

# **TUGAS AKHIR**

## **SIMULASI NUMERIK UNJUK KERJA TURBIN AIR SAVONIUS DARRIEUS NACA 0018 TERHADAP VARIASI JUMLAH SUDU**

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

**Disusun Oleh:**

**SYAHRIN FAUZI HARAHAH**

**1507230203**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

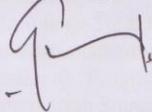
Nama : Syahrin Fauzi Harahap  
NPM : 1507230203  
Judul Skripsi : Simulasi Numerik Unjuk Kerja Turbin Air Savonius Darrieus  
Naca 0018 Terhadap Variasi Jumlah Sudu  
Bidang ilmu : Konversi Energi

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, 03 November 2020

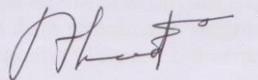
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



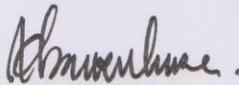
Chandra A Siregar, S.T.,M.T

Dosen Penguji II



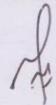
Ahmad Marabdi Siregar, S.T.,M.T

Dosen Penguji III



Khairul Umurani, S.T., M.T

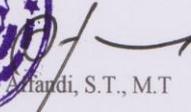
Dosen Penguji IV



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



Program Studi Teknik Mesin  
Ketua,



Arifandi, S.T., M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Syahrin Fauzi Harahap  
Tempat /Tanggal Lahir : Padangsidempuan 14 februari 1997  
NPM : 1507230203  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

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

**“SIMULASI NUMERIK UNJUK KERJA TURBIN AIR SAVONIUS DARRIEUS NACA 0018 TERHADAP VARIASI JUMLAH SUDU”,**

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.

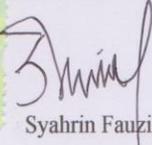
Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

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, 11 November 2020



Saya yang menyatakan,

  
Syahrin Fauzi Harahap

## ABSTRAK

Keperluan akan energi dari tahun ketahun selalu meningkat, baik itu untuk kebutuhan domestik maupun industri dan lainnya. Dan oleh karena itu meningkatnya keperluan akan energi ini tidak dapat diimbangi oleh energi berbahan bakar fosil. pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan guna untuk menggantikan sumber energi bahan bakar fosil. Maka dari itu potensi air sebagai sumber energi terutama digunakan sebagai penyediaan energi listrik melalui pembangkit listrik tenaga air. Diwilayah indonesia maupun di dunia telah banyak dikembangkan pembangkit listrik dengan menggunakan turbin. Turbin savonius darrieus yang pada umumnya merupakan turbin angin dan baru belakangan ini dikembangkan untuk turbin air berdasarkan dari prinsip kerjanya rotor tipe turbin savonius dengan gaya hambat dan tipe turbin darrieus dengan gaya angkat. Tujuan penelitian ini untuk menganalisa unjuk kerja turbin air savonius darrieus naca 0018 terhadap variasi jumlah sudu. Metode simulasi penelitian ini menentukan Skala *Mash* dan menentukan *boundary condition*. Simulasi dari hasil penelitian dengan 2 buah sudu memiliki torsi terbesar 6,709 N.m dengan debit 220 liter/menit, daya turbin 7,002 Watt dan efisiensi 16,309%., 3 buah sudu memiliki torsi terbesar 6,290 N.m dengan debit 220 liter/menit, daya turbin 0,878 watt dan efisiensi 2,045%. Maka demikian semakin tinggi debit aliran maka torsi dan daya semakin besar.

Kata Kunci : Variasi Sudu, Simulasi, Turbin Savonius Darrieus, variasi Debit.

## ABSTRACT

*The necessary of energy increases over the year, whether domestic or industrial and so on. Therefore, the increased of energy requirements cannot be offset by fossil-fueled energy. The utilized of alternative energy source that are modern and environmentally friendly is an option in order to replace fossil fuel energy source. Hence, water is a potential energy source that can be used to supply electrical energy through hydroelectric power. In the world wide aspect, including Indonesia, excessive power plants using turbines have been developed. Savonius Darrius turbine is one of generally turbines using wind and has only recently been developed for water turbines. The aim of this research was to analyze the performance of water Savonius Darius turbine naca 0018 on the number of blades variations. This research simulation method determined the Mash Scale and the boundary condition. The result from simulation with 2 blades found that there is greatest torque of 6,709 N.m with discharge 220 liter/minute and power of turbine 7,002. J/s, and efiesensi 16,309%. 3 blades found that is greatest torque of 6,290 N.m with discharge 220 liter/minute and power of turbine 0,878 J/s and efiesensi 2,045% the higher the flow of water, the greater the torque and energy .*

*Keywords: Blades variation, Simulation, Savonius Darrieus Turbine, Discharge of Variation.*

## 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 Unjuk Kerja Turbin Air Savonius Darrieus Naca 0018 Terhadap Variasi Jumlah Sudu” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

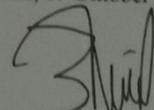
Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
2. Bapak H.Muharnif, S.T.,M.Sc selaku Dosen Pimbimbing 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 Pembanding I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Sekertaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Ahmad Marabdi Siregar S.T.,M.T. selaku Dosen Pembanding II yang telah banyak memberi koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhr ini.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T.,M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Dr. Ade Faisal selaku Wakil 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 teknik mesin kepada penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Teruntuk kedua orang tua tercinta penulis yaitu ayah Syahrudin Harahap dan ibunda Sarina Pulungan yang telah membesarkan, mengasuh, mendidik serta senantiasa memberikan kasih sayang, doa yang tulus dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan program studi teknik mesin di universitas muhammadiyah sumatera utara.
10. Sahabat-sahabat penulis fakultas teknik mesin 2015 Febri Antoni S, Fandi Hariadi, Fahrudin Arazi, Aris munandar Hsb, Aswan Daulay, Ricky Harianto, Wahyu Eka Syaputra, Ibnu Manda, Ilham Nasution dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu persatu.
11. Sahabat Kost Penulis Fahrul Rozi Nst, S.farm ,Apt, Zul Fadli Siregar Spd, M. Taufik S.H, Ikhran Batubara S.H yang telah banyak memberi support.
12. Sahabat penulis lainnya Beni candra, Novi Adyaputri, Sahara Murni Tanjung, Inaya, Riski, Zulham Saragi, Nida Sri Rahmita Hsb dll yang tidak bisa di sebut 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 Mesin.

Medan, 19 Oktober 2020



Syahrin Fauzi Harahap

## 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>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>4</b>
2.1. Sejarah Tenaga Air	4
2.2. Turbin	5
2.2.1. Turbin Air	5
2.2.2. Perinsip Kerja Turin Air	5
2.2.3. Karakteristik Turbin	6
2.2.3. Klasifikasi Turbin Air	6
2.3. Komponen-Komponen Turbin	7
2.4. Macam-Macam Aliran Fluida	8
2.5. Defenisi Turbin Savonius Dan Derrieus	9
2.5.1. Turbin Savonius	9
2.5.2. Turbin Darrieus	10
2.5.3. Kombinasi Turbin Savonius Dan Darrieus	11
2.6. Sudu	12
2.7. Airfoil Naca	12
2.8. Simulasi Dengan Metode Numeric	13
2.9. CFD ( <i>Computational Fluid Dynamics</i> )	13
2.10. Daya Air Dan Turbin	15
2.11. Analisa Perhitungan Turbin	16
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b>	<b>19</b>
3.1. Tempat Dan Waktu	19
3.1.1. Tempat	19
3.1.2. Waktu	19

3.2. Alat Penelitian	20
3.2.1. Alat	20
3.3. Diagram Alir	22
3.4. Prosedur Penelitian	23
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>26</b>
4.1. Validasi Penelitian	26
4.1.1. Pre Processing	26
4.1.1.1. Desain Rumah Sudu Savonius Darrieus	26
4.1.1.2. Desain Sudu Savonius Darrieus	29
4.1.2. Wizard	34
4.2. Hasil Simulasi	39
4.2.1. Mashing	39
4.2.2. Kontur Tekanan Fluida	40
4.2.3. Vektor Kecepatan Fluida	42
4.2.3.1. Sudu 2 Turbin Savonius Darrieus	42
4.2.3.2. Sudu 3 Turbin Savonius Darrieus	42
4.3. Efisiensi	45
4.3.1. Putaran Sudut	45
4.3.2. Perhitungan Efisiensi Turbin	48
4.4. Grafik Hasil Simulasi.	51
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>54</b>
5.1. Kesimpulan	54
5.2. Saran	54
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>DAFTAR ASITENSI</b>	
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.	19
Tabel 3.2 Inlet Volume Flow	24
Tabel 4.1 Wizard	34
Tabel 4.2 Boudary Condition	35
Tabel 4.3 Goals Yang Digunakan	36
Tabel 4.4 Equalition Goals	39
Tabel 4.5 Kecepatan Aliran Linear Sudu 2	46
Tabel 4.6 Kecepatan Aliran Linear Sudu 3	47
Tabel 4.7 Data Hasil Simulasi Sudu 2	48
Tabel 4.8 Data Hasil Simulasi Sudu 3	49

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alira Linear	8
Gambar 2.2 Aliran Transisi	8
Gambar 2.3 Alira Turbulant	9
Gambar 2.4 Turbin Savonius	10
Gambar 2.5 Turbin Darrieus	11
Gambar 2.6 Airfoli Naca 0018	12
Gambar 3.1 Laptop	20
Gambar 3.2 Software Solidwork	21
Gambar 3.3 Diagram Alir	22
Gambar 4.1 Tahap awal solidworks	26
Gambar 4.2 Top Plane	27
Gambar 4.3 Desain 2D diameter rumah	27
Gambar 4.4 Desain Rumah Sudu 3D	28
Gambar 4.5 Pintu Keluar Air	28
Gambar 4.6 Desain Pintu Masuk Air	29
Gambar 4.7 Skech 2D Sudu Darrieus	29
Gambar 4.8 Sudu 3D Darrieus	30
Gambar 4.9 Skech 2D Diameter Dudukan Sudu Savonius	30
Gambar 4.10 Skech 3D Diameter Dudukan Sudu Savonius	31
Gambar 4.11 Sudu 2 Savonius	31
Gambar 4.12. Sudu 3 Savonius	32
Gambar 4.13 Batang Penyangga	32
Gambar 4.14 Gabungan Sudu 2 Savonius Darrieus	33
Gambar 4.15 Gabungan Sudu 3 Savonius Darrieus	33
Gambar 4.16 Rumah Dan Sudu Savonius Darrieus	34
Gambar 3.17 <i>Goals</i>	39
Gambar 3.18 Hasil <i>Mash</i>	40
Gambar 4.19 Kontur Tekanan 2 Sudu	41
Gambar 4.20 Kontur Tekanan 3 Sudu	42
Gambar 4.21 Vektor Kecepatan Fluida 2 buah sudu	43
Gambar 4.22 Vektor Kecepatan Fluida 3 buah sudu	44
Gambar 4.23 Kecepatan Linear	45
Gambar 4.24 Gerafik Debit Terhadap Torsi	51
Gambar 4.25 Gerafik Debit Air Terhadap Daya Turbin	52
Gambar 4.26 Gerafik Debit air Terhadap Efisiensi	53

## 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. $\rho$	Kerapatan Air	$kg/m^3$
12. $\eta_t$	Efesiensi turbin	%
13. $d_n$	Diameter nozzle	m
14. $D_t$	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. $\omega$	Kecepatan Keliling	rpm

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### 1.1.Latar Belakang

Keperluan akan energi dari tahun ketahun selalu mengalami peningkatan, baik itu untuk kebutuhan domestik maupun industri dan lainnya. Oleh karena itu meningkatnya keperluan akan energi ini tidak dapat diimbangi oleh energi berbahan bakar fosil. Seperti yang diketahui sebagian besar sumber energi banyak diambil dari bahan tambang seperti batubara, minyak dan gas. Maka dari itu masih banyak sumber energi yang dapat kita manfaatkan dan ramah lingkungan sebagai sumber energi alternatif. (Budi Sugiharto,2010).

Seperti yang telah kita ketahui bahwa cadangan sumber energi yang kita miliki yaitu bahan bakar seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara sangat terbatas, apabila dipergunakan secara terus menerus maka suatu saat energi tersebut akan habis, dan juga apabila terus menerus menggunakan bahan bakar fosil akan berdampak pada lingkungan kita. Disamping itu juga kecenderungan melonjaknya harga sumber energi tersebut. Dan oleh karena itu pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan guna untuk menggantikan sumber energi bahan bakar fosil. Maka dari itu potensi air sebagai sumber energi terutama digunakan sebagai penyediaan energi listrik melalui pembangkit listrik tenaga air maupun mikrohidro. (Purnama et al., 2013)

Aliran air memiliki energi tekanan tinggi dan energi tekanan rendah dan maka dari itu untuk pemanfaatan energi aliran air bertekanan tinggi sudah banyak dibuat di berbagai wilayah baik itu di Indonesia maupun di dunia. Hingga sampai saat ini pemanfaatan energi aliran air tekanan rendah untuk berbagai keperluan masih sangat minim. Untuk mengkonversikan energi aliran air bertekanan rendah menjadi energi mekanis biasanya menggunakan berbagai jenis turbin air yaitu turbin air berporos horizontal, dan turbin air berporos vertikal. Diwilayah Indonesia maupun di dunia telah banyak dikembangkan pembangkit listrik dengan menggunakan turbin. (Victus Kolo Koten1, 2017)

Dalam pembuatan suatu turbin hasil yang kita harapkan tentunya mempunyai efisiensi dan kehandalan yang tinggi seperti pada halnya turbin yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah jenis turbin air poros vertikal yaitu turbin savonius dan turbin darrieus dengan tipe H yang pada umumnya merupakan turbin angin dan baru belakangan ini dikembangkan untuk turbin air. Berdasarkan dari prinsip kerjanya rotor vertikal dapat dibagi menjadi dua tipe yaitu rotor tipe turbin savonius dengan gaya hambat dan tipe turbin darrieus dengan gaya angkat pada sudu sehingga penampang sudunya berupa *airfoil*, adapun *airfoil* sudu turbin darrieus yang akan digunakan dalam penelitian ini menggunakan naca 0018. Dalam pembuatan sudu turbin air darrieus lebih sulit dibanding dengan turbin air savonius karena dalam pembuatan sudunya kita perlu mengetahui tentang *airfoil*. Jenis turbin darrieus dapat bekerja dengan kecepatan air tinggi. Sedangkan turbin savonius dapat bekerja dalam kecepatan air rendah, adapun dalam proses pembuatan turbin savonius sangat sederhana kita dapat membuat dengan menggunakan bahan berupa plat ataupun pipa yang dibelah menjadi dua kemudian disusun menyerupai huruf S dan dalam pembuatannya tidak memerlukan biaya yang cukup mahal.(Atmadi & Fitroh, 2008) .

Berdasarkan latar belakang dan dengan referensi yang didapat mengenai turbin *Savonius Darrieus* penulis tertarik mengajukan dengan judul “SIMULASI NUMERIK UNJUK KERJA TURBIN AIR SAVONIEUS DARRIEUS NACA 0018 TERHADAP VARIASI JUMLAH SUDU”. Diharapkan agar para pembaca, khususnya yang terlibat dalam penelitian turbin dapat mengetahui cara kerja dari turbin dan semoga dapat bermanfaat bagi pembaca.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan diatas maka yang akan dibahas berkaitan dengan hal tersebut antara lain:

Bagaimana unjuk kerja turbin savonius darrieus naca 0018 terhadap variasi jumlah sudu?

### 1.3. Ruang Lingkup.

Karena luasnya permasalahan penulis merasa perlu untuk membatasi masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini mengingat keterbatasan waktu, tempat, kemampuan dan pengalaman.

- a. Melakukan simulasi *CFD* fluida pada turbin savonius darrieus dengan menggunakan *software solidwork flow simulation*.
- b. Turbin air savonius darrieus memakai variasi jumlah 2 dan 3 buah sudu.
- c. Menggabungkan dua turbin savonius darrieus untuk menghasilkan daya putar.
- d. Memvariasikan debit aliran 50 L/m, 100 L/m, 150 L/m, 200 L/m, 220 L/m.

### 1.4. Tujuan

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah:

1. Untuk menganalisa torsi turbin savonius darrieus dari setiap jumlah sudu.
2. Untuk menganalisa daya turbin turbin savonius darrieus dari setiap jumlah sudu.
3. Untuk menganalisa efesiensi turbin savonius darrieus dari setiap jumlah sudu.

### 1.5. Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Dalam pembuatan skala besar dapat menjadi energi terbarukan.
2. Dapat dipakai untuk kebutuhan kehidupan sehari-hari.
3. Sebagai refrensi buat penulis.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### 2.1 Sejarah Tenaga Air

Ribuan tahun yang lalu manusia telah memanfaatkan tenaga air untuk beberapa keperluan, misalnya untuk menaikkan air keperluan irigasi, menggiling padi dan sebagainya. Di daerah-daerah terpencil masih digunakan roda air. Contoh sisa-sisa roda air yang dibuat dari bambu atau dari kayu dengan diameter yang besar masih dapat dilihat disungai Hoang Ho (China), sungai Nil (Mesir), sungai Eufrat (Irak). Efisiensi roda air yang dijalankan oleh aliran air tanpa menggunakan seluruh potensi air yang terdapat dalam sungai, tentu kecil sekali. Perbaikan cara ini dilakukan pada abad ke-15. Untuk menjalankan roda dibuat saluran tersendiri dengan macam- macam roda air.

