

TUGAS AKHIR

SIMULASI NUMERIK KARAKTERISTIK UNJUK KERJA TURBIN AIR SAVONIUS DARRIEUS NACA 0015

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

Disusun Oleh:

FAHRUDDIN ARAZI
1507230186



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2020

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

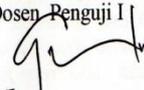
Nama : Fahrudin Arazi
NPM : 1507230186
Judul Skripsi : Simulasi Numerik Karakteristik Unjuk Kerja Turbin Air
Savonius Darrieus Naca 0015
Bidang ilmu : Konversi Energi

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

Medan, 3 November 2020

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I


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

Dosen Penguji II


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

Dosen Penguji III


Khairul Umurani S.T.,M.T

Dosen Penguji IV


H. Muharnif S.T., M.Sc

Program Studi Teknik Mesin



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Fahrudin Arazi
Tempat /Tanggal Lahir : pematang kuing, 12 desember 1997
NPM : 1507230186
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“SIMULASI NUMERIK KARAKTERISTIK UNJUK KERJA TURBIN AIR SAVONIUS DARRIEUS NACA 0015”,

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, 13 November 2020

Saya yang menyatakan,


Fahrudin Arazi

ABSTRAK

Tubin air adalah alat yang merubah energi aliran menjadi energi mekanik, poros sebelum dikonversi menjadi energi mekanik pada turbin maka energi potensial perlu dikonversi menjadi energi kinetic terlebih dahulu. Adapun cara kerja turbin air savonius darrieus yang dipakai ini adalah memanfaatkan laju aliran air untuk menggerakkan sudu sehingga menghasilkan perubahan kinetic air menjadi energi mekanis pada turbin yang digunakan untuk menggerakkan generator dan kemudian menjadi energi listrik. Gabungan dari rotor yang menghasilkan rotor savonius dan rotor darrieus ialah untuk mengeliminasi ketidak mampuan rotor darrieus dalam torsi awal, rotor savonius di kopelkan pada rotor dsarrius pada poros yang sama, untuk itu maka penelitian ini diarahkan untuk menentukan variasi debit yaitu 50liter/menit, 100 liter/menit, 150 liter/menit, 200 liter/menit, 220 liter/menit. Metode yang digunakan yaitu tahap processing tahap awal dalam membangun sebuah model komputasi fluida, lalu membuat desain geometri 3D turbin air svonieus darrius naca 0015 menggunakan software solidwork 2014, kemudian membuat wizard, menentukan boundary condition dan menentukan goals selanjutnya masuk ketahap meshing setelah proses meshing maka selanjutnya proses solving, dan di dapat daya turbin paling besar yaitu daya 0,595 J/s pada debit 220liter/menit, torsi yang paling besar yaitu 4,643 N/m pada debit 220liter/menit,dan efisiensi paling besar yaitu 1,789 % pada debit 200 liter/menit

Kata Kunci ; Variasi Debit Air, Turbin Savonieus Darrius, Simulasi.

ABSTRACT

The water tube is a device that converts flow energy into mechanical energy, before the shaft is converted to mechanical energy in the turbine, the potential energy needs to be converted into kinetic energy first. The way the Savonius Darrieus water turbine works is to use the water flow rate to move the blade so as to produce a kinetic change of water into mechanical energy in the turbine which is used to drive the generator and then into electrical energy. The combination of the rotor that produces the savonius rotor and the darrieus rotor is to eliminate the inability of the darrius rotor in the initial torque, the savonius rotor is coupled to the dsarrius rotor on the same shaft, therefore this research is directed to determine the discharge variation, namely 50 liters / minute, 100 liters / minute, 150 liter / minute, 200 liter / minute, 220 liter / minute. The method used is the initial processing stage in building a fluid commutation model, then making a 3D geometric design of the water tube svonieus darrius naca 0015 using Solidwork 2014 software, then creating a wizard, determining the boundary conditions and determining the goals then entering the meshing stage after the meshing process then next solving process, and getting the greatest turbine power is 0.595 J/s of power at a discharge of 220 liters / minute, the greatest torque is 4.643 N / m at a discharge of 220 liters / minute, and the greatest efficiency is 1.789% at a discharge of 200 liters / minute

Keywords ; Variation of Water Discharge, Savonieus Darrius Turbine, Simulation.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Simulasi Numerik Karakteristik Unjuk Kerja Turbin Air Savonius *Darrieus* Naca 0015” 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 Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T.,M.T selaku Dosen Pembanding II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir 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 I Fakultas Teknik Mesin, Universitas Muhamadiyah Sumatera Utara.

7. Bapak Affandi S.T.,M.T Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesin kepada penulis.
9. Teruntuk kedua orang tua tercinta penulis yaitu Sutrisno dan Ibunda Sukria Siregar yang telah membesarkan,mengasuh mendidik,serta memberikan kasih sayang, doa yang tulus dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan Program studi Teknik Mesin di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara .
10. Teruntuk kakak yaitu Sri Rahayu Ningsih S.Pd yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir.
11. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
12. Sahabat-sahabat penulis fakultas teknik mesin 2015 Febri antoni sahfitri, Suprayogi, Syahrin Fauzi Harahap, Fandi Hariadi, Wahyu Eka Syahputra, Ricky Hariyanto, M Ibnu Manda dan Aris Munandar Hsb.
13. Sahabat penulis lainnya Beni Candra, Novi Adyaputri, Sahara Murni Tanjung, Inaya, Rizky Ryadi, Zulham Efendi Saragih,Cici Kurniyawati, Putri Aulia, Kristina Warti Sinaga, dll yang tidak dapat disebutkan 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, 08 september 2020



Fahrudin arazi

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI | iii |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRAK | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR TABEL | viii |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR NOTASI | xii |
| | |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan masalah | 3 |
| 1.3. Ruang lingkup | 3 |
| 1.4. Tujuan | 3 |
| 1.5. Manfaat | 3 |
| | |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1. Energi Air | 4 |
| 2.1.1. Energi Kinetik | 4 |
| 2.1.2. Energi potensial | 4 |
| 2.2. Turbin | 5 |
| 2.2.1. Pengertian turbin air | 5 |
| 2.2.2. Klasifikasi turbin air | 5 |
| 2.2.3. Defenisi turbin air Savonius | 6 |
| 2.2.4. Komponen utama turbin air | 8 |
| 2.3. Hidrofoil | 8 |
| 2.4. Daya air dan turbin | 10 |
| 2.5. Karakteristik turbin air | 14 |
| 2.6. Simulasi Dengan Metode Numerik | 15 |
| 2.7. Compunational dynamic fluida | 16 |
| BAB 3 METODOLOGI | 21 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Pembuatan | 21 |
| 3.1.1. Tempat Pembuatan | 21 |
| 3.1.2. Waktu Penelitian | 21 |
| 3.2 Alat dan instrument penelitian | 22 |
| 3.2.1 Laptop/pc | 22 |
| 3.2.2 Aplikasi solidword | 23 |
| 3.3 Flowchart penelitian | 24 |
| 3.4 Prosedur Penelitian | 25 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 3.4.1.. | Pre processing | 25 |
| 3.4.1.1. | Desain Komponen Turbin | 25 |
| 3.4.1.2. | Wizard | 25 |
| 3.4.1.3 | Menentukan Skala Mesh | 25 |
| 3.4.1.4. | Menentukan Boundary Condition | 26 |
| 3.4.1.5. | Menentukan Goals | 26 |
| 3.5. | Procesing | 27 |
| 3.5.1. | Meshing | 27 |
| 3.5.2. | Solving | 27 |
| 3.5.3. | Analisa data dan kesimpulan | 27 |
| BAB 4 | HASIL DAN PEMBAHASAN | 28 |
| 4.1 | Valiasi penelitian | 28 |
| 4.1.1. | Prosesing Turbin Air Savonieus Darrius naca 0015 | 28 |
| 4.1.1.1 | Desain Rumah Turbin | 28 |
| 4.1.1.2 | Desain Sudu Savonius Darrius | 31 |
| 4.1.1.3 | Wizard | 35 |
| 4.2 | Hasil simulasi | 41 |
| 4.2.1 | Meshing | 41 |
| 4.2.2 | Kontur Tekanan Dan Kecepatan | 42 |
| 4.2.3. | Vektor Kecepatan Fluida | 43 |
| 4.3 | Efisiensi turbin | 44 |
| 4.3.1 | Putaran sudut | 44 |
| 4.3.2 | Perhitungan efesiensi turbin | 46 |
| 4.4 | Grafik Hasil Simulsi | 47 |
| BAB 5 | KESIMPULAN DAN SARAN | 51 |
| 5.1. | Kesimpulan | 51 |
| 5.2. | Saran | 51 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 52 |
| | LAMPIRAN | |
| | LEMBAR ASISTENSI | |
| | DAFTAR RIWAYAT HIDUP | |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3.1 Jadwal dan pelaksanaan penelitian | 21 |
| Tabel 3.2 Spesifikasi PC yang digunakan | 22 |
| Tabel 3.3 Inlet volume flow | 26 |
| Tabel 4.1 Wizard | 35 |
| Tabel 4.2 Boundary Condition | 36 |
| Tabel 4.3 Goals yang digunakan | 38 |
| Tabel 4.4 Equation Goals | 41 |
| Tabel 4.5 Kecepatan aliran linier | 46 |
| Tabel 4.6 Data hasil simulasi | 47 |

DAFTAR NOTASI

| NO. | Simbol | Besaran | Satuan |
|------------|---------------|--------------------------|---------------|
| 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. | ρ | Kerapatan Air | kg/m^3 |
| 12. | η_t | Efisiensi turbin | % |
| 13. | dn | Diameter nozzle | m |
| 14. | Dt | Diameter lingkaran tusuk | m |
| 15. | Z | Jumlah Sudu | Buah |
| 16. | B_s | Lebar Sudu | m |
| 17. | C_s | Kedalaman Sudu | m |
| 18. | M | Lebar Bukaan Sudu | m |
| 19. | I | Jarak Jet Keujung Sudu | m |
| 20. | L_s | Panjang Sudu | m |
| 21. | F | Gaya | N |
| 22. | ω | Kecepatan Keliling | rpm |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik adalah energi yang paling dibutuhkan pada saat ini, dengan kemajuan teknologi yang berkembang sangat besar maka tak heran manusia sangat membutuhkan energi listrik untuk kebutuhan rumah tangga dalam kebutuhan sehari-hari. Kebutuhan listrik di Indonesia semakin besar dan masih dikuasai oleh energi yang berasal dari fosil seperti minyak bumi dan batu bara. Kerugian dari pemakaian bahan fosil dan minyak bumi ialah sifatnya yang tidak ramah lingkungan, sebab hasil dari pembakaran tersebut menghasilkan gas karbon dioksida yang merupakan gas rumah kaca. Bahan fosil adalah energi tak terbarukan sehingga bila dipakai secara terus menerus maka cadangan bahan bakar fosil akan habis, (Kumar, 2017).

Turbin air secara umum memiliki cara kerja merubah energi kinetik aliran sungai menjadi energi poros yang dikopel dengan generator sehingga menjadi tenaga listrik. Jenis-jenis turbin digolongkan menjadi turbin impuls dan turbin reaksi. Terdapat banyak jenis turbin, namun diperlukan adalah jenis turbin yang dapat bekerja pada head yang rendah atau hanya menggunakan energi kinetik dari aliran air. Dengan head yang rendah maka tidak dibutuhkan tanggul untuk menghasilkan ketinggian jatuh air. (Brian, 2017)

Turbin vertikal aksis sangat bagus bila dimanfaatkan untuk perairan Indonesia karena memiliki kecepatan aliran pada kriteria sedang (low Tip Speed Ratio). Turbin Hidrokinetik yang sering dikembangkan salah satunya adalah tipe Darrieus. Turbin Darrieus mempunyai efisiensi sedikit lebih baik jika dibandingkan dengan tipe Savonius walau dalam aplikasinya masih memiliki torque ripple besar dan lift and drag yang bervariasi, maka dari itu menjadikan peluang untuk perancangan energi alternatif terbarukan yang ramah lingkungan. Indonesia merupakan negara maritim yang sebagian besar luas wilayahnya didominasi oleh laut yang luas. Maka sebab itu, diperlukan peningkatan

penggunaan sumber energi aliran air dalam memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia (Febrianto dan Santoso, 2017)

Salah satu energi terbarukan adalah energi air. energi air adalah salah satu sumber daya yang melimpah, ramah dengan lingkungan dan memiliki sifat *renewable*, untuk itu sangat bagus untuk dikembangkan. jadi jenis turbin air savonius darrieus adalah jenis turbin gabungan yang sangat cocok untuk diterapkan karena lebih mudah berputar pada kondisi kecepatan air rendah. turbin air savonius darrieus memiliki self starting yang baik sehingga mampu memutar rotor walaupun kecepatan air rendah, selain itu torsi yang dihasilkan relative tinggi (Sumiati, 2012)

Pengembangan turbin yang berporos vertikal terpusat pada turbin savonius, turbin darrieus, dan turbin Gorlov. dari ke 3 turbin tersebut turbin darrieus memiliki efisiensi lebih baik dari pada turbin savonius dan lebih rendah dari pada turbin Gorlov. walaupun lebih rendah dari turbin gorlov, turbin darrieus memiliki konstruksi yang lebih mudah untuk dikembangkan, turbin darrieus telah dijadikan sebagai objek penelitian baik itu sebagai berhubungan dengan sumber energy penggerak maupun modifikasi pada konstruksi turbin, tujuan dari penggabungan turbin tersebut untuk mendapatkan hasil apakah turbin tersebut layak dikembangkan dan bermanfaat untuk kehidupan sehari hari, karena sampai saat ini kedua turbin tersebut belum ada dikembangkan pada pembuatan turbin air. (Victus Kolo Koten1, 2017).

Turbin yang digunakan yaitu turbin darrieus dan turbin savonius yang dimana turbin darrieus yang digunakan yaitu jenis tipe H dan turbin savonius yang digunakan yaitu jenis tipe s

Dengan referensi yang didapat mengenai turbin savonius darrieus penulis tertarik mengajukan judul dengan “SIMULASI NUMERIK KARAKTERISTIK UNJUK KERJA TURBIN AIR SAVONIEUS DARRIEUS NACA 0015 “ diharapkan pembaca, khususnya yang terlibat dalam penelitian dapat mengetahui cara kerja 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 simulasi numerik karakteristik unjuk kerja turbin air savonius darrius naca 0015?

1.3 Ruang lingkup

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

- a. Memvariasikan debit air 50 L/menit, 100 L/menit, 150 L/menit, 200 L/menit, 220 L/menit
- b. Melakukan simulasi CFD fluida pada turbin savonius darrius dengan menggunakan *software solidwork flow simulation*
- c. Menggabungkan dua turbin savonius darrius untuk menghasilkan daya

1.4 Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui daya turbin air savonius darrius naca 0015
2. Untuk mengetahui torsi turbin air savonius darrius naca 0015
3. Untuk mengetahui efisiensi turbin air savonius darrius naca 0015

1.5 Manfaat

1. Dalam produksi skala besar dapat menghasilkan daya listrik untuk kebutuhan sehari hari
2. Dalam pembuatan skala besar dapat menjadi energi terbarukan
3. Dari hasil penelitian dapat dijadikan referensi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Air

Air merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan relative mudah didapat, karena air secara terus menerus mengisi ulang melalui siklus hidrologi bumi Energi yang dimiliki air dapat dimanfaatkan dan digunakan dalam wujud energy mekanis maupun energi listrik. Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan menggunakan turbin air ataupun kincir air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun atau aliran air disungai. Banyaknya energi air yang tersedia dari suatu sumber air tergantung pada besarnya head dan debit air (Nahrudin, Harijanto dan Wahid, 2018).

