga turbin dapat berputar. *Drag* ( $D$ ) adalah tahanan dari sudu untuk bergerak. (Nasution, 2018)

Kecepatan air akan mempengaruhi efisiensi dari turbin yang mana semakin tinggi kecepatan semakin tinggi efisiensinya. Jadi salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi turbin adalah kecepatan air. Semakin besar kecepatan air maka efisiensi semakin naik.

Dengan  $n$  adalah jumlah sudu,  $C$  adalah lebar sudu (*cord*),  $d$  adalah diameter turbin.. Soliditas Turbin juga mempengaruhi kinerja turbin darrieus dan hasilnya menunjukkan bahwa perbedaan efisiensi maksimum sedikit berbeda namun

pengaruhnya terhadap  $l$  yang mana lebar  $C$  akan membatasi batasan pemakaian untuk  $l$  tertentu saja. (Nasution, 2018)

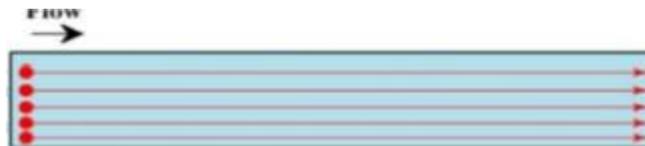
## 2.3. Macam-macam aliran fluida

### 2.3.1 Pengertian Fluida

Fluida merupakan zat cair yang dapat berubah bentuk secara terus menerus jika terkena tegangan geser meskipun tegangan geser tersebut kecil. Fluida lebih mudah mengalir karena ikatan molekul dalam fluida lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, akibatnya fluida mengalami hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan (Aya Snura, 2012).

#### a. Aliran *laminar*

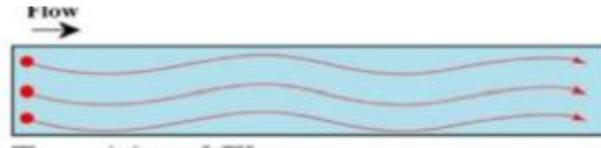
Didalam aliran *laminier* partikel-partikel zat cair bergerak teratur mengikuti lintasan yang saling sejajar. Aliran laminar lebih mudah terjadi bila aliran relatif kecil sedangkan viskositas cairan besar dan pengaruh kekentalan cukup dominan dibandingkan dengan kecepatan aliran, sehingga partikel-partikel zat cair akan bergerak teratur mengikuti lintasan lurus (Aya Snura, 2012)



Gambar 2.9 Aliran *Laminear* (Marfiza.ST.MT Sifat-Sifat Aliran Fluida)

#### b. Aliran *transisi*

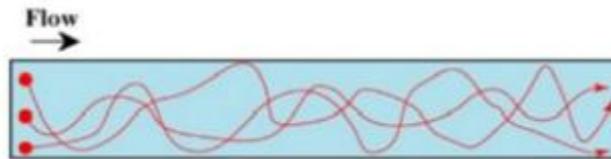
Aliran *transisi* merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Ketika kecepatan aliran itu bertambah atau viskositasnya berkurang (dapat disebabkan temperatur meningkat) gangguan-gangguan akan terus teramati dan semakin membesar serta kuat yang akhirnya suatu keadaan peralihan tercapai. Keadaan peralihan ini tergantung viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran.



Gambar 2.10 Aliran *Laminar* (Marfiza.ST.MT Sifat-Sifat Aliran Fluida)

c. Aliran *turbulen*

Aliran turbulen adalah gerakan partikel zat cair yang tidak teratur antara satu dengan yang lain dan sembarang dalam waktu dan ruang. Turbulensi ditimbulkan oleh gaya-gaya viskos dan gerak lapis zat cair yang berdampungan pada kecepatan berbeda. Karakteristik aliran turbulen ditunjukkan oleh terbentuknya pusaran-pusaran dalam aliran yang menghasilkan percampuran partikel-partikel secara terus menerus antara partikel-partikel cairan didalam seluruh penampang aliran.



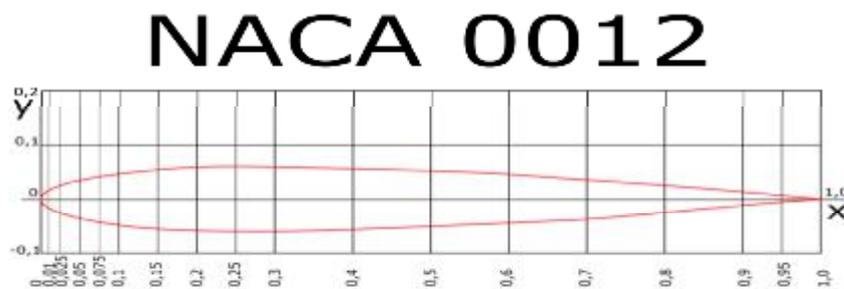
Gambar 2.11 Aliran *Laminar* (Marfiza.ST.MT Sifat-Sifat Aliran Fluida)

2.4 Sudu (*Blade*)

Sudu atau rotor berfungsi untuk menghasilkan putaran akibat gaya arus dan menggerakkan poros turbin dan poros generator yang kemudian akan menghasilkan energi listrik. Pada sudu turbin arus akan terjadi tegangan geser pada permukaannya ketika kontak dengan arus. Distribusi tegangan geser pada permukaannya ketika kontak dengan arus. Distribusi tegangan pada permukaan sudu ini dipresentasi dengan adanya gaya tekan (*drag*) yang arahnya sejajar dengan arah aliran fluida dan gaya angkat (*lift*) yang arahnya tegak lurus dari arah aliran fluida. Kedua gaya ini menyebabkan sudu dapat berputar. Kedua gaya ini dipengaruhi oleh bentuk sudu, luas permukaan bidang sentuh dan kecepatan arus tersebut. (Deni dkk, 2017)

## 2.5 Airfoil NACA

NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat menghasilkan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian suatu matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi airfoil. geometri airfoil sangat berpengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika. hingga saat ini sampai sekitar perang dunia II, air foil yang banyak digunakan adalah hasil riset *Gotting*. Selama priode ini banyak pengajuan airfoil dilakukan diberbagai negara, namun hasil riset nacalah yang terkemuka (Mulyadi, 2014)



Gambar 2.12 *Airfoil Naca 0012* (Suseno, 2010)

## 2.6. Prinsip penggerak generator

Dalam merencanakan penggerak generator listrik (turbin air sebagai penggerak generator) sangat diperlukan beberapa data pokok yang dipergunakan sebagai dasar pertimbangan untuk memilih beberapa alternatif yang sesuai. data-data pokok yang dibutuhkan antara lain :

### a. Daya

Suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan besar tertentu menjadi penggerak generator (pembangkit listrik tenaga mikrohidro).

### b. Debit Air Maksimum dan Minimum

Beban punacak aliran air diperkirakan selama enam jam dari inlet chnel dan pengaturan jumlah cadangan air sebesar  $Q$ , air didalam bak tampung.

### c. Kecepatan Spesifik dan Kecepatan Turbin

#### 1. Kecepatan Spesifik (*specific speed*)

Adalah kecepatan turbin yang bekerja pada tinggi air jatuh  $H = 1$  meter dan kapasitas air  $Q = 1$  m<sup>3</sup>/detik dengan jumlah putaran  $n$ /menit maka putaran spesifik untuk turbin jenis ini berkisar antara 300-1000 rpm sehingga diambil 900 rpm.

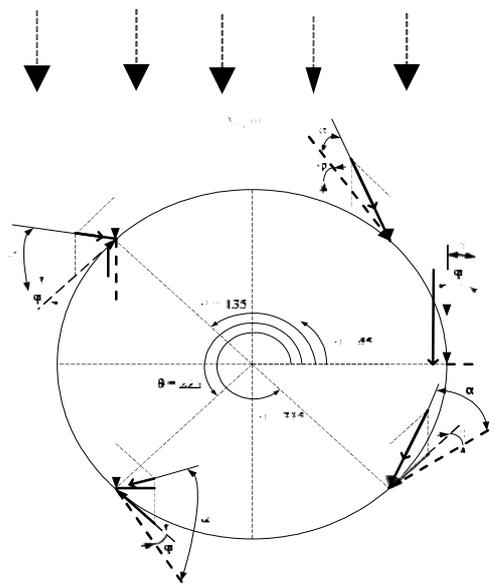
#### 2. Kecepatan Turbin

Kecepatan turbin merupakan kecepatan putar dari suatu turbin

#### 2.7. Sudut serang ( $\alpha$ )

Sudut serang atau *angle of attack* adalah sudut yang terbentuk oleh chord line terhadap arah aliran udara. Semakin besar sudut serang maka gaya aerodinamik akan semakin besar. Untuk airfoil simetris pada sudut serang 0°, besar gaya angkat yang dihasilkan akan 0, berbeda dengan airfoil asimetris sekalipun pada sudut serang 0° tetapi gaya angkat sudah terjadi. (Erlangga, 2017)

Sudut serang pada turbin *Darrieus-H* merupakan sudut antara garis chord sudu dengan garis komponen kecepatan relatif. Pada turbin angin *Darrieus-H* ini, besarnya sudut serang dipengaruhi oleh beberapa hal seperti, tip speed ratio, sudut azimuth sudu, dan sudut pitch sudu. Semakin besar tip speed ratio maka sudut serang akan semakin kecil, hal ini dapat dilihat dari persamaan di bawah ini. (Farel H. Napitupulu, 2014)



Gambar 2.13 Sudut Serang Dan Sudut *Pitch* (Farel H. Napitupulu, 2014)

## 2.8 Analisa Perhitungan Turbin

### 2.8.1 Daya Air dan Turbin

Besarnya energi yang dihasilkan oleh turbin darrieus merupakan energi poros yang diperoleh turbin dari energi aliran air. Untuk mengetahui daya turbin *darrieus* terlebih dahulu harus diketahui vektor gaya dan kecepatan pada *hydrofoil* nya. Daya keluar poros turbin adalah daya yang output yang dihasilkan oleh turbin. Daya inilah yang dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan generator listrik apabila digunakan untuk pembangkit listrik. Secara umum daya dihitung dengan rumus berikut :

$$P = F \cdot U \quad (2.2)$$

Dimana  $F$  merupakan gaya *tangensial* yang memutar *rotor* turbin sedangkan  $U$  merupakan kecepatan tangensial dari *rotor* turbin atau sudu. Karena *rotor* turbin bergerak lingkaran maka  $U = r \cdot w$  yang mana  $r$  adalah radius turbin dan  $w$  adalah kecepatan sudut turbin [ $rad / s$ ]. dengan demikian persamaannya ditulis :

$$P = F \cdot w \cdot r \quad (2.3)$$

Persamaan ( 1 ) dapat dihubungkan dengan torsi  $T$  yang mana dirumuskan sebagai berikut :

$$T = F \cdot r \quad (2.4)$$

Persamaan ( 1 ) dan ( 2 ) memberikan hubungan berikut :

$$P = T \cdot w \quad (2.5)$$

Hubungan antara daya turbin dengan daya air masuk ke turbin dinyatakan sebagai koefisien daya atau Power Coefficient ( CP).

$$Cp = \frac{P_{rotor}}{P_{air}} \quad (2.6)$$

Daya air sebagai daya input ke turbin adalah energi kinetik aliran air dengan kecepatan  $V$  yang menabrak rotor turbin dengan bidang turbin  $A$  diberikan oleh hubungan berikut :

$$P_{air} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2.7)$$

Dengan demikian maka *Power Coefficient* (CP) menjadi :

$$C_p = \frac{T \cdot w}{\frac{1}{2} r A V^3} \quad (2.8)$$

Koefisien torsi dari turbin dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$C_r = \frac{T}{\frac{1}{2} r V^2 A r} \quad (2.9)$$

Kapasitas Aliran (Q)

Untuk menghitung kapasitas aliran digunakan persamaan:

$$Q = A \cdot V \quad (2.10)$$

### 2.8.2 Perhitungan Dasar

Penelitian ini diawali dengan mengetahui luas penampang dan kecepatan aliran. Persamaan untuk menghitung luas saluran masuk pada sudut pengarah aliran adalah:

$$A = P \cdot l \quad (2.11)$$

Untuk menghitung kecepatan aliran pada posisi sudut pengarah aliran digunakan persamaan:

$$v_1 = \frac{Q}{A} \quad (2.12)$$

Dengan Q adalah debit aliran yang digunakan dalam penelitian ini. Selanjutnya dapat dihitung laju massa air yang mengalir persatuan waktu adalah :

$$m = r \cdot Q \cdot v \quad (2.13)$$

Dengan  $\rho$  massa jenis air. Pada penelitian ini digunakan untuk turbin ini yakni saluran terbuka sehingga tidak ada beda tekanan. Persamaan energi yang digunakan dalam turbin kinetik adalah energi kinetik. Dalam hal ini energi yang tersedia merupakan energi kinetik. Besarnya energi yang dihasilkan oleh suatu aliran ditentukan dengan (Zahir & Bambang, 2010)

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2.14)$$

Untuk turbin kinetik yang hanya memanfaatkan aliran air atau kecepatan arus sungai, energi air yang tersedia merupakan energi kinetik. Sebagaimana ditunjukkan pada.

$$E_{kt} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2.15)$$

Untuk daya air yang mengalir pada suatu penampang saluran tertentu maka dalam perhitungannya dipergunakan (Kadir dan Bambang, 2010)

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot r \cdot Q \cdot v^2 \quad (2.16)$$

atau dengan menggunakan persamaan kontinuitas  $Q = A \cdot v$  maka :

$$p_a = \frac{1}{2} \cdot r \cdot A \cdot v^3 \quad (2.17)$$

Untuk menghitung besar daya turbin yang dihasilkan akibat adanya energi kinetik dipergunakan perumusan (Arismunandar, 2004)

$$P_t = T \cdot w \quad (2.18)$$

Torsi bisa disebut juga momen atau gaya yang menyatakan benda berputar pada suatu sumbu. Torsi juga bisa di definisikan ukuran keefektifan gaya tersebut dalam menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu. Sama seperti gaya yang menyebabkan suatu objek berakselerasi dalam kinematika linier (garis lurus) torsi inilah yang menyebabkan suatu objek memperoleh percepatan sudut. Maka untuk mendapatkan torsi yang merupakan gaya dikali dengan lengan radius pully yang besar lengan (0,13 m), besarnya torsi dapat dihitung dengan persamaan

$$T = F_t \cdot R \quad (2.19)$$

Kecepatan keliling turbin atau dikenal dengan kecepatan sudut dapat diperoleh dengan menghitung :

$$w = \frac{2 \cdot p \cdot n}{60} \quad (2.20)$$

Daya air dapat didefinisikan sebagai energi yang dihasilkan persatuan waktu. Daya yang dihasilkan oleh turbin sebesar :

$$P_t = T \cdot w \quad (2.21)$$

Untuk menyatakan performansi suatu mesin biasanya dinyatakan dalam efisiensi yang merupakan perbandingan antara efek manfaat yang digunakan dengan pengorbanan. Efisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan :

$$\eta_t = \frac{p_t}{p_a} \times 100\% \quad (2.22)$$

## 2.9. Karakteristik Turbin Air

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

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

### 1. Rasio Kecepatan ( $\phi$ )

Rasio kecepatan ( $\phi$ ) 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.

### 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.

### 3. Debit Satuan ( $Qu$ )

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.

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

### 4. Daya Satuan ( $Pu$ )

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

## 5. Kecepatan Spesifik ( $N_s$ )

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

$$N_s(\text{Metrik}) = N_s(\text{Inggris}) \times 4.42 \quad (2.11)$$

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

## 6. Diameter Spesifik ( $D_s$ )

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

### 2.10 Simulasi Numerik

#### 2.10.1 Pengertian Simulasi

Simulasi adalah suatu cara untuk menduplikasi / menggambarkan ciri, tampilan, dan karakteristik dari suatu sistem nyata. Ide awal dari simulasi adalah untuk meniru situasi dunia nyata secara matematis, kemudian mempelajari sifat dan karakter operasionalnya, dan akhirnya membuat kesimpulan dan membuat keputusan berdasarkan hasil dari simulasi. Dengan cara ini sistem di dunia nyata tidak tersentuh / diubah sampai keuntungan dan kerugian dari apa yang menjadi kebijakan utama suatu keputusan diujicobakan dalam sistem model. (Rendy K, 2019)

#### 2.10.2 Pengertian Numerik

Numerik atau biasa dikenal sebagai metode numerik adalah teknik - teknik yang digunakan untuk memformulasikan masalah matematis agar dapat dipecahkan dengan operasi perhitungan. (Rendy K, 2019)

#### 2.10.3 Pengertian Simulasi Numerik

Simulasi nimerik adalah simulasi yang dilakukan dengan menggunakan suatu teknik numerik untuk melakukan percobaan, yang melibatkan bentuk – bentuk fungsi matematika dan logika tertentu untuk menjelaskan tingkah laku dan struktur suatu sistem nyata yang kompleks. Simulasi numerik dapat digunakan untuk merancang, menganalisa, dan menilai suatu sistem. (Rendy K, 2019)

### 2.11. *Computational Dynamic Fluida (CFD)*

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah *tool* berbasis komputer untuk mensimulasikan perilaku suatu sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan proses fisik lainnya. Cara kerjanya dengan memecahkan persamaan-persamaan aliran fluida (dalam bentuk tertentu) meliputi suatu daerah yang diinginkan, dengan kondisi pada batas-batas daerah tersebut adalah spesifik dan diketahui.