Penemuan turbin merupakan kemajuan yang berarti dalam pengembangan tenaga air. Turbin pertama, yang memanfaatkan gaya semprotan air, dirancang oleh J.A Segner (1704-1777), yang digunakan pada sungai Leine (Jerman) di Norten dengan penjelasan yang diterbitkan pada tahun 1750, dan kemudian beberapa sarjana yang merancang beberapa macam turbin yang sekarang tidak digunakan lagi. (O.F.PATTY 1995 Tenaga Air)

Pembangkit daya tenaga air ditemukan manusia pada abad 18 dan awal abad 19, salah satu perancangnya adalah Benoit Fourneyron dari L'Ecole des Mines di Saint- Etienne, Perancis. Penggerak utama pada pembangkit daya listrik tenaga air adalah turbin air, dimana energi fluida diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk kerja poros, keluaran daya dari kerja poros pada umumnya dinyatakan dalam kW. Air dari sungai, atau berbagai sumber air yang lain di tampung pada sebuah kolam tandon atau waduk, kemudian dialirkan menuju turbin dengan kapasitas dan tinggi tekanan tertentu. Energi air diubah menjadi energi mekanik oleh sudu atau mangkuk turbin yang terpasang tetap di sekeliling roda putar turbin. Walaupun biaya awal sebuah pembangkit listrik tenaga air pada umumnya cukup tinggi jika di banding pembangkit termal, namun banyak keuntungan yang didapatkan dari pembangkit tersebut antara lain: efisiensi tinggi , pengoperasiannya

fleksibel, mudah perawatannya, tingkat kerusakan akibat aus atau retak tergolong rendah, berpotensi dapat memberikan energi secara terus menerus, tidak mengotori atmosfer. (Budiarso dan Harinaldi. 2015)

## 2.2 Turbin

Turbin adalah sebuah mesin yang berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Turbin sederhana memiliki satu bagian yang bergerak, ‘*assembly rotor-blade*’ fluida yang bergerak menjadi baling-baling berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor.

### 2.2.1 Turbin Air

Turbin air merupakan sebuah mesin pembangkit listrik yang fluida kerjanya menggunakan air. Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Turbin air berfungsi untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Dan kemudian energi mekanik inipun akan diubah menjadi energi listrik oleh generator. Untuk menghasilkan suatu listrik maka sumber air yang akan digunakan arus air yang mengalir seperti sungai ataupun air terjun. Adapun jatuh air yang mengalir dari suatu ketinggian akan menghasilkan gravitasi maka didalam air tersebut memiliki energi potensial yang biasa digunakan untuk tenaga listrik. Sebelum dikonversikan menjadi energi mekanik oleh turbin. Energi potensial yang digunakan di konversikan terlebih dahulu menjadi energi kinetik. Maka energi kinetik dari air memberikan gaya dorong ataupun tekanan terhadap sudu-sudu turbin tersebut. Sehingga bentuk energi dari kinetik dari air dikonversikan menjadi energi mekanik. Turbin tersebut digunakan untuk menggerakkan rotor generator yang kemudian mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. (Srijaya et al., 2016).

### 2.2.2. Perinsip Kerja Turbin Air.

Adapun prinsip kerja dari turbin air ialah pada roda turbin terdapat sudu yaitu sudu kontruksi dengan model dan penampang tertentu, air sebagai media fluida kerjanya mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut, dengan demikian maka roda turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada suatu gaya yang

bekerja. Maka Gaya tersebut akan terjadi karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir diantara sudunya. Oleh karena itu dalam pembuatan Sudu hendaknya dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja air tersebut. (Sahbana et al., 2018)

### 2.2.3. Karakteristik Turbin

Sebuah turbin pada dasarnya mempunyai parameter karakteristik yang besarnya berbeda-beda. dimana perbedaan besaran maupun karakteristik pada setiap turbin tergantung dari konstruksi bentuk sudu-sudu turbin maupun ukuran dari sudu-sudu tersebut dan juga perbedaannya dapat kita dilihat dari konstruksi turbin keseluruhannya. Maka dalam merancang bentuk sudu-sudu turbin kita harus memperhitungkan adanya jenis kecepatan. (Victus Kolo Koten1, 2017)

### 2.2.4. Klasifikasi Turbin Air

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin tekanan sama (aksi) dan turbin tekanan lebih (reaksi).

- a. Turbin tekanan sama (aksi) ataupun turbin impus merupakan sebuah turbin dimana tekanan air yang keluar atau terpancar melalui nossle memiliki tekanan yang sama dengan tekanan atmosfer disekitarnya. Sehingga energi tempat dan energi tekananya ketika masuk kesudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Contoh dari turbin impus ialah turbin pelton.
- b. Turbin tekanan lebih (reaksi) adalah sebuah turbin dimana tekanan air sebelum masuk roda turbin lebih besar dari pada tekanan air saat keluar roda turbin. Secara umum dapat dikatakan bahwa aliran air yang masuk keroda turbin mempunyai energi penuh, kemudian energi ini dipakai sebagian untuk menggerakkan roda turbin dan sebagian lagi dipergunakan untuk mengeluarkan air kesaluran pembuangan.

### 2.3. Komponen-Komponen Turbin

Komponen –komponen utama pada turbin adalah sebagai berikut:

#### 1. Stator

Stator turbin terdiri dari dua bagian yaitu *casing* dan sudu diam/sudu tetap (*fixed blade*)

##### a. *Casing*

*Casing* atau *shell* adalah suatu wadah berbentuk menyerupai sebuah tabung dimana rotor ditempatkan diluar *casing* dipasang bantalan yang berfungsi untuk menyangga rotor.

##### b. Sudu tetap

Sudu merupakan bagian dari turbin dimana konversi energy terjadi sudu terdiri dari bagian akar sudu badan sudu dan ujung sudu. Sudu kemudian dirangkai sehingga membentuk sebuah lingkaran penuh.

#### 2. Rotor

Rotor adalah bagian yang berputar terdiri dari poros dan sudu-sudu gerak yang terpasang mengelilingi rotor.

##### a. Poros

Poros dapat berupa silinder panjang yang *solid* atau berongga pada umumnya sekarang poros terdiri dari silinder panjang yang solid

##### b. Sudu gerak

Sudu gerak adalah sudu-sudu yang dipasang sekeliling rotor.

##### c. Bantalan

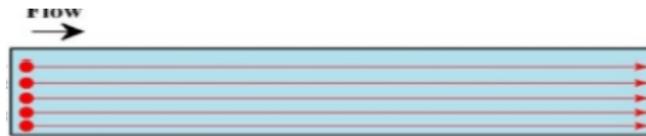
Bantalan berfungsi sebagai penyangga rotor sehingga membuat rotor stabil/lurus pada posisinya didalam *casing* dan rotor dapat berputar dengan aman dan bebas. Adanya bantalan yang menyangga turbin selain bermanfaat untuk menjaga rotor turbin tetap pada posisinya juga menimbulkan kerugian mekanik karena gesekan.

## 2.4. Macam-Macam Aliran Fluida

Aliran fluida merupakan sebuah zat yang dapat mengalir yang berupa cairan maupun gas.

### a. Aliran Laminer

Aliran laminar aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminar partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancer, dengan satu lapisan meluncur satu arah pada lapisan pada lapisan yang bersebelahan. Sifat kekentalan zat cair berperan penting dalam pembentukan aliran laminar. Aliran laminar bersifat *steady* yaitu alirannya tetap hal ini menunjukkan kecepatan alirannya tidak berubah.



Gambar 2.1 Aliran Laminear

(Marfizal.S.T.,M.T )

### b. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Aliran transisi adalah dimana kondisi partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak pada kondisi nyata kondisi seperti ini sangat sulit terjadi.

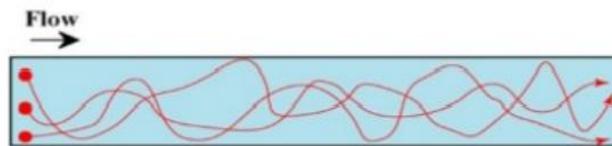


Gambar 2.2 Aliran Transisi

(Marfizal.S.T.,M.T)

### c. Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang relatif besar dan menghasilkan aliran yang tidak laminar melainkan kompleks, dan juga lintasan gerak partikelnya saling tidak teratur satu dengan yang lainnya. Sehingga didapat ciri dari aliran turbulen yang dimana tidak adanya keteraturan dalam lintasan fluidanya, dan juga aliran fluida banyak bercampur kecepatan fluida tinggi panjang skala aliran besar dan viskositasnya rendah. (Panjang et al., 2016)



Gambar 2.3 Aliran Turbulent.

(Marfizal.S.T.,M.T)

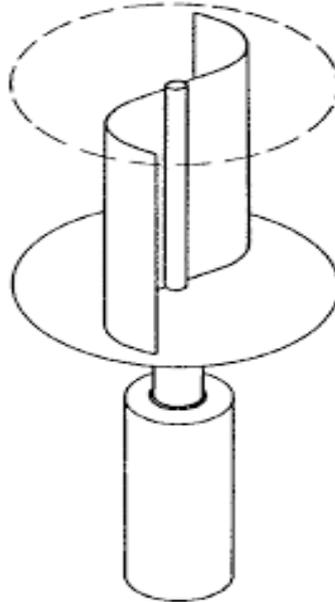
## 2.5. Defenisi Turbin Savonius Dan Darrieus

Dengan menggunakan turbin air, energi air bisa dirubah menjadi energi listrik. Pada bagian ini dibahas tentang turbin air sumbu vertikal. Turbin air sumbu vertikal adalah turbin air yang memiliki gerakan sudu sejajar dengan arah air. Turbin air jenis vertikal memiliki struktur yang lebih sederhana. Turbin air sumbu vertikal adalah turbin air yang dapat digunakan pada kecepatan air yang bervariasi dengan arah air yang berbeda-beda. Tidak seperti turbin air sumbu horizontal. Turbin air jenis ini memiliki kecepatan putar yang rendah dengan torsi yang tinggi. Turbin air sumbu vertikal dikenal dengan beberapa nama dan bentuk antara lain turbin darrieus, turbin savonius. (Latif, 2013)

### 2.5.1. Turbin Savonius

Turbin air savonius dengan konstruksi sederhana yang ditemukan oleh sarjana finlandia yang bernama sigurd j savonius pada tahun (1992). Turbin yang termasuk dalam kategori sumbu vertikal ini memiliki rotor dengan bentuk dasar setengah silinder dan sudu yang disusun sedemikian rupa sehingga jika dilihat dari atas akan terlihat seperti membentuk huruf S. Konsep turbin air savonius

cukup sederhana sehingga dalam proses pembuatannya tidak memerlukan biaya yang sangat mahal.



Gambar 2.4 turbin *savonius*

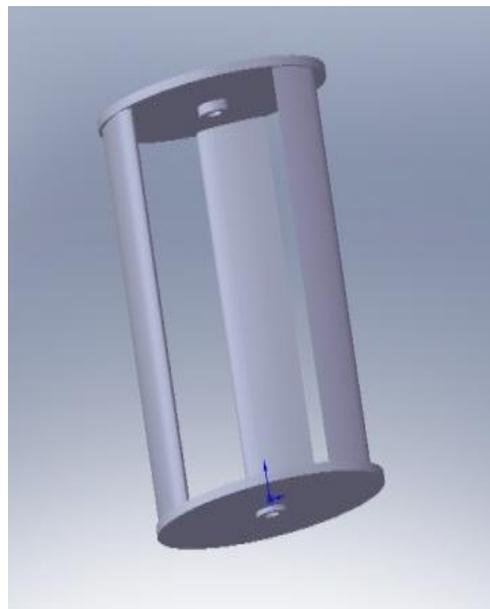
([www.Reuk.co.uk/savonius-wind-turbines.htm&safe](http://www.Reuk.co.uk/savonius-wind-turbines.htm&safe))

Turbin air savonius adalah jenis turbin air tipe drag, dimana turbin ini menghasilkan daya dengan memanfaatkan gaya drag yang dihasilkan dari tiap-tiap sudunya. Drag merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah air yang menumbuk sudu. Turbin air savonius bisa berputar pada kecepatan air rendah. Proses manufactur turbin savonius mudah dan memiliki koefisien daya rendah. (Sumiati, 2012).

#### 2.5.2 Turbin Darrieus

Turbin *Darrieus* merupakan salah satu jenis turbin yang biasa digunakan untuk angin dan jenis turbin darrieus juga sudah banyak dikembangkan menjadi turbin air. Turbin *Darrieus* merupakan salah satu jenis turbin yang dikembangkan oleh seorang *aeronautical engineer* asal perancis yang bernama Georges Jean Marie Darrieus pada tahun 1931. Adapun perinsip kerja dari turbin darrieus adalah akibat kecepatan aliran air maka menyebabkan sudu berputar dengan kecepatan putar tertentu, maka resultan dari kecepatan tersebut akan

menghasilkan gaya hydrodinamis. Gaya angkat (*lift*) dihasilkan karena bentuk *airfoil* dari sudu turbin. Sudu sudu ini memotong air dengan sudut serang yang mengakibatkan perbedaan tekanan. Hasil dari perbedaan tekanan inilah yang mengakibatkan gaya angkat, yang mana mendorong sudu bergerak ke depan. Untuk mendorong turbin, torsi yang disebabkan oleh gaya angkat harus lebih besar dibanding torsi yang dihasilkan oleh gaya hambat (*drag*) sehingga menghasilkan torsi (Yuniarso et al., n.d.)



Gambar 2.5 turbin darrieus (Sudargama 2012)

### 2.5.3 Kombinasi Savonius Dan Darrieus

Jenis turbin air savonius darrieus merupakan sebuah jenis turbin air dengan rotor yang mengkombinasikan ataupun menggabungkan antara rotor Savonius dan rotor Darrieus. Adapun tujuan dalam penggabungan dari kedua rotor ini ialah untuk mengeliminasi ketidak mampuan rotor Darrieus dalam torsi awal. Rotor berbentuk savonius dikopelkan pada rotor Darrieus pada satu poros yang sama. Rotor savonius berfungsi sebagai penggerak utama dari turbin tersebut, dengan menjadi penggerak awal. Turbin savonius bergerak karena adanya perbedaan gaya *drag* pada masing-masing sudu savonius. Kemudian dengan bantuan rotor darrieus yang ringan namun memiliki kemampuan untuk

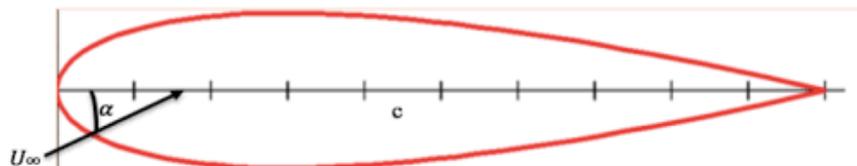
menghasilkan torsi, turbin darrieus dan savonius dapat mengekstraksi energi yang maksimal.

## 2.6 Sudu (*Blade*)

Sudu turbin berfungsi untuk menghasilkan sebuah putaran akibat gaya arus dan menggerakkan poros turbin dan juga poros generator yang kemudian akan menghasilkan energi listrik. Pada sudu turbin arus akan mengalami tegangan geser pada permukaan ketika kontak dengan arus. Distribusi tegangan pada permukaan sudu ini dipersentasi dengan adanya gaya tekan (*drag*) yang arahnya sejajar dengan arah aliran fluida dan gaya angkat (*lift*) yang arahnya tegak lurus dari arah aliran fluida. Dan maka dari itu dengan kedua gaya ini dipengaruhi oleh bentuk sudu, luas permukaan bidang sentuh dan luas permukaan bidang sentuh dan kecepatan arus tersebut.

## 2.7 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 diberbaagai negara, namun hasil riset nacalah yang terkemuka (Mulyadi, 2014)



Gambar 2.6 Airfoil Naca 0018

Bentuk airfoil dijelaskan menggunakan serangkaian digit mengikuti kata NACA. Parameter dalam kode numerik dapat dimasukkan kedalam persamaan untuk mendapatkan penampak *airfoil* itu sendiri. *Leading edge* dalam puluhan prosentase dari chord. Dua digit terakhir menggambarkan prosentase ketebalan maksimum dari *chord*. NACA 0018 simetris dengan 00 menunjukkan bahwa airfoil ini tidak memiliki camber dan angka 18 menunjukan besarnya prosentase ketebalan dari panjang *chord* dapat kita lihat seperti gambar 2.6 diatas.

## 2.8. Simulasi dengan metode numerik

Simulasi adalah imitasi dari sistem atau proses yang terjadi dalam dunia nyata dalam serangkaian waktu. Simulasi memiliki beberapa keuntungan seperti mampu menjawab pertanyaan “bagaimana jika”, memberikan hipotesa mengenai bagaimana dan mengapa suatu fenomena dapat terjadi, serta waktu fenomena yang sedang diamati dapat dipercepat maupun diperlambat. Simulasi dapat dilakukan dengan computer. Simulasi computer merupakan alat yang secara virtual maupun menginvestigasi perilaku sistem yang sedang dipelajari dengan menggunakan beberapa variable.

## 2.9. CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

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

b. Solver

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

c. Post Processor

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

## 2.10. Daya Air Dan Turbin

Besarnya energi yang dihasilkan oleh turbin savonius dan Darrieus merupakan energi poros yang diperoleh turbin dari energi aliran air. Untuk mengetahui daya turbin Savonius dan Darrieus terlebih dahulu harus diketahui vektor gaya dan kecepatan pada sudu *savonius darrius* 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 :

$$P = F \cdot U \quad (2.1)$$

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 yang mana  $r$  adalah radius turbin dan adalah kecepatan sudut turbin [rad/s]. dengan demikian persamaannya ditulis :

$$P = F \cdot \omega \cdot r \quad (2.2)$$

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

$$T = F \cdot r \quad (2.3)$$

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

$$P = T \cdot \omega \quad (2.4)$$

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

$$C_p \frac{P_{rotor}}{P_{air}} \quad (2.5)$$

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 :

$$P_{air} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2.6)$$

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

$$Cp = \frac{T \cdot \omega}{\frac{1}{2} \rho A V^3} \quad (2.7)$$

Kapasitas Aliran (Q)

Untuk menghitung kapasitas aliran digunakan persamaan:

$$Q = A \cdot V \quad (2.8)$$

### 2.11. Analisa Perhitungan Turbin

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

$$A = p \cdot l \quad (2.9)$$

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

$$v1 = \frac{Q}{A} \quad (2.10)$$

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

$$m = \rho \cdot Q \cdot v \quad (2.11)$$

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 dan Bambang, 2010)

$$Ek = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2.12)$$

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

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Q \cdot v^2 \quad (2.13)$$

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

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (2.14)$$

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

$$P_t = T \cdot \omega \quad (2.15)$$

besarnya torsi dapat dihitung dengan persamaan

$$T = F_t \cdot R \quad (2.16)$$

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

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (2.17)$$

Daya yang dihasilkan oleh turbin sebesar

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

Efisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan :

$$\eta_t = \frac{p_t}{p_a} \times 100\% \quad (2.19)$$

unjuk kerja berasal dari istilah kata kinerja atau juga disebut performance yaitu hasil kerja atau prestasi sesungguhnya yang dicapai. Jadi unjuk kerja turbin air savonius darrieus adalah suatu alat yang mengubah energy kinetic menjadi

energy mekanik dengan cara kerjanya air yang mengalir dari suatu penampang saluran menuju turbin sehingga menghasilkan daya.