Ribuan tahun yang lalu manusia telah memanfaatkan tenaga air untuk keperluan, misalnya untuk menaikan air keperluan irigasi, menggiling padi dan sebagainya. Didaerah daerah terpencil masih digunakan air. Efisiensi roda air yang dijalankan oleh aliran air tanpa menggunakan seluruh potensi air yang terdapat dalam sungai. 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) dinorten dengan penjelasan yang diterbitkan pada tahun 1750. Energi yang terdapat didalam air adalah energi kinetik dan energi potensial.

2.1.1 energi kinetik

Energi kinetik merupakan energi yang dimiliki benda karena gerakannya, bendanya bergerak maka benda tersebut memiliki kecepatan yang sebanding dengan nilai energi kinetiknya. Maka semakin besar kecepatan fluida dan masa fluida semakin besar juga energi kinetik yang dihasilkan. Energi yang dihasilkan dapat dihitung dengan rumus

$$EK = \frac{1}{2} mv^2 \quad (2.1)$$

2.1.2. Energi Potensial

Energi potensial adalah energi yang dimiliki benda (materi) karena kedudukannya, misalnya berada pada ketinggian tertentu untuk mengetahui nilai dari energi potensial digunakan persamaan

$$EP = \rho \cdot g \cdot h \quad (2.2)$$

2.2. Turbin

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

2.2.1 Pengertian turbin air

Turbin air adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi kinetik dari arus air. turbin air dikembangkan pada awal abad ke-19 dan digunakan secara luas untuk tenaga industri sebelum adanya jaringan listrik. Sekarang mereka digunakan untuk pembangkit tenaga listrik. Kata turbin air pertama kali diucapkan oleh (Burdin, 1873) menjelaskan objek dari kompetisi teknik mengenai sumber tenaga air. Kata tersebut berasal dari bahasa latin *turbo, turbinis*, yang berarti putaran atau puntiran. Definisi turbin yang tepat adalah mesin yang berputar dimana air bergerak secara relative ke permukaan tersebut, sehingga menghasilkan gerakan pada mesin.

2.2.2. Klasifikasi turbin air

1. Turbin Impuls

Turbin dimana perubahan momentumnya hanya terjadi disudu tetapnya saja. Yang termasuk didalamnya adalah turbin pelton

2. Turbin Reaksi

Turbin dimana proses ekspansi fluida kerjanya terjadi didalam sudu tetapnya, Maupun sudu geraknya. Air masuk terjadi didalam rumah turbin dan mengelilingi runner sampai penuh. Yang termasuk didalamnya adalah turbin francis, Turbin Kaplan.

Berdasarkan ketinggian air jatuh (Head), turbin air dapat digolongkan menjadi 3 bagian yaitu:

a. Turbin pelton

Turbin yang bekerja pada ketinggian air jatuh yang sangat tinggi yaitu antara 2000-6000 ft.

b. Turbin francis

Turbin yang bekerja pada head yang sedang yaitu antara 10-100 ft

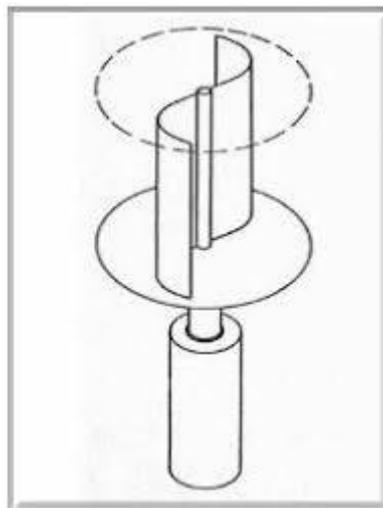
c. Turbin Kaplan

Turbin yang bekerja pada head kecil dengan bentuk sudu yang mirip baling baling yaitu membawa aliran dengan belokan yang hanya sedikit.

2.2.3. Defenisi Turbin Air savonieuus

1. Turbin air savonieuus

Turbin air savonieuus adalah turbin angin energi terbarukan yang baru baru ini dikembangkan menjadi energi air. Turbin angin savonieuus pertama kali diperkenalkan oleh insinyur finlandia sigurd J. Savonieuus pada tahun 1922. Turbin angin sumbu vertikal yang terdiri dari sudu berbentuk setengah silinder (atau elips) yang dirangkai jadi membentuk /S', satu sisi setengah silinder berbentuk cembung dan sisi berbaring berbentuk cekung yang dilalui angin.

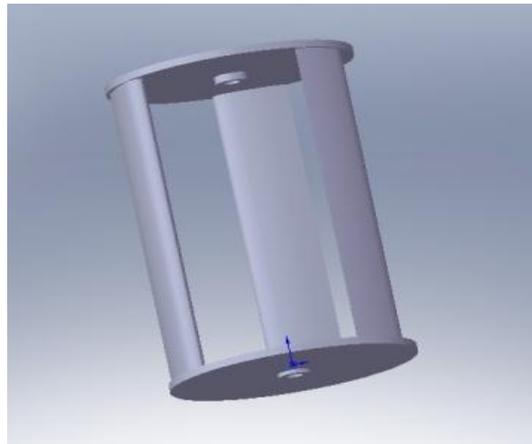


Gambar.2.1. Turbin Air Savonieuus (www.Reuk.co.uk/savonius-wind-turbines.htm&safe)

Turbin air jenis savonius adalah turbin air yang mempunyai tipe drag, sehingga turbin ini menghasilkan daya dengan memanfaatkan gaya drag yang dihasilkan oleh tiap tiap sudunya. Drag adalah gaya yang bekerja berlawanan arah air yang menumbuk sudu-sudu(white, 1986:412).Jenis savonius memiliki daya putaran yang sangat rendah namun gaya drag berfungsi menangkap aliran arus fluida. Turbin air savonius mempunyai cara kerja dengan memanfaatkan drag yaitu tidak dapat berputar kencang apabila kekurangan air dan tidak baik bila dibuat pada area yang memiliki kecepatan yang rendah.

2. Turbin air darrieus

Turbin air darrieus adalah jenis turbin air yang menggunakan energi alternatif yang dapat dengan cepat diproses kembali oleh turbin. Energi air yang dirubah menjadi energi listrik menggunakan turbin air. Turbin air sumbu vertikal merupakan jenis turbin air yang dapat berputar pada kecepatan rendah dengan pembuatan biaya yang murah.



Gambar 2.2. Turbin Air Darrieus (sudargana (2012))

3. Kombinasi rotor savonius dan darrieus

Turbin air savonius darrieus adalah gabungan dari rotor yang mengkombinasikan rotor savonius dan rotor darrieus. Adapun tujuan dalam

penggabungan dari kedua rotor ini ialah untuk mengeliminasi ketidakmampuan rotor darrieus dalam torsi awal, rotor savonius dikopelkan pada rotordarrieus 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 yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan torsi, turbin darrieus dan turbin savonius dapat mengekstraksi energi yang maksimal.

2.2.4. Komponen utama turbin air

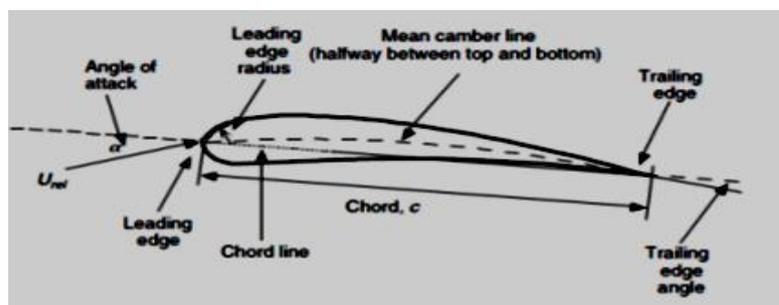
a . Rotor, yaitu bagian yang berputar pada sistem yang terdiri dari : - Sudu-sudu, berfungsi untuk menerima beban pancaran yang disemprotkan oleh nozzle. - Poros, berfungsi untuk meneruskan aliran tenaga yang berupa gerak putar yang dihasilkan oleh sudu -Bantalan, berfungsi sebagai perapat-perapat komponen-komponen dengan tujuan agar tidak mengalami kebocoran pada sistem.

b . Stator, yaitu bagian yang diam pada sistem yang terdiri dari : - Pipa pengarah / nozzle yang berfungsi untuk meneruskan aliran fluida sehingga tekanan dan kecepatan fluida yang digunakan didalam sistem besar. - Rumah turbin, berfungsi sebagai rumah kedudukan komponen-komponen turbin.

2.3. Hydrofoil.

Hydrofoil di gunakan untuk menghasilkan gaya lift yang bekerja pada turbin angin atau turbin air agar dapat berputar. Saat ini salah satu referensi untuk pemilihan *hydrofoil* yang populer adalah profil *hydrofoil* yang dibuat oleh *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA). Pengujian yang dilakukan oleh NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan serta pengujiannya dilakukan pada berbagai bilangan *Reynolds*. Setiap bentuk *Hydrofoil* NACA mempunyai parameter-parameter tersendiri sesuai dengan pengaplikasiannya. Parameter-parameter yang telah ditentukan menurut standart NACA seperti pada gambar 2.2 adalah:

1. Panjang *cord* (c)
2. Maksimum *camber* (f) atau *camber ratio* (f/c) dalam %
3. Posisi maksimum *camber* (X_f)
4. Ketebalan maksimum *Hydrofoil* (t)
5. Posisi maksimum ketebalan (td)
6. Radius *nose* (rN)
7. Koordinat *Hydrofoil* $Z_u(X)$ bagian atas dan $z_i(X)$ bagian bawah.



Gambar 2.5 Bentuk Profil sudu Hydrofooil (Nasution et al.,(2018))

Ketika sebuah benda bergerak melalui fluida, suatu interaksi antara benda dengan fluida terjadi, efek ini dapat di gambarkan dalam bentuk gaya-gaya pada pertemuan antar muka fluida benda. Gaya resultan dalam arah yang sama dengan kecepatan hulu disebut sebagai *drag*, dan gaya resultan yang tegak lurus terhadap arah kecepatan hulu disebut sebagai *lift*. Secara prinsip, kerja turbin air Darrieus ditunjukkan pada Gambar 2.3 Sudu pada turbin ini pada umumnya berbentuk *hydrofoil* simetris yang memenuhi standard NACA. Air yang dengan kecepatan U menabrak sudu mengakibatkan *lift* yang merupakan gaya tangensial yang membentuk torsi agar turbin berputar. Turbin akan berputar dengan kecepatan v dan akibat kedua gerak ini maka terdapat gerak relative W . arah *lift* akan tegak lurus dengan arah kecepatan relative. *Lift* (L) inilah yang menimbulkan torsi pada rotor turbin sehingga turbin dapat berputar. *Drag* (D) adalah tahanan dari sudu untuk bergerak.

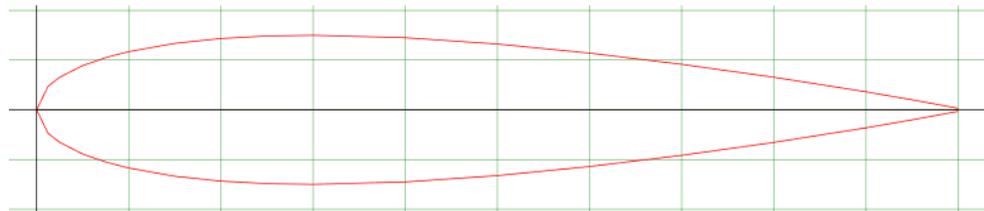
Kecepatan air akan mempengaruhi efisiensi dari turbin yang mana semakin tinggi kecepatan semakin tinggi efisiensinya. Jadi salah satu faktor yang

mempengaruhi efisiensi turbin adalah kecepatan air. Semakin besar kecepatan air maka efisiensi semakin naik. Soliditas turbin darrieus dirumuskan dengan :

$$\sigma = \frac{nc}{\pi d} \quad (2.4)$$

Dengan n adalah jumlah sudu, C adalah lebar sudu (*cord*), d adalah diameter turbin. Soliditas Turbin juga mempengaruhi kinerja turbin darrieus dan hasilnya menunjukkan bahwa perbedaan efisiensi maksimum sedikit berbeda namun pengaruhnya terhadap yang mana lebar C akan membatasi batasan pemakaian.

NACA 0015(National Advisory committee for Aeronautics) NACA 0015 adalah Airfoilsimetris,yang mempunyai bentuk tali busur yang sama antara bagian atas dengan bagian bawahnya.dimana tebal chord maksimum15% dari panjang chord.



Gambar2.6 Bentuk Naca 0015 (jaelani(2015))

2.4. 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 :

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

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).

$$Cp \frac{P_{protor}}{P_{air}} \quad (2.5)$$

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:

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

2.4.1 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:

$$v_1 = \frac{Q}{A} \quad (2.10)$$

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

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

Dengan ρ 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)

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

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

$$E_{kt} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2.13)$$

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

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Q \cdot v^2$$

(2.14)

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

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

(2.15)

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

$$P_t = T \cdot \omega$$

(2.16)

Torsi bisa disebut juga momen atau gaya yang menyatakan benda berputar pada suatu sumbu. Torsi juga bisa di definisikan ukuran keefektifan gaya tersebut dalam menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu. Maka untuk mendapatkan torsi yang merupakan gaya dikali dengan lengan radius pully yang besar lengan (0,13 m), besarnya torsi dapat dihitung dengan persamaan

$$T = F_t \cdot R$$

(2.17)

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

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

(2.18)

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

$$P_t = T \cdot \omega$$

(2.19)

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

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

(2.20)

2.5. Karakteristik Turbin Air

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

1. Rasio Kecepatan
2. Kecepatan Satuan
3. Debit Satuan
4. Daya Satuan
5. Kecepatan Spesifik
6. Diameter Spesifik

1. Rasio Kecepatan (ϕ)

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

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

2. Kecepatan Satuan (Nu)

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

3. Debit Satuan (Qu)

Debit yang masuk ke turbin secara teoritis dapat diandaikan sebagai debit yang melalui suatu curat dengan tinggi terjun sama dengan tinggi terjun (H_{netto}) yang bekerja pada turbin. Dengan C_d adalah koefisien debit. Debit satuan (Qu) adalah debit turbin yang mempunyai diameter (D) satu satuan panjang dan bekerja pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

4. Daya Satuan (Pu)

Dengan η adalah efisiensi turbin, γ adalah berat jenis air. Daya satuan (Pu) adalah daya turbin yang mempunyai diameter (D) satu satuan panjang dan bekerja pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

5. Kecepatan Spesifik (Ns)

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

Kecepatan spesifik (Ns) dapat dinyatakan dalam sistim metrik maupun sistim Inggris, korelasi dari kedua system tersebut Catatan: Satuan daya yang digunakan dalam rumus diatas adalah Daya Kuda (DK) atau Horse Power (HP).

6. Diameter Spesifik (Ds)

Diameter spesifik adalah diameter turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang. Rumus empiris untuk menghitung diameter spesifik dari diameter debit (discharge diameter, D_3) untuk turbin reaksi.