Kumpulan persamaan yang menggambarkan proses-proses momentum, transfer massa dan transfer panas dikenal sebagai persamaan Navier Stokes. Persamaan ini merupakan persamaan parsial differensial dan diturunkan pada awal abad ke-19 oleh Sir George Stokes seorang ilmuwan berkebangsaan Inggris dan Henry Navier berkebangsaan Prancis. Solusi analitik umum dari persamaan ini tidak diketahui namun persamaan ini dapat didiskritkan dan dipecahkan secara numerik.

Persamaan-persamaan yang menggambarkan proses lain seperti pembakaran dapat dipecahkan dengan persamaan Navier Stokes. Model aproksimasi sering digunakan untuk menurunkan persamaan tambahan ini, model turbulensi adalah salah satu contohnya.

Ada beberapa jumlah metode solusi yang digunakan untuk kode CFD. Metode solusi yang paling banyak digunakan juga untuk ANSYS Fluent adalah teknik volume hingga (*finite volume*). Dalam teknik ini daerah analisis dibagi dalam beberapa sub daerah yang disebut volume atur (*control volume*). Persamaan atur lalu didiskritkan dan dipecahkan secara iterasi untuk setiap volume atur. Hasilnya adalah aproksimasi dari nilai setiap variabel pada titik tertentu dalam domain. Dengan cara ini didapatkan gambaran penuh perilaku aliran yang diinginkan. (Erifive P, 2016)

#### 2.11.1 *Proses Computational Fluid Dynamic*

Kode-kode CFD disusun dalam struktur suatu algoritma numerik yang dapat menangani masalah fluida. Ada tiga tahapan utama dalam melakukan simulasi CFD yaitu:

- a. *Pre Processor*
- b. *Solver*
- c. *Post Processor*

a. *Pre Processor*

*Pre processor* mengandung input dari masalah fluida. Beberapa kegiatan yang masuk dalam bagian ini adalah:

- Pendefinisian dari geometri daerah kajian dan domain komputasi.
- Grid generation yaitu pembagian domain ke domain-domain yang lebih kecil yaitu grid atau mesh dari elemen-elemen kecil (cells).
- Pemilihan fenomena fisik dan kimia dari masalah yang dimodelkan.
- Pendefinisian properti fluida.
- Spesifikasi kondisi batas yang sesuai pada cell yang bersinggungan dengan batas domain.

Solusi dari masalah fluida didefinisikan pada titik di dalam tiap cell. Akurasi solusi CFD diatur oleh banyaknya jumlah cell dalam grid. Secara umum semakin besar jumlah cell maka akurasi dari solusi yang dihasilkan menjadi lebih baik. Semakin banyak jumlah grid maka akurasi biaya komputasi juga semakin besar.

Oleh karena itu grid yang optimal memiliki mesh yang tidak seragam, dengan mesh yang halus di area yang terjadi perubahan dari titik satu ke titik lain dan mesh yang lebih kasar di area dengan perubahan property relative sedikit. Kemampuan yang juga dikembangkan adalah *self-adaptive meshing* yaitu kemampuan memperhalus grid di daerah dengan variasi properti tinggi. Secara umum terdapat dua bagian yang dominan di tahap Pre Processor ini yaitu definisi geometri dari domain dan grid generation.

b. *Solver*

Terdapat beberapa teknik utama dalam mencari solusi numerik yaitu finite difference, finite element dan spectral method. Secara garis besar metode numerik yang menjadi dasar dari solver melakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Aproksimasi dari aliran yang tidak diketahui dengan memakai fungsi-fungsi sederhana.
2. Diskritisasi dengan melakukan substitusi dari aproksimasi tersebut ke persamaan-persamaan atur aliran dan dilanjutkan dengan manipulasi matematis.
3. Solusi dari persamaan aljabar.

Metode lain dikembangkan dari ketiga metode tersebut, salah satunya metode volume hingga (finite volume). Metode ini merupakan pengembangan dari metode *finite difference* yang memiliki formulasi khusus. Algoritma numeriknya mengandung langkah sebagai berikut:

- Integrasi dari persamaan atur dari fluida sepanjang semua volume atur dari domain.
- Diskritisasi yang melibatkan substitusi dari berbagai macam aproksimasi *finite difference* ke persamaan yang diintegrasikan. Sehingga persamaan integral diubah menjadi persamaan aljabar.
- Solusi dari persamaan aljabar dengan metode iteratif.

Langkah pertama yaitu pengintegrasian volume atur membedakan metode ini dari semua teknik CFD. Konservasi dari variabel aliran  $\phi$  seperti kecepatan atau entalpi dalam volume atur yang berhingga dapat dinyatakan sebagai keseimbangan antara macam proses yang menambah maupun mengurangnya.

Kode-kode CFD mengandung teknik diskritisasi yang cocok untuk menangani fenomena key transport, konveksi (transport karena aliran fluida), dan difusi (transport karena variasi  $\phi$  dari titik ke titik) dan juga source (terjadinya dan hilangnya  $\phi$ ) dan laju perubahan terhadap waktu.

### c. *Post Processor*

Bagian ini mengandung kemampuan grafis yang dibutuhkan untuk menampilkan hasil termasuk kemampuan visual yang lain seperti animasi. Hal ini yang juga termasuk adalah display grid dan domain geometri, plot vector, plot kontur, plot permukaan 2D atau 3D, particle tracking, animasi dan lain sebagainya.

### 2.11.2 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*.

## 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	1901 MHz

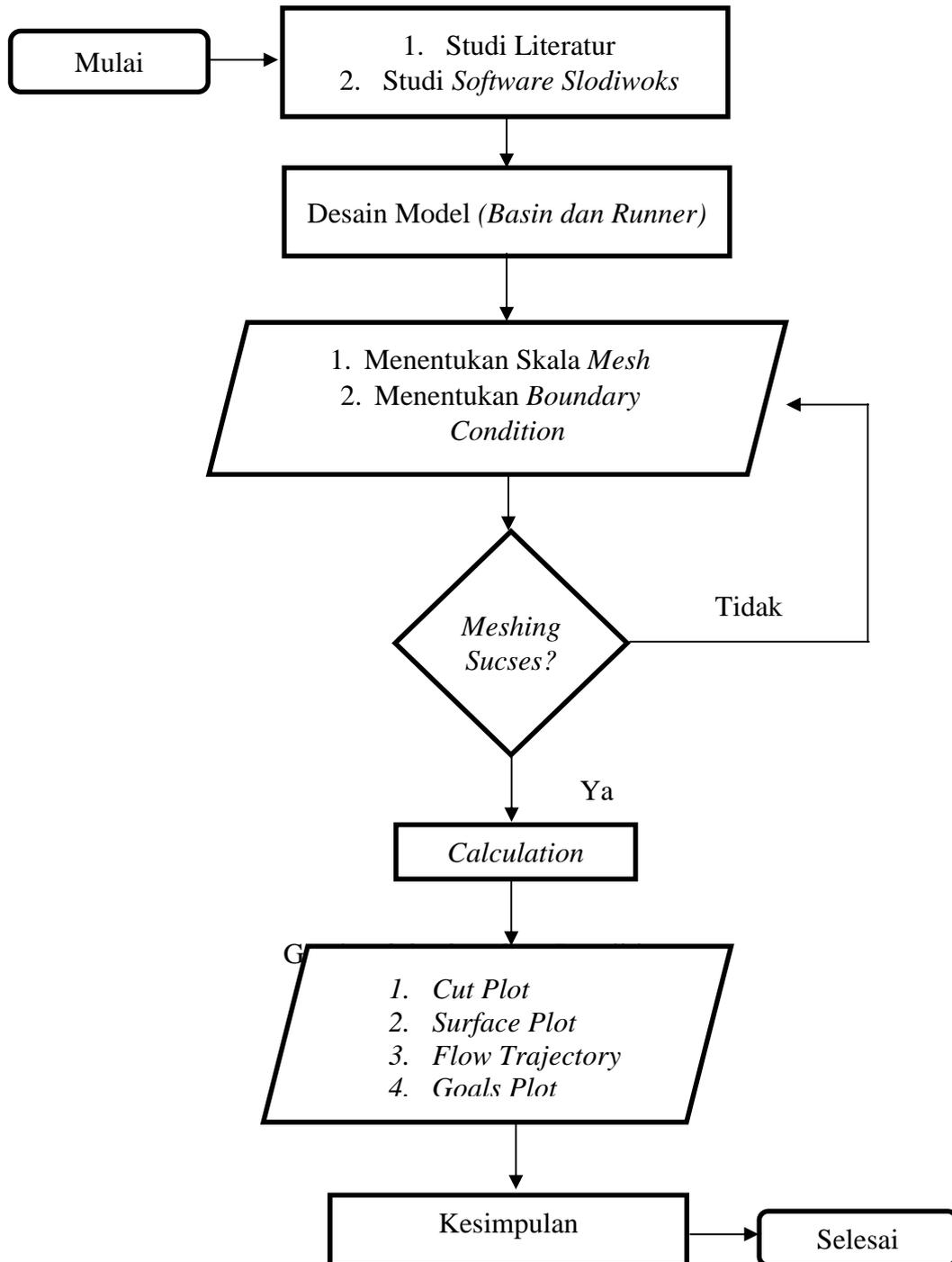
#### 3.2.2. Aplikasi *Solidworks*

Aplikasi *Solidworks* digunakan untuk mendesain bagian-bagian dari Turbin air *darrieus naca 0012* dan selanjutnya disimulasikan menggunakan aplikasi *add-ins Solidworks Flow Simulation*.



Gambar 3.1 Aplikasi *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 air *darrieus* pada *naca 0012* menggunakan software *Solidworks 2014*. Diameter sudu turbin yang dirancang adalah 120, jari jari 60 mm. Diameter rumah turbin 205 mm dan tingginya 220 mm.

Selanjutnya penulis akan mendesain komponen kedua yaitu runner. Diameter runner adalah 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 simulation* 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 <sup>3</sup> /s
50	0,000833
100	0,00167
150	0,0025
200	0,00333
220	0,00366

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 air *savonieus darrieus naca 0012*.
2. *Surface goals* dengan parameter *mass flow outlet* dan *selection* pada bagian *outlet lid* turbin air *savoneius darrieus naca 0012*.
3. *Surface goals* dengan parameter *gg mass flow rate. selection* pada gelas ini menggunakan part bantu.
4. *Surface goals* dengan parameter *gg torque pada bidang Y. selection* pada gelas ini menggunakan part bantu.
5. *Surface goals* dengan parameter *pg velocity* pada bidang *Z. 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. *Processing*

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 *Wizard 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 dai 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 *meshing*.

#### 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 *Mass Flow Rate*, *torque*, *velocity*, kecepatan, daya air, kecepatan sudut, daya turbin 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. Validasi Penelitian

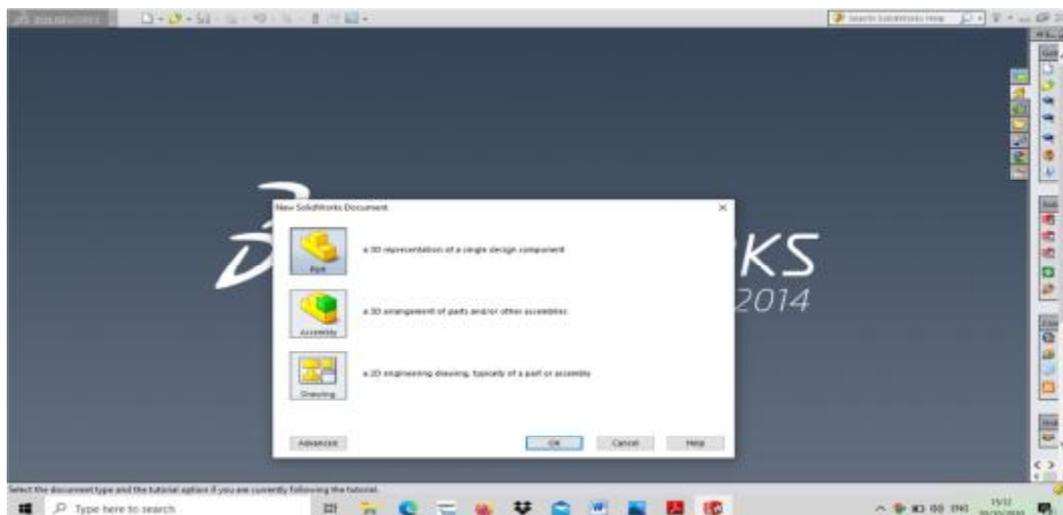
Validasi penelitian merupakan salah satu tahap penelitian dengan simulasi yang harus dilalui agar hasil penelitian yang dihasilkan valid. Validasi turbin air *darrieus naca 0012* dilakukan untuk memastikan penulis mampu mengembangkan pemodelan turbin air *darrieus*. Validasi pemodelan turbin *darrieus* ini dipengaruhi oleh jumlah sudu yang merupakan variabel bebas penelitian. Sedangkan *performance* turbin air *darrieus* merupakan variabel terikat penelitian ditunjukkan oleh momen torsi, daya turbin, efisiensi Serta *Self Starting*..

##### 4.1.1. Tahap Pembuatan Turbin Air *Darrieus Naca 0012*

###### 4.1.1.1. Desain Rumah Turbin

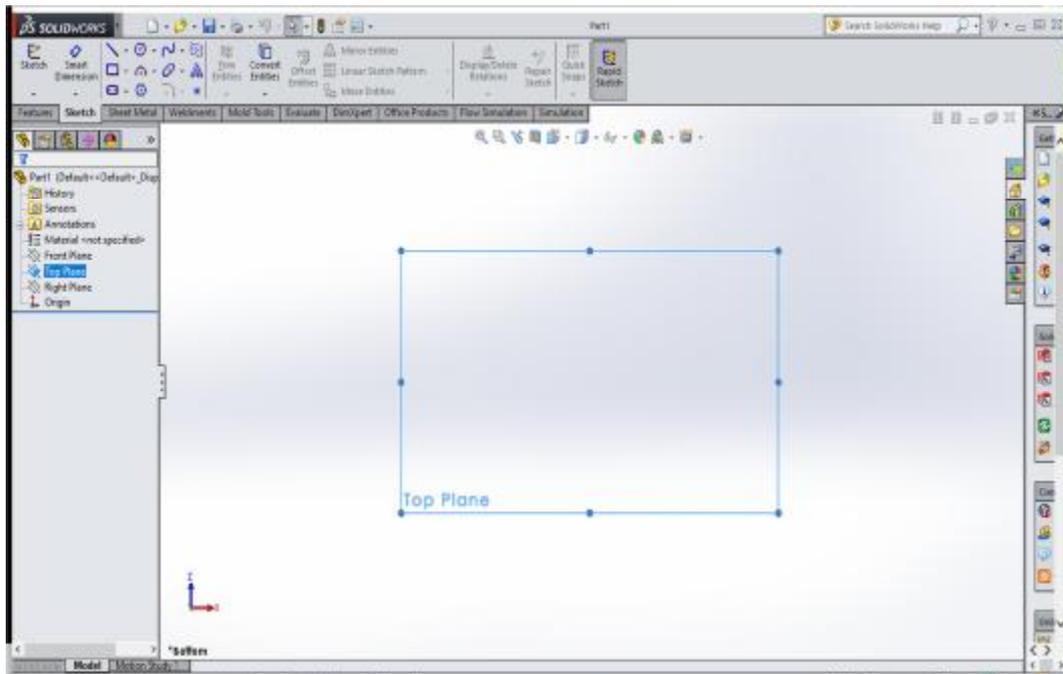
Desian yang akan dirancang adalah rumah dan sudu turbin *air darrieus naca 0012* berikut ini langkah-langkah perancangan model dengan menggunakan *software solidworks 2014*

1. Buka *software* aplikasi *solidwork 2014*, kemudian pilih *new document* pada sudut atas tampilan *software solidworks*, kemudian pilih part dan pilih ok.