Daya adalah kemampuan melakukan usaha tiap satuan waktu dalam fisika daya disebut juga kecepatan melakukan kerja dengan jumlah energi yang dihasilkan persatuan waktu.

Torsi merupakan momentum atau gaya yang menyatakan benda berputar pada suatu sumbu. Torsi juga bisa didefinisikan ukuran keefektifan gaya tersebut dalam menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu.

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat Dan Waktu

#### 3.1.1 Tempat

Penelitian Ini Dilaksanakan Dilaboratorium Komputer Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jalan Mukhtar Basri No 3 Medan.

#### 3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu di mulai tanggal di sahkannya usulan judul penelitian oleh ketua program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera utara dan akan dikerjakan mulai tanggal 20 oktober 2019 sampai dinyatakan selesai. Dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Tahun 2020								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Studi Literatur									
2	Penyediaan alat									
3	Perancangan desain sudu turbin savonius darrieus menggunakan <i>software solidwork</i>									
4	Pengujian turbin dengan menggunakan <i>software solidwork</i>									
5	Penyelesaian tugas akhir									

### 3.2 Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam studi numerik ini adalah sebagai berikut:

#### 3.2.1 Alat

##### 1. Laptop

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

Spesifikasi Laptop:

- Model : Acer Aspire A514-52KG
- Processor : intel (R) Core (TM) i3-7020U CPU @ 2,30 GHZ 2,30 GHZ
- Installed memory (RAM) : 4.00 GB
- System type : 64-bit operating system x 64-based processor.



Gambar 3.1 Laptop

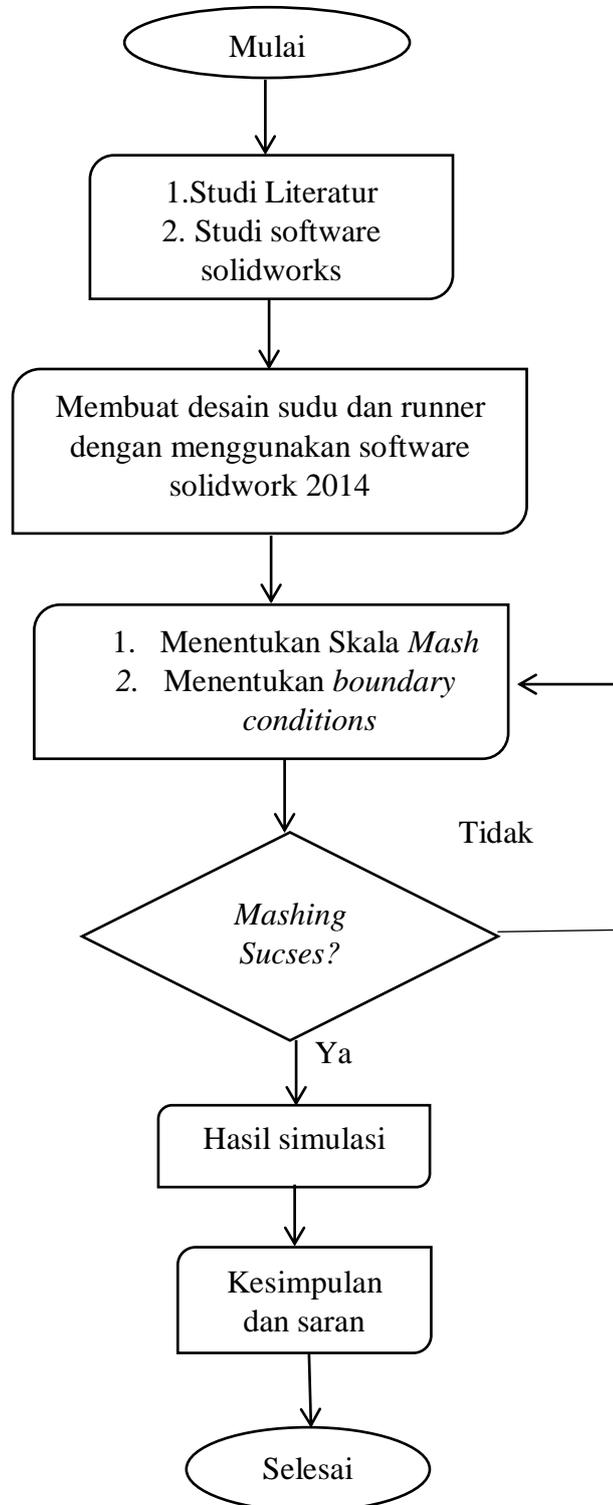
## 2. Perangkat Lunak Solidwork 2014

Perangkat lunak *solidwork* merupakan program computer yang berfungsi untuk memudahkan kita dalam membuat suatu disain. Adapun disain yang akan dibuat adalah turbin air savonius darrieus naca 0018 perangkat lunak *solidwork* juga memudahkan kita dalam proses analisa kekuatan maupun aliran dan selanjutnya disimulasikan menggunakan aplikasi *add-ins Solidworks Flow Simulation* dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.



Gambar 3.2 *software solidwork*

### 3.3 Diagram alir



Gambar 3.3 diagram alir

### 3.4. Prosedur Penlitan

#### a. *Pre Processing*

Tahap *Pre processing* ini ialah merupakan tahap awal dalam menganalisa sebuah model komputasi fluida (CFD). Dalam tahapan *pre processing* ini terdiri dari beberapa sub tahap mulai dari pembuatan desain menggunakan *software solidworks* penentuan daerah komputasi penggenerasian mash (*meshing*) serta menentukan parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi.

#### 1. Desain Turbin

Pada tahapan ini penulis membuat desan geometri 3D turbin air *savonius darrius naca 0018* dengan memvariasikan jumlah sudu 2,3 dan 4 menggunakan *software Solidworks 2014*. Diameter sudu turbin yang akan dirancang dalam penelitian ini adalah 120, jari jari 60 mm. Diameter rumah turbin 205 mm dan tingginya 220 mm.

Tahapan selanjutnyan penulis akan mendesain kompenen 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.

#### 2. *Wizard*

Tahapan ini dilakukan pada *solidworks flow similation* dengan menentukan satuan unit yang digunakan yaitu *SI (Satuan Intenational)*, menentukan tipe analisa yaitu *internal analisys* dengan *exclude cavities withot flow conditions*.

#### 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:

Selanjutnya pada bagian *oulet boundary condtion* yang digunakan adalah *pressure opening* dengan tipe *Enviorment Pressure* pada setiap variasi debit pada pada table dibawah ini.

Tabel 3.2. *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

#### 4. Menentukan Goals

Adapun goals yang diperlukan pada simulasi ini adalah:

1. *Surface goals* dengan parameter *GG Mass Flow Rarte Savoniues darrieus naca 0018*
2. *Surface goals* dengan parameter *GG Torque (Y) turbin air savoneius darrieus naca 0018*.
3. *Surface goals* dengan parameter untuk menghitung *PG Velocity (z)*.
4. *Surface goals* dengan parameter untuk menghitung kecepatan.
5. *Surface goals* dengan parameter untuk menghitung daya air.
6. *Surface goals* dengan parameter untuk menghitung kecepatan sudut.
7. *Surface goals* dengan parameter untuk menghitung daya turbin.

#### b. *Procesing*

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

#### 1. *Meshing*

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

Setelah dilakukan pengecekan maka *solver* akan melakukan *meshing* dan memperhalus bagian-bagian yang dibutuhkan penghalusan *mesh*, seperti pada ujung-ujung 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*.

## 2. *Solving*

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

### c. Analisa Data Dan Kesimpulan

Analisis data dilakukan berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan dengan melihat struktur aliran berupa distribusi tekanan dan arah kecepatan aliran air. Data hasil simulasi yang diperoleh berupa *torque*, *velocity*, *pressure drop*, *kontur* tekan, dan *kontur* kecepatan Selanjutnya data dan hasil simulasi yang diperoleh ditabelkan dan diplot ke dalam grafik.

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Valiasi Penelitian

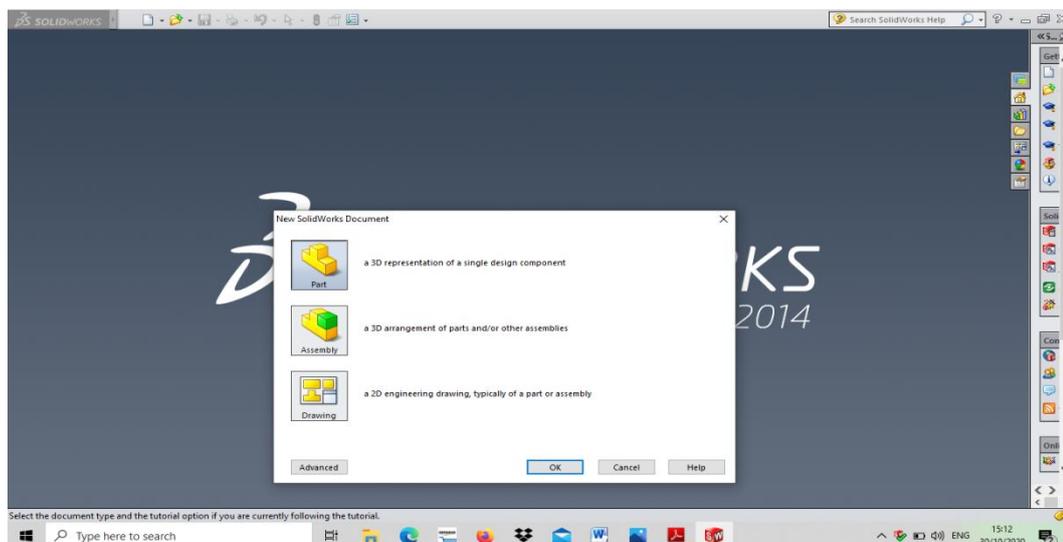
Validasi penelitian merupakan salah satu tahap penelitian dengan simulasi yang harus dilalui agar hasil penelitian yang dihasilkan valid. Validasi turbin air *savonius darrieus naca 0018* dilakukan untuk memastikan penulis mampu mengembangkan pemodelan turbin *savonius darrieus*. Validasi pemodelan turbin *savonius darrieus* ini dipengaruhi oleh jumlah sudu yang merupakan variabel bebas penelitian. Sedangkan performance turbin *savonius darrieus* merupakan variabel terikat penelitian ditunjukkan oleh momen torsi, daya turbin, efisiensi Serta *Self Starting*.

#### 4.1.1. Pre Processing

##### 4.1.1.1. Desain Rumah Sudu *savonius darrieus*.

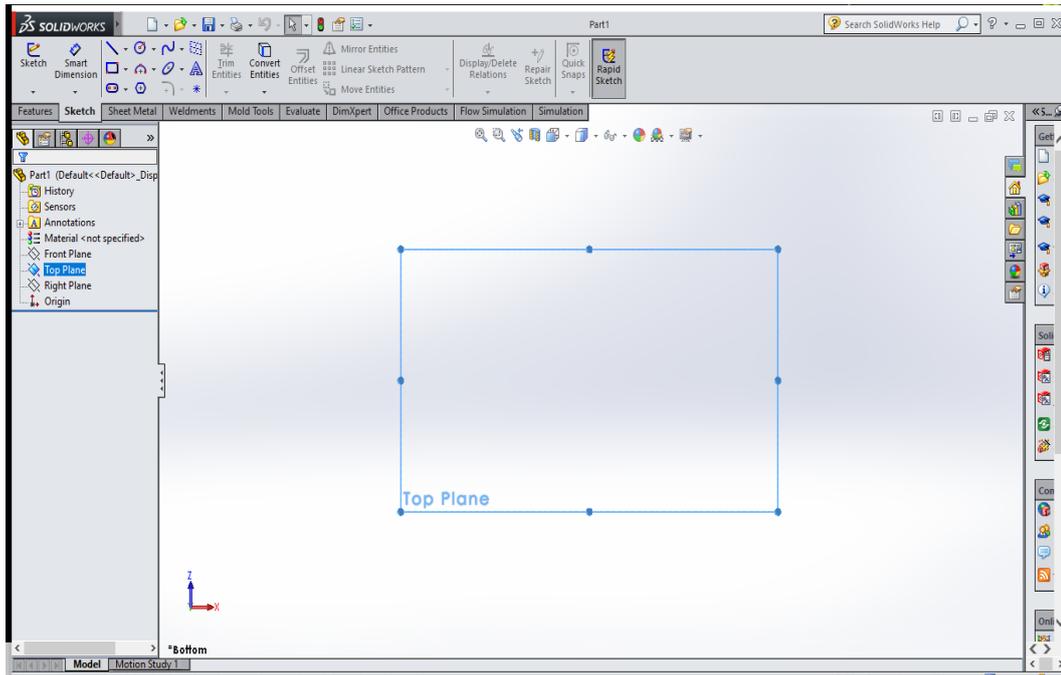
Desian yang akan dirancang adalah rumah dan sudu turbin *savonius darrieus naca 0018* berikut ini langkah-langkah perancangan model dengan menggunakan software *solidworks 2014*.

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



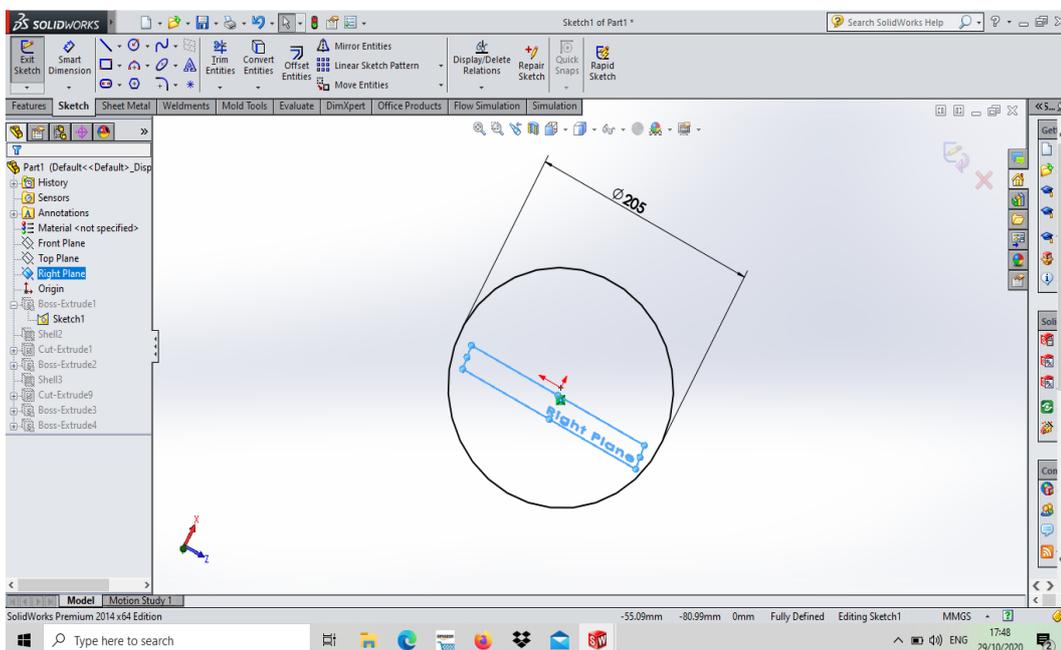
Gambar 4.1 tahap awal *solidworks*

## 2. Selanjutnya pilih top plane



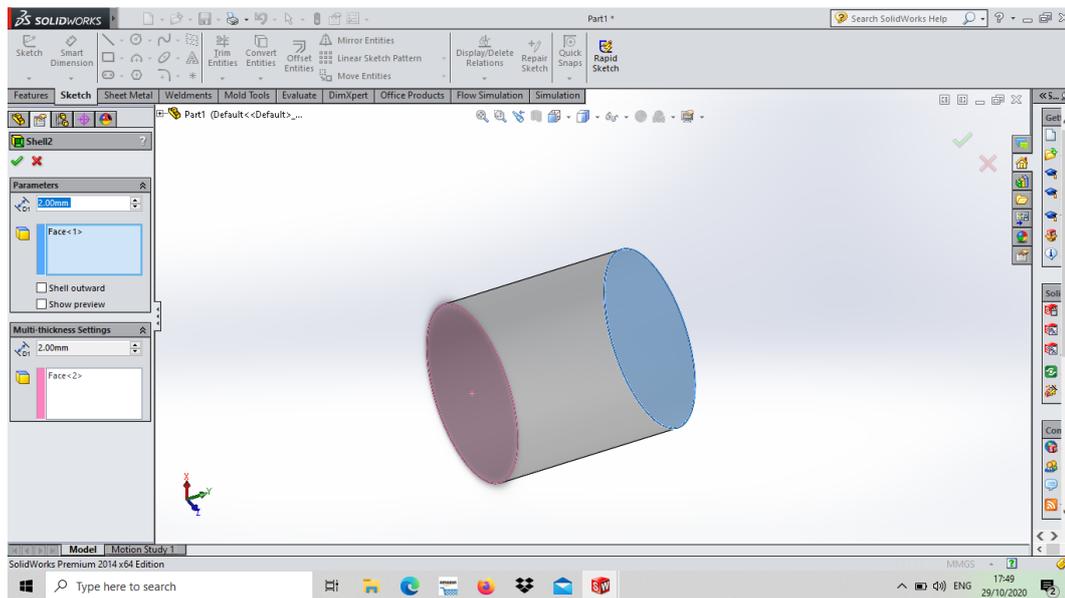
Gambar 4.2 top plane.