2.6. 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 komputer. Simulasi komputer merupakan alat yang secara virtual mampu menginvestigasi perilaku sistem yang sedang dipelajari. Dengan mengubah beberapa variabel, simulasi ini dapat membuat prediksi

2.8. *Computational Dynamic Fluida (CFD)*

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah tool berbasis komputer untuk mensimulasikan perilaku suatu sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan proses fisik lainnya. Cara kerjanya dengan memecahkan persamaan-persamaan aliran fluida (dalam bentuk tertentu) meliputi suatu daerah yang diinginkan, dengan kondisi pada batas-batas daerah tersebut adalah spesifik dan diketahui persamaan yang menggambarkan proses-proses momentum momentum, transfer massa dan transfer panas dikenal sebagai persamaan Navier Stokes. Persamaan ini merupakan persamaan parsial differensial dan diturunkan pada awal abad ke-19 oleh Sir George Stokes seorang ilmuwan berkebangsaan Inggris dan Henry Navier berkebangsaan Prancis. Solusi analitik umum dari persamaan ini tidak diketahui namun persamaan ini dapat didiskritkan dan dipecahkan secara numerik. Persamaan-persamaan yang menggambarkan proses lain seperti pembakaran dapat dipecahkan dengan persamaan Navier Stokes. Model aproksimasi sering digunakan untuk menurunkan persamaan tambahan ini, model turbulensi adalah salah satu contohnya. Ada beberapa jumlah metode solusi yang digunakan untuk kode CFD. Metode solusi yang paling banyak digunakan juga untuk solidwork Fluent adalah teknik volume hingga (finite volume). Dalam teknik ini daerah analisis dibagi dalam beberapa sub daerah yang disebut volume atur (control volume). Persamaan atur lalu didiskritkan dan dipecahkan secara iterasi untuk setiap volume atur. Hasilnya adalah aproksimasi dari nilai setiap variabel pada titik tertentu dalam domain. Dengan cara ini didapatkan gambaran penuh perilaku aliran yang diinginkan. Kode-kode CFD disusun dalam struktur suatu algoritma numerik yang dapat menangani masalah fluida. Ada tiga tahapan utama dalam melakukan simulasi CFD yaitu:

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

a. Pre Processor

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

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

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

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

b. Solver

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

1. Aproksimasi dari aliran yang tidak diketahui dengan memakai fungsi-fungsi sederhana.

2. Diskritisasi dengan melakukan substitusi dari aproksimasi tersebut ke persamaan-persamaan atur aliran dan dilanjutkan dengan manipulasi matematis.
3. Solusi dari persamaan aljabar.

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

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

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

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

Bila kerja viscous tidak dapat diabaikan maka persamaan ditambahkan di sisi kanan persamaan energi di atas sehingga memperhitungkan efek dari *viscous shear*.

Dari persamaan atas dapat diketahui bahwa ada 7 variabel yang tidak diketahui yaitu u , v , w , P , T , ρ , h . Namun satu set persamaan di atas dapat

dilengkapi dengan dua persamaan aljabar termodinamika yaitu *Equation of State* yang menghubungkan massa jenis dengan tekanan dan temperatur.

Persamaan lain adalah *Constitutive Equation* yang menghubungkan *enthalpy* dengan temperatur dan tekanan. Apabila kontribusi energi terhadap energi total dapat diabaikan maka persamaan energi dapat disederhanakan menjadi *Thermal Energi Equation*:

Equation of state Solver di SIMULASI menghitung tekanan dan *enthalpy* statis. Untuk mencari massa jenis kita harus memiliki thermal equation of state dan untuk mencari temperatur kita harus memiliki hubungan konstitutif. Pemilihan kedua hubungan ini tidak harus independen dan merupakan pilihan memodelkan.

c. *Post Processor*

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

d. *Meshing*

Proses *meshing* bertujuan untuk membagi *solution domain* menjadi bagian-bagian yang lebih kecil lagi yang disebut dengan *cell*. Keakuratan dan perhitungan tergantung dari dan ukuran serta struktur *cell*. Proses perhitungan yaitu melalui iterasi diantara *cell-cell* dalam *mesh*. Jumlah pembagian mesh ini nantinya akan menentukan keakuratan dari hasil komputasi numerik yang dilakukan. Semakin halus hasil *meshing* maka hasil komputasi numerik akan semakin akurat, namun waktu proses komputasi numerik akan menjadi lebih lama. *Software Solidworks Flow Simulation* akan menyeimbangkan gaya dan aliran-aliran massa pada setiap *cell* hingga *error* dapat diprediksi dan diperkecil. Kualitas *meshing* dapat diukur menggunakan *mesh metric*.

Pengertian unjuk kerja berasal dari istilah kata kinerja atau juga disebut performance atau actual performance, yaitu hasil kerja atau prestasi sesungguhnya

yang dicapai oleh seseorang. jadi unjuk kerja turbin air savonius darrius adalah suatu alat yang mengubah energi kinetic menjadi energi mekanik dengan cara kerjanya air yang mengalir dari suatu penampang saluran menuju turbin sehingga menghasilkan daya yang diubah menjadi energi.

Torsi adalah ukuran kekuatan/gaya yang dapat menyebabkan objek berputar sekitar sumbu. sama seperti gaya yang menyebabkan suatu objek berakselerasi dalam kinematika linier (garis lurus) torsi inilah yang menyebabkan suatu objek memperoleh percepatan sudut.

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

Efisiensi adalah suatu ukuran keberhasilan sebuah kegiatan yang dinilai berdasarkan besarnya biaya/sumber daya yang digunakan untuk mencapai hasil yang diinginkan

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1. Tempat Penelitian

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

3.1.2. Waktu Penelitian

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

Tabel 3.1 Jadwal dan Pelaksanaan Penelitian

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

3.2. Alat dan Instrumen Penelitian

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

3.2.1. Laptop/PC

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

Tabel 3.2 Spesifikasi PC yang digunakan

| | |
|------------------|---|
| Processors | Intel(R) Core(TM) i3-7020U CPU @ 2,30 GHz |
| Memory | 4096MB RAM |
| Operating system | WINDOWS 10 HOME SINGLE LANGUAGE 64 BIT |
| CAD version | SolidWorks 2014 SP0.0 |



Gambar 3.1 Laptop

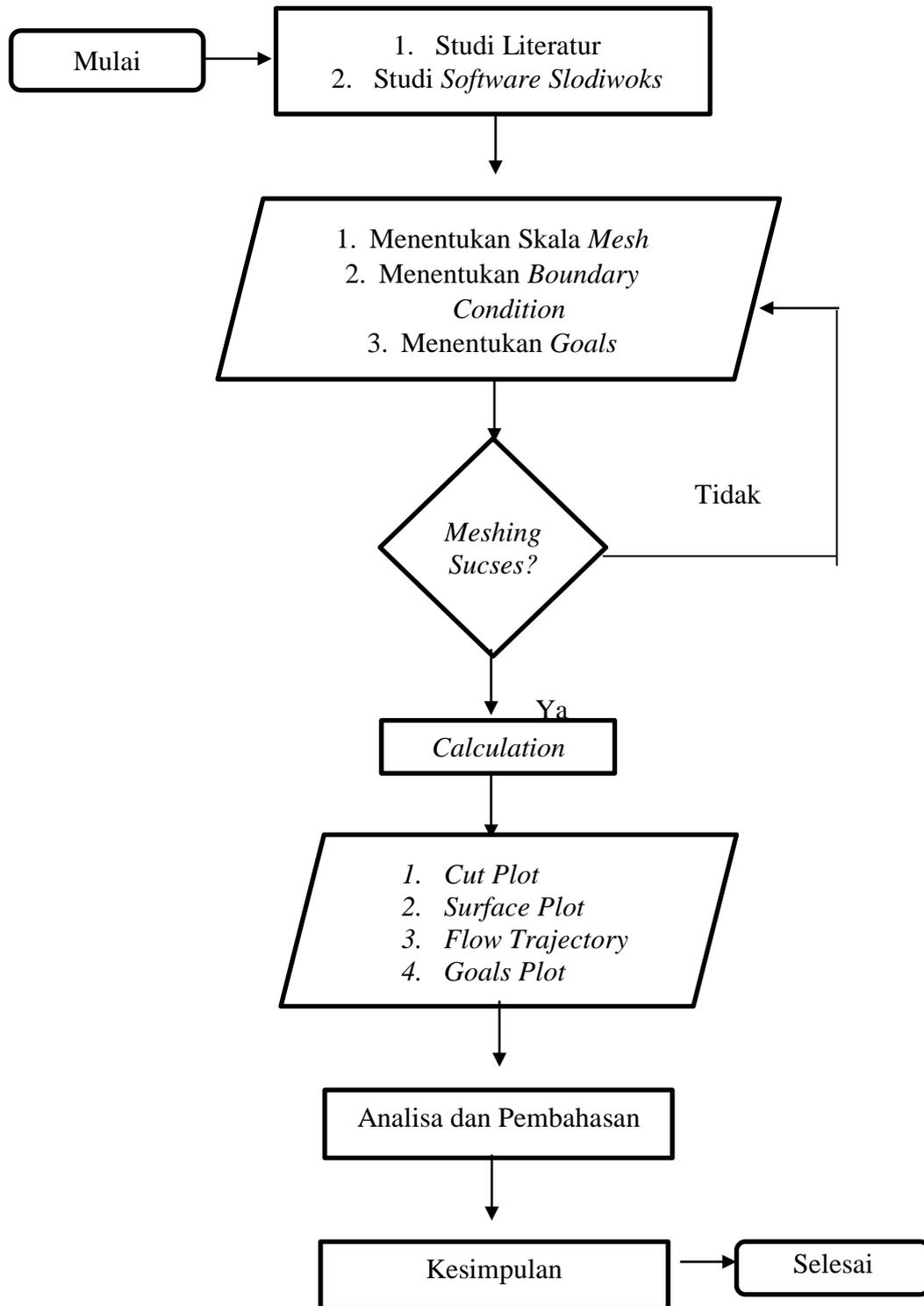
3.2.2. Aplikasi *Solidworks*

Aplikasi *Solidworks* digunakan untuk mendesain bagian-bagian dari Turbin air *savonius darrieus naca 0015* dan selanjutnya disimulasikan menggunakan aplikasi *add-ins Solidworks Flow Simulation*.



Gambar 3.2 Aplikasi *Solidworks*

3.3. Flowchart Penelitian



Gambar 3.2 Flowchart Penelitian

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. *Pre Processing*

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

3.4.1.1. Desain Komponen Turbin

Pada tahapan ini penulis membuat desain geometri 3D turbin air *savonius darrieus naca 0015* menggunakan software *Solidworks 2014*. Diameter sudu turbin yang dirancang adalah 120, jari jari 60 mm. Diameter rumah turbin 205 mm dan tingginya 220 mm.

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

3.4.1.2. Wizard

Tahapan ini dilakukan pada *solidworks flow simulation* dengan menentukan satuan unit yang digunakan yaitu *SI (Satuan Internasional)*, menentukan tipe analisa yaitu *internal analysis* dengan *exclude cavities without flow conditions*. Fluida yang digunakan adalah air, selanjutnya *resut resolution* (skala mesh) dipilih pada level 4 untuk mempercepat dalam melakukan *calculation* dan hasilnya sudah cukup bagus.

3.4.1.3. Menentukan Skala Mesh

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.

3.4.1.4. Menentukan *Boundary Condition*

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

Tabel 3.3. *Inlet Volume Flow*

| L/mnit | m ³ /s |
|--------|-------------------|
| 50 | 0,000833 |
| 100 | 0,00167 |
| 150 | 0,0025 |
| 200 | 0,00333 |
| 220 | 0,00366 |

Selanjutnya pada bagian *outlet boundary condition* yang digunakan adalah *pressure opening* dengan tipe *Environment Pressure* pada setiap variasi debit pada tabel 3.3 diatas.

3.4.1.5. Menentukan Goals

Adapun goals yang diperlukan pada simulasi ini adalah:

1. *Surface goals* dengan parameter GG Mass Flow Rate *savonieuus darrieus naca 0015*.
2. *Surface goals* dengan parameter GG Torque (Y) 1 turbin air *savoneius darrieus naca 0015*.
3. *Surface goals* dengan parameter untuk menghitung *PG Velocity (Z) 1*.
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

3.5. *Procesing*

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

3.5.1. *Meshing*.

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

3.5.2. *Solving*

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

3.5.3. Analisa data dan Kesimpulan

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

BAB 4 HASIL DAN PEMABAHASAN

4.1. Validasi Penelitian

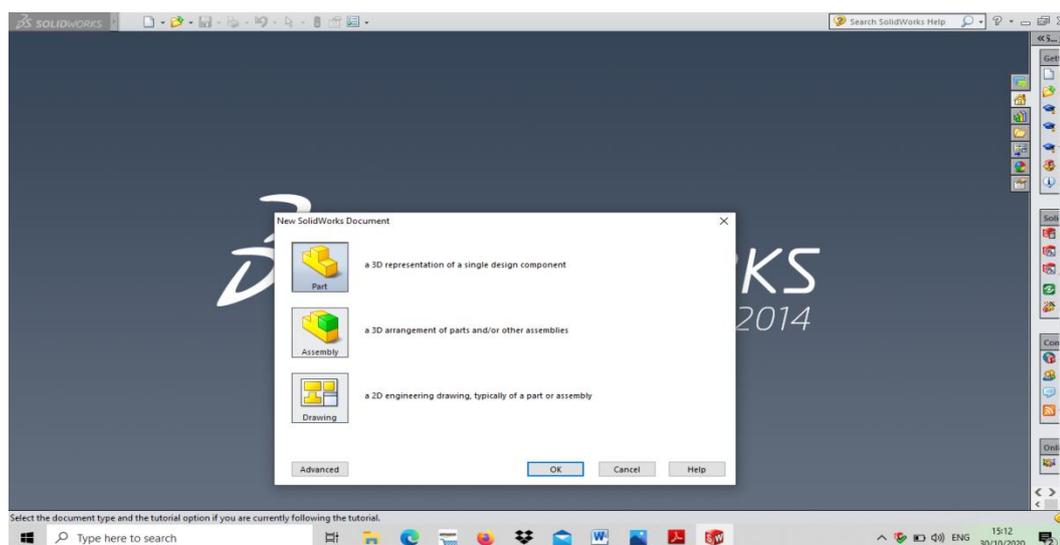
Validasi penelitian merupakan salah satu tahap penelitian dengan simulasi yang harus dilalui agar hasil penelitian yang dihasilkan valid. Validasi turbin air *savonius darrieus naca 0015* dilakukan untuk memastikan penulis mampu mengembangkan pemodelan turbin *savonius darrieus*. Validasi pemodelan turbin *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. Prosesing Turbin air *Savonius Darrieus naca 0015*

4.1.1.1. Desain rumah turbin

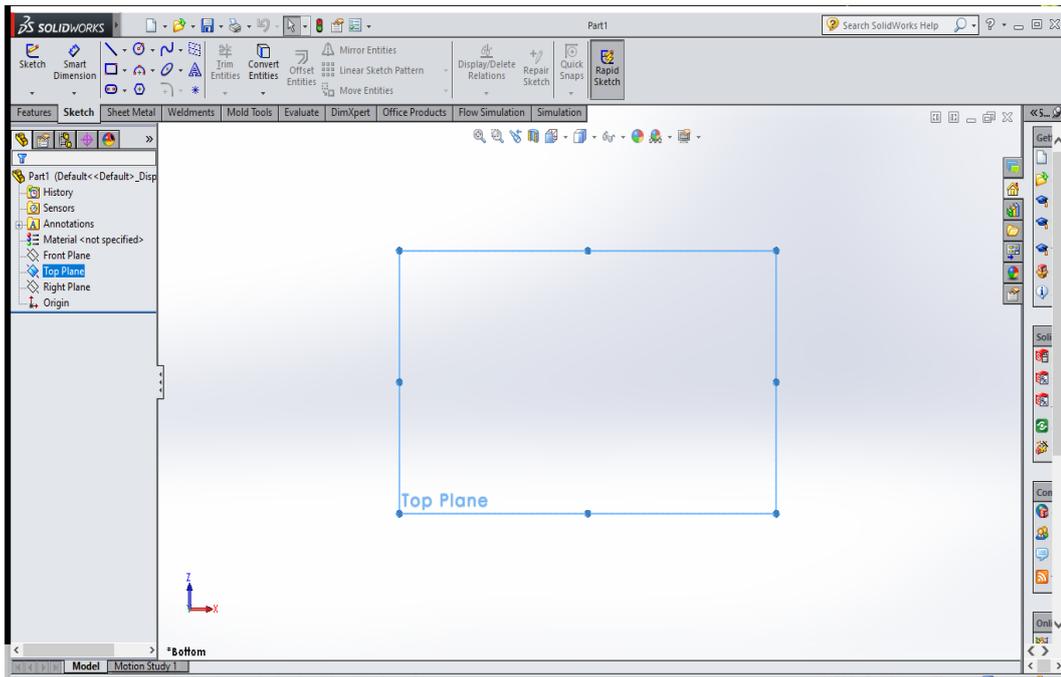
Desian yang akan dirancang adalah rumah dan sudu turbin savonius darrieus naca 0015 berikut ini langkah-langkah perancangan model dengan menggunakan software solidworks 2014