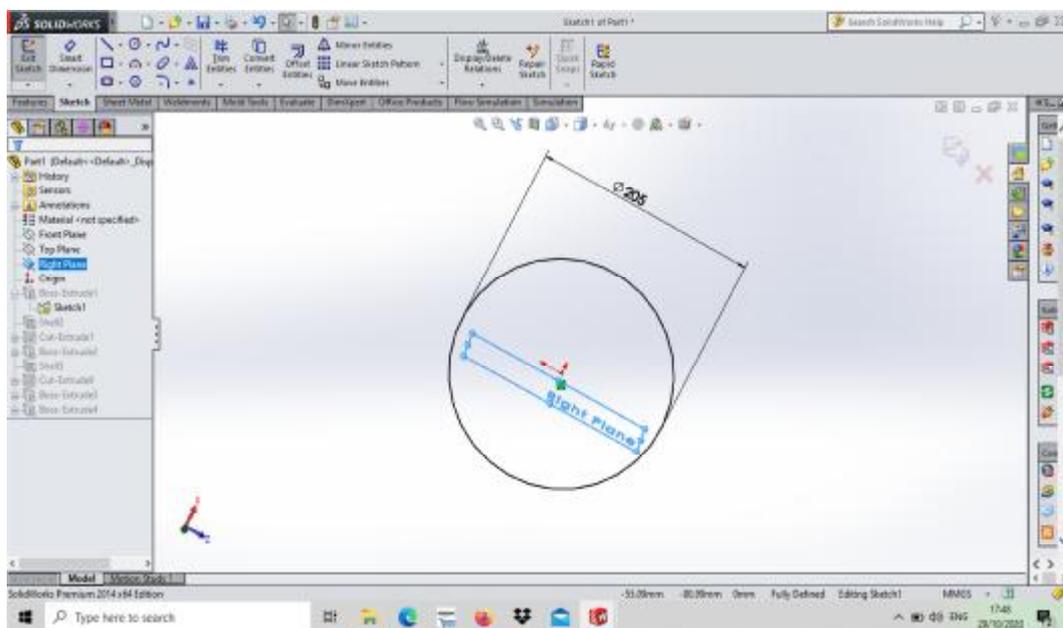
Gambar 4.1. Tahap Awal *Solidwork*

2. Selanjutnya pilih *top plane*



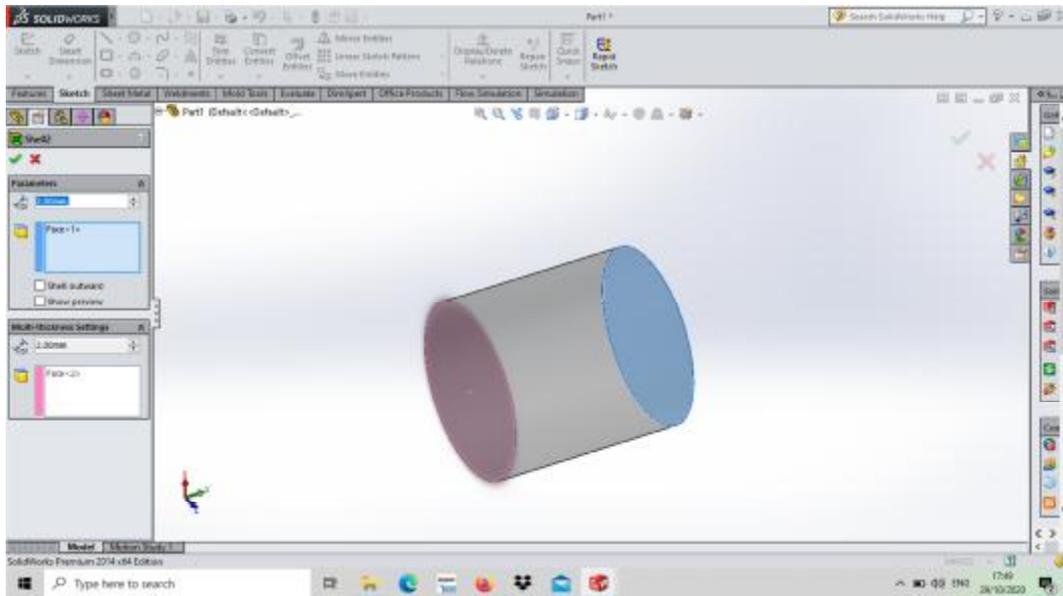
Gambar 4.2 *Top Plane*

3. Selanjutnya menggunakan sketch untuk membuat desain 2D diameter rumah sudu turbin dengan ukuran 205 mm dapat dilihat pada gambar dibawah ini



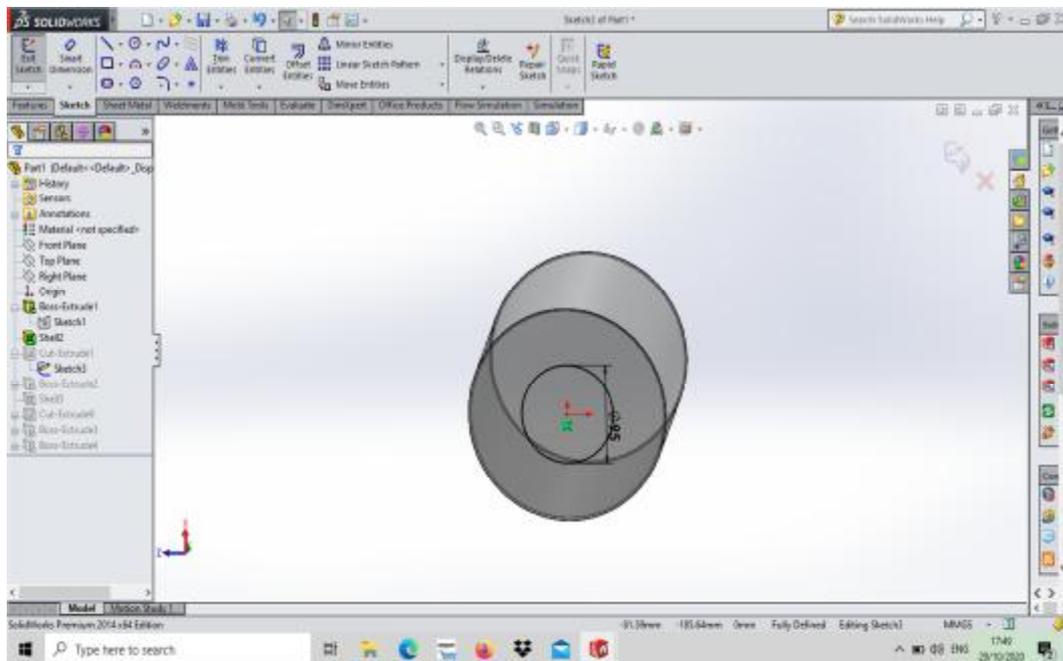
Gambar 4.3 Desain 2D Diameter Rumah.

4. Selanjutnya menggunakan sketch untuk membuat desain diameter rumah sudu menjadi 3D dapat dilihat pada gambar dibawah ini



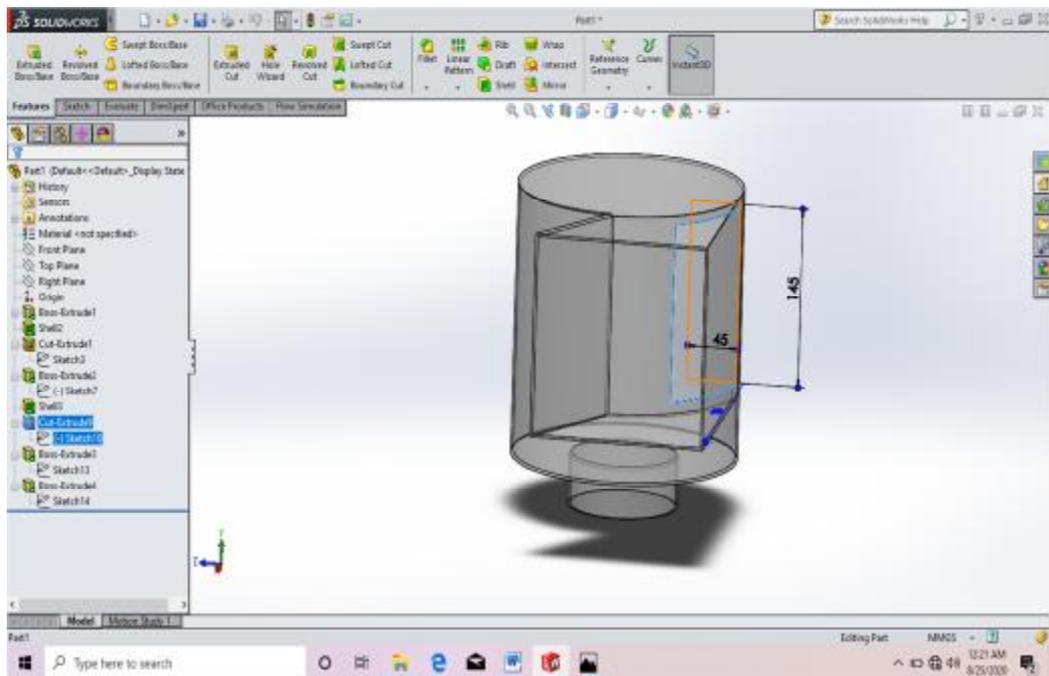
Gambar 4.4 Desain Rumah Sudu 3D.

5. Selanjutnya menggunakan sketch untuk membuat desain pintu keluar air dengan diameter 95 mm dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.5 Pintu Keluar Air

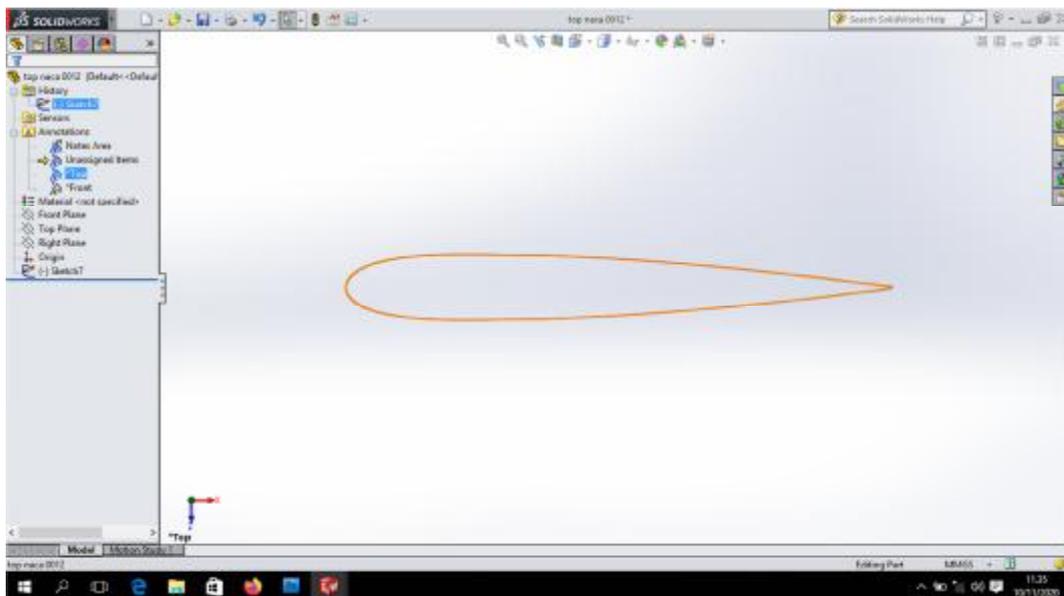
6. Selanjutnya menggunakan sketch membuat pintu masuk air dengan tinggi 145mm dan lebar 45mm



Gambar 4.6. *Sketch* Pintu Masuk Air

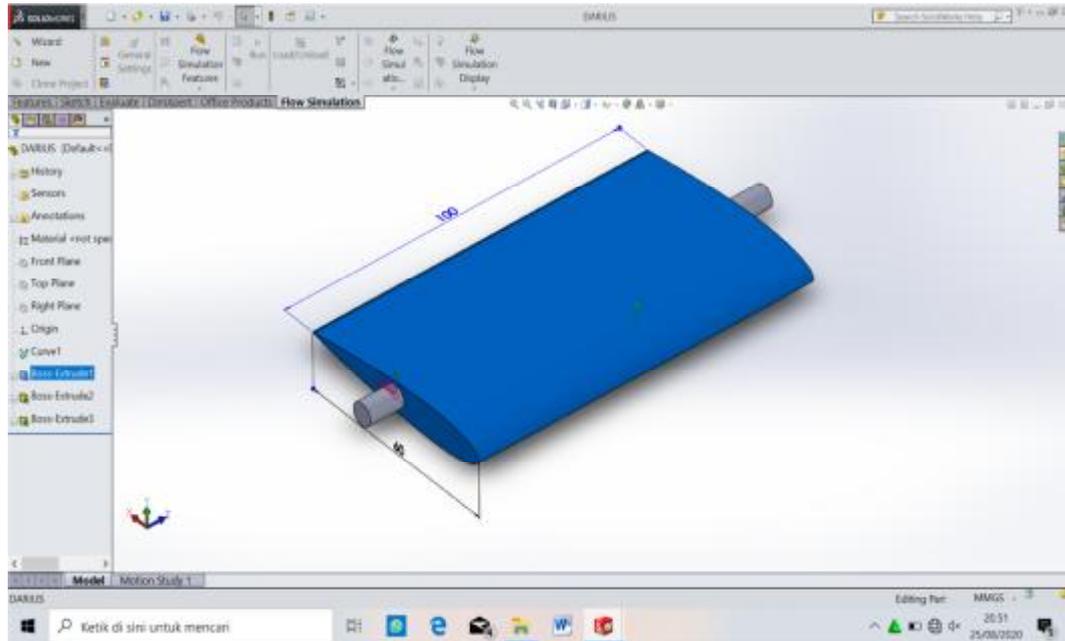
#### 4.1.1.2. Desain Sudu *Darrieus*.

1. Selanjutnya menggunakan sketch untuk membuat desain 2D sudu *darrieus naca* 0012 dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



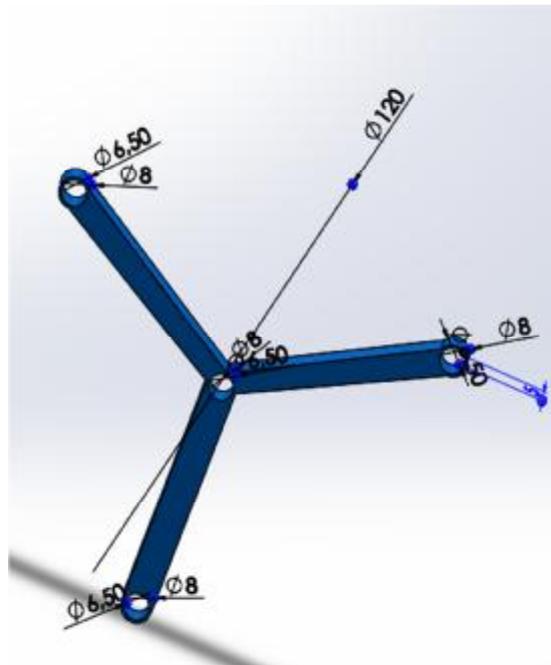
Gambar 4.7. *Sketch* 2D Sudu Turbin *Darrieus* *NACA* 0012.