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



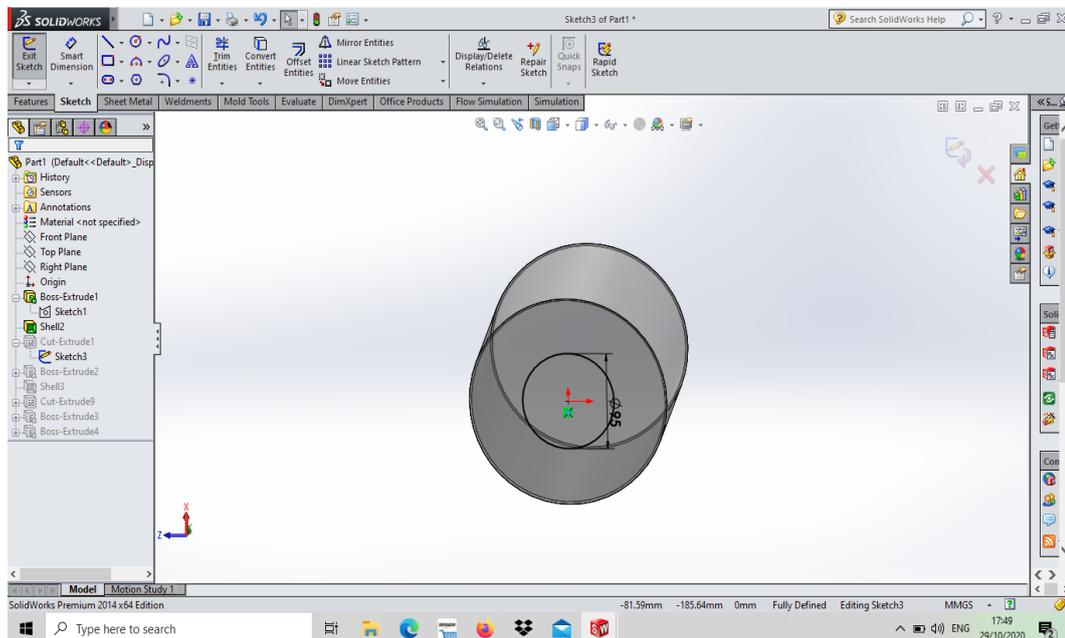
Gambar 4.3 desain 2D diameter rumah

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



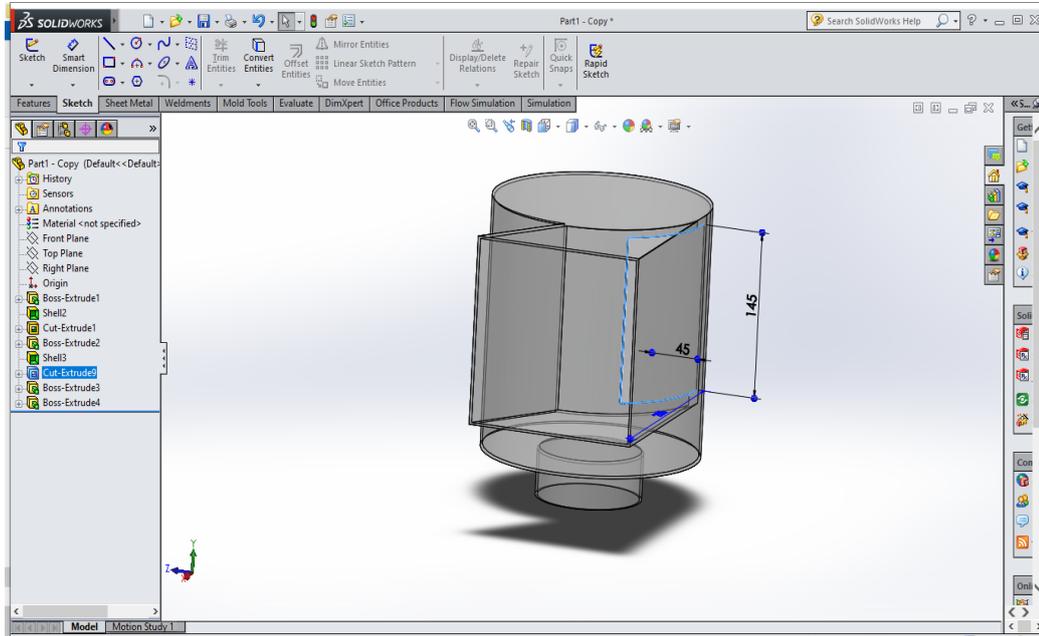
Gambar 4.4 desain rumah sudu 3D.

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

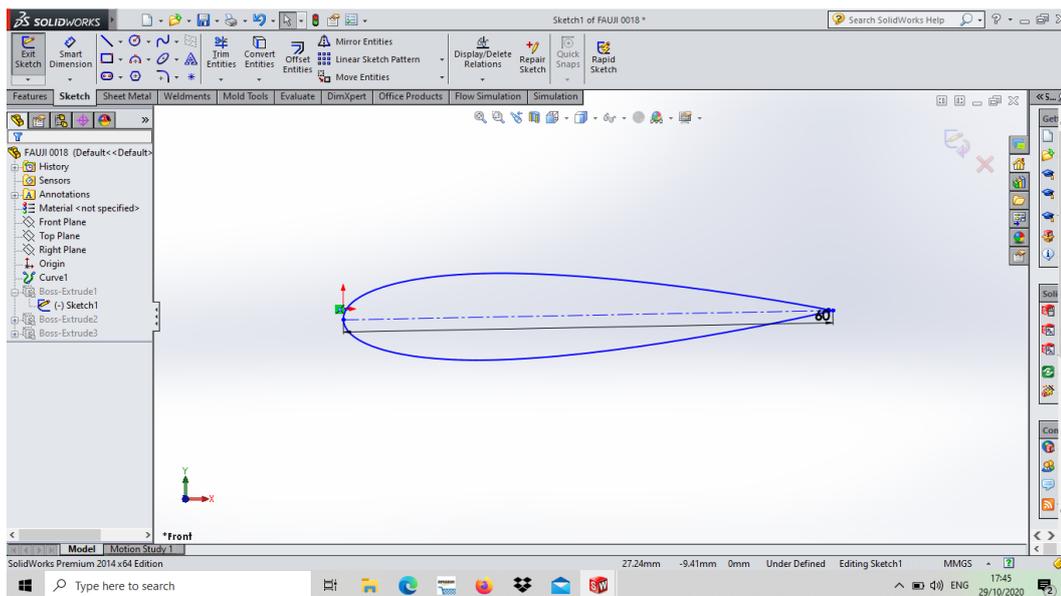
6. Selanjutnya menggunakan sketch untuk membuat desain pintu masuk air dengan tinggi 145 mm dan lebar 45 mm dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.6 desain pintu masuk air

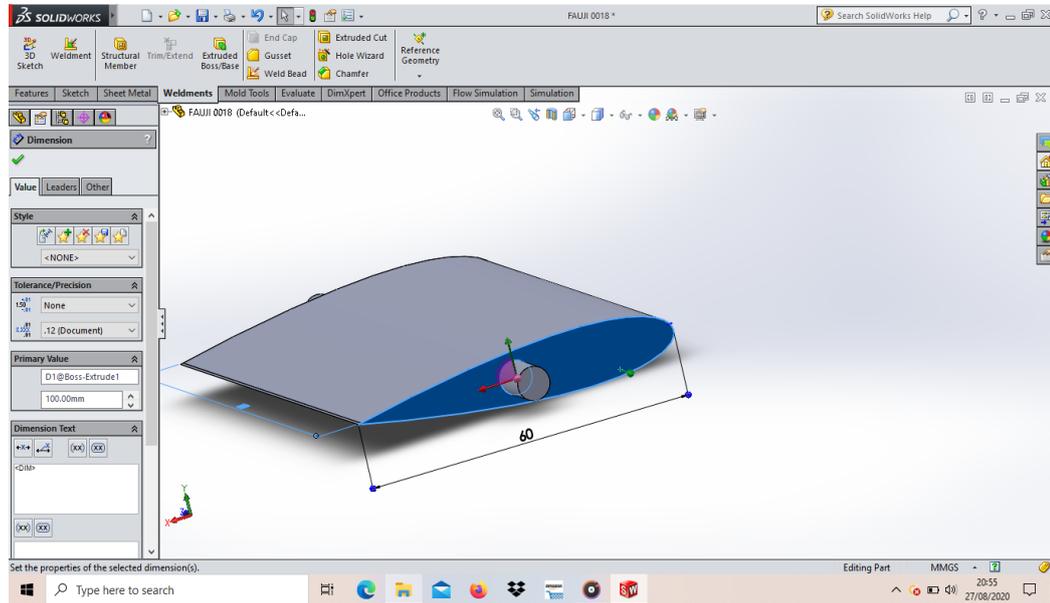
#### 4.1.1.2. Desain sudu savonius darrieus.

7. Selanjutnya menggunakan sketch untuk membuat desain 2D sudu darrieus naca 0018 dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



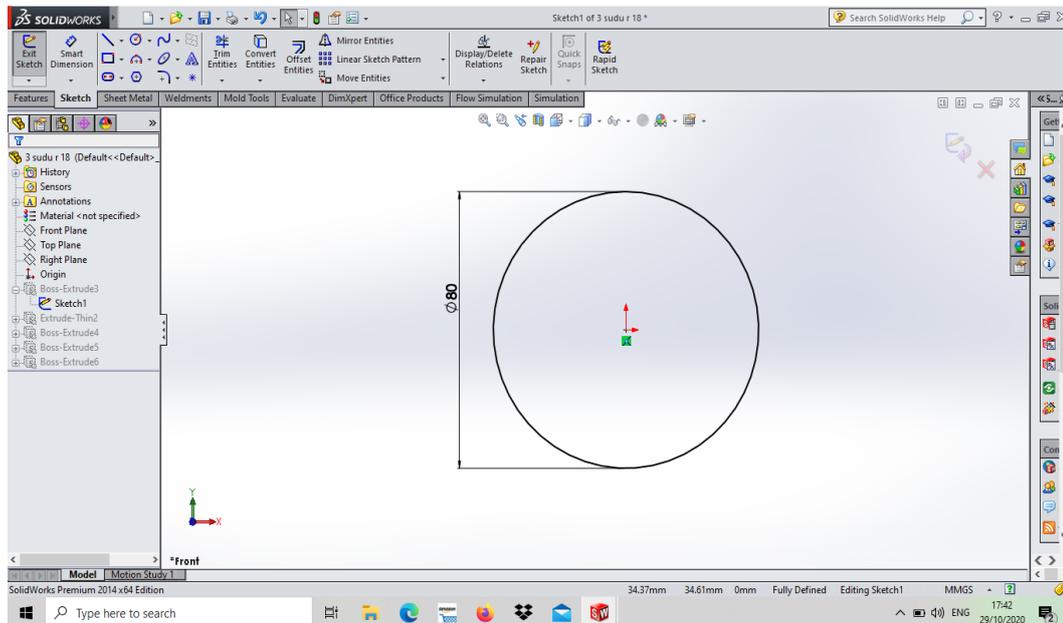
Gambar 4.7. *Sketch* 2D sudu darrieus.

8. Selanjutnya menggunakan sketch untuk membuat desain 3D sudu darrieus naca 0018 dengan lebar 60 mm dan panjang 84 mm dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



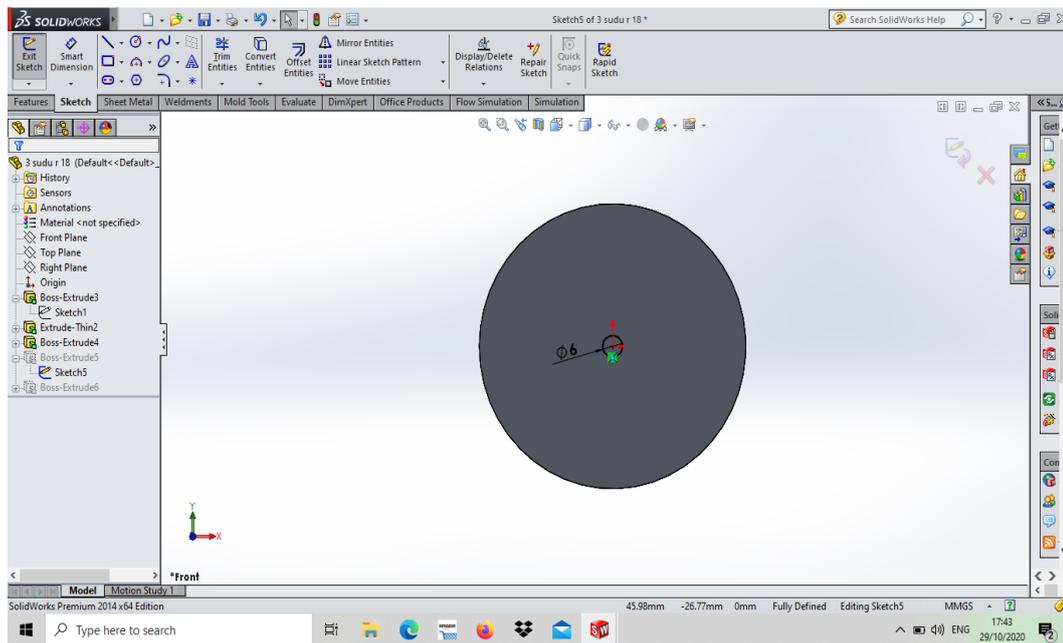
Gambar 4.8. *Sudu Darrieus naca 0018.*

9. Selanjutnya menggunakan desain 2D untuk membuat diameter dukungan sudu savonius dengan ukuran 80 mm dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.



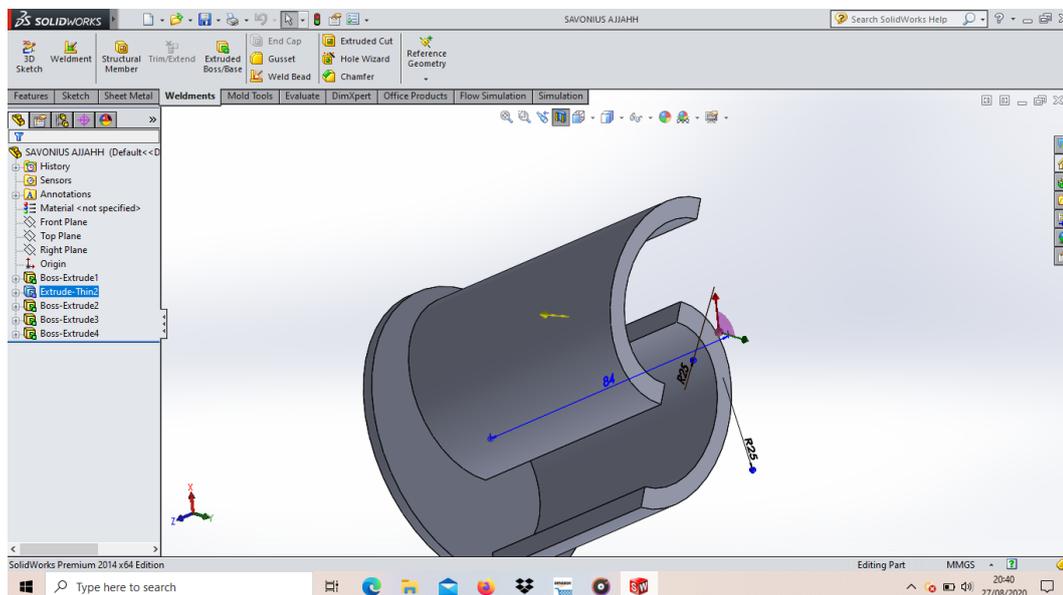
Gambar 4.9 sketch 2D diameter dukungan sudu savonius.

10. Selanjutnya membuat desain 3D untuk membuat diameter dudukan sudu savonius dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



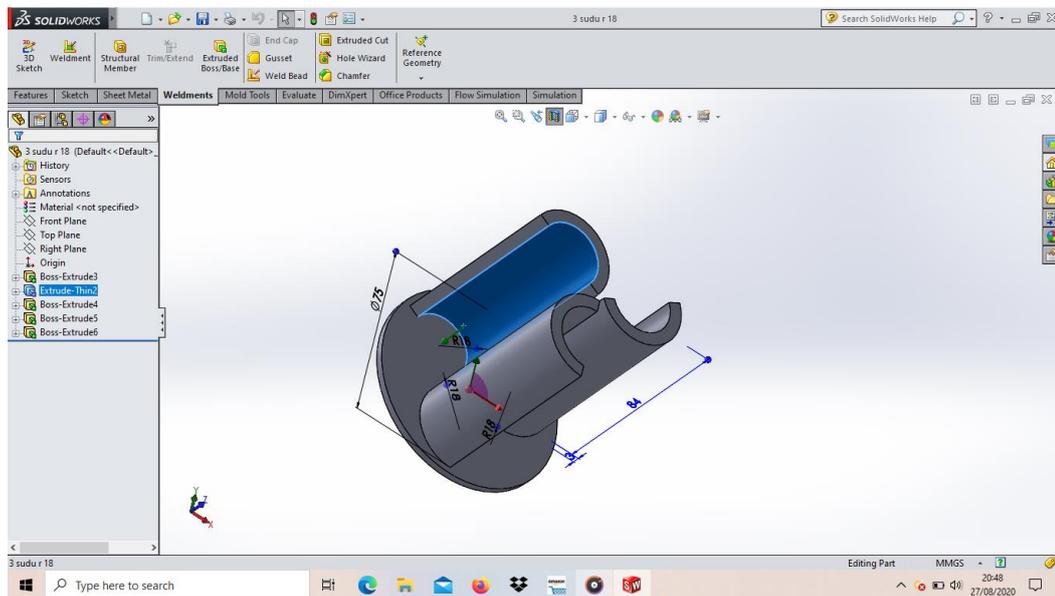
Gambar 4.10. sketch 3D dudukan sudu savonius

11. Selanjutnya membuat sudu turbin savonius menggunakan 2 sudu dengan radius kelengkungan sudu 25 derajat dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.



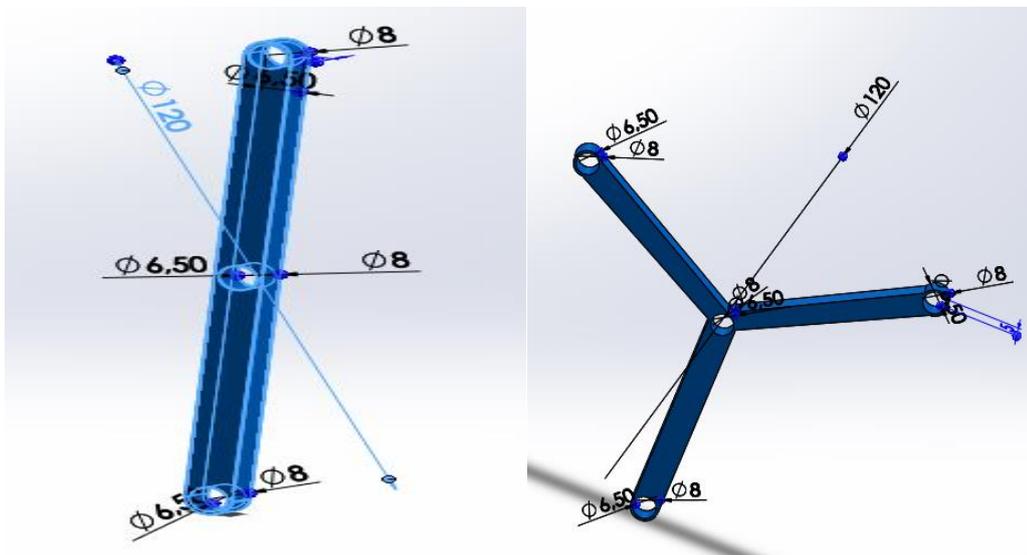
Gambar 4.11. sudu 2 turbin savonius dengan radius 25.