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



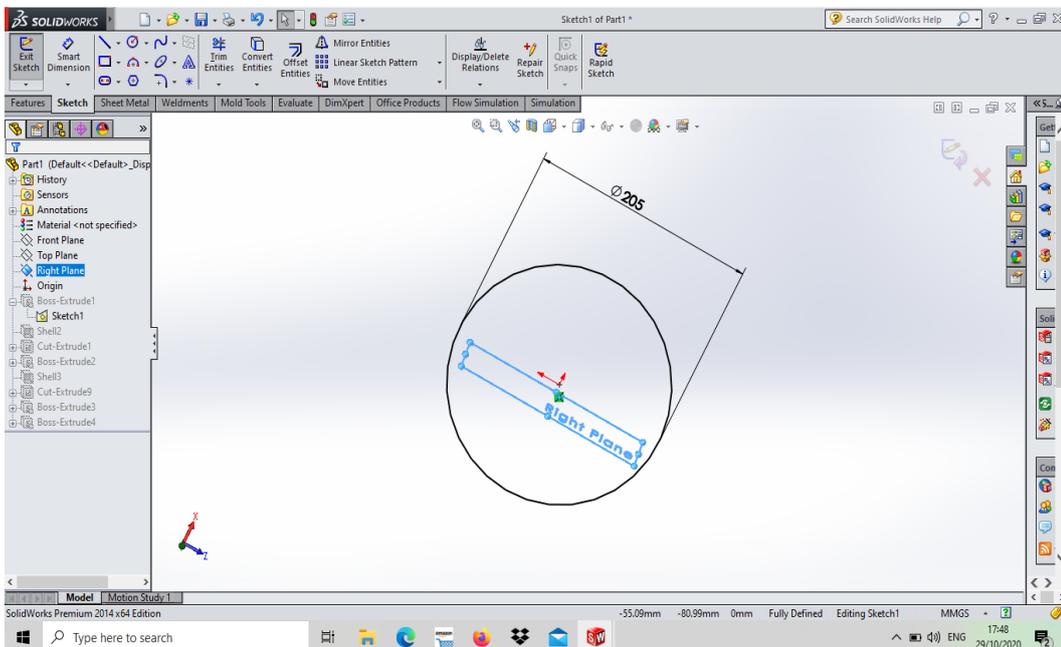
Gambar 4.1 tahap awal solidwork

2. Selanjutnya pilih top plane



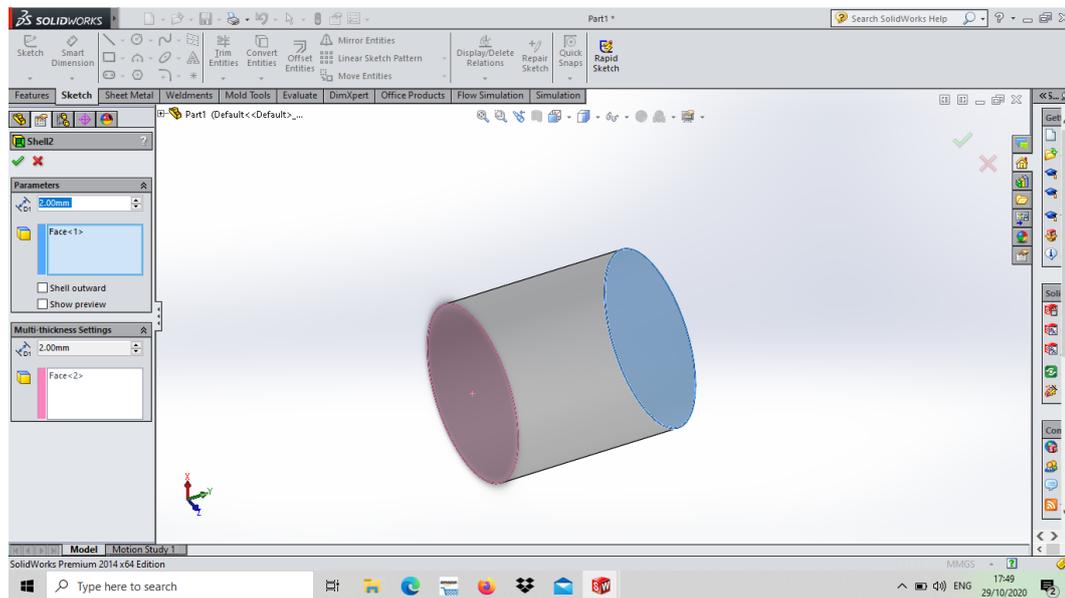
Gambar 4.2 top plane.

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



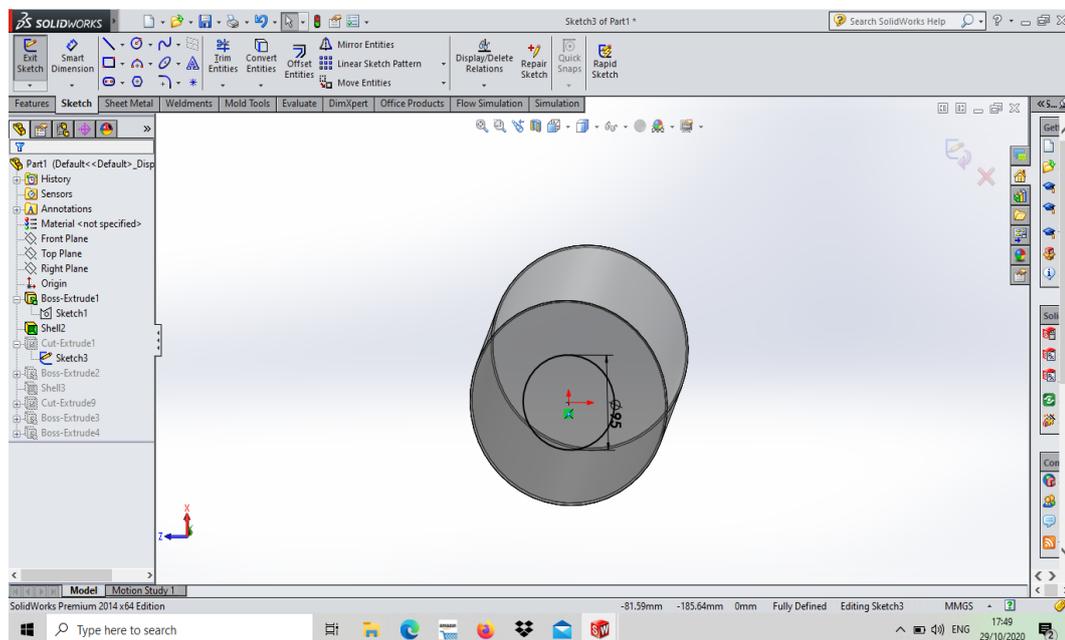
Gambar 4.3 desain 2D diameter rumah

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



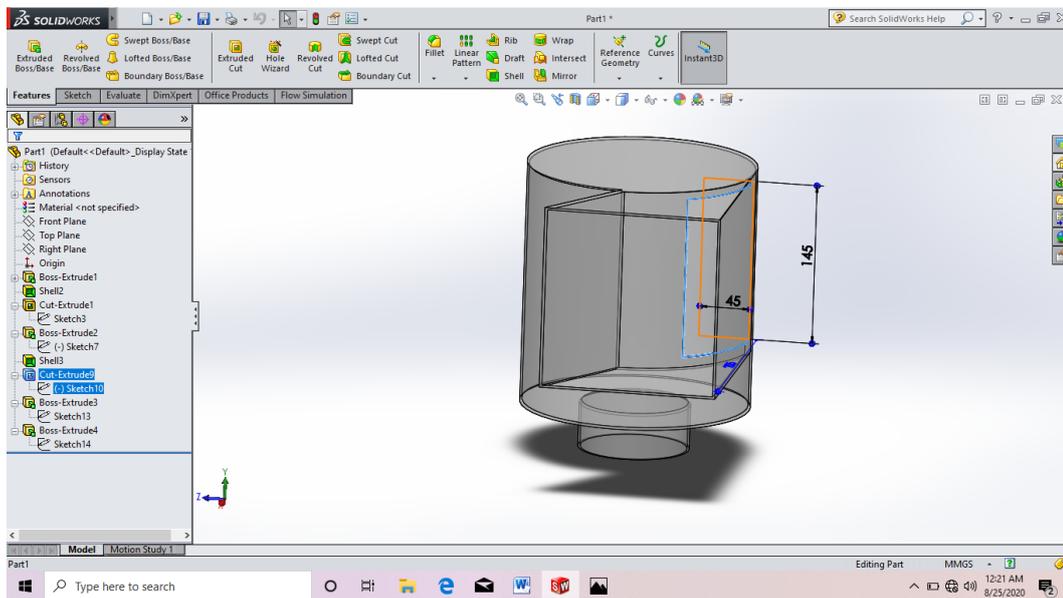
Gambar 4.4 desain rumah sudu 3D.

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



Gambar 4.5 pintu keluar air

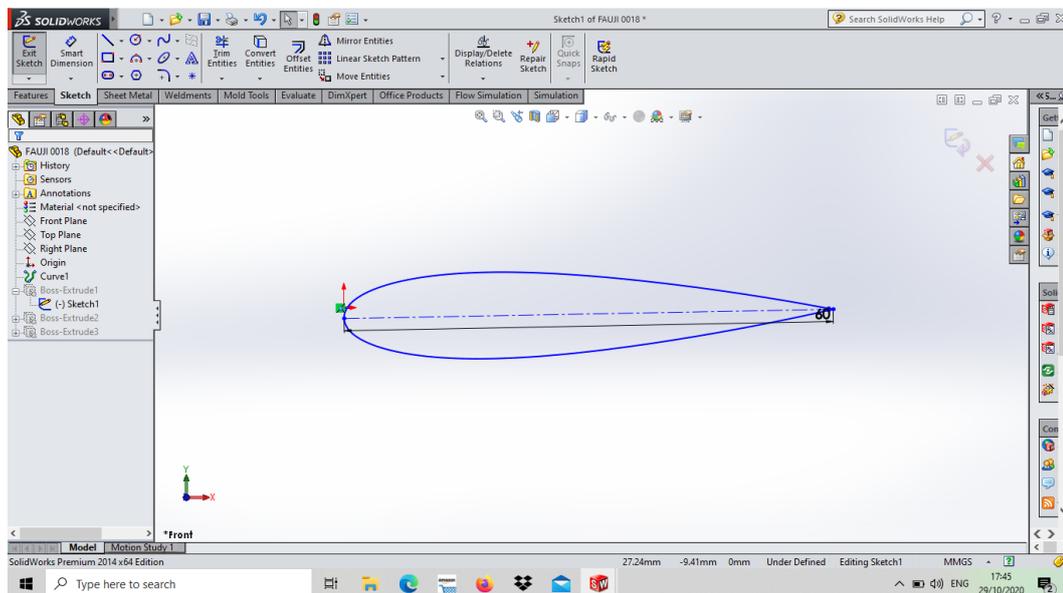
6. Selanjutnya menggunakan sketch membuat pintu masuk air dengan tinggi 145mm dan lebar 45mm.



Gambar 4.6. *Sketch* pintu masuk air

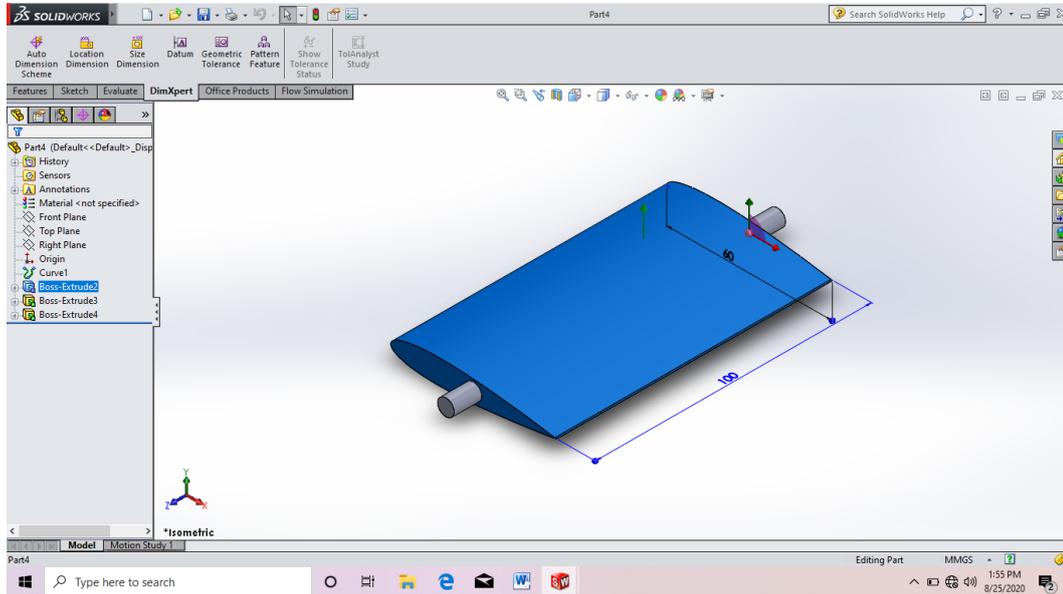
4.1.1.2. Desain sudu savonius darrieus.

7. Selanjutnya menggunakan sketch untuk membuat desain 2D sudu darrieus naca 0015 dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



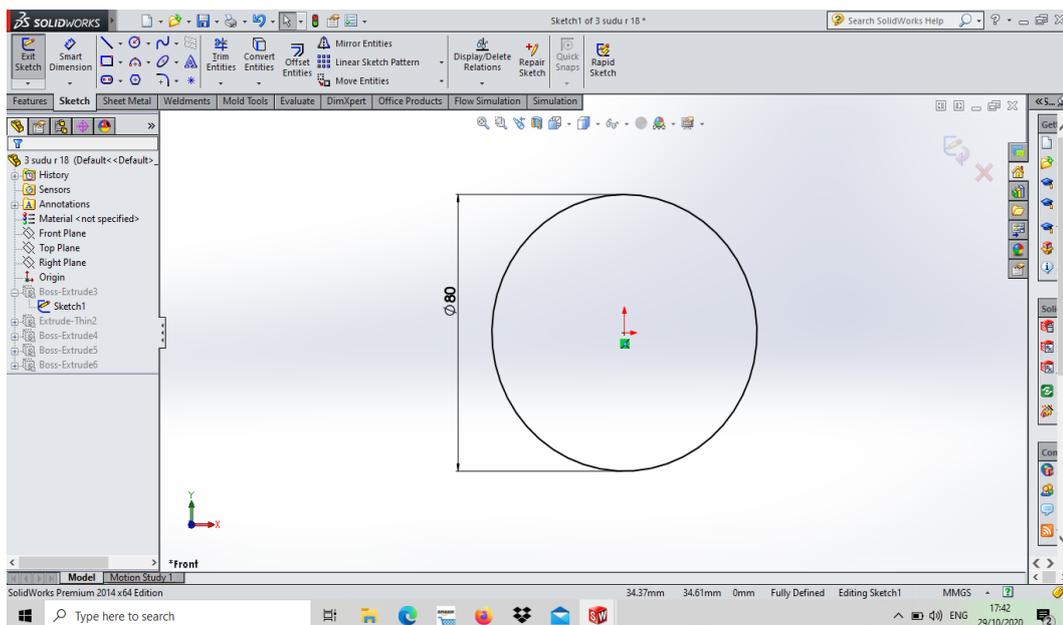
Gambar 4.7. *Sketch* 2D sudu darrieus.