2. Selanjutnya membuat sudu *darrieus* dengan *naca* 0012.



Gambar 4.8. Sudu *Darrieus* *NACA* 0012

3. Selanjutnya menggunakan sketch untuk membuat batang penyangga sudu darrieus dengan panjang 120 mm dan lubang diameter 6,50 mm dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4.9 Batang Penyangga Sudu Turbin

4. Selanjutnya membuat sudu turbin *darrieus* menggunakan 3 sudu dengan variasi sudut serang derajat  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$  dan  $15^{\circ}$

a. Variasi Sudut  $5^{\circ}$



Gambar 4.10 Sudu 3 Turbin *Darrieus* Dengan Sudut Serang  $5^{\circ}$

b. Variasi Sudut  $10^{\circ}$



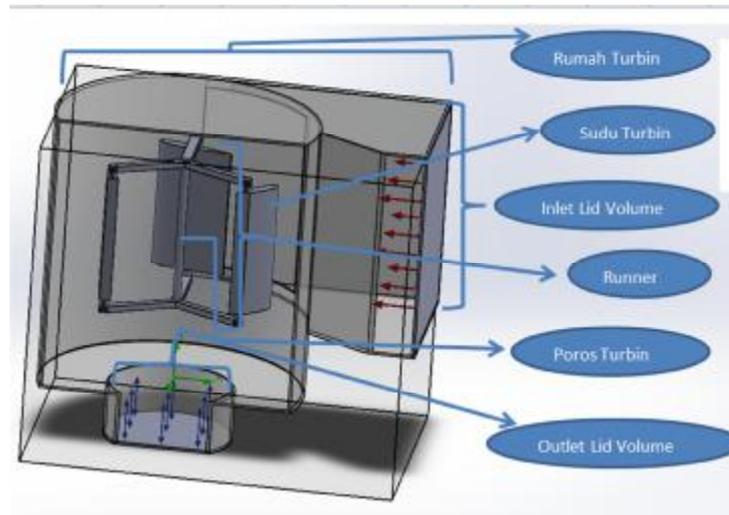
Gambar 4.11 Sudu 3 turbin *Darrieus* Dengan Sudut Serang  $10^{\circ}$

c. Variasi Sudut 15<sup>0</sup>



Gambar 4.12 Sudu 3 turbin *Darrieus* Dengan Sudut Serang 15<sup>0</sup>

5. Berikut gambar bagian-bagian turbin.



Gambar 4.13 Bagian Turbin

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*

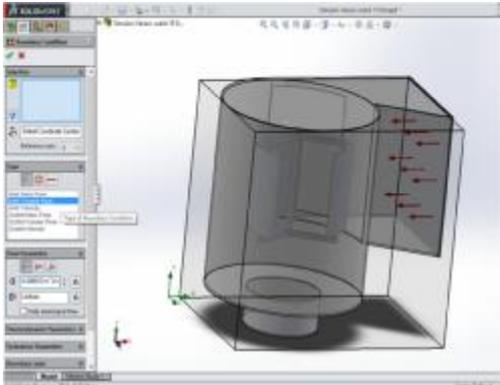
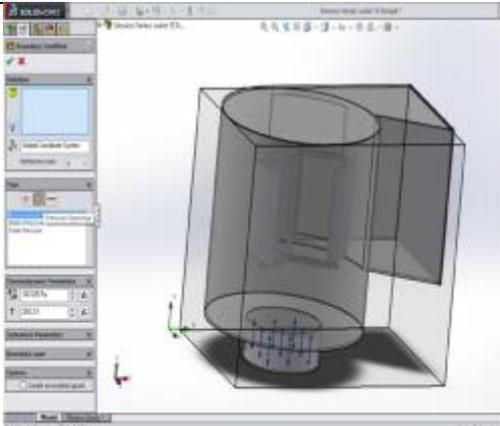
<i>Project Name</i>	<i>Simulasi Turbin Savonieuus Darrius naca 0015</i>
<i>Configuration</i>	<i>Use Current</i>
<i>Unit System</i>	<i>SI</i>
<i>Analisis Type</i>	<i>Internal</i>

	<b>Exclude cavities without flow conditions</b>
<i>Physical Features</i>	-
<i>Default Fluid</i>	<b>Water</b>
<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 <b>Result resolution level</b> to 3; <b>Minimum gap size</b> = 0.04 m, <b>Minimum wall thickness</b> = 0.002 m, other options are default

#### 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>	<b>Inlet Volume Flow</b>	
<i>Name</i>	<b>Inlet Volume Flow 1</b>	
<i>Faces to apply</i>	<i>the inner face of the Inlet Lid</i>	
<i>Parameter:</i> <b>Volume Flow Rate</b> of 0,00366 m <sup>3</sup> /s, 0,00333 m <sup>3</sup> /s, 0,00025 m <sup>3</sup> /s, 0,00167 m <sup>3</sup> /s, 0,00833 m <sup>3</sup> /s with the <b>uniform profile</b> .		
<i>Type</i>	<b>Inlet Volume Flow</b>	
<i>Name</i>	<b>Inlet Volume Flow 1</b>	
<i>Faces to apply</i>	<i>the inner face of the Outlet Lid</i>	
<i>Parameter:</i> <b>Volume Flow Rate</b>		

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 m<sup>3</sup>/s, pada debit 135 l/m *volume flow rate* nya 0,00225 m<sup>3</sup>/s, pada debit 125 l/m *volume flow rate* nya 0,002083 m<sup>3</sup>/s, pada debit 110 l/m *volume flow rate* nya 0,001833 m<sup>3</sup>/s, dan pada debit 90 l/m *volume flow rate* nya 0,001650 m<sup>3</sup>/s. Untuk *Environment Pressure* adalah sama pada setiap variasi debit aliran.

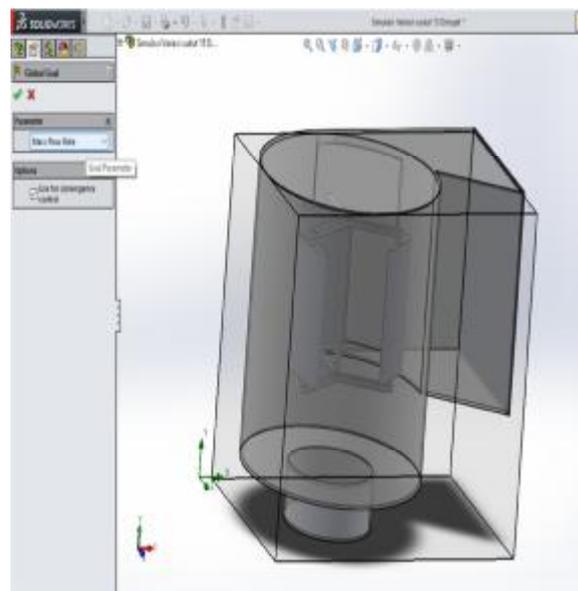
#### 4.1.4 Goals

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

Tabel 4.3. Goals Yang Digunakan

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

*Surface Goal*      *Mass Flow Rate*

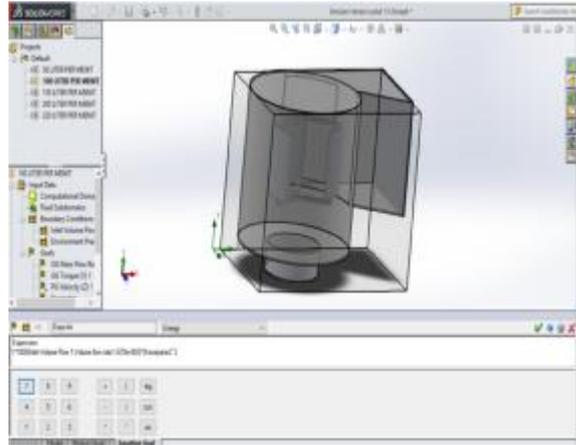


*The inner face of the Measure at the Runner's inlet.*



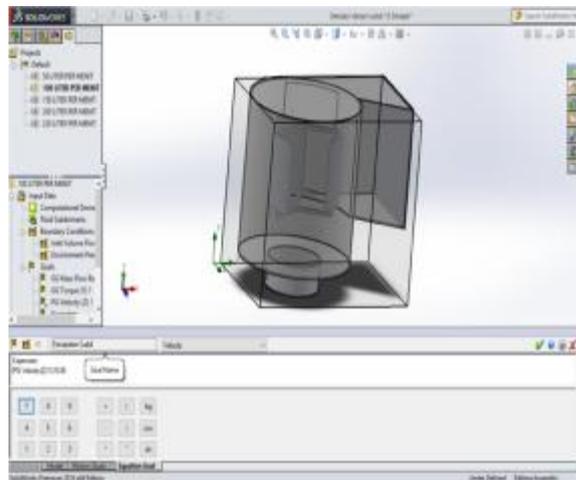
*Surface Goal*

Daya Air



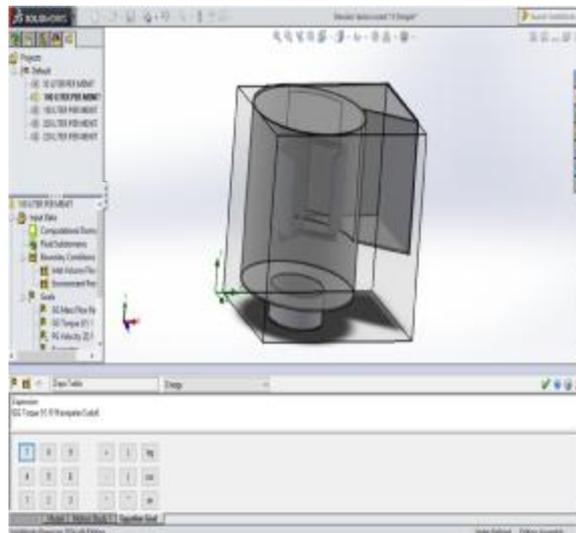
*Surface Goal*

Kecepatan Sudut

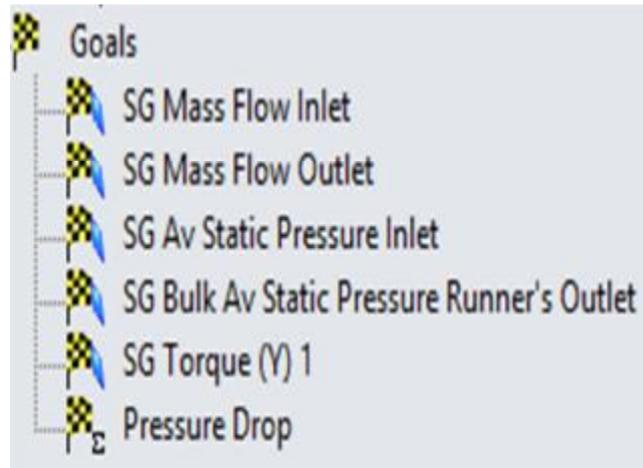


*Surface Goal*

Daya Turbin



Kemudian untuk mempermudah dalam melakukan simulasi maka nama *goals* pada tabel 4.3 diatas diganti menjadi seperti pada gambar 4.12 dibawah.



Gambar 4.14. *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 ke dalam equation goals pada *solidworks flow simulation* seperti pada tabel 4.4 dibawah.

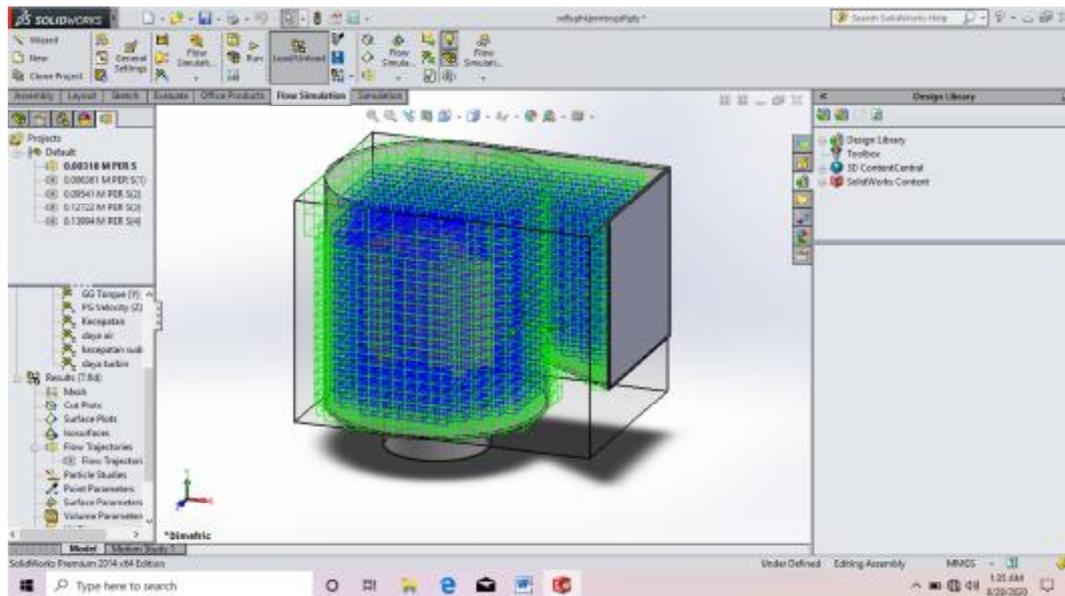
Tabel 4.4. *Equatoin Goals*

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

## 4.2. Hasil Simulasi

### 4.2.1. *Meshing*

*Domain* mesh turbin air *darrieus* 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 pada gambar 4.15.



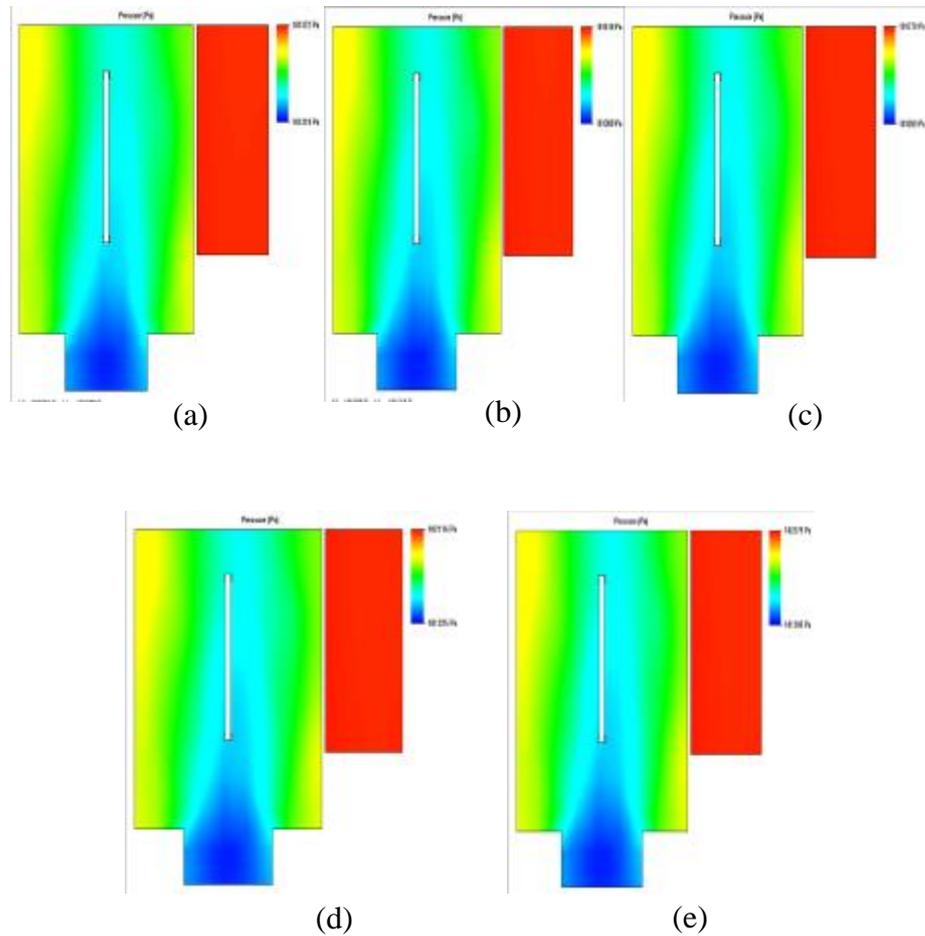
Gambar 4.15. Hasil Mesh

*Basic dimension mesh* pada bidang X adalah 56, pada bidang Y adalah 42 dan pada bidang Z adalah 38. Kemudian *basin 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*. Pada tahap ini hasil mesh dengan 3 sudu turbin air *darrieus* memiliki hasil yang sama pada berbagai variasi sudut serang turbin air *darrieus*.

#### 4.2.2. Kontur Tekanan Aliran Fluida

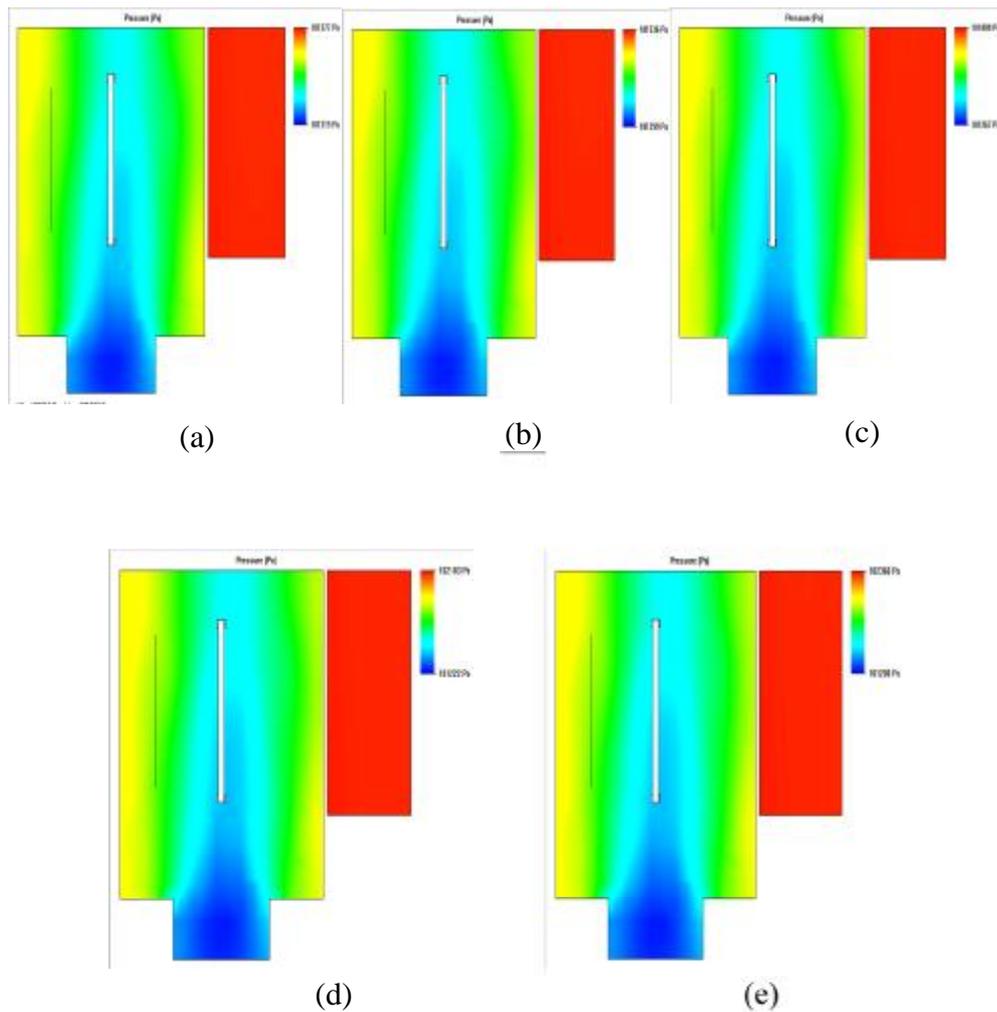
Pada gambar 4.16 dibawah menunjukkan kontur tekanan aliran fluida pada turbin. Simulasi ini menggunakan *Solidworks Flow Simulation* selain dapat menganalisis secara numerik juga dapat menganalisis secara visual. Keunggulan dari turbin air *darrieus* adalah konfigurasi turbin yang sederhana, serta dapat 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 air *darrieus*.