12. Selanjutnya membuat sudu 3 savonius dengan menggunakan radius kelengkungan sudu 18 derajat dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.



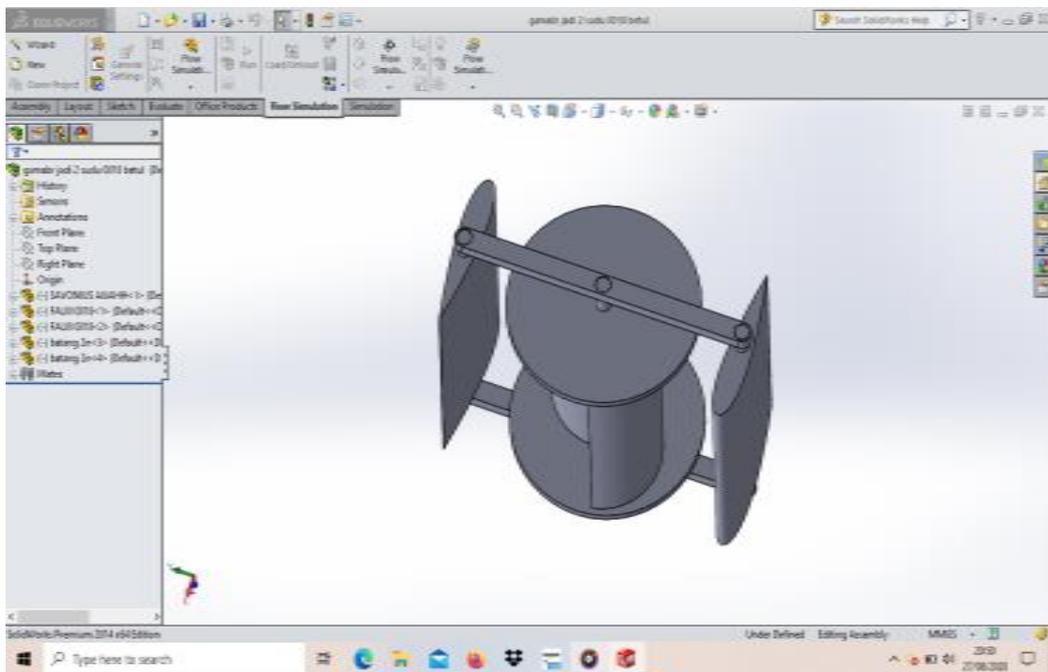
Gambar 4.12. sudu 3 turbin *savonius* dengan radius 18.

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



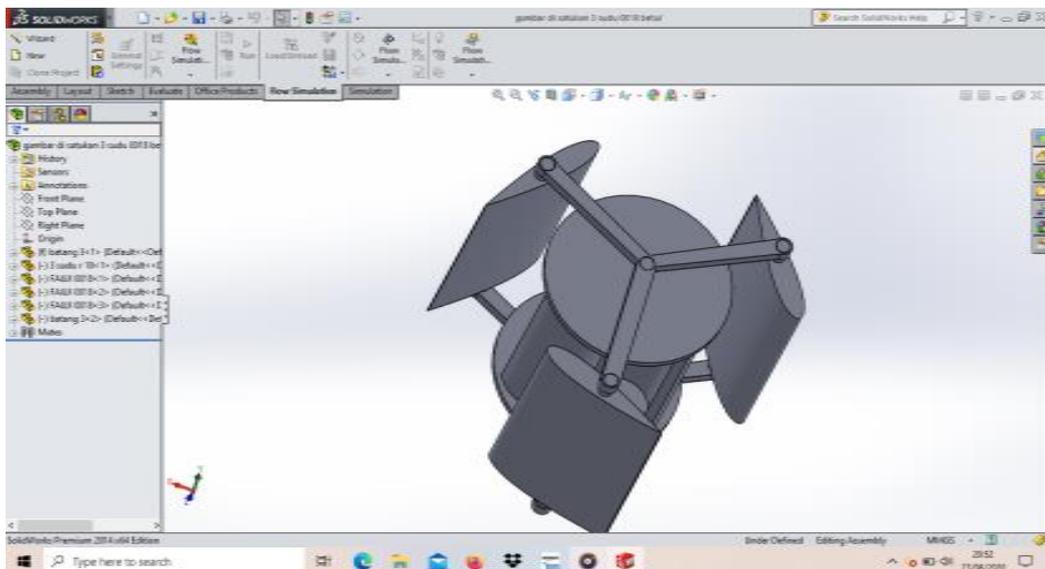
Gambar 4.13 batang penyangga sudu turbin

14. Hasil penggabungan sudu turbin savonius darrieus dengan menggunakan 2 sudu dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.



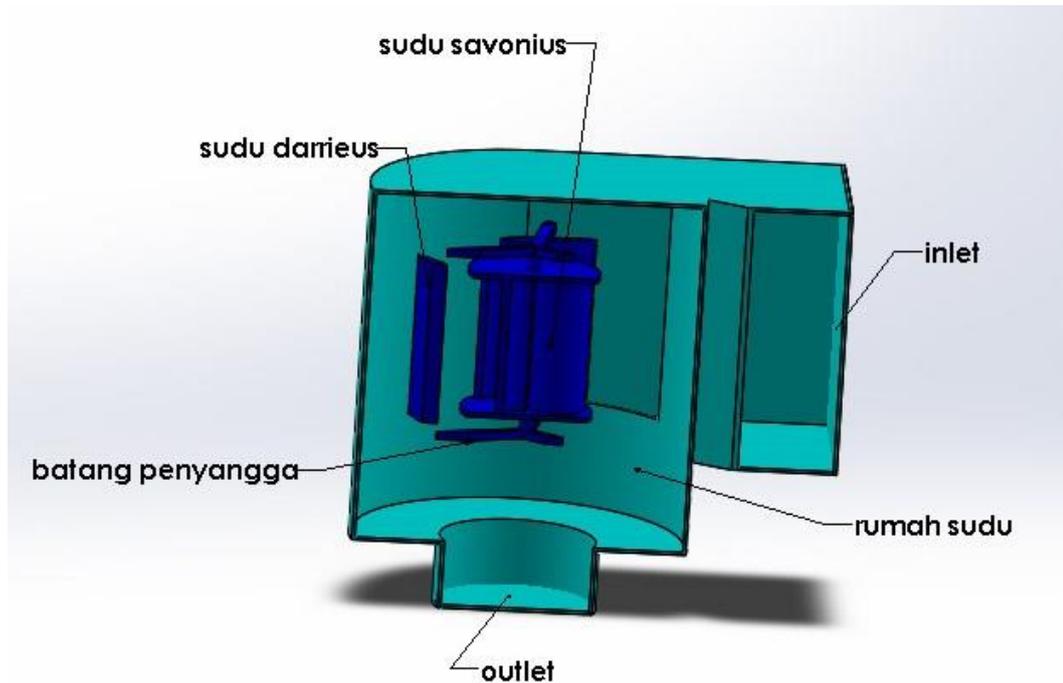
Gambar 4.14 gabungan sudu 2 savonius darrieus.

15. Hasil penggabungan sudu turbin savonius darrieus dengan menggunakan 3 sudu dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4.15 gabungan sudu 3 savonius darrieus.

16. Berikut gambar lengkap rumah dan sudu turbin savonius darrieus naca 0018 dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.16 rumah dan sudu turbin savonius darrieus

#### 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 Savonius Darrius naca 0018</i>
<i>Configuration</i>	<i>Use Current</i>
<i>Unit System</i>	<i>SI</i>
<i>Analisis Type</i>	<i>Internal Exclude cavities without flow conditions</i>
<i>Physical Features</i>	<i>-</i>
<i>Default Fluid</i>	<i>Water</i>
<i>Wall Condition</i>	<i>Adiabatic wall, default smooth walls</i>
<i>Initial Conditions</i>	<i>Default conditions</i>

---

*Result and Geometry Resolution*

Set the **Result resolution level** to 3;

**Minimum gap size** = 0.04 m,

**Minimum wall thickness** = 0.002 m,

other options are default

---

*A. 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.

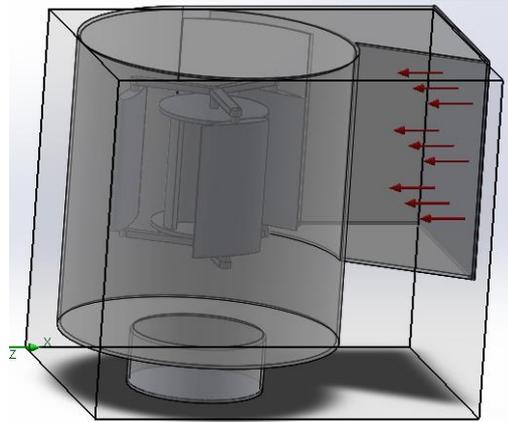
Tabel 4.2 Boundary Condition.

---

Type	<b>Inlet Volume Flow</b>
Name	<b>Inlet Volume Flow 1</b>
Faces to apply	the inner face of the <b>Inlet Lid</b>

Parameter:

**Volume Flow Rate** of 0,00366  $m^3/s$ , 0,00333  $m^3/s$ , 0,0025  $m^3/s$ , 0,00167  $m^3/s$ , 0,00833  $m^3/s$  with the **uniform** profile.

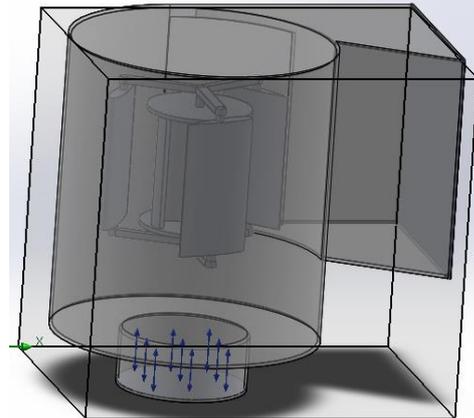


---

Type	<b>Inlet Volume Flow</b>
Name	<b>Inlet Volume Flow 1</b>
Faces to apply	the inner face of the <b>Outlet Lid</b>

Parameter:

**Volume Flow Rate**



---

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*.

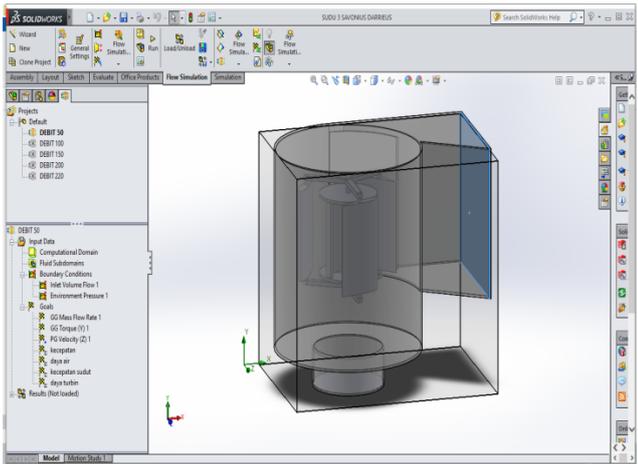
Pada debit 220 l/m maka *volume flow rate* adalah 0,00366 m<sup>3</sup>/s, pada debit 200 l/m *volume flow rate* nya 0,0033 m<sup>3</sup>/s, pada debit 150 l/m *volume flow rate* nya 0,0025 m<sup>3</sup>/s, pada debit 100 l/m *volume flow rate* nya 0,00167 m<sup>3</sup>/s, dan pada debit 50 l/m *volume flow rate* nya 0,000833 m<sup>3</sup>/s. Untuk *Environment Pressure* adalah sama pada setiap variasi debit aliran.

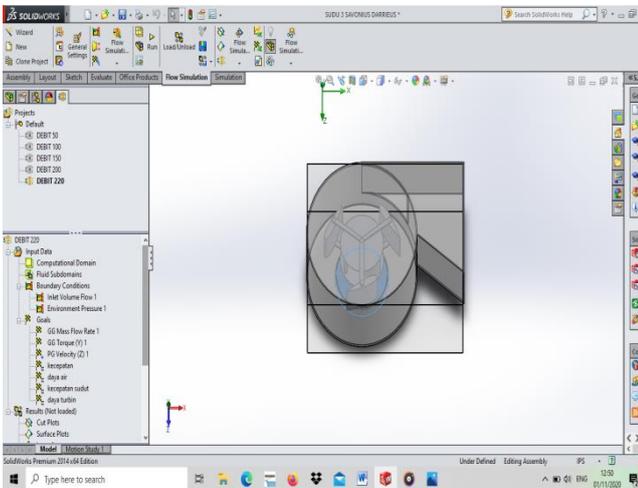
### B. Goals

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

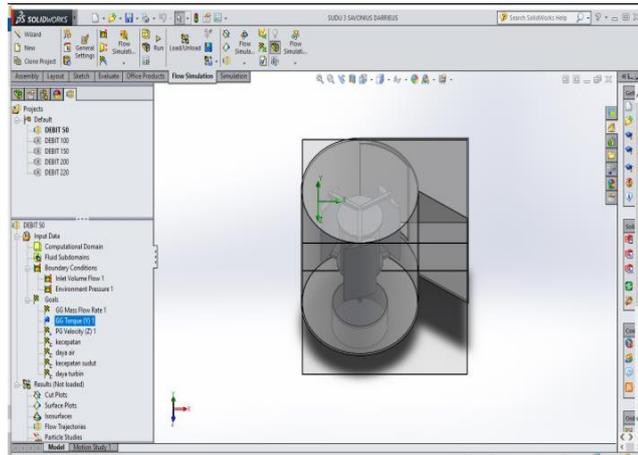
<i>Goal Type</i>	<i>Goal Parameter</i>	<i>Face</i>
------------------	-----------------------	-------------

<i>Surface Goals</i>	<i>Mass Flow Rate</i>	<i>The inner face of the Inlet</i>
		

<i>Surface Goals</i>	<i>pressure</i>	<i>The inner face of the measure at the runner outlet</i>
		

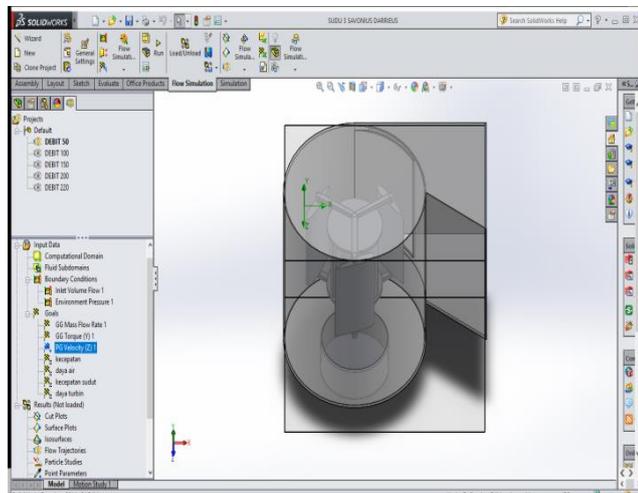
Surface Goals

Torque



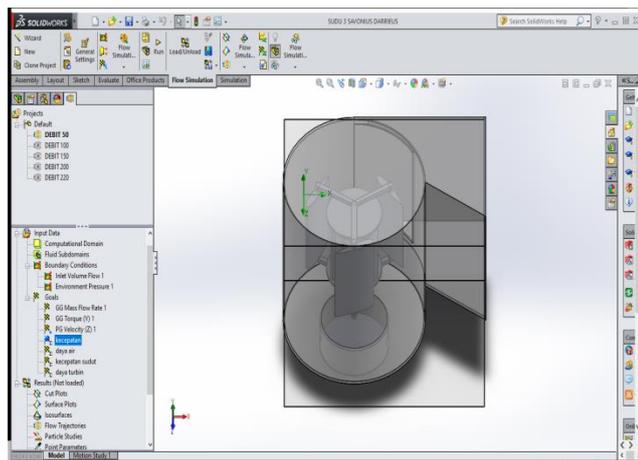
Surface Goals

PG Velocity ( Z )