8. Selanjutnya menggunakan sketch untuk membuat desain 3D sudu darrius naca 0015 dengan lebar 60 mm dan panjang 84 mm dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



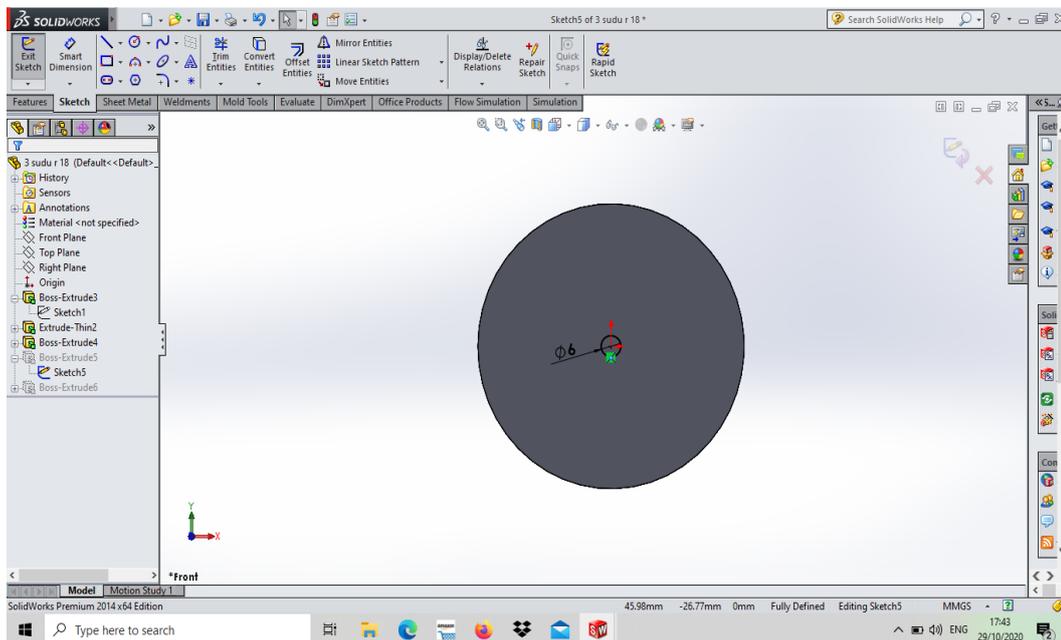
Gambar 4.8.sudu darrius *naca 0015*

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



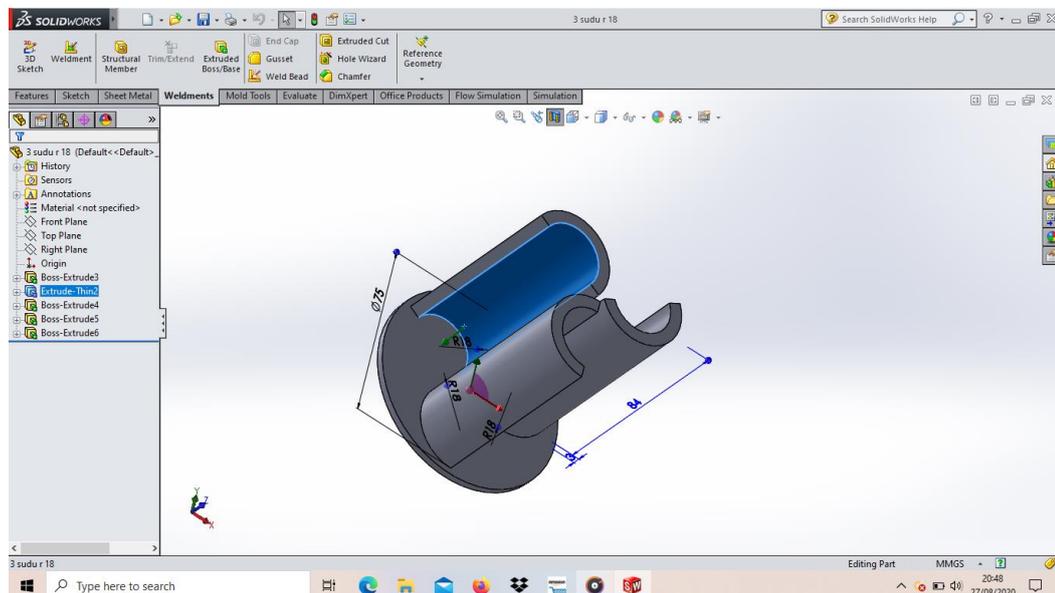
Gambar 4.9 sketch 2D diameter dudukan sudu savonius.

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



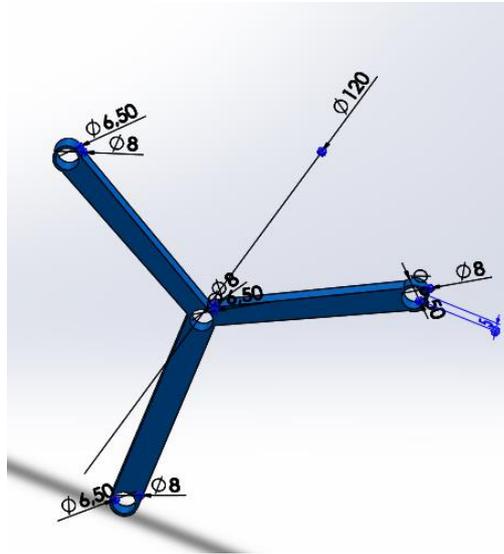
Gambar 4.10. sketch 3D dudukan sudu savonius

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



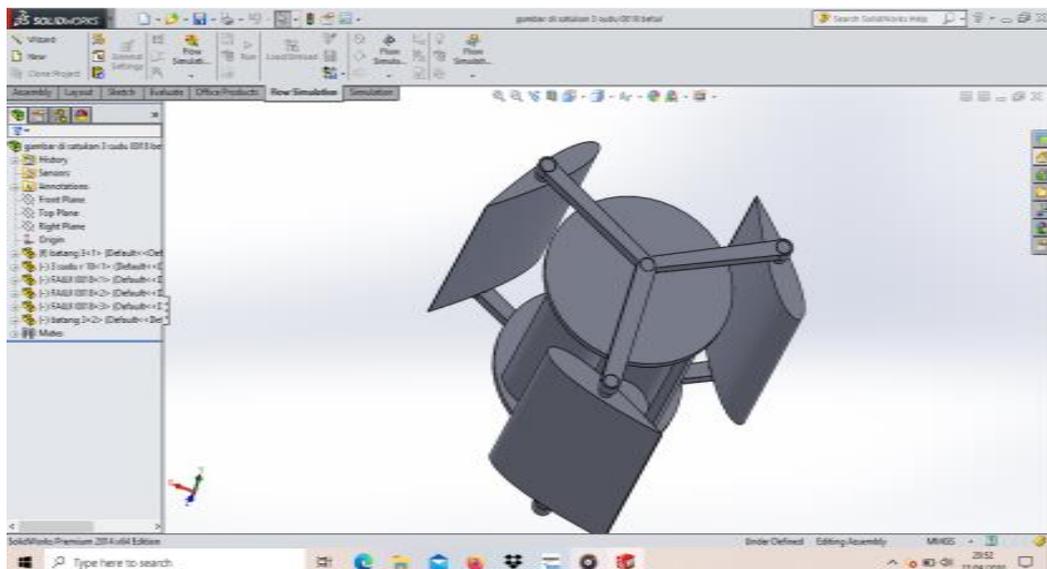
Gambar 4.11. sudu 3 turbin savonius dengan radius 18.

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



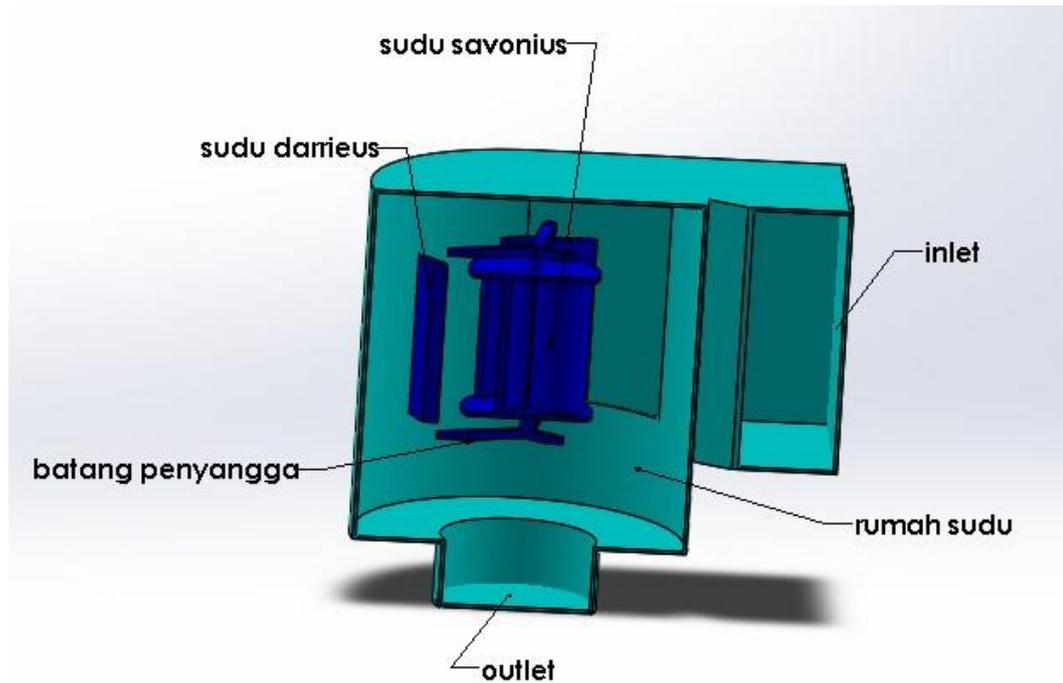
Gambar 4.12 batang penyangga sudu turbin

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



Gambar 4.13 gabungan sudu 3 savonius darrieus.

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



Gambar 4.14 rumah dan sudu turbin savonius darrieus

4.1.1.3. 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 0015</i> |
| <i>Configuration</i> | <i>Use Current</i> |
| <i>Unit System</i> | <i>SI</i> |
| <i>Analisis Type</i> | <i>Internal</i> |
| <i>Physical Features</i> | <i>-</i> |
| <i>Defauld 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

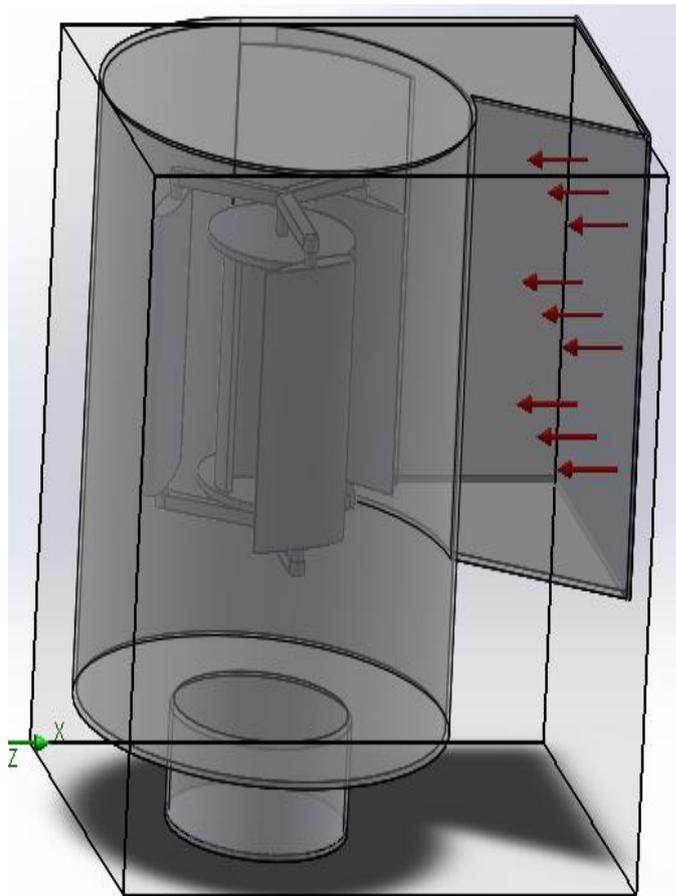
1.1.2. *Boundary Condition*

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

Parameter:
Volume Flow Rate of
0,00366 m³/s, 0,00333
m³/s, 0,0025
m³/s, 0,00167
m³/s, 0,00833 m³/s with
the **uniform** profile.

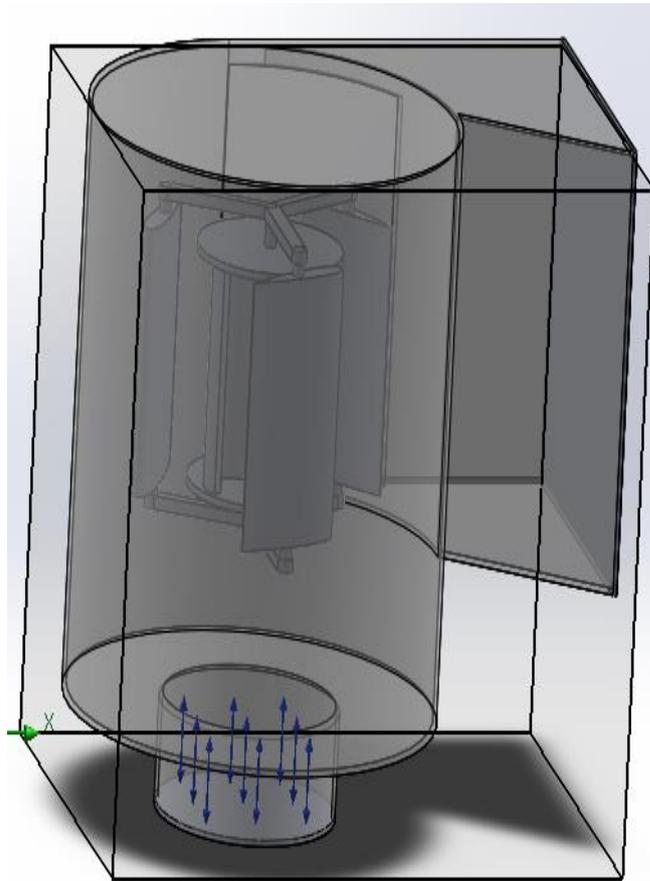


Type **Inlet Volume Flow**

Name **Inlet Volume Flow 1**

Faces to apply **the inner face of the Outlet Lid**

Parameter:
Volume Flow Rate

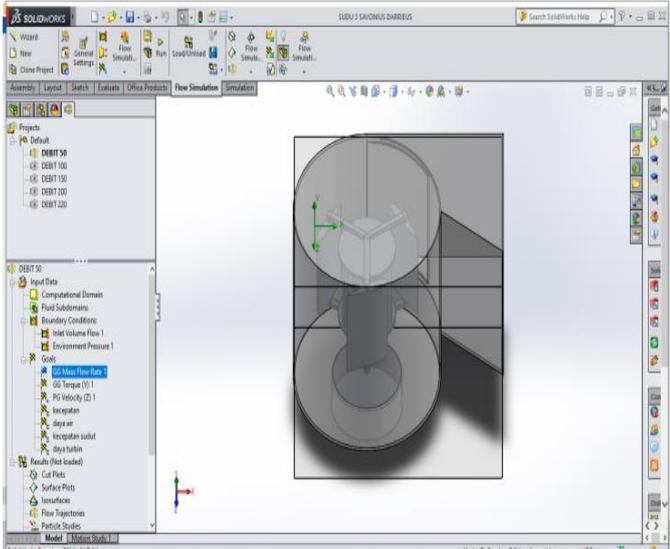
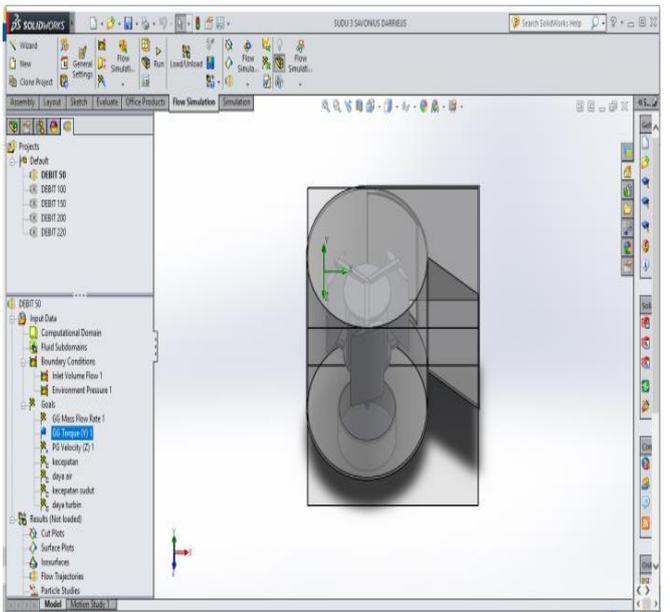