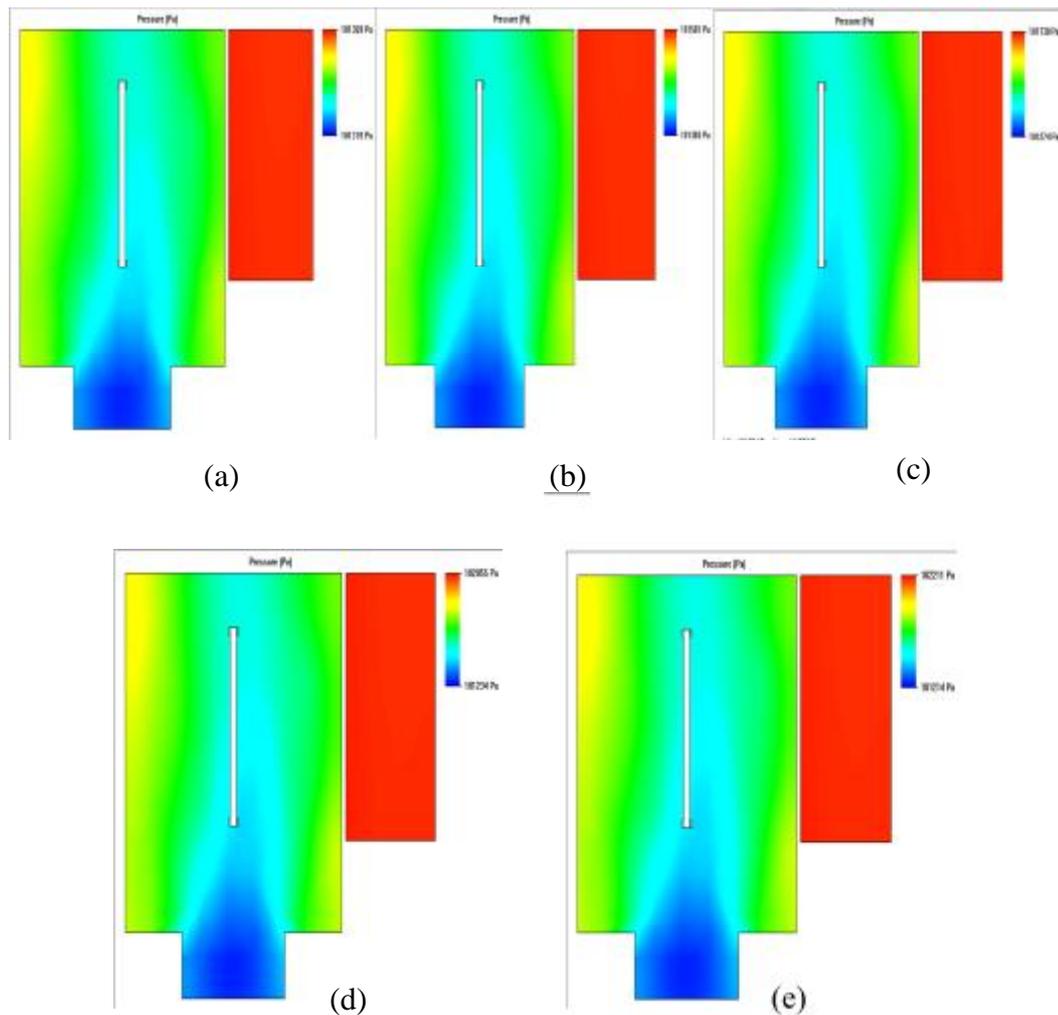
Gambar 4.16. Kontur Tekanan Aliran Fluida Variasi Sudut  $5^0$

Gambar 4.16 (a) menunjukkan kontur tekanan aliran fluida pada debit aliran 50 L/m, (b) menunjukkan kontur tekanan aliran pada debit 100 L/m, (c) menunjukkan kontur tekanan aliran pada debit 150 L/m, (d) menunjukkan kontur tekanan aliran pada debit 200 L/m, (e) menunjukkan kontur tekanan aliran pada debit 220 L/m. Terlihat pada gambar bahwa semakin tinggi debit aliran maka tekanan aliran akan semakin tinggi. Dapat dilihat pada bagian runner warna dari kontur tekanan aliran dari warna merah (tekanan tinggi) ke warna biru (tekanan rendah), hal ini menandakan penyerapan energi oleh runner sehingga tekanan aliran semakin rendah.



Gambar 4.17. Kontur Tekanan Aliran Fluida Variasi Sudut  $10^{\circ}$

Gambar 4.17 (a) menunjukkan kontur tekanan aliran fluida pada debit aliran 50 L/m, (b) menunjukkan kontur tekanan aliran pada debit 100 L/m, (c) menunjukkan kontur tekanan aliran pada debit 150 L/m, (d) menunjukkan kontur tekanan aliran pada debit 200 L/m, (e) menunjukkan kontur tekanan aliran pada debit 220 L/m. Terlihat pada gambar bahwa semakin tinggi debit aliran maka tekanan aliran akan semakin tinggi. Dapat dilihat pada bagian runner warna dari kontur tekanan aliran dari warna merah (tekanan tinggi) ke warna biru (tekanan rendah), hal ini menandakan penyerapan energi oleh runner sehingga tekanan aliran semakin rendah.

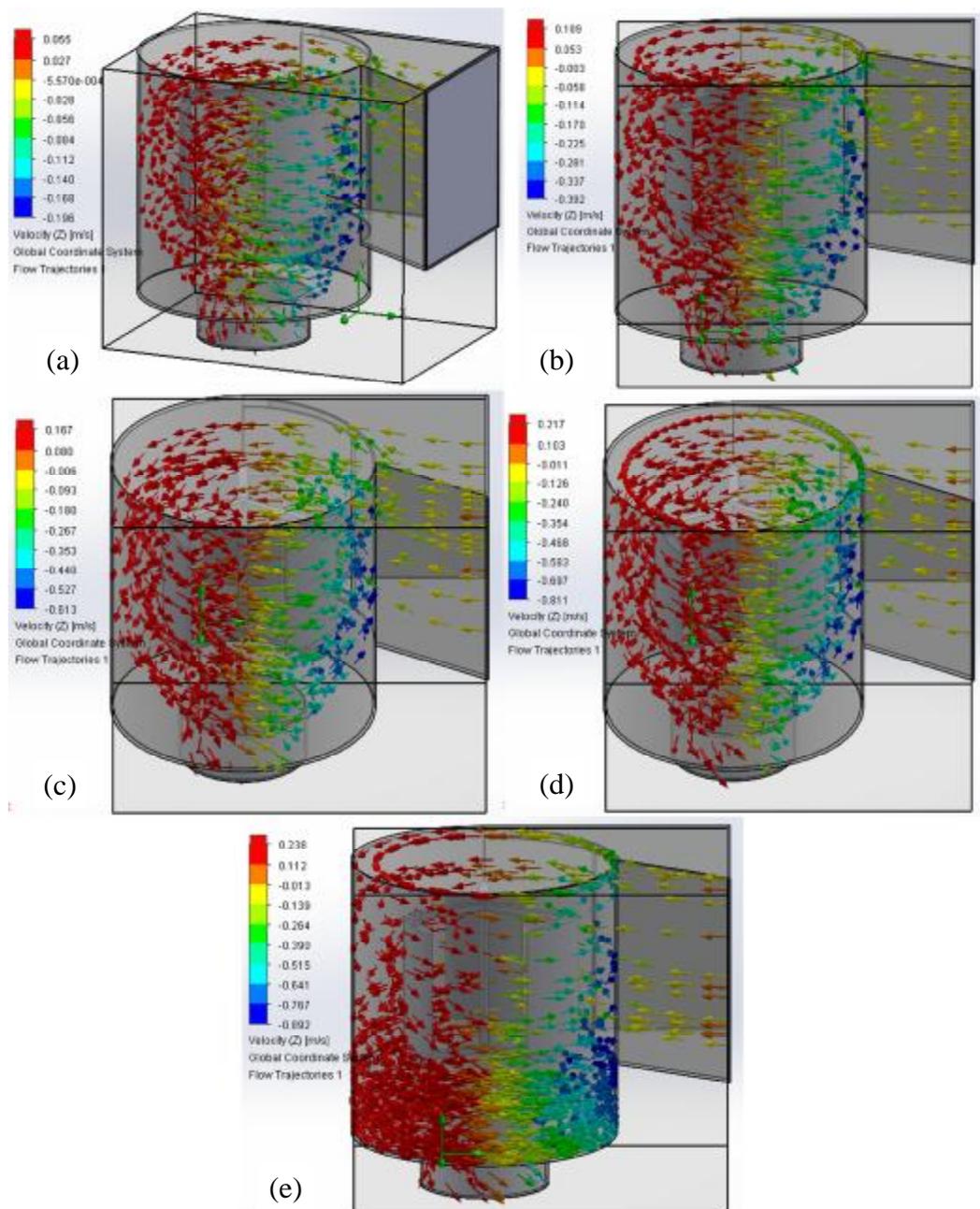


Gambar 4.18. Kontur Tekanan Aliran Fluida Variasi Sudut  $15^0$

Gambar 4.18 (a) menunjukkan kontur tekanan aliran fluida pada debit aliran 50 L/m, (b) menunjukkan kontur tekanan aliran pada debit 100 L/m, (c) menunjukkan kontur tekanan aliran pada debit 150 L/m, (d) menunjukkan kontur tekanan aliran pada debit 200 L/m, (e) menunjukkan kontur tekanan aliran pada debit 220 L/m. Terlihat pada gambar bahwa semakin tinggi debit aliran maka tekanan aliran akan semakin tinggi. Dapat dilihat pada bagian runner warna dari kontur tekanan aliran dari warna merah (tekanan tinggi) ke warna biru (tekanan rendah), hal ini menandakan penyerapan energi oleh runner sehingga tekanan aliran semakin rendah.

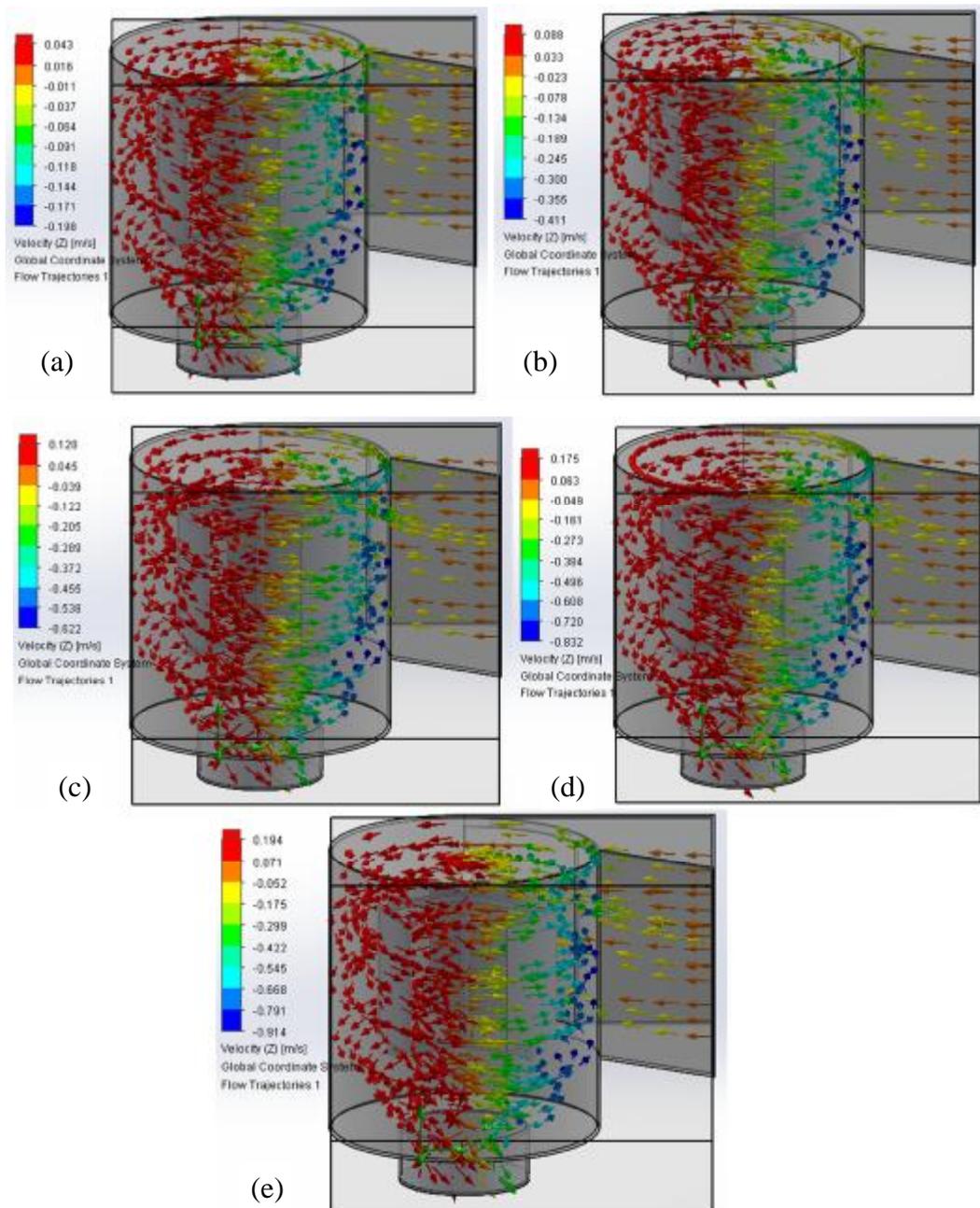
#### 4.2.3. Vektor Kecepatan Fluida

Gambar 4.19 merupakan vektor aliran fluida pada turbin air *darrieus*. Dapat diamati melalui perbedaan warna, kecepatan fluida semakin tinggi pada bagian tengah basin. *velocity* pada gambar a) debit 50 L/m adalah 0,0552 N.m, *velocity* pada b) debit 100 L/m adalah 0,1085 N.m, *velocity* pada c) debit 150 L/m adalah 0,1672 N.m, *velocity* pada d) debit 200 L/m adalah 0,2173 N.m, *velocity* pada e) debit 220 L/m adalah 0,2385 N.m.