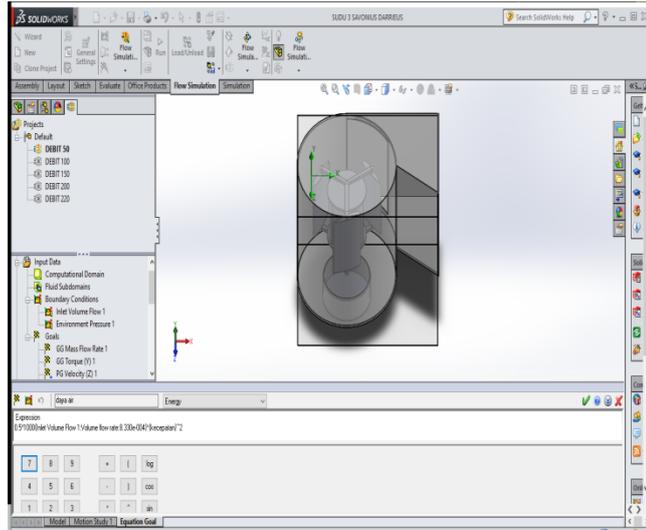


Surface Goals

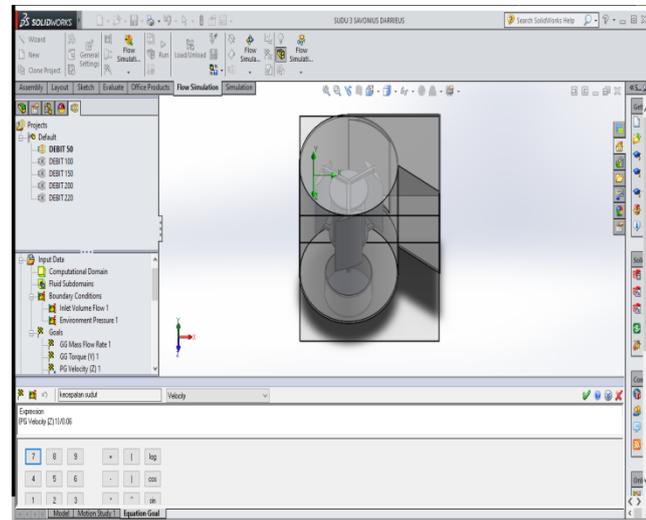
Kecepatan



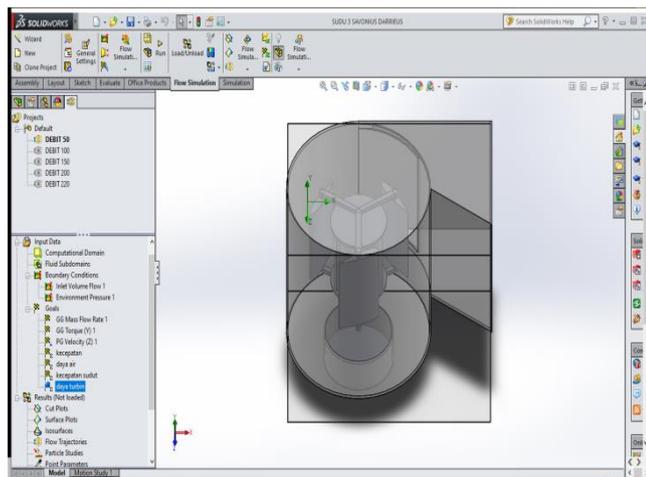
Surface Goals  
Daya Air



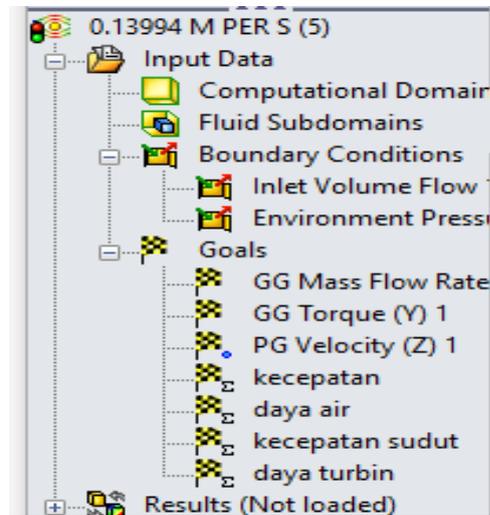
Surface Goals  
Kecepatan Sudut



Surface Goals  
Daya turbin



Kemudian untuk mempermudah dalam melakukan simulasi maka nama goals pada tabel 4.3 diatas diganti menjadi seperti pada gambar 4.17 dibawah ini.



Gambar 4.17. Goals

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

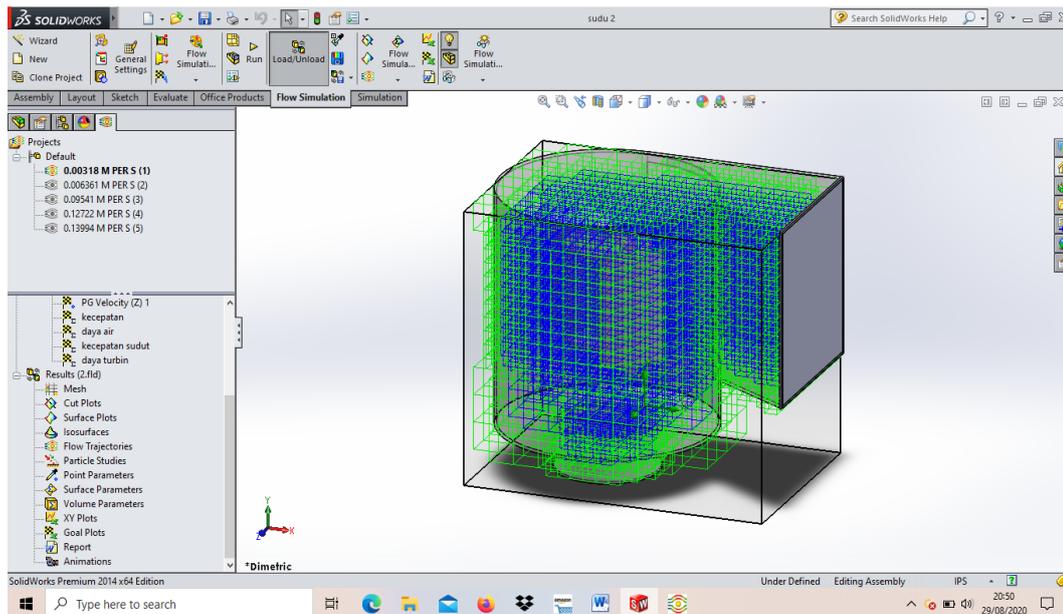
Tabel 4.4. Equatoin Goals

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

## 4.2. Hasil Simulasi

### 4.2.1. Meshing

*Domain* mesh turbin *savonius* yang digunakan adalah menggunakan *mesh* berbentuk pesegi (*square mesh*). Lapis batas pada permukaan sudu digunakan untuk menangkap perubahan tajam sifat fluida dekat permukaan sudu. Sehingga, hasil yang didapatkan akan lebih akurat seperti yang dapat dilihat di Gambar 4.14.



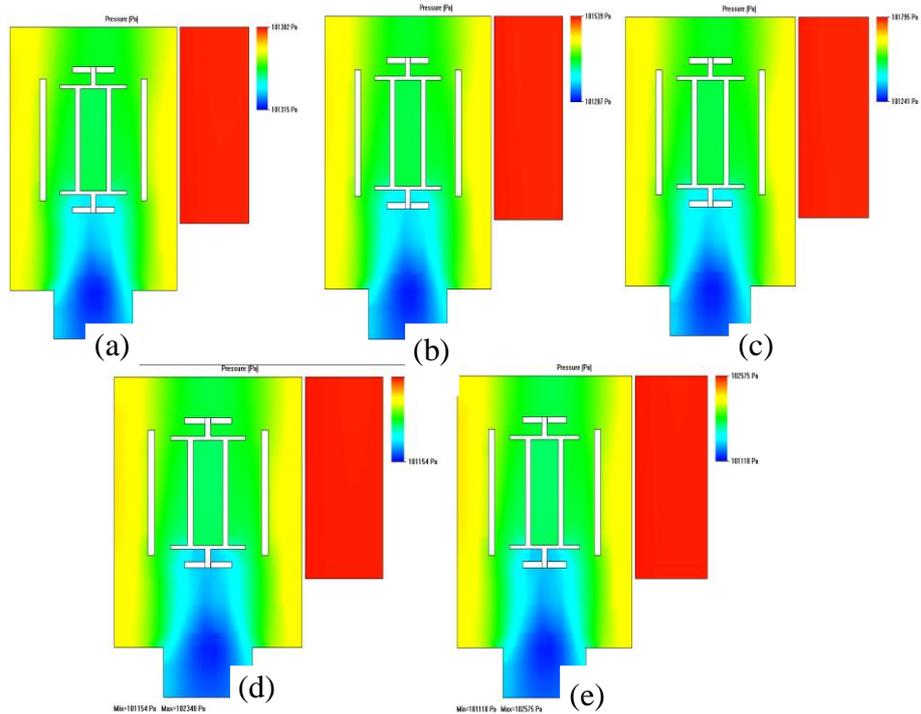
Gambar 4.18. Hasil Mesh

*Basic dimension mesh* pada bidang X adalah 56, pada bidang Y adalah 42 dan pada bidang Z adalah 38. Kemudian basing dimension mesh dikalkulasi menjadi lebih kecil lagi menjadi *cells-cells* kecil. Adapun *number of cell* dari hasil *meshing* berupa *total cells* sebanyak 182875, *fluid cells* sebanyak 46163, *solid cells* sebanyak 90459, dan *partial cells* sebanyak 46253. Kotak warna biru pada gambar 4.18. diatas menunjukkan *fluid cells* sedangkan kotak berwarna hijau menunjukkan *partial cells*.

#### 4.2.2. Kontur Tekanan Fluida

Menunjukkan kontur Tekanan fluida pada turbin. Simulasi ini menggunakan *Solidworks Flow Simulation* selain dapat menganalisis secara numerik juga dapat menganalisis secara visual. Keunggulan dari turbin savonius darrius naca 0018 adalah konfigurasi turbin yang sederhana. Analisis visual sangat membantu penelitian ini untuk mengetahui seberapa energi air yang dapat diserap oleh turbin. Bukan hanya itu, analisa secara visual dapat mengetahui bagaimana tekanan fluida. Gambar dibawah menunjukkan kontur tekanan hasil pemodelan turbin air savonius darrius naca 0018 dengan menggunakan variasi 2 dan 3 buah sudu.

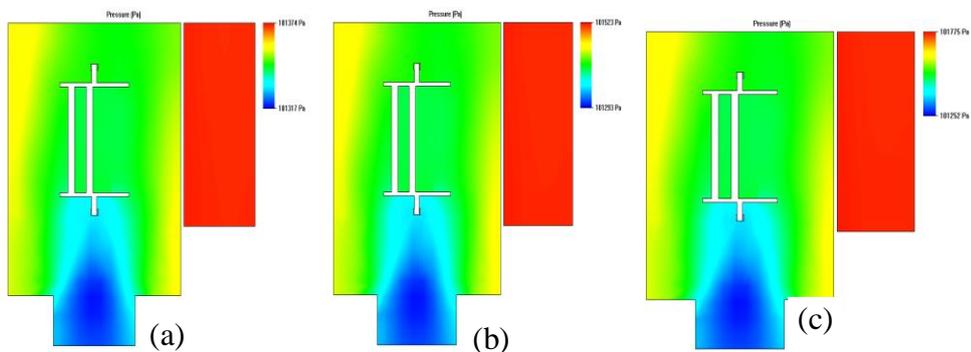
A. Kontur tekanan fluida 2 sudu dapat dilihat seperti gambar di bawah ini.

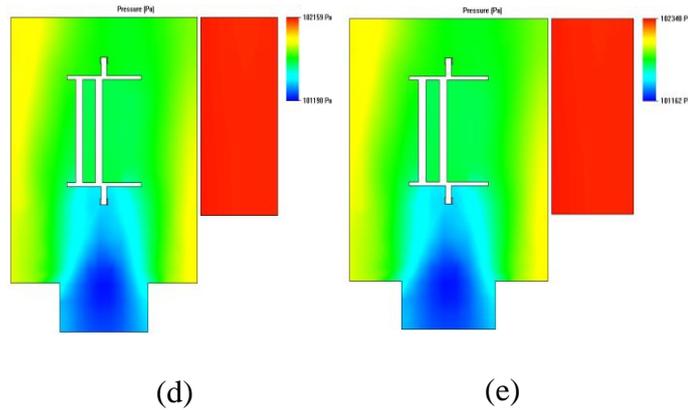


Gambar 4.19 Kontur Tekanan Fluida 2 Sudu

Gambar 4.13 (a) menunjukkan kontur tekanan pada debit aliran 50 L/m, (b) menunjukkan kontur tekanan pada debit 100 L/m, (c) menunjukkan kontur tekanan pada debit 150 L/m, (d) menunjukkan kontur tekanan pada debit 200 L/m, (e) menunjukkan kontur tekanan pada debit 220 L/m.

B. Selanjutnya kontur tekanan fluida 3 sudu dapat dilihat seperti gambar di bawah ini.





Gambar 4.20 Kontur Tekanan Aliran Fluida 3 sudu.

Gambar 4.14 (a) menunjukkan kontur tekanan fluida pada debit tekanan 50 L/m, (b) menunjukkan kontur tekanan pada debit 100 L/m, (c) menunjukkan kontur tekanan pada debit 150 L/m, (d) menunjukkan kontur tekanan pada debit 200 L/m, (e) menunjukkan kontur tekanan pada debit 220 L/m.

#### 4.2.3. Vektor Kecepatan Fluida

Gambar 4.18 merupakan vektor aliran fluida pada turbin *Savonius darrius naca 0018*. Dapat diamati melalui perbedaan warna, kecepatan fluida semakin tinggi pada bagian tengah basin.

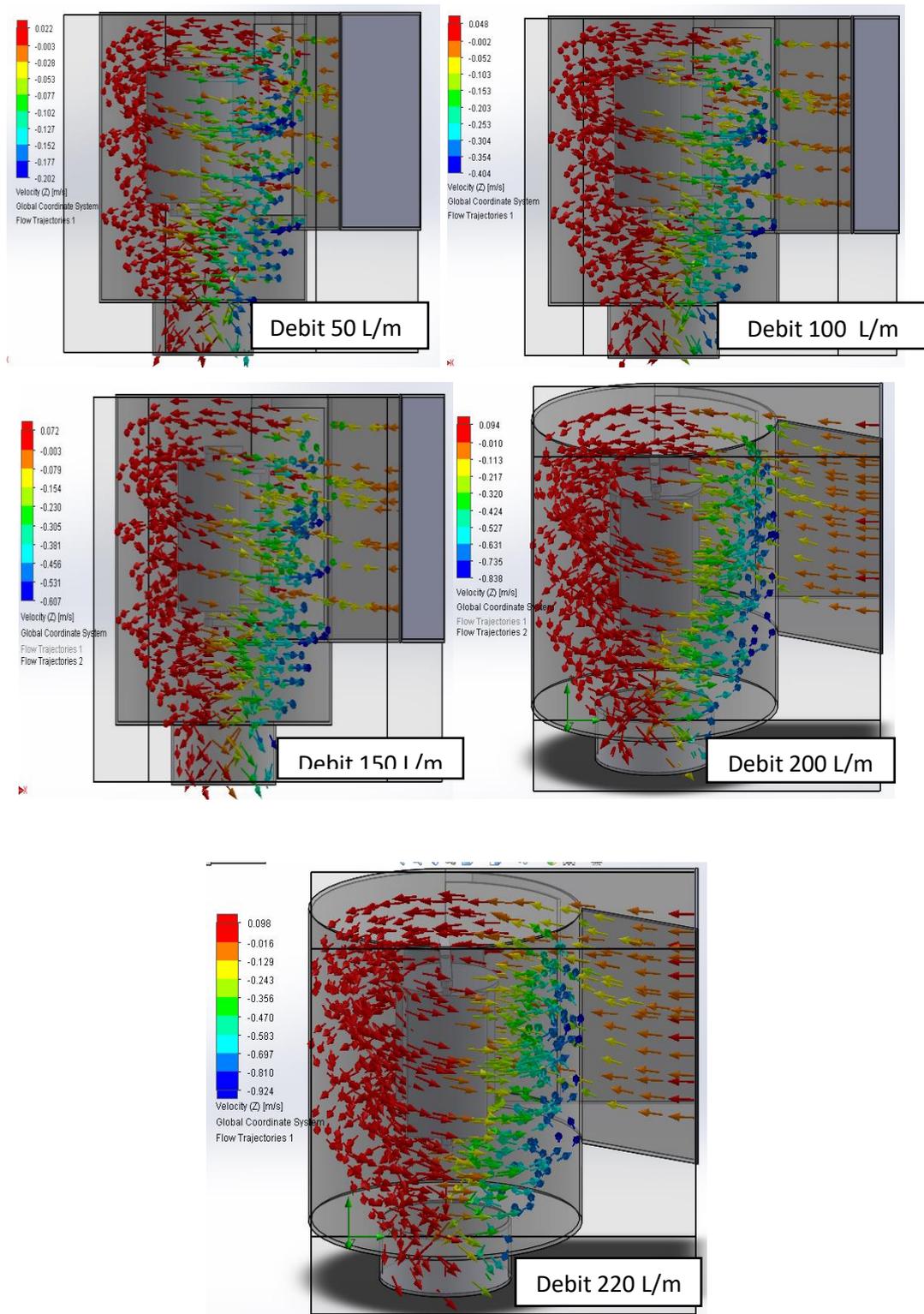
##### 4.2.3.1 Sudu 2 Turbin *Savonius Darrius*

*Velocity* pada debit 50 l/m adalah 0,022 m/s, *velocity* pada debit 100 l/m adalah 0,048 m/s, *velocity* pada debit 150 l/m adalah 0,072 m/s, *velocity* pada debit 200 l/m adalah 0,094 m/s, *velocity* pada debit 220 l/m adalah 0,098 Kg/s.