Pada tabel 4.2 diatas menunjukkan *boundary condition* yang digunakan pada simulasi ini. Untuk memvariasikan debit aliran seperti yang sudah dijelaskan pada BAB 3 sebelumnya, maka yang perlu diganti hanya pada *volume flow rate*. Pada debit 220 l/m maka *volume flow rate* adalah $0,00366 \text{ m}^3/\text{s}$, pada debit 200 l/m *volume flow rate* nya $0,0033 \text{ m}^3/\text{s}$, pada debit 150 l/m *volume flow rate* nya $0,00025 \text{ m}^3/\text{s}$, pada debit 100 l/m *volume flow rate* nya $0,00167 \text{ m}^3/\text{s}$, dan pada debit 50 l/m *volume flow rate* nya $0,00833 \text{ m}^3/\text{s}$. Untuk *Enviorment Pressure* adalah sama pada setiap variasi debit aliran.

1.1.3. Goals

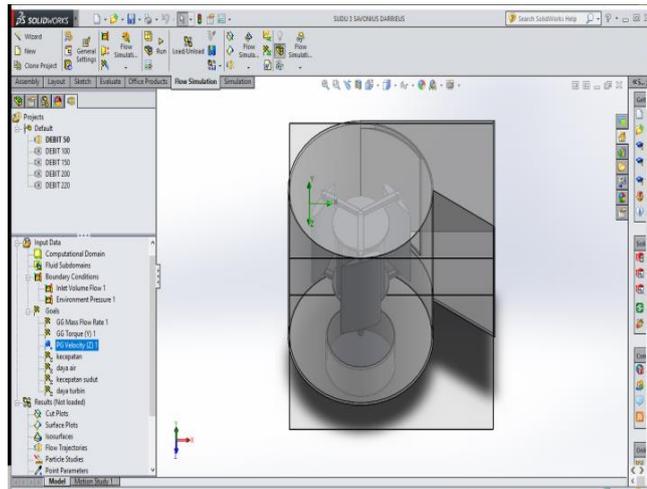
Goals yang ditentukan merupakan data-data yang dibutuhkan dalam analisa ini, adapun goal yang digunakan pada simualsi ini seperti pada tabel 4.3.

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>Torque</i> | |
|  | | |

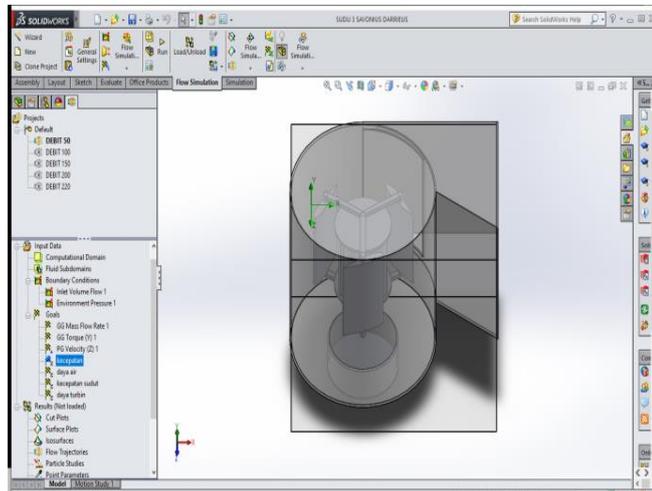
Surface Goals

PG Velocity (Z)



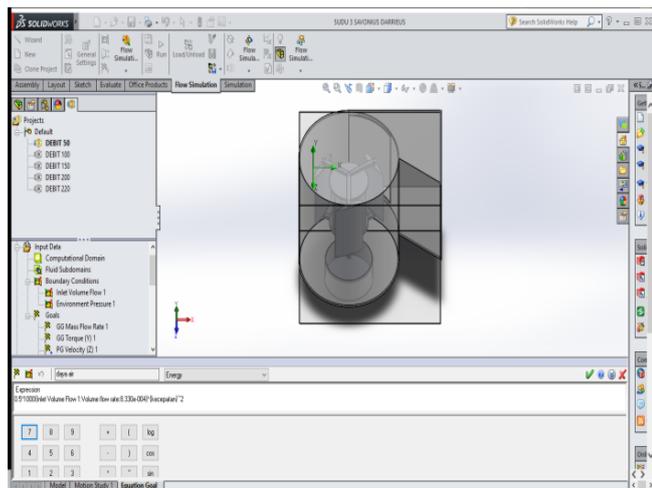
Surface Goals

Kecepatan

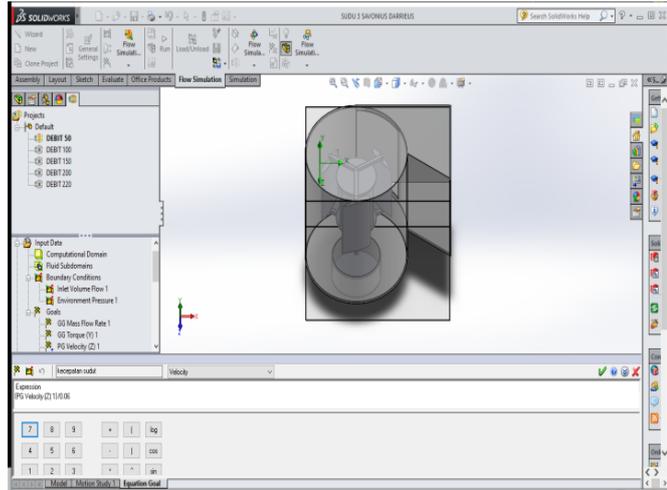


Surface Goals

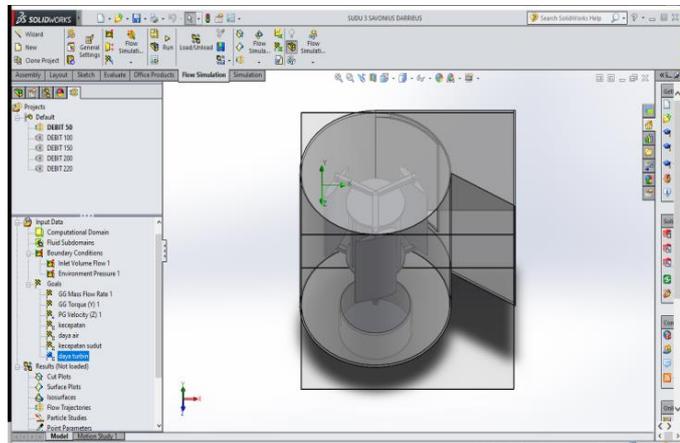
Daya Air



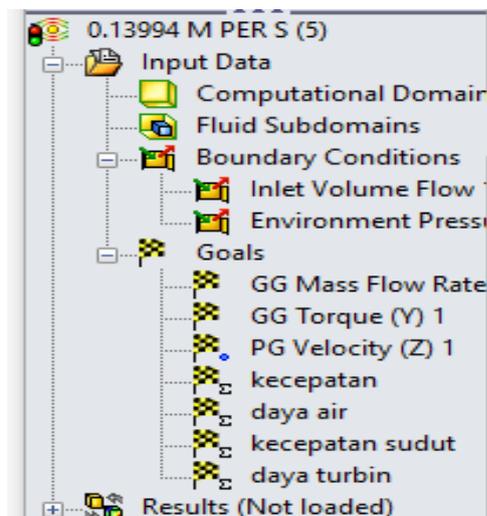
Surface Goals
Kecepatan Sudut



Surface Goals
Daya Turbin



Kemudian untuk mempermudah dalam melakukan simulasi maka nama goals pada tabel 4.3 diatas diganti menjadi seperti pada gambar 4.15 dibawah ini.



Gambar 4.15. 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 kedalam equation golas pada solidwoeks flow simulation seperti pada tabel 4.4 dibawah.

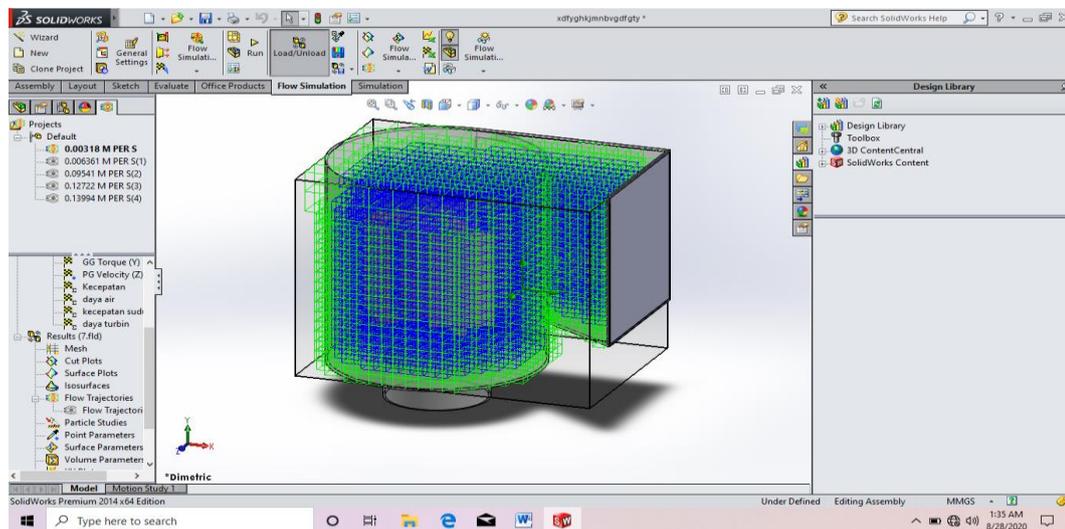
Tabel 4.4. *Equatoin Goals*

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

4.2. Hasil Simulasi

4.2.1. Meshing

Domain mesh turbin *savonius* yang digunakan adalah menggunakan *mesh* berbentuk 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 4.8.



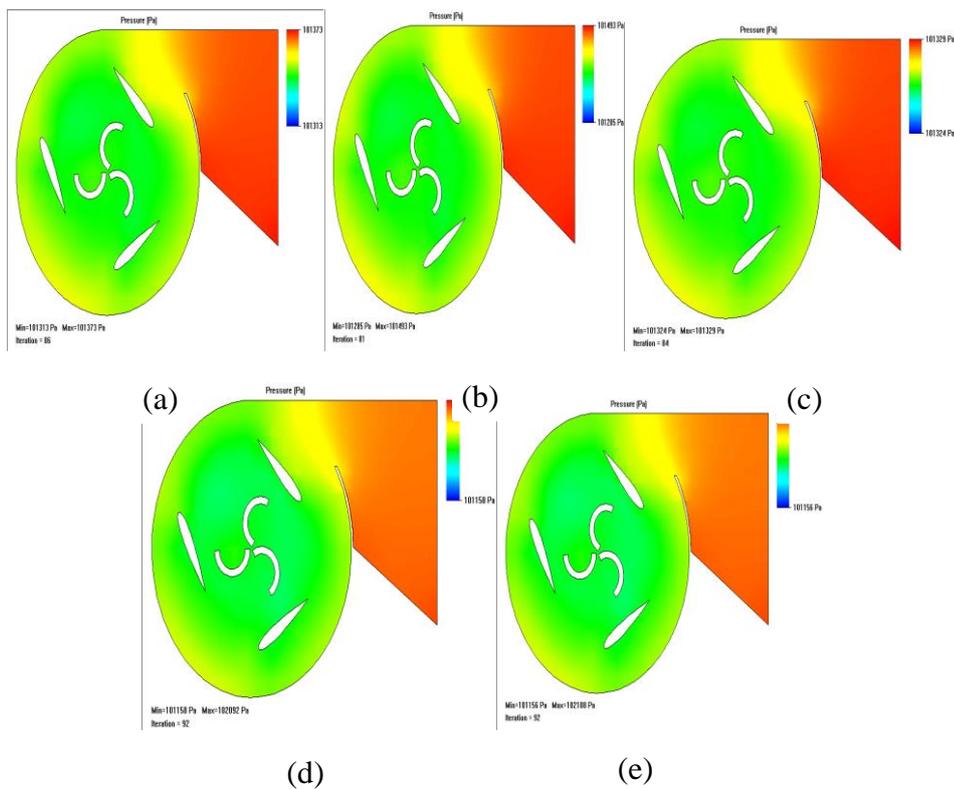
Gambar 4.16. Hasil *Mesh*

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 cels* sebanyak 90459, dan *partial cells* sebanyak 46253. Kotak warna biru pada gambar 4.12 diatas menunjukkan *fluid cells* sedangkan kotak berwarna hijau menunjukkan *partial cells*.