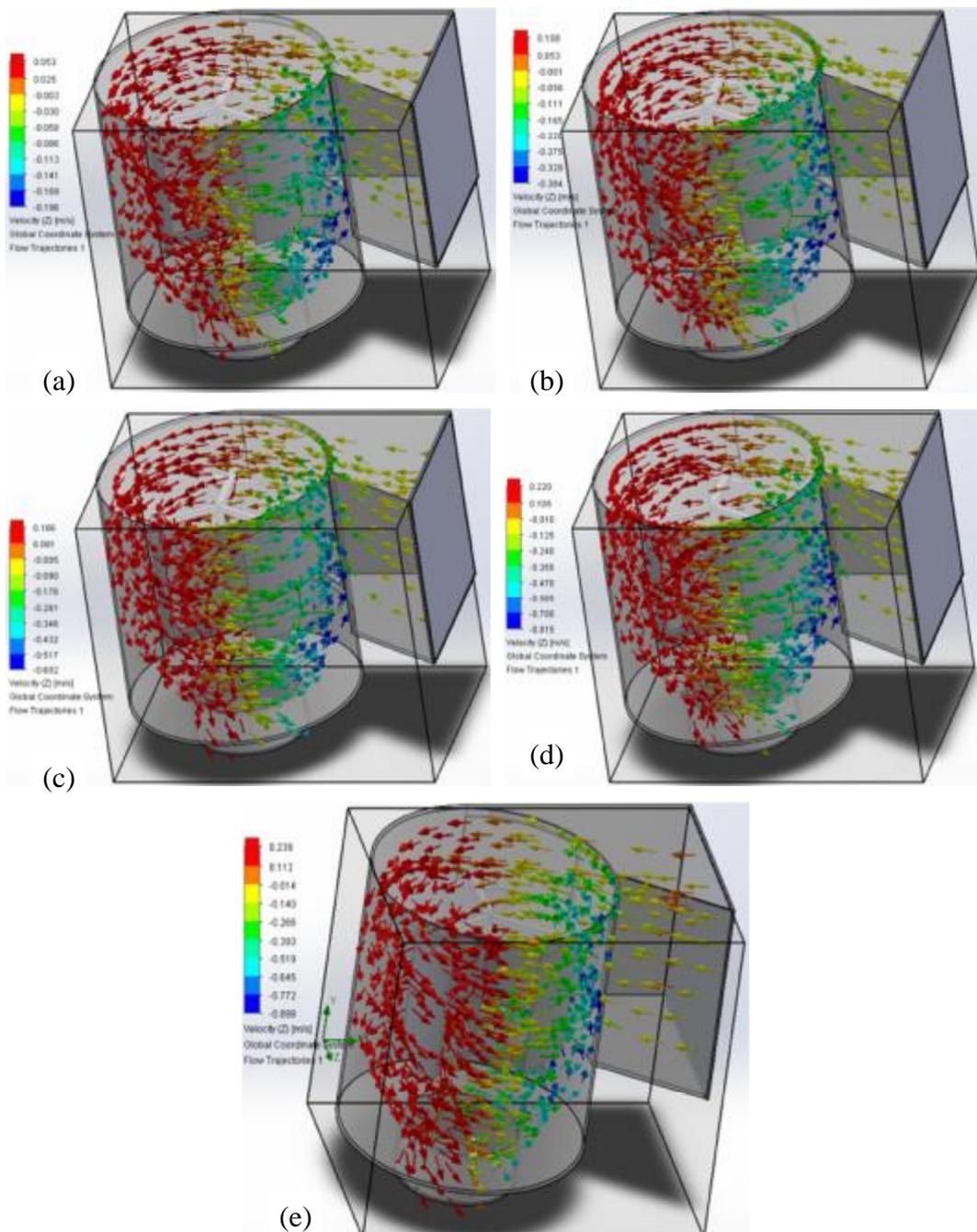
Gambar 4.19 Vektor Kecepatan Aliran Variasi Sudut  $5^0$

Gambar 4.20 merupakan vektor aliran fluida pada turbin air *darrieus*. Dapat diamati melalui perbedaan warna, kecepatan fluida semakin tinggi pada bagian tengah basin. *velocity* pada gambar a) debit 50 L/m adalah 0,0435 N.m, *velocity* pada b) debit 100 L/m adalah 0,0884 N.m, *velocity* pada c) debit 150 L/m adalah 0,1282 N.m, *velocity* pada d) debit 200 L/m adalah 0,1757 N.m, *velocity* pada e) debit 220 L/m adalah 0,1945 N.m.



Gambar 4.20 Vektor Kecepatan Aliran Variasi Sudut  $10^0$

Gambar 4.21 merupakan vektor aliran fluida pada turbin air *darrieus*. Dapat diamati melalui perbedaan warna, kecepatan fluida semakin tinggi pada bagian tengah basin. *velocity* pada gambar a) debit 50 L/m adalah 0,0526 N.m, *velocity* pada b) debit 100 L/m adalah 0,1082 N.m, *velocity* pada c) debit 150 L/m adalah 0,1660 N.m, *velocity* pada d) debit 200 L/m adalah 0,2196 N.m, *velocity* pada e) debit 220 L/m adalah 0,2388 N.m.



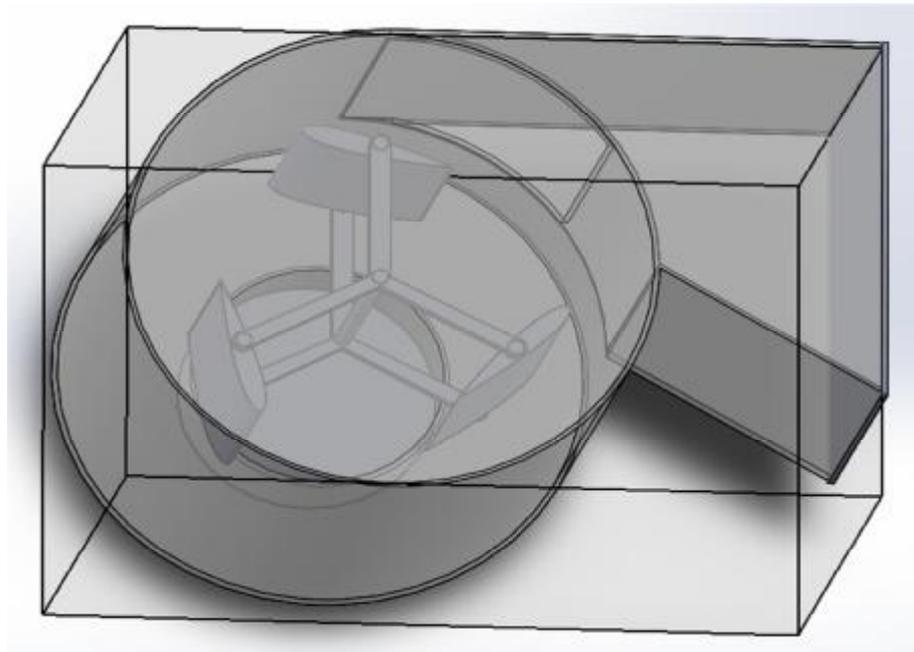
Gambar 4.21 Vektor Kecepatan Aliran Variasi Sudut  $15^{\circ}$

Pada vektor terlihat bahwa kecepatan aliran meningkat pada tengah bagian basin, peningkatan kecepatan ini terjadi karena aliran fluida menjadi *vortex*. Jika diamati lebih jelas aliran melewati *runner* juga mengalami penurunan kecepatan, tekanan fluida dalam sebuah vortex 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.

### 4.3. Efisiensi Turbin

#### 4.3.1. Putaran Sudut

Untuk mendapatkan efisiensi turbin harus diketahui terlebih dahulu putaran sudut ( $\omega$ ). Hasil simulasi menggunakan *solidworks flow simulation* tidak memberikan hasil putaran sudut, maka putaran sudut dapat ditentukan menggunakan persamaan dengan mengetahui kecepatan aliran dan radius, perhatikan pada gambar 4.21 dibawah.



Gambar 4.22. 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 4.5 dibawah.

Tabel 4.5. Kecepatan aliran linear sudu 3 variasi 5<sup>0</sup>

Debit (L/m)	Velocity (m/s)	Radius (m)
50	0,0552	0,6
100	0,1085	0,6
150	0,1672	0,6
200	0,2173	0,6
220	0,2385	0,6

Data dari tabel diatas kemudian diolah menggunakan persamaan berikut:

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

$$w = 2 \cdot p \cdot f$$

1. Putaran sudut ( $\omega$ ) pada debit alliran 50 L/m adalah:

$$f = \frac{0,0552}{0,6} = 0,092 \text{ rev/s}$$

$$w = 2 \cdot p \cdot 0,092 = 0,578 \text{ rad/s}$$

2. Putaran sudut ( $\omega$ ) pada debit alliran 100 L/m adalah:

$$f = \frac{0,1085}{0,6} = 0,181 \text{ rev/s}$$

$$w = 2 \cdot p \cdot 0,181 = 1,137 \text{ rad/s}$$

3. Putaran sudut ( $\omega$ ) pada debit alliran 150 L/m adalah:

$$f = \frac{0,1672}{0,6} = 0,279 \text{ rev/s}$$

$$w = 2 \cdot p \cdot 0,279 = 1,752 \text{ rad/s}$$

4. Putaran sudut ( $\omega$ ) pada debit alliran 200 L/m adalah:

$$f = \frac{0,2173}{0,6} = 0,362 \text{ revs}$$

$$w = 2 \cdot p \cdot 0,362 = 2,273 \text{ rad/s}$$

5. Putaran sudut ( $\omega$ ) pada debit alliran 220 L/m adalah:

$$f = \frac{0,2385}{0,6} = 0,397 \text{ rev/s}$$

$$w = 2 \cdot p \cdot 0,397 = 2,493 \text{ rad/s}$$

Tabel 4.6. Kecepatan aliran linear sudu 3 variasi  $10^0$

Debit (L/m)	Velocity (m/s)	Radius (m)
50	0,0435	0,6
100	0,0884	0,6
150	0,1282	0,6
200	0,1757	0,6
220	0,1945	0,6

6. Putaran sudut ( $\omega$ ) pada debit alliran 50 L/m adalah:

$$f = \frac{0,0435}{0,6} = 0,072 \text{ rev/s}$$

$$w = 2 \cdot p \cdot 0,072 = 0,452 \text{ rad/s}$$

7. Putaran sudut ( $\omega$ ) pada debit alliran 100 L/m adalah:

$$f = \frac{0,0884}{0,6} = 0,147 \text{ rev/s}$$

$$w = 2 \cdot p \cdot 0,147 = 0,923 \text{ rad/s}$$

8. Putaran sudut ( $\omega$ ) pada debit alliran 150 L/m adalah:

$$f = \frac{0,1282}{0,6} = 0,214 \text{ rev/s}$$

$$w = 2 \cdot p \cdot 0,214 = 1,344 \text{ rad/s}$$

9. Putaran sudut ( $\omega$ ) pada debit alliran 200 L/m adalah:

$$f = \frac{0,1757}{0,6} = 0,293 \text{ revs}$$

$$w = 2 \cdot p \cdot 0,293 = 1,840 \text{ rad/s}$$

10. Putaran sudut ( $\omega$ ) pada debit alliran 220 L/m adalah:

$$f = \frac{0,1945}{0,6} = 0,324 \text{ rev/s}$$

$$w = 2 \cdot p \cdot 0,324 = 2,035 \text{ rad/s}$$

Tabel 4.7. Kecepatan aliran linear sudu 3 variasi 15<sup>0</sup>

Debit (L/m)	Velocity (m/s)	Radius (m)
50	0,0526	0,6
100	0,1082	0,6
150	0,1660	0,6
200	0,2196	0,6
220	0,2388	0,6

11. Putaran sudut ( $\omega$ ) pada debit alliran 50 L/m adalah:

$$f = \frac{0,0526}{0,6} = 0,088 \text{ rev/s}$$

$$w = 2 \cdot p \cdot 0,088 = 0,553 \text{ rad/s}$$

12. Putaran sudut ( $\omega$ ) pada debit alliran 100 L/m adalah:

$$f = \frac{0,1082}{0,6} = 0,180 \text{ rev/s}$$

$$w = 2 \cdot p \cdot 0,180 = 1,130 \text{ rad/s}$$

13. Putaran sudut ( $\omega$ ) pada debit alliran 150 L/m adalah:

$$f = \frac{0,1660}{0,6} = 0,277 \text{ rev/s}$$

$$w = 2 \cdot p \cdot 0,277 = 1,739 \text{ rad/s}$$

14. Putaran sudut ( $\omega$ ) pada debit alliran 200 L/m adalah:

$$f = \frac{0,2196}{0,6} = 0,366 \text{ rev/s}$$

$$w = 2 \cdot p \cdot 0,366 = 2,298 \text{ rad/s}$$

15. Putaran sudut ( $\omega$ ) pada debit aliran 220 L/m adalah:

$$f = \frac{0,2388}{0,6} = 0,398 \text{ rev/s}$$

$$w = 2 \cdot p \cdot 0,398 = 2,499 \text{ rad/s}$$

#### 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:

$$h_t = \frac{P_t}{P_a} \times 100\%$$

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

Tabel 4.8. Data Hasil Simulasi Variasi Sudut 5°

Debit (L/m)	Daya turbin(watt)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya air(watt)	Torsi (Kgm)
50	0,2793	0,000833	0,5054	0,3087
100	2,2256	0,00167	4,0628	1,2644
150	7,7679	0,0025	13,657	2,9019
200	18,030	0,00333	32,308	5,1447
220	24,322	0,00367	43,167	6,2007

Dari data diatas nilai efisiensi turbin dapat dihitung sebagai berikut :

1. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 50 L/m adalah:

$$h = \frac{0,2793}{0,5054} \times 100\%$$

$$h = 55,263\%$$

2. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 100 L/m adalah:

$$h = \frac{2,2256}{4,0628} \times 100\%$$

$$h = 54,78\%$$

3. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 150 L/m adalah:

$$h = \frac{7,7679}{13,657} \times 100\%$$

$$h = 56,878\%$$

4. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 200 L/m adalah:

$$h = \frac{18,030}{32,308} \times 100\%$$

$$h = 55,807\%$$

5. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 220 L/m adalah:

$$h = \frac{24,322}{43,167} \times 100\%$$

$$h = 56,344\%$$

Tabel 4.9. Data Hasil Simulasi Variasi Sudut  $10^0$

Debit (L/m)	Daya turbin(watt)	Debit ( $m^3/s$ )	Daya air(watt)	Torsi (Kgm)
50	0,2408	0,000833	0,5054	0,3383
100	1,9649	0,00167	4,0628	1,3757
150	6,6754	0,0025	13,657	3,1591
200	16,044	0,00333	32,308	5,6115
220	21,426	0,00367	43,167	6,7569

Dari data diatas nilai efisiensi turbin dapat dihitung sebagai berikut :

6. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 50 L/m adalah:

$$h = \frac{0,2408}{0,5054} \times 100\%$$

$$h = 47,645\%$$

7. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 100 L/m adalah:

$$h = \frac{1,9649}{4,0628} \times 100\%$$

$$h = 48,363\%$$

8. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 150 L/m adalah:

$$h = \frac{6,6754}{13,657} \times 100\%$$

$$h = 48,879\%$$

9. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 200 L/m adalah:

$$h = \frac{16,044}{32,308} \times 100\%$$

$$h = 49,659\%$$

10. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 220 L/m adalah:

$$h = \frac{21,426}{43,167} \times 100\%$$

$$h = 49,635\%$$

Tabel 4.10. Data Hasil Simulasi Variasi Sudut 15<sup>0</sup>

Debit (L/m)	Daya turbin(watt)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya air(watt)	Torsi (Kgm)
50	0,2452	0,000833	0,5054	0,2820
100	2,0500	0,00167	4,0628	1,1477
150	7,1737	0,0025	13,657	2,6313
200	17,323	0,00333	32,308	4,7399
220	22,859	0,00367	43,167	5,7482

Dari data diatas nilai efisiensi turbin dapat dihitung sebagai berikut :

11. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 50 L/m adalah:

$$h = \frac{0,2452}{0,5054} \times 100\%$$

$$h = 48,516\%$$

12. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 100 L/m adalah:

$$h = \frac{2,0500}{4,0628} \times 100\%$$

$$h = 50,458\%$$

13. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 150 L/m adalah:

$$h = \frac{7,1737}{13,657} \times 100\%$$

$$h = 52,528\%$$

14. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 100 L/m adalah:

$$h = \frac{17,323}{32,308} \times 100\%$$

$$h = 53,618\%$$

15. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 220 L/m adalah:

$$h = \frac{22,859}{43,167} \times 100\%$$

$$h = 52,955\%$$

#### 4.3.3 Grafik Hasil Simulasi

Gambar 4.23 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.

##### a. Debit air terhadap daya torsi

Hasil pada gambar 4.23 dibawah ini menunjukkan bahwa semakin besar debit air yang memutar turbin, maka semakin besar juga torsi yang diperoleh. Didapatkan dari debit air dengan menggunakan sudu turbin 3 yang telah dilakukan pengujian simulasi, dari gambar tersebut didapatkan hasil torsi :

### 1. Variasi sudut $5^{\circ}$

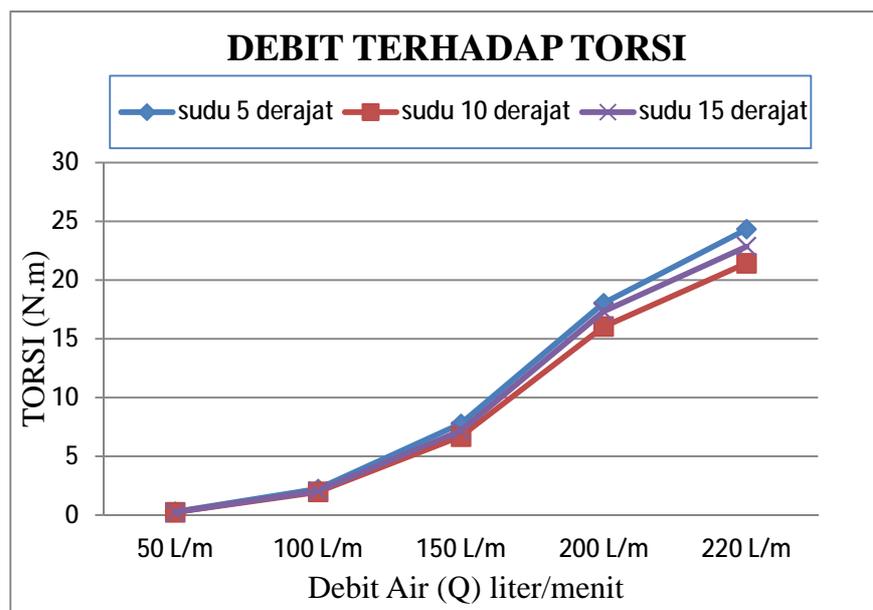
Didapat hasil torsi 0,3087 N.m dari debit 50 l/m, torsi 1,2644 N.m dari debit 100 L/m, torsi 2,9019 N.m dari debit 150 L/m, torsi 5,1447 N.m dari debit 200 L/m, torsi 6,2007 N.m dari debit 220 L/m.