##### 4.2.3.2. Sudu 3 Turbin *Savonius Darrius*.

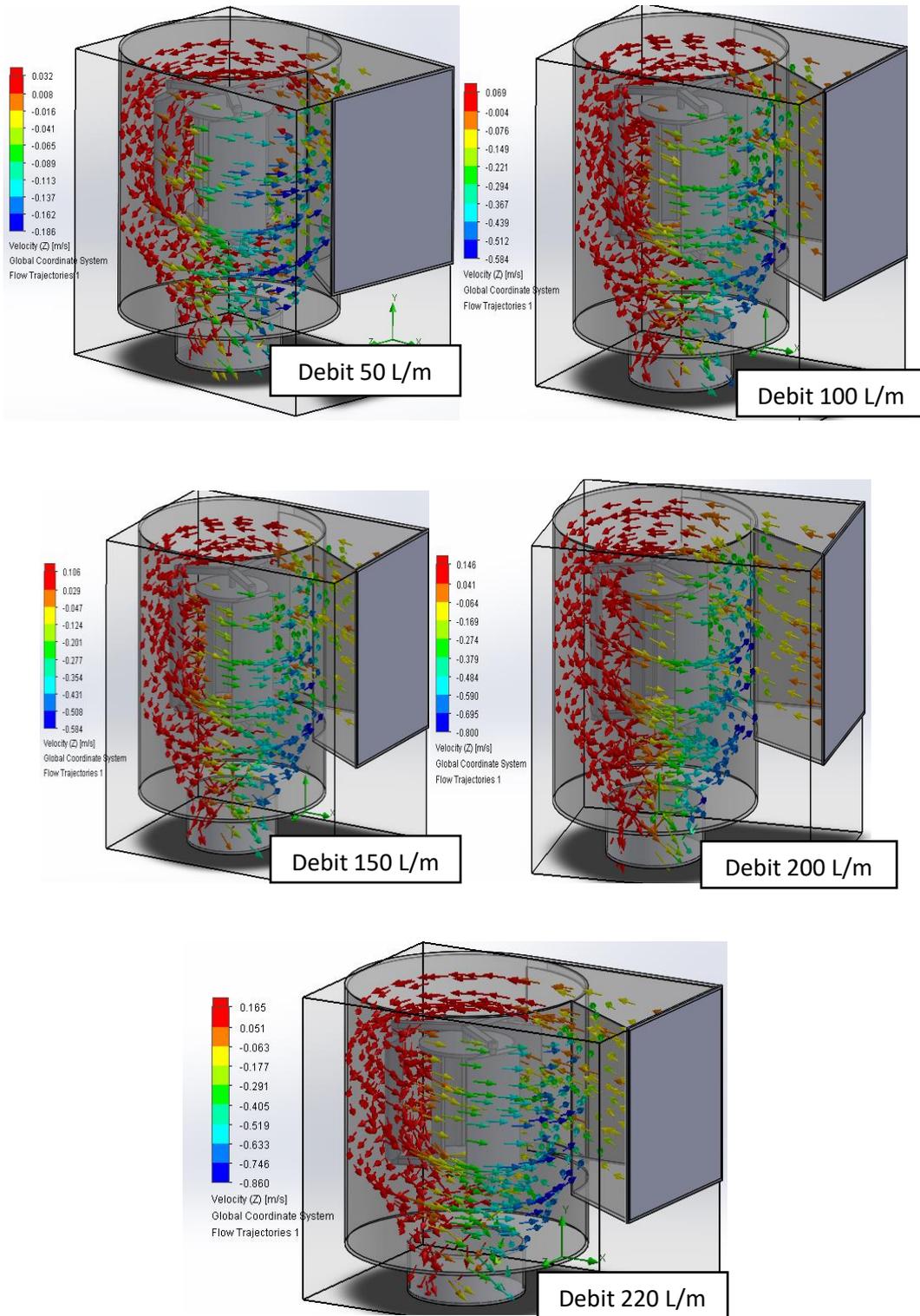
*Velocity* pada debit 50 l/m adalah 0,032 m/s, *velocity* pada debit 100 l/m adalah 0,069 m/s, *velocity* pada debit 150 l/m adalah 0,106 m/s, *velocity* pada debit 200 l/m adalah 0,146 m/s, *velocity* pada debit 220 l/m adalah 0,165 m/s.

- a. Kecepatan Aliran 2 buah sudu savonius darrieus dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.21. Vektor Kecepatan Fluida 2 buah sudu

b. Kecepatan Aliran 3 buah sudu savonius darrieus dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



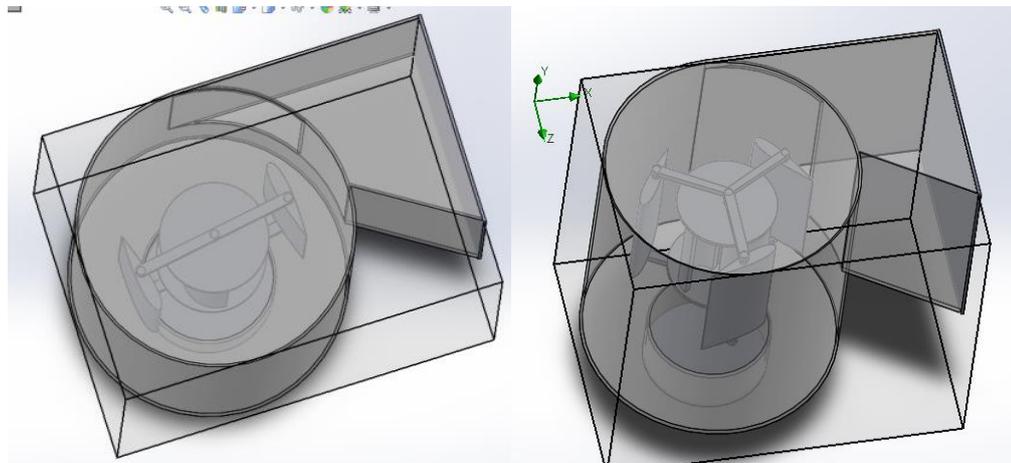
Gambar 4.2.2 Vektor Kecepatan Fluida 3 buah Sudu

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 4.16 dibawah ini.



Gambar 4.23. 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 pada sudu 2 tabel 4.6 dan pada sudu 3 dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 4.5. Kecepatan aliran linear sudu 2

Debit (L/m)	Velocity (m/s)	Radius (m)
50	0,022	0,6
100	0,048	0,6
150	0,072	0,6
200	0,094	0,6
220	0,098	0,6

Data dari tabel diatas kemudian diolah menggunakan persamaan berikut:

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

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

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

$$f = \frac{0,022}{0,6} = 0,036 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,036 = 0,226 \text{ rad/s}$$

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

$$f = \frac{0,048}{0,6} = 0,08 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,08 = 0,502 \text{ rad/s}$$

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

$$f = \frac{0,072}{0,6} = 0,12 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,12 = 0,753 \text{ rad/s}$$

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

$$f = \frac{0,094}{0,6} = 0,156 \text{ revs}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,156 = 0,979 \text{ rad/s}$$

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

$$f = \frac{0,098}{0,6} = 0,163 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,163 = 1,023 \text{ rad/s}$$

Tabel 4.6. Kecepatan aliran linear sudu 3

Debit (L/m)	Velocity (m/s)	Radius (m)
50	0,032	0,6
100	0,069	0,6
150	0,106	0,6
200	0,146	0,6
220	0,165	0,6

Data dari tabel diatas kemudian diolah menggunakan persamaan berikut:

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

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

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

$$f = \frac{0,032}{0,6} = 0,053 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,053 = 0,332 \text{ rad/s}$$

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

$$f = \frac{0,069}{0,6} = 0,115 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,115 = 0,722 \text{ rad/s}$$

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

$$f = \frac{0,106}{0,6} = 0,176 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,176 = 1,105 \text{ rad/s}$$

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

$$f = \frac{0,146}{0,6} = 0,243 \text{ revs}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,246 = 1,526 \text{ rad/s}$$

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

$$f = \frac{0,165}{0,6} = 0,275 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,275 = 1,727 \text{ rad/s}$$

#### 4.3.2. Perhitungan Efisiensi Turbin

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

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

Dari hasil simulasi menggunakan *Solidwoks Flow Simulation* pada sudu 2 dan 3 diperoleh data sebagai berikut:

A. Pada tabel 4.7 dibawah dapat diperoleh efisiensi pada sudu 2

Tabel 4.7 Data Hasil Simulasi sudu 2

Debit (l/m)	Daya turbin(J/s)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya air(J/s)	Torsi (N.m)
50	0,074	0,000833	0,505	0,332
100	0,598	0,00167	4,062	1,331
150	1,936	0,0025	13,657	3,011
200	5,060	0,00333	32,308	5,511
220	7,002	0,00366	42,932	6,709

1. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 50 lpm adalah:

$$\eta = \frac{0,074}{0,505} \times 100\%$$

$$\eta = 14,653\%$$

2. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 100 lpm adalah:

$$\eta = \frac{0,598}{4,062} \times 100\%$$

$$\eta = 14,721\%$$

3. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 150 lpm adalah:

$$\eta = \frac{1,936}{13,657} \times 100\%$$

$$\eta = 14,175\%$$

4. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 200 lpm adalah:

$$\eta = \frac{5,060}{32,308} \times 100\%$$

$$\eta = 15,661\%$$

5. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 220 lpm adalah:

$$\eta = \frac{7,002}{42,932} \times 100\%$$

$$\eta = 16,309\%$$

B. pada tabel 4.8 dibawah dapat diperoleh efisiensi pada sudu 3

Tabel 4.9. Data Hasil Simulasi sudu 3

Debit (l/m)	Daya turbin(J/s)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya air(J/s)	Torsi (N.m)
50	0,009	0,000833	0,505	0,298
100	0,076	0,00167	4,062	1,206
150	0,263	0,0025	13,657	2,758
200	0,648	0,00333	32,308	5,100
220	0,878	0,00366	42,932	6,290

1. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 50 lpm adalah:

$$\eta = \frac{0,009}{0,505} \times 100\%$$

$$\eta = 1,782\%$$

2. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 100 lpm adalah:

$$\eta = \frac{0,076}{4,062} \times 100\%$$

$$\eta = 1,870\%$$

3. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 150 lpm adalah:

$$\eta = \frac{0,263}{13,657} \times 100\%$$

$$\eta = 1,925\%$$

4. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 200 lpm adalah:

$$\eta = \frac{0,648}{32,308} \times 100\%$$

$$\eta = 2,005\%$$

5. Efisiensi ( $\eta$ ) pada debit aliran 220 lpm adalah:

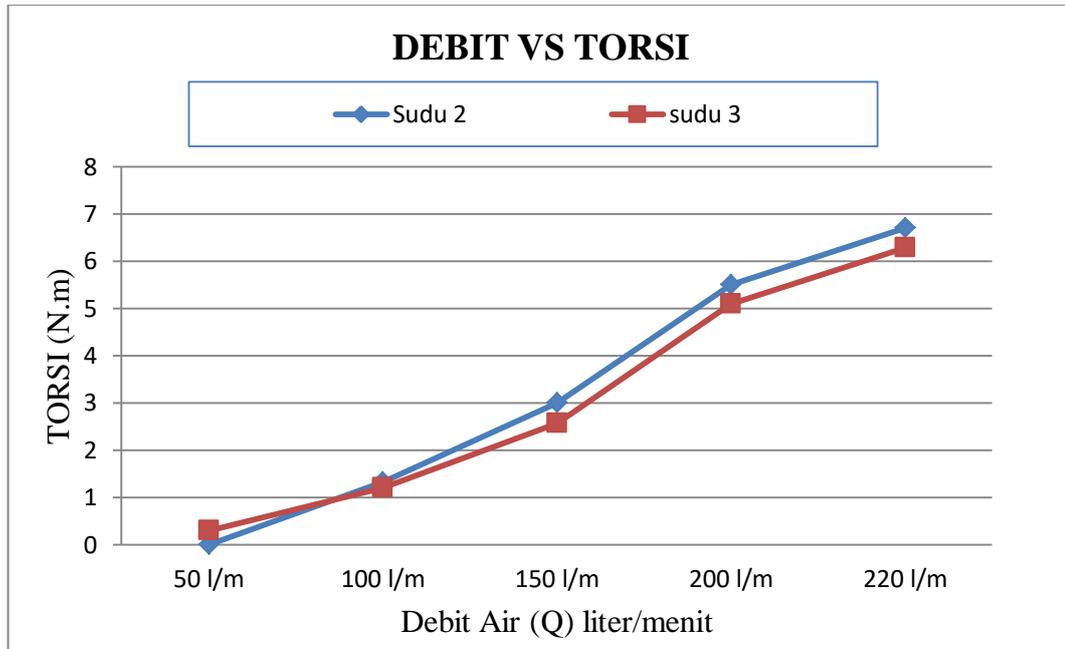
$$\eta = \frac{0,878}{42,932} \times 100\%$$

$$\eta = 2,045\%$$

#### 4.4. Grafik Hasil Simulasi

Adapun grafik hasil simulasi turbin savonis darrieus naca 0018 dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

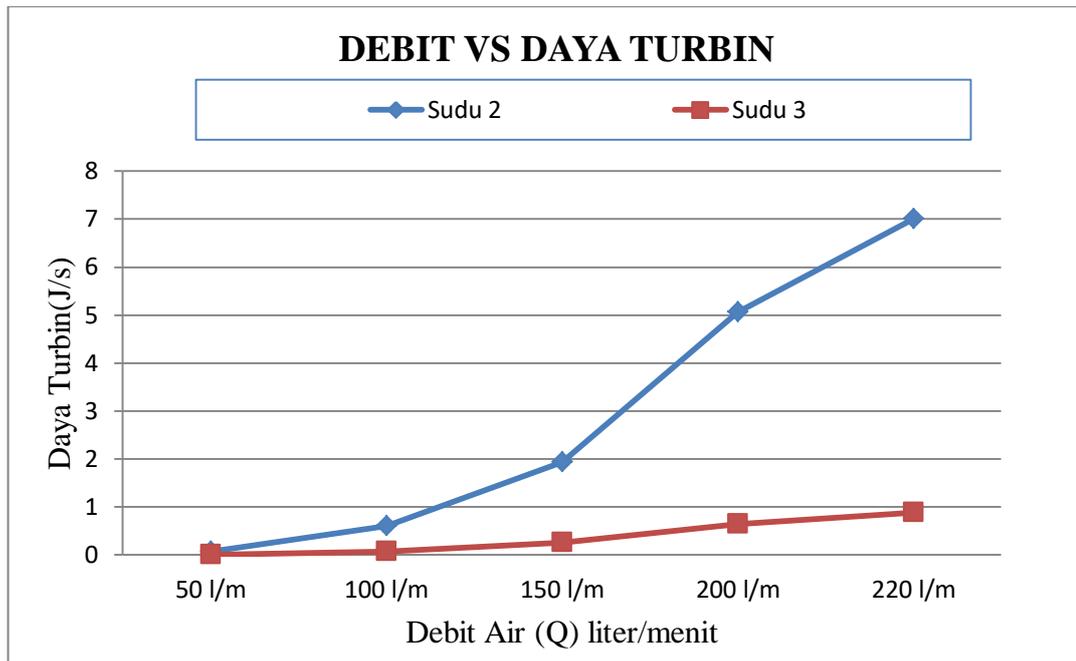
##### A. Debit air terhadap daya torsi



Gambar 4.24. Grafik debit air terhadap Torsi

Hasil 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, dan dari grafik tersebut didapatkan hasil bahwa sudu 2 memiliki torsi lebih besar dibandingkan dengan sudu 3. Adapun nilai torsi sudu 2 adalah 6,709 N.m dengan debit aliran 220 liter/menit sedangkan sudu 3 memiliki nilai torsi 6,290 N.m dengan debit aliran 220 liter/menit. Dan dapat dilihat juga bahawa semakin besar debit aliran maka nilai torsi juga semakin besar.

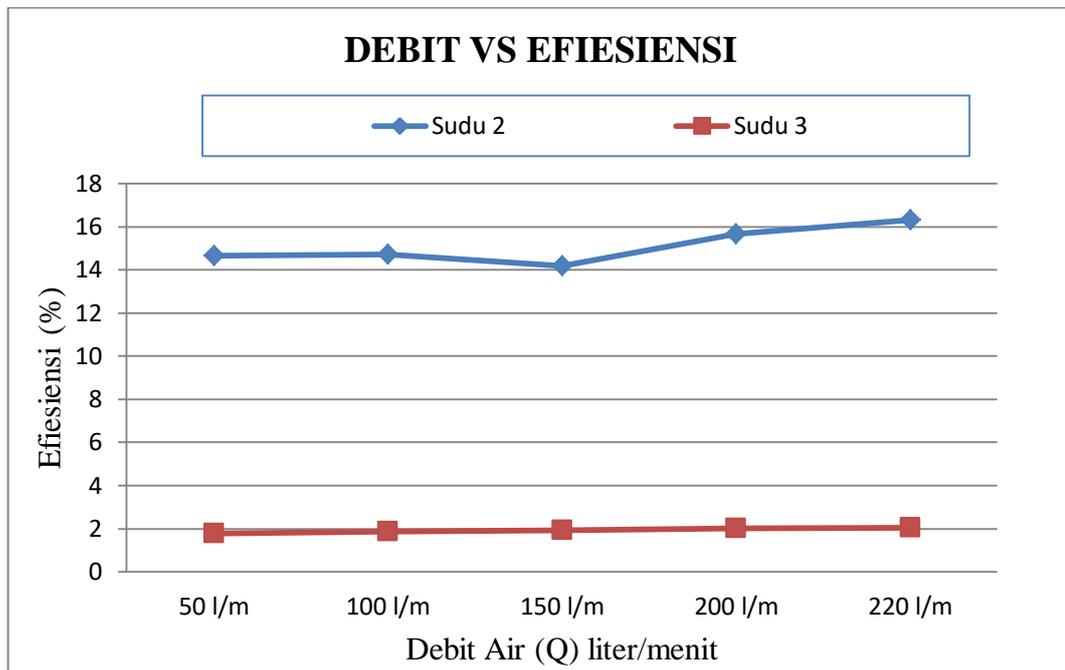
## B. Debit air terhadap daya turbin



Gambar 4.25. Debit Air terhadap daya turbin

Hasil pada grafik diatas merupakan hasil yang didapatkan dari debit air dengan menggunakan sudu turbin savonius darrieus naca 0018 dengan menggunakan variasi sudu 2 dan 3 yang telah dilakukan pengujian simulasi, bahwa kecepatan sudu sangat berpengaruh untuk meningkatkan daya turbin dan juga dari grafik tersebut didapatkan hasil bahwa daya turbin sudu 2 lebih besar dibandingkan dengan sudu 3. Adapun nilai daya turbin sudu 2 adalah 7,002 J/s dan debit 220 liter/menit dibandingkan dengan sudu 3 dengan daya turbin 0,878 J/s dan debit 220 liter/menit. Dan dapat dilihat juga dari grafik bahwa semakin besar debit aliran maka hasil daya turbin akan meningkat.

### C. Efisiensi



Gambar 4.26. debit air terhadap efisiensi

Hasil pada grafik diatas merupakan hasil yang telah didapatkan dari debit air dengan menggunakan sudu turbin savonius darrieus naca 0018 dan dengan menggunakan variasi sudu 2 dan 3 yang telah dilakukan pengujian simulasi, dari grafik tersebut didapatkan hasil bahwa sudu 2 memiliki efisiensi lebih besar dibandingkan dengan sudu 3 dengan nilai efisiensi 16,309% dan debit 220 liter/menit.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### a. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dari simulasi dengan menggabungkan kedua sudu turbin savonius darrieus naca 0018 dengan menggunakan *solidworks* dan pembahasan serta analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya maka dapat ditak kesimpulan bahwa:

1. Semakin tinggi debit aliran maka torsi yang dihasilkan semakin besar.
2. Pada penelitian 2 dan 3 buah sudu semakin tinggi debit aliran maka daya maksimum turbin yang dihasilkan semakin besar.
3. Diantara 2 dan 3 buah sudu nilai maksimum yang lebih efektif adalah 2 buah sudu menghasilkan torsi dan daya turbin yang besar dengan torsi 6,709 N.m, dan daya turbin 7,002 J/s menghasilkan efisiensi 16,309%.