4.2.2 Kontur Tekanan Dan Kecepatan

Pada gambar 4.17 dibawah menunjukkan kontur kecepatan aliran fluida pada turbin. Simulasi ini menggunakan *Solidworks Flow Simulation* selain dapat menganalisis secara numerik juga dapat menganalisis secara visual. Keunggulan dari turbin air Savonius darrius naca 0015 adalah konfigurasi turbin . Analisis visual sangat membantu penelitian ini untuk mengetahui seberapa energi angin yang dapat diserap oleh turbin. Bukan hanya itu, analisa secara visual dapat mengetahui bagaimana fulida air melewati sudu. Gambar 4.13 menunjukkan kontur kecepatan hasil pemodelan turbin air Savonius darrius naca 0015

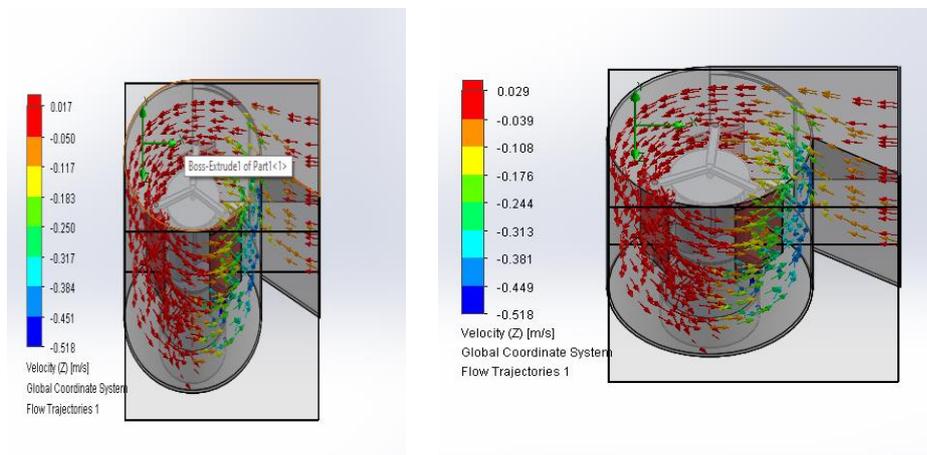


Gambar 4.17. Kontur tekanan Aliran Fluida

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

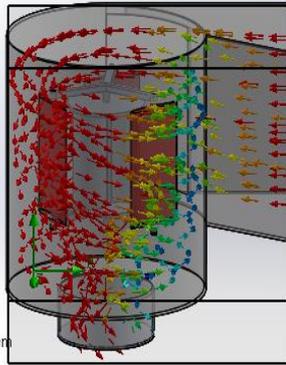
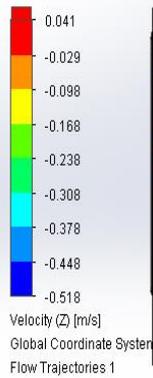
4.2.4. Vektor Kecepatan Fluida

Gambar 4.18 merupakan vector kecepatan aliran fluida pada turbin air *savonius darrieus*. Dapat diamati melalui perbedaan warna, kecepatan fluida semakin tinggi pada bagian tengah basin. velocity pada debit 50 L/mnit adalah 0,017 m/s, velocity pada debit 100 L/mnit adalah 0,029 m/s, velocity pada debit 150 L/mnit adalah 0,041 m/s, velocity pada debit 200 L/mnit adalah 0,055 m/s, velocity pada debit 220 L/mnit adalah 0,069 m/s.

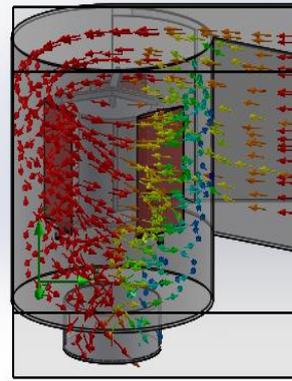
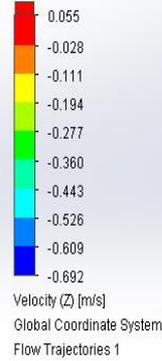


A. Debit 50L/menit

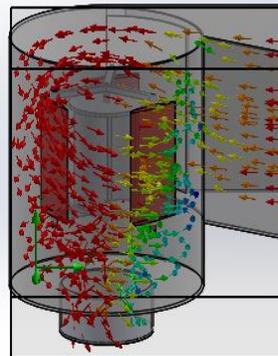
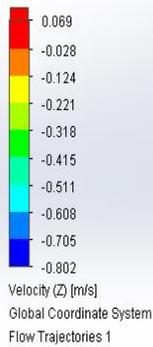
B. Debit 100L/menit



C . Debit 150L/menit



D. Debit 200L/menit



E. Debit 220L/menit

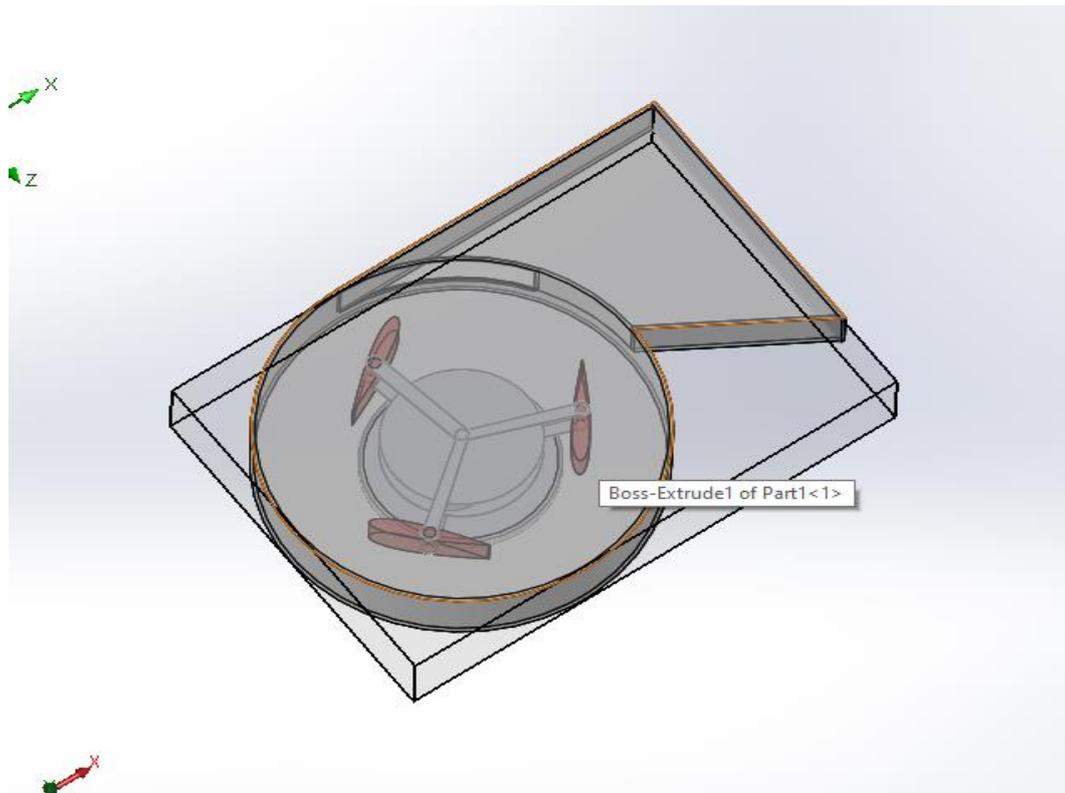
Gambar 4.18. Vektor Kecepatan Fluida

Pada vektor terlihat bahwa kecepatan aliran meningkat pada tengah bagian basin, peningkatan kecepatan ini terjadi karena aliran fluida menjadi vortex. Jika diamati lebih jelas 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 (ω). 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 4.19 dibawah.



Gambar 4.19. Kecepatan Linear

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

Tabel 4.4. Kecepatan aliran linear

| Debit (l/m) | Velocity (m/s) | Radius (m) |
|----------------|-------------------|---------------|
| 50 | 0,0170 | 0,6 |
| 100 | 0,0289 | 0,6 |
| 150 | 0,0413 | 0,6 |
| 200 | 0,0552 | 0,6 |
| 220 | 0,0690 | 0,6 |

Data dari tabel diatas kemudian diolah menggunakan persamaan berikut:

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

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

1. Putaran sudut (ω) pada debit alliran 50 L/mnit adalah:

$$f = \frac{0,0170}{0,6} = 0,0028 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,0028 = 0,0064 \text{ rad/s}$$

2. Putaran sudut (ω) pada debit alliran 100 L/mnit adalah:

$$f = \frac{0,0289}{0,6} = 0,0481 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,0481 = 0,3020 \text{ rad/s}$$

3. Putaran sudut (ω) pada debit alliran 150 L/mnit adalah:

$$f = \frac{0,0413}{0,6} = 0,0688 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,0688 = 0,4320 \text{ rad/s}$$

4. Putaran sudut (ω) pada debit alliran 200 L/mnit adalah:

$$f = \frac{0,0552}{0,6} = 0,092 \text{ revs}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,092 = 0,5777 \text{ rad/s}$$

5. Putaran sudut (ω) pada debit aliran 220 L/mnit adalah:

$$f = \frac{0,0690}{0,6} = 0,115 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,115 = 0,7222 \text{ rad/s}$$

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 *Solidworks Flow Simulation* diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.5. Data Hasil Simulasi

| Debit (L/m) | Daya turbin(J/s) | Debit (m ³ /s) | Daya air(J/s) | Torsi (N.m) |
|-------------|--------------------|---------------------------|----------------|-------------|
| 50 | 0,010 | 0,00883 | 0,567 | 0,304 |
| 100 | 0,067 | 0,00167 | 4,062 | 1,062 |
| 150 | 0,215 | 0,0025 | 13,65 | 2,331 |
| 200 | 0,578 | 0,00333 | 32,30 | 4,554 |
| 220 | 0,595 | 0,00336 | 36,18 | 4,643 |

1. Efisiensi (η) pada debit aliran 50 L/mnit adalah:

$$\eta = \frac{0,010}{0,567} \times 100\%$$

$$\eta = 1,763\%$$

2. Efisiensi (η) pada debit aliran 100 L/mnit adalah:

$$\eta = \frac{0,067}{4,062} \times 100\%$$

$$\eta = 1,649\%$$

3. Efisiensi (η) pada debit aliran 150 L/mnit adalah:

$$\eta = \frac{0,215}{13,65} \times 100\%$$

$$\eta = 1,575\%$$

4. Efisiensi (η) pada debit aliran 200 L/mnit adalah:

$$\eta = \frac{0,578}{32,30} \times 100\%$$

$$\eta = 1,789\%$$

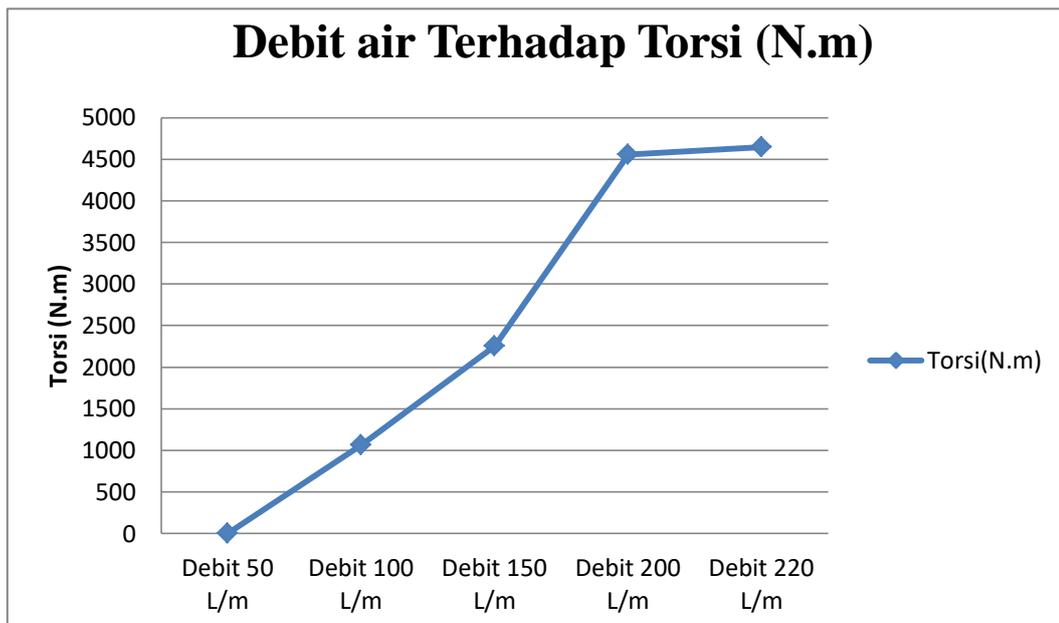
5. Efisiensi (η) pada debit aliran 50 L/mnit adalah:

$$\eta = \frac{0,595}{36,18} \times 100\%$$

$$\eta = 1,644\%$$

4.4. Grafik Hasil Simulasi

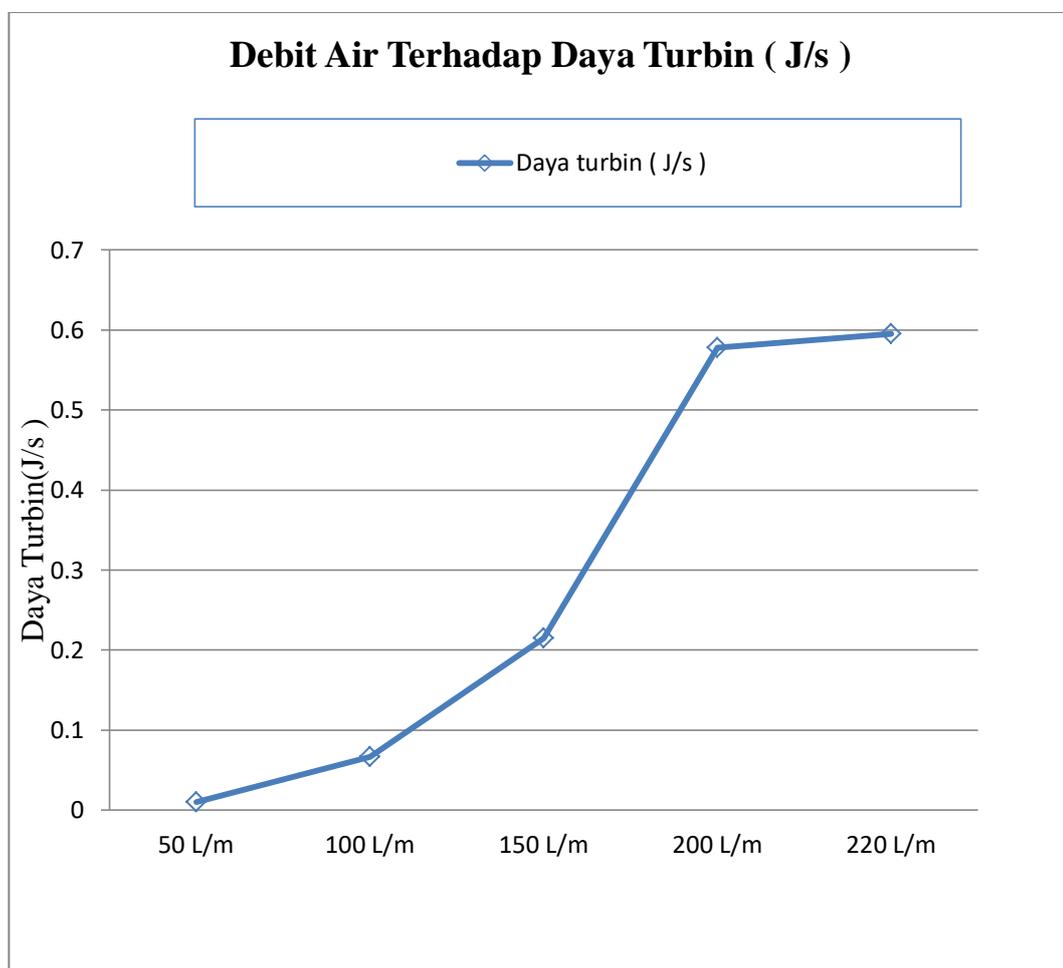
Berikut gambar grafik debit air terhadap torsi, debit air terhadap daya turbin, dan debit air terhadap efisiensi