### 2. Variasi sudut $10^{\circ}$

Didapat hasil torsi 0,3383 N.m dari debit 50 L/m, torsi 1,3757 N.m dari debit 100 L/m, torsi 3,1591 N.m dari debit 150 L/m, torsi 5,6115 N.m dari debit 200 L/m, torsi 6,7569 N.m dari debit 220 L/m.

### 3. Variasi sudut $15^{\circ}$

Didapat hasil torsi 0,2820 N.m dari debit 50 L/m, torsi 1,1477 N.m dari debit 100 L/m, torsi 2,6313 N.m dari debit 150 L/m, torsi 4,7399 N.m dari debit 200 L/m, torsi 5,7482 N.m dari debit 220 L/m.



Gambar 4.23. Grafik Debit Air Terhadap Torsi

### b. Debit air terhadap daya turbin

Hasil pada gambar 4.24 dibawah ini menunjukkan bahwa semakin besar debit air maka semakin besar juga daya turbin yang dihasilkan. Didapatkan dari debit air dengan menggunakan sudu turbin 3 yang telah dilakukan pengujian simulasi, dari gambar tersebut didapatkan hasil daya turbin :

1. Daya turbin variasi sudu  $5^0$

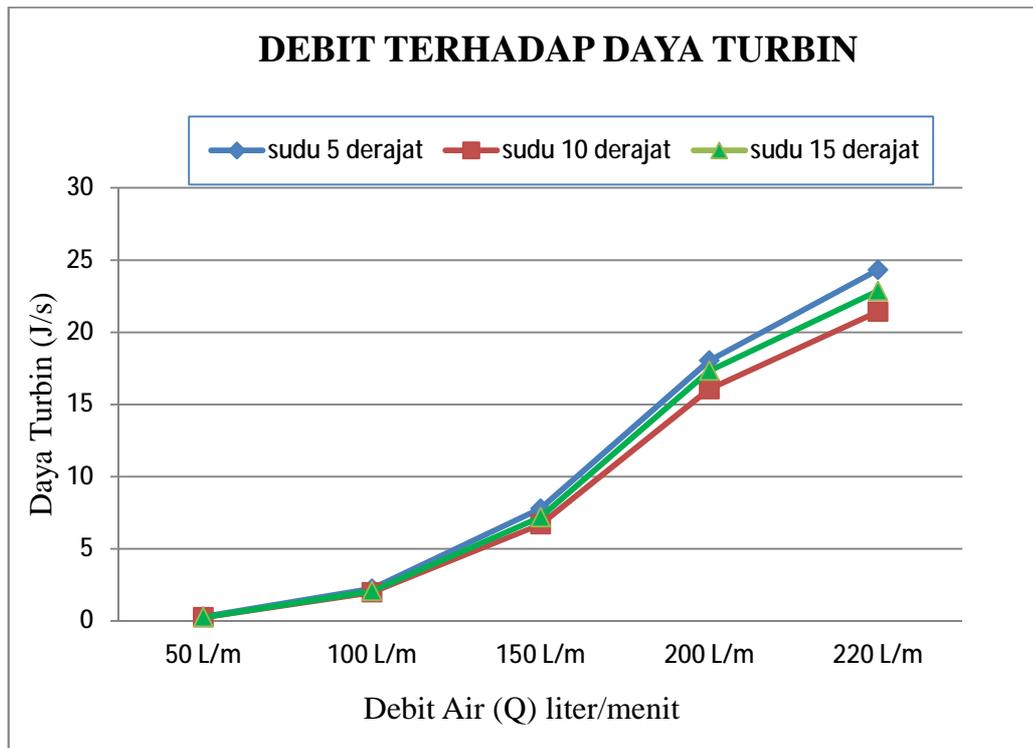
Didapat hasil daya turbin 0,2793 J/s dari debit 50 L/m, daya turbin 2,2256 J/s dari debit 100 L/m, daya turbin 7,7679 J/s dari debit 150 L/m, daya turbin 18,030 J/s dari debit 200 L/m, daya turbin 24,322 J/s dari debit 220 L/m.

2. Daya turbin variasi sudu  $10^0$

Didapat hasil daya turbin 0,2408 J/s dari debit 50 L/m, daya turbin 1,9649 J/s dari debit 100 L/m, daya turbin 6,6754 J/s dari debit 150 L/m, daya turbin 16,044 J/s dari debit 200 L/m, daya turbin 21,426 J/s dari debit 220 L/m.

3. Daya turbin variasi sudu  $15^0$

Didapat hasil daya turbin 0,2452 J/s dari debit 50 L/m, daya turbin 2,0500 J/s dari debit 100 L/m, daya turbin 7,1737 J/s dari debit 150 L/m, daya turbin 17,324 J/s dari debit 200 L/m, daya turbin 22,86 J/s dari debit 220 L/m.



Gambar 4.24. Grafik Debit Air Terhadap Daya Turbin

c. Debit air terhadap efisiensi turbin

Hasil pada gambar 4.25 dibawah ini menunjukkan bahwa efisiensi yang paling besar dihasilkan oleh besarnya daya turbin yang paling mendekati dengan besarnya daya air. Didapatkan dari debit air dengan menggunakan sudu turbin 3

yang telah dilakukan pengujian simulasi, dari gambar tersebut didapatkan hasil efisiensi :

1. Efisiensi turbin variasi sudu  $5^{\circ}$

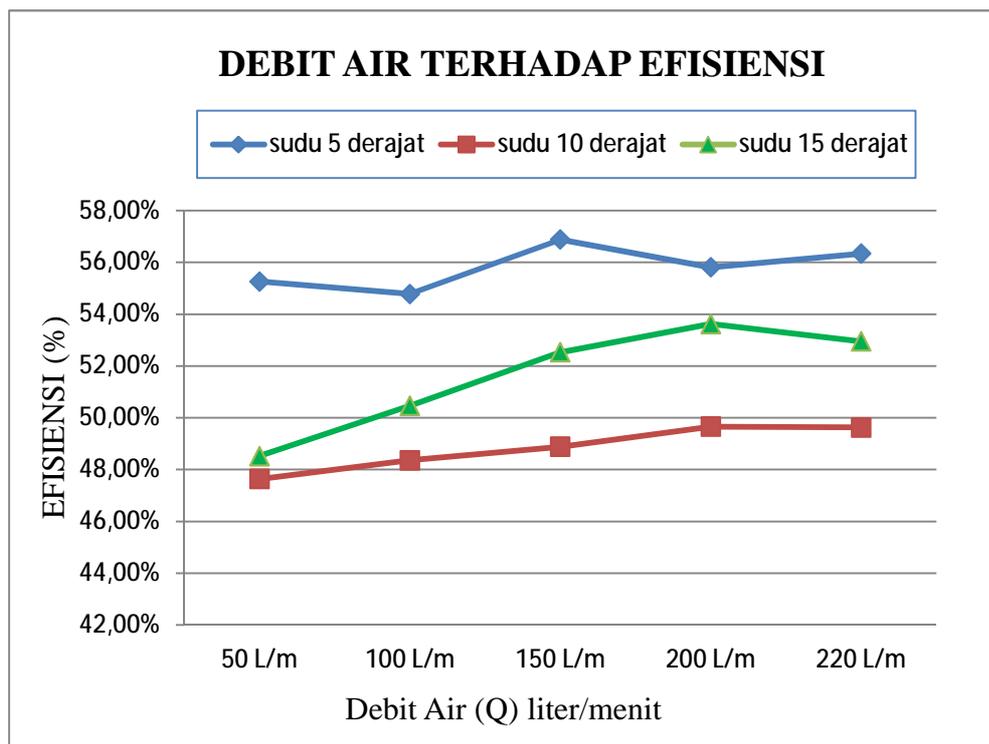
Didapat hasil efisiensi 55,26 % dari debit 50 L/m, efisiensi 54,78 % dari debit 100 L/m, efisiensi 56,88 % dari debit 150 L/m, efisiensi 55,81 % dari debit 200 L/m, efisiensi 56,34 % dari debit 220 L/m.

2. Efisiensi turbin variasi sudu  $10^{\circ}$

Didapat hasil efisiensi 47,64 % dari debit 50 L/m, efisiensi 48,36 % dari debit 100 L/m, efisiensi 48,88 % dari debit 150 L/m, efisiensi 49,66 % dari debit 200 L/m, efisiensi 49,63 % dari debit 220 L/m.

3. Efisiensi turbin variasi sudu  $15^{\circ}$

Didapat hasil efisiensi 48,52 % dari debit 50 L/m, efisiensi 50,46 % dari debit 100 L/m, efisiensi 52,53 % dari debit 150 L/m, efisiensi 53,62 % dari debit 200 L/m, efisiensi 52,95 % dari debit 220 L/m.



Gambar 4.25. Grafik Debit Air Terhadap Efisiensi

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari data perhitungan varisasi kemiringan sudu dengan kemiringan sudu  $5^0$ ,  $10^0$ ,  $15^0$  dengan debit 50 liter/menit, 100 liter/menit, 150 liter/menit, 200 liter/menit, 220 liter/menit yang tertera dilampiran dapat disimpulkan yaitu :

1. Pada pengujian kemiringan sudu  $5^0$ ,  $10^0$ ,  $15^0$  dengan debit 50 liter/menit, 100 liter/menit, 150 liter/menit, 200 liter/menit, 220 liter/menit di dapat torsi :
  - a. Torsi paling kecil pada kemiringan sudu 3 variasi sudut  $5^0$  di dapat Torsi =  $0,3087 N.m$  pada debit 50 liter/menit. Dan Torsi paling besar di dapat Torsi =  $6,2007 N.m$  pada debit 220 liter/menit.
  - b. Torsi paling kecil pada kemiringan sudu 3 variasi sudut  $10^0$  di dapat Torsi =  $0,3383 N.m$  pada debit 50 liter/menit. Dan Torsi paling besar di dapat Torsi =  $6,757 N.m$  pada debit 220 liter/menit.
  - c. Torsi paling kecil pada kemiringan sudu 3 variasi sudut  $15^0$  di dapat Torsi =  $0,282 N.m$  pada debit 50 liter/menit. Dan Torsi paling besar di dapat Torsi =  $5,748 N.m$  pada debit 220 liter/menit.
2. Pada pengujian kemiringan sudu  $5^0$ ,  $10^0$ ,  $15^0$  dengan debit 50 liter/menit, 100 liter/menit, 150 liter/menit, 200 liter/menit, 220 liter/menit di dapat Daya Turbin :
  - a. Daya Turbin paling kecil pada kemiringan sudu 3 variasi sudut  $5^0$  di dapat Daya Turbin =  $0,2793 J/s$  pada debit 50 liter/menit. Dan Daya Turbin paling besar di dapat Daya Turbin =  $24,322 J/s$  pada debit 220 liter/menit.
  - b. Daya Turbin paling kecil pada kemiringan sudu 3 variasi sudut  $10^0$  di dapat Daya Turbin =  $0,2408 J/s$  pada debit 50 liter/menit. Dan Daya Turbin paling besar di dapat Daya Turbin =  $21,426 J/s$  pada debit 220 liter/menit.
  - c. Daya Turbin paling kecil pada kemiringan sudu 3 variasi sudut  $15^0$  di dapat Daya Turbin =  $0,2452 J/s$  pada debit 50 liter/menit. Dan Daya Turbin paling besar di dapat Daya Turbin =  $22,859 J/s$  pada debit 220 liter/menit.

3. Pada pengujian kemiringan sudu  $5^0$ ,  $10^0$ ,  $15^0$  dengan debit 50 liter/menit, 100 liter/menit, 150 liter/menit, 200 liter/menit, 220 liter/menit di dapat Efisiensi :
- Efisiensi paling kecil pada kemiringan sudu  $5^0$  di dapat efisiensi = 55,26 % pada debit 50 liter/menit. Dan paling besar di dapat efisiensi = 56,78 % pada debit 150 liter/menit.
  - Efisiensi paling kecil pada kemiringan sudu  $10^0$  di dapat efisiensi = 47,64 % pada debit 50 liter/menit. Dan efisiensi paling besar di dapat efisiensi = 49,65 % pada debit 200 liter/menit.
  - Efisiensi paling kecil pada kemiringan sudu  $15^0$  di dapat efisiensi = 48,51 % pada debit 50 liter/menit. Dan efisiensi paling besar di dapat efisiensi = 53,62 % pada debit 200 liter/menit.

Pada kesimpulan ini didapat bahwa Daya yang paling efektif pada variasi kemiringan sudut sudu terhadap daya yang di hasilkan pada turbin pada kemiringan  $5^0$  dengan Daya Turbin paling besar di dapat Daya Turbin = 24,322 J/s pada debit 220 liter/menit. Di karenakan pada percobaan dengan kemiringan sudu  $5^0$  air yang masuk stabil dengan air yang keluar dikarenakan jika sudu turbin terlalu menutup akan mengakibatkan air tergenang di dalam rumah turbin sehingga akan memperlambat sudu berputar.

## 5.2 Saran

Untuk pengujian selanjutnya dapat juga dilakukan dengan memvariasikan bentuk-bentuk sudu dengan kemiringan sudu  $5^0$  dengan debit air yang lebih besar terhadap daya yang di hasilkan pada turbin agar performa yang ingin didapatkan lebih optimal tentunya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adiarso, A., & Sudargana, S. (2014). Uji Karakteristik Turbin Darrieus Pada Hydrofoil Naca 0021 Dengan Memanfaatkan Arus Air Di Cokro Tulung. *Jurnal Teknik Mesin Undip*, 2(1), 36–40.
- Al-attas, M. N., Ghoni, A., Index, T., Mauliyah, A., Pradana, R. R., Riset, K., Soleh, A. K., Syed, M., Naquib, M., (2009).
- Amri Wicaksana & Karnowo. (2018). *PENGARUH TWIST ANGLE TERHADAP KINERJA TURBIN AIR SUMBU VERTIKAL*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. 143–154.
- Brian, J. (2017). *Perancangan Dan Pembuatan Turbin Air Sebagai Pembangkit Listrik 750 Watt Pada Sungai Hidrokinetik*. 6–11.
- Deni Oktavianto, Untung Budiarto, Kiryanto. (2017). Analisa Pengaruh Variasi Bentuk Sudu, Sudut Serang Dan Kecepatan Arus Pada Turbin Arus Tipe Sumbu Vertikal Terhadap Daya Yang Dihasilkan Oleh Turbin. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(2), 421–430.
- Erifive Pranatal. (2016). *Studi Numerik Turbin Darriues Savonius Untuk Konversi Energi Arus Laut Kecepatan Rendah Dengan Menggunakan Simulasi Cfd*. Teknik Sistem Dan Pengendalian Kelautan Program Pascasarjana Teknologi Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Erlangga, G. P. (2017). *Studi Eksperimental Karakteristik Aerodinamik Airfoil NACA 4412 Dengan Variasi Kecepatan Aliran Udara*. 75.
- Farel H. Napitupulu, E. K. N. (2014). *Uji Performansi Turbin Angin Tipe Darrieus-H Dengan Profil Sudu Naca 0012 Dan Analisa Perbandingan Efisiensi Menggunakan Variasi Jumlah Sudu Dan Sudut Pitch*. 14.
- Fauzi, M. N., Harbintoro, S., Besar, B., & Perindustrian, K. (2016). *Terhadap Daya Dan Torsi Pada Turbin Pelton Regression Analysis To Determine Correlation of Power and Torsion for Pelton Turbine*. 38(2).
- Irsyad, M. (2010). Kinerja turbin air tipe darrieus dengan sudu hydrofoil standar

- naca 6512. *Ilmiah Teknik Mesin*, 1(2), 91–97.
- Khairul U, A M Siregar, & Surya Al-Amin. (2020). Pengaruh Jumlah Sudu Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Whirlpool Terhadap Kinerja. FT-UMSU. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*. 103-111
- Lety, T. (2019). *Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ( PLTMH ) Turbin Pelton Kapasitas 300 Watt Kajian Debit Dan Arah Aliran Pada Alat*. 118–122.
- Mafruddin, M., & Irawan, D. (2014). Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe Cross-Flow Sebagai Pembangkit Listrik Di Desa Bumi Nabung Timur. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 3(2), 7–12. <https://doi.org/10.24127/trb.v3i2.12>
- Mulyadi, M. (2014). *Analisis Aerodinamika Pada Pesawat Terbang*. 1–13.
- Nasution, E. S., Mesin, T., Muhammadiyah, U., & Utara, S. (2018). *Pembuatan Hydrofoil Turbin*. 2(1), 69–94.
- Panjang, A. P., Lunas, G., Arah, T., Wake, A., Kapal, P., Studi, T., Kapal, K., & Kragan, T. (2016). Analisa Pengaruh Panjang Dan Bentuk Geometri Lunas Bilga Terhadap Arah Dan Kecepatan Aliran (Wake) Pada Kapal Ikan Tradisional (Studi Kasus Kapal Tipe Kragan). *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(4), 345–352.
- Pietersz, Richard , Rudy Soenoko, S. W. (2013). Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 4(2), 93–100.
- Rendy K. (2019). Simulasi Numerik Kerugian Energi Pada Belokan Pipa, Tugas Akhir, *FT-UMSU*
- Sihombing, R. P. J., Gultom, S., Mesin, D. T., Teknik, F., Utara, U. S., & Air, P. T. (2014). *Analisa Efisiensi Turbin Vortex Dengan Casing Berpenampang Lingkaran Pada Sudu Berdiameter 56 Cm Untuk 3 Variasi Jarak Sudu Dengan Saluran Keluar*. 2, 143–148.
- Sudirman Lubis, Irpansyah Siregar dan A M Siregar. (2019). Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* <Http://Jurnal.Umsu.Ac.Id/Index.Php/RMME>, 2(2), 131–139.