#### b. Saran

Pada pelaksanaan penelitian ini masih banyak terdapat kekurangan dan menghambat dalam penelitian. Adapun saran dari penulis ialah sebaiknya agar pembuatan sudu dan rumah turbin lebih diperbesar agar lebih efektif dan juga proses simulasi penelitian sebaiknya menggunakan laptop dengan spesifikasi yang lebih tinggi agar dalam proses pengambilan data tidak memerlukan waktu yang cukup lama dan data yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atmadi, S., & Fitroh, A. J. (2008). Pengembangan Metode Parameter Awal Rotor Tipe Savonius. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 6(1), 41–50.
- Budiarso dan Harinaldi, 2015. Sistem Fluida Prinsip Dasar Dan Penerapan Mesin Fluida, Sistem Hidrolik, dan Sistem Pneumatik. Jakarta : Penerbit Erlangga
- Kincir, S., & Savonius, A. (2010). *Karakteristik kekasaran permukaan sudu kincir angin savonius*. 8, 191–194.
- Konversi, U., & Arus, E. (2016). *STUDI NUMERIK TURBIN DARRIEUS-SAVONIUS*.
- K. Umurani & A M Siregar. (2020). Pengaruh Jumlah Sudu Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Whirlpool Terhadap Kinerja. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*. Vol.(3).103-111.
- Latif, M. (2013). Efisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 10(3), 147–152. <https://doi.org/10.17529/jre.v10i3.1030>.
- Mulyadi, M. (2014). *Analisis Aerodinamika Pada Pesawat Terbang*. 1–13.
- Mohamed, M.H. Ali, A.H. dan Hafiz, A.A. (2015), “CFD analysis for H-rotor Darrieus turbine as a low speed wint energy converter”. *Engineering science and technology, an international journal*, 18(2015), 1-13.
- Nasution, E. S., Mesin, T., Muhammadiyah, U., & Utara, S. (2018). *PEMBUATAN HYDROFOIL TURBIN*. 2(1), 69–94.
- O.F. Patty. 1995. Tenaga air. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- 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.
- Purnama, A. C., Hantoro, R., & Nugroho, G. (2013). Rancang Bangun Turbin Air Sungai Poros Vertikal Tipe Savonius dengan Menggunakan Pemandu Arah Aliran. *Jurnal Teknik ITS*, 2(2), B278–B282. <http://www.ejournal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/4615>
- Sahbana, M. A., Anam, S. K., Teknik, J., Universitas, M., Malang, W., Sudu, J., Efisiensi, D. D., & Air, T. (2018). *Pengaruh jenis sudu terhadap daya dan efisiensi turbin air kinetik poros horizontal*. 10(2), 20–24.
- Sudirman Lubis (2020) Karakteristik Unjuk Kerja Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri Sebagai Turbin Pat. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*. Vol. (3) .85-92.

- Srijaya, J., Bukit, N., & Palembang, B. (2016). *Perancangan pembangkit listrik tenaga mikro hidro di desa kayuni kabupaten fakfak provinsi papua barat*. 8, 1–12.
- Sumiati, R. (2012). Pengujian Turbin Angin Savonius Tipe U Tiga Sudu Di Lokasi Pantai Air Tawar Padang. *Jurnal Teknik Mesin*, 1(1), 27–32.
- Sharma, A. 2017. *Introduction to Computational Fluid Dynamics: Developmet, Application and Analysis*. United Kingdom. Athena Academic Ltd.
- Turbin, K., Vertical, A., Profil, A., Berbantuan, B., Vane, G., Nim, S., Mesin, T., Teknik, F., Negeri, U., Abstrak, S., & Indonesia, K. (n.d.). *vertical axis*. 1–8.
- Victus Kolo Koten1, S. T. (2017). *Pada Proses Pemanfaatan Aliran Air Tekanan Rendah*. 8(2), 742–751.
- Yuniarso, R. G. K., Mesin, J. T., Teknik, F., Diponegoro, U., & Masalah, B. (n.d.). *Analisa Perancangan Turbin Darrieus Pada Hydrofoil Naca 0015 Dari Karakteristik C L Dan C D Pada Variasi Sudut Serang Menggunakan*. 21–28.

# Lampiran

## **SUDU 2 SAVONIUS DARRIEUS.SLDASM [DEBIT 50 [Default]]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress (%)	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	7,2607E-06	1,128E-05	7,2607E-06	1,68398E-05	100	Yes	4,94131E-06	0,010683665
GG Torque (Y) 1	[N*m]	0,347087458	0,341174336	0,347625028	0,332817258	100	Yes	0,01480777	0,0166841
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0,014423647	0,017451196	0,013353907	0,022672555	100	Yes	0,000476187	0,001822835
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	5,05425E-09
kecepatan sudut	[m/s]	0,24039412	0,290853262	0,222565116	0,377875912	100	Yes	0,007936451	0,030380576
daya turbin	[J/s]	0,083437784	0,099230839	0,129462646	0,074535055	100	Yes	0,00773343	0,008705865

Iterations: 119

Analysis interval: 21

## **SUDU 2 SAVONIUS DARRIEUS.SLDASM [DEBIT 100 [Default]]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress (%)	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	2,24658E-05	3,44599E-05	1,85816E-05	5,57258E-05	100	Yes	1,21741E-05	0,021418632
GG Torque (Y) 1	[N*m]	1,384584333	1,361423937	1,385764359	1,331550265	100	Yes	0,054214094	0,067997418
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0,030527928	0,035286872	0,026416863	0,0481628	100	Yes	0,001300989	0,003765513
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]	0,508798793	0,588114534	0,440281044	0,802713339	100	Yes	0,021683149	0,062758556
daya turbin	[J/s]	0,704474838	0,800566654	1,094950188	0,598572079	100	Yes	0,06612502	0,073879198

Iterations: 119

Analysis interval: 21

## **SUDU 2 SAVONIUS DARRIEUS.SLDASM [DEBIT 150 [Default]]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress (%)	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	5,66577E-05	4,97635E-05	2,41413E-05	7,10426E-05	100	Yes	2,1573E-05	0,03206382
GG Torque (Y) 1	[N*m]	3,144646171	3,0813576	3,144646171	3,011945457	100	Yes	0,132700714	0,153508296
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0,03694081	0,054027265	0,03694081	0,072725719	100	Yes	0,002678043	0,005714742
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]	0,615680165	0,900454412	0,615680165	1,212095315	100	Yes	0,044634054	0,095245705
daya turbin	[J/s]	1,936096272	2,773193854	3,797720316	1,936096272	100	Yes	0,251767849	0,257927595

Iterations: 120

Analysis interval: 21

## SUDU 2 SAVONIUS DARRIEUS.SLDASM [DEBIT 200 [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	6.31654E-05	7.4542E-05	3.39576E-05	0.000106344	100	Yes	2.55307E-05	0.042709008
GG Torque (Y) 1	[N*m]	5.781412907	5.651159074	5.781412907	5.511769655	100	Yes	0.269643252	0.274006299
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.071029953	0.070642193	0.054414659	0.094635203	100	Yes	0.002608476	0.007696705
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]	1.183832544	1.177369887	0.906910976	1.577253386	100	Yes	0.043474604	0.128278416
daya turbin	[J/s]	6.844224752	6.653778176	8.894717794	5.060580433	100	Yes	0.584454788	0.608292715

Iterations: 117

Analysis interval: 21

## SUDU 2 SAVONIUS DARRIEUS.SLDASM [DEBIT 220 [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	4.61836E-05	6.12285E-05	2.51941E-05	9.64539E-05	100	Yes	2.45362E-05	0.046941432
GG Torque (Y) 1	[N*m]	7.020989027	6.88111519	7.025690641	6.709029386	100	Yes	0.316661256	0.331298824
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.065819288	0.079737078	0.061575896	0.09867292	100	Yes	0.002963111	0.008466642
kecepatan	[m/s]	0.139694656	0.139694656	0.139694656	0.139694656	100	Yes	0	1.39695E-09
daya air	[J/s]	42.93211351	42.93211351	42.93211351	42.93211351	100	Yes	0	4.29321E-07
kecepatan sudut	[m/s]	1.096988137	1.328951298	1.026264929	1.64454866	100	Yes	0.049385175	0.141110694
daya turbin	[J/s]	7.701941672	9.143327603	11.3448225	7.002968809	100	Yes	0.777431679	0.784787477

Iterations: 119

Analysis interval: 21

## SUDU 3 SAVONIUS DARRIEUS.SLDASM [DEBIT 50 [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	1.68897E-05	2.53882E-05	1.4392E-05	3.74036E-05	100	Yes	1.37331E-05	0.010683665
GG Torque (Y) 1	[N*m]	0.311762196	0.30552431	0.311762196	0.298191224	100	Yes	0.013570972	0.014270885
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0.038408971	0.035844783	0.038408971	0.032345442	100	Yes	0.004013514	0.009932827
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]	0.640149512	0.597413055	0.640149512	0.539090703	100	Yes	0.066891897	0.165547109
daya turbin	[J/s]	0.009912134	0.009713807	0.009912134	0.00948066	100	Yes	0.000431474	0.000453727

Iterations: 103

Analysis interval: 21

## SUDU 3 SAVONIUS DARRIEUS.SLDASM [DEBIT 100 [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress (%)	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	2,95564E-05	4,6579E-05	2,95564E-05	6,57053E-05	100	Yes	2,63954E-05	0,021418632
GG Torque (Y) 1	[N*m]	1,260569233	1,237247171	1,260884749	1,206012879	100	Yes	0,05487187	0,057753238
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0,079541929	0,074720304	0,079541929	0,0691313	100	Yes	0,005779976	0,020018983
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]	1,325698812	1,245338406	1,325698812	1,152188338	100	Yes	0,096332931	0,333649722
daya turbin	[J/s]	0,08034926	0,078862701	0,080369371	0,076871813	100	Yes	0,003497558	0,003681218

Iterations: 108

Analysis interval: 21

## SUDU 3 SAVONIUS DARRIEUS.SLDASM [DEBIT 150 [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress (%)	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	5,98514E-05	5,61593E-05	3,48423E-05	6,99224E-05	100	Yes	2,78671E-05	0,03206382
GG Torque (Y) 1	[N*m]	2,887763559	2,82435383	2,887763559	2,758744347	100	Yes	0,129019211	0,12938896
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0,111807315	0,112547359	0,117730225	0,106887967	100	Yes	0,005390401	0,030060914
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]	1,863455249	1,875789315	1,962170415	1,781466116	100	Yes	0,089840009	0,501015233
daya turbin	[J/s]	0,275549958	0,269499411	0,275549958	0,263238964	100	Yes	0,012310993	0,012346275

Iterations: 114

Analysis interval: 21

## SUDU 3 SAVONIUS DARRIEUS.SLDASM [DEBIT 200 [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress (%)	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	6,39295E-05	7,13893E-05	4,381E-05	9,81829E-05	100	Yes	3,84912E-05	0,042709008
GG Torque (Y) 1	[N*m]	5,328912312	5,218792815	5,328912312	5,100628717	100	Yes	0,228283595	0,230340627
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0,162177031	0,155971074	0,163424828	0,14633103	100	Yes	0,012014873	0,040041571
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]	2,702950521	2,5995179	2,723747139	2,438850503	100	Yes	0,200247886	0,667359516
daya turbin	[J/s]	0,677300687	0,663304583	0,677300687	0,648286016	100	Yes	0,029014671	0,029276118

Iterations: 121

Analysis interval: 21

## SUDU 3 SAVONIUS DARRIEUS.SLDASM [DEBIT 220 [Default]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress (%)	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Mass Flow Rate 1	[kg/s]	7,09433E-05	7,30521E-05	3,87055E-05	0,000104027	100	Yes	3,29288E-05	0,046941432
GG Torque (Y) 1	[N*m]	6,568050343	6,434395661	6,568050343	6,290280705	100	Yes	0,277769638	0,27881693
PG Velocity (Z) 1	[m/s]	0,185201028	0,178618809	0,186960861	0,16593338	100	Yes	0,014870593	0,044046918
kecepatan	[m/s]	0,139694656	0,139694656	0,139694656	0,139694656	100	Yes	0	1,39695E-09
daya air	[J/s]	42,93211351	42,93211351	42,93211351	42,93211351	100	Yes	0	4,29321E-07
kecepatan sudut	[m/s]	3,086683804	2,976980147	3,116014351	2,765556339	100	Yes	0,247843223	0,734115306
daya turbin	[J/s]	0,917521536	0,898850692	0,917521536	0,878718602	100	Yes	0,036802934	0,038949235

Iterations: 126

Analysis interval: 21

**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2020 – 2021**

Peserta seminar

Nama : Syahrin Fauzi Harahap

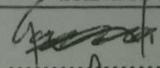
NPM : 1507230203

Judul Tugas Akhir : Simulasi Numerik Unjuk kerja Turbin Air savonius Darrieus Naca 0018  
Terhadap Variasi Jumlah Sudu

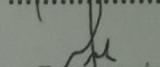
**DAFTAR HADIR**

**TANDA TANGAN**

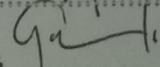
Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T

: 

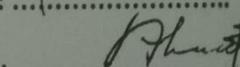
Pembimbing – II : H.Muharnif.S.T.M.Sc

: 

Pembanding – I : Chandra A Siregar.S.T.M.T

: 

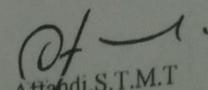
Pembanding – II : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T

: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1507230184	FEBRI ANTONI S	
2	1507230186	FAHRUDDIN ARAZI	
3	1507230213	FANDI HARIADI	
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 07 Rab. Awal 1442 H  
24 Oktober 2020 M

Ketua Prodi. T.Mesin

  
Attandi.S.T.M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Syahrin Fauzi Harahap  
NPM : 1507230203  
Judul T.Akhir : Simulasi Numerik Unjuk Kerja Turbin Air Savonius Darrieus Naca 0018  
Terhadap Variasi Jumlah Sudu.

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

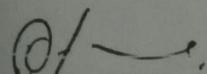
KEPUTUSAN

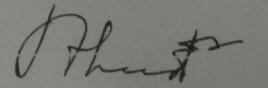
1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :  
*...tambahkan gbr pada hasil semai yg di metode .  
...perbaiki grafik dan tambah gbr...49...3 sudu  
...lihat cupiran skripsi yg telah di periksa .*
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :  
.....  
.....  
.....  
.....

Medan 07 Rab.Awal 1442H  
24 Oktober 2020 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin

Dosen Pembanding- II

  
Affandi.S.T.M.T

  
Ahmad Marabdi Siregar.S.T.M.T

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

---

NAMA : Syahrin Fauzi Harahap  
NPM : 1507230203  
Judul T.Akhir : Simulasi Numerik Unjuk Kerja Turbin Air Savonius Darrieus Naca 0018  
Terhadap Variasi Jumlah Sudu.

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

**KEPUTUSAN**

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

..... *What buku Ngas Alur* .....

.....

.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
- Perbaikan :

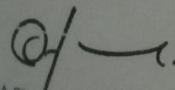
.....

.....

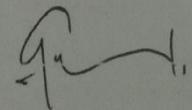
.....

Medan 07 Rab.Awal 1442H  
24 Oktober 2020 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin

  
Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- I

  
Chandra A Siregar.S.T.M.T



UMSU

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

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

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN  
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 1090/IL.3-AU/UMSU-07/F/2020

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 19 Oktober 2020 dengan ini Menetapkan :

Nama : SYAHRIN FAUZI HARAHAH  
NPM : 1507230203  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Semester : XI (SEBELAS)  
Judul Tugas Akhir : SIMULASI NUMERIK UNJUK KERJA TURBIN AIR SAVONIUS  
DARRIEUS NACA 0018 TERHADAP VARIASI JUMLAH SUDU  
  
Pembimbing – I : KHAIRUL UMURANI, S.T, M.T  
Pembimbing – II : H. MUHARNIF .S.T, M.Sc

Dengan demikian diizinkan untuk menulis Tugas Akhir dengan ketentuan :

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

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

Ditetapkan di Medan pada Tanggal,  
Medan, 04 Rabi'1 1442 H  
21 Oktober 2020 M

Dekan



*Muhammad Alfansury Siregar*  
**Muhammad Alfansury Siregar, S.T, M.T**  
NIDN : 0101017202

Cc. File

### LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

#### SIMULASI NUMERIK UNJUK KERJA TURBIN AIR SAVONIUS DARRIEUS NACA 0018 TERHADAP VARIASI JUMLAH SUDU

Nama : Syahrin Fauzi Harahap  
NPM : 1507230203

Dosen Pembimbing1 : Khirul umurani, S.T., M.T  
Dosen Pembimbing2 : H. Muharnif, S.T., M.Sc

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Selasa 12/11 2019	- Perbaiki pendahuluan	h
2.	Rabu 25/02 2020	- Perbaiki tujuan	h
3.	Senin 17/02 2020	- perbaiki tinjauan pustaka	h
4.	Rabu 26/02 2020	- Perbaiki metode	h
5.	Senin 21/09 2020	- Perbaiki kesimpulan	h
		lanjut ke penutup	h
6.	Jumat 09/10 2020	- Tambahkan rumus	h
7.	Senin 12/10 2020	- Perbaiki analisa dan lampiran.	h
8.	Selasa 13/10 2020	At, senior	h

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### A. DATA PRIBADI

Nama : Syahrin Fauzi Harahap  
Jenis Kelamin : Laki-Laki  
Tempat, Tanggal Lahir : Padangsidempuan 14 Februari 1997  
Alamat : Jl. Stn. Panindoan Gg Dame No 19  
Padangsidempuan Utara  
Agama : Islam  
E-mail : [syahrinfauziharahap820@gmail.com](mailto:syahrinfauziharahap820@gmail.com)  
No.Hp : 0822-7738-2497

### B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Negeri 025 Siberuang Tahun 2003-2009
2. SMP Yappendak koto kampar Tahun 2009-2012
3. SMK Teruna Padangsidipuan Tahun 2012-2015
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2015-2020