Gambar 4.20. Grafik debit air terhadap Torsi

a. Debit air terhadap daya torsi

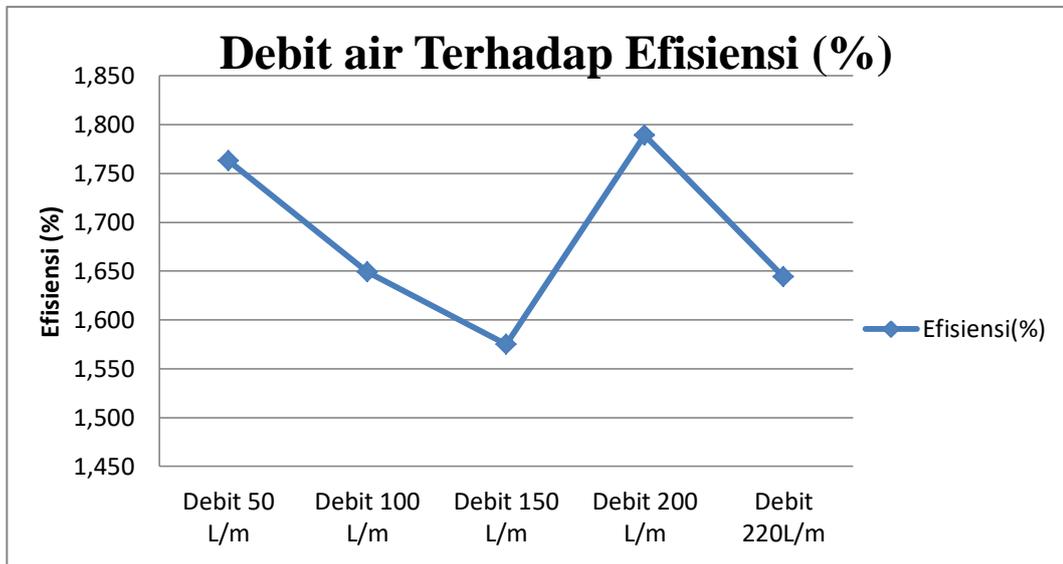
Hasil pada gambar merupakan hasil yang didapatkan dari Torsi dengan menggunakan sudu turbin yang telah dilakukan pengujian simulasi, dari grafik dapat dilihat adanya peningkatan pada setiap debit terhadap nilai torsi dari gambar tersebut didapatkan hasil torsi 0,304N.m debit 50L/m torsi 1,062N.m debit 100L/m, torsi 2,254N.m debit 150L/m, torsi 4,554N.m debit 200L/m, torsi 4,643N.m debit 220L/m



Gambar 4.21. Debit Air terhadap daya turbin

b. Debit air terhadap daya turbin

Hasil pada gambar merupakan hasil yang didapatkan dari debit air dengan menggunakan sudu turbin yang telah dilakukan pengujian simulasi, dari grafik dapat dilihat adanya peningkatan pada setiap debit terhadap daya turbinnya dari gambar tersebut didapatkan hasil daya turbin 0,010J/s debit 50L/m, daya turbin 0,067J/s debit 100L/m, daya turbin 0,215J/s debit air 150L/m, daya turbin 0,578J/s debit 200L/m, daya turbin 0,595J/s debit 220L/m



Gambar 4.22. Debit Air terhadap Efisiensi

c. Debit air terhadap Efisiensi

Hasil pada gambar merupakan hasil yang didapatkan dari Efisiensi dengan menggunakan sudu turbin yang telah dilakukan pengujian simulasi, dari grafik nilai yang paling tinggi didapat dari hasil daya turbin yang mendekati daya air, sebaliknya efisiensi paling rendah disebabkan daya air jauh lebih tinggi dibandingkan daya turbin dari gambar tersebut didapatkan hasil Efisiensi 1,763% debit 50L/m, Efisiensi 1,649% debit 100L/m, Efisiensi 1,575% debit air 150L/m, Efisiensi 1,789% debit 200L/m, Efisiensi 1,644% debit 220L/m.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penggabungan turbin savonius darrius daya perhitungan divariasikan dengan debit 50 liter/menit, 100 liter/menit, 150 liter/menit, 200 liter/menit, 220 liter/menit yang tertera dilampiran dapat disimpulkan yaitu :

Pada kesimpulan ini didapat bahwa Daya maksimum sudut sudu terhadap Turbin paling besar yaitu pada Daya Turbin = $0,595\text{J/s}$ pada debit 220 liter/menit, Torsi yang paling besar didapat pada debit 220 dengan Torsi = $4,643\text{N/m}$, dan Efisiensi yang paling besar didapat pada debit 200 dengan Efisiensi = $1,789\%$

5.2 Saran

Untuk pengujian selanjutnya dapat juga dilakukan dengan bervariasi bentuk-bentuk sudu naca dengan debit air diatas 220L/mnit agar daya yang dihasilkan lebih besar pada turbin dan performa yang ingin didapatkan lebih optimal tentunya, dan memperbesar rumah turbin agar penempatan sudu sudunya lebih efisien karena sangat berpengaruh dengan daya turbin

DAFTAR PUSTAKA

- Atmadi, S., & Fitroh, A. J. (2008). Pengembangan Metode Parameter Awal Rotor Tipe Savonius. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 6(1), 41–50.
- Brian, J. (2017). *Perancangan Dan Pembuatan Turbin Air Sebagai Pembangkit Listrik 750 Watt Pada Sungai Hidrokinetik*. 6–11.
- Febrianto, A., & Santoso, A. (2017). Analisa Perbandingan Torsi dan RPM Turbin Tipe Darrieus Terhadap Efisiensi Turbin. *Jurnal Teknik ITS*.
- Kumar, P. M., Kulkarni, R., Srikanth, N., & Lim, T.-C. (2017). Performance Assessment of Darrieus Turbine with Modified Trailing Edge Airfoil for Low Wind Speeds. *Smart Grid and Renewable Energy*, 08(12), 425–439.
- Kincir, S., & Savonius, A. (2010). *Karakteristik kekasaran permukaan sudu kincir angin savonius*. 8, 191–194
- Konversi, U., & Arus, E. (2016). STUDY NUMERIK TURBIN DARRIUS-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>
- 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
- Mulyadi, M. (2014). *Analisis Aerodinamika Pada Pesawat Terbang*. 1–13.
- 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.ejurnal.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
- Sumiati, R. (2012). Pengujian Turbin Angin Savonius Tipe U Tiga Sudu Di Lokasi Pantai Air Tawar Padang. *Pengujian Turbin Angin Savonius Tipe U Tiga Sudu Di Lokasi Pantai Air Tawar Padang*, 1(1), 27–32.
- 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.
- Seminar, P., & Teknologi, N. (n.d.). *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Terapan*. 5, 5–9.
- 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.
- Victus Kolo Koten1, S. T. (2017). *Pada Proses Pemanfaatan Aliran Air Tekanan Rendah*. 8(2), 742–751.

Lampiran

gambar jd sudu 3 yg paling benar.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] | 2.65734E-06 | 6.14279E-06 | 2.65734E-06 | 1.03302E-05 | 100 | Yes | 1.36327E-06 | 0.011324941 |
| GG Torque (Y) 1 | [N*m] | 0.318603633 | 0.312889247 | 0.318603633 | 0.304294318 | 100 | Yes | 0.014309315 | 0.014847736 |
| PG Velocity (Z) 1 | [m/s] | 0.017362215 | 0.018654455 | 0.021330268 | 0.017058319 | 100 | Yes | 0.004236538 | 0.004878095 |
| kecepatan | [m/s] | 0.03370229 | 0.03370229 | 0.03370229 | 0.03370229 | 100 | Yes | 0 | 3.37023E-10 |
| daya air | [J/s] | 0.567922178 | 0.567922178 | 0.567922178 | 0.567922178 | 100 | Yes | 0 | 5.67922E-09 |
| kecepatan sudut | [m/s] | 0.289370251 | 0.310907585 | 0.35550446 | 0.284305311 | 100 | Yes | 0.070608961 | 0.081301589 |
| daya turbin | [J/s] | 0.010737672 | 0.010545084 | 0.010737672 | 0.010256415 | 100 | Yes | 0.000482257 | 0.000500403 |

Iterations: 86

Analysis interval: 21

gambar jd sudu 3 yg paling benar.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] | 8.60662E-06 | 1.07457E-05 | 6.36911E-06 | 1.64739E-05 | 100 | Yes | 3.5428E-06 | 0.021418632 |
| GG Torque (Y) 1 | [N*m] | 1.115014078 | 1.091665726 | 1.115014078 | 1.062968879 | 100 | Yes | 0.052045199 | 0.053874112 |
| PG Velocity (Z) 1 | [m/s] | 0.042233072 | 0.033840609 | 0.042233072 | 0.0289875 | 100 | Yes | 0.009036446 | 0.009324353 |
| 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] | 0.703884539 | 0.564010149 | 0.703884539 | 0.483124998 | 100 | Yes | 0.150607429 | 0.155405879 |
| daya turbin | [J/s] | 0.071071508 | 0.069583273 | 0.071071508 | 0.067754123 | 100 | Yes | 0.003317385 | 0.003433961 |

Iterations: 81

Analysis interval: 21

gambar jd sudu 3 yg paling benar.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] | 1.41156E-06 | 1.8075E-06 | 1.06466E-06 | 2.82205E-06 | 100 | Yes | 6.11854E-07 | 0.003206382 |
| GG Torque (Y) 1 | [N*m] | 0.024422362 | 0.023933954 | 0.024422362 | 0.023329379 | 100 | Yes | 0.001092984 | 0.001130852 |
| PG Velocity (Z) 1 | [m/s] | 0.004928655 | 0.00452856 | 0.00494143 | 0.004136292 | 100 | Yes | 0.000805139 | 0.001354313 |
| kecepatan | [m/s] | 0.009541985 | 0.009541985 | 0.009541985 | 0.009541985 | 100 | Yes | 0 | 9.54198E-11 |
| daya air | [J/s] | 0.136574209 | 0.136574209 | 0.136574209 | 0.136574209 | 100 | Yes | 0 | 1.36574E-09 |
| kecepatan sudut | [m/s] | 0.082144249 | 0.075476006 | 0.082357173 | 0.068938194 | 100 | Yes | 0.013418978 | 0.022571885 |
| daya turbin | [J/s] | 0.000233038 | 0.000228377 | 0.000233038 | 0.000222609 | 100 | Yes | 1.04292E-05 | 1.07906E-05 |

Iterations: 84

Analysis interval: 21

gambar jd sudu 3 yg paling benar.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] | 2.10613E-05 | 2.5712E-05 | 1.44504E-05 | 5.89297E-05 | 100 | Yes | 4.75341E-06 | 0.042709008 |
| GG Torque (Y) 1 | [N*m] | 4.764477745 | 4.671682563 | 4.764477745 | 4.554685524 | 100 | Yes | 0.209792222 | 0.217399074 |
| PG Velocity (Z) 1 | [m/s] | 0.106169609 | 0.079418548 | 0.114320811 | 0.055254239 | 100 | Yes | 0.016623614 | 0.018650038 |
| 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] | 1.769493479 | 1.323642459 | 1.905346849 | 0.920903982 | 100 | Yes | 0.27706023 | 0.310833966 |
| daya turbin | [J/s] | 0.605561484 | 0.593767288 | 0.605561484 | 0.578897053 | 100 | Yes | 0.026664431 | 0.027631256 |

Iterations: 92

Analysis interval: 21

gambar jd sudu 3 yg paling benar.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] | 2.86422E-05 | 2.6076E-05 | 2.04908E-05 | 3.88125E-05 | 100 | Yes | 4.76528E-06 | 0.043093774 |
| GG Torque (Y) 1 | [N*m] | 4.859578144 | 4.762707629 | 4.859578144 | 4.643863268 | 100 | Yes | 0.215714876 | 0.22146968 |
| PG Velocity (Z) 1 | [m/s] | 0.085352158 | 0.080779415 | -0.093616109 | 0.069060366 | 100 | Yes | 0.017387676 | 0.018816977 |
| kecepatan | [m/s] | 0.128244275 | 0.128244275 | 0.128244275 | 0.128244275 | 100 | Yes | 0 | 1.28244E-09 |
| daya air | [J/s] | 36.18250685 | 36.18250685 | 36.18250685 | 36.18250685 | 100 | Yes | 0 | 3.61825E-07 |
| kecepatan sudut | [m/s] | 1.422535969 | 1.346323589 | 1.560268476 | 1.151006093 | 100 | Yes | 0.289794607 | 0.313616283 |
| daya turbin | [J/s] | 0.623213075 | 0.610789986 | -0.623213075 | 0.595548877 | 100 | Yes | 0.027664198 | 0.028402219 |

Iterations: 92

Analysis interval: 21

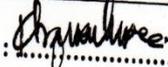
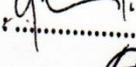
**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UMSU
TAHUN AKADEMIK 2020 - 2021**

Peserta seminar

Nama : Fahrudin Arazi
 NPM : 1507230186
 Judul Tugas Akhir : Simulasi Numerik Karakteristik Unjuk kerja Turbin Air Savonius Darri-
 Eus Naca 0015

DAFTAR HADIR

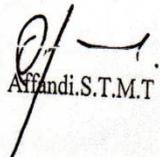
TANDA TANGAN

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 ANTON S |  |
| 2 | 1507230203 | SYAHKIN FAUZI HARAHAT |  |
| 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


 Affandi.S.T.M.T

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

NAMA : Fahrudin Arazi
NPM : 1507230186
Judul T.Akhir : Simulasi Numerik Karakteristik Unjuk Kerja Turbin Air Savonius Darri-
Us Naca 0015.

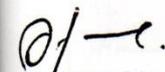
Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pembanding - I : Chandra A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding - II : Ahmad Marabdi Siregar.S.T.M.T

KEPUTUSAN

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

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Simulasi Numerik Karakteristik Unjuk Kerja Turbin Air Savonius Darrius
Naca 0015

Nama : Fahrudin arazi
NPM : 1507230186

Dosen Pembimbing 1 : Khairul Umurani, S.T., M.T
Dosen Pembimbing 2 : H. Muharnif, S.T., M.Sc

| No | Hari/Tanggal | Kegiatan | Paraf |
|----|-------------------|--------------------------------------|-------|
| 1. | Selasa 12/11 2019 | - Perbaiki pendahuluan | k |
| 2. | Rabu 05/01 2020 | - Perbaiki Abstrak tujuan | k |
| 3. | Senin 17/02 2020 | - Perbaiki Tinjauan Pustaka | k |
| 4. | Rabu 26/02 2020 | - Perbaiki BAB 3 Metode penelitian | k |
| 5. | Senin 21/09 2020 | - Perbaiki kesimpulan dan saran | k |
| | | lains ke pembimbing 2 | k |
| 6. | Jumat 09/10 2020 | - Tambahkan rumus | f |
| 7. | Senin 12/10 2020 | - Perbaiki analisa dan lampiran | f |
| 8. | Selasa 13/10 2020 | - Ace, gambar. | W. |



UMSU

Surat ini agar disebutkan
tanggalnya

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

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 1192/II.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 : FAHRUDDIN ARAZI
NPM : 1507230186
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : XI (SEBELAS)
Judul Tugas Akhir : SIMULASI NUMERIK KARAKTERISTIK UNJUK KERJA TURBIN AIR SAVONIEUS DARRIUS NACA 0015
Pembimbing – I : KHAIRUL UMURANI, ST, 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 seteah i (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'l 1442 H
21 Oktober 2020 M

Dekan



Munawar Alfansury Siregar
Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T
NIDN : 0101017202

Cc. File

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Fahrudin Arazi
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Tempat, Tanggal Lahir : Pematang kuing 12 Desember 1997
Alamat : DSN 1 Pematang kuing
Agama : Islam
E-mail : fahrudinarazi4@gmail.com
No.Hp : 0822-7690-6647

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Negeri 018454 Seisuka Tahun 2003-2009
2. SMP Negeri 4 Seisuka Tahun 2009-2012
3. SMA Negeri 1 Seisuka Tahun 2012-2015
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2015-2020