## LAMPIRAN

### Simulasi Variasi sudut 5 Derajat.SLDASM [50 LITER PER MENIT [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	6.30141E-06	7.09236E-06	2.18431E-06	1.48902E-05	100	Yes	1.16595E-05	0.010683665
GG Torque (Y) 1	[N*m]	0.323611426	0.316971891	0.323611426	0.30869624	100	Yes	0.014915186	0.01547677
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.051785595	0.053891696	0.051785595	0.055163274	100	Yes	0.001150363	0.00581528
Kecepatan	[m/s]	0.031793893	0.031793893	0.031793893	0.031793893	100	Yes	0	3.17939E-10
Daya Air	[J/s]	0.50542582	0.50542582	0.50542582	0.50542582	100	Yes	0	5.05426E-09
Kecepatan Sudut	[m/s]	0.863093258	0.898194939	0.863093258	0.919387905	100	Yes	0.019172709	0.096921328
Daya Turbin	[J/s]	0.27930684	0.284633948	0.287194017	0.27930684	100	Yes	0.007887177	0.019740529

Iterations: 102

Analysis interval: 21

### Simulasi Variasi sudut 5 Derajat.SLDASM [100 LITER PER MENIT [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	1.11709E-05	1.34915E-05	1.5693E-06	2.53789E-05	100	Yes	1.57752E-05	0.021418632
GG Torque (Y) 1	[N*m]	1.325043896	1.297212125	1.325043896	1.264393411	100	Yes	0.060650486	0.063009047
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.101885729	0.104684677	0.101885729	0.108508844	100	Yes	0.004424039	0.011687947
Kecepatan	[m/s]	0.063740458	0.063740458	0.063740458	0.063740458	100	Yes	0	6.37405E-10
Daya Air	[J/s]	4.062845988	4.062845988	4.062845988	4.062845988	100	Yes	0	4.06285E-08
Kecepatan Sudut	[m/s]	1.698095478	1.744744614	1.697715429	1.808480741	100	Yes	0.073733975	0.194799117
Daya Turbin	[J/s]	2.250051048	2.262691071	2.29947	2.225635141	100	Yes	0.052125852	0.158200172

Iterations: 104

Analysis interval: 21

### Simulasi Variasi sudut 5 Derajat.SLDASM [150 LITER PER MENIT [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	1.3031E-05	1.74311E-05	4.09081E-06	3.62813E-05	100	Yes	2.81076E-05	0.03205382
GG Torque (Y) 1	[N*m]	3.036254461	2.975875639	3.036254461	2.901962685	100	Yes	0.134291776	0.141761701
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.154060787	0.159778838	0.15378853	0.167222435	100	Yes	0.007217831	0.017523443
Kecepatan	[m/s]	0.095419847	0.095419847	0.095419847	0.095419847	100	Yes	0	9.54198E-10
Daya Air	[J/s]	13.6574209	13.6574209	13.6574209	13.6574209	100	Yes	0	1.36574E-07
Kecepatan Sudut	[m/s]	2.567679778	2.662980632	2.563142173	2.78704058	100	Yes	0.12029719	0.292057385
Daya Turbin	[J/s]	7.796129181	7.921950951	8.090624299	7.767919916	100	Yes	0.193180302	0.536045067

Iterations: 107

Analysis interval: 21

### Simulasi Variasi sudut 5 Derajat.SLDASM [200 LITER PER MENIT [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	2.19455E-06	1.82905E-05	1.72933E-06	4.27894E-05	100	Yes	4.0967E-05	0.042709008
GG Torque (Y) 1	[N*m]	5.388785843	5.276200432	5.392633523	5.144731538	100	Yes	0.247901985	0.25271296
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.205833135	0.209071269	0.203867395	0.217306716	100	Yes	0.011594172	0.023352877
Kecepatan	[m/s]	0.127099237	0.127099237	0.127099237	0.127099237	100	Yes	0	1.27099E-09
Daya Air	[J/s]	32.30843191	32.30843191	32.30843191	32.30843191	100	Yes	0	3.23084E-07
Kecepatan Sudut	[m/s]	3.430552253	3.484521148	3.397789918	3.621778597	100	Yes	0.193236202	0.389214609
Daya Turbin	[J/s]	18.48651142	18.37995845	18.70303518	18.03046418	100	Yes	0.180057913	1.271406162

Iterations: 105

Analysis interval: 21

### Simulasi Variasi sudut 5 Derajat.SLDASM [220 LITER PER MENIT [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	2.68703E-05	2.52981E-05	6.64142E-07	4.81996E-05	100	Yes	4.88637E-05	0.047069688
GG Torque (Y) 1	[N*m]	6.504777266	6.36127244	6.504777266	6.200686321	100	Yes	0.304090945	0.307017044
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.229003789	0.232367159	0.227141091	0.238530117	100	Yes	0.010445945	0.025740891
Kecepatan	[m/s]	0.140076336	0.140076336	0.140076336	0.140076336	100	Yes	0	1.40076E-09
Daya Air	[J/s]	43.16703572	43.16703572	43.16703572	43.16703572	100	Yes	0	4.3167E-07
Kecepatan Sudut	[m/s]	3.816729817	3.872619312	3.78568485	3.975501952	100	Yes	0.174099086	0.429014842
Daya Turbin	[J/s]	24.82697734	24.62976027	25.01550613	24.32200791	100	Yes	0.583644479	1.700043647

Iterations: 102

Analysis interval: 21

### Simulasi Variasi sudut 10 Derajat.SLDASM [50 LITER PER MENIT [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	1.35287E-06	3.90369E-06	7.35092E-07	6.89136E-06	100	Yes	3.46733E-06	0.010683665
GG Torque (Y) 1	[N*m]	0.353823595	0.346752505	0.353823595	0.338327751	100	Yes	0.015495844	0.016452749
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.041415056	0.042240878	0.041081842	0.043512863	100	Yes	0.001915903	0.004985243
Kecepatan	[m/s]	0.031793893	0.031793893	0.031793893	0.031793893	100	Yes	0	3.17939E-10
Daya Air	[J/s]	0.50542582	0.50542582	0.50542582	0.50542582	100	Yes	0	5.05426E-09
Kecepatan Sudut	[m/s]	0.690250925	0.704014629	0.684697367	0.725214389	100	Yes	0.031931171	0.083087385
Daya Turbin	[J/s]	0.244227064	0.244073321	0.247990537	0.240798717	100	Yes	0.003019991	0.016261574

Iterations: 115

Analysis interval: 21

### Simulasi Variasi sudut 10 Derajat.SLDASM [100 LITER PER MENIT [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	8.01195E-06	8.52025E-06	4.5894E-06	1.55242E-05	100	Yes	9.08311E-06	0.021418632
GG Torque (Y) 1	[N*m]	1.440658833	1.411122341	1.440658833	1.375690241	100	Yes	0.064968591	0.066980048
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.087805127	0.086921222	0.083724302	0.088393852	100	Yes	0.00186729	0.010003737
Kecepatan	[m/s]	0.063740458	0.063740458	0.063740458	0.063740458	100	Yes	0	6.37405E-10
Daya Air	[J/s]	4.062845988	4.062845988	4.062845988	4.062845988	100	Yes	0	4.06285E-08
Kecepatan Sudut	[m/s]	1.463418787	1.44868704	1.39540503	1.473230873	100	Yes	0.031121495	0.166728948
Daya Turbin	[J/s]	2.108287201	2.044299002	2.108287201	1.964898565	100	Yes	0.090436428	0.130422079

Iterations: 111

Analysis interval: 21

### Simulasi Variasi sudut 10 Derajat.SLDASM [150 LITER PER MENIT [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	1.56041E-05	1.19926E-05	4.39711E-06	2.35251E-05	100	Yes	6.77091E-06	0.03205382
GG Torque (Y) 1	[N*m]	3.306782192	3.243190196	3.306782192	3.159134497	100	Yes	0.147647695	0.150929731
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.124269937	0.125614168	0.123156901	0.128160554	100	Yes	0.005003653	0.014991719
Kecepatan	[m/s]	0.095419847	0.095419847	0.095419847	0.095419847	100	Yes	0	9.54198E-10
Daya Air	[J/s]	13.6574209	13.6574209	13.6574209	13.6574209	100	Yes	0	1.36574E-07
Kecepatan Sudut	[m/s]	2.071165618	2.093569465	2.052615014	2.136009232	100	Yes	0.083394218	0.249861984
Daya Turbin	[J/s]	6.84889358	6.788920599	6.89659302	6.675453556	100	Yes	0.129724656	0.43604445

Iterations: 117

Analysis interval: 21

### Simulasi Variasi sudut 10 Derajat.SLDASM [200 LITER PER MENIT [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	1.15058E-05	2.12023E-05	5.97459E-06	3.64342E-05	100	Yes	7.22122E-06	0.042709008
GG Torque (Y) 1	[N*m]	5.862410259	5.751180966	5.862410259	5.611489969	100	Yes	0.25092029	0.270472655
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.167548746	0.17054094	0.166356215	0.17571154	100	Yes	0.003270432	0.019972951
Kecepatan	[m/s]	0.127099237	0.127099237	0.127099237	0.127099237	100	Yes	0	1.27099E-09
Daya Air	[J/s]	32.30843191	32.30843191	32.30843191	32.30843191	100	Yes	0	3.23084E-07
Kecepatan Sudut	[m/s]	2.792479096	2.842340996	2.772603587	2.928525664	100	Yes	0.054507194	0.332882513
Daya Turbin	[J/s]	16.3706581	16.3432591	16.5549946	16.04455924	100	Yes	0.510435357	1.026690089

Iterations: 115

Analysis interval: 21

### Simulasi Variasi sudut 10 Derajat.SLDASM [220 LITER PER MENIT [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	9.46894E-06	2.35254E-05	9.46894E-06	3.63119E-05	100	Yes	1.04126E-05	0.047069688
GG Torque (Y) 1	[N*m]	7.075801214	6.940779595	7.075801214	6.756917146	100	Yes	0.318884068	0.329083977
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.183100286	0.189005298	0.181855461	0.19447148	100	Yes	0.005539394	0.022007677
Kecepatan	[m/s]	0.140076336	0.140076336	0.140076336	0.140076336	100	Yes	0	1.40076E-09
Daya Air	[J/s]	43.16703572	43.16703572	43.16703572	43.16703572	100	Yes	0	4.3167E-07
Kecepatan Sudut	[m/s]	3.05167144	3.150088294	3.030924356	3.241191133	100	Yes	0.092323239	0.366794623
Daya Turbin	[J/s]	21.59302048	21.85840625	22.18354323	21.42588992	100	Yes	0.757653305	1.373396691

Iterations: 113

Analysis interval: 21

### Simulasi Variasi sudut 15 Derajat.SLDASM [50 LITER PER MENIT [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	7.51365E-06	5.05187E-06	2.26867E-06	8.40801E-06	100	Yes	6.13934E-06	0.010683665
GG Torque (Y) 1	[N*m]	0.296409507	0.289809306	0.296409507	0.282000659	100	Yes	0.014408848	0.014515576
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.052200484	0.052105129	0.05179286	0.052615868	100	Yes	0.000823018	0.005843328
Kecepatan	[m/s]	0.031793893	0.031793893	0.031793893	0.031793893	100	Yes		0.317939E-10
Daya Air	[J/s]	0.50542582	0.50542582	0.50542582	0.50542582	100	Yes		0.505426E-09
Kecepatan Sudut	[m/s]	0.870008064	0.868418824	0.86321417	0.876931131	100	Yes	0.013716961	0.097388795
Daya Turbin	[J/s]	0.257878661	0.251674717	0.257878661	0.245227391	100	Yes	0.01265127	0.019610414

Iterations: 96

Analysis interval: 21

### Simulasi Variasi sudut 15 Derajat.SLDASM [100 LITER PER MENIT [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	4.5369E-06	1.47748E-06	2.40114E-06	3.20016E-06	100	Yes	2.25209E-06	0.021418632
GG Torque (Y) 1	[N*m]	1.202982714	1.18178903	1.202982714	1.147676214	100	Yes	0.055306499	0.058980621
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.104071032	0.106659419	0.104071032	0.108213972	100	Yes	0.002921516	0.011729834
Kecepatan	[m/s]	0.063740458	0.063740458	0.063740458	0.063740458	100	Yes		0.637405E-10
Daya Air	[J/s]	4.062845988	4.062845988	4.062845988	4.062845988	100	Yes		0.406285E-08
Kecepatan Sudut	[m/s]	1.734517196	1.777656975	1.734517196	1.803566196	100	Yes	0.048691932	0.195497232
Daya Turbin	[J/s]	2.086594203	2.10053242	2.124169194	2.060047561	100	Yes	0.074121633	0.157127145

Iterations: 94

Analysis interval: 21

### Simulasi Variasi sudut 15 Derajat.SLDASM [150 LITER PER MENIT [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	5.64995E-06	2.59677E-06	5.64995E-06	3.67169E-06	100	Yes	3.1067E-06	0.03206382
GG Torque (Y) 1	[N*m]	2.759534477	2.705895485	2.759534477	2.631310234	100	Yes	0.128224243	0.132395404
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.164000396	0.16469445	0.163365541	0.166047547	100	Yes	0.002682006	0.017569803
Kecepatan	[m/s]	0.095419847	0.095419847	0.095419847	0.095419847	100	Yes		0.954198E-10
Daya Air	[J/s]	13.6574209	13.6574209	13.6574209	13.6574209	100	Yes		0.136574E-07
Kecepatan Sudut	[m/s]	2.73333994	2.744907496	2.722759016	2.767459111	100	Yes	0.044700095	0.292830049
Daya Turbin	[J/s]	7.542745802	7.427780746	7.564488559	7.173706765	100	Yes	0.390781794	0.526062516

Iterations: 97

Analysis interval: 21

### Simulasi Variasi sudut 15 Derajat.SLDASM [200 LITER PER MENIT [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	1.61556E-05	3.45146E-06	1.04844E-05	5.33071E-05	100	Yes	4.011E-05	0.042709008
GG Torque (Y) 1	[N*m]	4.968515521	4.869649572	4.968515521	4.739928526	100	Yes	0.228586995	0.236039547
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.212232882	0.215562077	0.210907741	0.219571103	100	Yes	0.002663364	0.023407436
Kecepatan	[m/s]	0.127099237	0.127099237	0.127099237	0.127099237	100	Yes		0.127099E-09
Daya Air	[J/s]	32.30843191	32.30843191	32.30843191	32.30843191	100	Yes		0.323084E-07
Kecepatan Sudut	[m/s]	3.537214692	3.592701276	3.515129023	3.659518389	100	Yes	0.044389406	0.390123929
Daya Turbin	[J/s]	17.5747061	17.49204587	17.63572782	17.32397307	100	Yes	0.31175475	1.239910563

Iterations: 100

Analysis interval: 21

### Simulasi Variasi sudut 15 Derajat.SLDASM [220 LITER PER MENIT [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	1.27229E-05	2.64703E-06	7.74026E-06	6.2991E-06	100	Yes	5.239E-06	0.047069688
GG Torque (Y) 1	[N*m]	6.034217188	5.907716436	6.034217188	5.748226831	100	Yes	0.285990357	0.286367287
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.232828976	0.236734144	0.232828976	0.238848862	100	Yes	0.002643625	0.025799713
Kecepatan	[m/s]	0.140076336	0.140076336	0.140076336	0.140076336	100	Yes		0.140076E-09
Daya Air	[J/s]	43.16703572	43.16703572	43.16703572	43.16703572	100	Yes		0.43167E-07
Kecepatan Sudut	[m/s]	3.88048294	3.945569069	3.88048294	3.980814363	100	Yes	0.044060416	0.429995215
Daya Turbin	[J/s]	23.41567685	23.30736636	23.70933361	22.85988659	100	Yes	0.84944702	1.658828306

Iterations: 99

Analysis interval: 21

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### A. DATA PRIBADI

Nama : Fandi Hariadi  
Jenis Kelamin : Laki-Laki  
Tempat, Tanggal Lahir : Sei Meranti, 28 Maret 1997  
Alamat : Emplasmen Sei Meranti, Torgamba  
Agama : Islam  
E-mail : [fandihariadi63@gmail.com](mailto:fandihariadi63@gmail.com)  
No.Hp : 0812-6510-0241

### B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Negeri 028 Bahtera Makmur Tahun 2003-2009
2. SMP Negeri 1 Bagan Sinembah Tahun 2009-2012
3. SMA Pembangunan Bagan Batu Tahun 2012-2015
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2015-2020